



HAL
open science

Géologie et hydrogéologie d'un secteur de la zone mobile d'Afrique centrale: région de Poli, Nord-Cameroun

Henri Bosko Djeuda Tchapnga

► To cite this version:

Henri Bosko Djeuda Tchapnga. Géologie et hydrogéologie d'un secteur de la zone mobile d'Afrique centrale: région de Poli, Nord-Cameroun. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1987. Français. NNT: . tel-00785833

HAL Id: tel-00785833

<https://theses.hal.science/tel-00785833>

Submitted on 7 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.

DJEUDA-TCHAPNGA (H.)



THESE DE DOCTORAT

DE

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE, TECHNOLOGIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE I

8 JAN. 1988

SPECIALITE GEOLOGIE APPLIQUEE

par

Henri Bosko DJEU DA TCHAPNGA

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.42

* * *
*

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

D'UN SECTEUR DE LA ZONE

MOBILE D'AFRIQUE CENTRALE :

Région de POLI, NORD-CAMEROUN

* * *
*

2

Thèse soutenue le 2 Décembre 1987 devant la
Commission d'examen :

- | | | |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| * R. BARBIER | Professeur émérite USTMG | Président |
| * R. MICHEL | Professeur émérite USTMG | Rapporteur |
| * P. ELOUARD | Professeur Université de LYON I | Rapporteur |
| * J. SARROT REYNAULD | Professeur USTMG | Directeur de Thèse |
| * J. ROCHAT | Professeur Pharmacie USTMG | Examineur |

THESE DE DOCTORAT

DE

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE, TECHNOLOGIQUE

ET MEDICALE DE GRENOBLE I

SPECIALITE GEOLOGIE APPLIQUEE

par

Henri Bosko DJEU DA TCHAPNGA

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (79) 87.49.43

* * *
*

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

D'UN SECTEUR DE LA ZONE

MOBILE D'AFRIQUE CENTRALE :

Région de POLI, NORD-CAMEROUN

* * *
*

Thèse soutenue le 2 Décembre 1987 devant la
Commission d'examen :

| | | |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| * R. BARBIER | Professeur émérite USTMG | Président |
| * R. MICHEL | Professeur émérite USTMG | Rapporteur |
| * P. ELOUARD | Professeur Université de LYON I | Rapporteur |
| * J. SARROT REYNAULD | Professeur USTMG | Directeur de Thèse |
| * J. ROCHAT | Professeur Pharmacie USTMG | Examineur |

NNB 10095898

7 9100000 0 01000000
UNIVERSITE DE BRASOVI
BIBLIOTHEQUE
CAMPUS DE BRASOVI
RUE DE LA LIBERTE
51000 BRASOVI
FRANCE

A la mémoire de mon Père TCHAPNGA Paul qui,
jusqu'au soir de sa vie, aurait souhaité avoir
ce mémoire dans les mains...
Ce travail est le tien, PAPA.

BAGNOUN, le 16 mai 1987

Ce mémoire que je présente aujourd'hui est l'aboutissement d'un itinéraire jaloné de difficultés diverses ; sa conception, sa réalisation autant que sa mise en page n'ont été possibles que grâce à l'aide morale et surtout matérielle de nombreuses personnes. En effet, pour des raisons que j'ignore jusqu'à cet instant, je n'ai jamais été boursier, ni de mon pays, ni d'un quelconque organisme que ce soit.

Il m'est donc particulièrement agréable d'exprimer, à travers ces quelques lignes, mes remerciements aux :

* Professeur J. SARROT REYNAULD qui, après m'avoir accueilli dans son Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Institut DOLOMIEU, a tant fait pour moi sur le triple plan académique, moral et social que les mots me manquent pour lui exprimer ma reconnaissance.

* Professeur R. BARBIER, pour l'honneur qu'il me fait de présider ce Jury.

* Professeurs R. MICHEL et P. ELOUARD pour l'insigne honneur qu'ils me font de rapporter ce travail.

* Professeur J. ROCHAT pour avoir accepté de juger ce mémoire auquel il a apporté une contribution remarquable.

Mes remerciements vont également à mes maîtres de YAOUNDE, OUAGADOUGOU et ABIDJAN. Ils sont très nombreux, mais ceux qui me sont les plus chers pour m'avoir servis de guides sont :

* Monsieur G.E. EKODECK qui, depuis 1980, m'a donné, par l'exemple, le courage qu'il me fallait pour faire face aux multiples difficultés de parcours. J'ose espérer que ce mémoire est à la mesure des espérances qu'il fondait en moi.

* Monsieur A.N. SAVADOGO qui m'a accueilli pendant trois mois au BURKINA FASO et à qui les versions finales des études tectoniques et géophysiques de ce mémoire doivent beaucoup.

* Monsieur J. BIEMI qui, malgré ses lourdes fonctions actuelles, est resté très attentif à mes problèmes académiques pendant ma scolarité et lors de mon dernier passage à ABIDJAN.

Tout au long de mes travaux qui m'ont amené successivement au NORD-CAMEROUN, en COTE D'IVOIRE, au BURKINA FASO puis en FRANCE, j'ai eu à bénéficier de l'aide de nombreuses personnes. Parmi ceux-ci, je remercie tout particulièrement :

NORD-CAMEROUN :

* Monsieur J.H. CHENDJOU YOUNDJÉ, Directeur du Projet des Eaux Souterraines

* Monsieur A. TEMATIO, Géologue du Projet des Eaux Souterraines, avec qui j'ai eu à passer des journées inoubliables sur le terrain

* Les Capitaines NGUEGANG et MOYO de la base aérienne de GAROUA pour toutes les facilités logistiques dont ils m'ont fait bénéficier

* Les Sergents A.L. NGASSA SANDJO et T. MIMBANG pour l'atmosphère joviale qu'ils ont su créer

* Mademoiselle F. NGANTOU, Institutrice à POLI

COTE D'IVOIRE :

* Monsieur le Professeur J. CAMIL du Département des Sciences de la Terre

* Monsieur J. BATIX

BURKINA FASO :

* Monsieur NZEKIO POUEMI de L'U.N.S.O.

* Monsieur A. HASSANE, Directeur du C.I.E.H.

* Monsieur C. DILUCA, Hydrogéologue au C.I.E.H.

* Monsieur J.P. VINTER, Hydrogéologue au C.I.E.H.

* Monsieur A. NANA

FRANCE :

* Madame MBITHE pour sa tendresse toute maternelle

* Mes amis J.R.P. JOURDA et N. SORO pour tous les échanges académiques que nous avons eus, mais aussi et surtout pour toute l'attention dont j'ai été l'objet du 12 au 14 mai 1987

* Mademoiselle Elisabeth CIALINI qui a assuré, avec un grand talent et une célérité remarquable la frappe de ce mémoire

* Monsieur J. GOULART qui a su créer un climat tout "Brésilien" et très gai pendant la phase finale de ce travail.

Qu'il me soit également permis de dédier ce travail à :

* Ma Mère, Madame TCHAPNGA, née DJAPA Pauline à DSCHANG (CAMEROUN)

* Monsieur Josué NGUEYEM TCHAPNGA à YAOUNDE (CAMEROUN)

* Monsieur Jean MBITHE à GRENOBLE (FRANCE)

* Monsieur Emmanuel TCHAPNGA à BERTOUA (CAMEROUN)

* Monsieur Célestin KEUTCHA TCHAPNGA à MARSEILLE (FRANCE)

A tous, je dis MERCI

RESUME

Le secteur de POLI est situé au Nord-Cameroun. Il est occupé par des formations géologiques diverses, allant des migmatites aux schistes, en passant par les gneiss, les granites orientés, les quartzites, les micaschistes ; tous ces ensembles datés au moins du Protérozoïque moyen ont été affectés par l'important évènement thermotectonique pan-africain du Protérozoïque supérieur. Cette orogénèse a également entraîné la mise en place de roches plutoniques acides et basiques. Postérieurement à cette orogénèse, l'évolution géologique de ce secteur est essentiellement volcano-sédimentaire.

Abstraction faite des parties supérieures épi-métamorphiques, la morphologie actuelle, autant que les grands traits structuraux de ce secteur sont essentiellement hérités des effets de cette importante orogénèse.

L'étude régionale de cette morphologie montre que le secteur de POLI présente un relief très contrasté, opposant les vallées d'altitudes voisines de 300 m aux hauts sommets qui culminent à plus de 2 000 m. Cet environnement montagneux crée localement des conditions climatiques favorables, caractérisées par une lame d'eau précipitée supérieure à celles observées dans les autres zones cristallines Nord-Camerounaises.

Malgré ces apports considérables, la constitution autant que l'alimentation des nappes souterraines sont médiocres et sont étroitement liées d'une part à la nature pétrographique et au degré d'altération des formations et, d'autre part, à leur état de fracturation et de fissuration.

L'étude du réseau de fracturation à diverses échelles d'observation - images satellites, photographies aériennes, observations de terrain - a permis de réaliser un classement séquentiel des fractures du secteur. Les comparaisons avec des études antérieures ont permis d'intégrer nos conclusions dans un modèle régional d'ensemble, à savoir celui de la zone mobile.

La prospection et la détection des zones broyées liées à ces fractures sont abordées par les méthodes géophysiques et géomorphologiques.

La variabilité des débits de forages autant que celle des propriétés hydrodynamiques sont traitées et témoignent du caractère hétérogène et anisotrope des formations.

Les eaux sont faiblement minéralisées et présentent un faciès chimique majeur : bicarbonaté-sodique.

MOTS CLES

ZONE MOBILE ; PAN AFRICAIN ; CAMEROUN ; SOCLE CRISTALLIN ; MORPHOMETRIE ; SCHISTES ; GRANITES ; GEOCHIMIE ; FRACTURATION ; CONTRAINTES ; PROSPECTION ELECTRIQUE ; GEOMORPHOLOGIE ; STATISTIQUE ; BICARBONATE SODIQUE

I N T R O D U C T I O N

ABSTRACT

The area of POLI is situated in NORTH-CAMEROON. This area is occupied by several geological formations, including migmatites, schists, gneisses, oriented granites, quartzites, and micaschists ; all these formations dating from medium Proterozoic have been affected by pan-african important thermo-tectonic event of high Proterozoic. This origin has also led to the formation of acid and basic plutonic rocks. After this orogen, the geological evolution of the area is essentially volcanic and sedimentary.

Apart from higher parts which are epi-metamorphics, the present morphology and the most of structural aspects of this area are essentially inherited of effects of this important orogen.

The regional study of this morphology shows that the area of POLI presents contracted relief, opposing valleys of about 300 m altitude to high summits which reach their highest points after 2 000 m. This mountainous environment creates favourable climatic conditions marked by a quantity of raining water higher than those observed in other North-Cameroon crystalline zones.

Despite this considerable water supply, the constitution and the alimentation of underground sheets are second rate and tightly link, on one side, to the petrographic nature and the degree of alteration of formations and, on the other side, to their state of fracturation and fissuration.

The study of the network of fracturation at several scales of observation - satellite images, aerial photos and field observations - has permitted to realise a sequential classification of fractures of the area. The comparisons with precedent studies have permitted to integrate our conclusions in a regional model, the one of the "MOBIL-ZONE".

The prospection and the detection of crushed zones link to these fractures are collated with geophysical and geomorphological methods.

The variability of flows of drillings and of hydrodynamic properties are treated and shows the heterogeneous and anisotropic nature of formations.

Waters are lowly mineralised and present a chemical major type : "bicarbonate and sodic".

KEY WORDS

MOBIL-ZONE ; PAN AFRICAN ; CAMEROON ; CRISTALLIN BASEMENT ; MORPHOMETRY ; SCHISTS ; GRANITS ; GEOCHEMISTRY ; FRACTURATION ; STRESS ; ELECTRICAL PROSPECTION ; GEOMORPHOLOGY ; STATISTIC ; BICARBONATE AND SODIC.

Le Nord Cameroun est constitué essentiellement de deux grands ensembles géologiques : les formations sédimentaires et les formations cristallines.

Les premières forment des plaines alluviales et des synclinaux. Ces ensembles contiennent en général une nappe d'interstice. Les fortes perméabilités et porosités de ces formations assurent aux ouvrages qui les captent des débits élevés et pérennes.

Les secondes, par contre, occupent près des 2/3 du Nord du pays. Dans ces régions cristallines, les villages et petits groupements sont très distants les uns des autres ; la presque totalité des cours d'eau superficiels s'assèchent en saison chaude. Les adductions d'eau ne peuvent donc pas être fonctionnelles toute l'année.

Depuis les années 50, divers organismes étatiques, paraétatiques et privés ont été créés pour résoudre les problèmes d'alimentation en eau potable des populations des villes et villages situés dans ces zones cristallines.

Avant les années 70, les populations s'alimentaient en eau potable à partir de deux types d'ouvrage de captage : les sources et les puits de grand diamètre foncés dans les altérites.

La décennie suivante est caractérisée par un déficit pluviométrique résultant de la progression du Sahel vers le 8^e parallèle. En induisant une baisse régionale des niveaux piézométriques, ce déficit a entraîné un tarissement général des sources et de nombreux puits incomplets.

Dans les zones cristallines Nord-Camerounaises, il est donc apparu indispensable d'aller chercher l'eau plus en profondeur. Cette nouvelle orientation des recherches des aquifères, doublée du caractère discontinu de ceux-ci a entraîné la mise en oeuvre de nombreuses techniques de prospection et de foration plus élaborées que la simple observation géomorphologique et le battage à la tarière.

Au sein du projet des eaux souterraines de GAROUA dans lequel nous avons mené nos travaux, nous étions chargé essentiellement des études préliminaires relatives à la prospection et à la proposition des zones favorables pour la réalisation des forages. Au-delà de la définition ponctuelle du site à forer, nous avons voulu aussi contribuer à une meilleure connaissance des aspects tectoniques de ce qu'il est aujourd'hui convenu d'appeler la "zone mobile d'Afrique Centrale".

Pour ce faire, nous avons utilisé des méthodes d'approche et d'analyse différentes et variables suivant les échelles d'observation. La synthèse de toutes ces données a abouti à la précision de la géométrie du système aquifère du secteur de POLI autant que celles des autres zones Nord-Camerounaises que nous avons prospectées.

Notre mémoire comprend cinq parties : dans la première partie, nous présentons une description générale des aspects géographiques et géologiques du socle cristallin Nord-Camerounais.

La seconde partie est consacrée aux caractéristiques géographiques du secteur de POLI. Dans cette partie, nous traitons successivement les paramètres relatifs à la morphologie et à l'hydroclimatologie ; cette étude se termine par un essai de bilan hydrologique.

La troisième partie, quant à elle, s'attache à dégager les aspects photogéologique, géochimique et tectono-structural du secteur de POLI. Dans cette partie, nous présentons également les résultats des études de prospection et d'implantation des ouvrages. Les méthodes d'implantation à petite échelle que nous avons utilisées sont essentiellement géophysique et géomorphologique. Les résultats que nous présentons et discutons dans ce mémoire sont issus, pour la plupart d'entre eux, du secteur de POLI, mais aussi des autres localités cristallines Nord-Camerounaises, dans lesquelles nous avons mené des investigations.

Dans la quatrième partie, l'étude statistique des paramètres hydrogéologiques de 272 ouvrages de captage d'eaux souterraines du Nord-Cameroun nous a permis de dégager les grands traits hydrauliques des différents faciès géologiques et de donner des ordres de grandeur des taux d'échecs enregistrés pour chacun de ces faciès. Cette étude est complétée par une autre, spécifique aux paramètres hydrodynamiques des formations du secteur de POLI.

La cinquième partie, pour sa part, expose les caractéristiques hydrochimiques des eaux du secteur de POLI.

<< L'imagination est plus importante encore que le savoir. Car le savoir est limité, tandis que l'imagination embrasse le monde entier, stimulant le progrès, donnant naissance à l'évolution. Elle représente, strictement parlant, un véritable facteur de la recherche scientifique >>.

Albert EINSTEIN

"EINSTEIN ET LA PHYSIQUE THEORIQUE"

CHAPITRE 1

APERCU GEOGRAPHIQUE
ET GEOLOGIQUE DU SOCLE
CRISTALLIN CAMEROUNAIS

* * *

* *

*

1.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

1.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SOCHE CRISTALLIN CAMEROUNAIS

Le CAMEROUN, pays de l'AFRIQUE CENTRALE, est situé au fond du Golfe de Guinée, et s'étend en latitude entre 2° et 12°30' au Nord de l'Equateur, et entre 8° et 16° à l'Est du méridien origine internationale (fig 1.1.).

Au CAMEROUN, les formations cristallines occupent plus de 80 % de la superficie du territoire. Par endroits, elles sont recouvertes par deux types de formations (fig 1.1.).

* D'une part, les formations sédimentaires essentiellement Crétacés à Plio-quadernaires. Celles-ci sont largement développées dans de vastes synclinaux parmi lesquels nous pouvons citer, du Sud au Nord :

- Le Bassin Atlantique du CAMEROUN au Sud-Ouest. Ce bassin regroupe les sous-bassins de Campo (environ 50 km²), de Douala (7 000 km²) et du Rio del Rey (85 km²),
- Les fossés crétacés de la Mbéré et du Djerem localisés au Sud de l'Adamaoua,
- Le bassin crétacé de la Bénoué et de Koum au Nord,
- La cuvette du Tchad à l'extrême Nord.

* D'autre part, les dépôts volcaniques ; ces formations se développent essentiellement dans l'Ouest - Cameroun et dans l'Adamaoua.

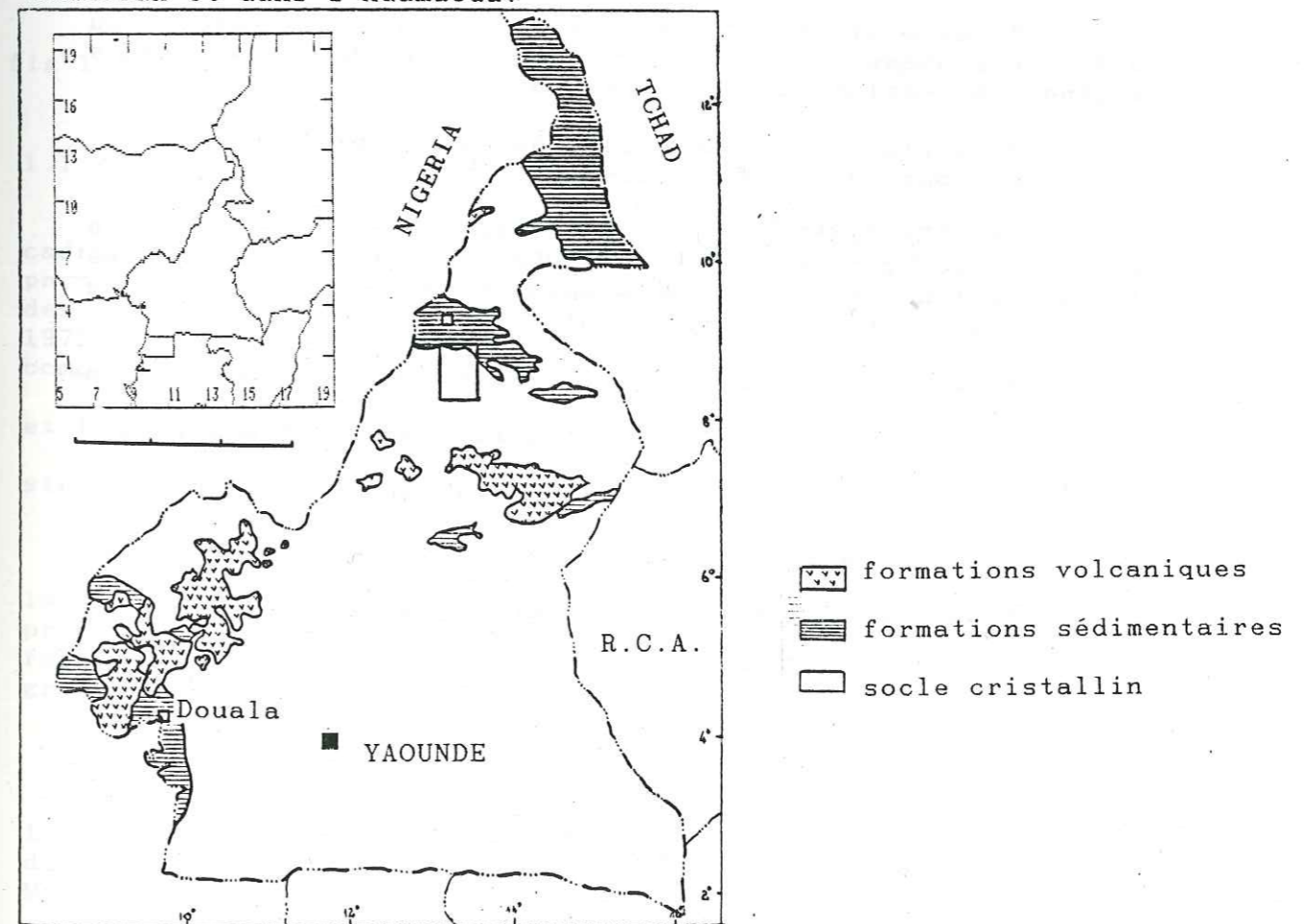


figure 1.1. : Situation géographique des grands ensembles lithologiques du CAMEROUN

Les formations cristallines occupent donc sans partage les degrés carrés de YAOUNDE (Ouest et Est), d'ABONG MBANG (Ouest et Est), de BATOURI (Ouest et Est), de BANYO, suivant les coupures du tableau d'assemblage de la carte géologique de reconnaissance du CAMEROUN au 1/500 000.

1.1.2. LE RELIEF

1.1.2.1. Contexte général

Les aspects géomorphologiques du CAMEROUN ont été étudiés essentiellement par des géologues (GEZE, 1943 - ROCH, 1953) et des pédologues (MARTIN et SEGALEN, 1966 - SEGALEN, 1967 -VALLERIE, 1968, 1973).

Dans ses grandes lignes, la morphologie du CAMEROUN comprend (G.E. EKODECK, 1984) :

* Le plateau central (encore appelé dorsale ou axe cristallin) de l'Amadaoua, qui a une direction ENE, WSW, et qui se prolonge vers le Sud-Ouest par les montagnes volcaniques de la "ligne du CAMEROUN".

* Les plaines de la Bénoué et du Lac Tchad situées au Nord de ce plateau central, sont séparées par des escarpements d'origine vraisemblablement tectonique.

* Le plateau du Sud, situé au Sud du plateau central, en est séparé par des gradins successifs.

SEGALEN (1967) proposa la première synthèse géomorphologique générale du CAMEROUN, en relation avec les cycles d'érosion et d'aplanissement. Il distingue cinq principales surfaces d'aplanissement (fig 1.2.).

- * La surface à 2 000 m et plus ou surface gondwanniene,
- * La surface à 1 200 m ou surface post-gondwanniene,
- * La surface à 750 m, qui est la surface Africaine I,
- * La surface à 500 m, qui est la surface AfricaineII,
- * La surface inférieure à 300 m, la plaine côtière.

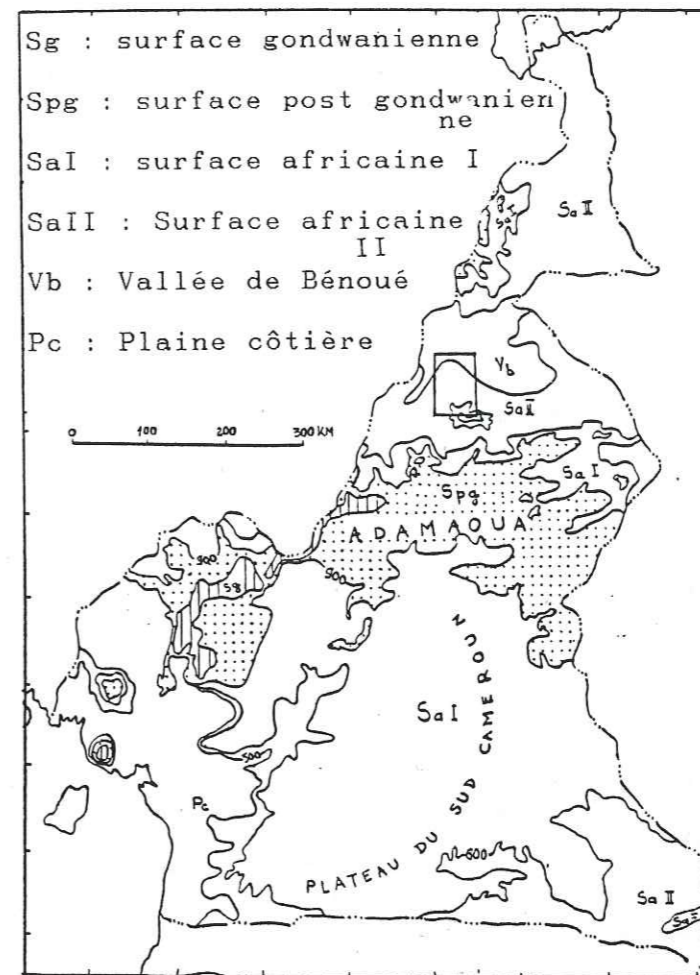


fig 1.2. : Carte géomorphologique générale du CAMEROUN (SEGALEN, 1967, simplifié)

1.1.2.2. Le relief du Nord-Cameroun

Dans le but de replacer le secteur de POLI dans son cadre naturel, nous donnons ici quelques éléments de géographie physique régionale. Cet aperçu se veut être une synthèse brève des travaux existants, dont notamment ceux de B. TILLEMENT, 1972 ; J.B. SUCHEL, 1972 ; P. BRABANT et F.X. HUMBEL, 1974 ; complétée par nos observations propres à partir :

- * des cartes existantes (topographiques au 1/200 000 et 1/50 000 ; géologiques au 1/500 000 et 1/50 000),
- * des levés photographiques aériens (observations stéréoscopiques),
- * des levés de terrain.

Situé sur les plaines de la Bénoué et du Lac Tchad, le Nord-Cameroun forme une vaste pénéplaine résultant d'un processus d'érosion achevée, légèrement pentée vers le Nord. De façon descriptive, B. TILLEMENT (1972) y a distingué six grandes unités géomorphologiques :

- * La plaine du Lac Tchad,
- * La plaine des "piedmonts", limitée à l'Ouest par les Monts Mandara, à l'Est et au Nord par le grand cordon dunaire et au Sud par la pénéplaine cristalline de Kaélé - Mindif,

* Les Monts Mandara allongés Nord-Sud et chevauchant la frontière nigérienne,

* La pénéplaine à inselbergs de Kaélé-Guider-Mindif, limitée au Nord par les Monts Mandara et au Sud par la frontière tchadienne,

* La cuvette de la Bénoué, qui se relève lentement de part et d'autre de la gouttière creusée par le fleuve du même nom,

* Les montagnes de POLI, constituées de deux grands ensembles de massifs : ceux de POLI proprement dit, qui sont annulaires et ceux des Monts Atlantika, situés sur la rive gauche du Faro.

1.1.3. DONNEES HYDROGRAPHIQUES

1.1.3.1. Contexte général

Le territoire Camerounais est constitué de cinq grands bassins versants hydrologiques : le bassin du Lac Tchad à l'extrême Nord du pays et à l'Est de l'Adamaoua, le bassin du Niger qui est situé au Nord et au Nord-Ouest, le bassin de la Sanaga situé au Centre, le bassin des fleuves côtiers situé au Sud-Ouest et enfin, le bassin du Congo au Sud-Est (fig 1.3.).

1.1.3.1.1. Le bassin du Lac Tchad

Il est drainé par deux importants fleuves :

* Le Logone qui prend sa source dans l'Adamaoua sous le nom de la Vina du Nord. Après la confluence de ce dernier avec la Mbéré située plus au Sud, le Logone a un parcours sinueux en République Centrafricaine. Il retrouve la frontière camerounaise au niveau du "bec de canard".

* Le Chari, quant à lui, prend sa source en Centrafrique. La confluence de ces deux fleuves se situe en territoire camerounais.

1.1.3.1.2. Le bassin du Niger

Le collecteur principal de ce bassin en territoire camerounais est la Bénoué. Ce fleuve prend sa source dans l'Adamaoua. Après un parcours Nord-Sud aux environs du 14^e méridien, la Bénoué s'étale en débouchant dans la plaine alluviale. Cette plaine commence à une dizaine de kilomètres en aval du pont de BOUKMA. Après la confluence avec le Mayo LOUTI, la Bénoué adopte un parcours sensiblement E-W ; puis elle emprunte une dépression qui longe la frontière occidentale du Cameroun, en direction du Sud-Ouest, pour rejoindre le fleuve NIGER dont elle constitue l'affluent de rive gauche le plus important.

1.1.3.1.3. Le bassin de la Sanaga

La Sanaga est le fleuve le plus long et le plus important du pays. La grande étendue de son bassin versant, les débits élevés et pérennes de ce fleuve expliquent l'existence de plusieurs barrages hydroélectriques et stations limnimétriques (18 en 1982), le long de son cours. Elle prend sa source, ainsi que tous ses affluents de rive droite, dans l'Adamaoua. Après sa confluence avec le MBAM, elle a un parcours ENE-WSW jusqu'à l'océan atlantique.

1.1.3.1.4. Le bassin des fleuves côtiers

Ce bassin est en réalité constitué de deux sous-bassins séparés par l'exutoire du bassin versant de la Sanaga.

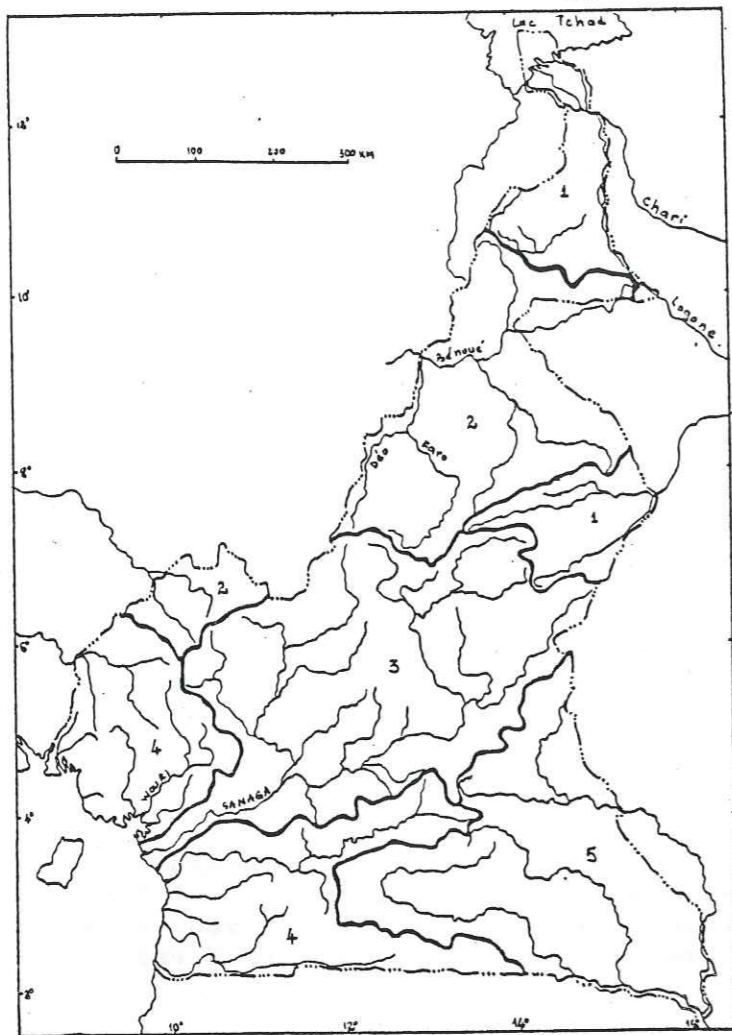
Le sous-bassin du Sud-Ouest (rive droite de la Sanaga). Il est drainé d'une part par des rivières à exutoires situées sur la partie camerounaise de la côte atlantique (Wouri, Moungo, etc...) et d'autre part, par des rivières qui ne rejoignent la côte atlantique qu'après un parcours en territoire nigérien (Cross River, Munayo, etc...).

Le sous-bassin du Sud (rive gauche de la Sanaga) est drainé par plusieurs rivières ayant des cours pratiquement E-W. Toutes ces rivières se jettent directement dans l'océan et le plus important (en terme de débits) d'entre eux est le Nyong.

1.1.3.1.5. Le bassin du Congo

Seuls les cours supérieurs des fleuves drainant ce bassin versant se situent dans le territoire Camerounais. Si on considère la confluence située sur le 16^e méridien et sur la frontière Cameroun-Congo, le réseau hydrographique est constitué par : le Dja, la Boumba et Ngoko, la Doumé qui coulent en totalité au Cameroun, et la Kadeï, qui rejoint cet exutoire après un détour en République Centrafricaine, sous le nom de Sangha.

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



BASSINS VERSANTS

- 1 - DU LAC TCHAD
- 2 - DU NIGER
- 3 - DE LA SANAGA
- 4 - DES FLEUVES COTIERS
- 5 - DU CONGO

Fig 1.3. : Carte de situation des bassins hydrographiques du CAMEROUN

1.1.3.2. Hydrographie de la Vallée de la Bénoué

1.1.3.2.1. Introduction

Dans nos travaux, nous avons considéré la confluence Bénoué -Faro (168 m d'altitude) comme étant l'origine zéro du réseau hydrographique des deux fleuves. En fonction de cet exutoire, le bassin versant de la Bénoué en territoire camerounais est compris entre les latitudes 7°30' et 10°45' Nord et les longitudes 13° et 15°45' Est ; celui du Faro, quant à lui, est délimité par les latitudes 6°45' et 9°30' Nord et les longitudes 11°30' et 13°20'. Assemblés, les deux bassins versants s'inscrivent dans une maille carrée de quatre degrés (fig 1.4.).

Le secteur de POLI qui fait l'objet de notre étude appartient entièrement aux bassins de la Bénoué et de son principal affluent de rive gauche, le Faro. La ligne de partage des eaux traverse la zone d'étude du Sud au Nord ; d'abord subaxiale dans la partie méridionale du massif de POLI, elle gagne ensuite le coin Nord-Est.

La connaissance de l'hydrologie de notre secteur passant par celle des deux importants bassins sus-mentionnés, nous nous proposons de présenter une brève description de celle-ci.

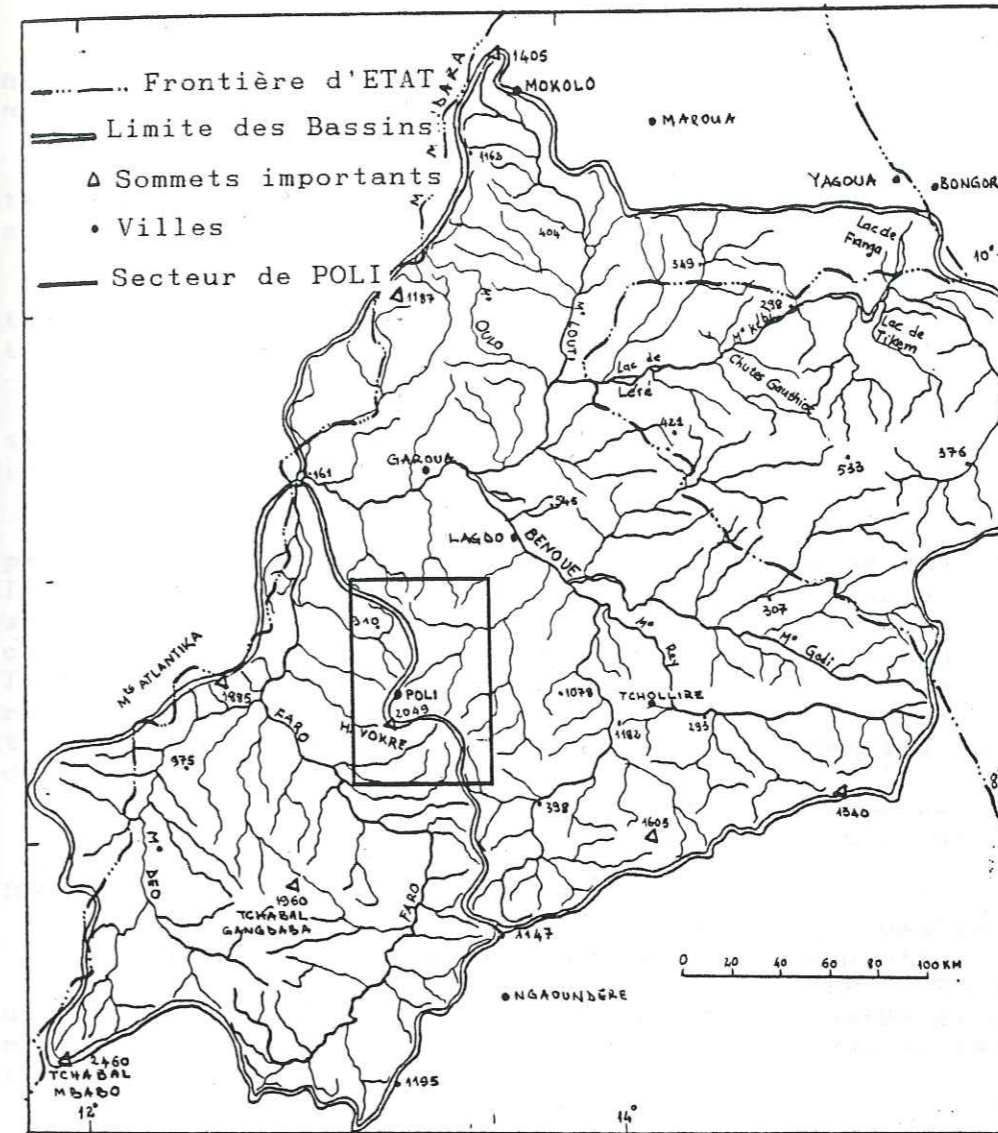


fig 1.4. : Carte de situation du secteur de POLI dans les bassins versants du FARO et de la BENOUE

1.1.3.2.2. Le bassin de la Bénoué

Il est limité au Sud par le plateau de l'Adamaoua dont il draine une partie des reliefs Nord ; au Nord, les Monts Mandara (1 405 m) et la cuvette tchadienne limitent ce vaste bassin ; à l'Ouest, les limites coïncident avec la ligne de partage des eaux du bassin du Faro. Les reliefs-frontières sont, du Sud au Nord, les Hossérés PANGOUL (1 125 m), DOUMBOULKO (1 160 m), RIGA (717 m), BORONGO (683 m). La limite Est, moins précise, inclue les eaux de la République du Tchad, au Sud du "bec de canard". Cette limite rejoint ensuite l'Adamaoua, séparant les eaux de la BENOUE de celles de la VINA du Nord.

a) Le relief :

Le bassin de la BENOUE présente des reliefs très variés. J.C. OLIVRY (1979) y distingue cinq grandes unités :

- 1/ Les hautes régions de l'ADAMAOUA (800 - 1 600 m au Mont WAL),
- 2/ La zone de vallonnements située entre l'Adamaoua et la plaine de la BENOUE (800 - 200 m),
- 3/ Les régions de vallonnements du Nord de la BENOUE et du Mayo KEBI (400 - 200 m),
- 4/ La vallée du KEBI proprement dite, située en République du Tchad,
- 5/ Le Massif des Monts Mandara au Nord, avec les pointements volcaniques des KAPSIKIS,

b) Le Chevelu hydrographique :

Le réseau hydrographique de la BENOUE est constitué essentiellement des réserves de deux bassins secondaires :

- * les sous-bassins de la Bénoué au Sud,
- * le sous-bassin du Mayo Kébi au Nord et au Nord-Est.

Ces deux fleuves confluent en amont de GAROUA. Entre cette confluence et l'exutoire constituée par la confluence BENOUE -FARO, ce fleuve ne reçoit que quatre affluents mineurs (Mayos GOULOJGO et TIEL en rive droite, Mayos BINOSSI et DOUKA en rive gauche).

b.1. Le sous-bassin de la BENOUE :

La BENOUE naît sur le rebord septentrional du plateau de l'Adamaoua, à 1 300 m d'altitude, au TCHABAL AMADOU, à l'Ouest de la route NGAOUNDERE-GAROUA. Elle descend en pentes très fortes la falaise pour couler, au niveau de MBE, dans la pénélaine de basse altitude (410 m). Ce fleuve débouche, à la sortie du Parc National de la Bénoué, dans une large plaine alluviale et n'est plus qu'à 220 m d'altitude. Au confluent du Mayo REY, l'altitude 200 m est atteinte ; le fleuve adopte un tracé NW qu'il conservera jusqu'à son confluent avec le Mayo KEBI. Les affluents les plus importants sont :

- en rive droite, d'amont en aval, le Mayo REY et le Mayo GODI,
- en rive gauche, le Mayo MBAY.

Le profil en long de ce cours d'eau est très loin de l'équilibre (fig 1.5.). On peut y distinguer trois tronçons :

- La Haute BENOUE (1 300 - 450 m) : les pentes sont très fortes et l'action érosive du fleuve très considérable,
- La Moyenne BENOUE (450 - 200 m) : les pentes sont moins fortes (0,2 ‰) et le cours d'eau présente de très larges plaines de débordement,
- La Basse BENOUE (200 - 168 m) : les pentes ne sont plus que de 9 cm/km et le fleuve est navigable sur environ 200 km.

Le Mayo KEBI prend sa source près de GABAL, à un peu plus de 400 m d'altitude. Il est alors appelé le Mayo KABIA. Après plusieurs changements de directions d'écoulements (respectivement Nord-Est puis Nord-Ouest), la KABIA s'épale en un chapelet de zones marécageuses continues. A la sortie du Lac de TIKEM, le cours d'eau prend le nom de Mayo KEBI. Il adopte alors une direction WSW et sa pente moyenne est de 2 ‰. Il rentre en territoire camerounais aux pieds du Hosséré KATIAU, à la côte 220, le Mayo KEBI reçoit une trentaine d'affluents dont les plus importants sont :

- en rive droite, d'amont en aval, les Mayos BINDER, LOUTI et OULO,
- en rive gauche, les Mayos DALA, EL DUALA.

Comme la BENOUE, le profil en long de ce fleuve est aussi loin de l'équilibre. On peut y distinguer deux tronçons séparés par les chutes de GAUTHIOT situées en territoire tchadien :

- le KEBI supérieur, en amont de ces chutes, présente une pente moyenne assez forte (0,07 ‰) malgré une relative baisse de celle-ci au niveau de la zone de capture du LOGONE. A la sortie du Lac de TIKEM, la pente augmente nettement et atteint des valeurs voisines de 2 ‰ à l'approche des chutes de GAUTHIOT ; ces chutes ont une hauteur de 45 m et sont propices à des aménagements hydroélectriques : ROCHE (1963), BILLON (1965), CALLEDE (1966) ;
- le KEBI inférieur : en aval des chutes de GAUTHIOT, le KEBI voit sa pente diminuer rapidement et sa plaine alluviale s'élargir considérablement.

1.1.3.2.3. Le bassin du Mayo FARO

Ce bassin est limité au Sud et au Sud-Est par le plateau de l'Adamaoua (Hosséré TCHABAL MBADO 2 460 m). Au Nord-Est et au Nord par le bassin de la BENOUE décrit ci-dessus. Au Nord-Ouest par les Monts ATLANTIKA. Au Sud-Ouest, les limites du bassin versant coïncident avec la frontière Nigéro-Camerounaise (à l'exception de la rive gauche du Mayo Déo).

a) Le relief :

Il est très abrupt et présente de grandes variations de niveaux sur de courtes distances. On peut y distinguer :

1/ la tranche à 2 000 m et plus qui se retrouve au Sud du bassin et dans les Monts de POLI au Hosséré VOKRE,

2/ La surface à 1 200 m. Elle est représentée aux Monts ATLANTIKA, sur le plateau de l'ADAMAOUA, et dans les massifs de POLI. Le FARO prend sa source à cette altitude.

3/ La surface à 750 m se retrouve au sein des trois unités sus-citées, mais aussi au Nord-Est des montagnes de POLI.

4/ La tranche à 500 m constitue les basses terres. Elle occupe les vastes espaces tabulaires existants entre les hauts sommets. La quasi-totalité des cuirasses latéritiques du bassin versant se situe dans cette tranche d'altitude.

5/ La tranche à 300 m et moins constitue la surface d'écoulement des eaux. Le niveau le plus bas est situé à l'exécutoire du bassin, à 168 m d'altitude.

b) Le chevelu hydrographique :

Le Mayo Faro prend sa source vers 1 500 m d'altitude, en plein coeur de l'ADAMAOUA, dans la région de TIGNERE. Dès les premiers kilomètres de son parcours, les pentes sont très fortes. La valeur moyenne est de 1,1 ‰. Outre les fortes pentes en début de bassin, on observe des pentes élevées aux différents décrochements entre les plateaux successifs. Au cours de sa descente de l'ADAMAOUA, le FARO a reçu en rive gauche la MERE qui draine les flancs Sud et Est du TCHABAL GANGDABA (1960 m). Dans la pénélaine, les pentes baissent et il reçoit les Mayo BIGOE et LIFE issus des flancs Nord du GANGDABA. Le confluent du FARO et du DEO est à 257 m d'altitude, en amont de TCHAMBA. Après cette confluence, le Mayo FARO adopte un tracé subméridien et s'étale dans une vaste plaine alluviale. Son lit présente alors, par endroits, des largeurs voisines de 7 kilomètres.

Le profil en long du Mayo FARO est encore plus loin de l'équilibre que ceux de la BENOUE et du KEBI. Ce caractère est lié à la répartition altimétrique très vaste des reliefs (168 m à l'exutoire pour 2 460 m au point le plus haut). Sur ce profil, nous pouvons distinguer deux tronçons :

* Le FARO supérieur (1 500 - 300 m) : les pentes sont très fortes. On note des valeurs moyennes de 7,08 ‰ avant la réserve des hippopotames et de 1,6 ‰ entre cette réserve et le débouché du FARO dans la plaine alluviale. Ces pentes tombent à 1 ‰ entre la confluence du Mayo BANTADJE et celle du Mayo DEO.

* Le FARO inférieur : la pente n'est plus qu'à 0,5 ‰. Le FARO s'étale en une très large plaine alluviale encombrée d'ilôts.

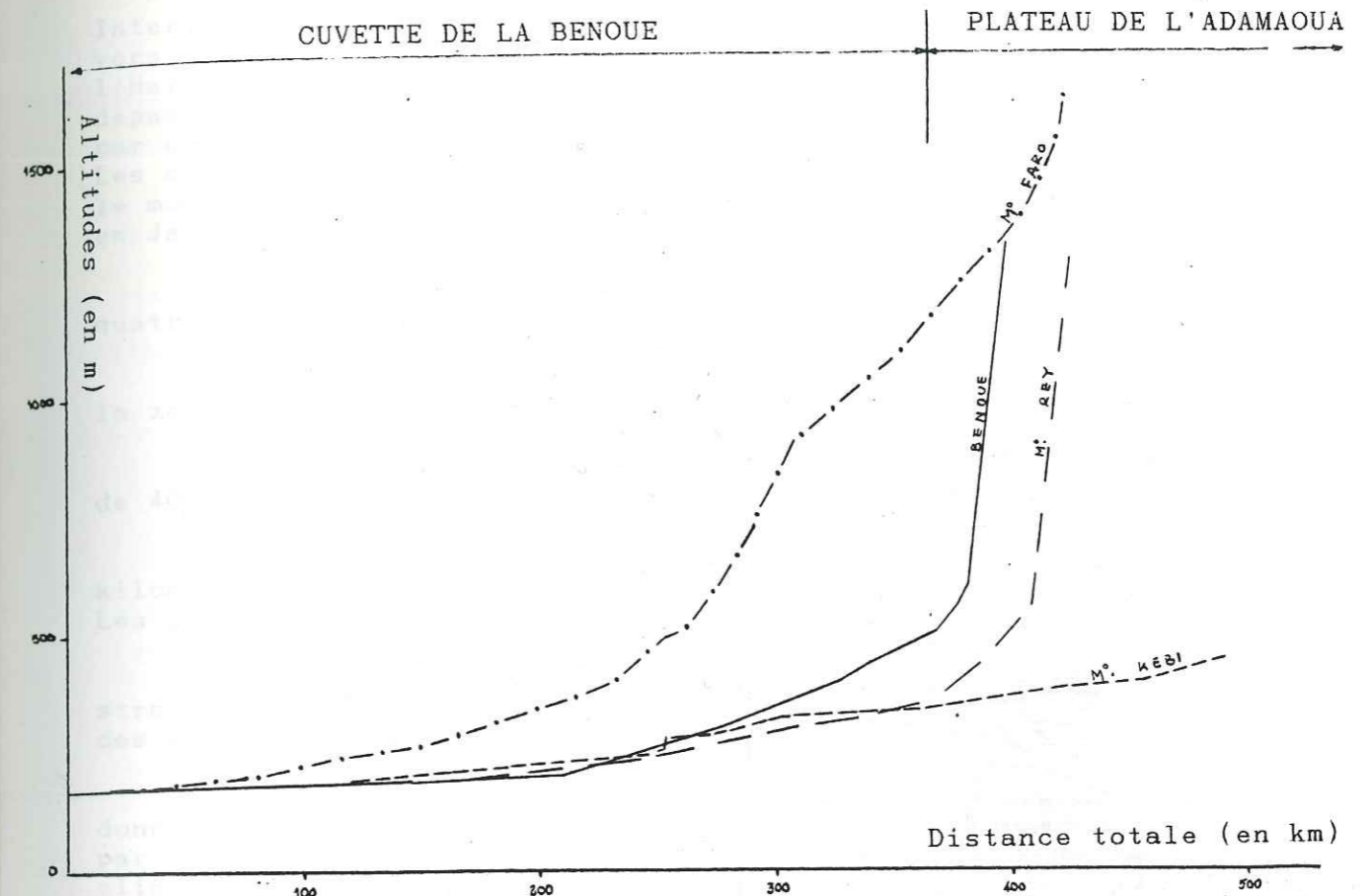


fig 1.5. : profils en long de la BENOUE et des Mayos FARO, REY et KEBI d'après les données de J.C. OLIVRY (1979)

1.1.3.3. Conclusion

Les caractéristiques hydrographiques montrent que le Nord Cameroun appartient à deux grands systèmes :

* Le système du Lac Tchad situé à l'extrême Nord du pays et présentant une apophyse à l'Est de l'Adamaoua,

* Le système du NIGER situé au Nord du Cameroun. Les deux bassins versants les plus importants de ce système sont ceux de la BENOUE et du FARO. Le profil en long de ces fleuves comporte plusieurs ensembles morphologiques d'étendue variable comprenant chacun, d'aval en amont, un élément à faible pente, un à pente moyenne (pour la Bénoué uniquement) et enfin, un à forte pente. Le secteur de POLI étant à cheval sur ces bassins, la répartition du relief et le chevelu hydrographique de ce secteur sont des répercussions de ceux décrits pour ces grands bassins versants.

1.1.4. CLIMATOLOGIE

1.1.4.1. Introduction

Des travaux de M. GENIEUX (1958), il ressort que la zonation climatique du Cameroun est gouvernée par deux masses d'air d'origine et de caractéristiques complètement différentes (fig 1.6.) :

* L'air continental, stable et très sec. Il est situé au Nord du pays et recouvre en grande partie le Sahara. Ses déplacements vers l'Equateur se traduisent par des alizés de secteur Nord-Est qui constituent l'HARMATTAN.

* L'air maritime, instable et humide dont le centre d'action est situé aux environs de l'île de Sainte Hélène. Ses déplacements en latitude se traduisent par des flux extrêmement humides, de secteur Sud-Ouest appelés la MOUSSON.

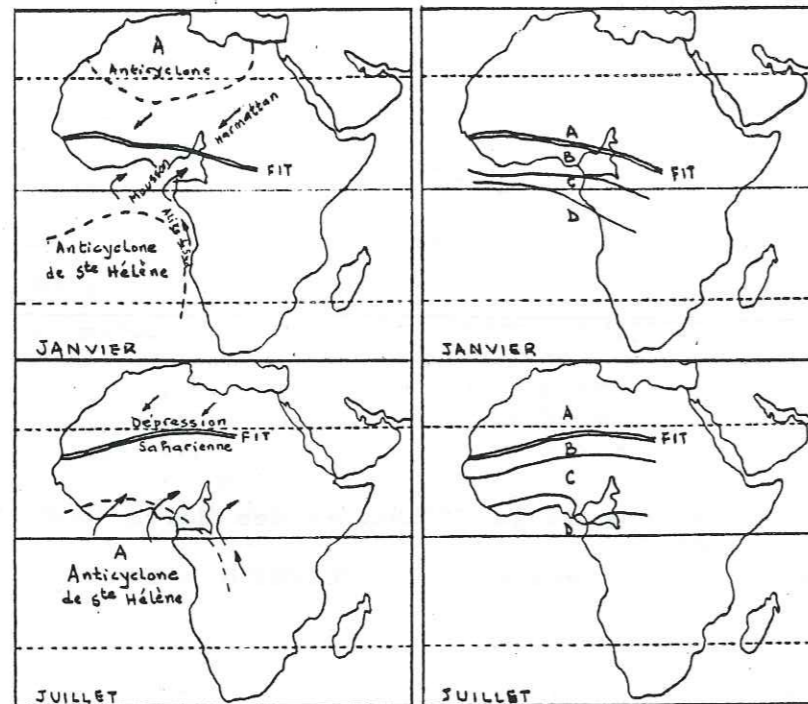


fig 1.6. : Zones météorologiques, masses d'air, FIT et oscillations saisonnières : vue en plan (GENIEUX, 1958)

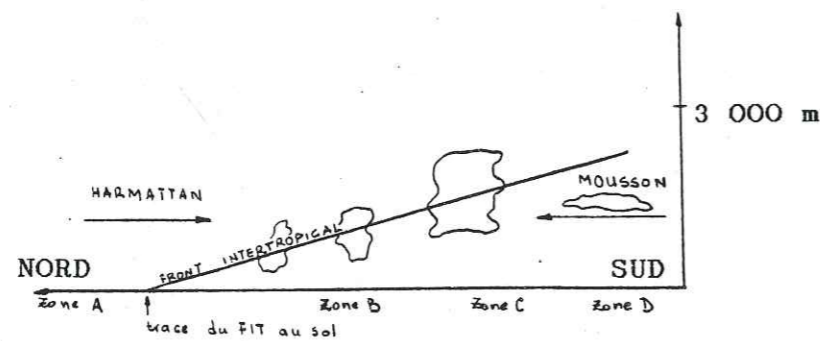


fig 1.7. : Zones météorologiques - Vue en coupe verticale (GENIEUX, 1958)

La limite de ces deux masses d'air s'appelle le Front Intertropical (F.I.T.). La surface frontale est très inclinée vers le Sud, de façon que la mousson s'avance en coin sous l'Harmattan (fig 1.7.). L'épaisseur maximale de la mousson dépasse rarement 3 000 m. Le tracé du F.I.T. au sol se traduit par une ligne qui reste approximativement orientée Est-Ouest. Les déplacements oscillatoires Nord-Sud de cette ligne suivent le mouvement apparent du soleil, entre les parallèles 4° Nord en Janvier et 20° Nord en Juillet.

Dans son oscillation saisonnière, le F.I.T. entraîne quatre zones de temps. Ce sont, du Nord au Sud (fig 1.7.) :

* La Zone A, immédiatement au Nord du F.I.T. : c'est la zone de l'Harmattan. Le ciel y est clair ou peu nuageux.

* La Zone B, immédiatement au Sud du F.I.T. est large de 400 kilomètres. Le ciel y est peu nuageux.

* La Zone C, plus au Sud-Est, large d'environ 1 200 kilomètres. Le ciel y est couvert par cumulus et cumulo-nimbus. Les pluies sont abondantes et tombent sous forme d'orages.

* La Zone D, encore plus au Sud. Les nuages y sont stratiformes, les précipitations rares à cause de la proximité des hautes pressions de l'anticyclone de Saint Hélène.

Toutes les régions du Cameroun sont, à un moment donné de l'année, intéressées par un des quatre stades définis par M. GENIEUX, et liées au dispositif Mousson-Harmattan. Le climat va donc dépendre de la progression des divers stades du F.I.T., de la durée et de l'ampleur des manifestations pluviales qui lui sont liées.

La position la plus septentrionale de la limite des zones C et D est à environ 5°30' de latitude Nord. Il y aura donc, pour la région située au Nord de ce parallèle, une saison des pluies et une saison sèche de durées inégales, tandis qu'au Sud de ce parallèle, on aura deux saisons des pluies et deux saisons sèches de durées inégales.

1.1.4.2. Les climats au Cameroun

Le Cameroun est un pays très allongé dans le sens méridien (2° - 12°30' de latitude Nord). Cet étalement en latitude commande la répartition zonale des climats et des facteurs qui le conditionnent.

De façon générale, M. GENIEUX (1958) distingue deux grandes zones climatiques : la première, localisée au Sud du Cameroun est dite équatoriale, et la seconde, qui intéresse toute la partie Nord du pays est dite tropicale. Dans le détail, ces deux grandes zones climatiques sont subdivisées chacune en quatre sous-zones (fig 1.8.).

1.1.4.2.1. Le climat Equatorial

Il règle globalement au Sud du parallèle 5°30' Nord. On y distingue :

- * Le sous-climat maritime de la région côtière Sud (CAMPO),
- * Le sous-climat maritime pseudo-tropical de la région côtière Nord (DOUALA),
- * Le sous-climat forestier de la région Sud (YAOUNDE) au Sud du parallèle 4°15' Nord,
- * Le sous-climat de transition de la région des savanes (BERTOUA) au Nord du parallèle 4°15' Nord.

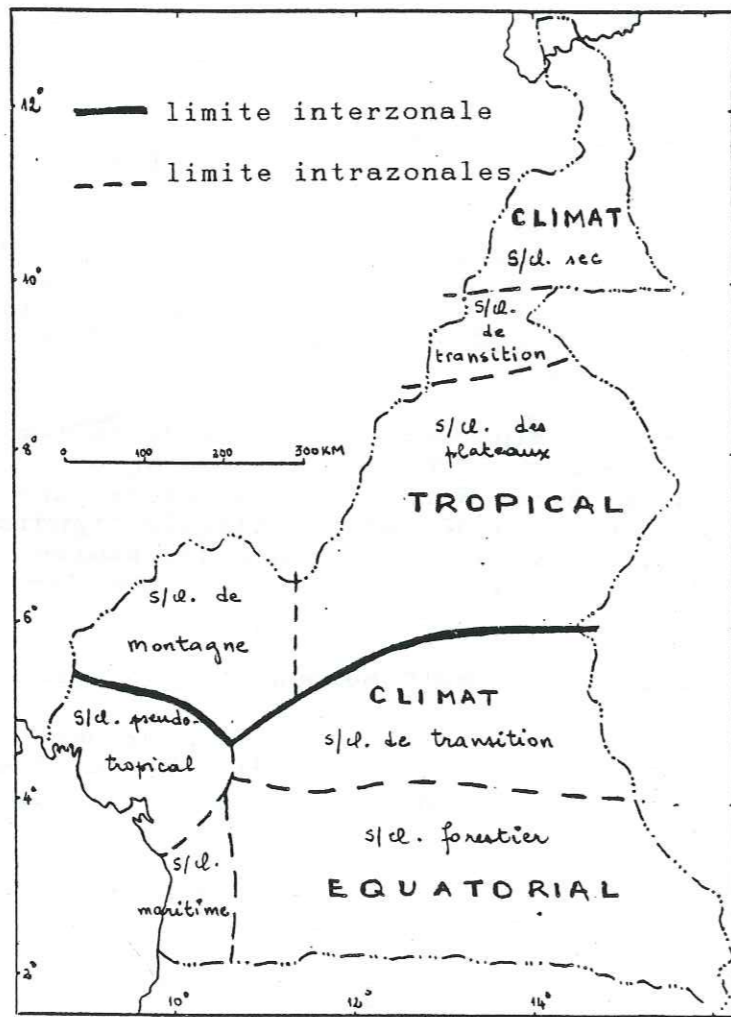


fig 1.8. : Les zones climatiques du CAMEROUN (GENIEUX, 1958)

1.1.4.2.2. Le climat tropical

Il est localisé au Nord du parallèle 5°30' Nord et comprend, du Sud au Nord :

- * Le sous-climat de montagne de la région montagneuse de l'Ouest (DSCHANG),
- * Le sous-climat des plateaux de la région de l'Adamaoua (NGAOUNDERE) limité au Nord par le parallèle 9° Nord,
- * Le sous-climat de transition de la région de la Bénoué (GARAOUA) limité au Nord par le parallèle 10° Nord,
- * Le sous-climat sec de la région de l'extrême Nord (MARAOUA), au Nord du 10° parallèle Nord.

1.1.4.3. Principaux aspects de la climatologie du Nord du Cameroun

1.1.4.3.1. Introduction

Pour traiter des données climatologiques du Nord-Cameroun, nous adopterons, dans ce qui va suivre, la terminologie de J.B. SUCHEL (1972) qui regroupe sous le vocable "Nord-Cameroun", la partie du territoire qui s'étend du Lac Tchad au rebord septentrional de l'Adamaoua. La nomenclature des zones climatiques sera donc la sienne, car plus récente.

Le climat de cette région, qui s'étire sur plus de 5° de latitude, est d'abord caractérisé par une saison sèche particulièrement rigoureuse. Selon les travaux de J.B. SUCHEL, on distingue, du Sud au Nord, les zones climatiques suivantes

- * Une zone à climat soudanien de nuance humide,
- * Une zone à climat soudanien franc,
- * Une zone à climat soudanien de tendance sèche,
- * Une zone à climat sahélien.

a) La zone soudanienne à tendance humide :

Elle est située entre le rebord septentrional de l'Adamaoua et le parallèle de REY BOUBA qui marque approximativement la limite Sud de la basse plaine de la BENOUE. Dans cette zone, la saison des pluies s'étend sur sept mois et la hauteur de pluies annuelles est relativement forte. Les oppositions de reliefs ont une ampleur qui amène à distinguer un type dépressionnaire à nuance déjà sèche (TOUBORO) et un type submontagnard à nuance nettement humide (TCHAMBA).

b) La zone soudanienne franche :

Elle correspond au bassin de la BENOUE, au Sud des Monts Mandara. La saison sèche dure six mois alors que les maximums pluviaux mensuels sont observés en Août-Septembre. Les conditions topographiques locales (inselbergs, vallées, etc...) expliquent les variations relativement importantes de la pluviométrie enregistrée entre les différents secteurs de cette région.

c) La zone soudanienne à tendance sèche :

Cette zone s'étend entre la cuvette de la Bénoué et le 11ème parallèle. La saison sèche dure sept mois dont cinq avec une pluviométrie nulle. Le maximum pluvieux est observé au mois de Septembre. A l'Ouest, les monts Mandara modifient ce climat et sont à l'origine d'un sous-climat local appelé sous-climat soudanien de nuance montagnarde.

d) La zone sahélienne :

Elle concerne l'extrême Nord du Cameroun, entre le 11ème et le 13ème parallèles. La saison sèche, extrêmement longue, comporte six mois à pluviosité nulle. Les 2/3 des pluies sont concentrés aux mois de Juillet-Août.

1.1.4.3.2. Principaux paramètres climatiques du Nord Cameroun

Le réseau de stations d'observation est relativement peu dense au Nord-Cameroun. Dans bien des cas, les séries de relevés sont de qualité médiocre, de durée insuffisante et présentent des lacunes. Pour le tracé des isohyètes, nous avons été amené à utiliser les relevés des stations de pays voisins, notamment ceux du Tchad et du Nigéria.

Le tableau 1.1 donne les caractéristiques des stations utilisées et les types de paramètres mesurés à ces stations et pris en compte dans cette étude.

| STATIONS | PAYS | LATI-TUDE NORD | LONGI-TUDE EST | ALTI-TUDE EN M | PARAMETRES UTILISES |
|------------------|------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| BAIBOKOUM | T | 7° 44 | 15° 41 | 520 | P |
| BONGOR | T | 10° 17 | 15° 22 | 328 | P T |
| BOURRAH | C | 10° 15 | 13° 31 | 780 | P |
| DOUKOULA | C | 10° 07 | 14° 58 | 340 | P T |
| GARAOUA METEO | C | 9° 20 | 13° 23 | 249 | P T Hr Ev I Tv |
| GARAOUA VILLE | C | 9° 18 | 13° 24 | 213 | P T Hr Ev I Tv |
| GODOLA | T | 10° 42 | 14° 16 | 420 | P |
| GUETALE | T | 10° 53 | 13° 54 | 490 | P |
| GUIDER | C | 9° 56 | 13° 57 | 340 | P T |
| KAELE | C | 10° 05 | 14° 27 | 387 | P |
| LERE | T | 9° 39 | 14° 13 | 265 | P |
| MAROUA AGRI | C | 10° 34 | 14° 18 | 400 | P T Hr Ev I Tv |
| MARAOU SALAK | C | 10° 28 | 14° 15 | 403 | P T Hr Ev I Tv |
| MOKOLO | C | 10° 45 | 13° 49 | 770 | P |
| MORA | C | 11° 03 | 14° 08 | 500 | P |
| MOUNDOU | T | 8° 37 | 16° 04 | 422 | P |
| NDJAMENA | T | 12° 08 | 15° 02 | 295 | P T Hr |
| NGAOUNDERE | C | 7° 17 | 13° 19 | 1119 | P T Hr Ev I Tv |
| PALA | T | 9° 22 | 14° 55 | 464 | P |
| POLI | C | 8° 29 | 13° 15 | 436 | P T Hr Ev I Tv |
| POUSS | T | 10° 51 | 15° 04 | 312 | P |
| REY BOUBA | C | 8° 42 | 14° 08 | 235 | P |
| SAFAIE (DJELEPO) | C | 8° 35 | 12° 50 | 250 | P |
| TCHOLLIRE | C | 8° 24 | 14° 17 | 360 | P T Hr Ev I Tv |
| TOUBORO | C | 7° 47 | 15° 21 | 500 | P |
| YAGOUA | C | 10° 21 | 15° 17 | 330 | P |
| YOLA | N | 9° 12 | 12° 29 | 174 | P |

PAYS :

T : TCHAD
C : CAMEROUN
N : NIGERIA

PARAMETRES :

P : pluviométrie
T : température
Hr : humidité relative
Ev : évaporation (PICHE et BAC A)
I : insolation
Tv : tension de vapeur

Tableau 1.1. : Situation géographique des stations météorologiques et paramètres étudiés

1.1.4.3.2.1. Les précipitations :

a) Les précipitations annuelles :

Les moyennes interannuelles, calculées sur les périodes d'observation correspondantes, sont indiquées par les tableaux 1.2., 1.3. et 1.4.

L'observation de ces valeurs nous montre que les hauteurs moyennes des précipitations diminuent du Sud au Nord. En fait, le caractère sec et aride qui caractérise le Nord-Cameroun, tient surtout à la longueur de la saison sèche augmentant du Sud au Nord.

L'effet d'altitude, dû à une variation orographique très prononcée, se fait particulièrement ressentir au Nord du pays. En effet, l'observation de l'esquisse des isohyètes interannuelles (fig 1.9.) montre que les massifs sont les plus arrosés. C'est le cas du plateau de l'Adamaoua, des massifs de POLI, des Monts ATLANTIKA et des Monts Mandara. En revanche, les cuvettes profondément entaillées sont déficitaires : c'est le cas de la vallée du Mayo KEBI, de la vallée de la BENOUE et de la cuvette tchadienne, qui constituent une zone d'abri des Monts Mandara ; cette chaîne montagneuse, à cheval sur la frontière Camerouno-Nigérienne et orientée NNE-SSW, gêne le déplacement de l'air humide en provenance de l'océan.

| POSTE | NOMBRE ANNEES | P (mm) | POSTE | NOMBRE ANNEES | P (mm) |
|----------|---------------|--------|--------|---------------|--------|
| KOUSSERI | 34 | 550 | GAROUA | 42 | 1 000 |
| MORA | 28 | 780 | POLI | 26 | 1 450 |
| MAROUA | 15 | 980 | | | |

TABLEAU 1.2. : Moyenne des précipitations annuelles d'après B. TILLEMENT (1972)

| POSTE | NOMBRE ANNEES | P (mm) | POSTE | NOMBRE ANNEES | P (mm) |
|--------------|---------------|--------|---------------|---------------|--------|
| NDJAMENA | 36 | 634 | GUIDER | 36 | 929 |
| KOUSSERI | 36 | 541 | GAROUA METEO | 20 | 1 060 |
| MORA | 30 | 742 | GAROUA VILLE | 45 | 1 034 |
| GUETALE | 23 | 838 | YOLA | 35 | 991 |
| POUSS | 9 | 777 | LERE | 20 | 831 |
| GODOLA | 8 | 882 | PALA | 21 | 1 065 |
| MOKOLO | 21 | 974 | REY BOUBA | 11 | 1 177 |
| MAROUA AGRI | 40 | 805 | TCHOLLIRE | 16 | 1 391 |
| MAROUA SALAK | 18 | 877 | SAFAIEDJELEPO | 8 | 1 175 |
| YAGOUA | 36 | 822 | MOUNDOU | 34 | 1 207 |
| BONGOR | 20 | 882 | BAIBOKOUM | 28 | 1 537 |
| DOUKOULA | 15 | 892 | TOUBORO | 14 | 1 350 |
| KAELE | 19 | 831 | POLI | 36 | 1 448 |
| BOURRAH | 12 | 1 085 | NGAOUNDERE | 44 | 1 577 |

TABLEAU 1.3. : Moyenne des précipitations annuelles (J.C. OLIVRY, 1974)

Tableau 1.5. MOYENNES MOBILES SUR 5 ANS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES (en mm)

| | 1931 à 1935 | 1936 à 1940 | 1941 à 1945 | 1946 à 1950 | 1951 à 1955 | 1956 à 1960 | 1960 à 1965 | 1966 à 1970 | 1971 à 1975 | 1976 à 1980 | 1981 à 1985 | Moyennes inter-annuelles |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| BA ILLI | - | - | - | 996.0 | 965.0 | 835.2 | 872.4 | 827.8 | 807.2 | 670.5 | - | 853.4 |
| BANYO | 1719.0 | 1666.0 | 1760.4 | 1477.0 | 2065.7 | 1858.0 | 1825.8 | 1655.4 | 1755.0 | - | - | 1753.5 |
| BONGOR | - | - | - | - | 916.3 | 881.0 | 801.4 | 904.4 | 840.2 | 811.3 | - | 859.1 |
| DOUKOULA | - | - | - | - | 1012.6 | 834.7 | 881.5 | 839.2 | 759.6 | 706.0 | 713.0 | 820.9 |
| FIANGA | - | - | - | 748.0 | 961.2 | 1012.0 | 866.4 | 882.4 | 785.8 | 824.0 | - | 868.5 |
| GAROUA | - | - | - | - | 1005.2 | 1095.6 | 1074.0 | 1060.0 | 1105.6 | 988.8 | - | 1054.8 |
| GUETALE | - | - | - | 929.0 | 886.8 | 830.2 | 797.0 | 778.5 | 1141.0 | 830.2 | - | 884.4 |
| GUIDER | 776.0 | 949.6 | 869.8 | 824.6 | 1068.8 | 1008.6 | 952.0 | 919.8 | 1032.0 | 1052.5 | - | 945.3 |
| KAELE | - | - | 508.5 | 767.8 | 1004.6 | 945.0 | 920.0 | 713.4 | 761.4 | 855.2 | 681.3 | 795.2 |
| KELO | - | - | - | 1100.8 | 990.8 | 1097.8 | 1053.6 | 1026.6 | 992.4 | 921.5 | - | 1026.2 |
| LAM | - | - | - | - | 965.5 | 930.4 | 952.4 | 809.4 | 906.8 | 966.2 | 754.6 | 897.8 |
| LERE | - | - | - | 909.8 | 779.2 | 879.8 | 780.6 | 798.4 | 880.6 | 819.0 | - | 835.3 |
| MADA | - | - | - | - | 1075.5 | 877.4 | 1025.6 | 893.7 | 864.4 | 887.2 | 757.0 | 911.3 |
| MAROUA AGRO. | - | - | - | 785.5 | 847.0 | 764.2 | 951.0 | 757.5 | 716.0 | - | - | 803.5 |
| MAROUA SALAK | - | - | - | - | 806.0 | 1021.0 | 807.4 | 840.0 | 783.0 | 840.8 | 712.6 | 830.1 |
| MASSENYA | - | - | - | 674.5 | 777.6 | 699.5 | 649.0 | 657.0 | 477.6 | - | - | 655.7 |
| MEIGAEGA | 1738.0 | 1356.2 | 1349.2 | 1495.6 | 1699.0 | 1652.0 | 1760.8 | 1816.2 | 1501.8 | 1567.6 | 1375.3 | 1573.7 |
| NDJAMENA | 594.5 | 754.4 | 612.6 | 615.0 | 693.0 | 681.6 | 566.2 | 576.2 | 502.2 | 618.6 | - | 621.4 |
| NGAOUNDERE | 1854.0 | 1403.2 | 1395.8 | 1513.2 | 1577.6 | 1707.2 | 1639.2 | 1427.2 | 1502.8 | 1547.4 | 1475.6 | 1549.3 |
| PALA | - | - | - | 1119.0 | 1047.2 | 1040.4 | 1093.2 | 1005.6 | 1001.0 | 909.3 | 906.6 | 1015.2 |
| POLI | 1437.0 | 1480.0 | 1388.0 | 1435.0 | 1311.7 | 1530.4 | 1615.4 | 1627.0 | 1506.0 | 1474.8 | 1291.3 | 1463.3 |
| POUSS | - | - | - | - | 871.6 | 758.5 | 683.0 | - | 1365.0 | 1196.0 | - | 771.0 |
| TCHOLLIRE | - | - | - | - | 1463.5 | 1313.2 | 1435.0 | 1191.0 | 1506.5 | 1367.8 | 1583.6 | 1318.8 |
| TIGNERE | - | - | - | - | - | 1606.8 | 1412.0 | 1784.5 | 1675.5 | 1840.8 | 1624.3 | 1444.6 |
| TIBATI | 1703.0 | 1732.3 | 1796.4 | 1672.5 | 1715.2 | 1674.4 | 1806.0 | 1784.5 | 1675.5 | 1840.8 | 1624.3 | 1729.5 |
| TIKEM | - | - | 740.0 | 834.2 | 973.8 | 927.8 | 870.0 | 867.4 | 848.0 | 748.0 | - | 851.1 |
| YAGOUA | 759.0 | 790.8 | 689.2 | 807.2 | 1035.4 | 803.4 | 857.4 | 842.0 | 755.8 | 598.2 | 699.0 | 785.2 |

Malgré les lacunes existant dans les séries, nous avons établi, pour l'ensemble des stations considérées dans le tracé des isohyètes, les moyennes mobiles sur cinq ans (tableau 1.5.). Ces moyennes sont étudiées pendant la période allant de 1931 à 1985, soit pour les cinquantes dernières années. Cette méthode d'approche nous permet de voir, station par station, l'évolution à long terme du paramètre précipitation. Nous constatons, pour la station de POLI, par exemple, que la série peut être subdivisée en trois phases :

* La première allant de 1931 à 1955. Pendant cette période, les précipitations annuelles sont assez stables et ont une valeur moyenne de 1 410 mm.

* La seconde, allant de 1956 à 1975, est caractérisée par une nette hausse des valeurs pluviométriques. La valeur moyenne est de 1 570 mm, ce qui représente un excès pluviométrique de 160 mm par rapport à la période précédente.

* La troisième et dernière tranche va de 1976 à 1985. Pendant cette période qui représente la décennie prise en compte dans nos travaux, on note une moyenne de 1 382 mm. Le déficit pluviométrique est de 188 mm par rapport à la seconde période et de 28 par rapport à la première. En moyenne, les hauteurs pluviométriques relevées à la station de POLI ont atteint les valeurs les plus basses des cinquante dernières années pendant la décennie 76-85.

Dans ses études hydrologiques du Cameroun, J.C. OLIVRY (1979) a réalisé, pour l'ensemble des stations du Nord-Cameroun, une étude statistique de la répartition des pluies. Après avoir calculé les moyennes et les écarts-types de chaque station en fonction des années respectives d'observation, cet auteur a ajusté une loi normale (loi de Laplace -Gauss) à chacune d'elles.

Les résultats sont donnés par le tableau 1.6. et les droites de HENRY correspondantes par la figure 1.10.

| STATIONS | NB | P | P | P | ECART | ANNEE | ANNEE | ANNEE | IC | CV |
|------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| | ANN | MAXI | MED | MINI | TYPE | HUMID | MOY. | SECHE | +/- | |
| | | | | | T=10A | T=10A | | T=10A | 95 | |
| MOKOLO | 21 | 1426 | 988 | 703 | 189 | 1192 | 974 | 755 | 77 | 0,174 |
| MAROUA A. | 40 | 1120 | 778 | 600 | 142 | 1003 | 805 | 613 | 45 | 0,178 |
| MAROUA S. | 18 | 1119 | 850 | 617 | 123 | 1040 | 877 | 719 | 61 | 0,140 |
| YAGOUA | 38 | 1214 | 774 | 481 | 177 | 1050 | 822 | 595 | 60 | 0,215 |
| KAELE | 29 | 1163 | 850 | 380 | 192 | 1070 | 831 | 560 | 73 | 0,230 |
| GUIDER | 38 | 1157 | 923 | 683 | 133 | 1100 | 929 | 755 | 45 | 0,143 |
| POLI | 38 | 1882 | 1486 | 1037 | 289 | 1817 | 1448 | 1075 | 98 | 0,200 |
| TCHOLLIRE | 18 | 1758 | 1419 | 922 | 216 | 1870 | 1391 | 1115 | 115 | 0,155 |
| GAROUA | 45 | 1428 | 1029 | 538 | 177 | 1284 | 1034 | 808 | 53 | 0,171 |
| NGAOUNDERE | 44 | 2229 | 1579 | 1217 | 208 | 1844 | 1577 | 1309 | 63 | 0,132 |

TABLEAU 1.6. : Répartition statistique des pluies annuelles du Nord-Cameroun

| | | | |
|--------------|--------|------------|--------|
| MAROUA SALAK | 749,9 | REY BOUBA | 1178,5 |
| KAELE | 794,5 | GODE | 1410,2 |
| GAROUA | 928,1 | TCHOLLIRE | 1408,5 |
| POLI | 1415 | NGAOUNDERE | 1501,8 |
| FIGNOLE | 1279,5 | BANYO | 1729,4 |

TABLEAU 1.4. : Moyenne des précipitations annuelles : période 76 - 85

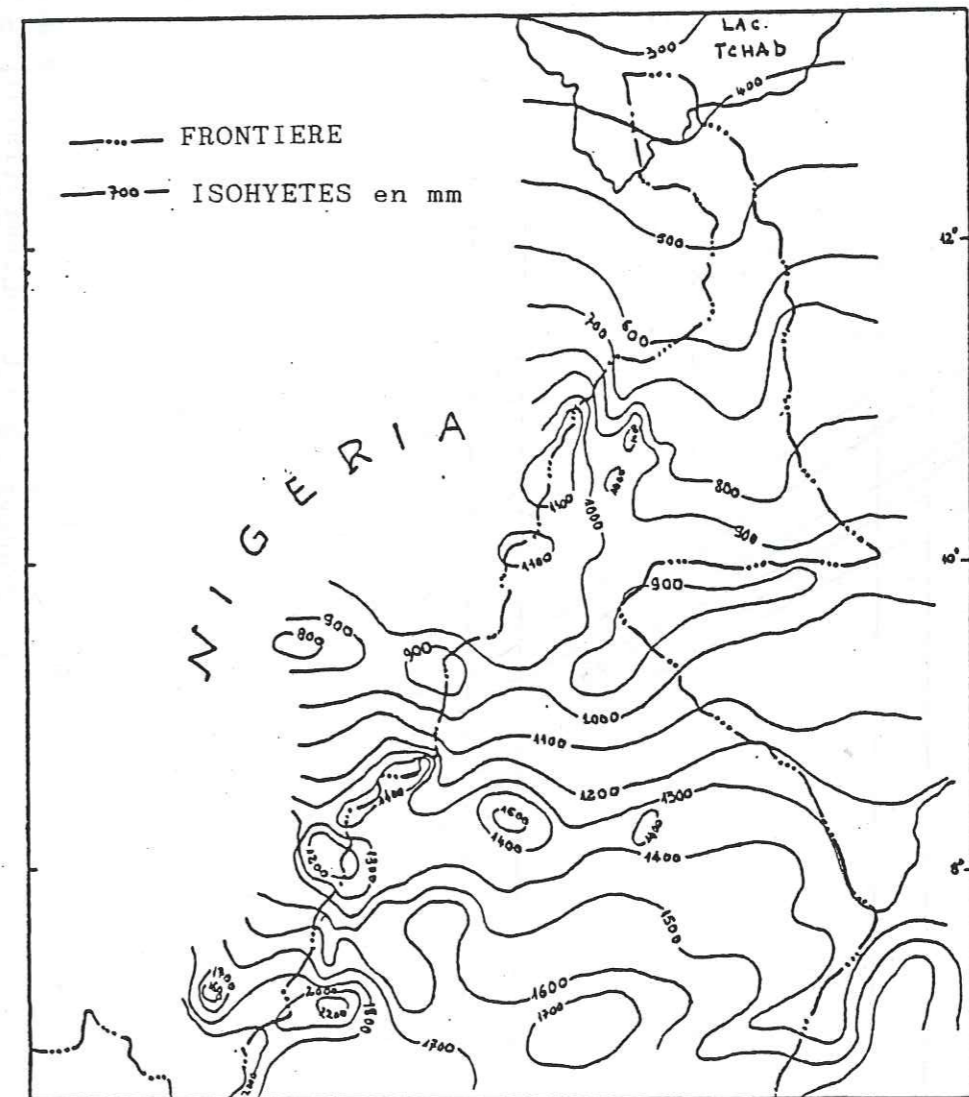


fig 1.9. : Esquisse des isohyètes interannuelles du NORD-CAMEROUN (période 1976-1985)

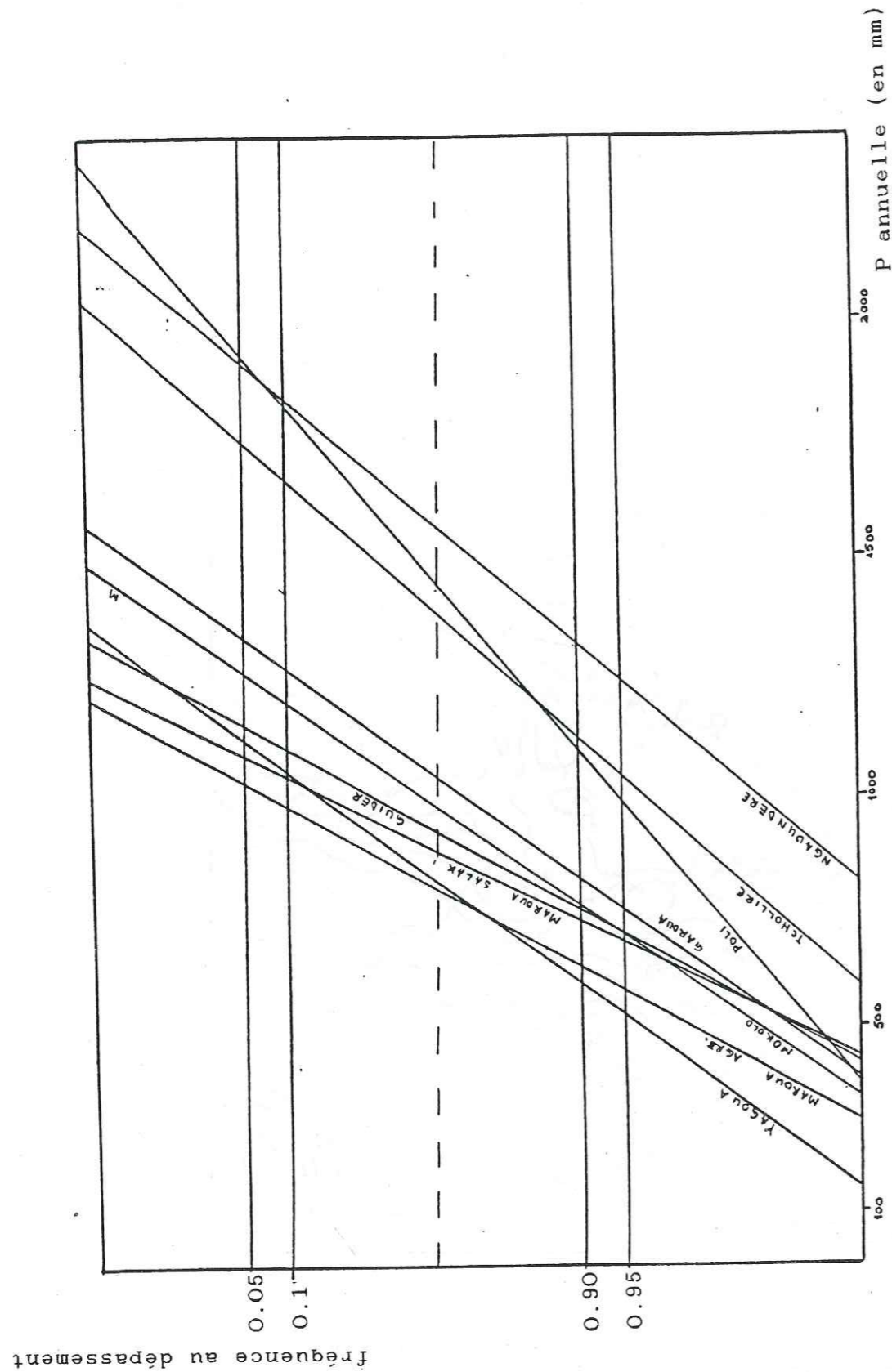


fig 1.10 : Ajustement à la loi normale des totaux pluviométriques annuels des stations du NORD-CAMEROUN D'après les données de J.C. OLIVRY (1979) (simplifiées et harmonisées)

b) Les précipitations mensuelles :

L'étude des précipitations mensuelles de la dernière décennie (1976 - 1985) confirme ce que nous avons dit plus haut, à savoir que le nombre de mois de saison sèche augmente progressivement du Sud au Nord. En effet, alors qu'à NGAOUNDERE seuls les mois de Janvier et Décembre ont des valeurs pluviométriques inférieures à 2,5 mm, à FIGNOLE, on note quatre mois à pluviométrie nulle et cinq mois à MAROUA SALAK. Le tableau 1.7. donne les valeurs moyennes des précipitations mensuelles pour la décennie considérée.

En outre, l'observation de ce tableau nous montre que les maximums pluviaux se situent en général entre les mois de Juillet et Août. Ce fait corrobore celui mis en évidence par J.C. OLIVRY (1979) par le biais du calcul des coefficients de variation des pluies mensuelles des décennies précédentes.

| | MAROUA SALAK | KAELE | GAROUA | POLI | REY BOUBA |
|--------------|-----------------|-------|--------|--------|--------------|
| JANVIER | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FEVRIER | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 |
| MARS | 1.3 | 0.4 | 0.8 | 9.2 | 8.1 |
| AVRIL | 19.2 | 22.0 | 50.1 | 83.0 | 33.0 |
| MAI | 71.1 | 82.7 | 109.3 | 201.0 | 120.2 |
| JUIN | 81.8 | 108.4 | 98.5 | 188.9 | 180.1 |
| JUILLET | 188.4 | 218.3 | 205.8 | 304.0 | 238.7 |
| AOÛT | 234.1 | 210.8 | 198.5 | 253.7 | 290.0 |
| SEPTEMBRE | 108.7 | 111.1 | 158.3 | 258.8 | 235.0 |
| OCTOBRE | 47.5 | 84.8 | 102.4 | 127.7 | 87.3 |
| NOVEMBRE | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 8.2 | 8.1 |
| DECEMBRE | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL ANNUEL | 749.8 | 794.5 | 928.1 | 1415.0 | 1178.5 |

| | FIGNOLE | GODE | TCHOL- LIRE | NGAOUN- DERE | BANYO |
|--------------|---------|--------|----------------|-----------------|--------|
| JANVIER | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.20 | 4.9 |
| FEVRIER | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.7 | 12.5 |
| MARS | 9.0 | 8.0 | 19.0 | 20.7 | 84.0 |
| AVRIL | 91.2 | 78.1 | 77.3 | 137.9 | 150.3 |
| MAI | 145.2 | 181.3 | 138.0 | 213.5 | 217.8 |
| JUIN | 180.0 | 184.1 | 195.0 | 217.2 | 235.1 |
| JUILLET | 234.8 | 232.0 | 275.5 | 291.8 | 285.1 |
| AOÛT | 292.1 | 287.2 | 307.1 | 270.5 | 293.0 |
| SEPTEMBRE | 234.4 | 291.5 | 295.2 | 210.8 | 250.4 |
| OCTOBRE | 93.0 | 134.0 | 98.1 | 131.5 | 195.8 |
| NOVEMBRE | 0.0 | 10.0 | 5.3 | 5.6 | 21.1 |
| DECEMBRE | 0.0 | 5.0 | 0.0 | tr | tr |
| TOTAL ANNUEL | 1279.5 | 1410.2 | 1408.5 | 1501.8 | 1729.4 |

TABLEAU 1.7. : Moyennes des précipitations mensuelles (en mm) (1976-1985)

1.1.4.3.2.2. Les températures :

Suivant la répartition en latitude des climats Nord-Camerounais présentée ci-dessus et en considérant les valeurs thermométriques au droit des stations, il est logique de penser que la région la plus chaude coïncide avec celle à plus basse valeur pluviométrique ; c'est-à-dire qu'elle correspond à la région typiquement sahélienne. On pourrait aussi penser que les températures annuelles décroissent du Nord au Sud. Ce schéma général est effectivement respecté mais présente des variations ponctuelles dues aux effets locaux.

De tous les facteurs susceptibles de faire varier la température, deux paraissent plus déterminants : il s'agit de l'altitude et de la latitude. Pour étudier l'influence d'un facteur de milieu sur un paramètre, il existe de nombreuses méthodes d'approche, essentiellement déterministes ou statistiques. L'approche choisie dans nos travaux est statistique : c'est celle de la régression linéaire, utilisée par J.C. OLIVRY, qui s'appuie sur le calcul et la comparaison des coefficients de variation. Les valeurs des coefficients trouvés par cet auteur pour les stations du Nord-Cameroun sont de 0,891 (altitude) et 0,786 (latitude). La comparaison de ces deux valeurs montre que l'altitude constitue le facteur local le plus déterminant de la température moyenne annuelle ; la latitude ne constitue qu'un facteur secondaire. Ce résultat s'explique par le fait que les températures enregistrées aux Monts Mandara sont plus faibles que celles des stations du bassin de la Bénoué situé plus au Sud de ces massifs.

Les températures moyennes mensuelles (tableau 1.8.) au Nord-Cameroun sont caractérisées par des variations importantes et des maximums variés. Pour les températures minimales moyennes mensuelles, le minimum est observé en Décembre-Janvier et le maximum en Avril. Les températures maximales moyennes mensuelles, quant à elles, présentent un minimum en Août et un maximum en Mars-Avril (avec un pic secondaire en Novembre).

1.1.4.3.2.3. L'humidité relative :

Le tableau 1.10 donne les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative des stations les plus représentatives du Nord-Cameroun. La période considérée est celle allant de 1961 à 1985 pour KAELE, POLI et BANYO et de 1976 à 1985 pour les autres stations. L'ensemble des stations présente des valeurs minimales d'humidité en Janvier-Février, tandis que les maximums sont atteints en Juillet-Août (pendant les mois les plus pluvieux et les moins chauds de l'année).

1.1.4.3.2.4. Insolation :

Le tableau 1.9. présente les valeurs des insolutions moyennes mensuelles, exprimées en heures, relevées aux trois stations du Nord-Cameroun où ce paramètre est régulièrement mesuré. Les maximums sont atteints au mois de Décembre, tandis que les minimums s'observent pendant le mois le plus pluvieux de l'année, c'est-à-dire en Août.

| | MAROUA SALAK | KAELE | GAROUA | POLI | N'DERE | BANYO |
|-----------|-----------------|-------|--------|------|--------|-------|
| Janvier | 17.5 | 19.2 | 17.9 | 12.2 | 10.8 | 17.3 |
| Février | 20.1 | 21.6 | 21.1 | 15.0 | 12.5 | 18.9 |
| Mars | 23.8 | 25.2 | 25.1 | 20.2 | 18.0 | 19.0 |
| Avril | 28.0 | 28.8 | 28.8 | 23.3 | 17.8 | 19.2 |
| Mai | 25.0 | 24.3 | 24.9 | 22.8 | 17.8 | 18.7 |
| Juin | 23.4 | 23.0 | 23.4 | 21.4 | 17.0 | 17.9 |
| Juillet | 22.0 | 21.9 | 22.3 | 20.8 | 18.8 | 17.7 |
| Août | 21.8 | 22.0 | 22.0 | 20.4 | 18.8 | 17.8 |
| Septembre | 21.2 | 21.5 | 21.7 | 20.0 | 18.2 | 18.8 |
| Octobre | 21.8 | 22.4 | 22.3 | 20.3 | 18.0 | 17.8 |
| Novembre | 19.9 | 21.7 | 19.2 | 15.1 | 11.8 | 15.8 |
| Décembre | 17.7 | 19.8 | 17.4 | 13.8 | 10.8 | 14.2 |

| | MAROUA SALAK | KAELE | GAROUA | POLI | N'DERE | BANYO |
|-----------|-----------------|-------|--------|------|--------|-------|
| Janvier | 24.9 | 25.9 | 28.3 | 23.8 | 20.4 | 22.8 |
| Février | 27.5 | 28.4 | 29.2 | 25.7 | 21.9 | 24.8 |
| Mars | 30.9 | 31.7 | 32.5 | 29.0 | 24.0 | 25.4 |
| Avril | 32.8 | 32.5 | 33.3 | 30.7 | 24.3 | 24.8 |
| Mai | 31.4 | 30.8 | 30.8 | 29.0 | 23.3 | 23.4 |
| Juin | 29.0 | 28.7 | 28.8 | 28.7 | 22.3 | 22.4 |
| Juillet | 28.8 | 28.8 | 28.9 | 25.4 | 21.8 | 22.0 |
| Août | 28.7 | 28.5 | 28.7 | 25.2 | 21.8 | 23.0 |
| Septembre | 28.8 | 28.8 | 27.0 | 25.5 | 22.1 | 21.8 |
| Octobre | 28.1 | 28.4 | 28.0 | 28.3 | 22.4 | 22.8 |
| Novembre | 27.1 | 28.4 | 27.8 | 24.5 | 20.8 | 22.5 |
| Décembre | 24.9 | 28.0 | 25.8 | 23.8 | 20.0 | 22.2 |

| | MAROUA SALAK | KAELE | GAROUA | POLI | N'DERE | BANYO |
|-----------|-----------------|-------|--------|------|--------|-------|
| Janvier | 32.2 | 32.0 | 34.7 | 34.8 | 30.3 | 31.3 |
| Février | 34.2 | 35.2 | 37.3 | 38.5 | 31.4 | 32.3 |
| Mars | 38.1 | 38.3 | 40.0 | 38.0 | 32.0 | 31.7 |
| Avril | 39.7 | 38.2 | 39.9 | 38.1 | 30.9 | 30.1 |
| Mai | 37.8 | 37.3 | 38.3 | 35.3 | 29.0 | 28.1 |
| Juin | 34.7 | 34.4 | 33.7 | 32.0 | 27.5 | 27.0 |
| Juillet | 31.8 | 31.2 | 31.5 | 30.2 | 28.4 | 28.2 |
| Août | 31.8 | 31.1 | 31.3 | 30.1 | 28.5 | 28.3 |
| Septembre | 32.3 | 32.0 | 32.3 | 31.1 | 28.0 | 27.0 |
| Octobre | 34.5 | 34.4 | 33.8 | 32.2 | 28.7 | 27.8 |
| Novembre | 34.3 | 35.1 | 38.0 | 33.9 | 29.4 | 29.5 |
| Décembre | 32.0 | 32.4 | 34.2 | 34.0 | 28.5 | 30.2 |

TABLEAU 1.8 : Moyennes mensuelles des températures minimales, sous abri et maximales

| | MARAOU SALAK | GAROUA | NGAOUNDERE |
|-----------|--------------|--------|------------|
| Janvier | 288 | 285 | 285 |
| Février | 274 | 278 | 258 |
| Mars | 263 | 273 | 225 |
| Avril | 284 | 240 | 189 |
| Mai | 238 | 240 | 189 |
| Juin | 207 | 210 | 148 |
| Juillet | 185 | 191 | 112 |
| Août | 184 | 172 | 102 |
| Septembre | 194 | 193 | 123 |
| Octobre | 255 | 267 | 188 |
| Novembre | 282 | 287 | 248 |
| Décembre | 303 | 301 | 298 |

TABLEAU 1.9 : Insolation moyenne mensuelle en heures période 1961- 1970

| | MAROUA SALAK | *KAELE | GAROUA | * POLI | N' DERE | *BANYO |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Janvier | 33 | 30 | 31 | 80 | 41 | 58 |
| Février | 28 | 28 | 28 | 83 | 45 | 51 |
| Mars | 28 | 31 | 29 | 80 | 58 | 83 |
| Avril | 45 | 37 | 50 | 84 | 71 | 70 |
| Mai | 54 | 51 | 83 | 88 | 78 | 78 |
| Juin | 67 | 82 | 75 | 89 | 80 | 78 |
| Juillet | 75 | 71 | 79 | 74 | 81 | 78 |
| Août | 80 | 77 | 81 | 79 | 81 | 79 |
| Septembre | 78 | 75 | 81 | 70 | 79 | 77 |
| Octobre | 82 | 88 | 72 | 88 | 75 | 75 |
| Novembre | 38 | 47 | 54 | 88 | 59 | 83 |
| Décembre | 34 | 38 | 39 | 82 | 45 | 52 |

TABLEAU 1.10 : Humidité relative en % période 1961 - 1985

N.B. : Les H.R. des stations précédées d'une astérisque sont données pour la période de 1976 à 1985.

| | MARAOU SALAK | GAROUA | NGAOUNDERE |
|--------------|--------------|---------|------------|
| Janvier | 388.2 | 237.0 | 219.9 |
| Février | 385.8 | 241.1 | 229.1 |
| Mars | 510.8 | 312.1 | 240.4 |
| Avril | 432.7 | 288.2 | 228.4 |
| Mai | 328.4 | 193.9 | 158.8 |
| Juin | 250.4 | 178.9 | 128.7 |
| Juillet | 137.0 | 125.9 | 110.4 |
| Août | 184.0 | 181.0 | 117.1 |
| Septembre | 188.5 | 157.3 | 122.1 |
| Octobre | 238.0 | 175.9 | 131.1 |
| Novembre | 317.8 | 182.1 | 161.1 |
| Décembre | 328.1 | 192.2 | 190.8 |
| TOTAL ANNUEL | 3 883.7 | 2 442.8 | 2 034.1 |

TABLEAU 1.11 : Evaporation moyenne (en mm) au Bac Colorado période 1976- 1985

| | GAROUA | POLI | NGAOUNDERE |
|--------------|---------|---------|------------|
| Janvier | 278.0 | 238.1 | 284.8 |
| Février | 275.0 | 279.1 | 283.5 |
| Mars | 350.2 | 325.8 | 241.0 |
| Avril | 324.7 | 228.0 | 133.1 |
| Mai | 201.3 | 127.4 | 84.1 |
| Juin | 125.3 | 87.0 | 87.0 |
| Juillet | 101.4 | 55.1 | 82.2 |
| Août | 78.1 | 58.1 | 81.3 |
| Septembre | 75.2 | 52.2 | 58.1 |
| Octobre | 118.0 | 81.0 | 97.4 |
| Novembre | 230.0 | 148.0 | 198.0 |
| Décembre | 238.2 | 202.3 | 282.3 |
| TOTAL ANNUEL | 2 389.4 | 1 857.2 | 1 830.8 |

TABLEAU 1.12 : Evaporation moyenne (en mm) à l'évaporomètre Piche - Période 1963-1967 et 1976-1985

1.1.4.3.2.5. L'évaporation et l'évapotranspiration :

a) L'évaporation :

Ce paramètre, pourtant fondamental pour l'estimation du bilan hydrologique, n'est pas mesuré à toutes les stations météorologiques du Nord-Cameroun.

La période (76-85) a été retenue pour les mesures de l'évaporation au Bac COLORADO ; les valeurs sont données par le tableau 1.11.. Le tableau 1.13 présente les valeurs des évaporations moyennes mensuelles mesurées aux stations MAROUA et NGAOUNDERE. Une comparaison des deux tableaux montre :

* des valeurs moyennes annuelles plus fortes pendant la décennie 76-85,

* des pics décalés d'un mois ; pour la station de MAROUA SALAK par exemple, alors que le maximum se trouve en Mars pour la décennie 76-85, il se situe en Avril pour la période 54-56. La même remarque est valable pour les minimums (Juillet en 76-85, Août en 54-56).

Les mesures de ce même paramètre à l'Evaporomètre PICHE (tableau 1.12) donnent des valeurs qui présentent trois grands traits :

* Les maximums mensuels présentent une coïncidence remarquable quelle que soit la période considérée ; ils se situent au mois de Mars pour la station de GAROUA et en Janvier pour NGAOUNDERE,

* Les minimums mensuels : Ils sont observés à GAROUA en Septembre. Pour la station de NGAOUNDERE, les valeurs sont pratiquement constantes, constituant ainsi une plage pour les mois de Juillet, Août et Septembre.

| | MAROUA SALAK (54-56) : COLORADO | NGAOUNDERE (68-73):CLASSE "A" |
|-----------|------------------------------------|----------------------------------|
| Janvier | 233 | 208 |
| Février | 252 | 224 |
| Mars | 316 | 223 |
| Avril | 351 | 172 |
| Mai | 285 | 150 |
| Juin | 195 | 137 |
| Juillet | 161 | 116 |
| Août | 124 | 119 |
| Septembre | 132 | 117 |
| Octobre | 186 | 143 |
| Novembre | 249 | 168 |
| Décembre | 254 | 103 |
| Année | 2 738 | 1 980 |

TABLEAU 1.13. Evaporation moyenne sur BAC (en mm)

b) L'évaporation potentielle :

En Afrique de l'Ouest et Centrale, de nombreux auteurs (O.R.S.T.O.M., C.I.E.H., etc...) ont effectué des travaux visant à tester plusieurs formules de calcul de l'Evapotranspiration dont celles de TURC, de WALKER et de BLANEY-CRIDDLE. Les résultats sont, en général, proches des valeurs mesurées. Toutefois, dans la pratique, il est devenu courant d'utiliser la formule de TURC.

Les valeurs suivantes ont été estimées par J.C. OLIVRY (1979) pour quelques stations du Nord-Cameroun :

* 2 000 mm à MAROUA SALAK,

* 1 920 mm à GAROUA,

* 1 510 mm à NGAOUNDERE.

1.1.4.3.2.6. Les vents :

En fonction des huit directions principales de la "rosace des vents", la figure 1.11 établit les directions principales des vents de surface :

A MAROUA, les vents dominants sont situés dans le secteur Nord-Est.

A GAROUA, les directions Nord-Ouest et Est-Ouest sont certainement dues à la pénétration des vents par la gouttière de la BENOUE orientée sensiblement E-W à la frontière Camerouno-Nigérienne.

Dans la région de POLI, les vents sont orientés au Nord-Est et au Nord-Ouest.

Plus au Sud, à NGAOUNDERE, on note une légère prédominance du secteur Nord-Est.

L'orientation des directions préférentielles de circulation des vents au Nord-Cameroun présente une très grande diversité. Cette orientation est variable suivant les saisons.

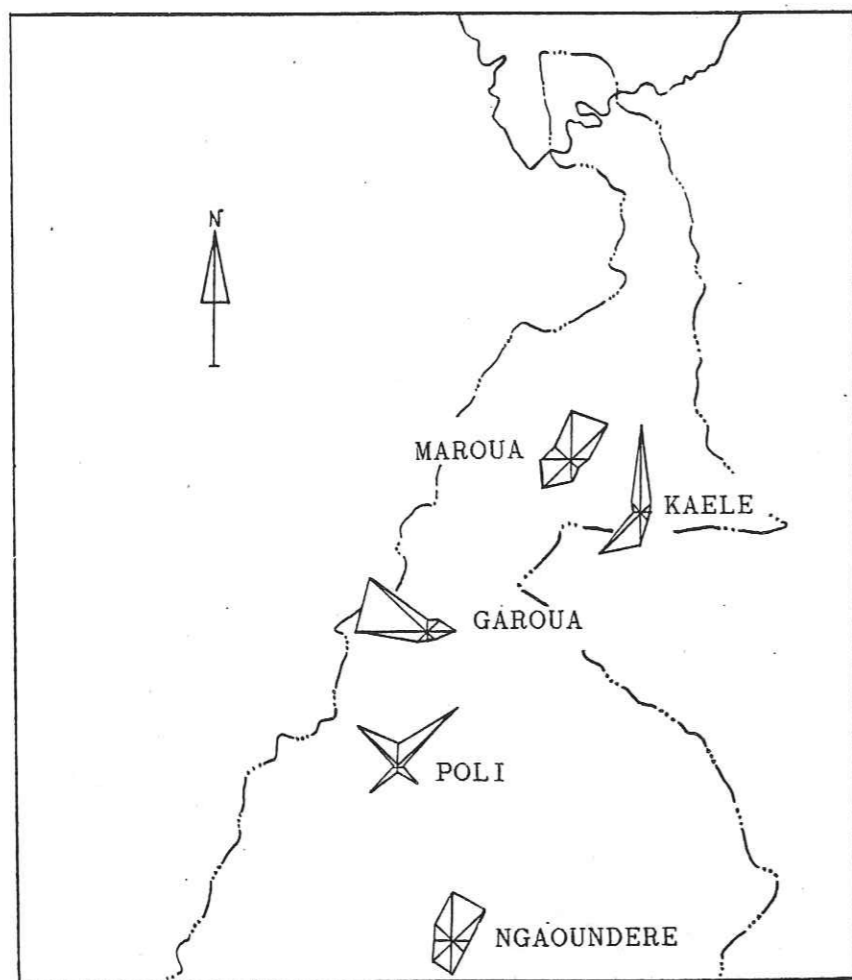


fig 1.11 : Fréquences moyennes annuelles des vents au NORD-CAMEROUN (d'après les données de J.C. OLIVRY (1979), simplifiées)

1.1.5. CONCLUSION GENERALE SUR LE MILIEU NATUREL NORD-CAMEROUNAIS

Dans l'ensemble, les valeurs des hauteurs des précipitations annuelles tombées au droit des stations sont caractérisées par une baisse généralisée ces dernières années. Ce phénomène se traduit dans la partie septentrionale du pays par une désertification naturelle progressive allant du Nord au Sud. Depuis près d'une décennie, des opérations collectives destinées à régénérer le couvert végétal détruit sont organisées par les autorités camerounaises. Ces opérations, baptisées tantôt "opération Sahel vert" quand il s'agit de vastes espaces découverts à reboiser, ou "journée nationale de l'arbre", quand il s'agit des périmètres urbains, témoignent, s'il en était encore besoin, des désastres sociaux croissants provoqués par le climat Nord-Camerounais taxé à juste titre par J.B. SUCHEL (1972) de tyrannique.

Cette baisse des hauteurs pluviométriques s'accompagne d'une baisse généralisée des niveaux piézométriques d'étiage des nappes, suite à la recharge annuelle insuffisante. En effet, un fait observé dans les secteurs de POLI et TCHOLLIRE nous permet de mieux étayer nos affirmations :

Près de 70 % des puits à grand diamètre réalisés depuis les années 50 par le Génie Rural et le Bureau de l'eau (organisme aujourd'hui remplacé par le Projet des Eaux Souterraines, P.E.S.) sont actuellement sans eau en saison sèche et produisent un très faible débit en saison des pluies. Dans la ville de POLI, parmi les onze puits qui constituaient naguère les points d'eau, seuls quatre ont aujourd'hui des débits pérennes. Il s'agit des puits de la Gendarmerie, de la Poste, de l'Ecole Principale et de celui qui est situé en face de l'Ecole Maternelle de POLI. La pérennité des débits dans ces puits s'explique par deux faits majeurs :

1/ Les puits de la Gendarmerie et de l'Ecole Maternelle sont situés à moins de 25 mètres du Mayo TAPARE : c'est un cours d'eau qui traverse la ville de POLI et qui coule sur un fond schisteux extrêmement microfracturé,

1/ Les deux autres puits sont très profonds et les niveaux piézométriques en fin de saison sèche (Avril) sont situés à plus de 26 mètres.

A TCHOLLIRE, le même phénomène de baisse du niveau piézométrique est observé sur les puits, pourtant profonds, situés à 25 m du forage SIGRIST, derrière la Sous-Préfecture et celui du Collège d'Enseignement Secondaire (C.E.S.). Dans la ville, les puits qui se trouvent au pied des éboulis du Hosséré TCHOLLIRE, présentent pratiquement tous la même caractéristique. Avant la réalisation des forages profonds dans cette localité, l'alimentation en eau des populations en saison sèche s'effectuait à partir du Mayo GALKE, cours d'eau situé à près de 7 km du centre urbain. Ce problème crucial d'alimentation en eau, quelle que soit la saison, justifie d'ailleurs l'emplacement de la SODECOTON, Agence de TCHOLLIRE, qui est située près du Mayo GALKE, à partir duquel une adduction d'eau est réalisée.

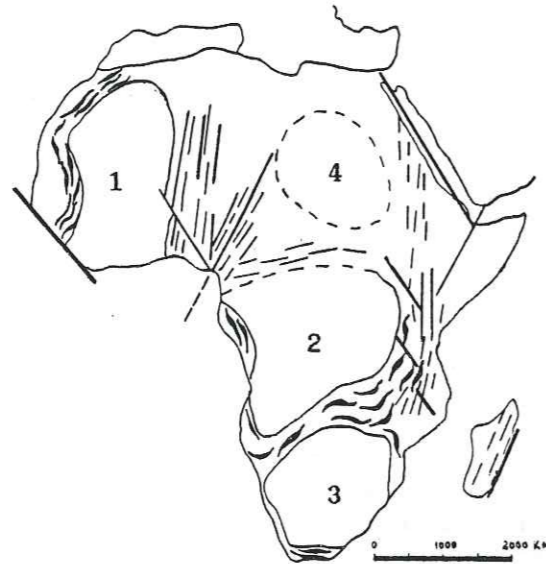
1.2. APERCU SUR LA GEOLOGIE DU SOCLE CRISTALLIN CAMEROUNAIS

Décrire les différents aspects hydrogéologiques des eaux du socle cristallin Camerounais, c'est bien entendu évoquer leur condition de mise en place en remontant à la genèse du substratum géologique, à la formation des reliefs et à l'architecture des structures-pièges.

1.2.1. INTRODUCTION

La géologie du CAMEROUN est connue grâce aux multiples travaux de prospection et de cartographie effectués par les géologues du Ministère des Mines et de la Géologie. A ces travaux, il faut ajouter à ce jour les nombreuses recherches entreprises à l'Université de YAOUNDE dont notamment ceux de S.M. ENO BELINGA (1972, 1976, 1977, 1982) ; F. TCHOUA (1969, 1972, 1973) ; G.E. EKODECK (1976, 1981, 1984) ; C. MOREAU (1982) ; T.R. GHOGOMU (1982) ; et de l'Institut de recherche Géologique et Minière (I.R.G.M.).

Depuis les travaux de G. ROCCI (1966) et CLIFFORT (1970), le schéma structural général de l'Afrique se résume à l'existence de quatre grands cratons (Le craton Ouest Africain, le craton du Congo, le craton du Kalahari et enfin le craton nilotique (hypothétique)). Ces cratons sont séparés les uns des autres par des zones mobiles plissées et rajeunies (fig 1.12.).



- fractures profondes
- Zones de plissements (fin Antécambrien-Paléozoïque)
- Zone de rajeunissement
- Zones stables
- 1- Craton Ouest Africain
- 2- Craton du Congo
- 3- Craton du Kalahari
- 4- Craton nilotique (hypothétique)

fig 1.12 : Structure d'ensemble de l'AFRIQUE (G.ROCCI,1965)

On peut résumer la géologie du Cameroun en invoquant sommairement ses trois composantes essentielles (fig 1.13).

* L'une cristalline et précambrienne : la plus grande partie des terrains camerounais fait partie de cette entité. Elle est constituée de roches métamorphiques diverses, intrudées plus ou moins intensément, suivant les régions, par des roches plutoniques de nature diverse et d'âges variés.

* L'autre, sédimentaire, d'âge allant du Crétacé à l'actuel. Ce second faciès caractérise essentiellement la zone côtière et les bassins centraux du Djerem-Mbéré et septentrionaux de Garoua et du Tchad.

* Et enfin, les formations volcaniques. De nature variée et d'extension modeste, ces formations s'étendent dans l'Ouest du pays et sur le plateau de l'ADAMAOUA.

Pour traiter de la géologie du socle cristallin Camerounais, nous retiendrons quatre grands groupes de formations : les formations du Craton, les séries dites "intermédiaires", les formations du Précambrien récent et les formations du Paléozoïque ancien.

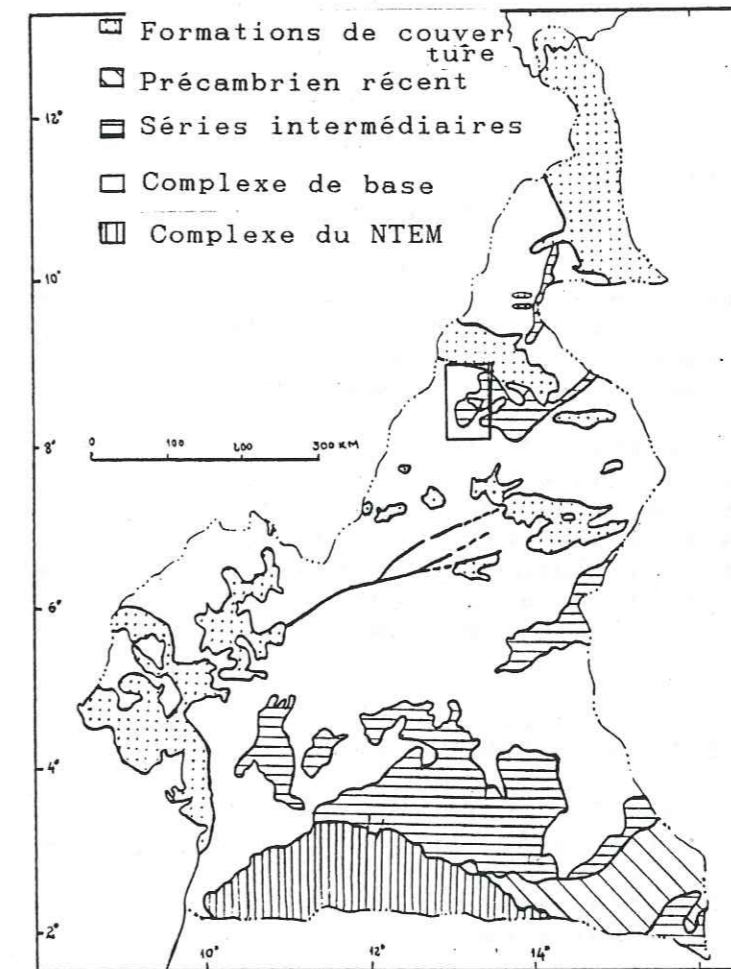


fig 1.13 : Esquisse géologique du CAMEROUN (BESSOLES ET LASSERRE, 1977, simplifié)

1.2.2. LES FORMATIONS DU CRATON

A cheval sur la frontière Cameroun-Gabon, la partie orientale du craton du Congo représente une entité structurale, géochronologique et métamorphique. En effet, avec des âges de 2 700 à 3 000 Ma (P.M. HURLEY, 1967), ce craton, encore appelé "complexe Calco-Magnésien du NTEM", n'aurait pas été repris dans les événements orogéniques ultérieurs. Les isochrones obtenues sur roches totales du complexe du NTEM lui donnent un âge de 2 700 à 2 999 Ma tandis que les isochrones sur roches totales et minéraux donnent des âges de 1 800 à 2 400 Ma. Ceci montre, d'une part la fin d'un épisode important de l'histoire orogénique de ces roches correspondant au Libérien, et d'autre part, une reprise tectonométamorphique avec l'orogénèse Eburnéenne à l'issue de laquelle on aboutit à la stabilité définitive de cette partie du craton du Congo limitée, en territoire Camerounais, aux régions Sud.

Après cet important événement, des périodes de sédimentation océanique se poursuivent au Nord de la partie cratonisée. Les orogénies de l'Eburnéen, entre 2 300 et 1 550 Ma avec paroxysme vers 1 800 Ma, aboutissent aux formations plissées du Birrimien. Ces formations subissent un métamorphisme intense, mais moins poussé qu'au Libérien.

Cette histoire correspond à ce que les géologues (GAZEL, 1958) avaient appelé le "premier cycle". Elle aboutit à la formation du "Complexe de base" (Archéen, Libérien, Birrimien) dans lequel étaient incluses les vastes zones de migmatites et granites considérées comme archéennes.

En fait, cette notion de "complexe de base" conforme à la terminologie des auteurs anciens (GAZEL, 1958 ; P. KOCH, 1959, etc...) est, à l'heure actuelle démodée. Les critères géologiques de base ayant servi à sa définition ont été revus et fortement critiqués (TOTEU et al, 1984). Nous présenterons, dans le chapitre réservé à la géologie du secteur de POLI, l'évolution de cette notion et la nomenclature actuellement adoptée.

1.2.3. LES SERIES INTERMEDIAIRES

Entre l'orogénèse Eburnéenne (1 800 Ma) et l'orogénèse panafricaine (550 Ma), on a identifié des séries d'âges différents, d'extension et de localisation variables. Ces séries dites "intermédiaires" ont subi un métamorphisme de faible intensité et proviennent le plus souvent de dépôts continentaux, de couverture ou de mers peu profondes. Ces séries sont les suivantes, du Sud au Nord du pays :

1/ La série Schisto-quartzitique de YOKADOUMA :

Située à l'extrémité Sud-Est du Cameroun, elle comprend des pélites sombres en alternance avec les quartzites et les grés de KOKA.

2/ La série de MBALMAYO-BENGBIS et la série d'AYOS :

Tandis que la première est formée de schistes verdâtres, la seconde comporte des micaschistes, schistes, chloritoschistes avec des intercalations de bancs de quartzites. Les deux formations n'ont subi qu'un métamorphisme épizonal faible et sont d'origine sédimentaire. Le contact au Sud avec le Complexe calco-magnésien du NTEM est marqué par des mylonites et une faille de direction Est-Ouest de près de 300 km d'extension.

3/ La série du LOM :

Cette série se localise à l'Est du pays. Elle est constituée de quartzites, schistes, calcschistes, micaschistes à grenats. On note en plus des volcanites acides très subordonnées (métarhyolites, tufs rhyolitiques). Ce volcanisme, nettement moins important que dans la série de POLI, est toutefois plus marqué que dans les autres séries plus méridionales (S. DIALLO, 1971).

4/ La série de POLI :

Elle est située au Nord du Cameroun. La complexité de cet ensemble a été montrée depuis de longues années (P. KOCH, 1959 ; Y. LE FUR, 1971 ; B. TILLEMENT, 1972, etc...). L'ensemble lithologique comporte, à côté des roches sédimentaires, des roches volcaniques variées ainsi que des roches basiques et ultrabasiques. Le métamorphisme, estimé à 550 Ma, aboutit à des schistes, chloritoschistes et quartzites micasés traversés par des rhyolites, diorites et gabbros de direction générale ENE - WSW.

En fait, le qualificatif "intermédiaire" traduit l'ignorance que l'on a, en l'état actuel des connaissances, de l'âge de ces séries et des relations stratigraphiques, métamorphiques et structurales qui existent entre ces dernières et le "complexe de base" sur lequel elles reposent (G.E. EKODECK, 1984).

1.2.4. LES FORMATIONS DU PRECAMBRIEN RECENT

Ces séries se localisent à la limite de la zone mobile et du craton, dans le Sud-Est du Cameroun. Elles sont d'âge Protérozoïque supérieur et comprennent des pélites, quartzites et un complexe schisto-doléritique. La mise en place de ces puissants ensembles intrusifs basiques pourrait être liée à la position de ces séries au contact de la zone mobile et du craton et des contraintes tectoniques qui en résultent. L'ensemble est surmonté par le complexe tillitique du DJA inférieur, témoin d'un phénomène glaciaire. Ces séries sont assez peu tectonisées.

1.2.5. LES FORMATIONS DU PALEOZOIQUE ANCIEN

Après l'orogénèse panafricaine, c'est la dernière manifestation plutonique que connaît le Cameroun.

Pendant le Cambro-Ordovicien, on note des manifestations post-panafricaines avec des plutonites nettement discordantes comme les granites caractéristiques des Hossérés du Nord-Cameroun (POLI, TCHEGUI, MAYO DARLE, MBA NAMBOE, etc...) ou les syénites du pic de Mindif. Les âges des différentes formations constituant cet ensemble sont donnés par le tableau 1.14.

Au Silurien, entre 370 et 490 Ma (cet âge a été déterminé par des méthodes radiométriques LASSERE et al (1977) in BESSOLES et TROMPETTE (1980), on a le dépôt, dans le Nord - Cameroun, d'un ensemble continental ; cet ensemble, appelé série de MANGBEI est localisé aux environs du Lac de Léré, près de Mangbeï-village (d'où le nom de la série) et à HOY. Cette série, avec conglomérats et arkoses est détritique ; elle contient de puissantes intercalations de trachy-andésites et de rhyolites.

Après les dépôts de la série de MANGBEI et de HOY au Silurien, des traces de sédimentation continentale ou non ne sont plus connues sur le territoire Camerounais jusqu'au Crétacé inférieur. A partir de cette époque, l'évolution géologique du Cameroun est essentiellement sédimentaire, résultant de l'aplanissement quasi-général des unités géologiques antérieurement façonnées par les trois plus importantes orogénèses (Libérienne, Eburnéenne et Panafricaine) qui se sont succédé au sein de la zone mobile d'Afrique Centrale.

| MASSIF | ROCHE | AGE EN M.a. |
|-------------------------|--------------------------|--------------|
| GOLDA-ZUELVA | TRACHY-ANDESITE | 38.2 +/- 2 |
| | GRANITE | 55.6 +/- 2 |
| | GRANITE | 66.6 +/- 2 |
| | GRANITE | 39.6 |
| MBOUTOU | GABBRO | 66 +/- 3 |
| | SYENITE GRISE | 60 |
| POLI | GRANITE | 56.5 +/- 2 |
| | GRANITE | 39.2 +/- 2 |
| TCHEGUI | GRANITE | 31 +/- 1 |
| | SYENITE | 39 |
| | SYENITE, GABRO, TRACHYTE | 43 +/- 6 |
| | SYENITE | 34.9 +/- 1 |
| MAYO DARLE | GABBRO | 51 +/- 2 |
| | GRANITE | 53 |
| MBA NAMBOE | GRANITE | 53 - 49 |
| MBA NAMBOE | MICROGRANITE | 77 - 74 |
| MAYO DARLE + MBA MAMBOE | MICROGRANITE | 63.3 +/- 1.3 |

TABLEAU 1.14/ : Age de mise en place de quelques complexes post-panafricain du Cameroun. D'après les datations de GAZEL et al. (1963) ; JACQUEMIN (1981) ; LASSERE (1978) ; CANTAGEL et al. (1978)

1.3. EVOLUTION DES IDEES SUR LA GEOLOGIE DE LA ZONE MOBILE DU SECTEUR DE POLI (Etude bibliographique)

Après avoir donné les grands traits de la géologie Nord-Camerounaise, il convient de retracer, en quelques lignes les grandes idées qui ont guidé les recherches géologiques dans le secteur de POLI. Ce rappel s'avère d'autant plus utile qu'un certain nombre de schémas directeurs correspondant à des périodes bien définies ont orienté les interprétations et les classifications des principales formations géologiques du socle cristallin de ce segment de la zone mobile d'Afrique Centrale.

Trois grands courants de pensée peuvent être distingués sur l'évolution des idées :

* L'un date de la fin des années 50 et a pour chef de file P. KOCH, auteur de la carte du 1/500 000 de cette zone,

* Le second a un caractère minier et remonte aux années 70. Il est marqué par les interprétations de Y. LE FUR relatives aux indices de cuivre du groupe volcano-sédimentaire de POLI,

* Le troisième, encore en cours, a démarré depuis 1983. Il s'appuie sur des données pétro-structurales. Il est mené par les géologues du C.R.G.M. de GAROUA et vise la publication de la carte géologique au 1/200 000 de la région de POLI.

1.3.1. LES INTERPRETATIONS DE P. KOCH (1959)

L'étude géologique la plus importante dans la région de POLI a démarré avec les travaux de cet auteur. Ce dernier a défini, pour la première fois dans la légende de la carte géologique qu'il a établie, les différentes unités géologiques de cette zone. Il distingue, de la base vers le sommet, les ensembles suivants :

1.3.1.1. Le complexe de base

D'âge Précambrien inférieur, ce complexe est constitué d'un ensemble très hétérogène de roches. L'auteur les regroupe en trois faciès :

* Les roches éruptives : granites à deux micas, granites d'anatexie, granites à grains moyens, granites orientés, granites porphyroïdes, granodiorites, diorites et syénites.

* Les Migmatites : gneiss - embréchites, gneiss-anatexites,

* Les ectinites : Micaschistes, gneiss, amphibolites, quartzites.

Toutes ces formations sont métamorphosées dans la catazone.

1.3.1.2. La série de POLI

D'âge Précambrien moyen, les formations de cette série sont peu métamorphisées. L'auteur y a distingué quatre grands groupes :

* Les formations batholitiques : granodiorites et diorites, gabbros.

* Le groupe de SELOU : schistes amphiboliques, leptinites, quartzites micacés, micaschistes et schistes épidotifères.

* Le groupe de DOUVA : schistes feldspathiques et schistes épidotifères.

* Le groupe de TAGO : rhyolites, porphyroïdes et schistes argileux.

Les formations de la série de POLI sont métamorphisées dans l'épizone ou la mésozone. A l'Ouest de POLI, sur la route POLI - TCHAMBA, entre les villages SAMO et GOMBO, l'auteur décrit une discordance entre les assises de la série de POLI et les formations du complexe de base sous-jacent. Cette discordance est d'ordre métamorphique (gneiss pour le complexe de base et schistes pour la série de POLI) et d'ordre structurale (les gneiss et les micaschistes du complexe de base ont des directions N-NW et des pendages subverticaux tandis que les schistes ont des directions E-W et un pendage subvertical).

1.3.1.3. Les formations anciennes, antecrétacées : la formation de MANGBEI

Cette formation est d'âge Précambrien supérieur ou Paléozoïque. Essentiellement volcano-sédimentaire, cette série démarre par un conglomérat éluvionnaire ou tillitique témoignant de leur discordance sur les ensembles précédemment décrits. Les assises formant la série sont, du sommet à la base :

- * des grés arkosiques roses,
- * des argiles violacés,
- * des andésites vacuolaires,
- * des rhyolites roses,
- * des andésites compactes ou bulbeuses,
- * le conglomérat de base.

1.3.1.4. Les formations plutoniques discordantes

P. KOCH classe ces formations en trois grands groupes d'âges différents :

* Les intrusions plutoniques "anciennes" (1er cycle) datent du Précambrien inférieur et moyen. Elles sont antérieures à la série de POLI ou contemporaines de cette série. Elles sont constituées de granites calco-alcalins, syénites et diorites.

* Les intrusions plutoniques "récentes" (2ème cycle), sont les plus nombreuses. Elles sont postérieures à la série de POLI et antérieures à la formation de MANGBEI. Elles sont constituées de granites calco-alcalins divers et de syénites.

* Les intrusions plutoniques "ultimes" (3ème cycle) sont postérieures à la série de MANGBEI. Elles sont constituées de granites et syénites alcalines à hyperalcalines, de gabbros.

1.3.1.5. Les formations recoupantes

Toutes les roches constituant les ensembles décrits ci-dessus sont recoupées par des filons de trois types :

* Les filons hydrothermaux : quartz et pegmatites,

* Les filons ignés : granites, microgranites et diorites,

* Les filons volcaniques : dolérites, rhyolites, trachytes, basaltes. Ces filons sont très répandus et les âges variés.

1.3.2. LES INTERPRETATIONS DE Y. LE FUR (1971)

Dans le cadre de ses études métallogéniques portant sur "les indices de cuivre du groupe volcano-sédimentaire de POLI", Y. LE FUR propose une nouvelle approche stratigraphique des formations géologiques. Adoptant les hypothèses de J. AUBOIN (1981) sur les géosynclinaux, cet auteur considère le socle cristallin Nord-Camerounais comme un vaste géosynclinal plissé, caractérisé par une succession de structures positives (intragéantyclinaux) et de structures négatives (intragéosynclinaux). Selon cet auteur, "les formations volcano-sédimentaires de POLI se sont déposées à l'intérieur d'une fosse allongée SW-NE sur plus de 300 km de long, de POLI au SW à LERE au NE ; cette vaste fosse a été ensuite intensément plissée. Ce plissement a créé plusieurs bassins séparés par des rides anticlinales". Fort de ces hypothèses, Y. LE FUR propose pour la région de POLI, la succession stratigraphique suivante, de la base vers le sommet :

1.3.2.1. Le socle

Il constitue la base des séries et est donc appelé complexe de base, mais sa limite n'est pas la même que celle définie par P. KOCH. Composé de roches du faciès mésozonal à catazonal (gneiss, migmatites, amphibolites, quartzites, pyroxénites...) il est daté de 5 à 600 MA par M. LASSERE (1969) ; LE FUR pense "qu'il correspond à du Précambrien inférieur à moyen déposé dans une zone mobile équivalent d'un socle rajeuni (vestigial facet) de T.N. CLIFFORD (1969)".

1.3.2.2. Le groupe de POLI

L'auteur y distingue trois séries, de la base au sommet :

* La série de SAKJE : essentiellement sédimentaire, elle est composée de gneiss, leptynites, micaschistes, quartzites, amphibolites, calcschistes et métatufs. Elle est traversée par de petites intrusions stratiformes de gabbro-péridotites et renferme des lentilles de conglomérats.

* La série volcanique inférieure : elle comprend trois formations à caractère volcanique : à la base, la formation volcanique basique (laves et tufs basiques albitophyriques du style spilite à pillow-lavas). La formation volcanique acide fait suite à la précédente (laves et tufs acides Kératophyriques et localement rhyolites, dacites et microgranites). La formation intermédiaire marque la fin de cette séquence volcanique ; elle est composée d'un ensemble de faciès à caractère volcano-sédimentaire (tufs à éléments, roches de précipitations chimiques, tufs à chlorite, séricite et carbonate, quartzites et schistes divers).

* La série détritique supérieure : elle est constituée de roches pélitiques schisteuses d'origine calcaire, marneuse, gréso-calcaire ou argileuse qui s'accumulent dans les bassins qui subsistent encore après l'intense activité volcanique précédente.

D'après Y. LE FUR, «ce groupe de POLI reposerait en discordance stratigraphique, métamorphique et structurale sur le socle. Seule la discordance structurale ressort à l'échelle de la carte au 1/500 000. Les discordances métamorphiques et stratigraphiques sont moins évidentes". Toutefois, pour justifier l'existence de la discordance, l'auteur émet l'argument suivant : "les discordances structurales observées par rapport au complexe de base et la présence de conglomérats à galets de roches du socle (notamment de granites) à la base du groupe de POLI, ne permettent pas de rattacher cet ensemble au complexe de base, malgré l'âge de 500 à 600 MA déterminé par M. LASSERE (1969) pour ce groupe de POLI».

1.2.2.3. Le groupe de Mangbei

Ce groupe repose en discordance sur le groupe de POLI. Il correspond à un épisode volcano-sédimentaire horizontal, déposé en milieu continental avec coulées de rhyolites, andésites et trachytes intercalées dans des conglomérats, grés arkosiques et argiles rouges.

1.3.2.4. Les formations plutoniques

L'auteur y distingue trois groupes :

* Le complexe des formations plutoniques "anciennes". Elles sont contemporaines des formations du socle et antérieures au groupe de POLI.

* Le complexe des roches grenues de POLI : Il est constitué de toutes les formations plutoniques liées au groupe de POLI - qu'elles soient syn-, tardi- ou post-orogéniques. Y. LE FUR distingue deux types : le premier, basique est en relation avec les fractures profondes qu'inaugurent un magmatisme caractérisé par des corps stratiformes de gabbros, dolérites, norites, péridotites, gabbros-diorites.

Le second est acide, postérieur à la série détritique supérieure et donne naissance à de grands batholites de granites, granodiorites et diorites.

* Le complexe des formations plutoniques "ultimes" : Il renferme les complexes annulaires d'âge tertiaire (30 MA), recoupant le groupe de MANGBEI, tels les massifs de POLI et de TCHEGUI.

1.3.3. LES INTERPRETATIONS DES GEOLOGUES DU C.R.G.M.

Dans le cadre de la réalisation des cartes géologiques à grande échelle du Cameroun, les géologues du C.R.G.M. ont procédé à la subdivision du degré carré de POLI en 16 unités de 15' chacune. Des études de cartographie fine sont réalisées dans chacune de ces unités et les résultats sont donnés sous forme de notices et de carte géologique au 1/50 000. Malgré le fait que tous les carrés contenant ce qu'il est aujourd'hui convenu d'appeler "groupe de POLI" ne soient pas encore entièrement levés, les résultats déjà obtenus méritent une attention particulière.

La synthèse des travaux de S.F. TOTEU et al (1984) et de J.B. NYOBE (1984) relatifs respectivement aux carrés de GODE à l'Ouest et de MANGO au Sud-Est, permet de proposer la stratigraphie sommaire suivante :

1.3.3.1. Les ensembles ante-panafricains

Dans cette catégorie de formations, S.F. TOTEU range toutes les roches métamorphisées dans la mésozone ou la catazone, sans tenir compte de la coupure établie par les auteurs anciens et attribuant tous ces ensembles à un groupe hétérogène et à limites imprécises dénommé «complexe de base". A ce propos, l'auteur remarque "qu'au niveau de la région de POLI en général, les séries du groupe de POLI sont bien identifiables dans sa partie moyenne et supérieure. Pour ce qui est de la partie inférieure, la reconnaissance de sa limite pose des problèmes sérieux. Généralement, on passe en continuité structurale et métamorphique aux gneiss sous-jacents classiquement attribués au complexe de base de P. KOCH». Sur la même lancée, cet auteur précise que ce fait «se ressent particulièrement lorsque l'on cherche à interpréter les nombreux résultats d'analyse géochronologique (...) accumulés depuis une vingtaine d'années. Au regard de ces résultats, presque tous regroupés 500 +/- 100 Ma et intéressant des ensembles lithologiques variés au sein de la zone mobile, il semble difficile de continuer à comprendre la géologie de cette région en terme de socle et de couverture-, telle qu'elle ressort des résultats des travaux cartographiques au 1/500 000 des années 50».

Dans ce vaste ensemble anté-panafricain défini par S.F. TOTEU, on trouve les amphibolites, les gneiss divers, les micaschistes à chlorite, etc... En continuité avec cet ensemble hétérogène, la formation de SALAKI constituerait, selon l'auteur, la base de la série de POLI sensu stricto.

Cette formation de SALAKI est également très hétérogène et repose en concordance sur les gneiss et micaschistes précédemment cités. En général, les faciès de cette formation ont subi une rétro-morphose assez poussée. Des niveaux de calcschistes sont fréquents et les plagioclases sont destabilisés en épidotes, calcites... Plus à l'Est, sur la feuille MANGO, J.B. NYOBE (op. cit) décrit des formations similaires (faciès schisteux) dans la région synclinale de BOUMBA. Ces formations reposent sur les gneiss à biotite et amphibole sous-jacents (série de SAKJE de Y. LE FUR) sans qu'une discordance soit localement décrite.

Cette formation de SALAKI est surmontée par les assises de la formation de KONGLE constituée de quartzites à amphibole et de schistes tuffacés. Les formations de SALAKI et de KONGLE constituent la série de POLI (fig 1.14). L'ensemble est couronné par la série de SANTANARE qui comprend des faciès gréso-pelitiques ; elle correspondrait à la série détritique supérieure de LE FUR.

1.3.3.2. Les ensembles panafricains

Ces ensembles sont constitués d'une succession d'intrusions accompagnées ou non de migmatisation. S.F. TOTEU distingue quatre grands groupes :

* Les intrusions dioritiques :

Cet ensemble est constitué des diorites du Mayo PUNKO et des orthogneiss de TETE. D'après l'auteur, ces deux unités font partie d'un même groupe d'intrusions contemporaines à pénécontemporaines ; la différence de type de déformation qui les affecte étant due à la différence de leur position dans les niveaux structuraux. Les orthogneiss et les diorites représenteraient respectivement les parties inférieures et supérieures d'un même ensemble d'intrusions postérieures aux séries de POLI et antérieures aux granites de type BAKONWA. A l'Est, ces diorites affleurent à l'intérieur des granodiorites sous forme de plages. Leurs contours sont diffus et subissent une granodioritisation progressive (J.B. NYODE, 1984). Ces diorites sont déformées et montrent une linéation de feldspaths identique aux directions panafricaines ; ces formations sont donc syntectoniques par rapport à l'orogénèse panafricaine.

* Les granites et les migmatites :

Sur le terrain, les granites orientés et les migmatites constituent des ensembles difficilement repérables (S.F. TOTEU). A l'Ouest du secteur, les granites orientés sont liés à la migmatisation des gneiss sous-jacents au groupe de POLI. En outre, ils sont postérieurs à la série de POLI et enfin, ils se sont mis en place après les diorites, mais avant la phase de déformation ayant conduit à l'orthogneissification des diorites et à l'orientation des granites. A l'Est, les deux lames de granites orientées observées par J.B. NYOBE sont concordantes dans les micaschistes du groupe de POLI et lui sont donc structurellement liées.

* Les granites de type WANGAY :

Décrits par S.F. TOTEU au Hosséré WATESSE, ces types de granites regroupent les granites à grains moyens et les granites d'anatexie, sont liés à une étape de migmatisation postérieure aux grandes déformations panafricaines (S.F. TOTEU, 1984). Le granite de PELBOU fait partie de cet ensemble. Il intrude le groupe de POLI et est antérieur aux granites de type GODE.

* Les granites de type GODE :

La caractéristique majeure des granites de cette catégorie est qu'ils sont tous discordants par rapport aux formations encaissantes. Leurs limites recoupent les structures régionales. Ces granites sont tous calco-alcalins. Les massifs de GODE ou centre-Ouest, de NYORE et DJOUMTE au NW, de TSORKE, BORONGO et KONE au Nord, de KOGUE-MANGO et BOULOUNGOU au SE font vraisemblablement tous partie de ce vaste ensemble qui est considéré par S.F. TOTEU (1984), comme marquant "l'épisode magmatique terminal du cycle panafricain. Des âges de 546 +/-45 MA sur roche totale sont relevés pour le granite de NYORE (M. LASSERE, 1967).

1.3.3.3. Les ensembles post-panafricains

Après l'épisode magmatique terminal qui a donné naissance aux granites de type GODE, l'évolution géologique de la zone de POLI est essentiellement volcano-sédimentaire, volcanique et sédimentaire. Dans le secteur Est où la série est la plus complète, J.B. NYOBE (op. cit,) distingue :

1.3.3.3.1. Le groupe de Mangbei

Le groupe volcano-sédimentaire est essentiellement gréseux avec des intercalations de roches volcaniques. Deux niveaux volcaniques ont été reconnus : des andésites et des trachytes. Les formations sont faiblement plissées et plongent régulièrement vers le Sud avec une inclinaison de 25 à 30°.

1.3.3.3.2. Les formations plutoniques annulaires

On en dénombre deux, tous situés sur la feuille MANGO :

* Le Hosséré POLI :

C'est un complexe annulaire formé de deux cônes qui s'emboîtent autour d'un noyau. Il est intrusif dans les groupes de POLI et de MANGBEI qui développent une auréole de métamorphisme de contact autour de ce massif. Du centre vers la périphérie, on distingue : un noyau andésitique, un cône granitique et une couronne discontinue de gabbros. L'ordre de mise en place est le suivant : andésite, gabbros, granite.

* Le Hosséré TCHEGUI :

Ce complexe est plus volumineux que le premier. Il est constitué d'un cône central trachytique autour duquel s'emboîtent deux cônes : une couronne de syénites alcalines et un arc de cercle constitué de gabbros.

1.3.3.3.3. Les pointements volcaniques

Plusieurs pointements volcaniques s'observent aux environs de la formation de MANGBEI et dans les environs de SIGARI. Ces pointements sont essentiellement basaltiques, andésitiques et trachytiques.

1.3.4. LES PROBLEMES POSES PAR LES DIFFERENTES INTERPRETATIONS

1.3.4.1. P. KOCH

* Les subdivisions des différentes unités géologiques proposées par P. KOCH ne sont pas rigoureuses et sont aujourd'hui en partie démodées.

* Les caractéristiques structurales et métamorphiques ayant permis à P. KOCH de décrire la discordance de la série de POLI sur le "complexe de base" sont actuellement difficiles à admettre.

* La chronologie des granitoïdes par rapport aux trois cycles définis par cet auteur et par rapport aux autres formations géologiques n'est plus conforme quand ont tient compte de l'important événement thermotectonique panafricain qui a affecté (ou généré) tout ou partie de ces granitoïdes.

1.3.4.2. Y. LE FUR

* Bien que l'auteur ait revu et amélioré les subdivisions proposées par P. KOCH, celles qu'il propose souffrent d'un manque d'arguments de terrain sur le triple plan structural, métamorphique et stratigraphique.

* La chronologie des formations plutoniques par rapport aux autres ensembles géologiques semble souffrir de la même remarque que chez P. KOCH.

* Malgré le rajeunissement panafricain ayant affecté les formations de la zone mobile d'Afrique Centrale (et par conséquent les unités de POLI), le modèle géosynclinal de J. AUBOUIN (1961) défini initialement pour les chaînes récentes est-il applicable en toutes dimensions pour expliquer les structures intimes de ce que Y. LE FUR appelle "la chaîne de POLI" ? Il nous semble que l'étude de la seule partie Sud-Ouest de cette chaîne ne peut pas suffire pour considérer une vaste partie du socle cristallin Nord-Camerounais comme un synclinal plissé et présentant des structures négatives et positives. Ces interprétations signifient que le secteur de POLI a évolué vers un domaine océanique franc qui était peut-être de dimensions réduites. En terme de tectonique globale, ceci entraîne des implications sur d'éventuelles limites de plaques (J.F. DUMONT,

1.3.4.3. Le C.R.G.M.

* Bien que les chercheurs de ce centre intègrent les événements panafricains pour expliquer la genèse et le gisement de certaines structures qui n'étaient pas calées avec précision, il n'en demeure pas moins que la définition de la limite lithologique inférieure du groupe de POLI ainsi que la nature de cette limite restent une énigme. Pour poser le problème, il est intéressant de citer S.F. TOTEU et al (1984) : "l'ensemble lithologique le plus inférieur est représenté par les gneiss et les micaschistes sur lesquels reposent en concordance ou en discordance les séries du groupe de POLI". Ceci traduit les difficultés rencontrées et l'imprécision encore grande qui existe en ce qui concerne la définition et le calage des ensembles anté-panafricains. S.F. TOTEU (op cit.) pense que "l'histoire anté-panafricaine de cette région ne peut se déchiffrer que si l'on procède à une reconstitution minutieuse des paragenèses métamorphiques en fonction de la déformation. Les terrains les plus propices, tant sur le plan de la déformation que du métamorphisme, paraissent être les formations mésozonales et épizonales, moins violemment affectées par les événements panafricains".

1.3.5. CONCLUSION

A travers toute la littérature traitant des aspects géologiques du socle cristallin Nord-Camerounais en général et du groupe de POLI en particulier, on note une difficulté très nette en ce qui concerne la définition précise des terrains appartenant réellement au socle et ceux appartenant au groupe de POLI s.s. La nature de cette limite reste également à définir.

Les anciens auteurs faisaient intervenir le degré de métamorphisme et les critères structuraux (P. KOCH, 1959) pour la subdivision des unités géologiques.

Actuellement, les auteurs intègrent l'évolution de cette zone dans le cadre des événements panafricains ; la présence de cette orogénèse panafricaine (KENNEDY 1964 ; ROCCI 1964, 1965) inconnue du temps de KOCH et les nombreuses données géochronologiques effectuées sur les formations de POLI militent en faveur de cette intégration dans les événements panafricains. La résolution de la question posée par la détermination de la limite inférieure du groupe de POLI passe par la synthèse de l'ensemble des résultats fournis par les données pétrographiques, structurologiques, métamorphiques, géochronologiques et surtout structurales des formations méso à épizonales. A ce propos, B. TROMPETE (1980) pense qu'"au Cameroun où la géochronologie a fourni de nombreuses datations, la définition d'une succession chronologique des unités est arrêtée par l'absence d'études structurales, seules ces dernières pourront maintenant faire avancer la connaissance géologique de ce pays".

Ce bref rappel de l'évolution des idées sur le socle cristallin du secteur de POLI laisse voir que les connaissances ont progressé, mais beaucoup d'hypothèses émises restent encore à vérifier.

<< Ce qui est acquis par pure joie
d'apprendre représente généralement un
outil précieux entre les mains de celui qui
voit clair. >>

Albert EINSTEIN

"EINSTEIN ET LA PHYSIQUE THEORIQUE"

CHAPITRE 2

DONNEES GEOGRAPHIQUES

DU

SECTEUR DE POLI

* * *

* *

*

2.1. DONNEES GEOGRAPHIQUES DU SECTEUR DE POLI

2.1.1. INTRODUCTION

Le secteur concerné par nos études est situé entre les parallèles 8° 15' et 9° 00' de latitude Nord et entre les méridiens 13° 00' et 13° 30' de longitude Est, soit au Nord du pays.

Ce secteur géographique qui couvre une superficie d'environ 3 600 km² sépare les eaux du Mayo FARO de celles de la BENOUE. Le FARO n'est d'ailleurs qu'un important affluent de rive gauche de ce dernier fleuve dans lequel il se jette au Nord des Monts Atlantika (fig 2.1.).

La zone considérée est limitée au Sud par un important massif montagneux, le massif de POLI qui culmine à 2 049 m d'altitude au Hosséré VOKRE. Les rivières qui divergent de l'important "château d'eau" constitué par le plateau de l'ADAMAOUA, organisent leur réseau vers la BENOUE ou vers le FARO. Une autre chaîne, celle des monts ATLANTIKA, se trouve à une trentaine de kilomètres à l'Ouest, sur la rive gauche du FARO. Enfin, à près de 70 kilomètres au Sud, débute l'importante falaise de l'ADAMAOUA, marquant ainsi la limite méridionale de l'immense plaine de la BENOUE (fig 2.1.).

2.1.2. LE RELIEF

Le secteur de POLI occupe une place particulière parmi les grandes unités géomorphologiques du Nord-Cameroun ; en effet, du point de vue altitude, il est le seul, dans la région septentrionale du pays, à présenter des hauteurs voisines ou même supérieures à 2 000 m (surface gondwanienne de SEGALEN).

Les principales formes de relief que l'on y observe peuvent être réparties en quatre zones principales (fig 2.2.a).

* La première unité est constituée par l'imposante ceinture montagneuse étirée SE - NW. Elle comprend la quasi-totalité des hauts sommets du secteur. Les Hossérés VOKRE, TCHEGUI, GODE et DJOUMIE font partie de cet ensemble. Les altitudes, très élevées, varient de 1 000 à 2 000 mètres.

* La seconde entité moule la première. Elle conserve l'orientation SE - NW malgré l'apparition de quelques ramifications secondaires. Elle assure la transition entre les hauts sommets et les basses terres ou plaines. Les altitudes sont comprises entre 500 et 1 000 mètres. Le puissant massif annulaire de POLI (950 m) appartient à cet ensemble.

* De superficie plus grande, le troisième ensemble se développe de part et d'autre du grand axe montagneux central. Les altitudes varient entre 500 et 300 mètres (surface Africaine II de SEGALEN). Cette surface est légèrement pentée vers le Nord, en direction de la cuvette de la BENOUE.

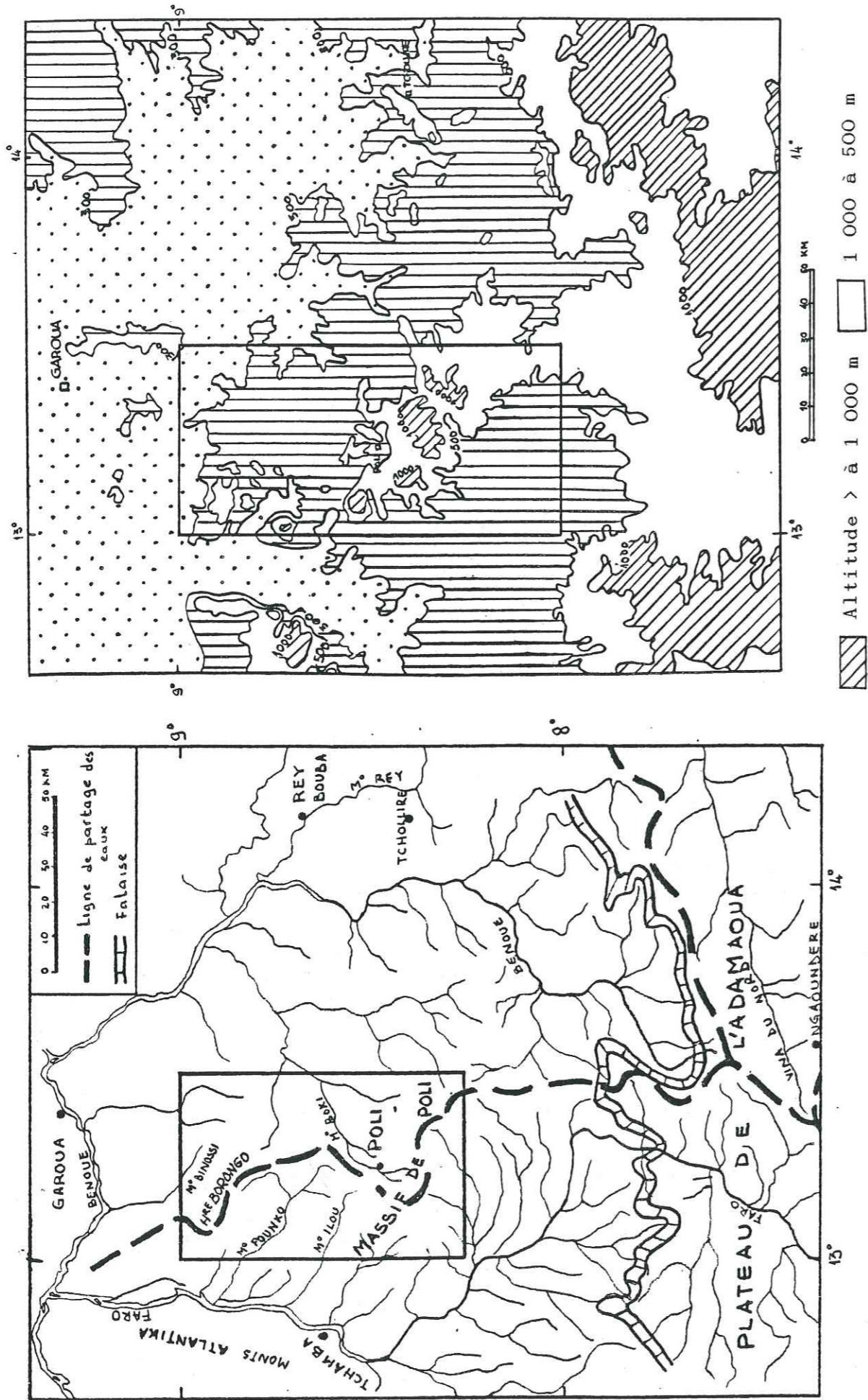


fig 2.1. : Carte de situation du secteur de POLI et hydrographie

fig 2.2.a : Orographie du secteur de POLI

* La quatrième et dernière unité orographique correspond à la partie méridionale de la cuvette de la BENOUE. Les altitudes sont inférieures à 300 mètres, atteignant même 170 mètres au passage de la BENOUE à la frontière nigérienne.

2.1.2.1. Géomorphologie analytique

2.1.2.1.1. Introduction

Le secteur de POLI est situé au Nord du Cameroun, entre les parallèles 8° 15' et 9° de latitude Nord et entre les méridiens 13° et 13° 30' de longitude Est. Il n'est, par conséquent, pas un bassin hydrologique en ce sens qu'il ne constitue pas "un domaine aquifère dans lequel les eaux superficielles s'écoulent vers un même point appelé exutoire" G. CASTANY et J. MARGAT (1977).

Afin que la détermination des données morphométriques et physiographiques soit possible et rigoureuse, nous avons procédé, à l'intérieur de ce secteur alors considéré comme un bassin versant fictif, à la détermination de bassins versants réels. L'opération a consisté en la définition, le long des limites géographiques que sont les parallèles et les méridiens, d'exutoires des différents cours d'eau importants. L'étape suivante a été le tracé judicieux des lignes de partage des eaux, définissant ainsi des bassins versants réels. Chaque bassin ainsi individualisé est désigné par le nom de son collecteur principal. Le modèle des lignes de crêtes étant indépendant des limites géographiques, certains bassins versants présentent des extensions au-delà de celles-ci. Ces extensions étant modestes par rapport aux régions totalement comprises dans le secteur de POLI, nous les avons intégrées dans le calcul des différents paramètres morphométriques.

Cette méthodologie nous a conduit à la définition de huit bassins versants qui sont, par ordre de superficie croissante (fig 2.2.b) :

- 1/ Le bassin versant du Mayo YELE,
- 2/ Le bassin versant du Mayo DAWA,
- 3/ Le bassin versant du Mayo KOTELE,
- 4/ Le bassin versant du Mayo ILOU,
- 5/ Le bassin versant du Mayo BINOSSI,
- 6/ Le bassin versant du Mayo DOUKA,
- 7/ Le bassin versant du Mayo POUNKO,
- 8/ Le bassin versant du Mayo BOKI.

2.1.2.1.2. Détermination des paramètres morphométriques

- 1/ Les paramètres de forme :

Les traits géomorphologiques du secteur de POLI peuvent être mis en évidence en observant les cartes topographiques à l'échelle de 1/200 000 et 1/50 000e. Nous nous proposons d'entreprendre une étude de détail des formes de relief. Les principes et méthodes de cette étude appelée la morphométrie statistique sont présentés par J. TRICART (1965) ; M. DERRUAU (1974) ; P. DUBREUIL (1974) et G. REMENIERAS (1976).

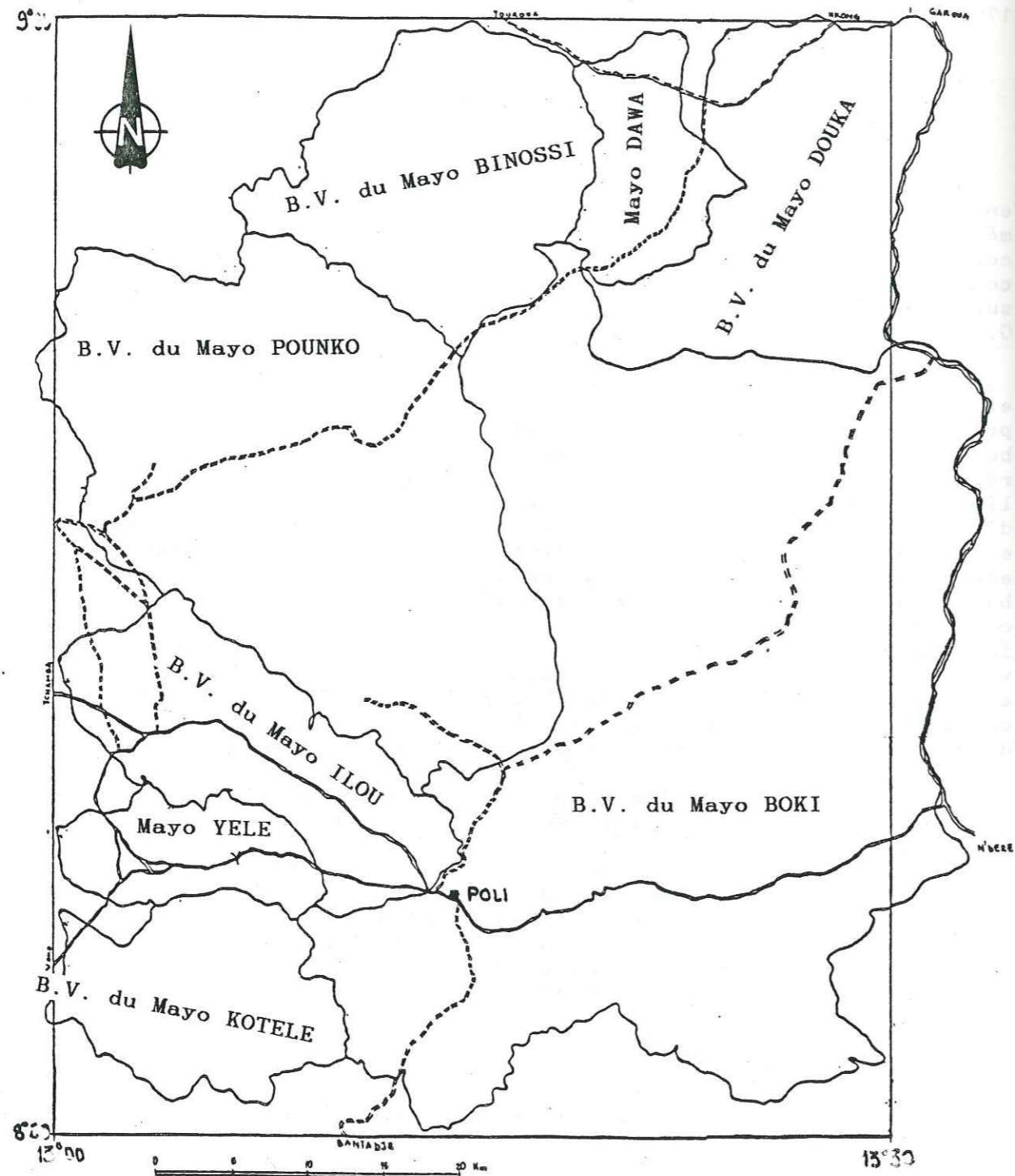


Fig 2.2.b : Localisation des B.V. du secteur de POLI

a) La superficie :

La complexité de mesure de ce paramètre géométrique et la grande précision recherchée nous ont conduit à utiliser trois méthodes différentes de détermination des surfaces :

- * La méthode classique de la grille,
- * La méthode planimétrique,

* La méthode digitale : c'est une méthode informatique de détermination des surfaces (et périmètres) sur table traçante. L'ordinateur utilisé est celui du C.R.T.O. (Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou, BURKINA FASO). L'épaisseur de la pointe du stylet utilisé pour le tracé des contours sur la table traçante explique les valeurs relativement basses obtenues par cette méthode.

Le tableau 2.1. présente les valeurs des surfaces des bassins versants en fonction des méthodes de détermination. Les surfaces finalement retenues pour les calculs qui vont suivre sont les moyennes arithmétiques des surfaces obtenues par les trois procédés.

b) Le périmètre :

L'utilisation du tracé stylisé, au contraire du tracé réel pour la détermination du périmètre, nous a paru plus vraisemblable ; en effet, le périmètre sert uniquement à calculer l'indice de compacité ; or, cet indice est sensé représenter la plus ou moins grande compacité du bassin, c'est-à-dire qu'il rend compte de la plus ou moins grande vitesse de concentration, à l'exutoire, des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du bassin. La différence entre la valeur du périmètre réel et du périmètre stylisé est de l'ordre de 6 % (valeur moyenne pour les huit bassins). Une convergence de cet ordre de grandeur nous paraît très raisonnable, bien que la détermination des différents paramètres morphométriques se fasse en chaîne et que la précision obtenue sur les dernières valeurs calculées dépende avant tout de celle obtenue sur les valeurs de base mesurées.

En final, pour l'estimation du périmètre, des valeurs très proches obtenues au curvimètre nous ont conduit à ne retenir que cette méthode. Le tableau 2.2. donne les différentes valeurs des périmètres stylisés.

c) L'indice de compacité de GRAVELIUS :

L'indice de compacité est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle occupant une superficie équivalente. Il est donc égal à l'unité pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.

Cet indice est donné par la formule :

$$C = 0.28 P \times A^{-1/2}$$

P : périmètre ; A : superficie

| BASSIN VERSANT DU MAYO | METHODE D'ESTIMATION | | | | |
|------------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------------|------|
| | GRILLE | PLANI- METRIE | SYSTEME PYRO- LOR | MOYENNE (en km ²) | % |
| YELE | 96 | 98.0 | 95.0 | 96.3 | 2.7 |
| DAWA | 115 | 114.0 | 112.0 | 113.7 | 3.2 |
| KOTELE | 185 | 177.0 | 187.5 | 183.2 | 5.1 |
| ILOU | 240 | 244.0 | 241.0 | 241.7 | 6.7 |
| BINOSSI | 310 | 308.0 | 309.5 | 309.2 | 8.6 |
| DOUKA | 335 | 335.0 | 332.5 | 334.2 | 9.3 |
| POUNKO | 780 | 790.5 | 784.5 | 785.0 | 21.9 |
| BOKI | 1525 | 1523.0 | 1512.0 | 1520.0 | 42.4 |
| TOTAL | 3586 | 3589.5 | 3574.0 | 3583.2 | 99.9 |

TABLEAU 2.1. : Surfaces moyennes des B.V. de la marge Nord des Montagnes de POLI

| BASSIN VERSANT | PERIMETRE (en km) |
|----------------|----------------------|
| YELE | 46.2 |
| DAWA | 49.0 |
| KOTELE | 58.8 |
| ILOU | 73.6 |
| BINOSSI | 70.6 |
| DOUKA | 86.4 |
| POUNKO | 115.8 |
| BOKI | 210.8 |

TABLEAU 2.2. : Périmètres (tracé stylisé)

Dans le secteur de POLI, les différentes valeurs de l'indice de compacité sont toutes supérieures à l'unité et varient entre 1.12 (bassin du Mayo BINOSSI) à 1.51 (bassin du Mayo BOKI). Le tableau 2.3. récapitule les résultats.

c) Dimensions du rectangle équivalent :

Si nous considérons L et l comme étant respectivement les longueurs et largeurs des différents bassins versants, les rectangles équivalents sont définis tel que $2(L + l) = P$ et $L \times l = A$. On détermine la valeur de L en appliquant la formule :

$$L = A^{1/2} \times \frac{C}{1 + \sqrt{1 - C^2}}$$

Dans la pratique, on l'a traduit sous forme de courbe graphique (DUBREUIL, 1974) donnant L x A^{-1/2} en fonction de la compacité c.

L'emploi de ce graphique nous a donné les différentes valeurs de L et par voie de conséquence, celles de l. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 2.3.

e) Les indices de pente :

Ces indices (Indice de pente s.s Ip et Indice global Ig) se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur les bassins versants. Les tableaux 2.4. à 2.11 donnent les répartitions hypsométriques et les valeurs respectives des indices de pente qui en sont déduites. Pour le calcul des indices de pente global, nous avons déterminé, à partir des courbes hypsométriques des figures 2.3. à 2.10., les altitudes de fréquence 5 % et 95 %, c'est-à-dire les H5% et H95%.

La formule donnant cet indice est :

$$Ig = \frac{D}{L} = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$

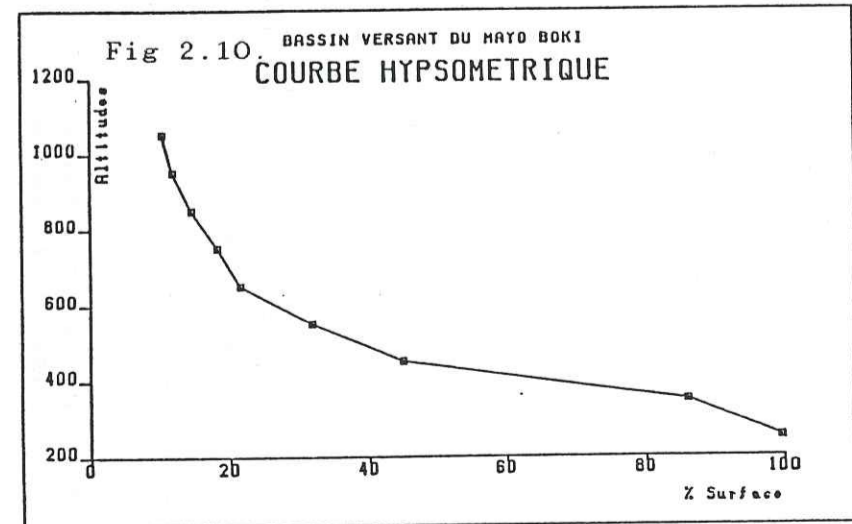
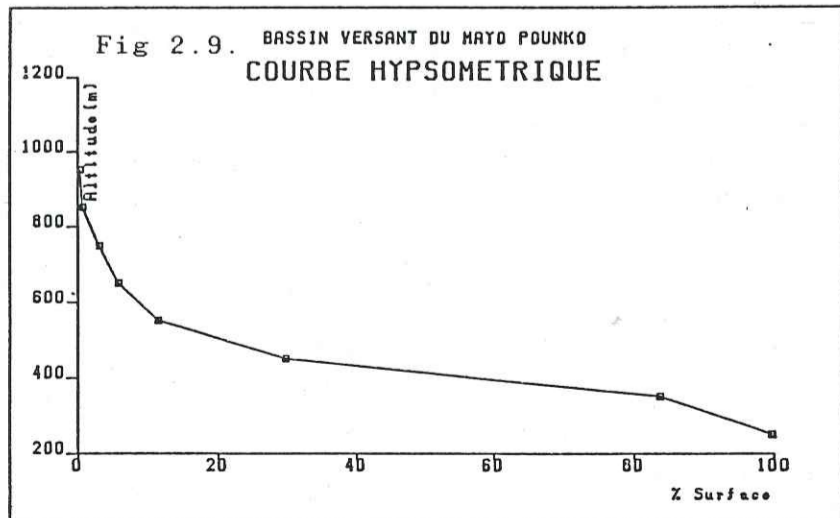
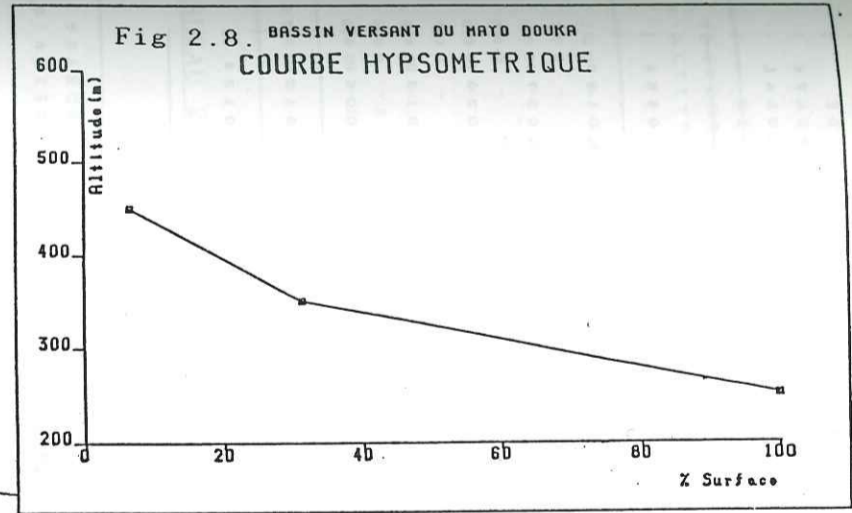
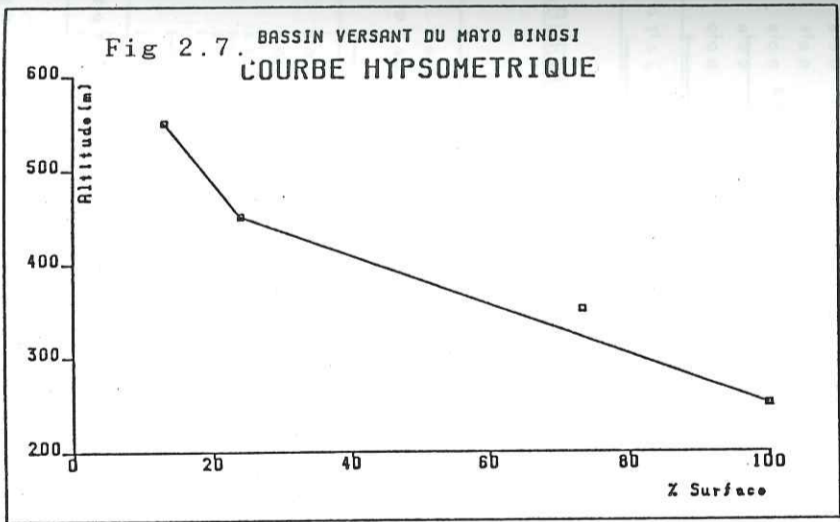
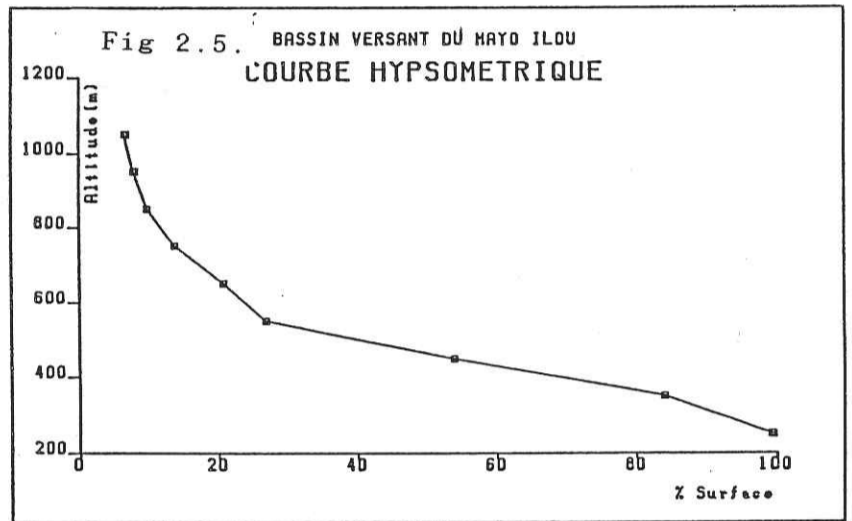
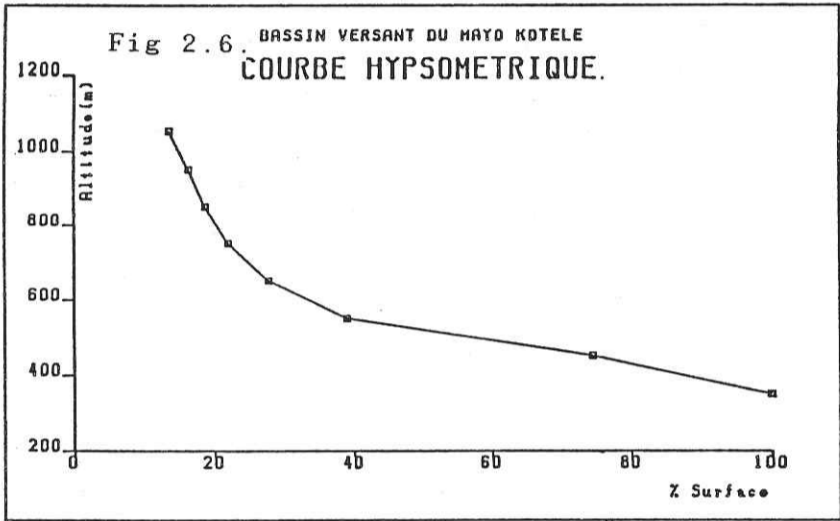
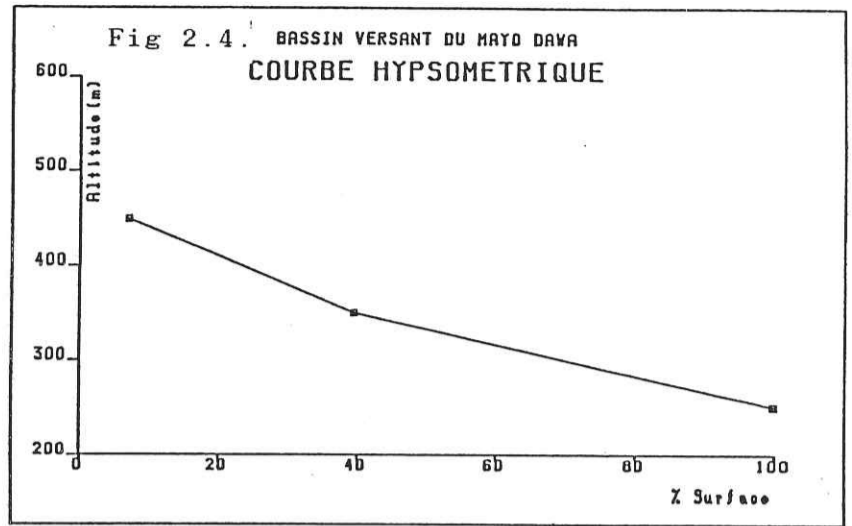
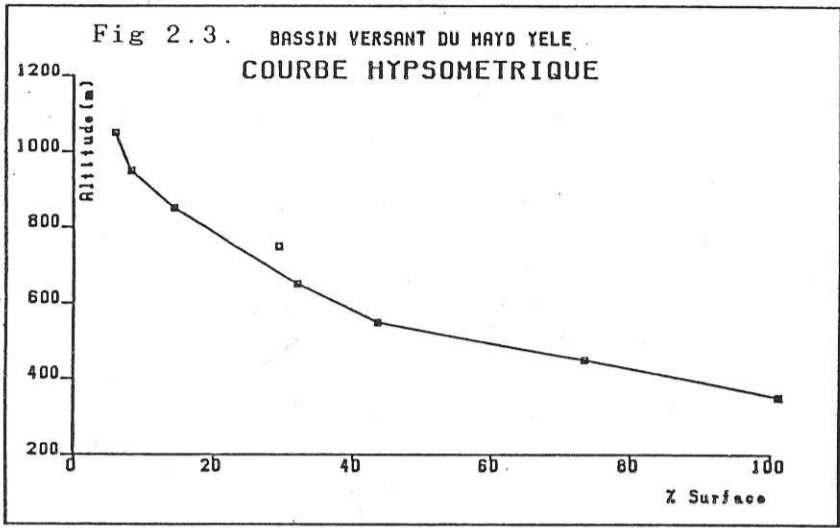
D : dénivelée

L : longueur du rectangle équivalent.

Les valeurs de cet indice pour les différents bassins sont données par le tableau 2.3.

Les valeurs de l'indice de pente (Ip) obtenues pour les différents bassins versants du secteur de POLI varient de 0,859 (Bassin du Mayo DOUKA) à 1.771 (Bassin du Mayo KOTELE).

Les valeurs relativement basses sont en général obtenues pour les bassins versants situés au Nord d'une ligne mimant le parallèle 8°40' de latitude Nord (Bassins des Mayos DOUKA, DAWA et POUNKO). La rareté des reliefs - les seuls observés sont les Hossérés BORONGO et DJOUMTE - est la règle générale. Ces bassins constituent en fait la partie la plus méridionale du grand ensemble morphologique Nord-Camerounais représenté par le Bassin de la Bénoué.



| BASSINS VERSANTS | PARAMETRES | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| | SURFACE (km ²) | PERI- METRE (km) | INDICE DE COM- PACITE c | RECTANGLE EQUI- VALENT | | INDICE DE PEN- TE Ip | INDICE DE PEN- TE GLOBAL IG |
| | | | | LONGUEU (km) | LARGEUR (km) | | |
| YELE | 98.3 | 48.2 | 1.32 | 17.762 | 5.338 | 1.727 | 0.0554 |
| DAWA | 113.7 | 49.0 | 1.28 | 18.340 | 8.180 | 1.175 | 0.0138 |
| KOTELE | 183.2 | 58.8 | 1.21 | 20.300 | 9.100 | 1.771 | 0.0570 |
| ILOU | 241.7 | 73.6 | 1.32 | 28.140 | 8.860 | 1.593 | 0.0297 |
| BINOSSI | 309.2 | 70.8 | 1.12 | 17.580 | 17.580 | 1.437 | 0.0199 |
| DOUKA | 334.2 | 88.4 | 1.32 | 33.090 | 10.110 | 0.859 | 0.0059 |
| POUNKO | 785.0 | 115.8 | 1.15 | 35.862 | 22.038 | 1.173 | 0.0108 |
| BOKI | 1520.0 | 210.8 | 1.51 | 88.500 | 18.900 | 0.900 | 0.0134 |

TABLEAU 2.3. : Paramètres morphométriques du relief des bassins versants du secteur de POLI

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | ai (%) | % CUMULES | di | (ai di)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|-------------|
| 300 - 400 | 28.7 | 5.763 | 99.997 | 100 | 24.008 | | |
| 400 - 500 | 29.1 | 1.817 | 94.234 | 100 | 13.480 | 17.762 | 985 |
| 500 - 600 | 10.1 | 5.867 | 92.417 | 100 | 24.221 | | |
| 600 - 700 | 2.1 | 14.901 | 88.560 | 100 | 12.208 | Ip = 1.727 | |
| 700 - 800 | 14.3 | 2.232 | 71.649 | 100 | 14.940 | | |
| 800 - 900 | 5.8 | 11.370 | 69.417 | 100 | 39.720 | IG = 0.0554 | |
| 900 - 1 000 | 1.7 | 30.269 | 58.047 | 100 | 55.017 | | |
| 1 000 - 1 100 | 5.5 | 27.778 | 27.778 | 100 | 52.704 | | |
| TOTAL | 98.3 | | | 800 | 230.294 | | |

TABLEAU 2.4. : Répartition hypsométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo YELE

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | ai (%) | % CUMULES | di | (ai di)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|-------------|
| 200 - 300 | 70.6 | 82.038 | 99.999 | 100 | 78.764 | 18.340 | 250 |
| 300 - 400 | 37.0 | 32.513 | 37.981 | 100 | 57.020 | | |
| 400 - 500 | 8.2 | 5.448 | 5.448 | 100 | 23.340 | Ip = 1.175 | |
| | | | | | | IG = 0.0138 | |
| TOTAL | 113.8 | | | 300 | 159.124 | | |

TABLEAU 2.5. : Répartition hypsométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo DAWA.

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | ai (%) | % CUMULES | di | (ai di)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|-------------|
| 200 - 300 | 37.8 | 15.613 | 99.995 | 100 | 39.513 | | |
| 300 - 400 | 72.2 | 30.648 | 84.382 | 100 | 55.380 | 28.140 | 835 |
| 400 - 500 | 88.0 | 27.281 | 53.734 | 100 | 52.212 | | |
| 500 - 600 | 14.7 | 8.071 | 28.473 | 100 | 24.840 | Ip = 1.593 | |
| 600 - 700 | 18.9 | 8.980 | 20.402 | 100 | 26.420 | | |
| 700 - 800 | 8.5 | 3.923 | 13.422 | 100 | 19.808 | IG = 0.0297 | |
| 800 - 900 | 4.1 | 1.893 | 9.499 | 100 | 13.011 | | |
| 900 - 1 000 | 2.7 | 1.115 | 7.808 | 100 | 10.580 | | |
| 1 000 - 1 100 | 18.2 | 8.891 | 8.891 | 100 | 25.867 | | |
| TOTAL | 242.1 | | | 900 | 287.389 | | |

TABLEAU 2.6. : Répartition hypsométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo ILOU

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | ai (%) | % CUMULES | di | (ai di)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|-------------|
| 300 - 400 | 47.8 | 25.940 | 100.000 | 100 | 50.931 | | |
| 400 - 500 | 68.6 | 38.294 | 74.060 | 100 | 60.244 | 20.30 | 1155 |
| 500 - 600 | 20.4 | 11.120 | 37.768 | 100 | 33.348 | | |
| 600 - 700 | 10.3 | 5.813 | 28.648 | 100 | 23.691 | Ip = 1.771 | |
| 700 - 800 | 5.4 | 2.942 | 21.033 | 100 | 17.152 | | |
| 800 - 900 | 3.9 | 2.125 | 18.091 | 100 | 14.577 | IG = 0.0570 | |
| 900 - 1 000 | 4.5 | 2.452 | 13.988 | 100 | 15.658 | | |
| 1 000 - 1 100 | 24.8 | 13.514 | 13.514 | 100 | 38.781 | | |
| TOTAL | 183.5 | | | 800 | 252.380 | | |

TABLEAU 2.7. : Répartition hypsométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo KOTELE

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | ai (%) | % CUMULES | di | (ai di)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|-------------|
| 200 - 300 | 82.4 | 26.650 | 99.999 | 100 | 51.624 | 17.580 | 350 |
| 300 - 400 | 154.7 | 50.032 | 73.349 | 100 | 70.733 | | |
| 400 - 500 | 32.9 | 10.640 | 23.317 | 100 | 32.620 | Ip = 1.437 | |
| 500 - 600 | 39.2 | 12.877 | 12.877 | 100 | 35.805 | | |
| | | | | | | IG = 0.0199 | |
| TOTAL | 309.2 | | | 400 | 190.582 | | |

TABLEAU 2.8. : Répartition hypsométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo BINOSSI

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | a1 (%) | % CUMULES | a1 | (a1 a1)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|----------------|
| 200 - 300 | 235.1 | 70.347 | 99.999 | 100 | 83.873 | 33.090 | 195 |
| 300 - 400 | 81.5 | 24.388 | 29.852 | 100 | 49.382 | | |
| 400 - 500 | 17.8 | 5.268 | 5.268 | 100 | 22.948 | | |
| | | | | | | | $I_p = 0.859$ |
| | | | | | | | $I_g = 0.0059$ |
| TOTAL | 334.2 | | | 300 | 158.203 | | |

TABLEAU 2.9. : Répartition hysométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo DOUKA

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | a1 (%) | % CUMULES | a1 | (a1 a1)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|----------------|
| 200 - 300 | 128.2 | 18.08 | 99.984 | 100 | 40.100 | | |
| 300 - 400 | 427.4 | 54.45 | 83.904 | 100 | 73.800 | 35.882 | 380 |
| 400 - 500 | 144.2 | 18.37 | 29.454 | 100 | 42.880 | | |
| 500 - 600 | 44.2 | 5.83 | 11.084 | 100 | 23.728 | | $I_p = 1.173$ |
| 600 - 700 | 20.8 | 2.85 | 5.454 | 100 | 18.279 | | |
| 700 - 800 | 17.7 | 2.28 | 2.804 | 100 | 15.033 | | $I_g = 0.0108$ |
| 800 - 900 | 2.8 | 0.381 | 0.544 | 100 | 8.008 | | |
| 900 - 1 000 | 1.4 | 0.183 | 0.183 | 100 | 4.278 | | |
| TOTAL | 784.7 | | | 800 | 222.088 | | |

TABLEAU 2.10. : Répartition hysométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo POUNKO

| TRANCHE D'ALTITUDE | SURFACE UNITAIRE (en km ²) | a1 (%) | % CUMULES | a1 | (a1 a1)1/2 | L (en km) | D (en m) |
|-----------------------|--|-----------|--------------|-----|---------------|--------------|----------------|
| 200 - 300 | 207.0 | 13.818 | 100.352 | 100 | 38.902 | | |
| 300 - 400 | 829.5 | 41.414 | 88.734 | 100 | 84.353 | 88.500 | 1 180 |
| 400 - 500 | 199.4 | 13.118 | 45.320 | 100 | 38.218 | | |
| 500 - 600 | 157.8 | 10.388 | 31.952 | 100 | 32.200 | | $I_p = 0.900$ |
| 600 - 700 | 49.1 | 3.230 | 21.584 | 100 | 17.972 | | |
| 700 - 800 | 58.4 | 3.842 | 18.354 | 100 | 19.801 | | $I_g = 0.0134$ |
| 800 - 900 | 40.5 | 2.884 | 14.512 | 100 | 18.321 | | |
| 900 - 1 000 | 21.3 | 1.401 | 11.848 | 100 | 11.838 | | |
| 1 000 - 1 100 | 158.8 | 10.447 | 10.447 | 100 | 32.321 | | |
| TOTAL | 1520.0 | | | 900 | 287.724 | | |

TABLEAU 2.11. : Répartition hysométrique et paramètres morphométriques du bassin du Mayo BOKI

Les valeurs les plus élevées, quant à elles, sont obtenues pour les bassins situés entre les parallèles 8°20' et 8°40' de latitude Nord. Les bassins que comporte cette zone géographique présentent les sommets les plus hauts du secteur de POLI. La valeur de 1.727 obtenue pour le bassin versant du Mayo YELE s'explique par le fait que les affluents et le collecteur principal de ce système coulent sur des pentes très raides constituées par deux imposants alignements de montagnes orientés approximativement Est-Ouest : les Hossérés GODE-BOULKEGATE et MOUTO au Nord, et les Hossérés PAL-YALBO et DEMBAKO au Sud. Le bassin versant du Mayo KOTELE ($I_p = 1.771$) connaît le même phénomène d'environnement montagneux (Hossérés YALBO au Nord, PANGOUL au Nord-Est, SIGARI au Sud-Est et NYAM au Sud).

Quant au bassin du Mayo BOKI, la valeur de 0.900 résulte du fait que les deux-tiers du bassin versant sont occupés par les formations alluviales annonçant déjà la vaste plaine alluviale de la BENOUE située plus à l'Est, juste après la confluence du Mayo BOKI et du Mayo SALA. En dehors de la limite Sud-Ouest constituée par les Hossérés MANGO et PAPE, la quasi-totalité du bassin est pénéplanée.

Le tableau 2.12 donne les valeurs et les localisations géographiques des points les plus hauts et les plus bas des différents bassins versants du secteur de POLI.

CONCLUSION

L'altitude varie de 200 à 2 000 mètres, mais près de la moitié du secteur de POLI est comprise entre 300 et 500 mètres (fig 2.2.a).

Les parties les plus basses, inférieures à 300 mètres s'observent dans la moitié Nord du secteur et sont en pente vers la BENOUE. Les surfaces d'altitudes supérieures à 500 mètres moulent la ligne de partage des eaux entre le FARO et la BENOUE (fig 2.1) ; ce sont, du Nord au Sud, les Hossérés BORONGO (683 m), RIGA (717 m), DOUMBOULKO (1 160 m) et PANGOUL (1 125 m).

L'étude morphométrique statistique des versants nous a permis de nous rendre compte que, dans le détail, les reliefs sont assez variés. Cette diversité des altitudes est liée à la nature géologique des formations rencontrées autant qu'elle influence considérablement les facteurs hydrologiques (fig 1.19) et la phytogéographie.

| BASSINS VERSANTS | ALTITUDES | | LOCALISATION GEOLOGIQUE |
|---------------------|----------------|----------------|---|
| | A:Altitude max | a:Altitude min | |
| YELE | A = 1 489 | a = 320 | Hosséré GOMBO Ouest de TOURME |
| DAWA | A = 492 | a = 226 | NW de BOUMEDJE |
| KOTELE | A = 1 648 | a = 332 | NE Hosséré SIGARI NW Route VOKO-GODE |
| ILOU | A = 1 665 | a = 305 | Hosséré BOULKEGATE Village NINGTELI |
| BINOSSI | A = 663 | a = 235 | Hosséré MALA E Village TCHEBOA |
| DOUKA | A = 473 | a = 220 | N. BOUMEDJE |
| POUNKO | A = 1 167 | a = 255 | Hosséré KJOURMTE S du Village KEDE |
| BOKI | A = 2049 | a = 252 | Hosséré VOKRE Radier rte NDéré-GRA |

TABLEAU 2.12 : Altitudes maximale et minimale des bassins versants du secteur de POLI.

2.1.3. LA PHYTOGEOGRAPHIE

La région étudiée appartient en totalité à la zone des savanes soudaniennes qui s'étend entre le plateau de l'ADAMAOUA au Sud et les Monts MANDARA au Nord (R. LETOUZEY, 1958). Ce sont en général des savanes boisées ayant çà et là un aspect de forêt claire. On peut y distinguer trois grands ensembles liés au relief :

* Les prairies : elles recouvrent les basses terres constituées par les surfaces inondables de la vallée de la BENOUE.

* Les savanes occupent la quasi-totalité des surfaces comprises entre les basses terres et les hauts sommets (1 000 m). Elles sont arborées et passent souvent à des forêts claires.

* Les espèces montagnardes gouvernent les hauts sommets, mais la végétation conserve des caractères plus soudaniens que franchement montagnards (R. LETOUZEY).

Les influences humaines sont considérables, notamment dans les vallées qui convergent vers POLI, au piedmont de nombreux massifs comme ceux de DJOURMTE, GODE et le long de la route GOUNA-POLI. Ces effets anthropiques, consistent en des feux de brousse allumés pour faire sortir les animaux de leur terrier et en la coupe des arbres pour le chauffage. Ils ont un effet notable sur la célérité du processus d'érosion des sols et le phénomène d'évaporation des eaux infiltrées.

2.1.4. HYDROGRAPHIE

2.1.4.1. Généralités

La BENOUE et le FARO qui sont les deux principaux cours d'eau drainant le Nord-Cameroun prennent leur source dans le plateau de l'ADAMAOUA. Le secteur de POLI, situé à cheval sur la ligne de partage des eaux de ces deux fleuves, est drainé par les affluents de ces deux systèmes ; les plus importants sont :

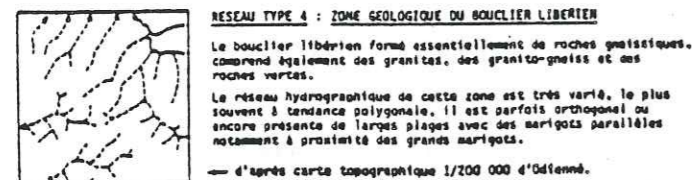
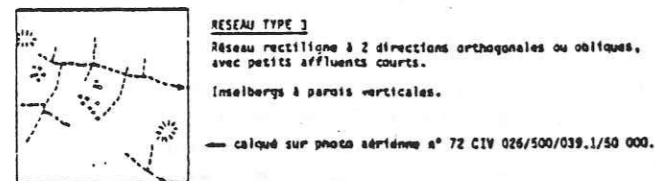
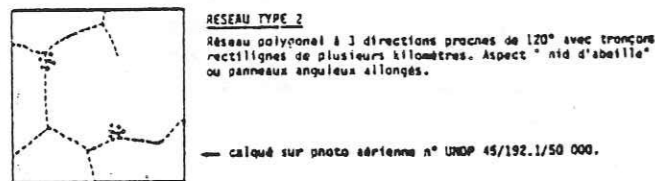
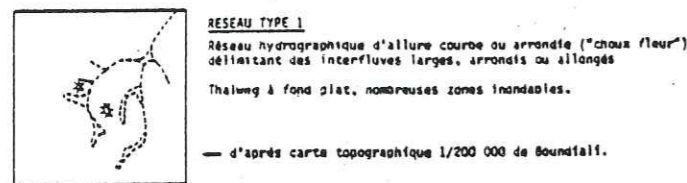
* Les Mayo LIOU - DOUKOUA - DJARINDI - BANTADJE - KOTELE - ILOU et POUNKO pour le FARO,

* Les mayo ALIM - SALA - BALCHE - BOKI - KILBOU - DOUKA - DAWA et BINOSSI pour la BENOUE.

Le réseau de thalwegs et vallées est partout très dense et ramifié, sauf sur les entablements cuirassés des environs de RIGA, TSORKE et KONE d'une part, et entre les Mayo DOUKOUA et LIOU d'autre part. En général, les rivières de POLI ne possèdent pas des débits pérennes. La précarité ou même l'absence totale de débit d'étiage laisse par endroits des chapelets de mares espacées, de potabilité douteuse. Ces mares, seuls points d'eau en saison sèche, sont des sites privilégiés de développement des germes de maladies diverses.

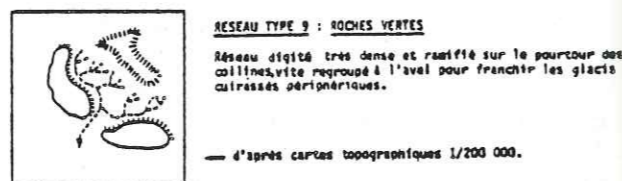
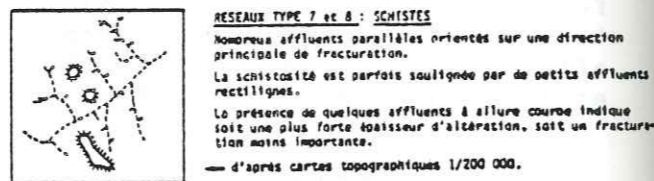
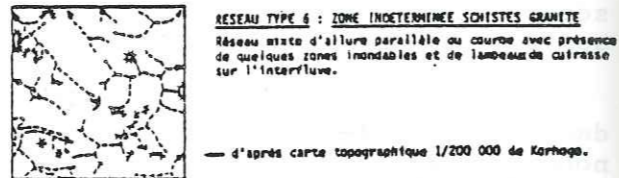
2.1.4.2. Le chevelu hydrographique

A partir des cartes au 1/200 000 et 1/50 000, nous avons procédé à la restitution en plan du chevelu hydrographique des différents bassins versants. Nous nous proposons, dans ce chapitre, d'étudier, en fonction des exemples types de réseaux hydrographiques en terrain cristallin proposés par (L. BOURGUET, 1980), la représentation spatiale des bassins du secteur de POLI.



RESEAU TYPE 5 : ZONE FORESTIERE
La couverture forestière ne permet pas de percevoir sur photos l'allure du réseau hydrographique.

Réseaux en zone granito-gneissique



Réseaux en zone birrimienne

Exemples de types de réseaux hydrographiques en Côte-d'Ivoire (BOURGUET L. 1980) où apparaît également la variation de la densité du réseau en fonction des faciès pétrographiques

Fig 2.11.

a) Le bassin du Mayo YELE :

Ce réseau est de type 3. Il présente deux directions suborthogonales d'écoulement : la première, sensiblement Est-Ouest, est empruntée par le collecteur principal (le Mayo YELE), tandis que tous les affluents adoptent un tracé Nord-Sud passant à NNE-SSW. Ce bassin est situé dans l'axe de la "vallée des Rôniers". Cette importante structure géologique est, en fait, un décrochement d'une vingtaine de kilomètres d'extension (TOTEU et al, 1984). Les limites Nord et Sud de cette vallée sont constituées par des alignements montagneux à parois subverticales. Des thalwegs pittoresques orientées sensiblement N-S jalonnent les versants de ces montagnes et constituent les lits des affluents du Mayo YELE.

b) Le bassin du Mayo DAWA :

Malgré l'inexistence des zones d'inondations due à la perméabilité des terrains et à la pente légèrement inclinée en direction du Nord, le réseau est de type 6. Il présente une allure courbe dans le secteur Sud et subparallèle sur la rive gauche du Mayo DAWA.

c) Le bassin du Mayo KOTELE :

Ce réseau est de type 4. La tendance générale est polygonale à parallèle. Il est l'illustration même du réseau hydrographique sur terrain granito-gneissique. Les cours d'eau empruntent des thalwegs d'origine vraisemblablement tectonique. Ces thalwegs ont des orientations variées et témoignent de la fracturation anisotrope du bed-rock. Nous en donnerons une explication plus loin.

d) Le bassin du Mayo ILOU :

Ce bassin, très allongé, est, comme celui du Mayo YELE, de type 3. Le Mayo ILOU, qui est le collecteur principal, coule suivant une direction SE - NW. Il développe son cours entre deux importants alignements de chaînes de montagnes : au Nord, les Hossérés NYAOUREDOU (714 m), PATOK (956 m) et RIGA (629 m) ; au Sud, les Hossérés GODE (1 489 m), BOULKEGATE (1 665 m) et MOUTO (1 238 m). Les affluents du Mayo ILOU coulent sur les versants de ces montagnes sur lesquelles ils ont creusé de vastes vallées. Aux flancs de ces massifs, la roche fracturée a donné naissance à des éboulis de forme et volume gigantesques. C'est notamment le cas à FIGNOLE, à près de 800 mètres de la Mission Catholique. La fracturation anisotrope du granite de GODE a généré des éboulis très volumineux. Ces éboulis masquent la source à débit modeste, mais pérenne qui est captée pour l'alimentation en eau de la Mission. Le contrôle des phénomènes de pollution naturelle ou artificielle de ces eaux est impossible dans la mesure où la station de captage est située probablement très loin de la source qui est masquée par les éboulis.

e) Le bassin du Mayo BINOSSI :

Ce bassin a un chevelu hydrographique de type 4. La tendance générale est parallèle mais le réseau présente un motif radial aux pieds des Hossérés KONE (638m) et MALA (663m)

f) Le bassin du Mayo DOUKA :

Il est de type 6, mais ne présente pas de zone d'inondations au sens strict. Toutefois, des zones de flats marécageux sont présentes le long du Mayo DOUKA. La direction de ce dernier est sensiblement S-N.

g) Le bassin du Mayo POUNKO :

Comme le bassin du Mayo ILOU, celui-ci est allongé. Le collecteur principal a un tracé SE -NW. Le réseau hydrographique est très variable ; d'un réseau de type 4 à tendance orthogonale à parallèle, il passe au type 2 à la rive droite du Mayo POUNKO ; ici, il a un aspect "nid.d'abeille" en ceinturant le Hosséré BALAGEN. Au niveau de ce massif, le réseau est radial. L'exutoire de ce bassin est pincé entre deux importants massifs : le Massif de BORONGO (683 m) au Nord et le Hosséré NYORE (1 163 m) au Sud.

h) Le bassin du Mayo BOKI :

Le réseau de ce bassin est très ramifié et varié. Il passe d'un type 4 à tendance orthogonale au Nord à un type 6 au Sud et à l'Est où la plaine alluviale est une zone d'inondation par excellence. Au Sud, les innombrables ruisseaux coulant sur les flancs Nord des "Massifs de POLI" creusent de nombreuses petites vallées mais ces flancs sont tous sans eau en saison sèche. Les directions d'écoulement sont variées pour les affluents mais constantes pour le Mayo BOKI (SSW -NNE).

2.1.4.3. Les paramètres morphométriques du réseau

2.1.4.3.1. Classification des thalwegs

Divers auteurs ont proposé des méthodes de classification des thalwegs qui s'écartent les unes des autres depuis la conception jusqu'aux résultats obtenus. La plus usuelle reste cependant celle de SCHUMM présentée par P. DUBREUIL (1974). Cette classification définit un ordre des tronçons des thalwegs à partir d'une règle simple : "est d'ordre (n + 1) tout tronçon de rivière formé par l'union de deux cours d'eau d'ordre n". Toutefois, on peut utilement consulter celle de HORTON qui définit un ordre des thalwegs à partir du principe suivant : "tout cours d'eau sans affluent est d'ordre 1 ; tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre n'est d'ordre (n + 1) et garde cet ordre sur toute sa longueur ; à la confluence de deux thalwegs d'importance égale, on donne l'ordre supérieur au plus long".

Dans nos travaux, nous avons retenu la méthode de classification de SCHUMM.

2.1.4.3.2. Méthodologie et résultats

Nous avons appliqué la méthode de SCHUMM aux réseaux hydrographiques des huit bassins versants individualisés dans le secteur de POLI. Pour l'ensemble de ces bassins, la connaissance des nombres et longueurs des thalwegs classés par ordre, passe par l'application des deux lois de HORTON :

Première loi :

Dans un bassin versant, le nombre N_x de thalwegs s'ordonne suivant une loi géométrique inverse. L'auteur démontre que l'équation générale de cette loi, prise sous sa forme logarithmique est la suivante : $\text{Log } N_x = -Ax + B$. C'est l'équation d'une droite. La représentation graphique de cette droite permet de déduire, pour chaque bassin, le nombre de thalwegs (fig 2.12. à 2.14.).

Deuxième loi :

Dans un bassin versant, les longueurs moyennes des thalwegs suivent une loi géométrique directe. L'équation générale est de la forme $\text{Log } L_x = Ax + B$. la représentation graphique de cette droite permet de déduire, pour chaque bassin, la longueur totale de chaque ordre de thalweg (fig 2.12 à 2.14).

2.1.4.3.3. Détermination des paramètres morphologiques

a) Le rapport de confluence :

Ce rapport est le quotient du nombre de thalwegs d'ordre x par celui des thalwegs d'ordre supérieur ($x + 1$), soit :

$$R_c = N_x / N_{x+1}$$

b) La densité de drainage :

La formule permettant de chiffrer ce paramètre est :

$$D_d = \sum_1^n L_x / A$$

avec :

x = ordre des thalwegs classés selon SCHUMM de 1 à n (ordre du thalweg principal ; ce thalweg étant incomplet dans nos bassins, il n'est donc pas pris en compte).

L_x = longueur totale cumulée des thalwegs d'ordre x .

A : surface du bassin.

c) Le rapport de longueur :

Ce paramètre est donné par la formule :

$$R_L = \frac{L_{x+1}}{L_x}$$

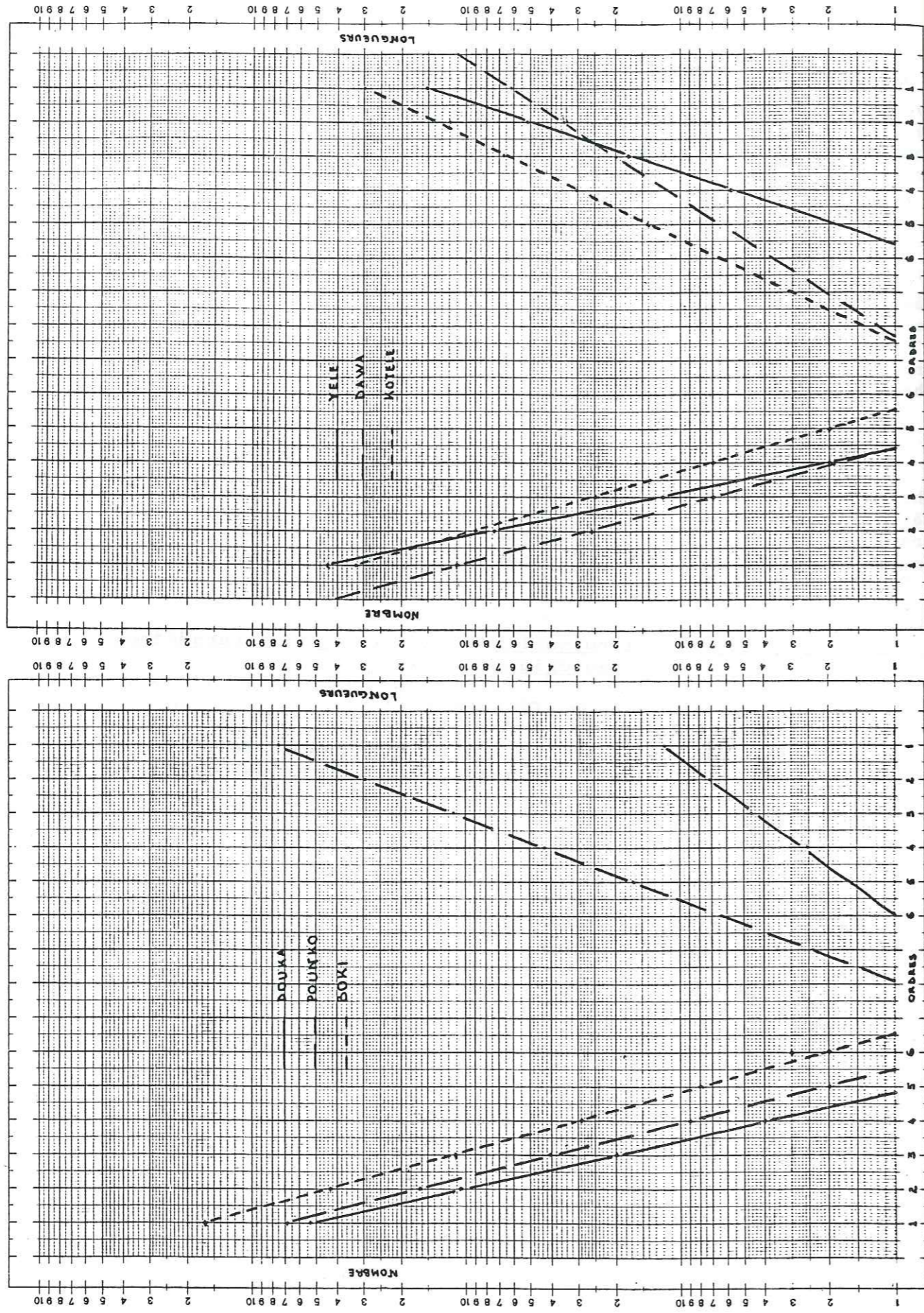


fig 2.12. : Nombres et longueurs des thalwegs

fig 2.14. : Nombres et longueurs des thalwegs

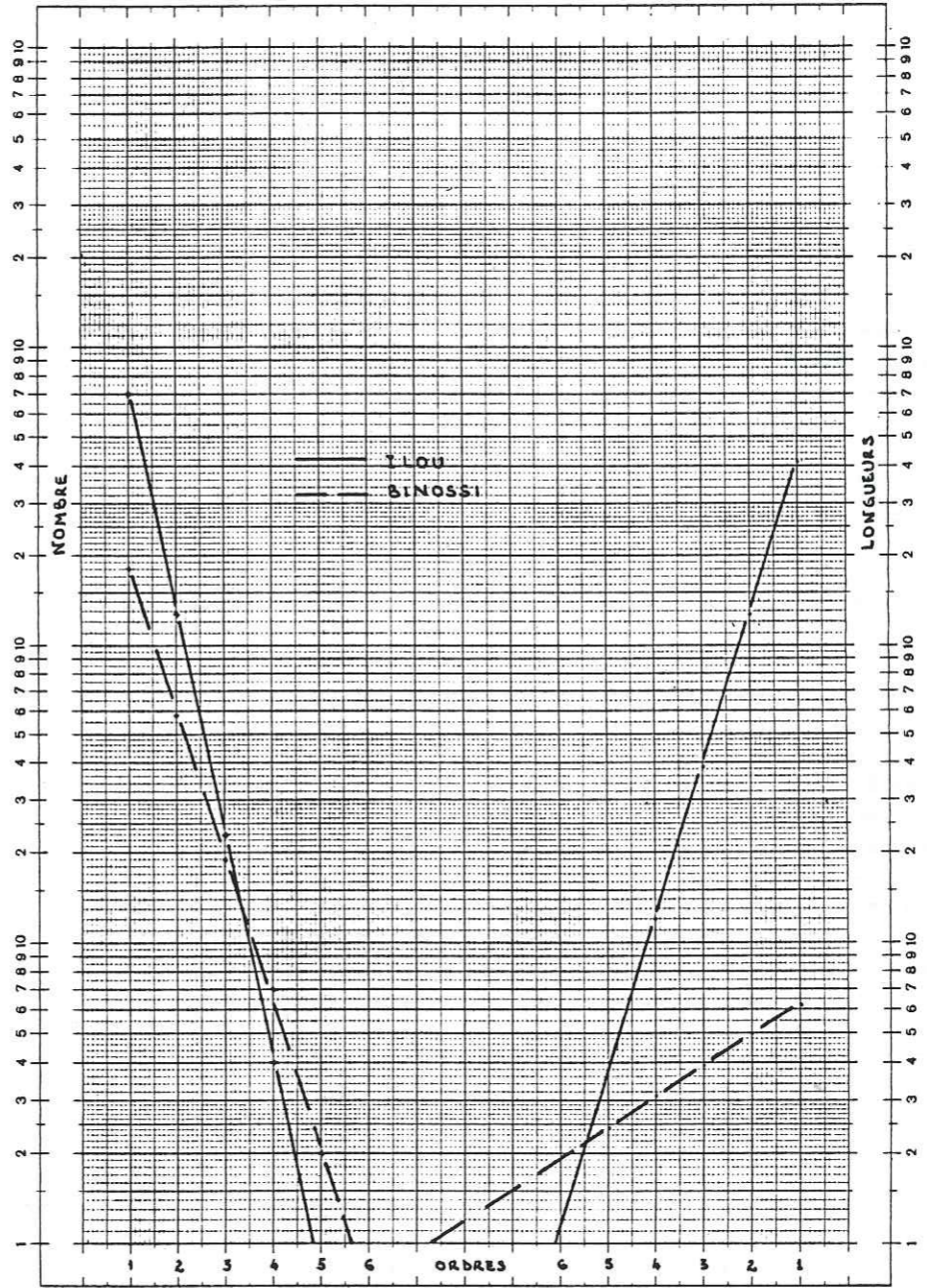


fig 2.13. : Nombres et longueurs des thalwegs

| B.V. | O R D R E | | | | | | | | |
|---------|-----------|--------|-------|-------|-------|------|---|---|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | TOTAL |
| YELE | NOMBRE | 445 | 74 | 12 | 2 | 1 | - | - | 534 |
| | LONGUEURS | 150.50 | 51.25 | 17.30 | 5.80 | - | - | - | 224.85 |
| DAWA | NOMBRE | 110 | 28 | 7 | 1 | - | - | - | 144 |
| | LONGUEURS | 82.0 | 34.8 | 20.0 | - | - | - | - | 116.8 |
| KOTELE | NOMBRE | 325 | 90 | 25 | 7 | 2 | 1 | - | 450 |
| | LONGUEURS | 298.80 | 140.0 | 88.20 | 30.08 | 14.2 | - | - | 549.08 |
| ILOU | NOMBRE | 700 | 128 | 23 | 4 | 1 | - | - | 856 |
| | LONGUEURS | 415.20 | 128.0 | 38.5 | 12.0 | - | - | - | 583.7 |
| BINOSSI | NOMBRE | 180 | 58 | 19 | 7 | 2 | 1 | - | 287 |
| | LONGUEURS | 82.50 | 50.0 | 39.5 | 30.5 | 24.2 | - | - | 206.7 |
| DOUKA | NOMBRE | 540 | 105 | 20 | 4 | 1 | - | - | 670 |
| | LONGUEURS | 113.40 | 72.0 | 48.0 | 25.5 | - | - | - | 256.9 |
| POUNKO | NOMBRE | 890 | 185 | 41 | 9 | 2 | 1 | - | 908 |
| | LONGUEURS | 750.0 | 295.0 | 114.0 | 43.0 | 18.8 | - | - | 1218.8 |
| BOKI | NOMBRE | 1850 | 435 | 112 | 29 | 8 | 2 | 1 | 2238 |
| | LONGUEURS | | | | | | | | |

| B.V. | Re | Db | RL |
|---------|-------|-------|-------|
| YELE | 8.080 | 2.335 | 2.980 |
| DAWA | 3.972 | 1.027 | 1.780 |
| KOTELE | 3.570 | 2.897 | 2.141 |
| ILOU | 5.594 | 2.458 | 3.258 |
| BINOSSI | 3.092 | 0.688 | 1.287 |
| DOUKA | 5.130 | 0.789 | 1.848 |
| POUNKO | 4.315 | 1.552 | 2.582 |
| BOKI | 3.238 | | |

TABLEAU 2.13. : Nombre, longueurs et paramètres morphologiques des thalwegs du Secteur de POLI

Les valeurs de ces paramètres, pour les différents bassins, sont données par le tableau 2.13.

2.1.5. CLIMATOLOGIE

2.1.5.1. Les relevés météorologiques

Le secteur de POLI, comme du reste l'ensemble du Nord Cameroun, dispose d'un nombre très restreint de stations météorologiques. Pour l'ensemble de la zone considérée, on en dénombre quatre :

* celle de POLI située à 436 mètres d'altitude est fonctionnelle depuis plus de 50 ans.

* celle de FIGNOLE, qui a été créée et entretenue à titre bénévole pendant 25 ans par le Père JEAN MARTIN. En 1982, date de retour de ce missionnaire en FRANCE, la station de l'Institut de Recherches Agronomiques (I.R.A.), a pris la relève.

* celle de SAFAIE (rebaptisée DJELEPO), qui n'a fonctionné que pendant 8 ans.

* et enfin, celle de GODE.

2.1.5.2. La pluviométrie

Du point de vue pluviométrique, notre secteur d'étude bénéficie des enregistrements effectués à POLI, FIGNOLE et GODE. Les valeurs des hauteurs pluviales sont élevées car les trois stations sont localisées en bordure des hauts reliefs des "massifs de POLI".

| | POLI | FIGNOLE |
|-----------|---------|---------|
| JANVIER | 0.0 | 0.0 |
| FEVRIER | 0.0 | 0.0 |
| MARS | 10.0 | 13.2 |
| AVRIL | 129.6 | 97.3 |
| MAI | 215.9 | 160.2 |
| JUIN | 228.4 | 177.5 |
| JUILLET | 261.5 | 241.4 |
| AOUT | 330.7 | 276.9 |
| SEPTEMBRE | 272.9 | 262.5 |
| OCTOBRE | 136.0 | 120.2 |
| NOVEMBRE | 12.7 | 0.5 |
| DECEMBRE | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL | 1 660.0 | 1 349.7 |
| NJ pluies | 93 | 93 |

TABLEAU 2.14 : Moyennes mensuelles des pluies : Période 1962 - 1965

| | POLI | FIGNOLE |
|-----------|---------|----------|
| JANVIER | 0.0 | 0.0 |
| FEVRIER | 0.0 | 1.5 |
| MARS | 23.8 | 9.9 |
| AVRIL | 102.2 | 61.2 |
| MAI | 167.9 | 128.2 |
| JUIN | 210.5 | 158.5 |
| JUILLET | 319.6 | 245.5 |
| AOUT | 321.4 | 263.6 |
| SEPTEMBRE | 275.1 | 209.7 |
| OCTOBRE | 86.0 | 70.9 |
| NOVEMBRE | 1.4 | 0.06 |
| DECEMBRE | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL | 1 507.9 | 1 149.06 |
| NJ pluies | - | 88 |

TABLEAU 2.15 : Moyennes mensuelles des pluies :
Période 1966 - 1975

| | POLI | FIGNOLE | GODE |
|-----------|---------|----------|---------|
| JANVIER | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FEVRIER | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| MARS | 9.2 | 9.0 | 6.0 |
| AVRIL | 63.0 | 91.2 | 78.1 |
| MAI | 201.0 | 145.2 | 181.3 |
| JUIN | 188.9 | 180.0 | 184.1 |
| JUILLET | 304.0 | 234.6 | 232.0 |
| AOUT | 253.7 | 292.1 | 287.2 |
| SEPTEMBRE | 258.8 | 234.4 | 291.5 |
| OCTOBRE | 127.7 | 93.0 | 134.0 |
| NOVEMBRE | 8.2 | 0.0 | 10.0 |
| DECEMBRE | 0.0 | 0.0 | 5.0 |
| TOTAL | 1 415.0 | 1 279.56 | 1 410.2 |
| NJ pluies | | 68 | |

TABLEAU 2.16 : Moyennes mensuelles des pluies :
Période 1976- 1985

Pour la station de POLI, la comparaison des moyennes annuelles des pluies des trois périodes considérées montre une baisse des lames d'eau. Cette baisse, de l'ordre de 158,1 mm entre les périodes 1962-1965 et 1966-1975, passe à 92,9 entre cette période et la décennie suivante (1976-1985). Cette tendance à la baisse des hauteurs pluviométriques mise en évidence dans le secteur de POLI est d'ailleurs générale et concerne l'ensemble du Nord-Cameroun. Cette évolution vers une aridité plus grande résulte de l'avancée du Sahel vers le 8ème parallèle. Toutefois, les reliefs proches créent des conditions locales permettant de maintenir la pluviométrie au dessus de 1 100 mm.

La répartition statistique des pluies annuelles de POLI, par rapport à celles de NGAOUNDERE, a donné, par ajustement suivant la loi normale de LAPLACE-GAUSS, les valeurs reportées dans le tableau 2.16.b.

| | POLI | NGAOUNDERE |
|-----------------|-------|------------|
| Nombre d'années | 36 | 44 |
| P. min. | 1 037 | 1 217 |
| P. med. | 1 466 | 1 579 |
| P. max. | 1 882 | 2 229 |
| ET | 289 | 208 |
| Années humides | 1 920 | 1 920 |
| Années humides | 1 817 | 1 844 |
| Années moyennes | 1 448 | 1 577 |
| Années sèches | 1 075 | 1 309 |
| Années sèches | 970 | 1 233 |
| Cv | 0.200 | 0.132 |

TABLEAU 2.16.b. : Répartition statistique des pluies annuelles de POLI et NGAOUNDERE.

Le tableau 2.17 ci-dessous donne la répartition statistique des pluies mensuelles de POLI par rapport à celles de NGAOUNDERE.

| | POLI | | | NGAOUNDERE | | |
|-----------|-------|-------|------|------------|------|------|
| | MOY. | ET | Cv | MOY. | ET | Cv |
| JANVIER | 0 | 0 | | 4.2 | 11.1 | 2.64 |
| FEVRIER | 2.7 | 8.2 | 3.04 | 1.7 | 4.9 | 2.88 |
| MARS | 19.9 | 33.0 | 1.66 | 40.9 | 36.6 | 0.89 |
| AVRIL | 77.8 | 46.6 | 0.60 | 149.2 | 64.1 | 0.43 |
| MAI | 171.8 | 61.4 | 0.36 | 203.8 | 67.1 | 0.33 |
| JUIN | 229.2 | 44.4 | 0.19 | 230.8 | 58.7 | 0.25 |
| JUILLET | 248.6 | 71.6 | 0.29 | 263.1 | 99.3 | 0.38 |
| AOUT | 298.3 | 124.9 | 0.42 | 283.3 | 75.1 | 0.27 |
| SEPTEMBRE | 308.0 | 65.5 | 0.21 | 238.7 | 75.6 | 0.32 |
| OCTOBRE | 124.6 | 59.2 | 0.47 | 142.2 | 56.6 | 0.40 |
| NOVEMBRE | 6.3 | 13.0 | 2.06 | 10.0 | 16.7 | 1.67 |
| DECEMBRE | 1.9 | 8.9 | 4.68 | 2.8 | 9.0 | 3.21 |

TABLEAU 2.17. Répartition statistique des pluies mensuelles de POLI et NGAOUNDERE.

2.1.5.3. La température

Ce paramètre est régulièrement suivi depuis une trentaine d'années aux stations de POLI et FIGNOLE.

| | POLI | | | FIGNOLE | | |
|-----------|------|-------------------|------|---------|---------------------|------|
| | Tm | $\frac{Tm+TM}{2}$ | TM | Tm | $\frac{Tm + TM}{2}$ | TM |
| JANVIER | 12.7 | 23.1 | 33.5 | 14.1 | 22.7 | 31.3 |
| FEVRIER | 14.4 | 25.7 | 37.0 | 19.5 | 28.1 | 36.8 |
| MARS | 20.1 | 29.4 | 38.8 | 24.0 | 31.4 | 38.9 |
| AVRIL | 21.3 | 27.7 | 38.3 | 25.7 | 31.7 | 37.8 |
| MAI | 21.6 | 27.1 | 33.9 | 23.3 | 28.7 | 34.1 |
| JUIN | 21.4 | 27.1 | 32.9 | 22.7 | 27.4 | 32.1 |
| JUILLET | 21.4 | 25.7 | 30.1 | 20.8 | 24.9 | 29.1 |
| AOUT | 20.9 | 25.7 | 30.5 | 21.2 | 25.3 | 29.4 |
| SEPTEMBRE | 19.7 | 25.4 | 31.1 | 20.6 | 24.9 | 29.2 |
| OCTOBRE | 19.7 | 22.9 | 26.2 | 20.4 | 26.5 | 32.7 |
| NOVEMBRE | 13.9 | 22.9 | 32.0 | 16.4 | 25.8 | 35.3 |
| DECEMBRE | 10.9 | 23.2 | 35.6 | 15.1 | 24.2 | 33.3 |

TABLEAU 2.18. Moyennes mensuelles des températures max. min et sous abri ; période 76 - 85

Aux deux stations considérées, les maximums absolus de température s'observent au mois de Mars tandis que les maximums de température sous-abri sont enregistrés plutôt en Avril. Les différences entre les valeurs mensuelles des températures sont modestes ; ceci rend bien compte du fait que ce paramètre ne varie pas beaucoup entre ces deux stations distantes de 25 kilomètres.

2.1.5.4. L'humidité relative

Elle n'est estimée qu'à la station météorologique de POLI.

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| POLI | 60 | 63 | 60 | 64 | 66 | 69 | 74 | 79 | 70 | 68 | 66 | 62 |

TABLEAU 2.19 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative : période 76 - 85

Ce paramètre évolue en sens inverse par rapport à l'Evaporation. En effet, les maximums s'observent en Août, tandis que les minimums se situent en Janvier -Mars, c'est-à-dire pendant les mois les plus chauds et les plus secs de l'année.

2.1.5.5. Le déficit d'écoulement ou évaporation totale ou évapotranspiration

Le terme évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et de transpiration (biologique). Il est donc égal à la somme des émissions d'eau vers l'atmosphère par évaporation et la transpiration des plantes pendant une période définie.

L'évapotranspiration est donc une des composantes du déficit d'écoulement ou quantité de précipitation qui échappe à l'écoulement. L'autre composante étant constituée par les variations des réserves. Il est possible d'assimiler l'évapotranspiration au déficit d'écoulement à condition de considérer le déficit d'écoulement sur plusieurs années.

Bien que ce paramètre constitue un élément fondamental dans l'expression du bilan hydrologique d'un bassin, il est très difficile de l'estimer avec une grande précision. Cette complexité de détermination a amené plusieurs auteurs à proposer diverses méthodes d'estimation de l'évapotranspiration.

On distingue l'évaporation potentielle (ETP) qui est la quantité d'eau qui pourrait être évaporée si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante de l'évapotranspiration réelle (ETR) qui représente la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée.

Dans notre zone d'étude et en fonction des paramètres climatiques qui sont mesurés au droit des stations météorologiques, nous avons utilisé les formules statistiques de SERRA, THORTHWAITE et TURC pour l'estimation de ces paramètres.

2.1.5.5.1. Evapotranspiration potentielle (E.T.P.)

Formule de SERRA :

$$E.T.P. = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \text{ avec } I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$\text{où } i = 0.09 T^{3/2} \quad a = 1.6 \frac{I}{100} + 0.5$$

T est la température moyenne mensuelle. Les tableaux 2.20 et 2.21 ci-dessous donnent les valeurs de l'E.T.P. non corrigées pour les stations de POLI et FIGNOLE.

| | T (°C) | i | ETP (mm) |
|-----------|--------|--------|----------|
| JANVIER | 23.1 | 9.99 | 62.20 |
| FEVRIER | 25.7 | 11.72 | 83.49 |
| MARS | 29.4 | 14.34 | 121.02 |
| AVRIL | 29.8 | 14.64 | 125.62 |
| MAI | 27.7 | 13.12 | 102.68 |
| JUIN | 27.1 | 12.69 | 96.65 |
| JUILLET | 25.7 | 11.72 | 83.5 |
| AOUT | 25.7 | 11.72 | 83.5 |
| SEPTEMBRE | 25.4 | 11.52 | 80.83 |
| OCTOBRE | 22.9 | 9.86 | 60.73 |
| NOVEMBRE | 22.9 | 9.86 | 60.73 |
| DECEMBRE | 23.2 | 10.05 | 62.95 |
| TOTAL | | 141.23 | 1 023.90 |

I = 141.23

a = 2.75968

TABLEAU 2.20. : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles calculées pour la station de FIGNOLE (période 76-85)

| | T (°C) | i | ETP (mm) |
|-----------|--------|--------|----------|
| JANVIER | 22.7 | 9.73 | 52.97 |
| FEVRIER | 28.1 | 13.4 | 98.47 |
| MARS | 31.4 | 15.83 | 135.96 |
| AVRIL | 31.7 | 16.06 | 139.77 |
| MAI | 28.7 | 13.83 | 104.7 |
| JUIN | 27.4 | 12.90 | 91.51 |
| JUILLET | 24.9 | 11.18 | 69.3 |
| AOUT | 25.3 | 11.45 | 72.59 |
| SEPTEMBRE | 24.9 | 11.18 | 69.3 |
| OCTOBRE. | 26.5 | 12.27 | 83.04 |
| NOVEMBRE | 25.8 | 11.80 | 76.83 |
| DECEMBRE | 24.2 | 10.71 | 63.79 |
| TOTAL | | 150.35 | 1 058.23 |

I = 150.35

a = 2.90550

TABLEAU 2.21. : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles calculées pour la station de FIGNOLE (période 76-85).

Formule de THORTHWAITE :

$$E.T.P. = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad \text{avec } I = \sum_{i=1}^{12} i$$

où $i = \left(\frac{I}{5} \right)^{1.514}$

Les tableaux 2.22 et 2.23 ci-dessous donnent les valeurs de l'E.T.P. non corrigées pour les stations de POLI et FIGNOLE.

| | T (°C) | i | ETP (mm) |
|-----------|--------|--------|----------|
| JANVIER | 23.1 | 10.14 | 83.31 |
| FEVRIER | 25.7 | 11.92 | 120.66 |
| MARS | 29.4 | 14.61 | 192.5 |
| AVRIL | 29.8 | 14.92 | 201.75 |
| MAI | 27.7 | 13.35 | 156.53 |
| JUIN | 27.1 | 12.92 | 145.06 |
| JUILLET | 25.7 | 11.92 | 120.66 |
| AOUT | 25.7 | 11.92 | 120.66 |
| SEPTEMBRE | 25.4 | 11.71 | 115.84 |
| OCTOBRE | 22.9 | 10.01 | 80.83 |
| NOVEMBRE | 22.9 | 10.01 | 80.83 |
| DECEMBRE | 23.2 | 10.21 | 84.57 |
| TOTAL | | 143.64 | 1 503.20 |

I = 143.64

a = 3.47292

TABLEAU 2.22. : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles pour la station de POLI (période 76 - 85)

| | T (°C) | i | ETP (mm) |
|-----------|--------|--------|----------|
| JANVIER | 22.7 | 9.88 | 72.89 |
| FEVRIER | 28.1 | 13.64 | 165.55 |
| MARS | 31.4 | 16.14 | 253.6 |
| AVRIL | 31.7 | 16.38 | 263.04 |
| MAI | 28.7 | 14.09 | 179.51 |
| JUIN | 27.4 | 13.13 | 150.22 |
| JUILLET | 24.9 | 11.36 | 104.00 |
| AOUT | 25.3 | 11.64 | 110.58 |
| SEPTEMBRE | 24.9 | 11.36 | 104.00 |
| OCTOBRE | 26.5 | 12.49 | 132.13 |
| NOVEMBRE | 25.8 | 11.99 | 119.21 |
| DECEMBRE | 24.2 | 10.88 | 93.21 |
| TOTAL | | 152.98 | 1 747.84 |

I = 152.98

a = 3.8428

TABLEAU 2.23. : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles pour la station de FIGNOLE (période 76 - 85)

En plus, pour les stations de POLI et FIGNOLE, la moyenne décennale (76 - 85) de l'évapotranspiration mesurée à l'Evaporomètre PICHE est de 1857.2 (POLI) et de 1917.3 (FIGNOLE)

Le tableau 2.24 donne l'ensemble des valeurs annuelles en fonction de la méthode d'estimation utilisée :

| METHODES | STATION | ETP (mm) |
|-------------|---------|----------|
| SERRA | POLI | 1 023.9 |
| | FIGNOLE | 1 058.2 |
| THORTHWAITE | POLI | 1 503.2 |
| | FIGNOLE | 1 747.8 |
| PICHE | POLI | 1 857.2 |
| | FIGNOLE | 1 917.3 |

TABLEAU 2.24 : Récapitulatif des Evapotranspirations potentielles des stations de POLI et FIGNOLE (période 76 - 85).

Nous remarquons que les valeurs données par la méthode de THORTHWAITE et l'Evaporomètre PICHE sont voisines les unes des autres. La formule de SERRA sous-estime considérablement l'E.T.P. Pour les calculs qui vont suivre, nous prendrons comme valeur de l'E.T.P. les moyennes arithmétiques des valeurs données par la formule de THORTHWAITE et l'Evaporomètre PICHE, soit :

E.T.P. POLI = 1 680.2 mm
E.T.P. FIGNOLE = 1 832.5 mm

2.1.5.5.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R.)

Parmi les méthodes utilisées, nous avons choisi les formules de COUTAGNE, TURC et la méthode du bilan de THORHWAITE.

Formules de COUTAGNE :

* Première formule de COUTAGNE :

$$ETR = 210 + 30 T \text{ pour } P = 800 \text{ mm } +/- 20 \%$$

Pour P 1 000 mm (ce qui est du reste le cas de notre secteur), cette relation devient :

$$E.T.R. = 255 + 33 T$$

L'application de cette dernière formule pour les trois stations de GAROUA, POLI et FIGNOLE donne les valeurs qui sont consignées dans les tableaux 2.25, 2.26 et 2.27.

* Deuxième formule de COUTAGNE :

$$E.T.R. = P - d P^2 \quad P \text{ en mètres}$$

$$d = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

Cette formule n'est applicable que pour P compris entre :

$$\frac{1}{8d} \text{ et } \frac{1}{2d}$$

Cette condition est respectée pour les pluviosités annuelles des trois stations traitées. Les valeurs qui sont obtenues à partir de cette deuxième formule de COUTAGNE sont données par les tableaux 2.25, 2.26 et 2.27.

Formule de TURC :

M. TURC adapte à la famille de courbes $D = f(P, T)$ établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants sous tous les climats du globe, la formule :

$$E.T.R. = \frac{P}{0.9 + \frac{P^2}{L^2}} \quad \begin{array}{l} \text{ETR en mm} \\ P \text{ en mm} \\ T \text{ en } ^\circ\text{C} \end{array}$$

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

Les valeurs calculées à partir de cette formule de TURC sont données par les tableaux 2.25, 2.26 et 2.27.

| STATION : GAROUA | | | | | | |
|------------------|--------------|----------------|----------------------|---------|----------|--|
| ANNEES | TEMPERATURES | PRECIPITATIONS | DEFICIT D'ECOULEMENT | | | |
| | | | (1) | TURC | COUTAGNE | |
| 1976 | 28.6 | 987.1 | 1198.8 | 939.39 | 784.27 | |
| 1977 | 28.9 | 859.1 | 1208.7 | 838.99 | 706.79 | |
| 1978 | 27.8 | 1176.8 | 1172.4 | 1063.93 | 881.64 | |
| 1979 | 28.4 | 956.6 | 1192.2 | 913.33 | 764.99 | |
| 1980 | 28.4 | 966.9 | 1192.2 | 921.37 | 771.15 | |
| 1981 | 28.6 | 1081.3 | 1198.8 | 1010.52 | 837.91 | |
| 1982 | 28.5 | 1006.4 | 1195.5 | 953.04 | 794.95 | |
| 1983 | 29.1 | 633.4 | 1215.3 | 640.29 | 551.08 | |
| 1984 | 29.4 | 565.4 | 1225.2 | 577.01 | 500.37 | |
| 1985 | 28.3 | 815.9 | 1188.9 | 798.04 | 676.1 | |

TABLEAU 2.25. : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de GAROUA

| STATION : POLI | | | | | | |
|----------------|--------------|----------------|----------------------|---------|----------|--|
| ANNEES | TEMPERATURES | PRECIPITATIONS | DEFICIT D'ECOULEMENT | | | |
| | | | (1) | TURC | COUTAGNE | |
| 1976 | 25.8 | 1476.3 | 1106.4 | 1178.24 | 982.31 | |
| 1977 | 26.6 | 1065.2 | 1132.8 | 967.43 | 814.39 | |
| 1978 | 26 | 1506.8 | 1113 | 1199.17 | 995.43 | |
| 1979 | 26 | 1584.2 | 1113 | 1233.15 | 1018.95 | |
| 1980 | 25.7 | 1743.3 | 1103.1 | 1282.67 | 1052.28 | |
| 1981 | 25.9 | 1498.6 | 1109.7 | 1191.9 | 991.18 | |
| 1982 | 26.1 | 1302.3 | 1116.3 | 1100.59 | 921.52 | |
| 1983 | 26.3 | 1074.2 | 1122.9 | 968.17 | 816.74 | |
| 1984 | 26.7 | 1288.6 | 1136.1 | 1108.71 | 922.69 | |
| 1985 | 25.9 | 1383.7 | 1109.7 | 1137.22 | 951.11 | |

TABLEAU 2.26. : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de POLI

| STATION : FIGNOLE | | | | | | |
|-------------------|--------------|----------------|----------------------|---------|----------|--|
| ANNEES | TEMPERATURES | PRECIPITATIONS | DEFICIT D'ECOULEMENT | | | |
| | | | (1) | TURC | COUTAGNE | |
| 1976 | 28.2 | 1235.3 | 1185.6 | 1110.44 | 913.9 | |
| 1977 | 28.5 | 1062.2 | 1195.5 | 995.01 | 826.65 | |
| 1978 | 27.9 | 1512.7 | 1175.7 | 1266.22 | 1026.45 | |
| 1979 | 28.1 | 1218.6 | 1182.3 | 1097.46 | 904.91 | |
| 1980 | 28.3 | 1193 | 1183.9 | 1084.29 | 894.12 | |
| 1981 | 28.7 | 977.2 | 1202.1 | 932.83 | 780.6 | |
| 1982 | 0 | 0 | 255 | 0 | 0 | |
| 1983 | 28.5 | 1000.7 | 1195.5 | 949.68 | 791.63 | |
| 1984 | 29 | 893.3 | 1212 | 868.3 | 729.1 | |
| 1985 | 28.4 | 1289.2 | 1192.2 | 1149.52 | 941.2 | |

TABLEAU 2.27. : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de FIGNOLE

E.T.R. selon la méthode du Bilan de THORTHWAITE :

Dans le calcul de l'E.T.R. selon la méthode du bilan de THORTHWAITE, nous considérons pour le sol une valeur de 100 mm comme réserve. Elle correspond à la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement souterrain. Le mois d'Avril est pris comme mois de référence, car il correspond à la période où la réserve en eau du sol est généralement épuisée.

Le bilan de THORTHWAITE fait intervenir l'E.T.P. et P ; il permet de déterminer l'E.T.R., la réserve utile (Ru), l'excédent et le déficit comme l'indique l'organigramme ci-dessous :

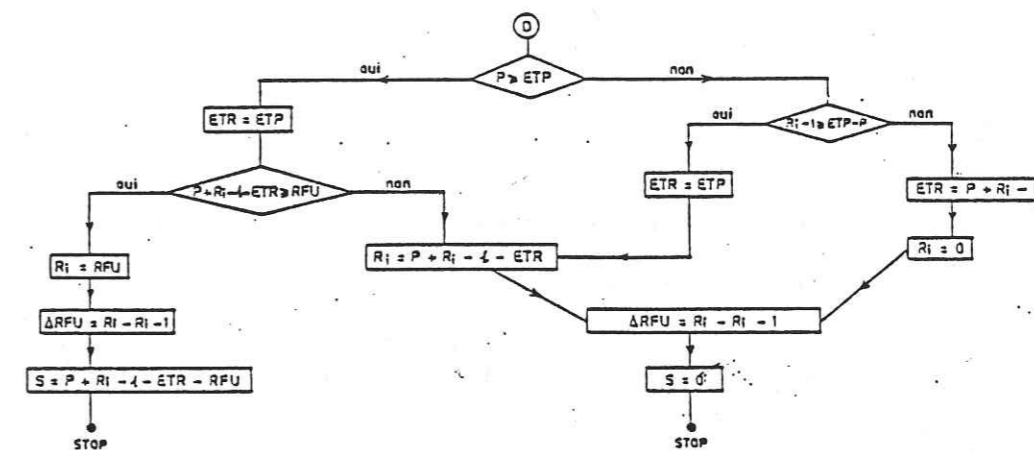


fig 2.15. Organigramme du bilan mensuel

| | ETP (mm) | P (mm) | RFU | ETR (mm) | S | RFU | DEFICIT | EXCÉ- DENT |
|-------|-------------|-----------|------|-------------|-------|--------|---------|---------------|
| J | 83.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83.3 | |
| F | 120.8 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 120.1 | |
| M | 192.5 | 9.2 | 0 | 9.2 | 0 | 0 | 183.3 | |
| A | 201.7 | 83.0 | 0 | 83.0 | 0 | 0 | 138.7 | |
| M | 158.5 | 201.0 | 44.5 | 158.5 | 0 | 44.5 | | 44.5 |
| J | 145.0 | 188.9 | 88.4 | 145.0 | 0 | 43.9 | | 43.9 |
| J | 120.8 | 304.0 | 100 | 120.8 | 171.8 | 58.1 | | 183.4 |
| A | 120.8 | 253.7 | 100 | 120.8 | 133.1 | 0 | | 133.1 |
| S | 115.8 | 258.8 | 100 | 115.8 | 143.0 | 0 | | 143.0 |
| O | 80.8 | 127.7 | 100 | 80.8 | 46.9 | 0 | | 46.9 |
| N | 80.3 | 8.2 | 27.9 | 80.3 | 0 | - 72.1 | 0 | |
| D | 84.5 | 0.0 | 0 | 27.9 | 0 | - 27.8 | 58.8 | |
| TOTAL | 1502.2 | 1415.0 | | 920.2 | 484.8 | | 582.0 | 594.8 |

TABLEAU 2.28 : Bilan moyen annuel de l'eau de la station de POLI (période 76 - 85) (méthode de THORTHWAITE)

Pour les calculs, nous avons considéré le RFU maximum comme égal à 100 mm.

Comparaison des résultats :
Le tableau 2.29 récapitule les valeurs de l'E.T.R. calculées pour les trois stations pendant la période 76 - 85.

| METHODES | STATIONS | ETR (mm) | P ann.moy. | (ETR/P) % |
|-------------|----------|----------|------------|-----------|
| COUTAGNE 1 | GAROUA | 1 198.8 | 904.8 | - |
| | POLI | 1 116.3 | 1 392.3 | 80 % |
| | FIGNOLE | 1 192.2 | 1 153.5 | - |
| COUTAGNE 2 | GAROUA | 726.9 | 904.8 | 80 % |
| | POLI | 946.6 | 1 392.3 | 70 % |
| | FIGNOLE | 867.6 | 1 153.5 | 75 % |
| TURC | GAROUA | 678.9 | 904.8 | 75 % |
| | POLI | 1 136.7 | 1 392.3 | 81 % |
| | FIGNOLE | 1 050.3 | 1 153.5 | 91 % |
| THORTHWAITE | POLI | 920.2 | 1 415 | 65 % |

TABLEAU 2.29. : Récapitulatif des évapotranspirations réelles des trois stations de référence du secteur de POLI (période 76 - 85).

Nous notons que la méthode du bilan de THORHWAITE la sous-estime. Pour la suite des calculs, les valeurs de l'ETR du tableau 2.30 sont retenues pour l'année moyenne de la décennie 76 - 85.

| STATION | ETR (mm) | P (mm) | % |
|---------|----------|---------|------|
| GAROUA | 702.9 | 904.8 | 77.7 |
| POLI | 1 029.9 | 1 392.3 | 74 |
| FIGNOLE | 958.98 | 1 153.5 | 83 |

TABLEAU 2.30. : ETR moyennes annuelles des stations du secteur de POLI

2.1.6. HYDROLOGIE DE SURFACE

Le secteur de POLI est un bassin versant fictif. Les différents bassins versants réels définis à l'intérieur de cette zone ne disposent pas de stations hydrométriques à leurs exutoires respectifs. Pour pallier cette lacune et estimer la quantité d'eau ruisse lée, nous avons utilisé les données des stations proches disponibles. Ces postes hydrométriques font partie du réseau national et sont fonctionnels depuis plus de 15 ans. Les positions de ces stations sont données ainsi qu'il suit :

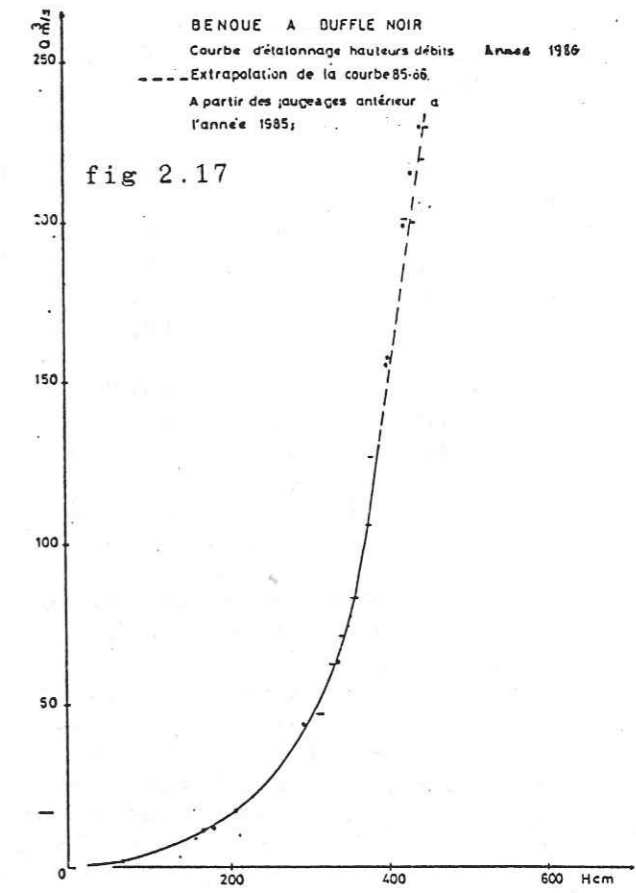
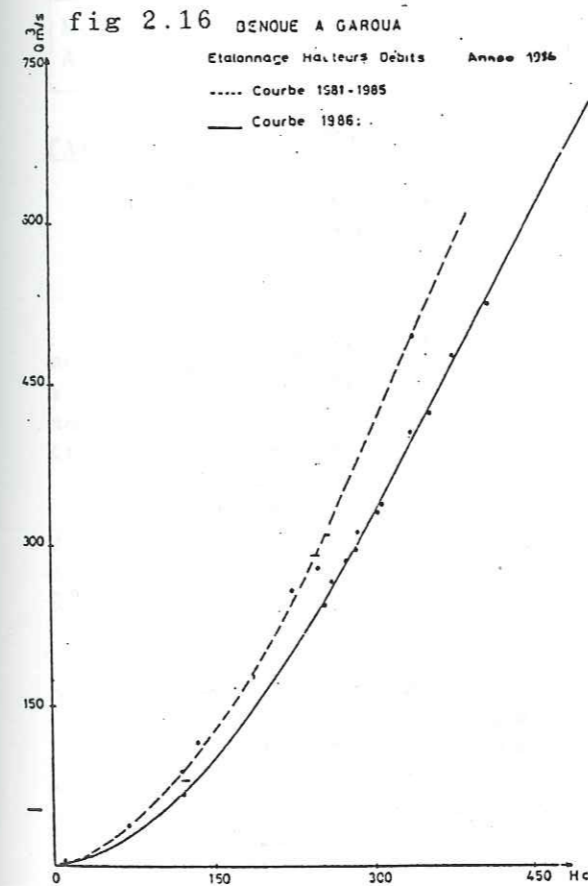
* La station de GAROUA sur la BENOUE :

Elle est située à une trentaine de kilomètres au Nord du secteur de POLI. Ses coordonnées sont : 9°18' de latitude Nord, 13°23' de longitude Est et 174 m d'altitude. En ce point, le bassin versant de la BENOUE a une superficie d'environ 60 500 km².

* La station du BUFFLE NOIR sur la BENOUE :

Elle est située au Sud-Est du secteur de POLI : ses coordonnées géographiques sont, en latitude, longitude et altitude de : 8°07' N ; 13°50' E ; 360 m. Son bassin versant occupe 3 200 km².

Ces deux stations font en outre partie du réseau HYDRONIGER et bénéficient donc d'un suivi plus accru. En 1986, de nombreux jaugeages ont été réalisés par les agents du C.R.H. à ces stations dans le but d'affiner le tracé des courbes de tarage déduites des valeurs obtenues pendant les années antérieures. Pour les stations de GAROUA et du BUFFLE NOIR, ces courbes ont permis d'établir les barèmes et calculer les volumes d'eau écoulés au droit des stations.



| NUMERO DE JAUGEAGE | DATE | HAUTEUR D'EAU EN cm | DEBITS EN m3/s |
|--------------------|------|---------------------|----------------|
| 1 | 8/8 | 308 | 339 |
| 2 | 9/8 | 303 | 332 |
| 3 | 13/8 | 263 | 268 |
| 4 | 15/8 | 253 | 246 |
| 5 | 18/8 | 285 | 314 |
| 6 | 21/8 | 283 | 297 |
| 7 | 21/8 | 338 | 496 |
| 8 | 27/8 | 273 | 286 |
| 9 | 2/9 | 334 | 407 |
| 10 | 5/9 | 351 | 423 |
| 11 | 9/9 | 374 | 477 |
| 12 | 13/9 | 222 | 261 |
| 13 | 25/9 | 405 | 525 |
| 14 | 3/12 | 122 | 66.9 |

TABLEAU 2.31. : Jaugeages d'étalonnages de la BENOUE à GAROUA (1986)

| NUMERO DE JAUGEAGE | DATE | HAUTEUR D'EAU EN cm | DEBITS EN m3/s |
|--------------------|------|---------------------|----------------|
| 1 | 3/8 | 178 | 12.5 |
| 2 | 4/8 | 167 | 11.8 |
| 3 | 4/8 | 205 | 17.6 |
| 4 | 5/8 | 379 | 106 |
| 5 | 5/8 | 351 | 83 |
| 6 | 22/8 | 314 | 47.1 |
| 7 | 12/9 | 323 | 62.2 |
| 8 | 12/9 | 331 | 63.2 |
| 9 | 13/9 | 291 | 44.4 |
| 10 | 14/9 | 334 | 71.1 |
| 11 | 4/12 | 67 | 1.22 |

TABLEAU 2.32. : Jaugeages d'étalonnages de la BENOUE au BUFFLE-NOIR (1986).

Régimes comparés des stations de GAROUA et du BUFFLE-NOIR (tableau 2.33) :

La BENOUE, à sa station de GAROUA, a un débit moyen annuel sept fois supérieur à celui du même cours d'eau jaugé au BUFFLE-NOIR. Cette différence notable résulte du fait qu'entre les deux stations, la BENOUE reçoit, tant en rive droite qu'en rive gauche, un nombre considérable d'affluents dont les eaux contribuent à gonfler son débit. En plus de ces eaux superficielles et surtout pendant les basses eaux, la BENOUE draine l'importante nappe constituée par les formations sédimentaires des bassins de KOUM et de GAROUA sur lesquelles elle développe son cours inférieur.

Par contre, le fort débit spécifique (14.562 l/s/km²) de la BENOUE au BUFFLE-NOIR traduit le caractère de rivière de montagne de ce cours d'eau en ce point. En effet, le profil en long de cette rivière nous a montré (fig 1.5.) qu'elle est très loin de l'équilibre à l'amont de cette station.

| PA-RA-METRES | STATIONS | | | |
|---------------|----------------------|--|-------------------------|--|
| | GAROUA (1949 - 1980) | | BUFFLE NOIR (1955-1979) | |
| | DEBITS MOYENS M3/s | DEBITS SPECIFIQUES l/s/Km ² | DEBITS MOYENS M3/s | DEBITS SPECIFIQUES l/s/Km ² |
| A | 2.8 | 0.046 | 1.5 | 0.468 |
| M | 12.9 | 0.213 | 4.9 | 1.531 |
| J | 91.2 | 1.507 | 16.6 | 5.187 |
| J | 319 | 5.272 | 62.6 | 19.562 |
| A | 1 055 | 17.432 | 160 | 50.0 |
| S | 1 699 | 28.08 | 194 | 60.625 |
| O | 730 | 12.06 | 94.8 | 29.625 |
| N | 154 | 2.545 | 17.8 | 5.562 |
| D | 54.8 | 0.906 | 5.9 | 1.843 |
| J | 24.5 | 0.405 | 2.8 | 0.875 |
| F | 11.9 | 0.192 | 1.2 | 0.375 |
| M | 4.8 | 0.079 | 0.4 | 0.125 |
| MODULE ANNUEL | 346.65 | 5.729 | 46.6 | 14.562 |

TABLEAU 2.33. : Débits moyens et débits spécifiques moyens de la BENOUE aux stations de GAROUA et du BUFFLE-NOIR.

Débits d'étiage :

Les courbes de répartition mensuelle des débits moyens de la BENOUE aux deux stations sont très semblables ; elles sont le reflet des courbes pluviométriques, avec un maximum en saison des pluies (Août-Septembre) et un minimum très accentué pendant la saison sèche (Janvier-Avril).

En se référant au Tableau 2.33 donnant la distribution mensuelle des apports, on se rend compte qu'au cours des quatre mois de Juillet à Octobre, la BENOUE écoule 91.4 % de ses eaux à GAROUA et 90.8 % au BUFFLE-NOIR.

En saison sèche, de Janvier à Avril, la BENOUE n'écoule que 1.0 % de ses eaux à GAROUA et au BUFFLE-NOIR.

Ces chiffres montrent bien que, pendant les quatre mois de la saison sèche, cette rivière ne coule pratiquement pas ; en fait, un écoulement persiste mais les débits sont réduits à quelques l/s qui passent généralement en inféoflux.

Débits des crues :

Les crues sont fortes, violentes ; elles s'observent en général en Août et Septembre, c'est-à-dire pendant les mois présentant les modules annuels les plus élevés.

2.1.7. ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation du bilan hydrologique s'écrit :

$$P = Er + R + I \text{ où :}$$

- P (mm) : précipitations
- Er (mm) : évaporation réelle
- R (mm) : ruissellement
- I (mm) : infiltration

1/ Les précipitations :

Les précipitations annuelles moyennes ont été estimées pour les deux stations et sont données par le tableau 2.16.

2/ ETP et ETR :

Par les méthodes statistiques de TURC, CONTAGNE, THORTHWAITE, nous avons estimé ces paramètres ; les valeurs sont données par les tableaux 2.24 et 2.30.

3/ Le ruissellement :

Il a été déterminé de deux manières différentes :

* Formule de TIXERONT-BERKALOFF :

$$R = \frac{P^3}{3E^2} \quad P \text{ et } E \text{ en mètres}$$

Les valeurs obtenues par cette formule sont groupées dans le tableau 2.34.

* Ecoulement superficiel :

Connaissant le module moyen annuel aux stations de GAROUA et du BUFFLE-NOIR, nous avons déterminé le volume d'eau annuel ayant transité aux stations. En rapportant ce volume à la surface du bassin versant, nous obtenons les lames d'eau ruissellées correspondantes (tableau 2.34).

Nous remarquons que les valeurs obtenues par ces deux méthodes sont très différentes les unes des autres ; de plus, la valeur de 43,24 mm obtenue pour la station de GAROUA ne cadre pas du tout avec les observations de terrain (existence de nombreux cours d'eau et thalwegs à débits pérennes pendant les six mois les plus pluvieux de l'année) et les caractères morphologiques que nous avons établis pour les bassins des Mayos DOUVA et DAWA situés au Nord du secteur de POLI. En fait, cette formule de TIXERONT-BERKALOFF a été mise au point pour les zones arides ; les valeurs des lames d'eau précipitées nous montrent bien que le secteur de POLI n'est pas dans ce cas.

Le coefficient d'écoulement qui est le rapport entre les lames d'eau écoulées et précipitées est également donné par le tableau 2.34. Il décroît du Sud au Nord, à l'inverse du gradient thermique.

En remplaçant tous les termes par leurs valeurs dans l'expression du bilan hydrologique, nous déterminons, par différence, la part attribuable à l'infiltration et qui contribue à faire varier les réserves souterraines (tableau 2.34).

| PARAMETRES | GAROUA | BUFFLE-NOIR |
|---------------------|---------|-------------|
| P (mm) | 904.8 | 1 392.3 |
| ETP (mm) | 2 389.4 | 1 680.2 |
| ETR (mm) | 702.9 | 1 029.9 |
| P^3 | | |
| R = | 43.24 | 318.7 |
| (mm) $3E^2$ | | |
| Q m ³ /s | 346.6 | 46.6 |
| H (mm) | 180.1 | 457.9 |
| Ke (%) | 19.9 | 22.89 |
| I (mm) | 21.8 | 43.7 |

TABLEAU 2.34 : Récapitulatif des éléments d'estimation du bilan hydrologique

2.1.8. CONCLUSION

L'étude de l'ensemble des paramètres hydroclimatologiques doublée de celle des paramètres morphologiques nous permettent de mieux situer le secteur de POLI dans son environnement naturel.

En effet, le gradient des précipitations qui croît du Nord au Sud du pays est profondément modifié dans ce secteur. Les précipitations qui y sont abondantes sont dues à un environnement montagneux particulièrement marqué.

Malgré cette forte pluviosité locale, la reprise par évapotranspiration est très grande. A GAROUA, 77,7 % des précipitations sont évaporées contre 73,9 % au BUFFLE-NOIR.

La quantité d'eau qui échappe à cette évaporation est inégalement répartie entre le ruissellement et l'infiltration.

En fonction des pentes très abruptes, de la nature pétrographique des formations géologiques, de leur degré d'altération et de leur plus ou moins grande richesse en particules fines, l'infiltration est très faible ; seulement 2,4 % des précipitations contribuent à alimenter les nappes souterraines à GAROUA, contre 3,1 % au BUFFLE-NOIR.

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: pjalour@ujf-grenoble.fr

CHAPITRE 3

ETUDE GEOLOGIQUE, GEOCHIMIQUE
TECTONO-STRUCTURALE
ET GEOPHYSIQUE
DU SECTEUR DE POLI

* * *

* *

*

LIBRARY
UNIVERSITY OF TORONTO
130 St. George Street
Toronto, Ontario
M5S 1A5
1987

3.1. GEOLOGIE DU SECTEUR DE POLI

Les travaux effectués dans ce secteur par P. KOCH (1959), Y. LE FUR (1971), S.F. TOTEU et al (1984, 1985, 1986) et J.B. NYOBE (1984), ont mis en évidence les grands ensembles géologiques de la région.

Le socle cristallin du secteur de POLI est constitué de formations anciennes métamorphiques, granitiques, volcano-sédimentaires et volcaniques. Tout en basant notre étude sur les travaux des auteurs cités plus haut, nous avons mené des investigations photogéologiques, lithologiques, pétrographiques et géochimiques. Ces études visent à définir les principales formations géologiques, leurs répartitions et leurs caractéristiques hydrogéologiques (texture, fissuration, degré d'altération, etc...).

Dans le souci d'observer une homogénéité dans la description des unités géologiques, nous adopterons, dans ce qui va suivre, la subdivision de S.F. TOTEU (1984), qui définit les séries en fonction de l'événement thermotectonique panafricain.

3.1.1. APPROCHE PHOTOLOGIQUE

A partir de l'étude en stéréoscopie des photographies aériennes au 1/50 000 de la région de POLI, nous avons réalisé une esquisse photogéologique schématique présentée par la figure 3.1.

3.1.1.1. Les formations Anté-Panafricaines

Ce groupe comprend les gneiss divers, les micaschistes, les calcschistes, les schistes, les quartzites, les schistes tuffacés, les pélites...

Les formations de ce groupe affleurent largement au Sud du secteur de POLI. Elles apparaissent également sous forme de "fenêtres" dans les orthogneiss du Centre-Ouest du secteur. Elles sont, en général, arasées et pénéplanées et occupent les vastes surfaces comprises entre les grands sommets. Seuls les quartzites allongés en bancs forment parfois des petits reliefs tranchant avec la surface topographique. Un bel exemple de ces bancs est observable au Sud de la route POLI - BOULKO.

3.1.1.2. Les formations panafricaines

Ces formations sont constituées de diorites, orthogneiss, granites orientés, migmatites diverses, granites calco-alcalins intrusifs et de roches filoniennes.

Ces types de formations sont les plus représentées dans le secteur de POLI. Elles occupent plus de la moitié du secteur et affleurent de différentes manières suivant les carrés considérés :

LEGENDE

- [] CUIRASSE LATERITIQUE
- ENSEMBLE POST PANAFRICAINS**
- [•••] GBES DE GAROUA
- [•••] TUFFS VOLCANIQUES
- [•••] CONGLOMERATS
- [Tr] TRACHYTE
- [] SYENITE
- [A] ANDESITES
- [] LAVES A FACIES BASALTIQUE ET RHYOLITIQUE
- [•••] GRES ARKOSIQUE DE HOY
- ENSEMBLE PANAFRICAINS**
- [+••] GRANITE DE TYPE GODE
- [+] GRANITE PORPHYROIDE DE TYPE WANGAY
- [•••] GRANITE A MUSCOVITE
- [] ORTHOGNEISS DE TETE
- [] GRANODIORITE
- [] DIORITE DE KONGLE
- ENSEMBLE ANTE PANAFRICAINS**
- [] SCHISTES A SERICITE
- [] QUARTZITES A AMPHIBOLES
- [] MICASCHISTE A BIOTITE ET MUSCOVITE
- [] GNEISS ET MICASCHISTE A CHLORITE
- [] GNEISS FINS A BIOTITE
- [] GNEISS A BIOTITE ET MUSCOVITE
- [] MYLONITES
- [] MARIGOT
- [XXXX] ZONE DE COORNEENES
- [] ROUTE PRINCIPALE
- [] FAILLE
- [] ROUTE SECONDAIRE
- [] PENDAGE

fig 3.1. : Esquisse photogéologique du secteur de POLI



* Au Sud, dans les carrés de POLI et MANGO, elles affleurent sous forme d'imposants massifs intrusifs. Les limites avec les formations anté-panafricaines encaissantes sont souvent faillées (batholite de KOGUE-MANGO) mais peuvent également être simplement lithologiques (carré de POLI). Dans tous les cas, ces formations constituent d'imposants massifs qui dominent les plaines environnantes. Les flancs de ces massifs sont intensément ravinés par de profondes vallées.

* Au Centre (carrés de GODE et BALCHE) : Si on fait abstraction de la série de MANGBEI et des quelques "fenêtres" percées par l'érosion et laissant affleurer les gneiss, les formations panafricaines occupent sans partage l'ensemble des deux carrés. Dans le carré de GODE, à l'Ouest, ces formations affleurent sous forme de massifs intrusifs discordants (Hossérés GODE et NYORE) et sous forme d'une vaste zone occupée par les orthogneiss et les diorites. A l'Est, dans le carré de BALCHE, les formations dioritiques occupent de vastes zones localement recouvertes par une épaisse cuirasse latéritique. Le réseau hydrographique est très étalé sur ces diorites.

* Au Nord, dans les carrés de BORONGO et BOUMEDJE, les formations panafricaines constituent des massifs imposants (Hossérés DJOUMTE, BORONGO, KONE). Dans le carré de BOUMEDJE, ces formations sont recouvertes par les grés du bassin sédimentaire de la BENOUE et par les tufs volcaniques. Des pointements de roches panafricaines granitiques sont observables à l'Ouest de la route TSORKE - BOUMEDJE.

3.1.1.3. Les formations post-panafricaines

3.1.1.3.1. Le groupe de MANGBEI

Cette formation volcano-sédimentaire affleure au Nord de la route BALCHE - BOULKO. De grand axe orienté approximativement Est-Ouest, elle a la forme d'un demi-croissant à concavité tournée vers le Sud. Sa limite Sud avec les séries de POLI est faillée. Localement, elle forme des massifs qui dominent les surfaces environnantes. Les altitudes sont très variées et passent de 644 m au Hosséré BALCHE à 956 m au Hosséré PATOK. Le Hosséré RIGA fait partie de ces massifs. Cet ensemble de massifs est profondément raviné. Il est traversé, du Sud au Nord, par deux importants ruisseaux : le Mayo KONG, qui développe son cours à l'Est de la route DONGOLE-WAMI, et le Mayo NIELSE, qui est un affluent rive droite du Mayo KONG qu'il rejoint au Nord du groupe de MANGBEI à la côte 372.

3.1.1.3.2. Les formations annulaires

On en compte deux dans le secteur de POLI : les massifs de POLI et de TCHEGUI. Ces deux massifs sont situés dans le carré de MANGO. De forme circulaire, ces massifs présentent des structures annulaires faillées (ring-structures). Elles sont intrusives dans les séries schisteuses encaissantes de POLI, qu'elles cornéifient.

3.1.1.3.3. Les formations volcaniques

En plus des pointements trachytiques et andésitiques des massifs annulaires de TCHEGUI, des laves sont observables en de nombreux endroits du secteur de POLI :

* Au Sud, des laves à faciès basaltiques et rhyolitiques sont observables aux environs de SIGARI et au sommet du batholite de KOGUE-MANGO.

* Au Centre ; la formation de MANGBEI est limitée au Nord et au Sud-Ouest par des roches appartenant vraisemblablement au même faciès.

* Au Nord, à partir de la latitude 8°45' N, des vastes zones sont couvertes par des tufs et brèches volcaniques. Ces formations sont tabulaires et ne présentent pas de relief.

3.1.1.3.4. Les formations sédimentaires

Elles affleurent uniquement au Nord du secteur de POLI. Ces formations sont essentiellement gréseuses. Elles constituent la partie méridionale du grand ensemble constitué par les grés de la vallée de la BENOUE.

3.1.2. OBSERVATIONS LITHOLOGIQUES

3.1.2.1. Les formations anté-panafricaines

Les faciès lithologiques attribués à cette catégorie de formations sont extrêmement variés ; néanmoins, ils peuvent être divisés en cinq principaux groupes : le groupe des amphibolites, le groupe des gneiss, le groupe des micaschistes, le groupe des quartzites et enfin le groupe des schistes ; ce dernier groupe est le plus répandu.

3.1.2.1.1. Le groupe des amphibolites

Les amphibolites sont des roches massives, compactes et sombres. Elles ont été observées dans la vallée des Rôniers. Ces roches ont, en général, une extension modeste. Elles affleurent suivant des bandes litées alternant avec les gneiss. Des septas d'amphibolites sont souvent présents dans les gneiss. La direction d'allongement du grand axe de ces enclaves est voisine de celle de la foliation des gneiss.

3.1.2.1.2. Le groupe des gneiss

Nous employons le terme "gneiss" comme l'a fait G.E. EKODECK (1984), c'est-à-dire que nous rangeons dans ce groupe toutes les roches massives qui présentent une alternance plus ou moins marquée de lits sombres ferro-magnésiens et de lits clairs quartzo-feldspathiques. La distinction entre ces gneiss et les migmatites attribuées aux formations panafricaines est établie grâce à la teneur apparente en éléments blancs qui est relativement plus importante dans les migmatites que dans les gneiss.

Ces roches affleurent en divers points du secteur de POLI : deux affleurements nous permettent de dégager les grands traits de ces formations :

* L'affleurement du Mayo POUNKO sur la route FIGNOLE -TETE. A l'affleurement, ce sont des roches massives. La foliation est frustrée et oscille autour de N 20°. La roche se débite en gros blocs suivant un réseau de diaclases et de fissures. L'affleurement est parcouru par plusieurs filonnets quartzo-feldspathiques tous recoupés suivant des mouvements inverses. Des plis ptygmatisés sont fréquents. Les plans axiaux de ces plis sont voisins de la direction de foliation de la roche. Des observations suivant un plan vertical montrent un filon E-W affecté par une succession métrique de plans de cassures orientés N O, 62 W. Ces plans de cassures ont tous fonctionné en inverse et ont provoqué le décalage des panneaux gneissiques (fig 3.2.).

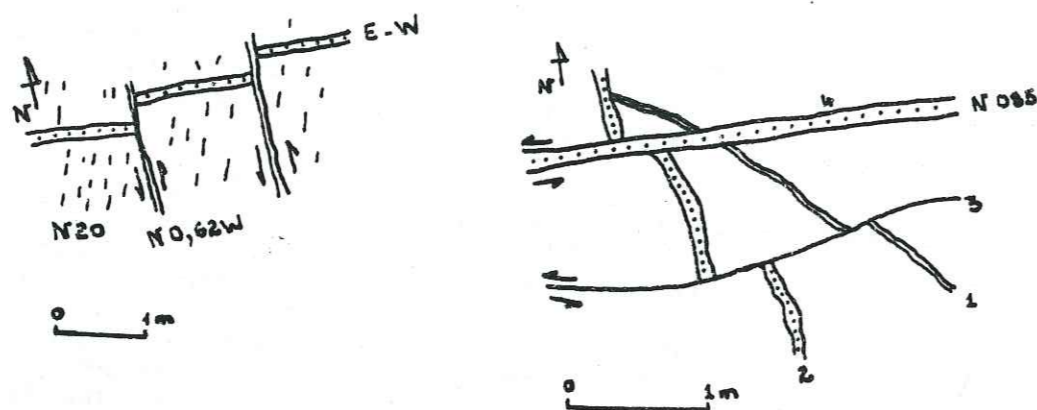


Figure 3.2. : Eléments lithologiques et structuraux des gneiss

* L'affleurement de la vallée des Rôniers : Dans cette vallée, un affleurement de gneiss a été visité aux environs du village HERKO. La roche est grise, a un aspect massif et la foliation est frustrée. Localement, on note une tendance au boudinage dans les niveaux quartzo-feldspathiques. Ces gneiss alternent avec les micaschistes. Les limites entre les deux unités sont très difficiles à établir sur le terrain.

3.1.2.1.3. Le groupe des micaschistes

Comme nous l'avons dit plus haut, les formations de ce groupe alternent souvent avec les gneiss. Dans la vallée des Rôniers, où ces faciès ont été identifiés, les micaschistes sont des roches blanchâtres, très enrichies en paillettes de micas blancs (muscovite). Ils contiennent, en plus, de volumineux "yeux" de grenats. L'altération de ces micaschistes donne des sols noirs, à perméabilité très réduite et où des paillettes brillantes de muscovite sont reconnaissables.

3.1.2.1.4. Le groupe des Quartzites

Ces roches ont été reconnues dans le Mayo NIELSE, situé à une dizaine de kilomètres à l'Est de POLI et dans le

Au Mayo NIELSE, la roche est un quartzite clair, blanchâtre et fin. Quand elle est altérée, elle est plus sombre. La cassure est franche. Des alternances avec des niveaux schisteux sont localement notées. A MANGO, à près de 300 mètres de l'Ecole Principale de ce village, un affleurement montre une roche blanchâtre, compacte et profondément microfracturée. Les microfractures s'organisent suivant deux directions privilégiées : N 075 et N 165. Les pendages sont subverticaux.

3.1.2.1.5. Le groupe des Schistes

Les roches constituant ce groupe sont les plus répandues des ensembles anté-panafricains. De nombreuses observations ont porté sur des affleurements constitués de ces faciès ; il s'agit des affleurements de la vallée des Rôniers, du Mayo DEMDJAI situé à 6 km à l'Ouest de POLI, de l'aérodrome de POLI, du Mayo TAPARE qui coule dans la ville de POLI, de BAKDONKO, des versants Nord et Sud du batholite de KOGUE-MANGO.

La synthèse des observations effectuées sur ces divers affleurements montre que la roche est un schiste en général fin, lité, parfois micacé ; la distinction entre les différentes espèces peut être faite grâce aux minéraux sombres. Dans tous les cas, la teinte varie du gris au vert. Les schistes rencontrés dans les lits des mayos sont généralement indurés, cimentés ; sur des surfaces bien décapées de ces schistes indurés, on observe souvent des boudins de quartz.

Ces schistes sont affectés par des microfractures sub-verticales. Sur les plans de cassures, les stries sont difficilement observables. Quelques macrofractures sont souvent observées ; les rejets sont toujours faibles et les distances entre les différentes fractures très réduites (de l'ordre du décimètre). Des fentes de tension sont également présentes et permettent d'avoir une idée sur l'orientation des contraintes tectoniques ayant affecté ces schistes.

3.1.2.2. Les formations panafricaines

Ces formations sont essentiellement intrusives et proviennent de la migmatitisation et de la granitisation panafricaine. Suivant les coupures proposées par S.F. TOTEU (1984) que nous avons adoptées, on peut distinguer cinq grands groupes : le groupe des diorites et orthogneiss, le groupe des granites orientés et migmatites, le groupe des granites de type WANGAY, le groupe des granites de type GODE et le groupe des roches filoniennes.

3.1.2.2.1. Le groupe des diorites et orthogneiss

Ces roches affleurent largement dans la partie centrale du secteur de POLI.

* Les diorites affleurent au Mayo POUNKO : ce sont des roches massives, de structure grenue à microgrenue. Les vastes surfaces cuirassées situées aux environs de TSORKE sont développées sur ces formations.

* Les orthogneiss, quant à eux, affleurent plus à l'Ouest. A l'affleurement, la roche est gris-bleu, mouchetée, relativement riche en amphibole et biotite allongées suivant la direction de foliation générale. On observe des enclaves d'amphibolites de tailles très variées dans ces orthogneiss. J.F. DUMONT (1985) distingue trois types de filons dans ces orthogneiss :

- les filons anciens, clairs, quartzo-feldspathiques ; ces filons sont plissés et boudinés, admettant la foliation de la roche comme plan axial de ces déformations.

- deux catégories de filons post-plis : les filons pegmatitiques clairs sans différenciation minérale dans l'encaissant et les filons pegmatitiques roses aux limites soulignées par un enduit d'épidote.

3.1.2.2.2. Le groupe des granites orientés et des migmatites

a) Les granites orientés : ces formations affleurent sous forme de petits massifs concordants dans les formations encaissantes. L'affleurement du Hosséré PAL se prête particulièrement bien aux observations. Ce massif est situé à l'extrémité occidentale de la vallée des Rôniers. Au Nord, il est en contact faillé avec le massif intrusif de GODE, tandis qu'à l'Ouest et à l'Est, il est concordant dans les schistes de POLI.

La roche est un granite orienté. Les minéraux sont étirés et la texture est lamellaire. Au point noté FTS1 qui marque la fin du profil électrique FS1 que nous avons exécuté dans cette vallée (voir GEOPHYSIQUE), on observe des lames de granite orienté intercalées dans les schistes de POLI (fig 3.3).

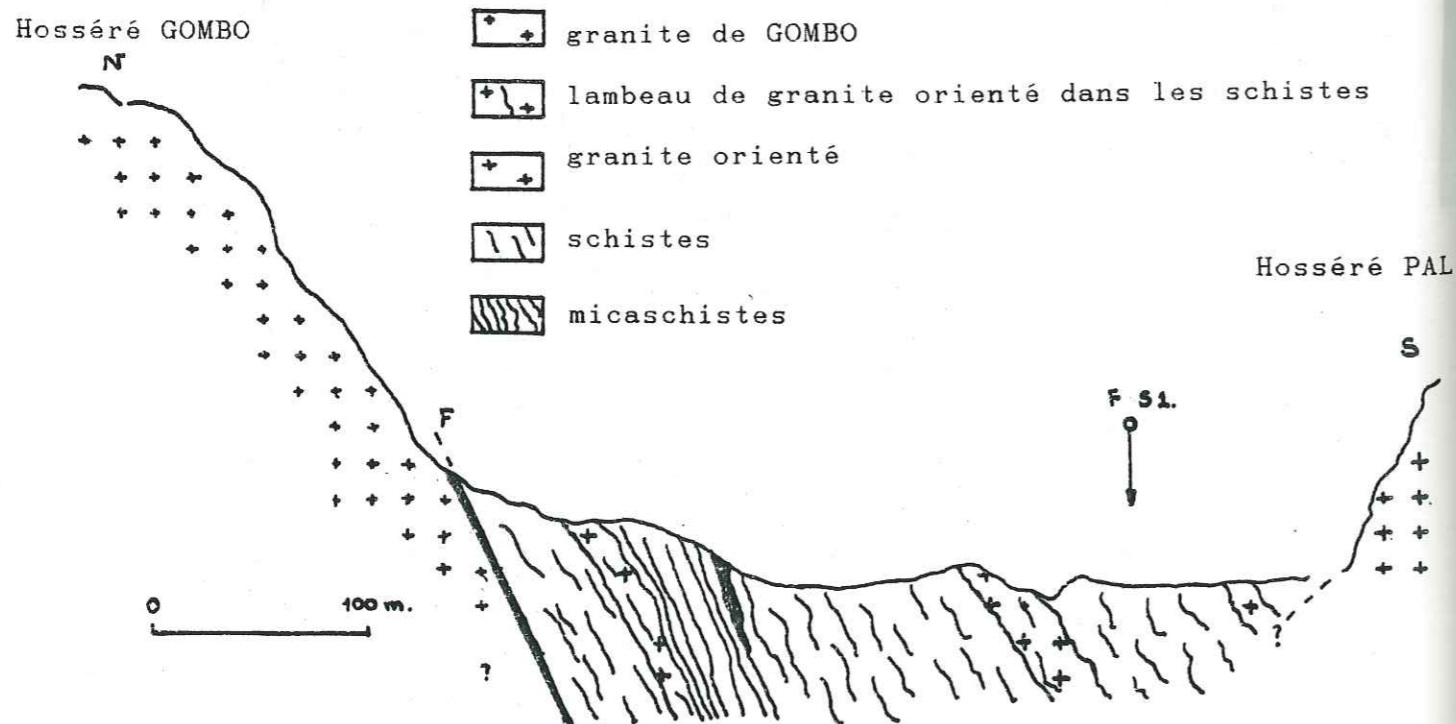


fig 3.3. : Relations lithologiques entre le granite orienté du Hosséré PAL et les séries anté-panafricaines de POLI.

b) Les migmatites : Dans le secteur de POLI, il est très difficile de séparer les granites orientés des migmatites ; S.F. TOTEU et al (1984) notent que "c'est le cas du Mayo NILA où ils affleurent en bancs concordants alternant les uns les autres". Cependant, au Camp des Refugeés Tchadiens situé en rive droite du FARO, nous avons eu à faire des observations sur ces migmatites.

La roche est une migmatite d'aspect très hétérogène. Les niveaux quartzo-feldspathiques et ferromagnésiens ne sont pas facilement définissables : c'est une agmatite. Le grain est grossier. La roche est intensément microfracturée. L'état d'altération des affleurements est tel qu'il est pratiquement impossible de définir une certaine chronologie relative locale de ces joints.

3.1.2.2.3. Le groupe des granites de type WANGAY

Pendant nos différents séjours sur le terrain, nous n'avons pas observé d'affleurement de ces roches. Ce fait est lié au caractère exclusivement hydrogéologique de nos itinéraires qui nous étaient imposés par les dirigeants du Projet. Toutefois, S.F. TOTEU et al. (1984) regroupent dans cet ensemble des granites à grains moyens et les granites d'anatexie. Ce type de granite affleure en un petit massif à l'intérieur des orthogneiss, au Hosséré WATESSE. La roche est voisine du granite de GODE, mais ces deux ensembles diffèrent par le fait que des filons de microgranite qui recoupent le granite de type WANGAY sont recoupés par le granite de GODE.

3.1.2.2.4. Le groupe des granites de type GODE

La quasi-totalité des massifs granitiques qui forment les reliefs du secteur de POLI font partie de cet ensemble. Il s'agit des massifs de GODE, TSORKE, DJOUMTE, BORONGO, KONE, KOGUE-MANGO, BOULOUNGOU. Ils sont tous intrusifs et discordants dans les séries encaissantes.

Des observations effectuées sur différents postes à la base des Hossérés GODE, DJOUMTE et KOGUE-MANGO, montrent que ces massifs sont parcourus par un important réseau de filons qui recoupent et prennent parfois en enclaves les formations encaissantes.

3.1.2.2.5. Le groupe des formations filoniennes

Elles sont de deux types :

* Les microgranites : ce sont des roches microgrenues à gisement filonien. Ils recoupent les grandes structures régionales. Dans la vallée des Rôniers, sur l'affleurement du Mayo GOUMSIGUENE, nous avons observé un filon de microgranite de direction N 145 dans un micaschiste à grenat. Tandis que le filon est intensément microfracturé par trois réseaux de joints orientés N 05, 48 W et N 100, 59 S et N 170, 90 ; le micaschiste est affecté par les microfractures N 100, 60 S.

* Les Dolérites : sur le lit du Mayo MARKA, situé à l'Est de POLI, des filons de dolérite orientés N 76, 55 S intrudent les quartzites micacés lités suivant la direction N 74, 66 S. Ces filons de dolérites sont concordants dans la série anté-panafricaine représentée par les quartzites. La roche est compacte, à cassure franche, noire.

3.1.2.3. Les formations post-panafricaines

3.1.2.3.1. Le groupe de MANGBEI

Ce groupe affleure au centre du secteur de POLI. Sur le terrain, les ensembles constituant ce groupe sont représentés par des buttes décapées par l'érosion et persistant sur les points topographiques élevés. Au Nord de la route GOUNA-POLI, ces buttes sont nombreuses et plaquées sur les petites crêtes. A l'affleurement, ce groupe est constitué d'un ensemble hétérogène formé à la fois de grès arkosiques roses cimentés, de rhyolites et de trachytes. Ces unités sont traversées par des filons de dolérites d'orientation N O à N 10 et N 130-140.

3.1.2.3.2. Le groupe des formations annulaires

Les ensembles lithologiques des massifs annulaires de POLI et de TCHEGUI peuvent être divisés en deux grandes unités : une unité plutonique et une volcanique.

* L'unité plutonique : dans le massif de POLI, elle comprend des gabbros et des granites. Alors que les gabbros forment la couronne discontinue la plus externe, le granite, quant à lui, se présente sous forme d'une roche compacte, leucocrate formant un anneau continu. Dans le massif de TCHEGUI, l'unité plutonique est constituée de gabbros et de syénites. Les gabbros forment un croissant au NW tandis que la syénite présente deux variétés distinguables au grain de la roche et est disposée en couronne continue.

* L'unité volcanique : Au Hosséré POLI, cette unité est essentiellement constituée de laves peu basiques (trachytes sombres, parfois porphyriques). A TCHEGUI, cette unité est formée de filons basiques et acides, de trachytes en coulée au sommet du piton central.

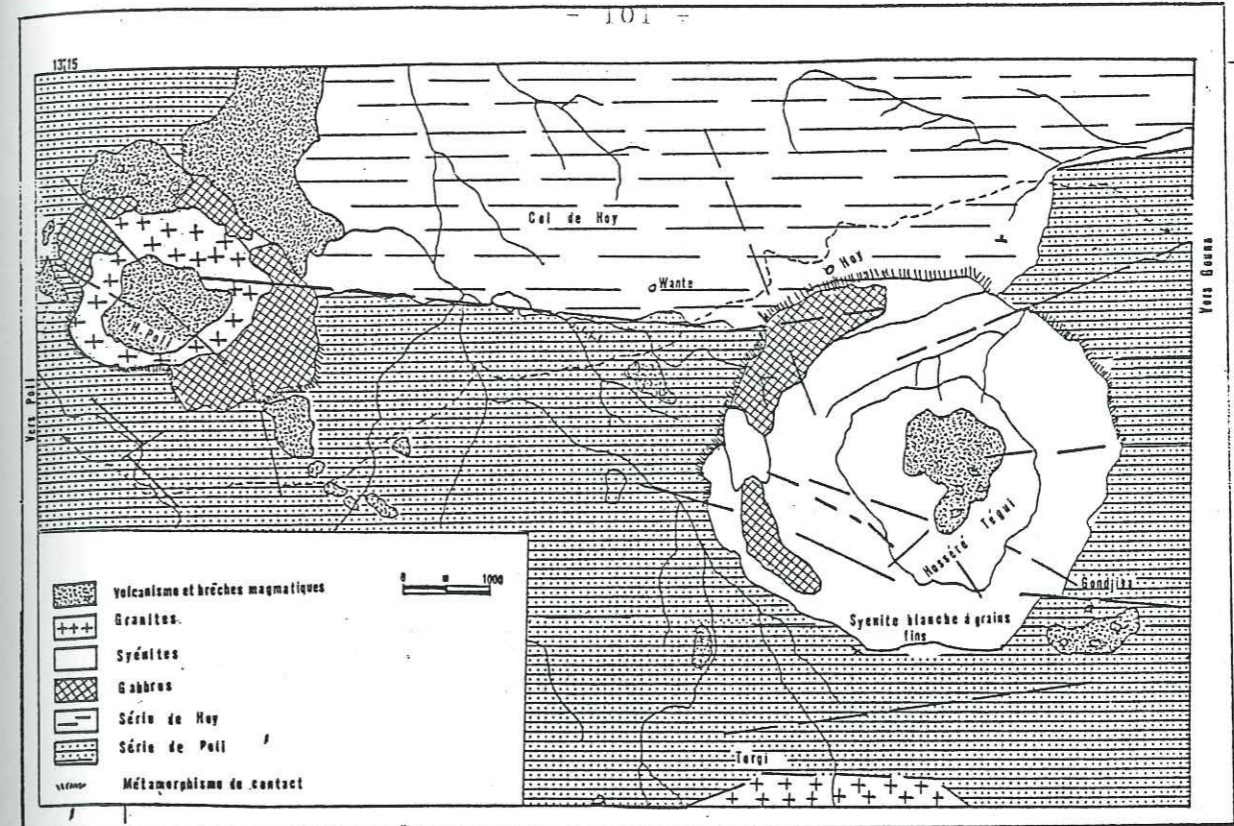


fig 3.4. Carte d'affleurement des complexes annulaires de POLI et TCHEGUI. Les contours géologiques sont adaptés de la carte de R. KAMBOU (1984).

3.1.3. PETROGRAPHIE

Parmi les échantillons de roches récoltés dans le secteur de POLI, nous avons sélectionné ceux représentant les principales formations lithologiques pour entreprendre une étude pétrographique. Cette approche est loin d'être considérée comme une étude pétrographique classique. Elle a pour but essentiel de préciser les caractères pétrographiques des grandes unités car, comme il ressortira plus loin de nos travaux, si la fracturation à grande échelle est un élément capital pour la productivité hydraulique des formations cristallines, les traits pétrographiques (essentiellement la structure, la composition minéralogique et le degré d'altération de la roche), sont susceptibles de modifier considérablement cette productivité.

Sur les 46 lames minces réalisées au laboratoire de lames minces de l'INSTITUT DOLOMIEU, nous avons entrepris une étude qualitative qui a abouti à l'identification des associations minérales. A chaque fois que cela a été possible (roches éruptives et métamorphiques), nous avons complété cette étude par des éléments microstructuraux portant sur les relations cristallisation-déformation. Les éléments d'une telle analyse sont décrits par J.P. BARD (1980).

3.1.3.1. Les formations antépanafricaines

3.1.3.1.1. Le groupe des gneiss

En lame mince, le cortège des minéraux sombres permet de distinguer trois faciès gneissiques :

* Les gneiss à biotite, grenat et sillimanite (HH PK12, HH3PK12). La lame présente une alternance de bancs clairs et sombres. La structure est lèpidoblastique. La roche est composée de quartz à extinction roulante, de plagioclase, de muscovite, de biotite, de grenat, de chlorite et sillimanite. L'épidote est accessoire.

Les minéraux colorés (biotite, chlorite..) se présentent sous forme de cristaux allongés définissant la foliation. Les cristaux de grenats présentent des traces hélicitiques d'une structure planaire (So ?) préexistante. Cette schistosité est sécante par rapport à la S1 soulignée par les minéraux colorés. L'ensemble est cohérent avec une rotation du cristal due à un mouvement cisailant senestre. Les grenats sont donc tardicinématiques.

* Les gneiss à amphibole et grenat (MG4PK15, MG4PK15b). La structure est porphyroblastique en mosaïque fluidale. La roche est constituée de blastes d'hornblende verte baignant dans une matrice constituée de quartz, plagioclase, biotite, grenats et minéraux opaques.

Les phénocristaux d'hornblende sont fusiformes et les axes d'allongement indiquent le sens d'écoulement du matériel. Ces cristaux ont une distribution spatiale quelconque et ne s'organisent pas suivant une linéation.

* Les gneiss à chlorite (MMO1 PK26, MMO1 PK26b). La structure est granoblastique. La roche est constituée de quartz, orthose, biotite, muscovite, chlorite, grenats et opaques.

Les minéraux colorés définissent un litage fruste. Ces minéraux sont allongés dans la direction de fluidalité.

3.1.3.1.2. Le groupe des micaschistes

* Micaschistes à disthène et sillimanite (EMG2 PK4). La lame est incolore mais parcourue par de fins filets rouille. Comme nous l'avons dit plus haut en traitant des aspects lithologiques, ces micaschistes alternent très souvent avec les gneiss ; la minéralogie (autant que la structure) des deux faciès sont alors très voisins. Pour la lame EMG2PK4 étudiée, la minéralogie est la suivante : quartz, plagioclase, biotite, muscovite, chlorite, grenat, sillimanite. Les minéraux accessoires sont le sphène, l'apatite, les minéraux opaques.

La foliation est toujours soulignée par les minéraux colorés. Les cristaux de grenats sont éocinématiques et constituent des points "fixes" autour desquels la foliation générale s'incurve.

3.1.3.1.3. Le groupe des schistes

* Schistes d'origine sédimentaire (S5(2) PK6 ; D5 PK9 ; P11 PK3). La lame présente un litage caractéristique des roches sédimentaires. La structure est lèpidoblastique. Le quartz et la chlorite sont les seuls minéraux identifiables.

L'alternance des bancs successifs montre que le métamorphisme qui a affecté ces formations n'était pas assez puissant pour effacer les traces des surfaces stratigraphiques (So) originelles. Des veinules constituées de microcristaux de quartz recourent cette séquence. Ces veinules forment des microplis (S1) à plans axiaux parallèles à So. Les plans So et S1 se confondent et correspondent aux plans de débitage de la roche.

* Schistes provenant des roches éruptives (S3 PK6). La structure est grano-lèpidoblastique. La roche est constituée de quartz plagioclase, calcite, chlorite, séricite.

3.1.3.1.4. Le groupe des quartzites

* Quartzite à épidote :

La lame est incolore, la structure microgrenue. La composition minéralogique est la suivante : quartz et quelques cristaux de feldspaths qui s'altèrent en épidote.

3.1.3.2. Les formations panafricaines

3.1.3.2.1. Les diorites et les orthogneiss (MG1PK25)

La structure est grenue. La minéralogie est la suivante : plagioclase, hornblende verte, biotite ; les accessoires sont : apatite, épidote. Les minéraux colorés (biotite et hornblende verte) sont allongés et définissent un semblant de litage.

3.1.3.2.2. Les granites orientés et les migmatites (CR1 PK52)

La lame présente une alternance de bancs clairs et sombres. La minéralogie est voisine de celle des gneiss : quartz, feldspath, biotite, grenat, amphibole. Comme minéraux accessoires, on note la présence de l'apatite et des minéraux opaques.

3.1.3.2.3. Les granites de type GODE

* Granite à biotite (HG PK27 ; HG 3(F) ; HG PK27GI ; HG PK25)

Les lames ont un fond transparent parsemé de quelques "taches". La structure est grenue. Le quartz est xénomorphe, le microcline est maclé CARLSBAD, les plagioclases sont volumineux et la biotite est lamellaire.

La roche n'est pas déformée ; les minéraux sont jointifs et présentent des points triples caractéristiques (structure d'hétéradcumulat).

3.1.3.2.4. Les roches filoniennes

* Les microgranites (QM, M2) :

Les lames sont incolores, la structure grano-porphroblastique. Les phénocristaux de plagioclases baignent dans un fond constitué d'albite et de quartz. La biotite est présente sous forme de baguettes allongées. La muscovite se développe aux dépens des plagioclases. Sphène, oxydes titanés, chlorite et apatite constituent le cortège des minéraux accessoires.

La roche est métamorphisée mais ne présente aucune microstructure linéaire ou planaire particulière.

* Les diabases (EH 05,12 ; EH 08,12 ; MT1 PKO)

Les lames sont vert clair à vert noir (MT1PKO). La structure est microlitique. L'essentiel de la roche est constitué d'oxydes ferro-titanés en aiguilles imbriquées les unes sur les autres.

* Les aplites (HG 4(F))

La lame est incolore et la structure aplitique. Quelques cristaux de quartz et de feldspath sont inclus dans une pâte fine constituée des mêmes minéraux.

* Les mylonites (D1 PK8)

La structure est granoblastique en mosaïque fluidale. La minéralogie est la suivante : quartz, plagioclases, biotite, muscovite, chlorite.

3.1.3.3. Les formations post-panafricaines

3.1.3.3.1. Les formations de MANGBEI

* Les grès arkosiques (HOY1 ; EHO1,12)

La structure est bréchique. La roche est constituée de quartz, de feldspath et de nombreux microgalets issus de l'altération des roches volcaniques, des gneiss... Quelques cristaux de chlorite, d'épidote, de calcite sont également présents dans un ciment ferrugineux.

3.1.3.3.2. Les formations annulaires

* Les syénites (DB2ZC)

La structure est grenue. La roche est constituée de feldspaths alcalins et plagioclases, hornblende verte, zircon. La lame TH est une variété néphélinique de cette syénite. La structure est grenue agpaïtique. La roche est constituée d'albite, de biotite, de néphéline, de pyroxène, d'aégyrine et d'apatite. La calcite est secondaire. Cette syénite néphélinique est en enclave dans les dolérites.

* Les gabbros à pyroxènes (EH 06,12)

La structure est d'hétéradcumulat lunaire. Les cristaux de plagioclases sont volumineux et jointifs ; les clinopyroxènes (augite) sont abondants ; la biotite brune et l'amphibole (hornblende verte) sont également volumineuses.

Les cristaux sont tous de grande taille (supérieure à 3 mm), non déformés.

3.1.3.3.3. Les formations volcaniques

* Les trachytes (C1 PK1, C2 PK1)

La structure est microlitique. Les plagioclases (albite) en baguettes flottent dans un fond microlitique. Les microcristaux de quartz sont interstitiels ou en inclusion dans les minéraux opaques. Quelques cristaux d'apatite sont disséminés dans la pâte.

* Les tufs en brèches (P2 PK15 ; P5 PK15 ; P8 PK22)

La structure est variable ; elle passe d'une structure vitroclastique à une structure pegmatitique ou encore à une structure poeciloblastique. Dans tous les cas, de gros éléments d'origines diverses (socle, éléments de laves, etc...) sont enroulés dans une matrice.

3.1.4. CONCLUSIONS SUR LES ETUDES PHOTOGEOLOGIQUES, LITHOLOGIQUES ET PETROGRAPHIQUES

Les études photogéologiques, lithologiques et pétrographiques des formations du socle cristallin du secteur de POLI nous permettent déjà, avant les études hydrogéologiques spécifiques (fracturation et géophysique) qui vont suivre, d'avoir une idée précise sur les zones susceptibles de pouvoir constituer des aquifères probables.

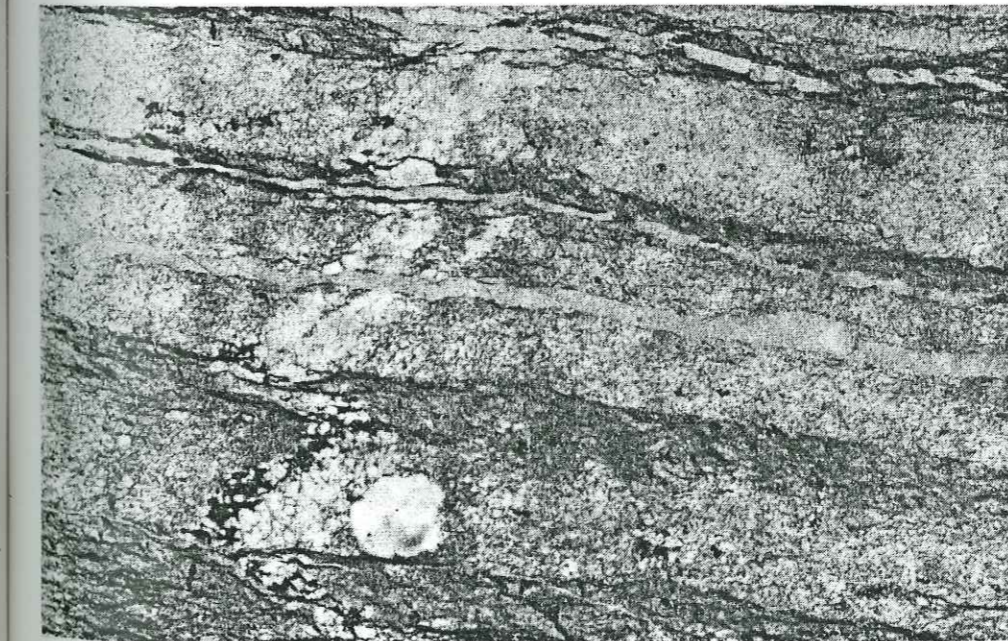
En effet, l'approche photogéologique nous a permis de nous rendre compte que les reliefs importants sont constitués par les bancs de quartzites et les dômes intrusifs de granites panafricains. Ces formations occupent de vastes surfaces dans le secteur de POLI. Les zones comprises entre ces massifs sont occupées par les formations anté-panafricaines qui sont arasées, pénéplanées et intrudées par des filons panafricains. Ce contraste net de modelé traduit la résistance différentielle des différentes formations à l'altération.

L'étude des caractères lithologiques est à la base de la mise en évidence des aspects massifs, compacts et très peu altérés de ces quartzites et des granites panafricains. Les formations anté-panafricaines, quant à elles, présentent, généralement, des plans de discontinuité (foliation, schistosité...) qui constituent des zones de faiblesse tant pour le débitage de la roche que pour les phénomènes d'altération.

Enfin, l'étude pétrographique complétée par l'analyse des relations entre la cristallisation et la déformation ont permis de distinguer, à l'échelle de la lame mince, ces différents ensembles hydrogéologiques. Malgré le grain relativement grossier susceptible d'accélérer les processus d'altération des granites, ils constituent des dômes, du fait qu'ils sont calco-alcalins, leucocrates, pauvres en ferro-magnésiens et très peu déformés.

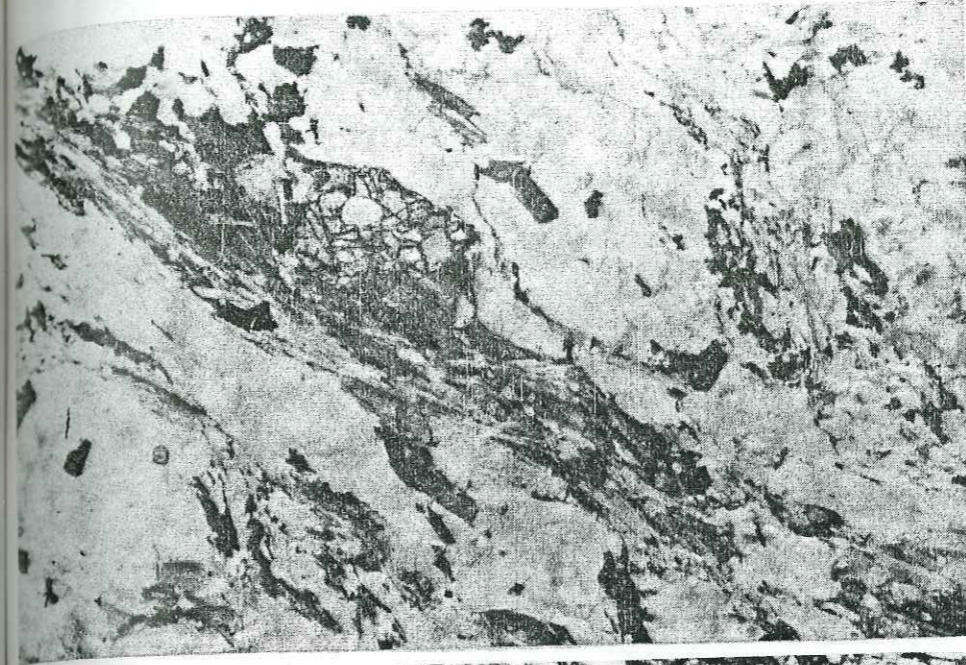
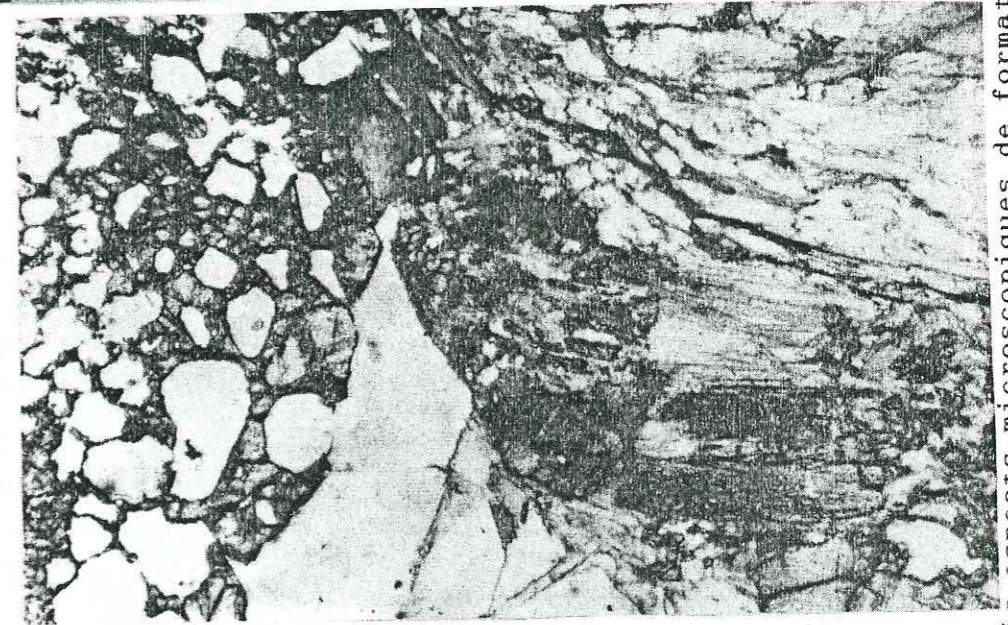
Les capacités hydrauliques médiocres et l'absence quasi totale d'arènes sur ces granites tiennent non seulement au fait qu'ils sont relativement jeunes (panafricains), mais aussi et surtout à leur compacité lithologique et à leur homogénéité texturale et structurale.

Par contre, les formations anté-panafricaines sont hétérogènes, ont des grains grossiers, sont beaucoup plus riches en ferro-magnésiens et sont intrudées par des roches filoniennes de nature diverse. Ces formations qui constituent les zones déprimées, masquées parfois par des arènes plus ou moins épaisses sont les plus susceptibles de jouer un rôle hydrogéologique de premier ordre.



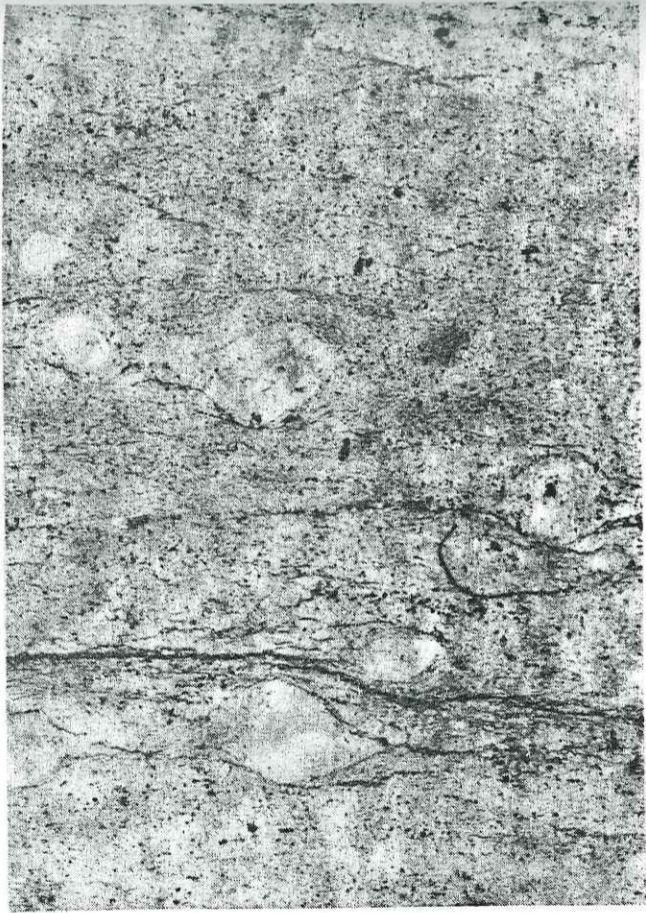
S5(2) PK 6
Schiste
LN : X 6.4

EM G2 PK 14
Micaschiste à disthène
et sillimanite
LN : X 6.4



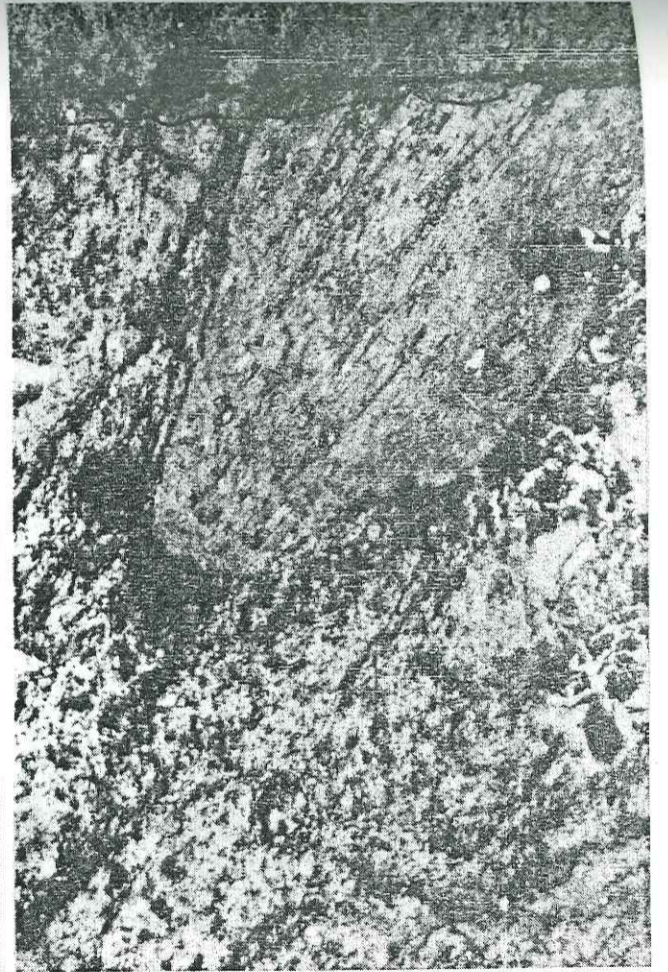
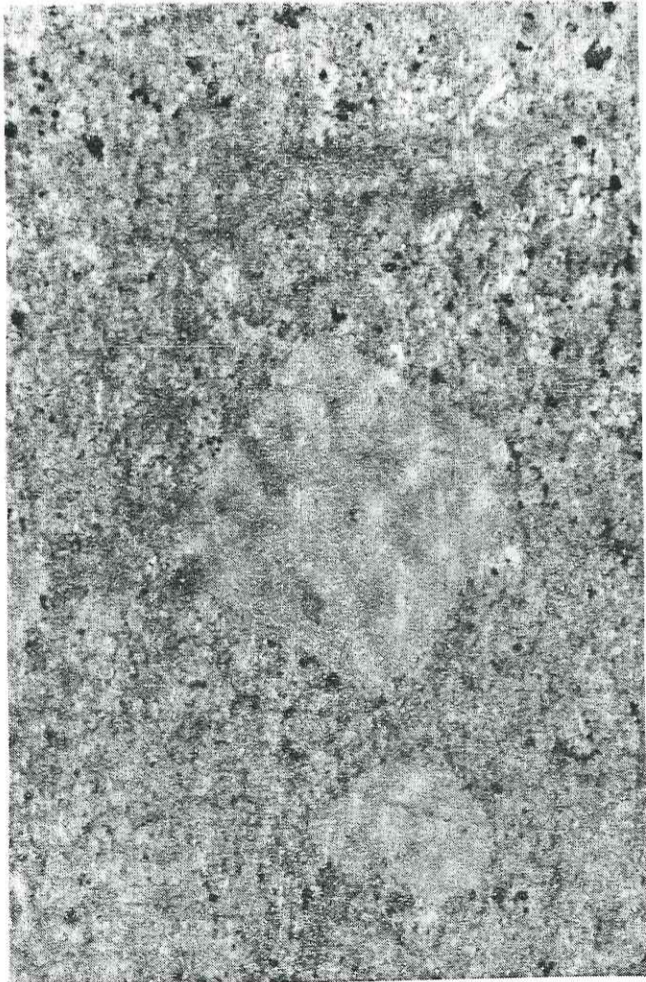
HH PK 12
Gneiss à biotite,
grenat et sillimanite
LN : X 6.4

fig 3.5. : Trois aspects microscopiques de formations Anté-panafricaines (photos H.B. DJEUDA TCHAPNGA)



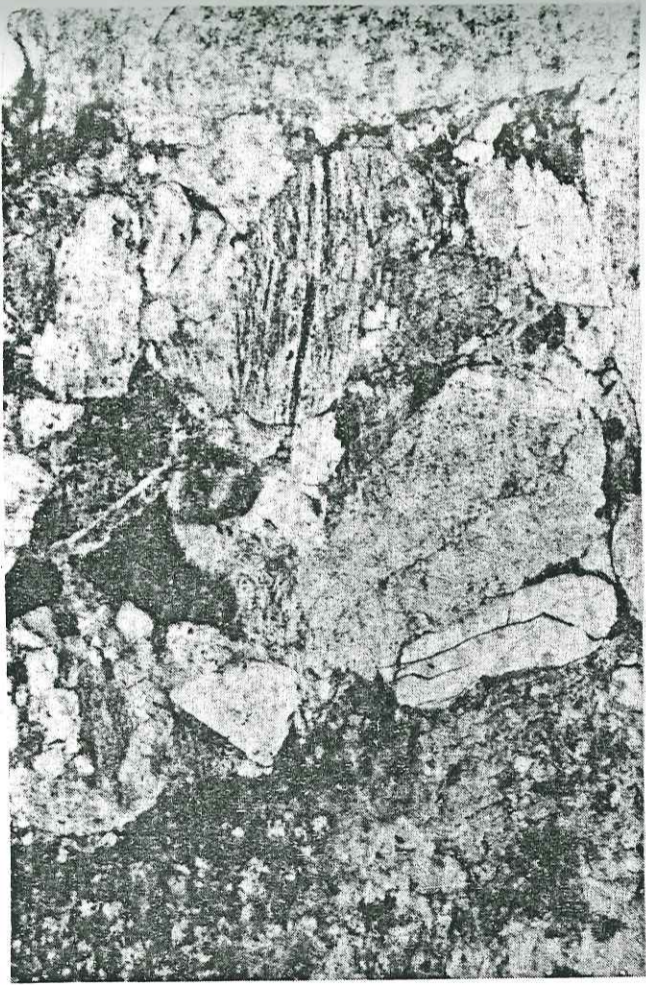
D1 PK8
Mylonite
LN : X 6.4

HG 4(F)
Aplite
LN : X 6.4



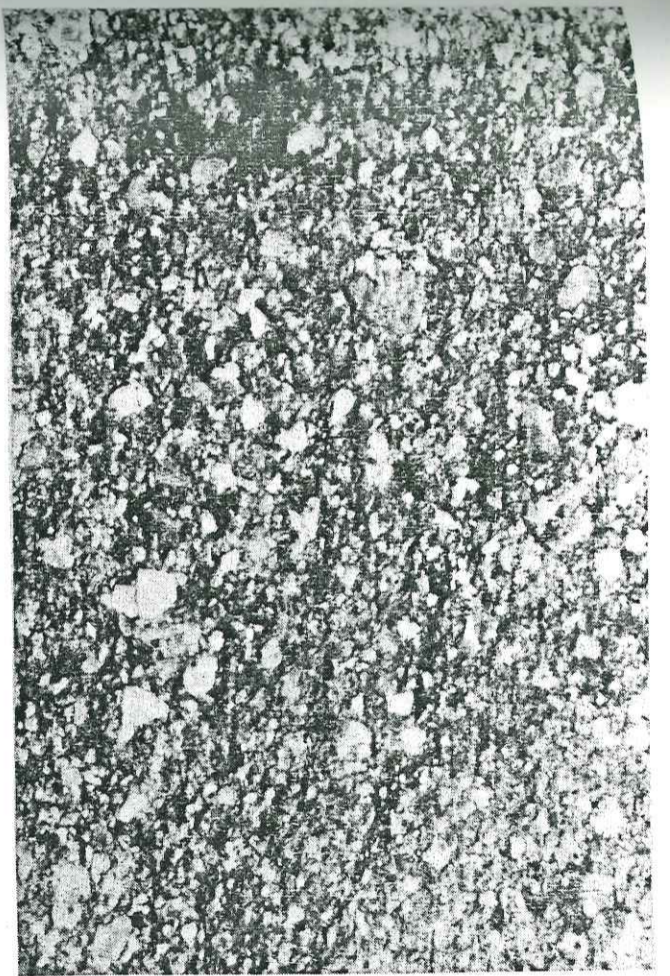
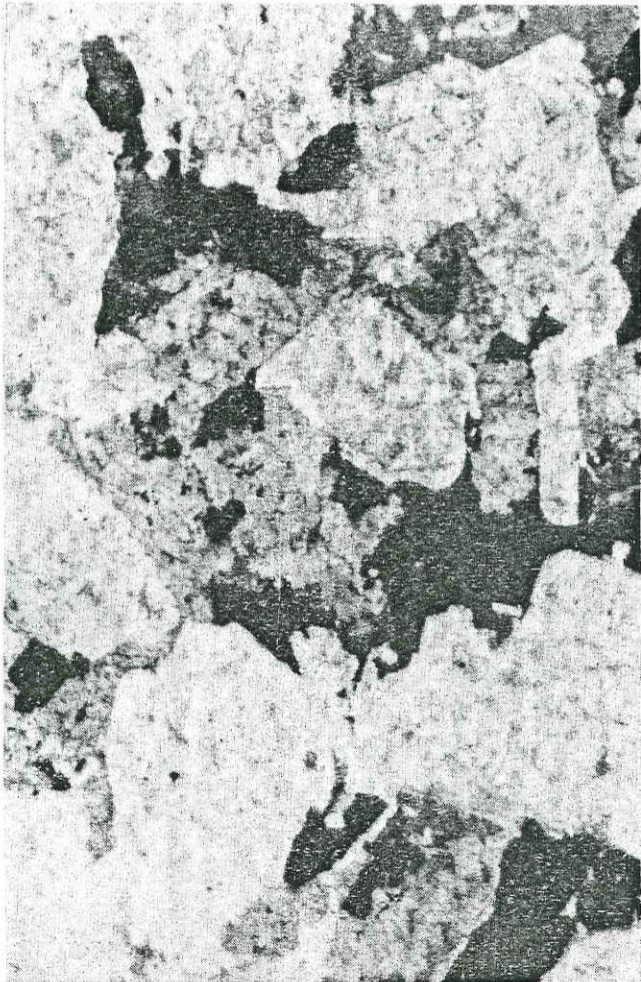
MT1 PKO
Diabase à phénocristaux
de plagioclases
LN : X 6.4

fig 3.6. : Trois aspects microscopiques des formations
filoniennes panafricaines (photos H.B. DJEUDA TCHAPNGA)



P8 PK22
Tuf
LN : X 3.2

EH 06,12
Gabbro à
pyroxène
LN : X 3.2



HOY 1
Grès arkosiques de la
formation de MANGBEI
LN : X 4

fig 3.7. : Trois aspects microscopiques des formations post-panafricaines (photos H.B. DJEUDA TCHAPNGA)

3.2. ETUDES GEOCHIMIQUES

3.2.1. INTRODUCTION ET BUTS

Alors que les études pétrographiques s'attachent à préciser les aspects qualitatifs des minéraux des roches, les études géochimiques, de par leur procédé d'exécution, fournissent des informations quantitatives, en relation avec la composition chimique de ces minéraux. Ces deux méthodes de travail sont donc complémentaires, et permettent d'étudier au mieux les relations entre la composition minéralogique et la composition chimique de ces minéraux. Les résultats des analyses sont donnés en poids d'oxyde des différents constituants chimiques pour 100 g d'échantillon.

Pour notre part et dans le cadre de notre mémoire d'Hydrogéologie, c'est à la suite des nombreux problèmes que nous ont posés la chimie des eaux souterraines du secteur de POLI et leur mode de minéralisation qu'il a été convenu de mener cette étude géochimique.

Le choix, en nombre et en faciès, des échantillons à analyser a donc été fortement influencé par nos préoccupations hydrochimiques et il convient de noter que les résultats que nous présentons ici ne couvrent qu'un nombre restreint des différents faciès géologiques du secteur de POLI.

Au total, nous disposons de 20 résultats d'analyses géochimiques. Toutes ces analyses ont été effectuées au Laboratoire de géochimie de l'Institut DOLOMIEU par G. VIVIER et F. KELLER.

En fonction des grands ensembles géologiques que nous avons décrits dans le paragraphe 3.1., nos analyses se répartissent de la manière suivante :

| | |
|-----------------------------|-------------------|
| * les gneiss | : 4 échantillons, |
| * les micaschistes | : 1 échantillon, |
| * les schistes | : 1 échantillon, |
| * les granites | : 5 échantillons, |
| * les roches filoniennes : | |
| - diabases | : 3 échantillons, |
| - aplites | : 1 échantillon, |
| * les formations de MANGBEI | : 1 échantillon, |
| * les syénites | : 1 échantillon, |
| * les gabbros | : 1 échantillon, |
| * les roches volcaniques | : 2 échantillons. |

Les résultats bruts de ces analyses sont donnés par le tableau 3.1.

PARAMETRES H. DE LA ROCHE

FICHIER : ROCHES 1

| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| REF | P10PK3 | C1PK1 | EH0612 | AB3Z1 | N3PK14 | EH0812 | HGPK23 | DB1ZC | M64PK15 | MT2PK0 |
| Q | 158.22 | 73.29 | -3.87 | -26.72 | 147.10 | 6.06 | 154.18 | 135.48 | 60.35 | 68.36 |
| B | 27.33 | 152.97 | 360.66 | 53.98 | 85.21 | 314.16 | 359.59 | 84.38 | 168.96 | 111.80 |
| F | -76.51 | -177.98 | -297.67 | -382.82 | -111.26 | -119.50 | -148.19 | -235.51 | -303.31 | -101.68 |
| NAK | 264.10 | 249.60 | 110.11 | 363.03 | 230.15 | 201.62 | 87.83 | 243.39 | 242.14 | 264.00 |
| A | -21.30 | 71.00 | -131.11 | -79.35 | -16.56 | -140.48 | -59.76 | -28.08 | -70.87 | 4.09 |
| ALK | -12.57 | 73.91 | 124.20 | 107.75 | 17.13 | -3.09 | 60.26 | 72.68 | 100.27 | 12.57 |
| ALNA | -87.29 | -86.95 | 51.02 | -255.27 | -61.95 | -17.02 | 35.65 | -133.77 | -127.43 | -62.90 |
| AFTK | -4.05 | 123.92 | 163.60 | 119.15 | 29.12 | 59.07 | 96.71 | 90.04 | 117.14 | 48.42 |
| AFTNA | -78.77 | -36.94 | 90.43 | -243.88 | -49.87 | 45.13 | 72.09 | -116.40 | -110.56 | -35.05 |
| P1 | 74.11 | -23.62 | 25.14 | -201.63 | 80.58 | -12.64 | 167.46 | 32.63 | -31.91 | -7.77 |
| P2 | 8.20 | -75.36 | -251.85 | -201.31 | -33.98 | -65.61 | -120.28 | -123.05 | -185.85 | -16.82 |
| Q1 | 25.55 | 150.03 | 118.21 | 34.19 | 35.94 | 186.46 | 109.33 | 52.10 | 50.60 | 83.53 |
| Q2 | 51.75 | -15.99 | -142.68 | -120.69 | 36.65 | -98.64 | 32.09 | 26.17 | -53.08 | -27.83 |
| R1 | 257.07 | 465.49 | 1872.75 | 442.82 | 586.03 | 1019.26 | 1295.76 | 457.26 | 868.40 | 494.66 |
| R2 | 2125.92 | 965.96 | 1623.31 | 132.39 | 2181.68 | 745.88 | 2707.13 | 1996.46 | 1469.97 | 1127.00 |
| A1 | -212.69 | -227.90 | 187.93 | -436.98 | -125.27 | -132.12 | 165.44 | -240.75 | -155.65 | -181.93 |
| A2 | 170.10 | 369.91 | -450.04 | 278.28 | 92.16 | -148.85 | -284.97 | 184.59 | 13.91 | 190.11 |
| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REF | EMGPK14 | P7PK2 | S3PK6 | H63F | H64F | EH0512 | HH3PK12 | HGPK27 | MM1PK26 | EH0112 |
| Q | 143.11 | 611.06 | 363.91 | 188.74 | 173.54 | -28.81 | 121.35 | 157.89 | 91.52 | 108.21 |
| B | 249.72 | 2.59 | 140.89 | 18.97 | 14.68 | 423.54 | 238.15 | 31.05 | 244.07 | 104.22 |
| F | -109.07 | -5.83 | 26.99 | -48.52 | -95.41 | -236.28 | -64.64 | -63.12 | -153.50 | -180.85 |
| NAK | 157.25 | 20.34 | 43.49 | 737.79 | 251.41 | 166.48 | 164.07 | 246.95 | 193.26 | 236.74 |
| A | 102.45 | 62.31 | 197.71 | 15.57 | 17.09 | -217.75 | 41.77 | 4.22 | -58.53 | -38.92 |
| ALK | 68.04 | 20.36 | 46.08 | -8.61 | 7.78 | 43.68 | 25.83 | -5.99 | 38.07 | 45.09 |
| ALNA | -7.69 | 14.89 | 78.60 | -47.68 | -69.96 | -37.02 | 2.73 | -55.92 | -37.14 | -93.13 |
| AFTK | 113.83 | 20.36 | 79.86 | -5.43 | 18.12 | 105.63 | 64.52 | -1.78 | 63.91 | 61.46 |
| AFTNA | 38.10 | 14.88 | 111.58 | -44.51 | -67.62 | 24.92 | 41.43 | -51.70 | -11.30 | -76.77 |
| P1 | 95.98 | 685.53 | 363.01 | 122.67 | 93.81 | -38.78 | 88.41 | 88.07 | 50.49 | 28.67 |
| P2 | -50.83 | 0.62 | 29.73 | 20.69 | -3.12 | -174.40 | -17.85 | 11.10 | -86.38 | -97.10 |
| Q1 | 137.38 | 0.00 | 98.94 | 9.52 | 7.01 | 185.83 | 116.09 | 12.65 | 77.52 | 49.09 |
| Q2 | 51.35 | 453.63 | 259.30 | 77.38 | 63.47 | -140.97 | 29.22 | 50.08 | -18.82 | 0.66 |
| R1 | 714.51 | 89.97 | 367.78 | 328.97 | 329.84 | 1444.20 | 724.27 | 367.15 | 947.03 | 567.53 |
| R2 | 1866.63 | 7365.53 | 4256.76 | 2559.21 | 2381.20 | 693.00 | 1720.44 | 2221.91 | 1762.70 | 1779.01 |
| A1 | 24.31 | 52.35 | 150.28 | -113.49 | -139.16 | -46.86 | 20.74 | -125.27 | -15.95 | -174.00 |
| A2 | 180.60 | 72.28 | 245.14 | 144.62 | 173.34 | -388.65 | 62.80 | 133.70 | -101.12 | 96.15 |

TABLEAU 3.3 : Paramètres de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI

PARAMETRES H. DE LA ROCHE

FICHIER : ROCHES 1

| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
| REF | P10PK3 | C1PK1 | EH0612 | AB3Z1 | N3PK14 | EH0812 | HGPK23 | DB1ZC | M64PK15 | MT2PK0 |
| NA/AL | 0.69 | 0.58 | 0.21 | 1.12 | 0.56 | 0.40 | 0.20 | 0.02 | 0.73 | 0.53 |
| K/AL | 0.38 | 0.13 | 0.04 | 0.00 | 0.27 | 0.34 | 0.11 | 0.07 | 0.02 | 0.29 |
| K/ALNA | 1.23 | 0.30 | 0.05 | 0.00 | 0.61 | 0.57 | 0.14 | 0.38 | 0.08 | 0.83 |
| FM/ALNA | 0.33 | 0.91 | 0.40 | -0.86 | 0.43 | 1.27 | 1.08 | 1.14 | 1.07 | 0.57 |
| SI-NAK | 159.41 | 84.70 | 145.80 | -13.52 | 168.62 | 76.43 | 236.56 | 154.77 | 110.75 | 85.84 |
| AL-NAK | -17.73 | 105.24 | 317.89 | -39.77 | 48.00 | 70.64 | 187.38 | 30.05 | 80.34 | 56.52 |
| SI/AL | 1.72 | 0.94 | 0.60 | 1.08 | 1.43 | 1.02 | 1.18 | 1.46 | 1.09 | 1.09 |
| NAK/AL | 1.07 | 0.70 | 0.26 | 1.12 | 0.83 | 0.74 | 0.32 | 0.89 | 0.75 | 0.82 |
| FM/AL | 0.10 | 0.38 | 0.32 | 0.11 | 0.19 | 0.77 | 0.86 | 0.20 | 0.29 | 0.27 |
| M/FM | 0.00 | 0.03 | 0.36 | 0.00 | 0.32 | 0.27 | 0.57 | 0.09 | 0.49 | 0.10 |
| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REF | EMGPK14 | P7PK2 | S3PK6 | H63F | H64F | EH0512 | HH3PK12 | HGPK27 | MM1PK26 | EH0112 |
| NA/AL | 0.36 | 0.15 | 0.02 | 0.51 | 0.58 | 0.48 | 0.32 | 0.53 | 0.46 | 0.66 |
| K/AL | 0.12 | 0.09 | 0.15 | 0.36 | 0.31 | 0.17 | 0.24 | 0.35 | 0.20 | 0.17 |
| K/ALNA | 0.19 | 0.11 | 0.15 | 0.74 | 0.73 | 0.32 | 0.36 | 0.76 | 0.38 | 0.52 |
| FM/ALNA | 1.03 | 0.03 | 0.55 | 0.07 | 0.06 | 1.97 | 1.01 | 0.14 | 1.06 | 0.64 |
| SI-NAK | 165.34 | 612.10 | 367.60 | 195.04 | 178.65 | 74.85 | 149.05 | 166.69 | 143.71 | 136.62 |
| AL-NAK | 169.15 | 63.03 | 208.76 | 34.47 | 32.43 | 93.23 | 124.87 | 30.61 | 98.03 | 46.31 |
| SI/AL | 0.99 | 7.59 | 1.63 | 1.59 | 1.52 | 0.93 | 1.08 | 1.49 | 1.16 | 1.32 |
| NAK/AL | 0.48 | 0.24 | 0.17 | 0.37 | 0.89 | 0.64 | 0.57 | 0.89 | 0.66 | 0.84 |
| FM/AL | 0.66 | 0.03 | 0.54 | 0.03 | 0.02 | 1.03 | 0.68 | 0.06 | 0.57 | 0.22 |
| M/FM | 0.43 | 1.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 0.47 | 0.29 | 0.56 | 0.23 |

TABLEAU 3.4 : Paramètres de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI

FICHER : ROCHES I **TABLEAU 3.5** : Paramètres de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI

| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| REF | P10PK3 | C1PK1 | EH0612 | A93Z1 | N3PK14 | EH0812 | H6PK23 | DB1ZC | M64PK15 | MT2PK0 |
| Q3 | 400.12 | 448.37 | -470.48 | -357.88 | 383.36 | -473.53 | 253.37 | 307.91 | -67.01 | 219.41 |
| B3 | 142.68 | 162.15 | 904.42 | 368.91 | 199.44 | 1140.41 | 860.58 | 249.78 | 506.02 | 230.93 |
| F3 | 1265.54 | 1147.95 | 1263.51 | 1777.76 | 1207.14 | 989.98 | 586.14 | 1239.49 | 1356.61 | 1301.87 |
| Q3' | 22.13 | 26.34 | -27.72 | -20.01 | 21.42 | -28.58 | 14.90 | 17.13 | -3.73 | 12.52 |
| B3' | 7.89 | 9.12 | 53.28 | 20.62 | 11.14 | 68.83 | 50.62 | 13.90 | 28.18 | 13.18 |
| F3' | 69.98 | 64.55 | 74.44 | 99.38 | 67.44 | 59.75 | 34.48 | 68.97 | 75.55 | 74.30 |
| SS | 1010.70 | 591.74 | 697.96 | 742.05 | 947.42 | 633.95 | 786.17 | 942.29 | 825.17 | 724.37 |
| AA | 576.37 | 967.37 | 507.71 | 1180.25 | 559.22 | 728.11 | 436.99 | 809.67 | 830.66 | 714.93 |
| MM | 216.92 | 139.27 | -342.97 | -192.89 | 140.70 | -208.05 | -261.92 | -56.06 | -213.45 | 205.39 |
| CC | 5.35 | 80.09 | 834.74 | 59.38 | 142.60 | 502.85 | 738.85 | 101.27 | 353.24 | 107.51 |
| T | 1808.34 | 1778.47 | 1697.44 | 1788.79 | 1789.94 | 1456.86 | 1700.10 | 1797.18 | 1795.62 | 1752.21 |
| CC' | 0.67 | 6.75 | 83.52 | 5.67 | 16.93 | 49.16 | 80.84 | 11.85 | 36.40 | 10.46 |
| AA' | 72.26 | 81.52 | 50.80 | 112.76 | 66.38 | 71.18 | 47.82 | 94.71 | 85.60 | 69.56 |
| MM' | 27.07 | 11.74 | -34.31 | -18.43 | 16.70 | -20.34 | -28.66 | -6.56 | -21.99 | 19.98 |
| (SS) | 633.59 | 53.61 | 1472.47 | 34.38 | 764.73 | 819.00 | 1479.98 | 537.54 | 742.38 | 391.10 |
| (AC) | 16.85 | 240.26 | 2504.21 | 178.14 | 427.79 | 1508.54 | 2216.55 | 303.80 | 1059.72 | 322.54 |
| (SS)' | 73.20 | 12.38 | 40.52 | 175.18 | 57.36 | 38.64 | 43.09 | 68.45 | 46.73 | 42.56 |
| (AC)' | 1.85 | 55.47 | 68.92 | 907.62 | 32.89 | 71.17 | 64.54 | 38.69 | 66.71 | 35.10 |
| (MM)' | 24.95 | 32.15 | -9.44 | -982.80 | 10.55 | -9.82 | -7.63 | -7.14 | -13.44 | 22.35 |
| QM | 25.74 | 425.78 | 63.52 | 69.57 | 22.68 | 52.71 | 100.88 | -20.10 | 120.22 | 53.84 |
| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REF | EMGPK14 | P7PK2 | S3PK6 | H63F | H64F | EH0512 | HH3PK12 | H6PK27 | MM1PK26 | EH0112 |
| Q3 | 787.93 | 2053.68 | 1783.71 | 620.69 | 580.45 | -848.58 | 510.24 | 488.44 | 69.69 | 188.40 |
| B3 | 258.47 | -212.14 | -318.34 | -29.10 | -41.12 | 1593.07 | 411.44 | 32.86 | 659.67 | 305.52 |
| F3 | 669.79 | 162.07 | 209.26 | 1235.92 | 1300.77 | 872.75 | 721.31 | 1275.17 | 1014.93 | 1252.05 |
| Q3' | 45.91 | 102.50 | 106.51 | 33.96 | 31.54 | -52.47 | 31.06 | 27.19 | 4.00 | 10.79 |
| B3' | 15.06 | -10.59 | -19.01 | -1.59 | -2.23 | 98.50 | 25.04 | 1.83 | 37.82 | 17.50 |
| F3' | 39.03 | 8.09 | 12.50 | 67.63 | 70.69 | 53.97 | 43.90 | 70.98 | 58.19 | 71.71 |
| SS | 563.83 | 1813.17 | 901.81 | 1038.79 | 1017.00 | 596.55 | 602.43 | 977.84 | 765.65 | 881.20 |
| AA | 675.77 | 39.72 | 267.61 | 440.69 | 512.42 | 750.17 | 556.94 | 479.04 | 596.76 | 688.36 |
| MM | 110.82 | 144.69 | 374.07 | 319.69 | 287.67 | -574.89 | 98.40 | 286.11 | -105.80 | 8.31 |
| CC | 365.77 | 7.02 | 131.15 | 28.35 | 23.00 | 845.42 | 385.23 | 53.49 | 487.67 | 168.10 |
| T | 1716.19 | 2003.60 | 1674.64 | 1827.52 | 1840.89 | 1617.25 | 1643.00 | 1796.47 | 1744.28 | 1745.97 |
| CC' | 31.74 | 3.69 | 16.97 | 3.59 | 2.79 | 92.83 | 37.82 | 6.53 | 49.83 | 19.44 |
| AA' | 58.64 | 20.33 | 34.63 | 55.87 | 62.26 | 73.50 | 53.52 | 58.52 | 60.98 | 79.60 |
| MM' | 9.62 | 75.98 | 48.40 | 40.53 | 34.95 | -56.32 | 9.46 | 34.95 | -10.81 | 0.96 |
| (SS) | 601.02 | 1796.72 | 898.28 | 782.80 | 786.06 | 1223.67 | 744.78 | 729.78 | 1018.04 | 646.42 |
| (AC) | 1097.32 | 21.07 | 393.46 | 85.06 | 69.01 | 2536.27 | 1155.69 | 160.43 | 1463.01 | 504.30 |
| (SS)' | 33.22 | 91.55 | 53.92 | 65.92 | 66.44 | 38.42 | 37.26 | 62.04 | 42.86 | 55.77 |
| (AC)' | 60.65 | 1.07 | 23.62 | 7.16 | 6.49 | 79.63 | 57.82 | 13.64 | 61.59 | 43.51 |
| (MM)' | 6.13 | 7.37 | 22.46 | 26.92 | 27.07 | -18.05 | 4.92 | 24.32 | -4.45 | 0.72 |
| QM | -562.33 | 7.51 | 37.03 | 30.57 | 30.35 | 55.17 | 135.32 | 31.48 | 167.66 | 2.61 |

3.2.2. LES METHODES D'EXPLOITATION

Les analyses ont été réalisées en fluorescence X et concernent uniquement les éléments majeurs. Les teneurs sont exprimées en % d'oxydes. Le fer est donné en Fe₂O₃ et la perte en eau en H₂O⁺.

Grâce au programme FIGEOCH conçu par F. SIVADON en 1985 sur APPLE IIe, nous avons calculé, pour tous les échantillons, les paramètres C.I.P.W., les compositions virtuelles, les paramètres de H. DE LA ROCHE, ainsi que ceux A, F, M et S.I. Pour tous ces calculs, nous n'avons pas effectué de correction préalable sur les pourcentages d'oxydes de fer. Les résultats sont donnés par les tableaux 3.2 ; 3.3 ; 3.4 et 3.5.

Toutes ces valeurs des paramètres déterminés par les différentes méthodes sont à manipuler avec prudence dans la mesure où, dans bien des cas, les échantillons sur lesquels sont appliqués ces méthodes de traitement sont en dehors des limites de validité de la méthode ; en effet, si nous considérons par exemple le cas des paramètres C.I.P.W., on constate que ceux-ci ont été initialement conçus pour l'étude des roches éruptives ; or, dans nos séries d'analyses, nous avons des échantillons de roches volcaniques et de roches métamorphiques. De plus, parmi ces roches métamorphiques, certaines (micaschistes, schistes) ont une origine totalement sédimentaire. Pour ces roches, les paramètres normatifs estimés peuvent et doivent être considérés comme des valeurs approchées car très souvent, la composition normative s'écarte de façon notable de la composition minéralogique.

En fonction du but initial qui nous a amené à nous pencher sur les aspects géochimiques des roches, à savoir l'interprétation des phénomènes majeurs qui gouvernent le (ou les) processus de mise en solution des ions, nous avons en plus opté pour une présentation des résultats sur des diagrammes binaires et ternaires classiques. Ces diagrammes permettent, d'une part de déterminer les amplitudes de variation des oxydes les uns par rapport aux autres et, d'autre part, de déterminer les caractéristiques géochimiques globales des roches étudiées.

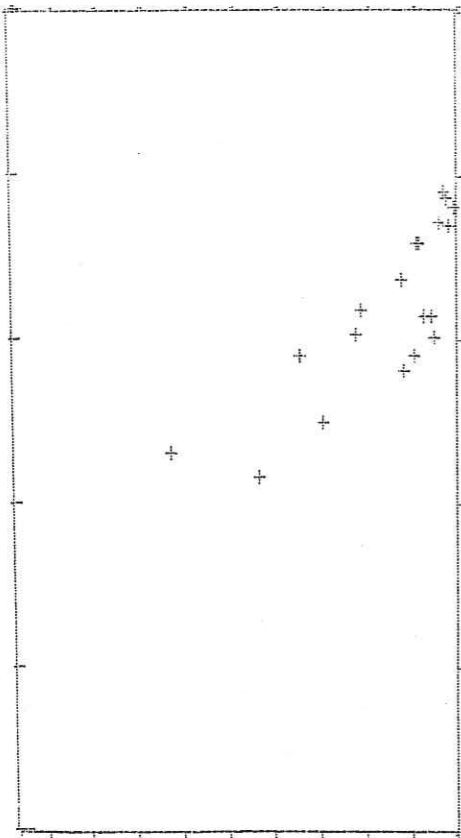
3.2.3. LES DIAGRAMMES BINAIRES

* Les diagrammes oxydes/silice :

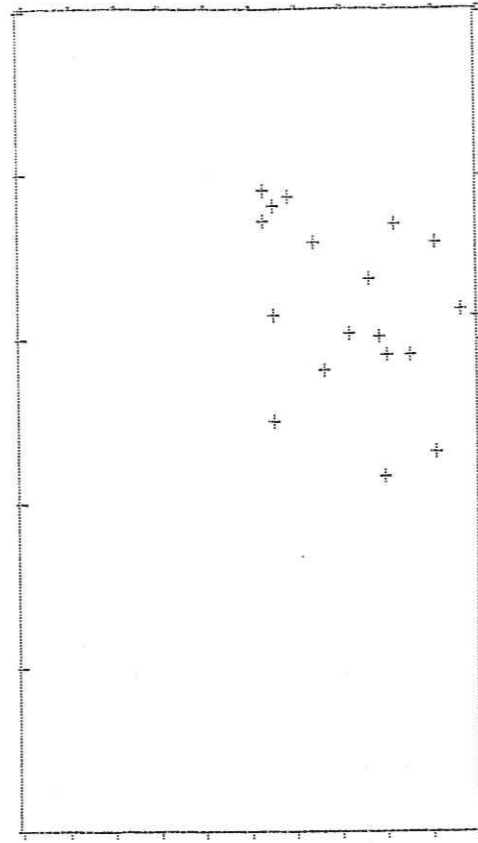
La figure 3.8 donne quatre représentations graphiques de ces diagrammes. Nous nous sommes limité aux cas des oxydes de magnésium, calcium, sodium et potassium parce que ce sont ces oxydes qui, après la silice et l'alumine, constituent l'essentiel pondéral et ionique des échantillons analysés. De plus, ce sont les ions Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺ et K⁺ qui représentent la presque totalité de la charge ionique de nos eaux (chapitre 5).

L'analyse des diagrammes de la figure 3.8 montre que les pourcentages des oxydes de magnésium et de calcium baissent avec l'augmentation du pourcentage de silice. A l'inverse, ceux des oxydes de sodium et de potassium augmentent avec ce pourcentage de silice.

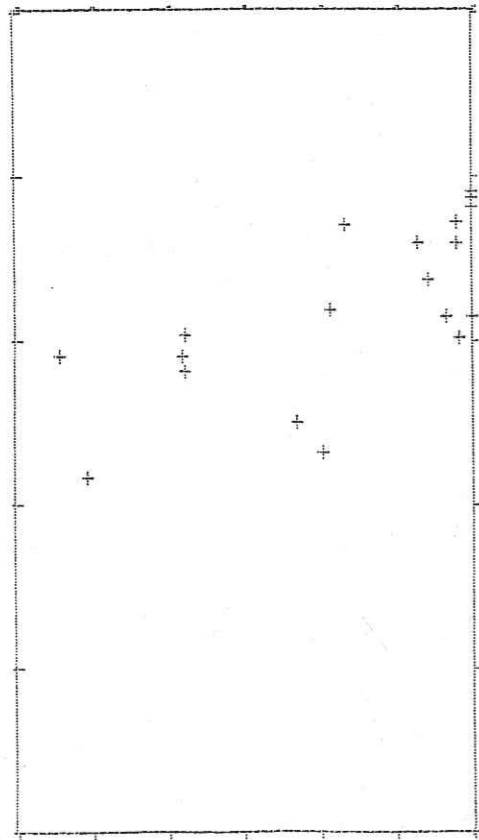
EN ABSCISSE SiO2 DE 0 A 100
EN ORDONNEE CaO DE 0 A 20



EN ABSCISSE SiO2 DE 0 A 100
EN ORDONNEE K2O DE 0 A 10



EN ABSCISSE SiO2 DE 0 A 100
EN ORDONNEE MgO DE 0 A 5



EN ABSCISSE SiO2 DE 0 A 100
EN ORDONNEE Na2O DE 0 A 20

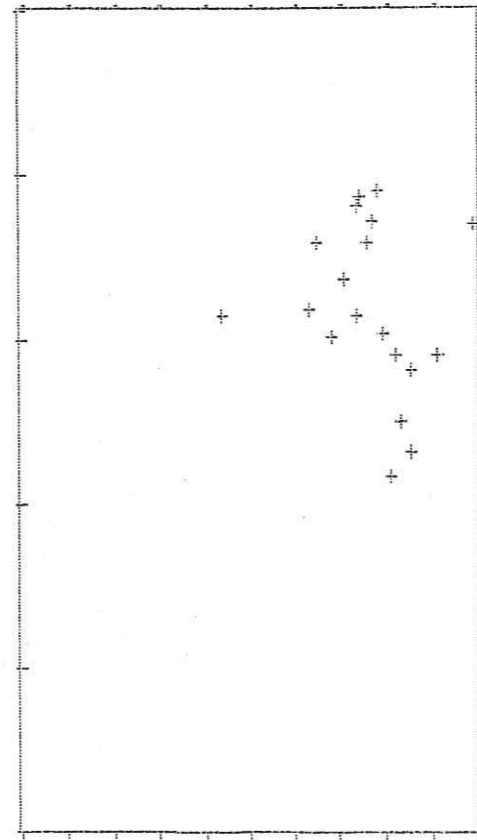


Fig 3.8 : Diagrammes binaires oxydes / silice

* Le diagramme alcalins / silice :

Bien que ce mode de représentation soit en général utilisé exclusivement pour les roches volcaniques, nous les avons utilisé pour nos échantillons.

Dans ce diagramme, on distingue deux domaines définis par la limite de M. DONALD et KATSURA (1964) :

- le domaine alcalin,
- et le domaine tholeïtique.

90 % des points représentatifs de nos échantillons sont situés dans le domaine alcalin et sont, de ce fait, caractérisés par des pourcentages de $Na_2O + K_2O$ élevés. Seuls deux échantillons (HGPK23 et S3PK6) ont des points représentatifs situés dans le domaine tholeïtique. L'échantillon HGPK23 qui représente un fragment de granite, prélevé en face de la mission catholique de FIGNOLE est caractérisé par un fort pourcentage relatif d'oxydes de calcium et de magnésium (12.87 %). Il est donc calco-alcalin. L'échantillon S3PK6, quant à lui, a été prélevé au Mayo DEMDJAI, à l'Ouest de la ville de POLI. Il contient un pourcentage sensiblement équivalent d'oxydes alcalins et alcalino-terreux. En valeur relative, les seconds priment sur les premiers dans la mesure où le diagramme de la figure 3.9. nous restitue son point figuratif dans le domaine calco-alcalin.

* Diagramme K_2O/Na_2O (fig 3.10) :

Comme dans le diagramme précédent, nous y distinguons deux domaines séparés par la droite $Na_2O = 2K_2O$ dont l'ordonnée à l'origine est centrée à l'origine des axes.

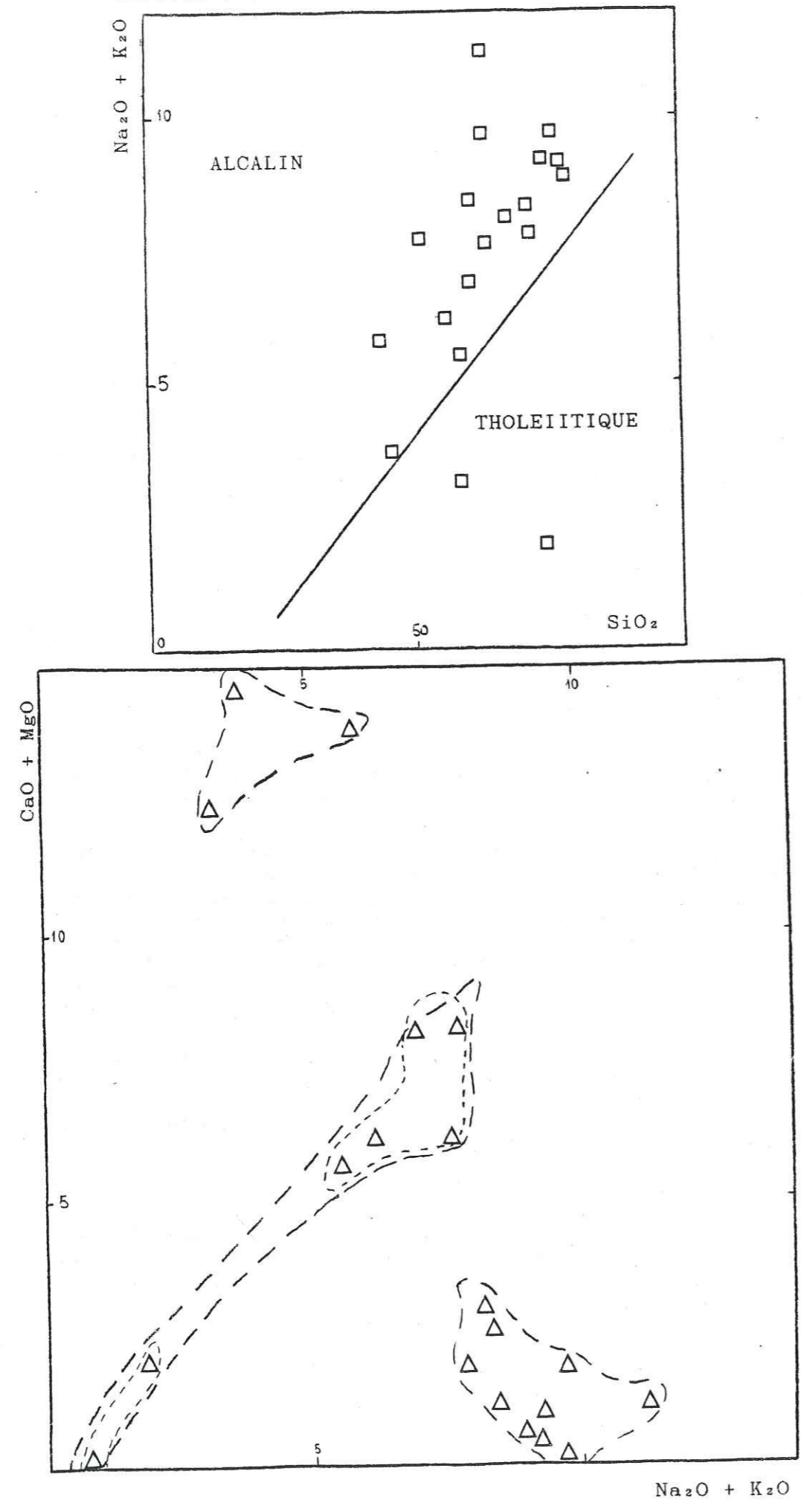
La distribution des points représentatifs de nos échantillons dans ce diagramme permet de noter une évolution des roches basiques vers des roches plus différenciées. En effet, le pôle le moins évolué est marqué par un fort pourcentage en Na_2O . Les échantillons de granite albitisés AB3ZI et DB1ZC du Hosséré DOUMBOULKO et le gneiss MG4PK15 constituent ce pôle caractérisé aussi par de très faibles pourcentages de K_2O .

A l'opposé de ce pôle, on note un relatif enrichissement en K_2O . Ce pôle est moins prononcé que le premier. Il est constitué par l'échantillon de schiste S3 PK6. Entre ces deux pôles, tous les faciès intermédiaires s'alignent de part et d'autre de la droite.

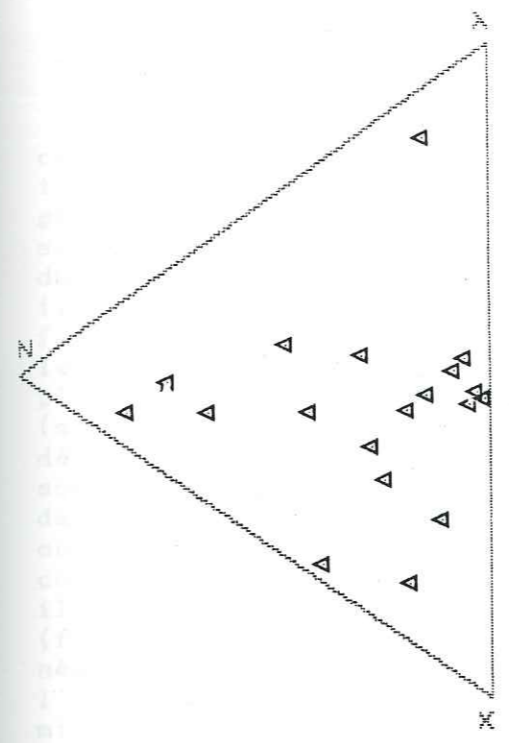
* Le diagramme alcalins/alcalino-terreux :

La représentation graphique des pourcentages absolus des oxydes de ces deux groupes permet de distinguer les trois grandes tendances géochimiques des roches analysées. En effet, le diagramme de la figure 3.9 fait ressortir :

Fig 3.9 : Diagramme binaire alcalins / silice et alcalino-terreux / alcalins



EN X : Na_2O DE 0 % A 100 %
 EN Y : CaO DE 0 % A 100 %
 EN Z : K_2O DE 0 % A 100 %



EN X : Al_2O_3 DE 0 % A 100 %
 EN Y : CaO DE 0 % A 100 %
 EN Z : MgO DE 0 % A 100 %

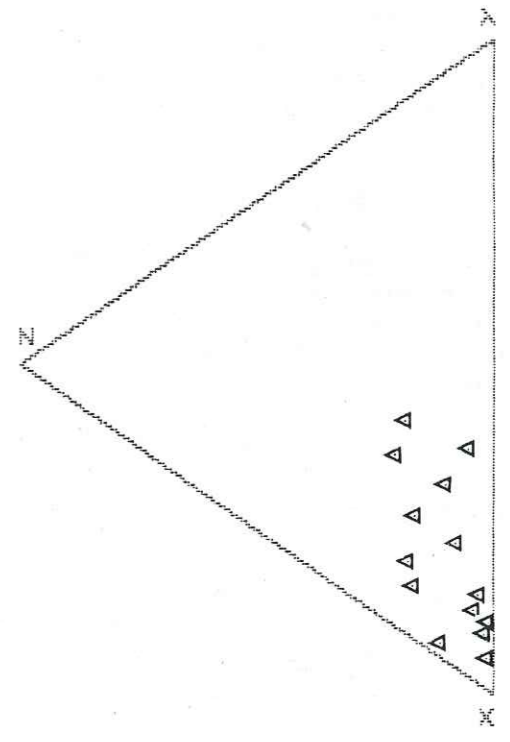
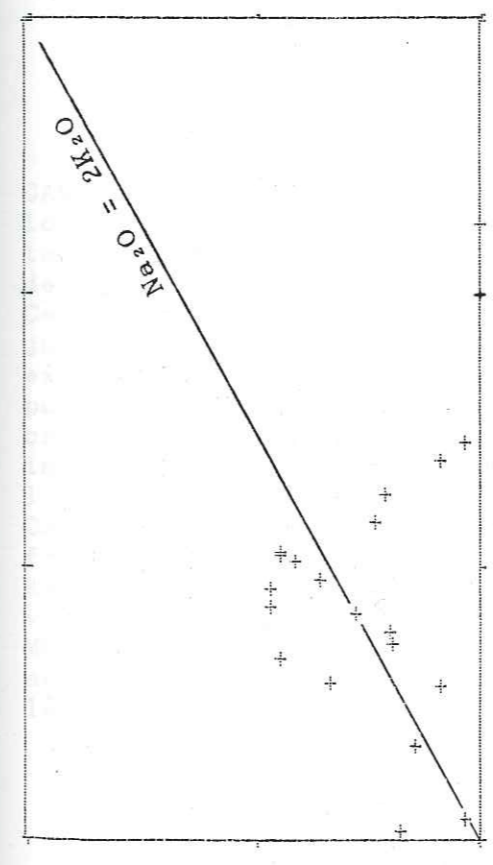


Fig 3.10 : Diagramme binaire $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$ et diagrammes ternaires

Un pôle calco-alcalin marqué par de très forts pourcentages en oxydes alcalino-terreux. Les échantillons EH 06,12 ; HGPK23 et EH 05,12 qui représentent respectivement les gabbro, granite, et dolérite font partie de ce groupe.

Placé symétriquement au premier pôle, l'essentiel (50 %) des roches analysées constituent le pôle alcalin. Ce pôle est caractérisé par des forts pourcentages en alcalins. On y trouve des trachytes, des albitites, des syénites, des diabases, des aplites, des granites et le seul échantillon de grès arkosique analysé.

Un troisième groupe de formations assure la transition géochimique entre ces deux pôles. Les échantillons de ce groupe sont caractérisés par des pourcentages d'oxydes alcalins et alcalino-terreux relativement équivalents ; l'axe d'allongement de la direction de distribution des points représentatifs de ces échantillons est d'ailleurs pratiquement confondue à la bissectrice du plan orthonormé de base. A l'intérieur de ce groupe, il est possible de distinguer deux unités : la première est caractérisée par des valeurs de pourcentages d'oxydes d'alcalins et d'alcalino-terreux moyennes mais toujours supérieures à 5. Cette unité est formée par des diabases, des gneiss et des micaschistes. La seconde unité, par contre, se démarque par de très faibles pourcentages d'oxydes des deux paramètres étudiés. Les schistes font partie de cette unité.

En fonction de la clarté des subdivisions géochimiques des roches à laquelle on arrive par le biais de l'étude du diagramme des pourcentages d'oxydes des alcalins par rapport à ceux des alcalino-terreux et aussi et surtout, en fonction des variations remarquables des cations de ces mêmes oxydes dans nos eaux, nous adopterons, dans la partie de la chimie des eaux qui traite des relations entre les roches et les fluides qui les baignent, le découpage des groupes et unités proposés par ce diagramme.

3.2.3. LES DIAGRAMMES TERNAIRES

Dans le diagramme $Al_2O_3 - CaO - MgO$, (fig 3.10.) on remarque que tous les points sont regroupés vers le pôle alumineux. Ce résultat est normal et cadre bien avec la réalité d'autant plus qu'après la silice, l'alumine est l'oxyde le plus représenté dans nos roches.

Dans le diagramme $Na_2O - CaO - K_2O$, presque tous les points représentatifs de nos échantillons sont répartis entre les pôles sodiques et potassiques. Le gabbro de l'échantillon EHO6,12 se détache nettement des autres et se situe au pôle calcique. Ceci n'est pas surprenant dans la mesure où dans toutes nos analyses, cet échantillon est le plus calcique (12.59 % de CaO). Dans ce gabbro, l'oxyde de calcium est 2.2 fois supérieur à la somme $MgO + Na_2O + K_2O$.

3.3. ETUDE DE LA FRACTURATION DU SECTEUR DE POLI

3.3.1. INTRODUCTION

A l'état sain, les formations cristallines sont compactes et présentent donc des porosités et perméabilités très faibles, voire même nulles. Au cours des temps géologiques, ces formations sont soumises à des multiples sollicitations tectoniques. En fonction du degré de fluidalité du matériel (ductile ou non) lié au niveau structural auquel il appartient, la déformation de la roche s'exprimera sous forme de tectonique plicative ou de tectonique cassante. Dans le premier cas, la déformation est continue et se manifeste le plus souvent par des plis ou des structures dérivées (schistosités, structures d'étirements...) Dans le second, la déformation est cassante et matérialisée par des failles qui sont des discontinuités planes selon lesquelles des déplacements se produisent. En milieu cristallin, l'un des objectifs majeurs de la prospection des aquifères est la connaissance préalable du système de fracturation ; toutefois, il faut dire que les autres éléments microstructuraux (foliation, axes de plis, plans axiaux...) ne sont pas négligeables. Leur étude minutieuse permet de mieux décrypter l'histoire tectonique des formations et, par conséquent, de mieux cerner les différents aquifères probables. Malgré le fait que l'anisotropie soit la règle d'or dans les formations cristallines, la connaissance préalable du réseau des fractures, couplée à celle des autres éléments structuraux, permet de définir avec une précision acceptable la géométrie des magasins aquifères.

3.3.2. HISTORIQUE

Bien que les premières photographies aériennes du CAMEROUN remontent aux années 1940, celles-ci furent pendant longtemps utilisées exclusivement pour l'édification des fonds topographiques, le tracé des limites de faciès géologiques et des grands accidents tels ceux qui jalonnent la "ligne du Cameroun". Ce fait s'explique aisément quand on sait que, jusqu'aux années 1970, la presque totalité des ouvrages exploitant les eaux souterraines étaient essentiellement des puits de grand diamètre et de profondeur modeste ; les critères géomorphologiques seuls suffisaient pour leur implantation. Il a fallu attendre 1973 pour voir, avec l'avènement du marteau-fond-de-trou, la Société HYDROGEO-CAMEROUN financer l'élaboration de cartes à dense réseau de fracturation. Ces cartes, réalisées dans un but purement hydrogéologique, étaient destinées à contribuer à une plus vaste connaissance des possibilités en eau des centres de MOKOLO, TSANAGA, MANDAKA. Toutes ces localités sont situées aux pieds des Monts MANDARA, au-delà du 10ème parallèle de latitude Nord.

D'autres cartes de linéaments photogéologiques ont été élaborées par la suite, mais ont toutes un caractère très local. Pour la plupart d'entre elles, ces cartes consistent dans le tracé de fractures observées dans un rayon de trois kilomètres autour d'une localité donnée. A ce titre, nous pouvons citer les travaux de J.C. ASTIER relatifs à la ville de TCHOLLIRE et les multiples réalisations d'ARLAB-CAMEROUN. Le caractère ponctuel de ces travaux (parfois limités à une petite zone sur un couple de photo) est certes intéressant pour l'implantation des ouvrages de captage des eaux dans les localités étudiées, mais ne peut, en aucun cas, aboutir à une étude de synthèse régionale. Ce caractère disparate des travaux est très déplorable et se ressent encore plus au niveau des études géophysiques et de la répartition spatiale des forages dans les localités. Nous y reviendrons plus loin, dans le chapitre réservé à la géophysique.

3.3.3. ORIENTATION DES ETUDES

L'un des objectifs de l'étude des aquifères en milieu cristallin reste la détermination de la géométrie fissurale ; en effet, dans ce type de réservoir aquifère, les fractures conditionnent, par leurs caractéristiques (directions, pendages, mailles, longueur...) les propriétés hydrogéologiques du système. Pour caractériser au mieux (qualitativement et quantitativement) la fracturation du secteur de POLI, nous nous sommes proposé de l'étudier en utilisant des méthodes de détection diverses, qui varient avec l'échelle d'observation ; ainsi, nous distinguons :

1 - Les images satellites au 1/200 000 :

Les documents utilisés sont de deux types :

* Les images en noir et blanc des canaux 5 et 7 commercialisées par le C.R.T.O. (BURKINA FASO).

* Les compositions colorées sur support diazoïque des canaux 5 et 7 qui nous ont été prêtées gracieusement par Monsieur THOSTHE, à l'époque responsable du Projet Uranium POLI.

A partir de ces images et pour chaque canal considéré, nous avons tracé un réseau complexe de fractures, obtenant ainsi quatre documents de base. Par superposition des différents couples, nous avons obtenu un document par canal. Une dernière superposition nous a conduit à l'élaboration du document synthétique final (fig 3.11.) à partir duquel nous avons réalisé nos études. Lors des superpositions successives, seuls les linéaments communs aux deux documents comparés étaient retenus, les autres étant considérés comme résultant des effets de distorsions lors des prises de vue.

2 - Les photographies aériennes au 1/50 000 :

Les photos sont celles de la mission AE NC 11/500 de 1969, desquelles fut dressée la plus récente carte topographique de POLI au 1/200 000 en Mai 1973.

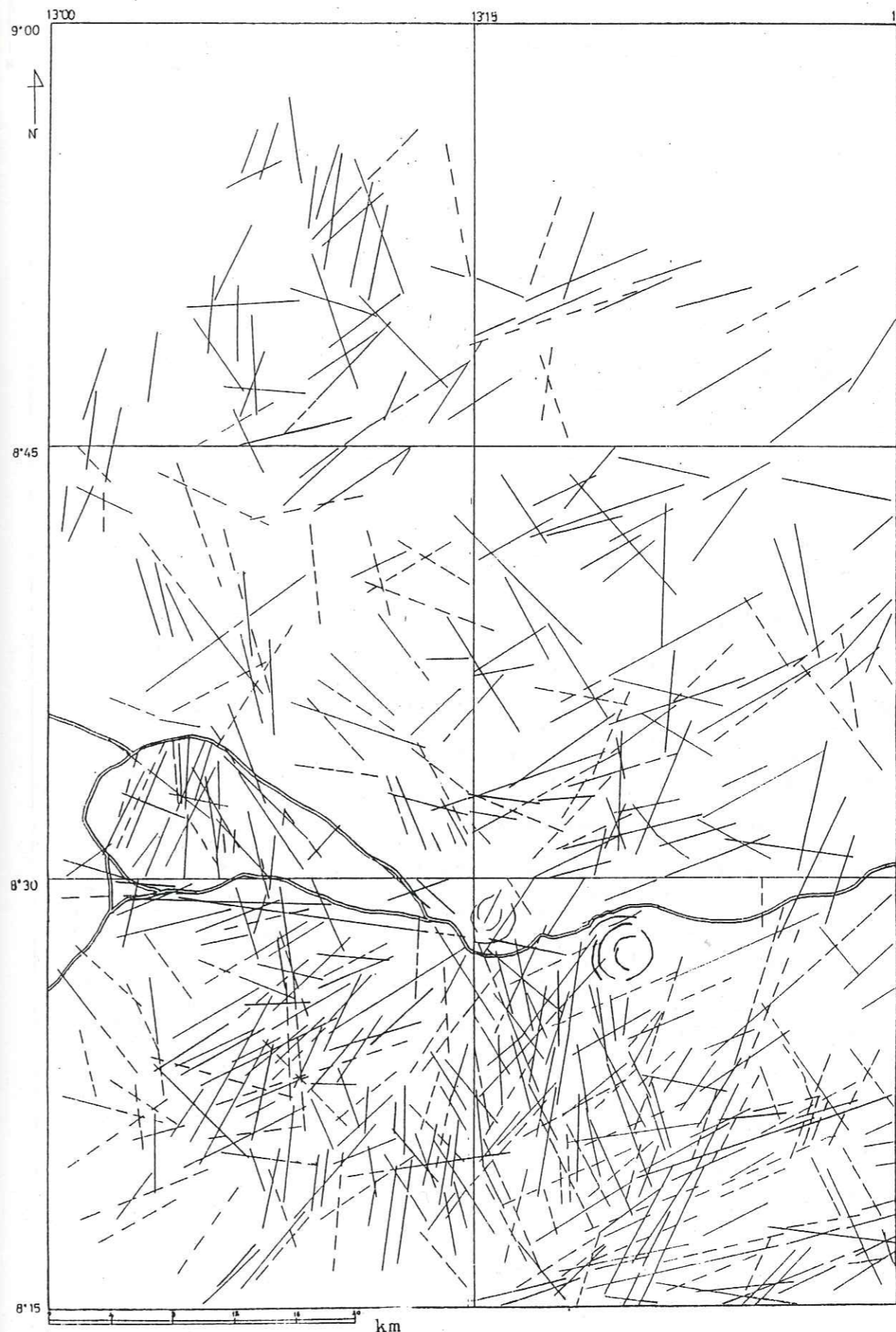


figure 3.11 RESEAU DE FRACTURES DU SECTEUR DE POLI TIRE DES IMAGES LANDSATS DU 02/11/77

BANDES 5 ET 7

A partir des mosaïques que nous avons constitué pour l'approche géologique du secteur de POLI, nous avons réalisé la carte de fracturation (fig 3.12.). Par réduction, nous avons pu obtenir un document clair.

3 - La carte géologique au 1/50 000 de GODE, réalisée par S.F. TOTEU et al (1984).

4 - Les mesures directes à l'affleurement :

Les bonnes conditions d'affleurement des roches dans le secteur de POLI (notamment le long des Mayos) autant que dans les autres zones cristallines du Nord-Cameroun, témoignent sans nul doute de l'intérêt croissant que les géologues ont pour la partie septentrionale du pays. A l'affleurement, l'étude des microstructures s'est avérée très enrichissante. A chaque fois, nous nous sommes employés à quantifier le maximum de structures visibles, à savoir les directions et pendages des plans de foliation, des fentes de tension, des fractures cassantes et des stries qui leur sont associées.

3.3.4. METHODE D'ETUDE

3.3.4.1. Introduction

Nous avons eu à mentionner plus haut l'importance de la fracturation dans la définition des aquifères cristallins. Dans cette optique, G. BRIERE et M. RAZACK (1982) disaient que "la fracturation représente de la sorte une donnée essentielle de l'étude hydrogéologique de ce type d'aquifère". Les méthodes d'approche permettant de mieux cerner la fracturation sont nombreuses ; nous pensons, notamment, aux images satellites, aux photographies aériennes et aux mesures classiques de terrain. Le nombre de chiffres à manipuler étant sans cesse croissant en fonction des surfaces considérées, de nombreux auteurs ont mis au point des méthodes de traitement permettant d'intégrer les résultats et d'aboutir à un document final faisant ressortir rapidement les traits les plus marquants de cette fracturation. Ainsi, P. BOUCHE et al (1971) mirent au point la méthode dite du "filtrage optique" ; cette méthode fût améliorée par C. DROGUE et al (1975) et appliquée avec un certain succès quatre ans plus tard sur le socle cristallin africain, au BURKINA FASO (Sites de ZIGLA et MOGTEDO). Ensuite, C. GATEAU et al (1976) mirent au point la technique de l'analyseur d'images. Ces deux méthodes, bien que pratiques, présentent des limites dans leurs applications aux cartes de fracturation (J.C. GRILLOT, 1977). En effet, elles ne permettent ni de tenir compte de la longueur des fractures (pour une direction donnée, tous les linéaments sont totalisés, quelle que soit leur importance), ni de comptabiliser et de quantifier la fissuration (G. MASSONAT, 1981).

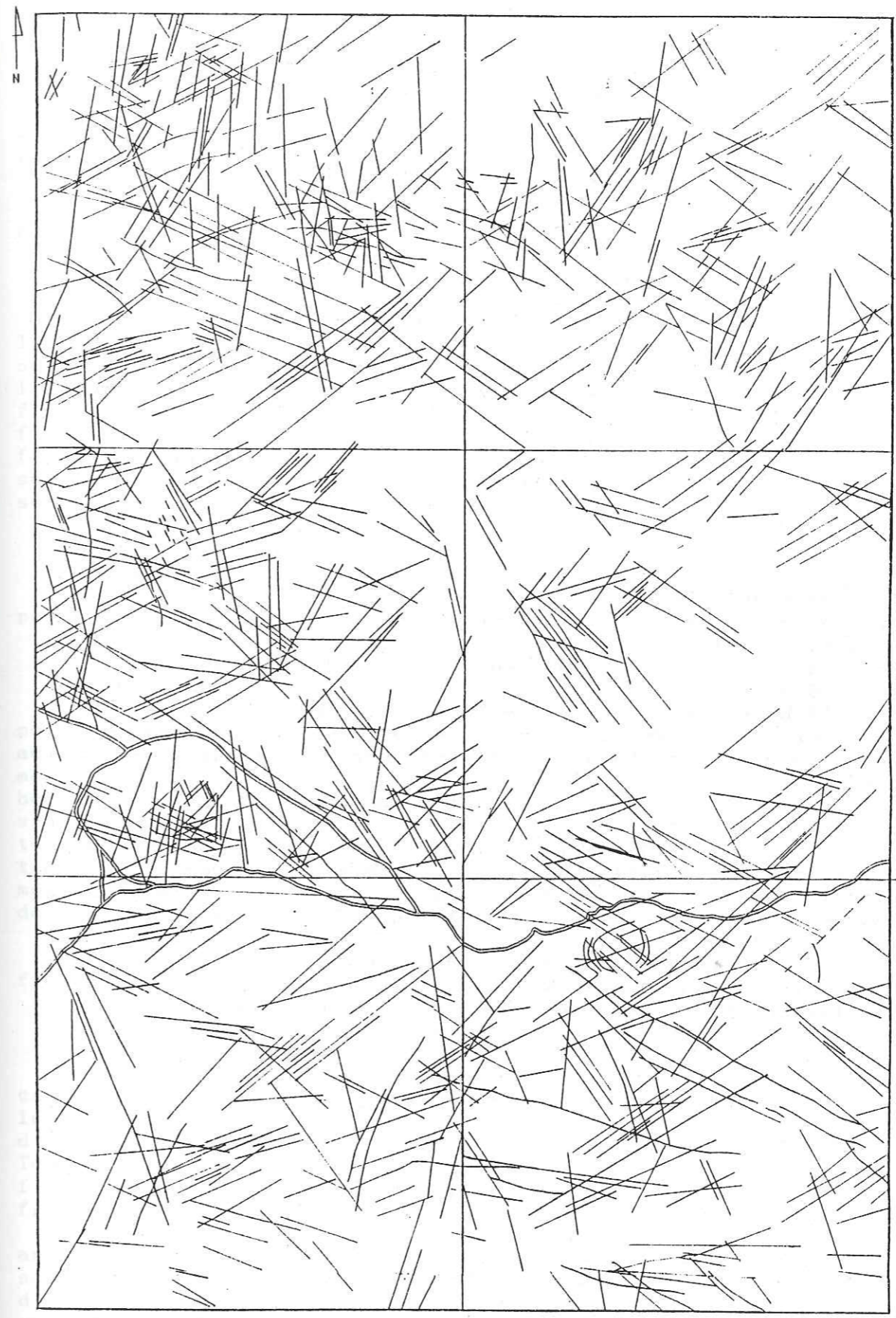
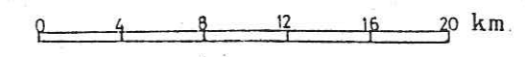


Figure 3.12 RESEAU DE FRACTURES DU SECTEUR DE POLI Tira des photographies aériennes au 1/50.000



En 1978, G. BRIERE et M. RAZACK conçurent une "méthode informatique pour l'étude sur clichés aériens de la fracturation des magasins aquifères fissurés". Cette méthode rapide, hautement perfectionnée donne des résultats très satisfaisants, mais présente de nombreux inconvénients quant à son utilisation sur le socle cristallin africain ; ces limites sont de trois ordres :

1 - Le document de base :

Dans la méthode, le seul procédé d'approche est la photogéologie ; en effet, les auteurs stipulent que "seul ce mode de relevé a l'avantage de permettre l'acquisition d'une information représentative à l'échelle du magasin (distribution et extension réelles des fractures notamment)". Or, il a été démontré par de nombreux auteurs (ENGALENC, 1978 et J.C. GRILLOT, 1978) que l'étude, par une méthode donnée du champ de fracturation d'un secteur présente plus d'intérêt à être comparée aux résultats des autres méthodes d'approche, qu'à être utilisée systématiquement dans la recherche de l'explication des phénomènes locaux de fissuration. A ce titre, J.C. GRILLOT (1978) disait que : «L'identification sur le terrain des réseaux de discontinuités apparaît indispensable tant dans la perspective d'une interprétation rationnelle des champs de fractures que dans l'idée de mieux appréhender les propriétés hydrauliques de l'aquifère". Ceci est parfaitement en harmonie avec la conclusion de G. MASSONAT (1981), qui veut "qu'en milieu fissuré non carbonaté, aucune méthode d'étude n'apparaît entièrement satisfaisante pour l'obtention de la connaissance de la structure fissurale. Les études sur le terrain ou à partir des photos aériennes ne sont donc pas opposables, mais strictement complémentaires».

2 - Les échelles des photographies aériennes :

C. DROGUE et J.C. GRILLOT (1976) ont montré qu'il existait des variations dans les relevés de fracturation sur photographies aériennes quand on changeait d'échelle d'observation ; en outre, M. RAZACK (1978) a quantifié cet effet d'échelle et a défini le 1/15 000 comme échelle de mesure la plus représentative à partir de laquelle une analyse approfondie de la fracturation est possible. Or, en Afrique, de vastes zones (cristallines ou non) restent encore couvertes par des photographies réalisées à la seule échelle du 1/50 000.

3 - Le matériel de numérisation utilisé :

La méthode nécessite :

- * Une table de lecture,
- * Un ordinateur,
- * Une imprimante,
- * Une traceuse.

Le coût total d'un tel matériel reste encore trop élevé et l'inexistence de tout cet ensemble dans nos Universités et nos Instituts de Recherche constitue un handicap certain à l'application de la méthode.

3.3.4.2. Buts de la méthode

Il nous est apparu intéressant de mettre en oeuvre une méthodologie permettant d'arriver à quantifier la fracturation quel que soit le document de base utilisé. En fait, cette approche, qui est beaucoup plus une démarche qu'une méthode nouvelle au sens strict du terme, est fortement inspirée de la méthode de G. BRIERE et M. RAZACK (1982). Elle n'en diffère que par le fait qu'elle permet :

* de s'affranchir de la table de lecture,

* de donner des documents aisément comparables de l'information fracturation à l'échelle des imageries satellites, des photographies aériennes et des mesures à l'affleurement. Cet aspect permet, lors du dépouillement final, de mieux appréhender les traits caractéristiques de la fracturation et de mieux distinguer les pics fréquentiels des fractures "fermées" de ceux des fractures "ouvertes" susceptibles de jouer un rôle intéressant dans l'hydraulique souterraine.

3.3.4.3. Principe

La démarche peut être résumée en quatre grands points :

1 - Acquisition de l'information fracturation :

Comme dans la méthode de M. RAZACK, c'est le point de départ et l'étape la moins objective. Elle consiste au relevé minutieux sur images satellites ou sur photographies aériennes du réseau de fracturation. On ne peut obtenir une bonne précision qui si l'opérateur possède une bonne vision stéréoscopique, ce qui n'est malheureusement pas le cas pour tout le monde. A chaque fracture précédemment repérée et tracée, on affecte un numéro. Les risques d'oubli sont moindres si on travaille par secteur et suivant une direction donnée (E - W par exemple).

2 - Détermination des directions et longueurs des fractures :

* Directions :

Sur un papier kodatrace, on confectionne un canevas ayant un pas de 10°. Par superposition de celui-ci sur les différentes fractures numérotées, on obtient le segment d'angle dans lequel s'inscrit l'azimut du linéament. Toutefois, il faut prendre soin de garder le Nord constant en fixant sur la table le kodatrace sur lequel sont tracées les fractures.

Dans la pratique, les discontinuités annulaires ou présentant une obliquité le long de leur tracé sont considérées comme étant la résultante de plusieurs discontinuités infinitésimales linéaires dont les axes porteurs sont, en tout point, tangents à la concavité de la fracture mère. Une fracture oblique a donc autant de directions que l'on considère de fractures linéaires (fig 3.13.).

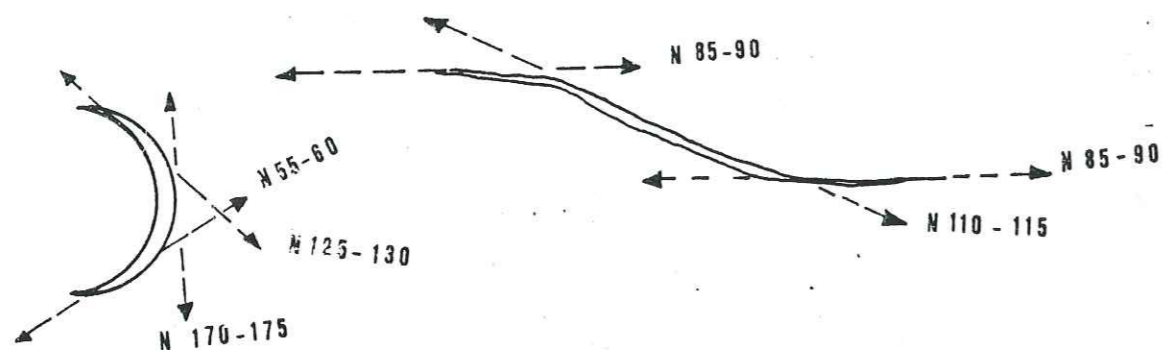


figure 3.13. : Exemple d'estimation des directions des fractures non rectilignes

* Longueurs :

Elles sont mesurées au curvimètre. Pour le socle cristallin Africain et en fonction de l'étendue des zones faillées sur les documents disponibles (hectométriques à kilométriques), ce travail est relativement aisé.

3 - Création et traitement automatique des fichiers :

A la fin de l'étape 2, chaque fracture tracée est caractérisée par un numéro, un pas azimutal et une longueur. Ces données sont introduites dans l'ordinateur suivant le programme FAILLE.SAI qui traite automatiquement les données et sort sur imprimante :

- * le nombre total de fractures,
- * le nombre de fractures par classe de 10°,
- * le pourcentage par classe,
- * la longueur totale des fractures,
- * la longueur des fractures par classe de 10°,
- * le pourcentage par classe.

4 - Tracé des rosaces :

Ce tracé se fait par le programme FAILLE.TRA.

* Nous avons conçu tous ces programmes au COMITE INFRAFRICAINE D'ETUDES HYDRAULIQUES (C.I.E.H.) de OUAGADOUGOU. Ils fonctionnent sur APPLE III, sous Business Basic. Nous saisissons l'occasion qui nous est ici offerte pour remercier vivement Monsieur J.P. VINTER, Hydrogéologue du C.I.E.H. et ancien étudiant de l'Institut DOLOMIEU qui nous a prêté très positivement main forte à tout ceci en nous sacrifiant des précieuses heures de week-end.

3.3.4.4. Résultats

Nous avons subdivisé le secteur de POLI en sous-unités géographiques de 15' de côté. Chaque carré ainsi défini porte le nom de la plus importante agglomération urbaine située en son sein. Cette terminologie est celle adoptée par les chercheurs du C.R.G.M. de GAROUA dans leurs études de cartographie géologique au 1/50 000.

3.3.4.4.1. Les images satellites (fig 3.14 et 3.15)

Le tableau 3.6. présente la distribution des pics fréquentiels des directions linéamentaires des carrés du secteur de POLI. A la dernière colonne de ce tableau, nous donnons les pics fréquentiels de l'ensemble du secteur de POLI.

Dans le carré de POLI, les directions NO-10, N 60-80 et N 30-40 sont prédominantes.

A MANGO, les directions N 60-80 et N 20-30 sont les plus prononcées. Ceci est lié aux grandes structures faillées qui ceinturent (ou découpent) l'important Hosséré MANGO à grand axe orienté SW - NE.

A GODE par contre, la direction N 160-180 est prédominante. Toutefois, on note l'apparition de deux pics secondaires qui paraissent avoir localement une importance remarquable ; il s'agit des directions N 130-140 et N 90-110. L'étude de la fracturation du massif post-panafricain de GODE nous a permis de mieux caler ces directions et de comprendre que l'essentiel des fractures qui les constituent ne sont pas originelles mais plutôt tardives, c'est-à-dire post-tectoniques.

A BALCHE, nous retrouvons les directions N 50-80, N 20-40 et des directions "abérantes" (N 90-100 et N 140-150). Ce secteur est constitué en grande partie de volcano-sédimentaire ; la fracturation suivant ces deux directions relèverait de ce que G. MASSONAT (1981) appelle "la fissuration ajoutée" liée à la proximité de la surface et due à la décompression et à l'action de la pesanteur.

A BORONGO, on note la réapparition de la direction N 0-20 et la constance de la direction N 50-60.

Enfin, à BOUMEDJE, malgré la faible densité de fracturation observée à cette échelle du fait du recouvrement sédimentaire, les directions N 50-80 et N 30-40 sont les plus fréquentes.

Pour l'ensemble du secteur de POLI, la dernière colonne du tableau 3.6. fait ressortir trois grands traits qu'il convient de mentionner :

1 - Dans le secteur de POLI, la fracturation est très dense et orientée dans toutes les directions de l'espace.

| NOMBRE DE FRAC | CARRÉS | | | | | | SECTEUR DE POLI |
|----------------|--------|-------|-------|--------|---------|-----------|-----------------|
| | POLI | MANGO | GODE | BALCHE | BORONGO | BOUME-DJE | |
| | 129 | 184 | 90 | 85 | 40 | 19 | 547 |
| | 1 | 7 | 4 | | 1 | | 3 |
| - 10 | 10.08 | 8.52 | 8.80 | 4.70 | 17.50 | 5.28 | 8.81 |
| | 7 | 5 | 7 | | 1 | | 5 |
| - 20 | 8.21 | 7.80 | 5.55 | 2.38 | 17.50 | 5.28 | 7.41 |
| | | 2 | 8 | 4 | | | 9 |
| - 30 | 3.88 | 10.87 | 5.58 | 5.88 | 5.0 | 0.0 | 5.19 |
| | 3 | | | 4 | | 2 | 8 |
| - 40 | 9.08 | 5.44 | 4.44 | 5.88 | 2.50 | 15.79 | 7.18 |
| | 4 | 4 | | | 3 | | 8 |
| - 50 | 7.78 | 8.89 | 4.44 | 4.71 | 7.50 | 5.28 | 8.39 |
| | 8 | | | 2 | 2 | 3 | 2 |
| - 60 | 8.98 | 5.43 | 4.44 | 12.94 | 15.0 | 10.53 | 9.22 |
| | 2 | 1 | | 1 | | 1 | 1 |
| - 70 | 9.30 | 15.22 | 3.33 | 15.30 | 2.50 | 31.58 | 12.87 |
| | 5 | 3 | | 2 | | 2 | 4 |
| - 80 | 7.75 | 8.24 | 1.11 | 12.94 | 2.50 | 15.79 | 8.22 |
| | | | | | | | 18 |
| - 90 | 2.33 | 3.28 | 1.11 | 1.18 | 2.50 | 0.0 | 1.73 |
| | | | 8 | 3 | | | 13 |
| - 100 | 5.43 | 2.18 | 5.58 | 7.08 | 2.50 | 0.0 | 3.78 |
| | | | 5 | | | | 11 |
| - 110 | 2.33 | 2.17 | 8.87 | 3.53 | 5.0 | 5.28 | 4.18 |
| | | | | | | | 17 |
| - 120 | 1.58 | 0.0 | 2.22 | 3.53 | 0.0 | 0.0 | 1.22 |
| | | | | | | | 18 |
| - 130 | 0.78 | 0.54 | 4.44 | 1.18 | 0.0 | 0.0 | 1.15 |
| | | | 2 | | | | 15 |
| - 140 | 3.88 | 0.54 | 8.89 | 2.35 | 2.5 | 0.0 | 3.02 |
| | | | | 3 | | | 12 |
| - 150 | 5.43 | 5.43 | 4.44 | 7.08 | 2.5 | 0.0 | 4.14 |
| | | 8 | 7 | | | | 10 |
| - 160 | 5.43 | 7.07 | 5.55 | 3.53 | 5.0 | 0.0 | 4.43 |
| | | 7 | 1 | | | | 7 |
| - 170 | 5.43 | 8.52 | 13.33 | 4.71 | 5.0 | 5.28 | 8.70 |
| | | | 3 | | | | 14 |
| - 180 | 5.43 | 3.28 | 8.88 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 3.78 |

TABLEAU 3.6. : Distribution des pics fréquentiels des directions linéamentaires des carrés du secteur de POLI (données tirées des imageries satellites au 1/200 000)

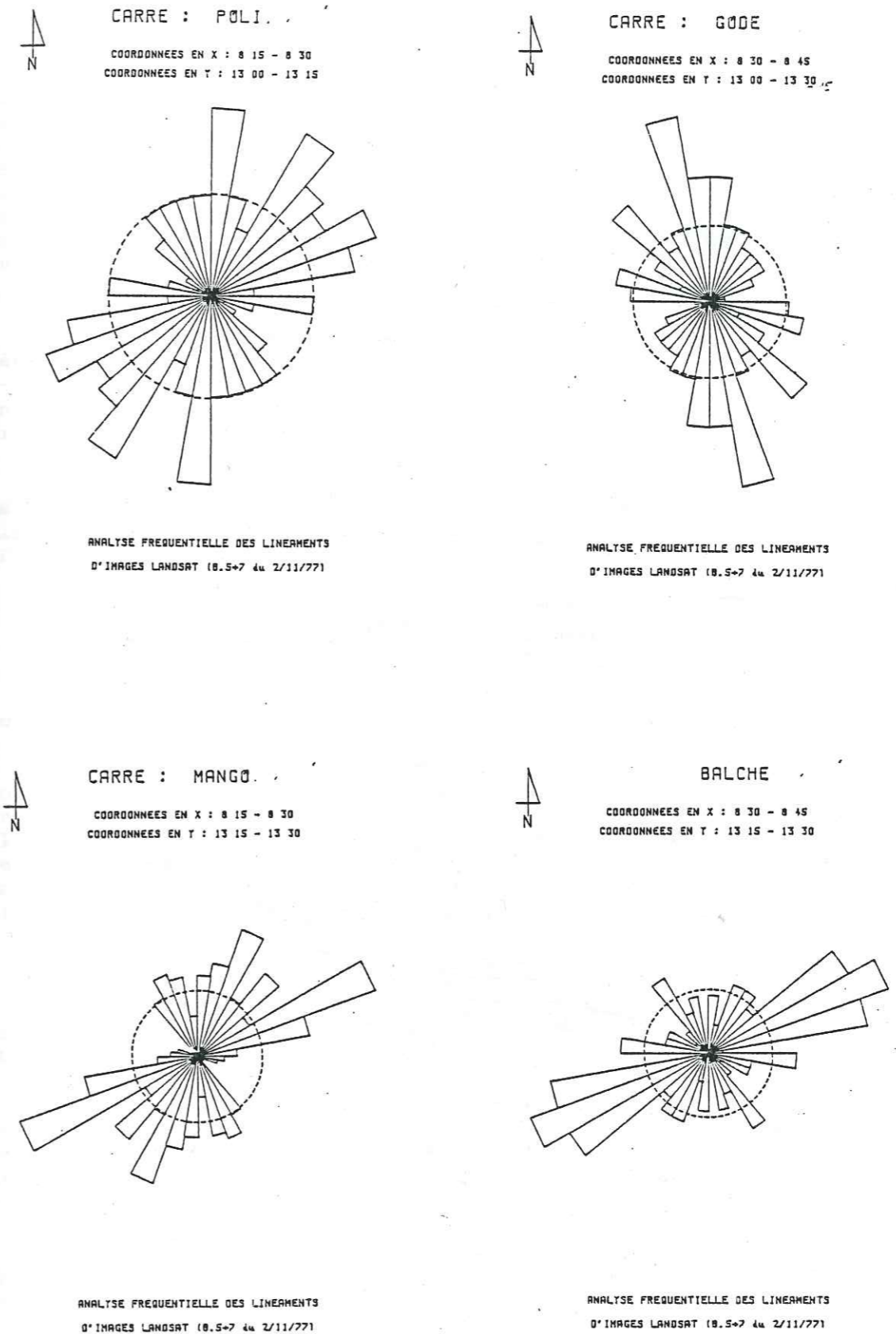


fig 3.14. : Rosaces de l'organisation spatiale des photo-fractures des carrés du secteur de POLI (images satellites)

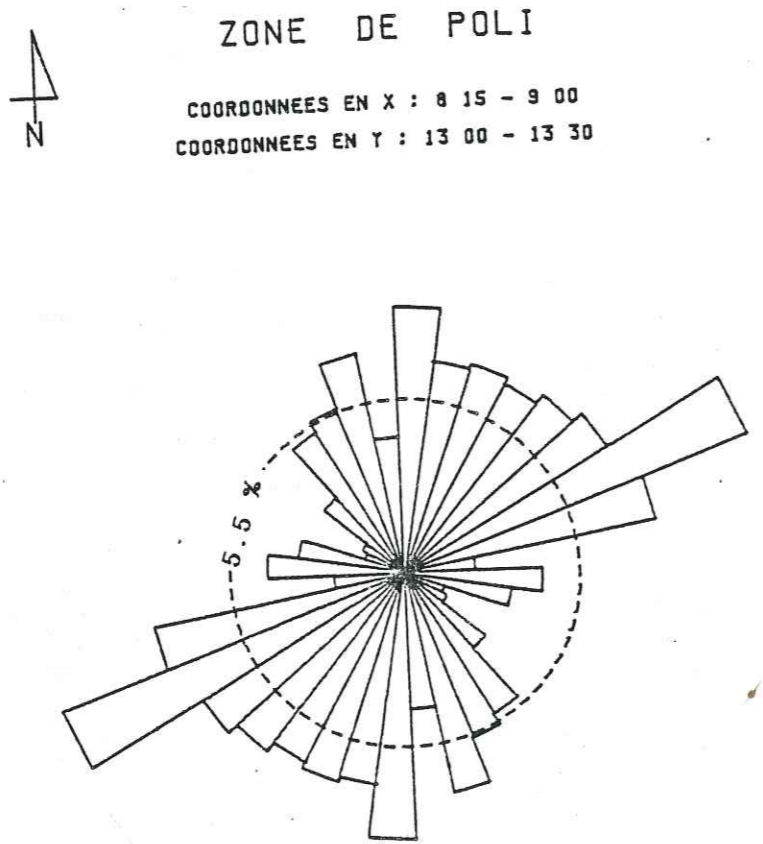
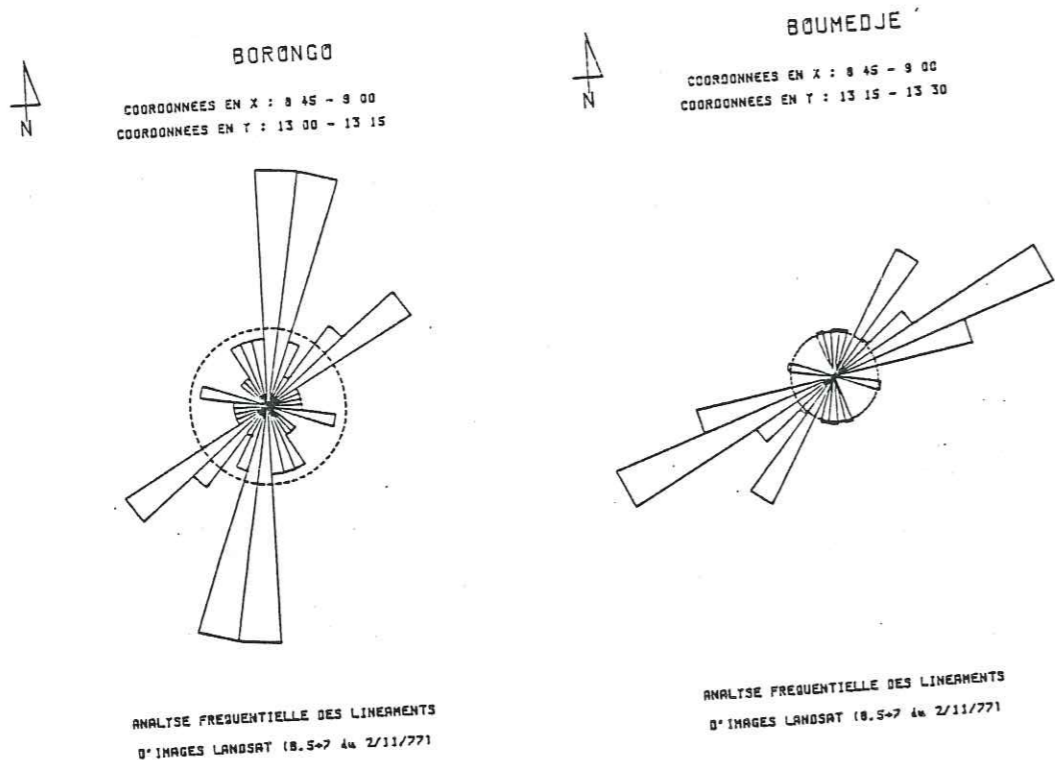


fig 3.15. : Rosaces de l'organisation spatiale des photo-fractures des carrés du secteur de POLI (images satellites)

2 - Les pics fréquentiels les plus élevés (supérieurs à 5,5 %) suivant lesquels le maximum de linéaments s'organise sont situés dans les fourchettes directionnelles N 50-80, N 0-20, N 30-50. En fait près de la moitié (46,53 %) des fractures de l'ensemble du secteur est contenue dans les azimuts N 50-80 et N 0-20. Quand on sait qu'en positionnant les forages aux voisinages des fractures, on obtient de bons résultats tant dans l'accroissement des débits que dans celui des pourcentages de réussite, on comprend mieux l'intérêt que revêt la détermination précise de la distribution spatiale du réseau de fracturation. Toutefois, il faut noter que toutes les fractures n'ont pas toujours un rôle hydrogéologique favorable. Ce fait est en accord avec le caractère anisotrope du milieu cristallin.

3 - Les directions suivant lesquelles les pics fréquentiels sont les moins élevés (inférieurs à 4 %) sont : N 80-100, N 110-140 et N 170-180. Les données du tableau montrent que seulement 14,66 % des fractures s'orientent suivant ces directions.

En finale, les images satellites nous permettent de dégager trois grandes directions suivant lesquelles le socle cristallin du secteur de POLI est compartimenté. Il s'agit des directions : N 50-80, N 0-20 et N 30-40.

3.3.4.4.2. Les photographies aériennes (fig 3.16 et 3.17)

A l'échelle du 1/ 50 000 qui est celle des photographies à partir desquelles nous avons tracé le réseau de linéaments, le nombre de fractures par carré (et par voie de conséquence pour l'ensemble du secteur d'étude) augmente considérablement et passe pratiquement du simple au double. Par réduction, nous avons obtenu le document de la figure 3.12. Le dépouillement de ce document par la méthode d'approche que nous avons présentée plus haut nous a permis de concevoir le tableau 3.7. duquel se dégagent les traits suivants :

1 - Les directions :

Dans les carrés de POLI et MANGO, le maximum de fractures s'organisent suivant les directions N 40-80 et N 90-120.

A GODE, les mêmes directions persistent, mais avec apparition d'un pic secondaire N 150-170. Comme nous l'avons dit plus haut en ce qui concernait les images satellites, les fractures liées à cette direction ne sont pas originelles.

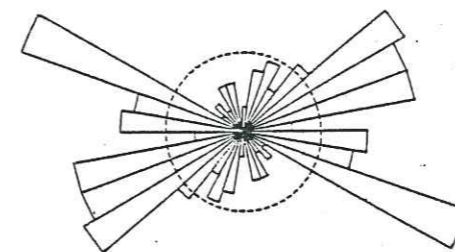
A BALCHE, en plus des directions N 50-60 et N 100-130, on note la progression du pic N 30-40 et une direction secondaire N 140-150.

Dans le carré de BORONGO, la direction N 50-80 persiste et est toujours dominante par rapport à la direction N 100-130 et la direction secondaire N 0-10.

| NOMBRE DE FRAC | CARRÉS | | | | | | SECTEUR DE POLI |
|----------------|--------|-------|-------|--------|---------|-----------|-----------------|
| | POLI | MANGO | GODE | BALCHE | BORONGO | BOUME-DJE | |
| | 124 | 167 | 233 | 108 | 238 | 145 | 1013 |
| - 10 | 1.62 | 2.40 | 4.72 | 0.93 | 8.98 | 3.45 | 3.88 |
| - 20 | 4.04 | 0.80 | 5.58 | 0.0 | 5.08 | 2.78 | 3.01 |
| - 30 | 4.84 | 1.80 | 1.72 | 2.78 | 2.98 | 4.83 | 3.15 |
| - 40 | 3.23 | 4.78 | 2.15 | 8.33 | 3.81 | 15.17 | 8.24 |
| - 50 | 5.84 | 8.58 | 8.88 | 10.19 | 5.5 | 8.97 | 7.29 |
| - 60 | 12.0 | 12.58 | 5.58 | 18.52 | 7.28 | 8.97 | 10.82 |
| - 70 | 11.29 | 8.58 | 10.73 | 4.83 | 13.55 | 10.35 | 8.52 |
| - 80 | 10.49 | 5.99 | 8.01 | 3.70 | 9.74 | 8.28 | 7.37 |
| - 90 | 3.23 | 2.90 | 2.58 | 3.71 | 2.11 | 1.38 | 2.85 |
| - 100 | 8.07 | 8.58 | 3.87 | 0.93 | 2.11 | 2.78 | 4.05 |
| - 110 | 7.28 | 5.98 | 8.58 | 8.34 | 8.35 | 3.45 | 8.88 |
| - 120 | 15.32 | 11.97 | 10.73 | 7.41 | 11.44 | 7.59 | 10.74 |
| - 130 | 1.81 | 11.37 | 8.01 | 8.33 | 8.77 | 9.88 | 7.30 |
| - 140 | 2.42 | 4.79 | 3.87 | 4.83 | 1.24 | 0.89 | 2.94 |
| - 150 | 1.81 | 5.39 | 5.15 | 12.04 | 2.11 | 3.45 | 4.98 |
| - 160 | 3.23 | 3.59 | 7.20 | 4.83 | 2.11 | 5.52 | 4.38 |
| - 170 | 3.22 | 4.78 | 8.88 | 0.93 | 4.88 | 0.89 | 3.52 |
| - 180 | 0.81 | 1.20 | 1.72 | 0.0 | 4.23 | 2.07 | 1.87 |

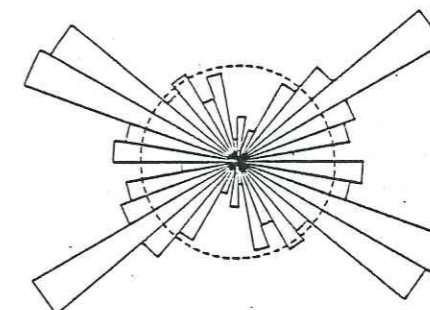
TABLEAU 3.7. : Distribution des pics fréquentiels des directions linéamentaires des carrés du secteur de POLI (données tirées des photographies aériennes au 1/50 000)

CARRE : POLI
COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 30
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15



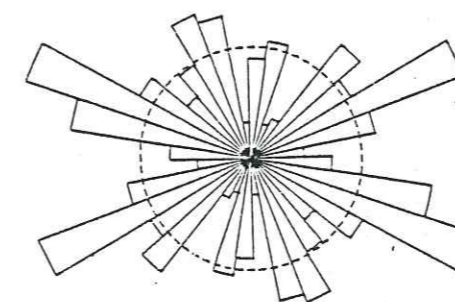
ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : POLI

CARRE : MANGO
COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 30
COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30



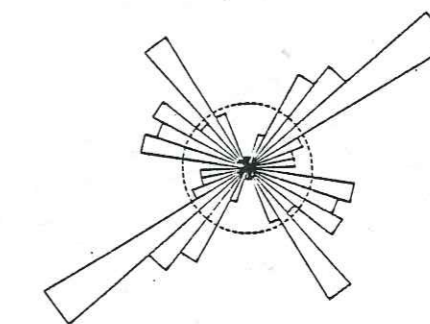
ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : MANGO

CARRE : GODE
COORDONNEES EN X : 8 30 - 8 45
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15



ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : GODE

CARRE : BALCHE
COORDONNEES EN X : 8 30 - 8 45
COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30



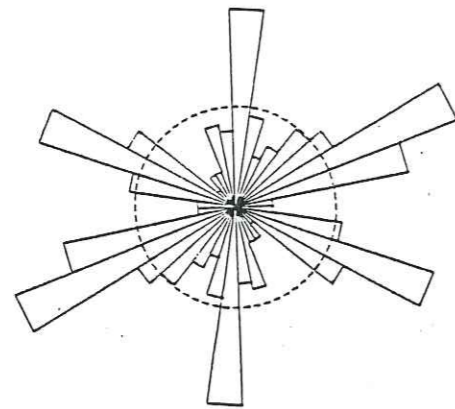
ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : BALCHE

fig 3.16. : Rosaces de l'organisation spatiale des photographies des carrés du secteur de POLI (photographies aériennes)



CARRE : BORONGO

COORDONNEES EN X : 8 45 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15

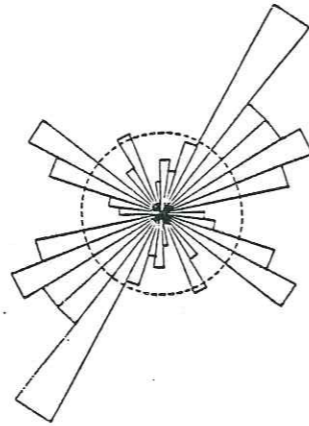


ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : BORONGO



CARRE : BOUMEDJE

COORDONNEES EN X : 8 45 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30

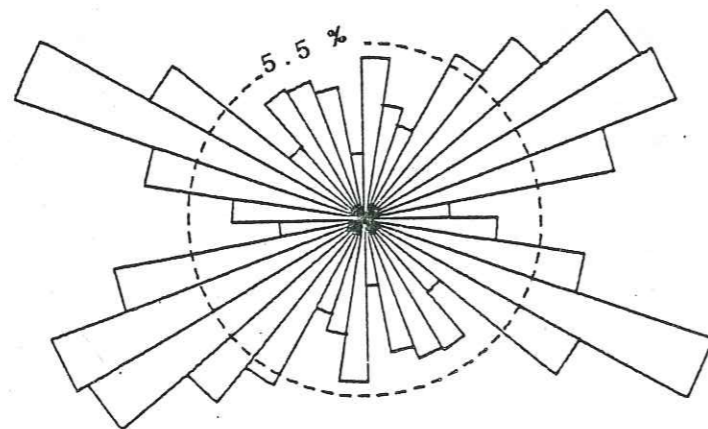


ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : BOUMEDJE



ZONE DE POLI

COORDONNEES EN X : 8 15 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS DE : ZONE DE POLI

fig 3.17. : Rosaces de l'organisation spatiale des photo-
fractures des carrés du secteur de POLI
(photographies aériennes)

A BOUMEDJE enfin, les trois directions principales de fracturation du secteur sont exprimées : il s'agit des directions N 30-40, N 60-80 et N 110-130.

Pour l'ensemble du secteur de POLI, nous constatons les faits suivants :

1/ A cette échelle aussi, le réseau de fracturation s'organise suivant toutes les directions de l'espace.

2/ Les pics fréquentiels les plus élevés (supérieurs à 5,5 %) sont situés dans les directions N 50-80 et N 100-130. On retrouve ici la direction N 50-80 déjà observée sur les images satellites et suivant laquelle de nombreux linéaments sont orientés. Un nouveau pic apparaît dans la direction N 100-130 tandis que le pic N 0-20 mis en évidence sur les images satellites s'extompe considérablement. Nous pensons, comme l'a dit A.N. SAVADOGO (1984), que la rareté des directions linéamentaires entre N 100-130 peut être liée à la direction de balayage du satellite qui est Est-Ouest, car ces directions apparaissent parfaitement sur les documents aériens. Quant à la régression remarquable du pic de la direction N 0-20, nous dirons que ces linéaments correspondent à des mégafractures d'extension régionale qui reprennent la direction subméridienne d'allongement des plans de foliation (fig 3.25). A l'échelle des photographies aériennes, ces mégafractures délimitent des grands ensembles et ne sont donc décelables qu'en faible quantité. Les mesures à l'affleurement et l'étude des longueurs nous permettront de mieux étayer ces propos.

3/ Les pics les moins élevés (inférieurs à 4 %) sont relevés dans les directions N 0-30 ; N 80-90 ; N 130-140 ; N 160-180. Abstraction faite de la direction N 0-30, le comportement des autres directions est le même sur les images satellites et les photographies aériennes. Ces directions sont, par voie de conséquence, relativement "pauvres" en fractures, quelle que soit l'échelle d'observation.

2 - Les longueurs :

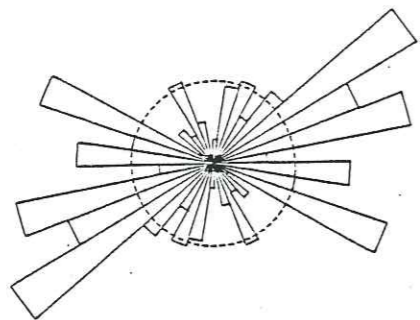
Sur l'extrait du réseau de fracturation du secteur de POLI, nous nous sommes proposé de mener deux études du paramètre longueur : suivant la classe d'orientation et suivant la classe d'extension.

1/ Les longueurs définies par classe d'orientation (fig 3.18. et 3.19.).

Dans le carré de POLI, les fractures de la direction N 50-80 sont nombreuses et longues contrairement à celles de la direction N 100-120 qui sont plus courtes.

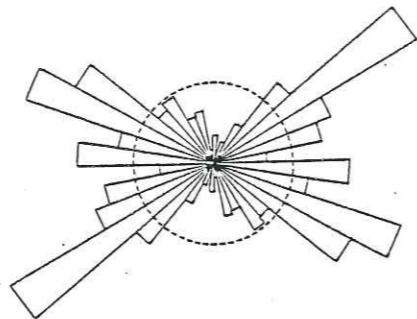
Le même phénomène est observé dans le carré de MANGO en ce qui concerne la direction N 50-80 (à fractures longues) et la direction N 100-130 (fractures courtes).

CARRE : POLI
 COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 30
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15



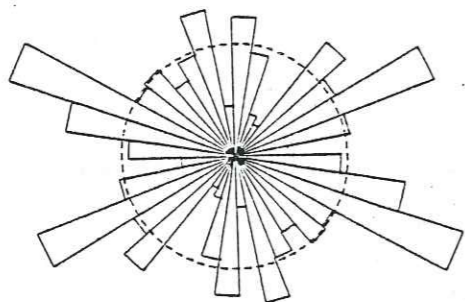
ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : POLI

CARRE : MANGO
 COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 30
 COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30



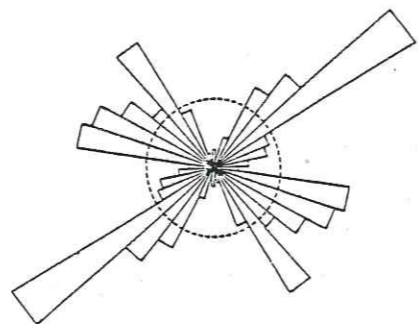
ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : MANGO

CARRE : GODE
 COORDONNEES EN X : 8 30 - 8 45
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15



ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : GODE

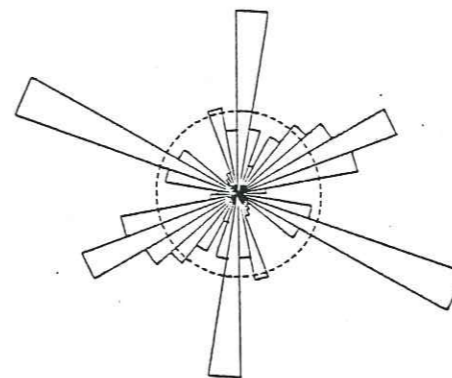
CARRE : BALCHE
 COORDONNEES EN X : 8 30 - 8 45
 COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30



ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : BALCHE

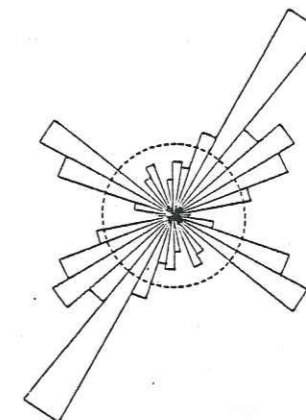
fig 3.18 : Distribution des longueurs par classe d'orientation des linéaments des carrés du secteur de POLI

CARRE : BORONGO
 COORDONNEES EN X : 8 45 - 9 00
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 15



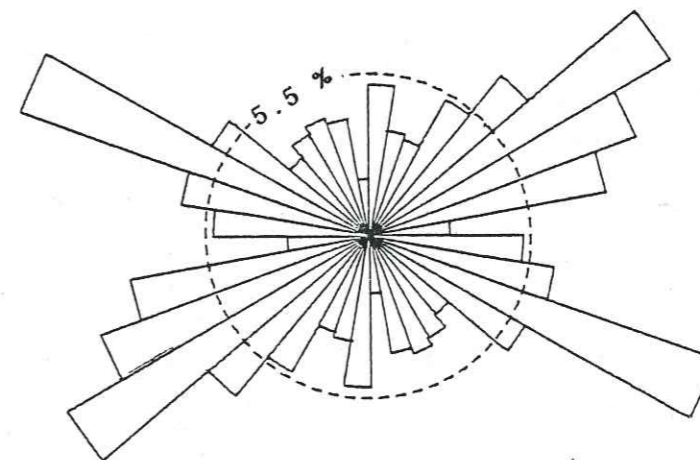
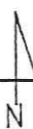
ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : BORONGO

CARRE : BOUMEDJE
 COORDONNEES EN X : 8 45 - 9 00
 COORDONNEES EN Y : 13 15 - 13 30



ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : BOUMEDJE

ZONE DE POLI
 COORDONNEES EN X : 8 15 - 9 00
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



ROSACE DE DISTRIBUTION DES LONGUEURS
 DES LINEAMENTS DE : ZONE DE POLI

fig 3.19 : Distribution des longueurs par classe d'orientation des linéaments des carrés du secteur de POLI

A GODE, les fractures orientées suivant la direction N 0-10 sont peu nombreuses mais très longues, tandis que dans les directions N 40-70 et N 100-120, les fractures sont nombreuses et relativement longues. Les fractures de la direction N 150-170 sont peu nombreuses et courtes.

Quant à BALCHE, les fractures de la direction N 100-120 sont peu nombreuses mais longues. Celles orientées N 30-60 sont nombreuses et longues autant que celles de la direction N 140-150.

A BORONGO, les fractures des directions N 0-10 et N 110-120 sont nombreuses et très longues, tandis que celles de la direction N 50-80 sont nombreuses mais relativement courtes.

Enfin, à BOUMEDJE, alors que les fractures des directions N 30-40 et N 110-130 sont nombreuses et longues, celles de la fourchette directionnelle N 40-80 sont nombreuses, mais plus courtes.

Pour l'ensemble du secteur de POLI, les directions N 30-40 et N 130-170 contiennent des fractures en nombre réduit et courtes. La direction N 0-10 contient un nombre réduit de fractures, mais ces fractures sont longues. Les directions N 40-50, N 60-80, N 100-110 et N 120-130 comportent de nombreuses fractures mais courtes. Seules les directions N 50-60 et 110-120 contiennent des fractures en nombre considérable et longues.

2/ Les longueurs définies par classe d'extension
 Dans nos travaux, nous avons défini 12 classes de longueur de fractures. Chaque classe a une extension linéaire de 500 m. S'il est vrai, comme l'a dit ENGALENC (1979) que "la seule limite au tracé des fractures est le pouvoir séparateur de l'oeil" (ce qui traduit le caractère non objectif des limites des fractures mesurées), il n'en demeure pas moins que, dans le secteur de POLI, le réseau de fracturation a été établi en relevant les alignements morpho-structuraux existants sur les photographies aériennes. Ces structures résultent des variations de relief, micro-relief, végétation, teinte du sol, tracé des marigots, etc... A ce titre, nous avons choisi de ne relever que les fractures hectométriques, kilométriques et multikilométriques. L'extension d'une classe étant d'un demi kilomètre (c'est-à-dire de 1 cm sur les tracés réalisés au 1/50 000), les erreurs possibles sur les limites probables des fractures deviennent très négligeables. Dans l'approche géostatistique que nous avons réalisée, la fracture est donc toujours remplacée dans sa classe. Il faudrait, en outre, signaler que les fractures d'extension supérieure à 6 kilomètres (dont le type est représenté par l'accident de la vallée des Rôniers à l'Ouest de la ville de POLI) n'ont pas été pris en compte dans cette étude, du fait de leur nombre très limité.

Cette étude a consisté à comparer, pour chaque carré du secteur (et pour l'ensemble du secteur), la longueur par classe à la longueur totale des fractures. Les valeurs, les pourcentages, ainsi que les histogrammes qui en sont déduits, sont donnés par les fig 3.20. et 3.21.

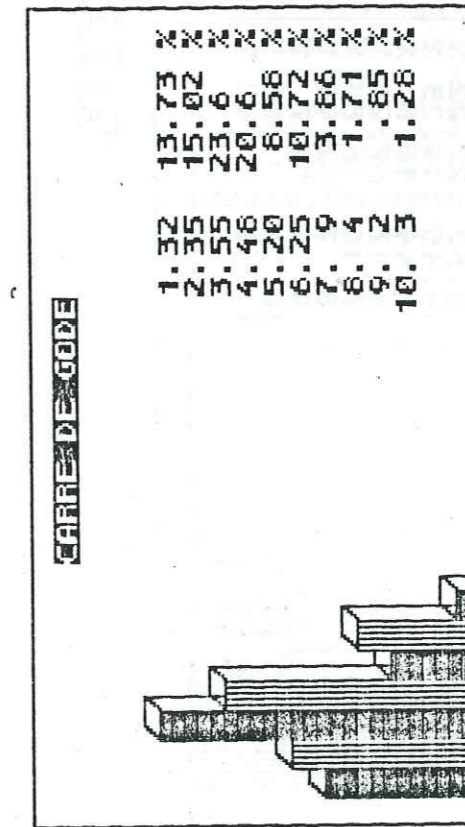
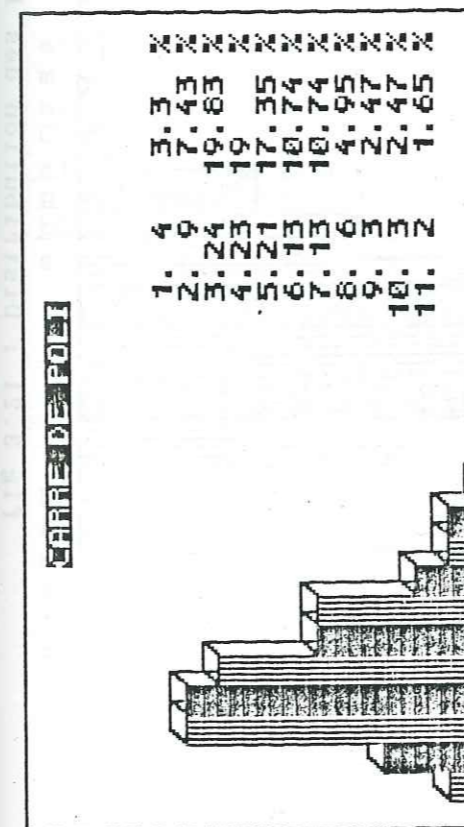
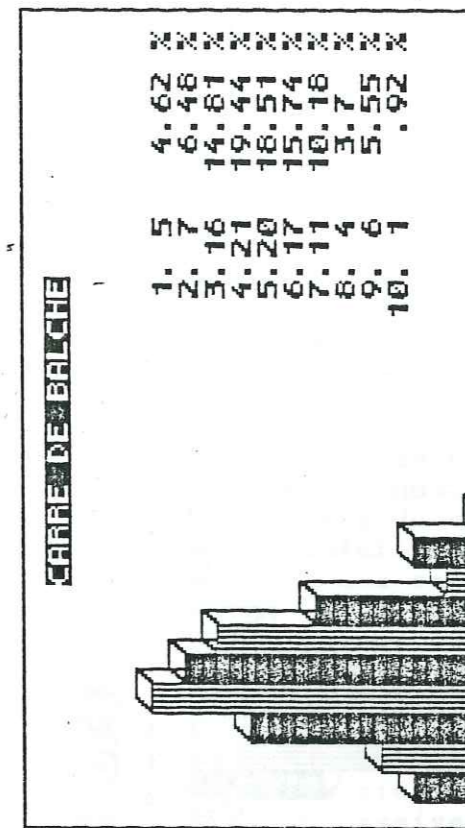
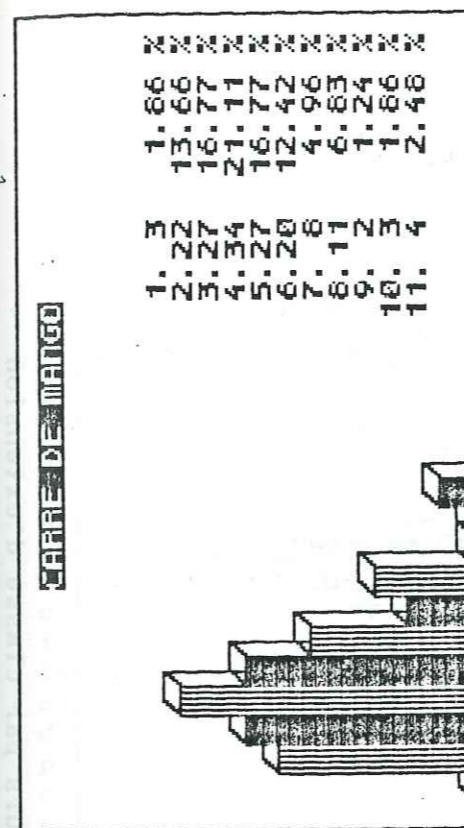


fig 3.20 : Distribution des longueurs par classe d'extension des linéaments des carrés du secteur de POLI

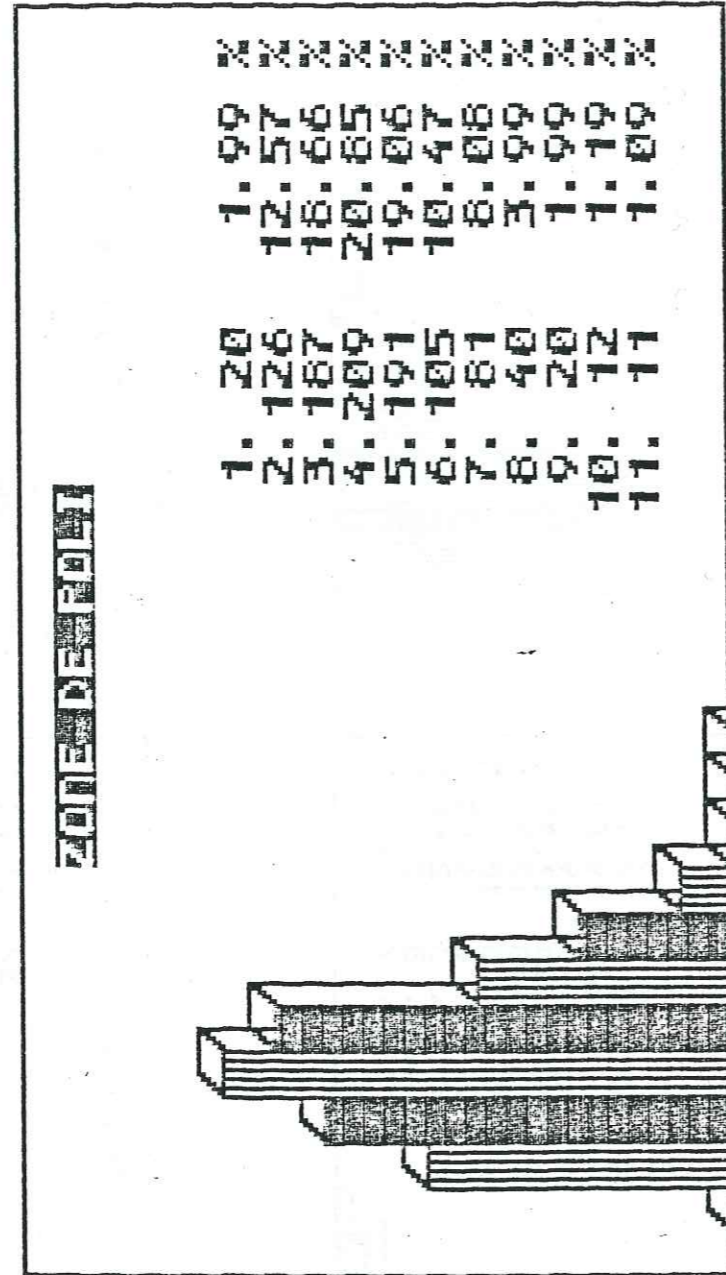
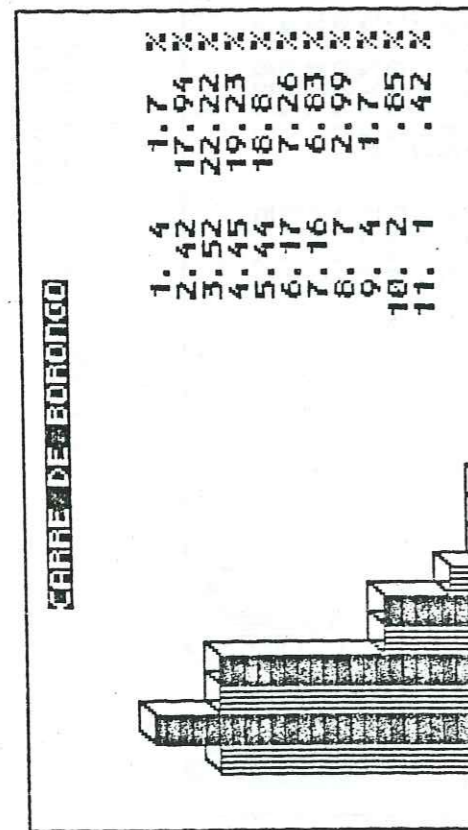
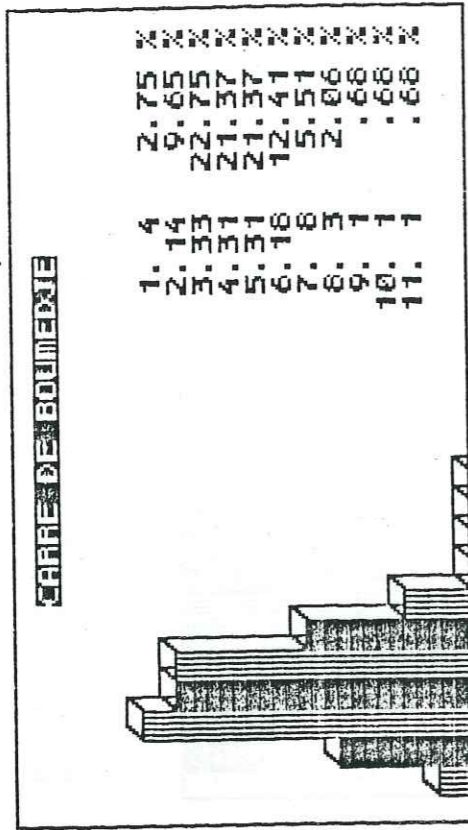


fig 3.21 : Distribution des longueurs par classe d'extension des linéaments des carrés du secteur de POLI

L'histogramme du secteur de POLI (sur les planches appelé ZONE DE POLI) présente quelques caractéristiques qu'il convient de relever :

- a) Le maximum des fractures (209) ont des longueurs comprises entre 1,5 et 2 km (classe 4).
- b) Relativement peu de fractures ont des longueurs comprises entre 0 et 0,5 km (classe 1).

c) Cet histogramme est unimodal, à dissymétrie positive et peut être décrit à l'aide d'une loi de distribution théorique log-normale. Pendant notre séjour au BURKINA FASO, des tentatives de calculs d'ajustement ont été réalisées au C.I.E.H. grâce à une adaptation du programme hydrologique AJUST.LOIS conçu par les chercheurs de cette institution. Les échecs successifs nous ont conduit à délaissier ces ajustements qui, du reste, sortent du cadre assez restreint d'un mémoire d'Hydrogéologie. Toutefois, des auteurs tels G. BRIERE et M. RAZACK (1982) pensent que ce type d'histogramme présente un intérêt particulier à plusieurs titres : "D'une part, on met ainsi en évidence une propriété importante de l'information analysée : nature statistique aléatoire; d'autre part, la log-normalité, souvent présente dans les phénomènes naturels, est liée à la notion d'effet proportionnel ; ce qui, en d'autres termes, signifie que chaque nouveau stade dans l'évolution du phénomène étudié est conditionné par son état antérieur. Les phases successives de fracturation seraient ainsi liées entre elles par une loi mathématique précise".

Les conclusions auxquelles ces auteurs aboutissent en s'appuyant sur des conceptions statistiques (ou mathématiques) sont très éloquentes et trouvent leurs applications dans la fracturation du socle cristallin Camerounais. En effet, alors que la diversité des directions et longueurs des fractures témoigne du caractère anisotrope du phénomène, une phase tectonique donnée remobilise forcément le bâti structural mis en place par la phase précédente et lui est, par le fait même, liée.

3.3.4.4.3. Comparaison avec les études antérieures

3.3.4.4.3.1. La région de NGAOUNDERE :

Dans son approche structurale de la falaise de NGAOUNDERE et la bordure Nord du plateau de l'ADAMAOUA, J.F. DUMONT (1985) a réalisé une étude photo-interprétative de ces unités géologiques. Considérant successivement les images satellites, les photographies aériennes et les mesures de terrain, cet auteur arrive à des conclusions fort intéressantes.

1 - Les images satellites :

Les directions principales de fracturation sont, par ordre d'importance fréquentielle décroissant :

- N 70 (direction de l'ADAMAOUA) à caractère régional,
- NNW - SSE localisée au Nord du plateau,
- NW - SE,
- NE - SW,
- W - E.

Ces trois dernières directions ont un caractère local et se limitent à des secteurs bien précis.

Dans le secteur de POLI, nos travaux nous permettent d'individualiser les directions N 50-80, N 0-20 et N 30-40. Un quatrième pic fréquentiel relativement marqué est à noter dans la direction N 160-170. Ces résultats permettent déjà d'affirmer que tectoniquement, le secteur de POLI représente une unité du vaste ensemble communément appelé la zone mobile d'Afrique Centrale. Cet ensemble a été intensément sollicité au cours des tectogenèses successives et fracturé suivant des directions spécifiques en accord avec les orientations variables (dans le temps et dans l'espace) des contraintes.

2 - Les photographies aériennes :

D'après les travaux de J.F. DUMONT (1985), les directions N 60-70, N 170 et WE sont les plus marquées à cette échelle (fig 3.22).

Nos travaux ont permis de constater que dans le secteur de POLI, le pic N 70 est plus étalé et s'exprime dans la fourchette N 50-80. le pic W-E, quant à lui, est décalé et s'observe dans la plage N 100-130. Le pic N 170 est exprimé mais est de moindre importance comparé aux deux précédents.

Malgré ces légères variations, force est de constater qu'à l'échelle des photographies aériennes aussi, la fracturation du secteur de POLI s'intègre bien dans un modèle global qui est celui de la zone mobile. Il faudrait toutefois signaler que les travaux de J.F. DUMONT (1985) ont été réalisés sur des photographies au 1/35 000 tandis que les nôtres ont été faites sur des photographies au 1/50 000.

3.3.4.4.3.2. La région de MOKOLO :

La région de MOKOLO est située sur le rebord septentrional des Monts MANDARA. Géographiquement, elle se situe dans l'espace délimité par les longitudes 10°40' - 10°45' Nord et les latitudes 13°45' - 13°50' Est.

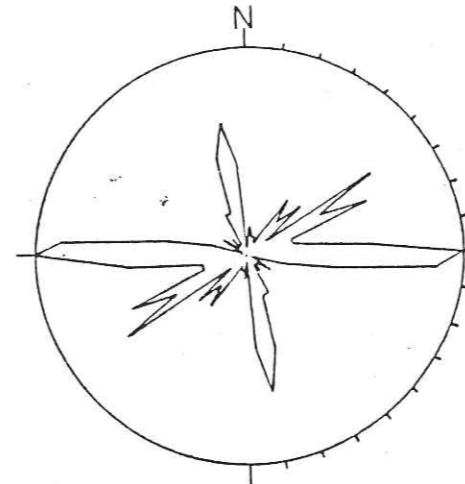


fig 3.22 : Diagramme des directions d'alignements de l'ADAMAOUA (relevés sur photographies aériennes) : 322 lignes J.F. DUMONT, 1985

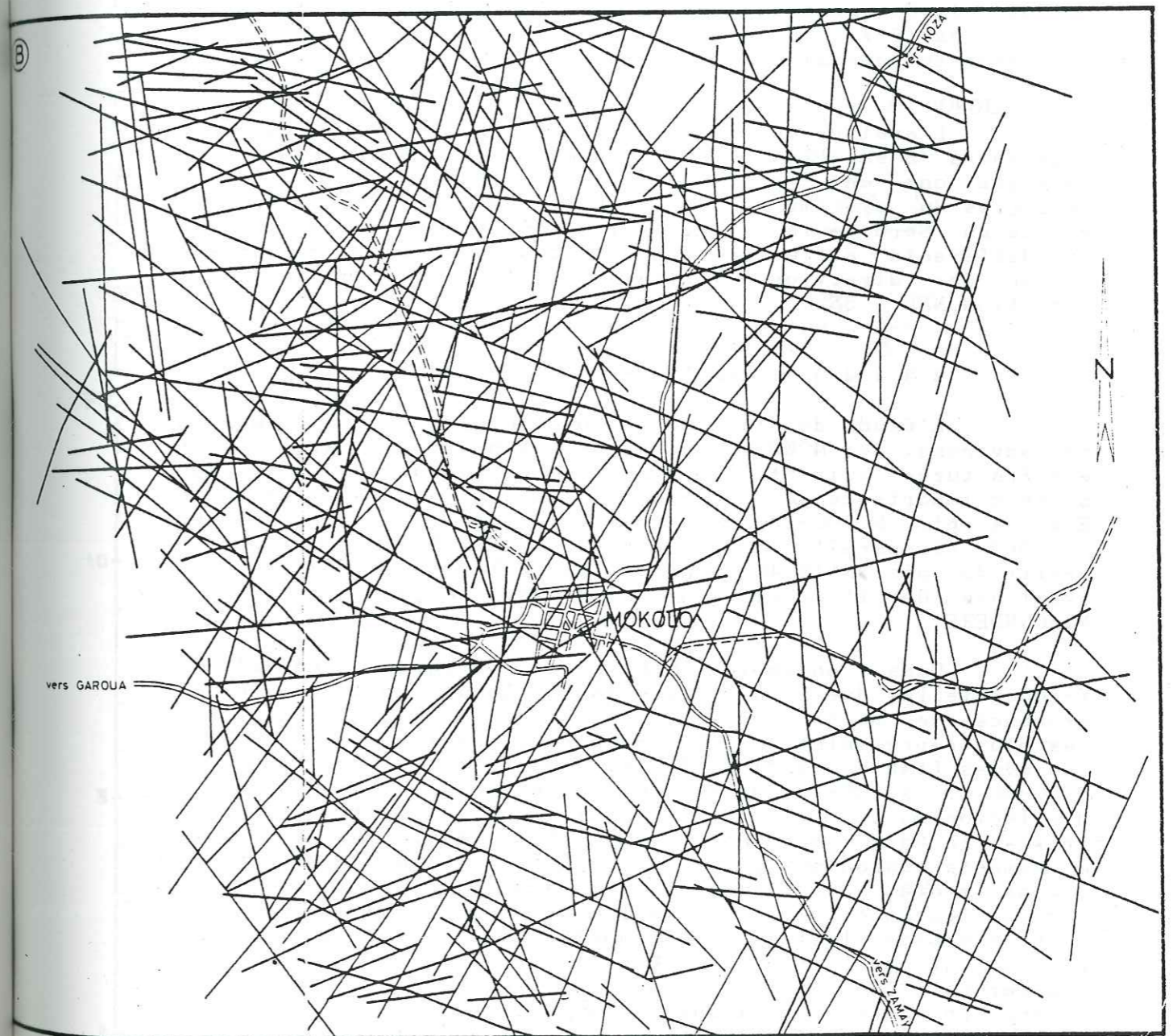


fig 3.23 : Carte de fracturation des environs de MOKOLO HYDROGEO, 1973

Le problème d'alimentation en eau de cette localité s'est posé depuis de longues années. De nombreux organismes y ont réalisé des études hydro-géologiques. Celles conduites par HYDROGEO-CAMEROUN (Projet CMR/71/516 - Con 58-72) se démarquent des autres car elles ne sont pas limitées à l'aire proche à la ville, mais elles ont été poussées jusqu'à une certaine distance d'elle sur un rayon de 5 à 8 kilomètres.

A partir de la carte de fracturation (fig 3.23), nous avons mené une étude de la répartition spatiale des fractures suivant la méthodologie décrite plus haut. Les résultats sont consignés dans le tableau et la figure 3.24.

La structure de la région est caractérisée par de nombreuses fractures disposées selon les orientations principales suivantes : N 10-40 et N 100-130. Ces deux pics directionnels s'ordonnent suivant un couple parfaitement orthogonal. On remarque en plus l'existence de trois pics secondaires (E-W, N 130-140 et N 150-160). Les filons intrudent en général suivant les directions N 10-40, N 100-130 et E-W.

L'analyse du réseau hydrographique montre que les deux cours d'eau les plus importants et coulant à l'Ouest de la ville ont un tracé subparallèle et suivent les lignes de fractures du système secondaire E-W. Une troisième vallée est située au Nord de la ville, le long d'une fracture N 100-110. Les différents affluents de ces cours d'eau s'organisent suivant des directions variées mais la plus présente est la direction NNE - SSW.

3.3.4.4.3.3. Conclusion :

L'étude de la carte photogéologique des linéaments des environs de MOKOLO nous permet de noter que cette région est fracturée suivant trois grandes directions qui sont, par ordre d'importance décroissante : N 10-40 ; N 100-130 et enfin E-W. Le pic N 100-130 déjà observé et décrit dans le secteur de POLI réapparaît tandis que le pic N 50-80 s'estompe au profit du pic N 10-40. Quant au pic E-W (ici secondaire), il avait été décrit localement dans les secteurs de POLI et NGAOUNDERE.

Dans l'ensemble, malgré quelques variations fréquentielles dues à l'importance locale plus ou moins prononcée de certains pics, les fourchettes directionnelles les plus représentatives (en fréquence), sont presque toujours les mêmes (tableau 3.8) ; il s'agit des directions : N 30-40 ; N 50-80 ; N 100-130 et E-W. Ces directions ont été, au cours des tectoniques successives qui ont affecté le socle cristallin Nord-Camerounais, les plus sollicitées dans les mouvements cassants. C'est suivant elles que ce socle est compartimenté. Les fractures générées par les effets des contraintes successives et variables constituent des lieux de faiblesse potentielle par lesquels des venues magmatiques peuvent intruder le socle. Dans le prochain paragraphe, nous essaierons d'étudier ces fractures en fonction du faciès pétrographique du remplissage filonien.

| | POLI | NGAOUNDERE | MOKOLO |
|-------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|
| Images Satellites | N 50 - 80 N 0 - 20 N 30 - 40 | N 70 NNW - SSE NW - SE NE - SW E - W | - |
| Photos Aériennes | N 50 - 80 N100 -130 | N 60 - 70 N 170 E - W | N 10 - 40 N100 -130 E - W |

TABLEAU 3. 8. : Directions majeures de fracturation du secteur de POLI par rapport aux régions de NGAOUNDERE et MOKOLO et en fonction de l'échelle d'observation.

Fig 3.24 : Distribution fréquentielle des fractures de MOKOLO

| % | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | |
|---|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 5.37 | 10.99 | 8.18 | 7.16 | 8.83 | 2.30 | 5.37 | 4.09 | 5.62 | |
| | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 |
| | 3.83 | 7.41 | 8.69 | 6.13 | 5.62 | 3.58 | 5.62 | 2.30 | 3.83 | |



3.3.4.4.4. La carte géologique au 1/50 000 de S.F. TOTEU et al (1984)

Bien que cette carte ne soit pas une carte linéamentaire au sens strict du terme et que, comme l'a dit ENGALENC (1979) : "les grandes fractures ou systèmes fracturés ceinturent les affleurements et ont tendance à échapper à l'observation sur le terrain", elle a retenu notre attention en raison de la détermination des faciès pétrographiques liés aux linéaments qui y figurent. En effet, sur cette carte, les auteurs distinguent :

* Les fractures "ouvertes" c'est-à-dire sans remplissage filonien.

* Les fractures injectées : les filons sont de nature soit microgranitique soit doléritique.

Les résultats, condensés dans le tableau 3.9, montrent que le plus grand nombre (85,7 %) de linéaments injectés, tous faciès confondus, sont orientés suivant la fourchette directionnelle N 130-180. Les fractures non injectées, quant à elles, présentent deux directions préférentielles : N 40-60 et N 130-150.

L'étude du réseau de linéaments en fonction des faciès pétrographiques du remplissage filonien nous permet, avant les études à l'affleurement qui vont suivre, de dégager les grandes lignes (fractures "ouvertes" ou "fermées") des plages directionnelles mises en évidence à partir des documents à plus petite échelle.

3.3.4.4.5. Les mesures directes à l'affleurement

Sur le socle cristallin Nord-Camerounais en général et dans le secteur de POLI en particulier, les affleurements se prêtent assez bien à la mesure des microstructures. Pendant nos séjours sur le terrain, nous avons essayé, autant que faire se peut, de quantifier le maximum de structures visibles ; dans cette optique, nous avons mesuré les directions (et pendage) des plans de foliation, de schistosité, des axes d'allongement des pegmatites, etc... En plus, dans le domaine de la tectonique cassante, nous avons mesuré, à chaque fois que c'était possible, les directions et pendage des plans de rupture et l'orientation des stries qui leur sont associées.

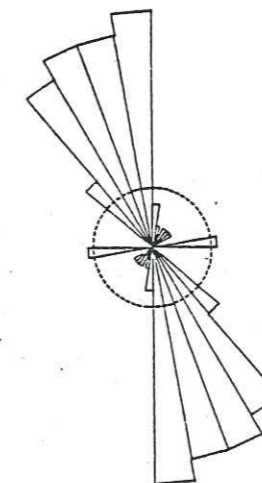
Pour l'ensemble du secteur de POLI, près de 3 100 mesures structurales ont été recueillies. Vu le nombre relativement élevé des données de base et l'existence dans les séries de mesures incomplètes, nous avons choisi de les traiter de deux manières différentes :

* Dans un premier temps, le nombre de mesures des directions étant très important (du fait que les microstructures se présentaient le plus souvent dans un plan horizontal créé par l'érosion), nous utiliserons la méthode d'approche décrite plus haut pour traiter statistiquement ces données.

| | FAILLES "OUVERTES" | FAILLES INJECTÉES | MICRO- GRANITITES | DOLE- RITES | % PAR FACIES | | | % TOTAL |
|-------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------|-------|----|------------|
| | | | | | 1/ FO | 2/ M | 3/ | |
| - 10 | - | 2 | 2 | - | - | 5.12 | - | 3.70 |
| - 20 | - | 1 | 1 | - | - | 2.56 | - | 1.85 |
| - 30 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - 40 | - | 1 | 1 | - | - | 2.56 | - | 1.85 |
| - 50 | 1 | - | - | - | 20 | - | - | 1.85 |
| - 60 | 1 | - | - | - | 20 | - | - | 1.85 |
| - 70 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - 80 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - 90 | - | 3 | - | 3 | - | - | 30 | 5.55 |
| -100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| -110 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| -120 | 1 | - | - | - | 20 | - | - | 1.85 |
| -130 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| -140 | 1 | 3 | 3 | - | 20 | 7.68 | - | 7.40 |
| -150 | 1 | 8 | 8 | 2 | 20 | 18.32 | 20 | 18.98 |
| -160 | - | 10 | 7 | 3 | - | 17.94 | 30 | 18.51 |
| -170 | - | 10 | 8 | 2 | - | 20.51 | 20 | 18.51 |
| -180 | - | 11 | 11 | - | - | 28.20 | - | 20.57 |
| TOTAL | 5 | 49 | 39 | 10 | 100 | | | |

TABLEAU 3.9. : Distribution des pics fréquentiels des directions des fractures par faciès géologique (données tirées de la carte GODE : 1/50 000 de S.F. TOTEU et al (1984))

COORDONNEES EN X : 8 15 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



ROSAIE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES LINEAMENTS GEOLOGIQUES

* Dans un second temps, nous prendrons en compte toutes les séries de mesures complètes (direction, pendage, plongement de la strie et jeu relatif) dans le but de la recherche des champs de contraintes régionaux ayant affecté le secteur.

3.3.4.4.5.1. Détermination des directions majeures des microstructures :

Bien qu'ici nous ne tenions pas compte d'une donnée structurale importante, à savoir le pendage, nous pensons que cette méthode d'approche est très enrichissante et ceci pour plusieurs raisons :

* Dans le secteur de POLI, les pendages sont statistiquement très forts et en général voisins de la verticalité. A ce titre, S.F. TOTEU (1984) dit que "les pendages, très redressés montrent une fréquence aussi importante vers l'Ouest que vers l'Est à tel point qu'il est difficile, dans ces conditions de conclure à une quelconque polarité des structures".

* Pour une comparaison aisée des résultats des études à l'affleurement à celles réalisées à plus petite échelle, il importe d'utiliser les mêmes procédés de traitement des données.

* En hydrogéologie, le but premier de l'analyse de terrain étant de préciser les directions des familles ou systèmes de fractures fermées ou ouvertes, il importe une fois de plus d'utiliser des méthodes analogues de traitement quelle que soit l'échelle d'observation.

L'application de cette méthodologie au traitement des directions des éléments structuraux nous a permis de représenter, sous forme de rosaces élémentaires, des pics fréquentiels. Ces représentations nous permettent de visualiser, faciès par faciès, les fréquences directionnelles des microstructures (foliation, joints, diaclases, directions d'allongement des pegmatites et boudins de quartz, schistosité, microfractures, etc...) sur l'ensemble du secteur de POLI (fig 3.25 ; 3.26 ; 3.27 ; 3.28).

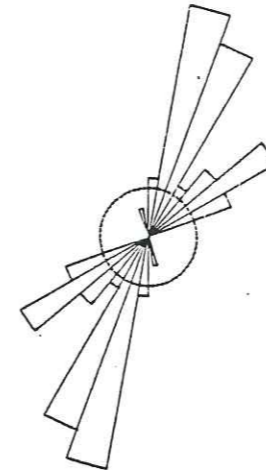
Sur ces rosaces, les principales directions de foliation qui apparaissent sont N 0-30 et N 140-180. Les pegmatites s'allongent suivant les directions N 0-30, N 60-70 et N 160-180 tandis que les filons de quartz s'organisent préférentiellement suivant la plage directionnelle N 40-80. Les amphibolites, quant à elles, affleurent généralement en bandes litées s'allongeant suivant les directions N 10-30 et N 40-70.

Pour l'ensemble du secteur, les schistes de POLI présentent des joints de rupture qui s'organisent suivant des directions variées mais celles présentant les pics les plus élevés sont : N 20-40 et N 120-180. Les plans de schistosité des mêmes schistes sont groupés dans les directions N 40-120 et N 150-160.



AMPHIBOLITES

COORDONNEES EN X : 8 15 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30

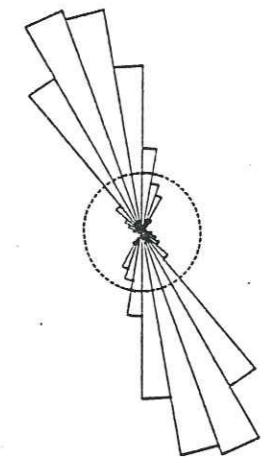


ROSACE DES DIRECTIONS D'ALLONGEMENT DES
AMPHIBOLITES



GNEISS

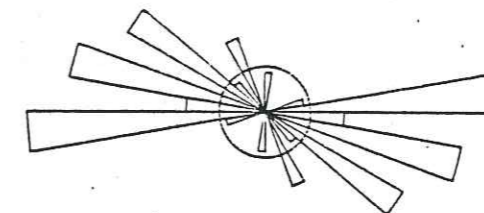
COORDONNEES EN X : 8 15 - 9 00
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



ROSACE D'ANALYSE DES DIRECTIONS DES PLANS
DE FOLIATION DES GNEISS

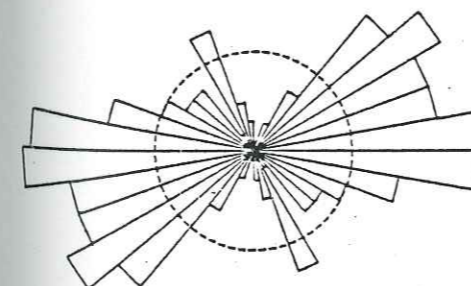
QUARTZITES DE MANGO

COORDONNEES EN X : 8 20 - 8 21
COORDONNEES EN Y : 13 08 - 13 09



ENSEMBLE DES STATIONS

COORDONNEES EN X : 8 20 - 8 30
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 14

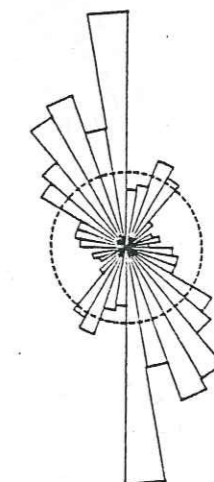


ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE DES
PLANS DE
DES SCHISTES DE POLI
schistosité



ENSEMBLE DES STATIONS

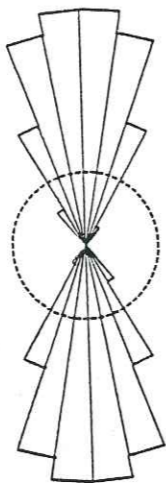
COORDONNEES EN X : 8 13 - 8 30
COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 18



ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE DES
MICROFRACTURES DES SCHISTES DE POLI

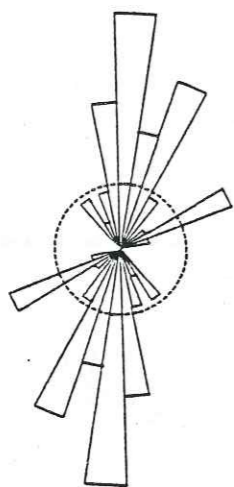
fig 3.25 : Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des formations Anté-Panafricaines

ORTHOGNEISS
 COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 00
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



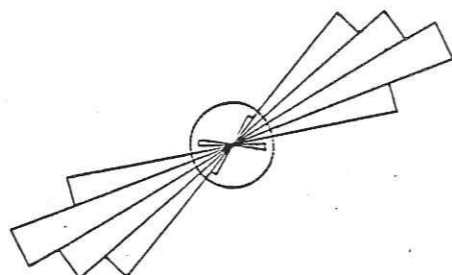
ROSACE D'ANALYSE DES DIRECTIONS DES PLANS
 DE FOLIATION DES ORTHOGNEISS

PEGMATITES
 COORDONNEES EN X : 8 15 - 8 00
 COORDONNEES EN Y : 13 00 - 13 30



ROSACE DES DIRECTIONS D'ALLONGEMENT DES
 PEGMATITES

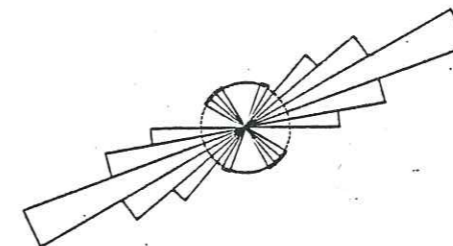
FILONS DE QUARTZ
 COORDONNEES EN X : 8 28 - 8 29
 COORDONNEES EN Y : 13 13 - 13 14



ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE DES
 FILONS ET BOUDINS DE QUARTZ

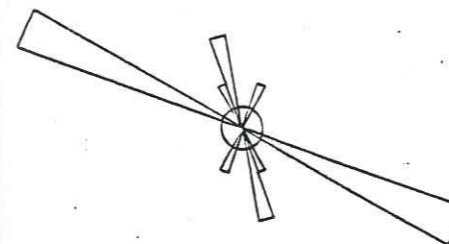
fig 3.26 : Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des orthogneiss et des formations filoniennes

GRANITE DE GITO
 COORDONNEES EN X : 8 20 - 8 22
 COORDONNEES EN Y : 13 04 - 13 06



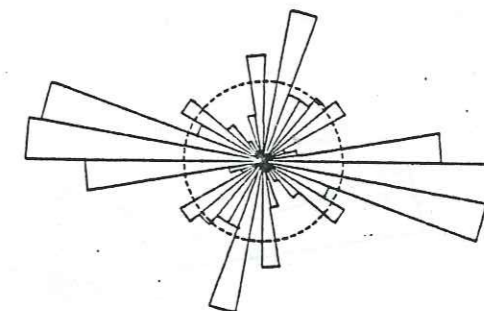
ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
 DES MICROFRACTURES DU: GRANITE DE GITO

GRANITE DE PELBOU
 COORDONNEES EN X : 8 18 - 8 19
 COORDONNEES EN Y : 13 10 - 13 11



ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
 DES MICROFRACTURES DU: GRANITE DE PELBOU

GRANITE DE GODE
 COORDONNEES EN X : 8 33 - 8 34
 COORDONNEES EN Y : 13 02 - 13 03

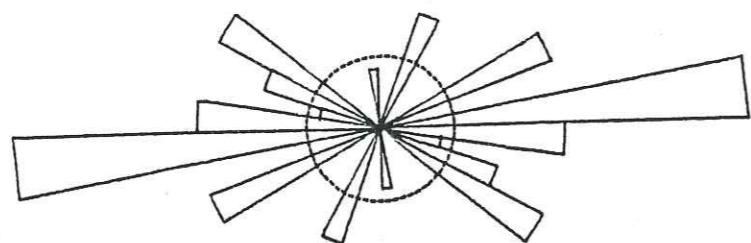


ROSACE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
 DES MICROFRACTURES DU: GRANITE DE GODE

fig 3.27 : Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des granites circonscrits

RHYOLITES DE SIGARI

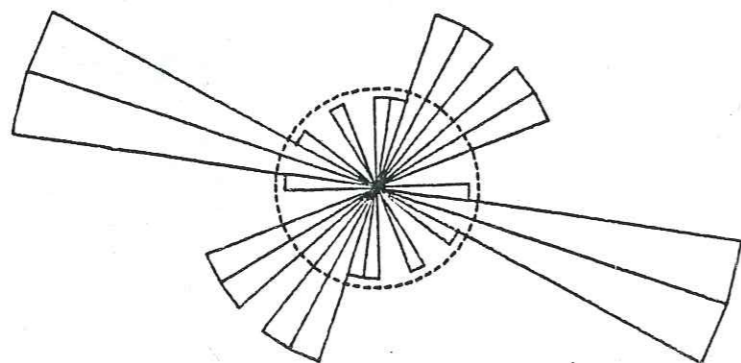
COORDONNEES EN X : 8 18 - 8 19
COORDONNEES EN Y : 13 11 - 13 12



ROSAE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DE LA FRACTURATION DES RHYOLITES DE SIGARI

VOLCANO-SEDIMENTAIRE

COORDONNEES EN X : 8 13 - 8 16
COORDONNEES EN Y : 13 12 - 13 18



ROSAE D'ANALYSE FREQUENTIELLE
DES MICROFRACTURES DU VOLCANO-SEDIMENTAIRE

fig 3.28 : Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des formations post orogéniques

Dans les granites post-orogéniques, seuls les joints de rupture ont été mesurés ; dans le granite de GITO, ces joints s'ordonnent suivant la plage directionnelle N 40-90 (avec un pic secondaire orienté N 120-150). Pour le granite de PELBOU, les directions sont N 110-120 et N 160-170. Le granite de GODE, pour sa part, est cloisonné par des joints dont les pics se situent dans les directions N 10-20, N 80-100, N 120-130 et enfin N 170-180.

La fracturation des rhyolites de SIGARI est relativement intense et les directions des joints de rupture variés. Les plus représentatifs sont : N 0-10, N 20-40 ; N 110-120 ; N 150-160 et enfin N 170-180. Quant aux formations volcanosédimentaires, les pics fréquentiels les plus élevés s'organisent suivant trois directions : N 10-30 ; N 110-130 et N 140-160.

3.3.5. DETERMINATION DES TENSEURS DE CONTRAINTES

Les relations entre les contraintes qui s'exercent sur un milieu rocheux et la déformation qui en résulte peuvent être recherchées de différentes manières :

* Une approche expérimentale conduit, à partir de champs de contraintes connus, à créer des fractures ou à provoquer des glissements. Le mécanicien des roches étudiera alors les roches en terme de contraintes.

* Une approche plus naturaliste consiste à observer les failles existantes et à essayer d'intégrer toutes les données recueillies (décrochements, axes de plis, stries, rods de quarts, foliation, filon) dans un modèle géométrique. Dans ce cas, le géologue parle plutôt de directions de déformation.

3.3.5.1. Conditions générales d'apparition du champ de fracturation

Les sollicitations mécaniques auxquelles sont soumises les roches provoquent, selon la compétence de ces dernières, l'existence des microstructures dont la signification est classiquement interprétée par des méthodes :

- * géométriques (RUHLAND, 1973 ; R. RAZACK, 1979 ; J.Y. SCANVIC, 1983),
- * cinématiques (E.M. ANDERSON, 1951 ; J. ANGELIER, 1956),
- * mixtes (F. ARTHAUD, 1969 ; C. PEGORARO, 1972 ; J. ANGELIER et P. RECHLER, 1977),
- * dynamiques (E. CAREY et B. BRUNIER, 1974 ; J. ANGELIER, 1979).

Ces méthodes dites "méthodes d'analyse microtectoniques" présentent toutes une caractéristique commune, à savoir vouloir intégrer des données de terrain en terme de contrainte. En effet, pour un massif rocheux donné, la fracturation est due à une étroite du matériau dans trois directions de l'espace ; cette étroite peut être représentée par un tenseur caractérisé par :

- * une contrainte principale maximale T1.
- * une contrainte principale minimale T3.
- * une contrainte intermédiaire T2.

Dans le niveau structural supérieur qui est le domaine des cisaillements (tectonique tangentielle), les roches cassent avant toute déformation plastique importante et la déformation résulte d'une succession de mouvements finis suivant des fissures de dimensions et de natures très variables ; quatre grands ensembles de fissures peuvent être distingués (HUBERT M.K. 1961 ; W.G. WILSON 1961 ; E.M. ANDERSON, 1963 ; RAMSEY, 1967 ; SOULA, 1973) cités par A.N. SAVADOGO (1984) :

1 - Des fentes de tension ou diaclases I :

Ce sont des plans de discontinuité créés par extension, sans mouvement relatif des compartiments séparés, parallèles à la direction de la contrainte principale minimum T3 ; ce sont les plans I associés au groupe de pôles 1 sur la projection stéréographique théorique.

2 - Les fissures de cisaillement III et IV :

Les compartiments séparés par ces fractures, obliques aux contraintes principales, subissent des déplacements relatifs coulissant, striant, lissant et/ou ondulant leurs parois. Les coulissements peuvent être dextres (IV) ou senestres (III). Les fractures III et IV sont dites conjuguées : l'angle aigu du dièdre formé par ces deux plans conjugués qui admet T1 comme bissectrice vaut théoriquement 90°. Mais, les forces de frottement internes introduisent ce que l'on appelle l'angle de friction interne qui est de l'ordre de 30°. Ce qui ramène à 60° l'angle du dièdre.

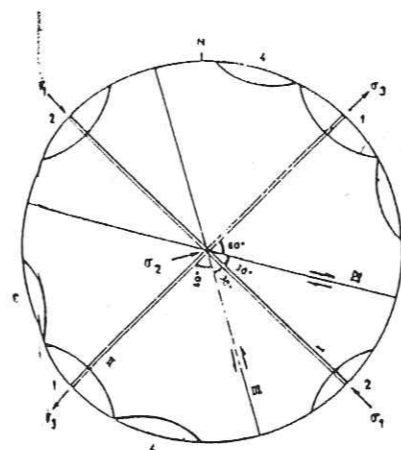
Par rapport aux plans conjugués, les contraintes principales sont disposées de la manière suivante :

- * la contrainte maximale T1 est bissectrice du dièdre aigu et perpendiculaire à l'intersection des plans,
- * la contrainte minimum T3 est bissectrice du dièdre obtus et perpendiculaire à l'intersection des plans,
- * la contrainte moyenne T2 est parallèle à l'intersection des plans.

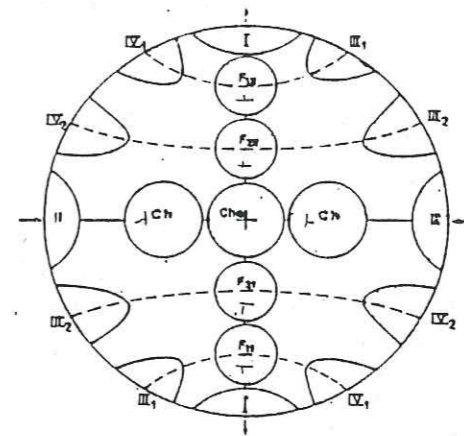
Les cisaillements peuvent ne pas paraître sous la forme des plans III et IV mais se matérialiser par une zone de cisaillement (ou shear zone). Deux types de plans se disposent le long de ces zones :

- * Les fentes de tension en échelon (fielders - polten) :

Ce sont des fractures ouvertes, souvent minéralisées, disposées en échelons le long de la zone et faisant avec cette dernière un angle de 45° (qu'il faut ramener à 30° en tenant compte de l'angle de friction interne de 15°).



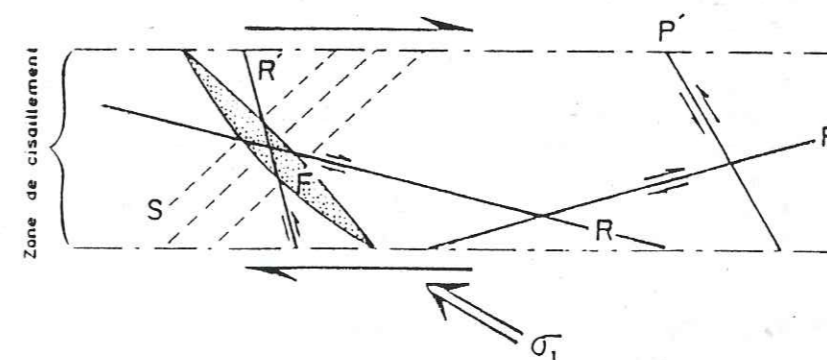
A - FISSURES POUR UN SYSTEME TRIAXIAL DE CONTRAINTES



B - DISPOSITION THEORIQUE DES FAILLES ET FISSURES

STRUCTURES PLANAIRES D'UNE ZONE DE CISAILLEMENT

(φ = 30°)



- F fentes de tension en échelon
- R et R' cisaillement de Riedel
- P cisaillement synthétique
- P' cisaillement antithétique
- S schistosité

A.N. SAVADOGO (1984)

* Les cisaillements de RIEDEL :

Ils ont été décrits par TCHALENKO J.S. et AMBRASSEYS N.N. en 1970 dans une zone de cisaillement produite par un séisme où on distingue deux jeux :

- un jeu R faisant un angle de 15° environ avec la zone,
- un jeu R' faisant un angle de 70 à 80° avec la zone.

Dans certains cas, il peut apparaître des cisaillements synthétiques P faisant un angle de 15° environ avec la shear zone et jouant dans le même sens, ainsi que des cisaillements antithétiques P'.

3 - Les joints du groupe II :

Ils se disposent perpendiculairement à la direction de la contrainte maximale T1. Leur genèse est encore mal connue. Ces fissures II sont souvent appelées fentes de tension car elles s'ouvrent lors des plissements ou des déformations internes du rocher.

Lorsque certaines conditions de pression et de température sont remplies, apparaît la schistosité dont l'orientation est semblable à celle des fissures II (perpendiculaire à T1).

L'agencement final de l'ensemble des failles est le suivant :

- * les décrochements sont parallèles aux cisaillements de types III et IV,
- * les groupes F correspondent aux failles normales,
- * les groupes C1 et C2 aux chevauchements,
- * le groupe Ch aux charriages.

3.3.5.2. Systèmes de contraintes dans le secteur de POLI

Dans le secteur de POLI, malgré l'état très érodé et parfois colmaté des plans de failles (ce qui rend très difficiles l'observation et l'appréciation de l'azimut des stries de glissement), nous avons relevé quelques mesures de directions, pendages et pitches de stries de friction. Le nombre très réduit de mesures par site nous a conduit à les regrouper, comme l'a fait J.F. DUMONT (1985) suivant la proximité géographique des sites d'observation et des faciès géologiques.

Ces mesures ont été ensuite traitées à l'U.S.T.M.G. sur l'ordinateur COPAM PC 401/XT suivant un programme de traitement des stries conçu et rédigé par J.L. MUNIER chercheur C.N.R.S. associé à l'U.S.T.M.G.

3.3.5.2.1. Principe de la méthode

Ce programme est conçu d'après la méthode graphique des dièdres droits de J. ANGELIER et P. MECHLER (1977). En entrée, il nécessite :

- * la direction et le pendage de la faille,
- * le plan porteur et le pitch de la strie,
- * le jeu relatif des compartiments faillés.

Contrairement aux autres méthodes plus perfectionnées (A. ETCHECOPAR et al, 1980 et P. ALEKSANDROWSKI, 1985) dont les algorithmes permettent d'effectuer simultanément deux opérations :

- * tri des données relatives à l'une des phases tectoniques,
- * détermination des caractéristiques tensorielles relatives à l'état de contraire de cette phase.

La méthode utilisée dans nos travaux permet juste de déterminer les domaines de directions principales des contraintes.

En revanche, les résultats satisfaisants déjà enregistrés par cette méthode dans le cas d'un ellipsoïde de révolution ou de cisaillements conjugués (ceci est, du reste, le cas de notre secteur d'étude et a été montré par les rosaces d'analyse directionnelle des fractures), font d'elle un outil de travail fiable et satisfaisant à ce stade de l'étude.

Dans la pratique, on ne cherche pas à expliquer l'ensemble des mesures de stries, mais un pourcentage qui est déterminé par essais successifs d'après une approche suivant une loi des hasards.

3.3.5.2.2. Traitement et résultats

Comme nous l'avons dit plus haut, nous avons regroupé les données de terrain en fonction de la proximité des stations de mesures et des faciès géologiques. Malgré ce regroupement, nous n'avons pas obtenu, pour certaines zones du secteur de POLI, le quotal de mesures complètes requis pour que les interprétations soient représentatives et reflètent intégralement les faits observés sur le terrain ; c'est le cas des vastes surfaces granitiques situées au Nord du secteur et occupées par les Hossérés DJOUMTE, BORONGO et KONE, des zones cuirassées et dioritiques de KONGLE ainsi que du volcano-sédimentaire de HOY.

Malgré ces lacunes dans nos séries de mesures, nous avons procédé à quatre passages sur ordinateur et nous pensons dégager, à partir des orientations des contraintes dans ces séries, quelques aspects que nous estimons saillants de cette tectonique.

* Cas du Granite de GODE :

La figure 3.29 donne la représentation graphique sur canevas de SCHMIDT (projection sur hémisphère inférieur) du passage sur ordinateur des 15 dièdres droits complets obtenus sur les différents sites de mesures de ce granite.

Cette figure nous permet d'individualiser les secteurs en compression (notés 0 sur la planche) de ceux en extension (repérés par 10 remplacé par des étoiles). En considérant T2 invariant, perpendiculaire à T et T3, et centré au milieu du cercle, le problème est ramené à deux dimensions et la contrainte principale maximum est orientée SW-NE tandis que la minimale est orientée NW-SE.

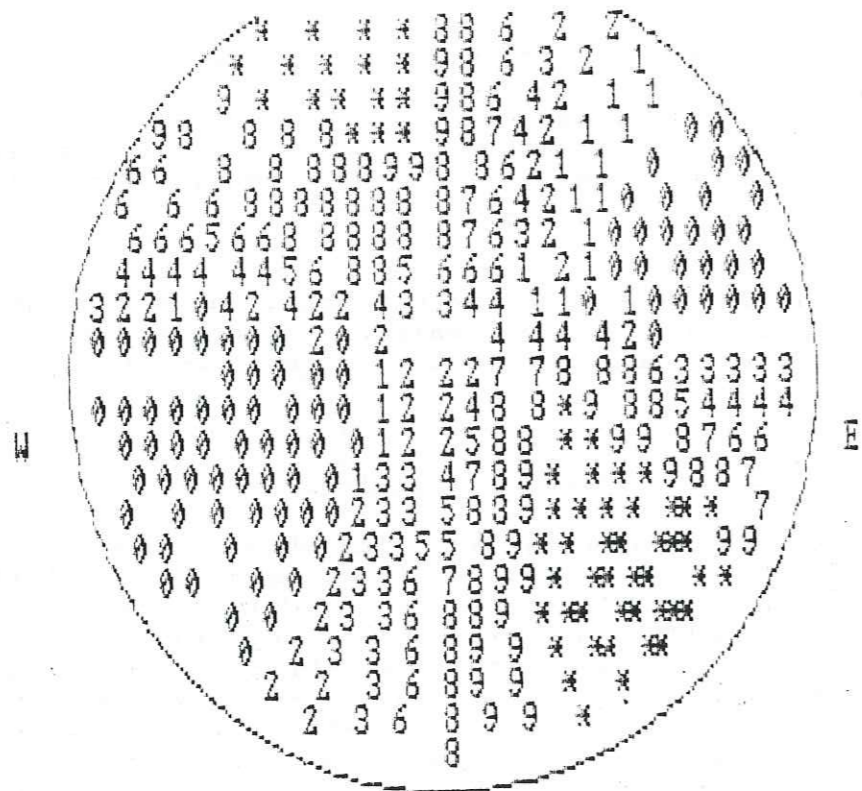


fig 3.29 : Canevas du passage des 15 dièdres compatibles du Granite de GODE : Serrage SW-NE (SCHMIDT : hémisphère inférieur)

* Cas du Granite de GITO :

La représentation graphique de l'étude des dièdres droits est donnée par la figure 3.30. Pour l'ensemble des stations de mesures des fissures, nous n'avons obtenu que 9 dièdres droits complets (directions, pendages, azimuth de la strie et jeu relatif le long du plan de faille).

Contrairement au cas précédent relativement aisé à interpréter, le canevas du passage à l'ordinateur des fissures du granite de GITO est un peu plus complexe. Seule l'orientation de la contrainte principale minimale est évidente. Or, les 3 contraintes étant perpendiculaires entre elles et T2 invariant et centré au milieu du cercle, la contrainte maximale est orientée NW-SE.

Cette relative indétermination est liée au petit nombre de mesures utilisées (9 dièdres). Bien que ceci laisse penser que l'on est au-dessous des limites d'utilisation de la méthode, les observations de terrain (direction et jeux relatifs) confirment l'orientation NW-SE de la contrainte principale du tenseur ayant affecté le granite de GITO.

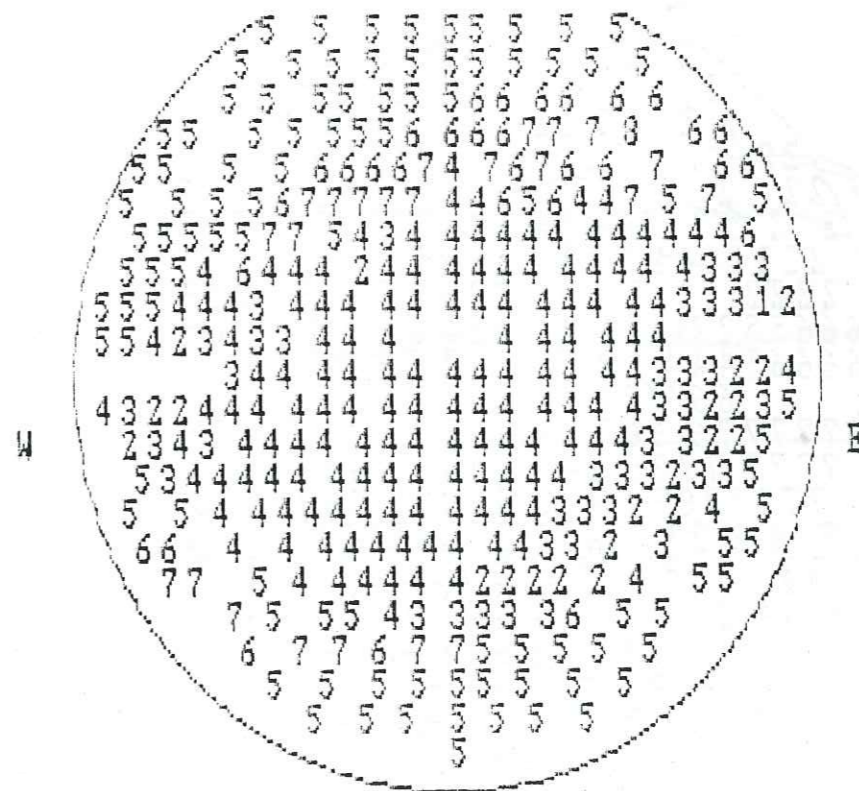


fig 3.30 : Canevas du passage des 9 dièdres compatibles du granite de GITO : Serrage NW -SE

* Cas du granite de PELBOU :

Pour ce granite, nous n'avons pu quantifier de façon exploitable que quatre fissures. Un passage à l'ordinateur s'est avéré impossible et surtout inutile quand on connaît la base statistique de la méthode. De plus, les résultats n'auraient sûrement pas reflété la réalité. Toutefois, l'étude des directions représentées par les rosaces (fig 3.27) et la prise en compte du jeu relatif des fractures, nous font penser que le serrage NW-SE, mis en évidence dans le granite de GITO aurait affecté ce granite.

* Cas des migmatites et gneiss :

Seize mesures complètes ont pu être effectuées sur ces faciès. Nous donnons sur la figure 3. 31 le passage à l'ordinateur du traitement de ces mesures.

Cette planche fait ressortir un tenseur de contrainte dont la composante principale maximale est orientée WNW - ESE. La localisation du secteur contenant cette contrainte compressive et l'orientation des stries sur les plans de fractures qu'elle génère font penser qu'elle a fonctionné en cisaillement.

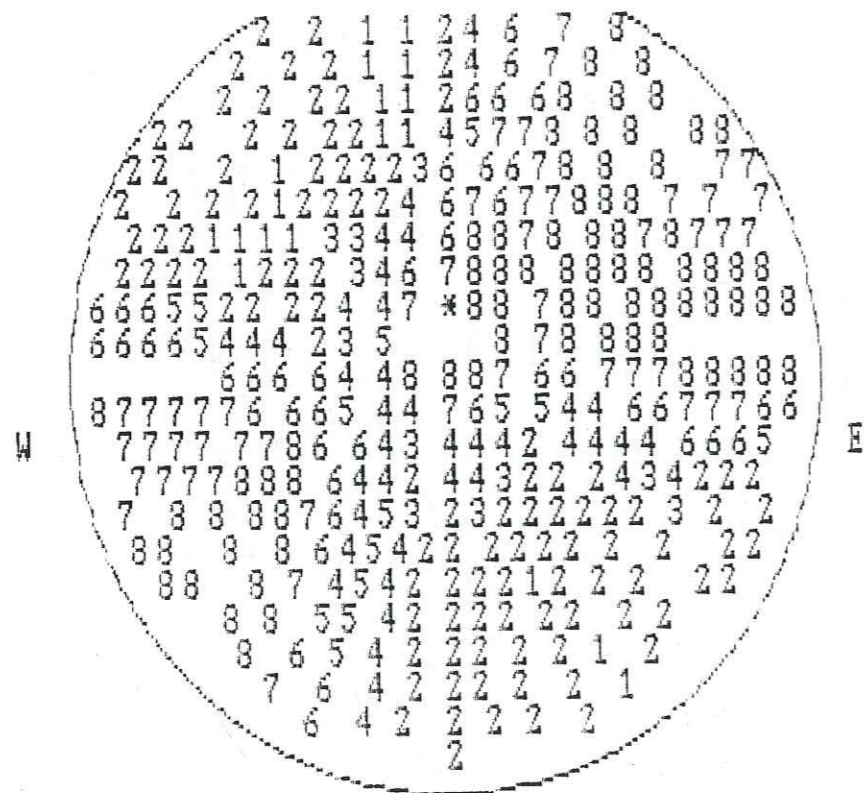


fig 3. 31 Canevas du passage des 16 dièdres compatibles des migmatites et gneiss : serrage WNW - ESE

Toujours dans les migmatites et les gneiss, des observations de terrain nous ont permis de mettre en évidence des phases compressives supplémentaires ; en effet, ces migmatites sont foliées suivant une orientation sub-méridienne (voir rosace 3.25). Cette direction de foliation étant une direction perpendiculaire à la direction de compression maximale du tenseur qui a affecté la région pendant sa formation, on peut conclure à l'existence d'une phase de serrage E-W pendant que le matériel était encore ductile (fig 3.32).

En outre, les filons de pegmatites qui intrudent ces migmatites suivant des directions voisines de celle de la foliation sont déformés en petits plis à plans axiaux E - W ; ceci est la marque d'un serrage grossièrement N - S. L'ensemble des structures générées par ces deux phases est recoupé par les fractures cisailantes de la compression WNW - ENE décrite plus haut (fig 3.32).

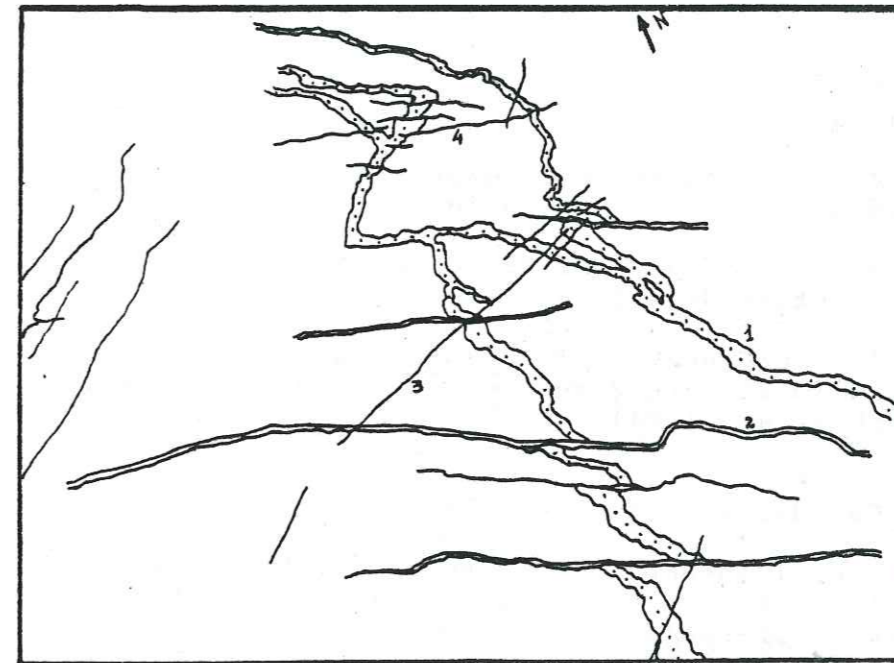


fig 3.32 : Gneiss du Mayo Ilou, au Nord du village NAZARETH (d'après photo H.B.DJEUDA TCHAPNGA)

Légende fig 3.32 :

- 1 - Filon de pegmatite d'orientation subméridienne et déformé suivant des microplis de PA E-W.
- 2 - Fractures aplitiques, cisailantes et subéquatoriales. Elles déforment en dextre les pegmatites 1.
- 3 - Diaclases transverses recoupant à la fois les structures 1 et 2.
- 4 - Diaclases "ajoutées", parallèles à la surface horizontale et liées à la décompression de la roche.

Enfin, dans la vallée des Rôniers située à l'Ouest de la ville de POLI, des observations sur ces migmatites nous ont permis de relever les faits suivants :

- * foliation générale de la roche N 150 à 160,
- * filon de pegmatite N 145 à 150.

Dans ce filon, on note l'existence de trois réseaux de microdiaclasses : N 05 - 48 W ; N 100 - 595 et N 170 - 90. Alors que la famille N 100 présente un jeu relatif dextre, la 05 est senestre avec des crochons. La famille N 170 paraît être tardive et se surimpose aux diaclasses et fentes préexistantes. Ces observations permettent d'individualiser, dans ces migmatites, une phase de serrage à dièdre très ouvert, mais dont la composante maximale du tenseur serait orientée NW -SE. Cette phase paraît être identique à celle individualisée dans les massifs de GITO et PELBOU et responsable de la fracturation de ces granites.

- Chronologie relative des différentes phases de compression mises en évidence dans les migmatites et les gneiss.

En final, nous avons individualisé quatre phases de serrage dans ces faciès ; la succession de ces phases dans le temps est la suivante, de la plus ancienne à la plus récente :

1 - La phase de compression E - W responsable de la foliation subméridienne,

2 - La phase de compression N - S qui est à l'origine des microplis à plans axiaux Est-Ouest.

3 - La phase cisailante WNW - ESE mise en évidence par l'étude des stries.

4 - La phase NW - SE observée aussi dans les granites de GITO et PELBOU qui sont géochronologiquement plus récents (TOTEU et al, 1984).

* Cas des schistes de POLI :

Pour l'ensemble des points d'observation sur les schistes de POLI, nous n'avons pu obtenir que dix huit mesures complètes. La représentation du passage à l'ordinateur est donnée par la figure 3.33.

Cette figure nous montre que nous sommes ici en présence d'un cas classique de déformation polyphasée ; nous avons voulu procéder à des essais successifs en introduisant à chaque passage un critère de discrimination (azimut de la strie, secteur de pendage de la strie, ...) permettant d'éliminer les failles incompatibles, mais les essais se sont avérés inintéressants eu égard au nombre très réduit (18 dièdres) du lot initial. En plus, à l'affleurement, on note l'existence d'au moins deux générations de stries qui présentent parfois des directions "aberrantes".

Toutefois, bien que nous ayons établi que nous sommes en milieu polyphasé, nous ne pouvons identifier sur le canevas du passage à l'ordinateur qu'une seule phase compressive à contrainte maximale orientée N - S.

Un nombre plus important (au moins une centaine) de mesures complètes des éléments structuraux des fissures permettra très certainement de mieux décrypter les autres phases compressives en procédant par des essais successifs avec introduction, à chaque passage et visualisation du canevas à l'écran, de critères de discrimination.

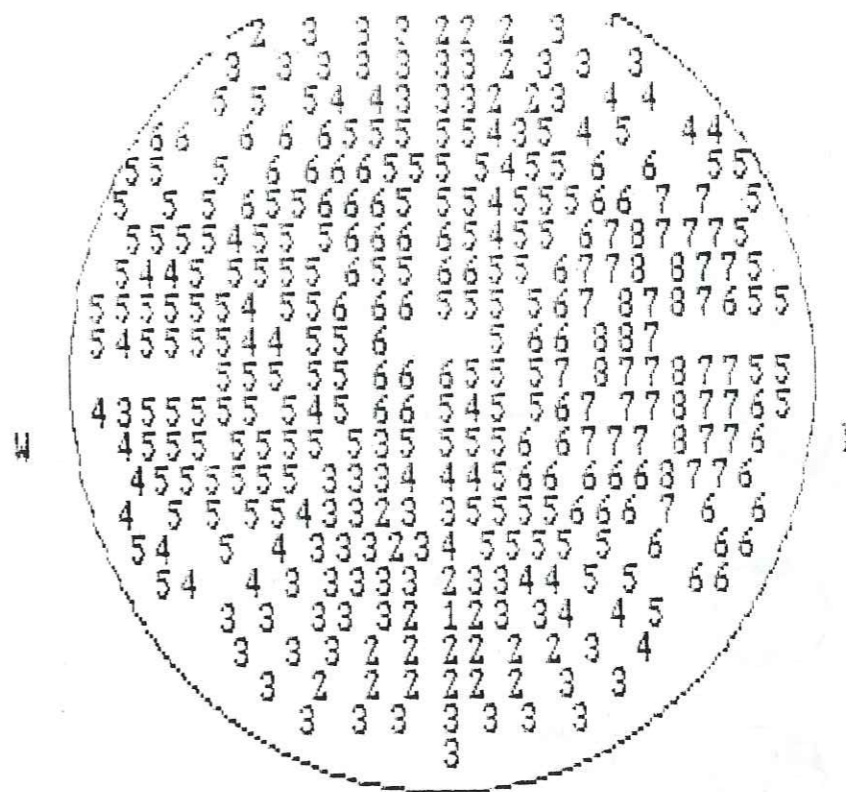


fig 3.33. : Canevas du passage des 18 dièdres des schistes de POLI ; contexte polyphasé : serrage individualisé : N-S

3.3.5.3. Synthèse des observations microstructurales et évolution structurale

L'extrapolation des résultats acquis lors de l'étude des éléments microstructuraux du secteur de POLI permet de relever une fois de plus la complexité de son mode de fracturation et de son évolution structurale. En effet, l'un des handicaps les plus importants de la recherche géologique en zone mobile pan-africaine, notamment au Cameroun, est la définition et le calage des ensembles structuraux (S.F. TOTEU et J. PENAYE, 1985).

Toutefois, nous pouvons tenter de faire ressortir les grands traits du réseau de fracturation associable aux différentes contraintes tectoniques mises en évidence.

3.3.5.3.1. Les schistes de POLI

Bien que l'on soit encore loin de pouvoir donner sur ces séries une succession cohérente et datée des déformations structurales, plusieurs stades évolutifs de ces schistes peuvent être distingués (J.F. DUMONT, 1985). La figure 3.34 récapitule ces phases. Quoique, comme le stipule son auteur, ce schéma soit encore, à l'état actuel des connaissances, hypothétique, il est en parfait accord avec nos observations, à savoir que l'on est dans un contexte polyphasé.

La phase de serrage N - S que nous avons pu mettre en évidence correspondrait vraisemblablement au stade D du schéma évolutif de ces schistes.

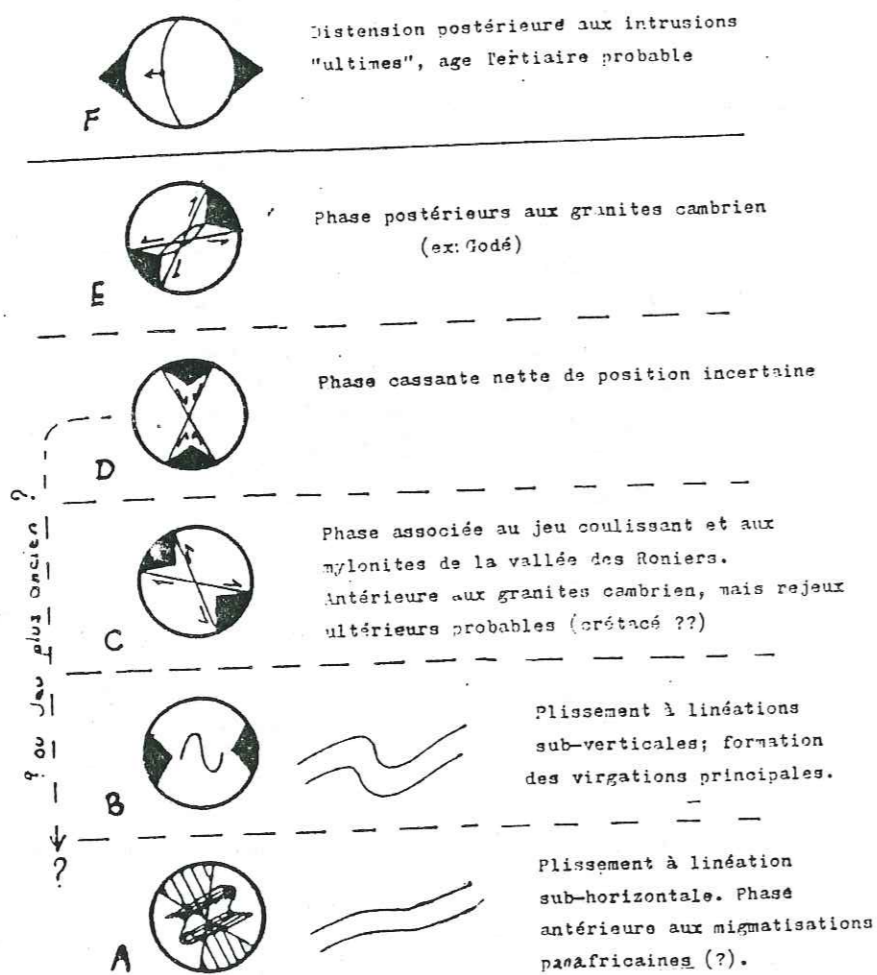


fig 3.34 Tableau récapitulatif des phases tectoniques observées dans les schistes de Poli. Le classement chronologique reste très spéculatif et a été réalisé à titre d'hypothèse

J.F. DUMONT (1985)

3.3.5.3.2. Les autres ensembles cristallophilliens et granitiques

Dans ce groupe, nous incluons les migmatites, les gneiss, les orthogneiss, les granites orientés et les granites circonscrits.

Ces ensembles sont relativement mieux connus et leur évolution structurale un peu plus précise du fait de l'existence, en leur sein même, des marqueurs structuraux (stries, foliation, fissures à mouvement relatif visible...) permettant de quantifier les déformations.

Prenant en compte les travaux de J.F. DUMONT (1985) relatifs à l'analyse structurale de la zone située au NW de la ville de POLI et nos conclusions que nous intégrons dans un modèle régional, on peut distinguer les stades suivants dans l'évolution structurale du secteur de POLI :

S1 - Intrusion des diorites de type KONGLE
Migmatisation générale effaçant toutes les traces des structures préexistantes.
Formation des orthogneiss par orthogneissification des diorites.

S2 - Serrage E - W générant un plissement intense de foliation N 0 - 30 et un puissant tassement des ensembles lithologiques.

S3 - Serrage N - S générant des microplis à plans axiaux E - W. Ce serrage est très local et d'intensité modeste.

S4 - Cisaillement intense par serrage WNW - ESE. Cette phase est vraisemblablement liée au jeu des grandes lignes de fracture de l'Adamaoua et affecte un matériel encore ductible.

S5 - Seconde migmatisation. Celle-ci est moins puissante que la S1.
Injection des venues magmatiques dans les fractures du S4.

Mise en place des granites discordants dont les types sont représentés par le granite de WANGAY à l'Ouest et le granite orienté de MANGO au Sud-Est.

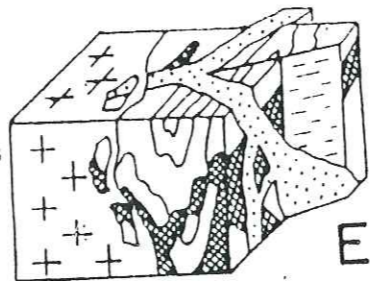
S6 - Légèrement antérieur au S7 : mise en place des granites de GITO et PELBOU.

S7 - Serrage NW - SE générant des plis de directions structurales majeures SW - NE. Cette phase s'exprime dans le massif de GITO par des failles inverses et dans celui de PELBOU par des coulissements.

S8 - Injection des granites circonscrits post orogéniques dont les types sont représentés par le granite de GODE à l'Ouest et le granite porphyroïde de l'axe magmatique de KOGUE-MANGO au Sud-Est. Les granites de DJOUMTE BORONGO et KONE situés au Nord appartiendraient aussi à ce stade 8.

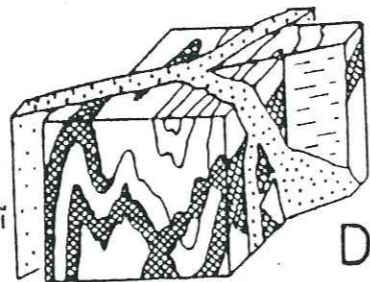
550
m.a.

Mise en place des granites
circonscrit post-orogéniques
de types Saptou et Godé

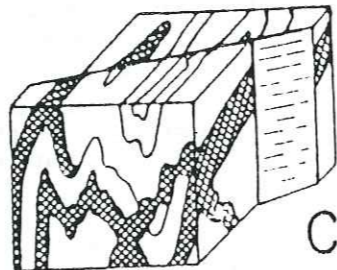


Paroxisme thermo tectonique panafricain

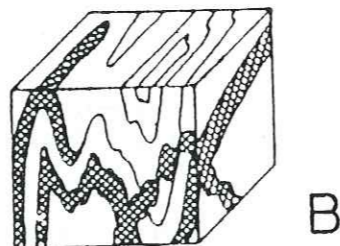
Migmatisation liée à la
mise en place des granites
discordants de type Wangai



Cisaillements par serrage
WNW - ESE
Jeu des grandes lignes de
fractures de l'Adamaoua



Plissements Intenses
verticalisation des structures
serrage sensiblement W-E



?650?
m.a.

Migmatisation liée à la
mise en place des
granites concordants et
diffus de type Bakonwa

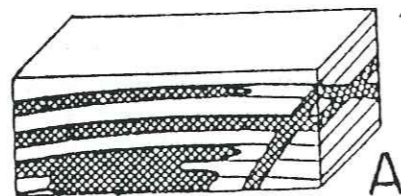


fig 3.35 Représentation schématique des effets des principales phases du paroxisme thermo-tectonique panafricain. L'âge de la limite inférieure est une estimation établie par analogie (voir texte). L'âge supérieur est approximativement celui des granites post-orogéniques de type Godé, mais ne constitue pas vraiment une limite.

J.F. DUMONT (1985)

S9 - Phase de serrage tardi-tectonique. Cette phase a un caractère très local et l'orientation des contraintes diffère suivant les sites :

Dans le granite de GODE, la contrainte maximale est orientée NE - SW.

Dans l'axe magmatique du Sud-Est, la compression est N-S à NNW - SSE. Elle est à l'origine des grandes failles NW - SE qui laminent le batholite de MANGO et décalent en dextre l'axe magmatique.

S10 - Evolution postérieure

- * Transgression du groupe de Mangbei (Silurien),
- * Intrusion des complexes annulaires ultimes (Tertiaire),
- * Distension E - W post Tertiaire,
- * Volcanisme ?
- * Dépôt des alluvions de la Bénoué.

3.3.5.4. Détermination du rôle hydraulique des différentes familles de fractures

Le tableau 3.9. ci-dessous présente les orientations des éléments structuraux majeurs issus des effets de chacune des phases tectoniques cassantes ayant affecté les roches du secteur de POLI. Les étapes 3 et 4, bien qu'étant d'intensité et d'extension spatiale réduites, ont été pris en compte car leurs effets sur le bâti structural mis en place par les deux phases précédentes, peut changer le comportement hydraulique d'une famille de fractures donnée.

| PHASES TECTONIQUE | ORIENTATION DE T1 | FOLIATION | FENTES DE TENSION | FISSURES DE CISAILLEMENT |
|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|--------------------------|
| 1 | E - W | N 0-10 | N 80- 90 | N 50-120 |
| 2 | WNW - ESE | N 20 | N 110 | N 80-140 |
| 3 | NW - SE | - | N 130-140 | N 100-170 |
| 4 | NE - SW | - | N 40- 50 | N 10- 80 |

TABLEAU 3.10. : Distribution spatiale des éléments microstructuraux majeurs des phases compressives du secteur de POLI.

L'évolution structurale des familles de fractures à travers les différentes phases tectoniques ayant affecté les formations peut nous permettre de distinguer les familles de joints ouverts de celles qui ont toujours évolué en compression et sont donc fermées.

Pendant les phases 1 et 2 de serrage du tableau, les familles de fractures N 0, N 20 ont toujours joué en compression. Sur les rosaces d'analyse directionnelles des éléments structuraux, ces directions correspondent en effet aux pics les plus élevés de la foliation et ont donc été, au cours des tectoniques successives, toujours perpendiculaires à la contrainte maximale T1. Pendant la dernière phase de compression (phase 4 du tableau), on note une "évolution" de ces directions vers l'acquisition des fissures de cisaillement. Mais, eu égard au caractère local et à l'intensité relativement modeste de cette phase, nous pensons qu'elle n'a pas fondamentalement changé le comportement hydraulique "fermé" de ces familles de fissures. Les familles N 30-40 ; N 150-180 sont également à ranger dans cette catégorie.

Par contre, les familles N 50-70 ; N 80-90 ; N 110-140 ont toujours joué en distension ou en cisaillement pendant les deux plus importantes phases. En plus, pendant les 3ème et 4ème phases, ces directions ont rejoué en distension pour la N 130-140 et en cisaillement pour les deux autres. Ces familles de fissures ayant toujours joué en système distensif ou cisailant (ou vice-versa) sont donc les fissures les plus ouvertes et les plus susceptibles de jouer un rôle hydrogéologique drainant (ou capacitif) de premier ordre.

3.3.5.5. Conclusions sur la fracturation

L'étude que nous venons de réaliser a permis, par l'utilisation des méthodes diverses, l'acquisition d'une certaine connaissance de l'organisation fissurale du secteur de POLI.

Une approche analytique à l'échelle régionale a été menée en utilisant comme document de base les images satellites et les photographies aériennes. Cette étude a permis de dresser des cartes de photofractures et d'avoir une idée réelle et rapide du système de fracturation de notre zone d'étude. Une comparaison des grandes directions des fractures du secteur de POLI à celles des régions de NGAOUNDERE et MOKOLO a permis de noter les similitudes et d'intégrer l'ensemble dans un contexte régional plus vaste, à savoir celui de la zone mobile d'Afrique Centrale.

Sur la carte de fracturation tirée des photographies aériennes, une étude de la longueur des fractures nous a permis de noter que 22 % des fractures du secteur de POLI ont des longueurs comprises entre 1 500 et 2 000 mètres.

A l'échelle du 1/50 000, une étude de l'orientation spatiale des fractures en fonction de la nature pétrographique du remplissage filonien a été menée. Cette étude a permis de distinguer, parmi les directions de fracturation précédemment mises en évidence, celles suivant lesquelles les grandes familles de filons intrudent l'encaissant schisteux ou migmatique.

L'étude à l'affleurement a été dépouillée en deux temps :

* Une analyse des séries de mesures des directions des microstructures. Les résultats sont donnés sous forme de diagrammes de fréquence (rosaces) permettant de détecter rapidement les dispositifs particuliers (symétries, cisaillements conjugués...).

* Une analyse plus complète intégrant l'ensemble des mesures des microstructures faillées. Le traitement a été effectué par la méthode des dièdres droits et des phases de compression ont été mis en évidence.

La confrontation de l'ensemble des résultats (images satellites, photographies aériennes, cartes géologiques et observations à l'affleurement) ont permis de proposer une esquisse de l'évolution structurale et de relever les faits suivants :

* En fonction de l'échelle d'observation choisie, certaines directions apparaissent ou disparaissent : c'est l'effet d'échelle (G. MASSONAT, 1981).

* Les cartes des photofractures sont très utiles et très précieuses en hydrogéologie, mais elles ne sauraient se substituer à l'analyse microstructurale ; en fait, ces cartes apportent rapidement 50 à 60 % de l'information (estimations effectuées par M. GRANDPRAT (1978) lors de son étude sur le granite de la MARGERIDE) et gagneraient par conséquent à être utilisées comme guides des études structurales. Cependant, l'inverse est également valable, une étude directe des structures visibles sur le terrain n'est pas suffisante pour rendre compte des structures plus importantes.

* Selon le schéma de fonctionnement d'une zone de cisaillement et en fonction de l'orientation spatiale des microstructures observables dans cette zone, une étude évolutive des systèmes de fractures nous a conduit à l'établissement d'un classement séquentiel des différentes familles directionnelles. Des familles "fermées" sont ainsi distinguées des "ouvertes".

La connaissance de tous ces paramètres nous permet de mieux appréhender la structure du milieu et d'avoir déjà une idée précise sur ses caractéristiques hydrauliques potentielles.

3.4. LES METHODES DE PROSPECTION ET D'IMPLANTATION DES OUVRAGES SUR LE SOCLE CRISTALLIN NORD-CAMEROUNAIS

3.4.1. INTRODUCTION

Les études géologiques et structurales que nous avons menées à diverses échelles d'observation nous ont permis de constater que les formations cristallines Nord-Camerounaises sont compactes et imperméables à l'état sain. Les tectoniques cassantes et plicatives successives qui ont affecté ces formations leur ont octroyé des structures secondaires (failles, diaclases, joints, plis, foliation, etc...) susceptibles d'améliorer considérablement leurs propriétés hydrodynamiques.

Ces études nous ont également permis de noter que les réserves d'eau souterraines exploitables dans les zones Nord-Camerounaises couvertes par les formations cristallines sont localisées dans les alluvions, les colluvions, les éboulis mais aussi et surtout dans les arènes et le socle fissuré ; ces deux dernières catégories d'aquifères comportent l'essentiel des réserves exploitables. Elles sont en relation étroite avec le réseau de fracturation et la nature pétrographique des roches.

Les réserves en eau de ce socle sont donc limitées à des zones spécifiques, de localisation parfois complexe. Le caractère discontinu de ces zones et les coûts élevés des ouvrages font que l'implantation de tout ouvrage de captage-puits, forages, doit être précédée d'une étude détaillée.

La recherche systématique d'un pourcentage d'échec réduit au minimum constitue la règle d'or pour toute campagne de prospection hydrogéologique au Nord-Cameroun. Pour ce faire, des méthodes diverses (directes et indirectes) de détection des aquifères sont utilisées. Parmi les plus courantes, nous citerons la photogéologie, la géologie, la géomorphologie et les méthodes géophysiques.

3.4.2. LES METHODES DIRECTES

3.4.2.1. La photogéologie

Dans le chapitre 3, paragraphes 3.1. et 3.3., nous avons montré que cette approche permet de dégrossir considérablement les problèmes hydrogéologiques posés, à savoir :

* dissocier les zones montagneuses décapées et sans aucun intérêt hydrogéologique des zones plus altérées et susceptibles d'être recouvertes par une couverture d'altération appréciable suivie ou non en profondeur par une zone fissurée du socle.

* donner les différentes limites des faciès pétrographiques.

* donner une vue générale et donc plus synthétique du réseau de fractures ayant affecté la région.

3.4.2.2. La géologie

L'étude géologique à l'affleurement permet de mieux préciser toutes les caractéristiques dégagées par la photogéologie. En plus, elle permet de connaître les caractéristiques de tous les linéaments photogéologiques et de déceler les microstructures invisibles à plus grande échelle. En finale, elle permet d'établir une hiérarchisation hydrogéologique précise et plus fine des formations.

3.4.2.3. La géomorphologie

Elle est d'un apport très appréciable pour les investigations hydrogéologiques sur le terrain. C'est du reste la méthode d'implantation la plus utilisée, de nos jours, par les géologues de la presque totalité des entreprises chargées des opérations de forage au Nord-Cameroun. Son importance est donc capitale et nous lui avons consacré le paragraphe 3.5.

3.4.3. LES METHODES INDIRECTES : LA GEOPHYSIQUE

3.4.3.1. Historique des travaux de géophysique appliquée au Nord-Cameroun

Si l'on fait abstraction des travaux de sismique réfraction effectués par LERICI et relatifs aux formations sédimentaires du "Bec du Canard" et des quelques réalisations diparâtes de la CGG toujours relatifs aux zones sédimentaires, les travaux géophysiques entrepris au Nord-Cameroun remontent aux années 60, mais ont pris une impulsion nouvelle dans les années 70 avec l'avènement du marteau-fond-de-trou permettant de forer au-delà de la couche d'arènes.

A partir de cette date, plusieurs entreprises s'occupant des problèmes d'eau se sont dotées de matériel géophysiques dans le souci de réduire au maximum le taux d'échec jusque là enregistré. Les résultats satisfaisants pour la plupart d'entre eux, ont entraîné un engouement spontané vers cet outil "nouveau" d'implantation et la création d'une entreprise (ARLAB-CAMEROUN) spécialisée dans les problèmes relatifs à la prospection géophysique.

Le P.E.S., organisme étatique, s'est dotée pour sa part, en 1983, d'un matériel japonais complet pour une prospection électrique. En 1985, nous avons été chargés par la direction du Projet et en collaboration avec Monsieur MBA THOMAS, de mettre sur pied une équipe géophysique. Cette équipe, constituée de deux techniciens, un chauffeur et trois manoeuvres, était chargée de proposer, par site prospecté, deux implantations possibles avec une hiérarchisation préalable. Nous avons ainsi prospecté une quarantaine de sites à travers le secteur de POLI et les villages voisins.

De plus, en 1986, nous avons pris part, en collaboration avec les hydrogéologues de GEOTEST, à une campagne d'investigations géophysiques visant à positionner et à réaliser des forages à gros débits dans les localités de NGAOUNDAL, MBE, POLI, TCHOLLIRE, BOURRHA, MERI.

Les résultats des prospections géophysiques que nous présenterons plus loin ne se limiteront donc pas au seul secteur de POLI. Parmi toutes les données en notre possession et relatives à divers sites Nord-Camerounais, nous choisirons les plus représentatifs et les plus aptes à illustrer chaque phénomène décrit.

3.4.3.2. Les méthodes géophysiques utilisées au Nord-Cameroun

Dans la partie septentrionale du pays, la prospection hydrogéologique par les méthodes géophysiques est essentiellement basée sur les méthodes électriques des résistivités. Toutefois, pour certains sites où sa réalisation était possible et nécessaire, nous avons mis en oeuvre la méthode magnétique. Il faut tout de suite dire que cette méthode était beaucoup plus utilisée pour mieux interpréter les mesures électriques que comme méthode propre d'implantation d'ouvrage.

Dans le cadre de notre mémoire, nous ne reviendrons pas sur les principes et les dispositifs de mesures de ces deux méthodes. Ces aspects avaient été l'objet d'une présentation bibliographique dans notre D.E.A. en 1985. Ils sont largement développés par divers auteurs. Le lecteur intéressé pourra se référer aux ouvrages spécialisés dont la liste est donnée dans la bibliographie. Cette liste n'est pas exhaustive et de nombreux autres auteurs se sont penchés sur ces problèmes.

Quant à nous, la mise en oeuvre de ces méthodes sur le socle Nord-Camerounais nous a permis d'obtenir des résultats permettant d'illustrer la capacité de ces méthodes géophysiques à mettre en évidence des structures aquifères.

Pendant nos campagnes sur le terrain, les problèmes posés à la géophysique étaient de divers ordres :

* Localiser avec précision sur le terrain le passage d'un linéament repéré sur photographie aérienne et/ou sur images satellite.

* Fournir des indications sur les caractéristiques structurelles de l'accident : largeur, pendage, épaisseur de recouvrement, fracturation du socle encaissant et localisation des zones conductrices équivalentes, présence éventuelle de roches filoniennes injectées dans l'accident, etc...

3.4.3.3. Les appareils de mesures

Au cours des prospections électriques, la mesure des résistivités apparentes a été faite avec deux types d'appareils :

* L'appareil à tester la résistance de terre spécifique type 3244 commercialisé par la firme japonaise YOKOGAWA HOSUSHIN ELECTRIC et qui fonctionne uniquement suivant le dispositif WENNER.

* Un appareil SUISSE digitalisé pour la mesure des résistivités apparentes. Cet appareil nous a permis de réaliser des mesures suivant le dispositif SCHLUMBERGER.

Dans les deux cas, le courant émis est un courant continu.

La prospection magnétique, quant à elle, consistait en la mesure le long d'un profil judicieusement choisi et, en général, parallèle aux profils électriques de la composante horizontale H du champ magnétique à l'aide d'un magnétomètre à protons portatif.

3.4.3.4. Résultats et interprétations

3.4.3.4.1. Les sondages électriques

Bref rappel du principe :

Le sondage électrique est la variante de la méthode électrique des résistivités qui permet de faire des investigations dans le sens vertical. Dans la pratique, on opère par écartements successifs des électrodes d'injection (AB) et des électrodes de mesures (MN) par rapport au centre O du quadripôle AMNB qui reste fixe. Les résultats sont représentés sous forme d'un diagramme bilogarithmique où l'on porte en abscisse la demi-longueur de AB (cas du dispositif SCHLUMBERGER) exprimée en mètres et en ordonnée la résistivité apparente correspondante, exprimés en m.

Dans notre cas, toutes les mesures de sondages électriques effectuées ont été réalisées suivant le dispositif WENNER (AB/MN = 3). Le report des résultats suivant l'échelle bilogarithmique est le même, sauf qu'en abscisse on porte les différentes valeurs de l'écartement à des électrodes (a = AM = MN = NB).

Allure générale des courbes :

En général, deux types de courbes de sondages électriques sont fréquemment obtenus pendant les prospections géophysiques au Nord-Cameroun.

* Le premier type est la courbe classique en fond de bateau (S.E. 1, 2, 3 du Qt Résidentiel I de POLI ; S.E.2 de la S.A.R. ; S.E.2 de BOULKO). Ce type de courbe est caractéristique des structures à trois terrains : le premier, résistant, est constitué par un niveau cuirassé, généralement induré. La circulation du courant dans ce niveau est d'autant plus difficile qu'il est souvent compacté, anhydre. La réalisation des mesures dans ce niveau nécessite soit une amélioration préalable de la prise de terre (en plantant profondément les électrodes AMNB), soit une augmentation considérable du voltage de la source de courant. Dans bien des cas, les deux procédés sont indispensables pour arriver à obtenir des résultats. Dans d'autres (TCHOLLIRE, DJOUMTE), le caractère écran-compact de ce niveau superficiel est tel qu'aucune mesure de résistivité apparente ne peut y être effectuée.

Le second niveau est constitué par les arènes. Ce niveau géophysique est constitué de tout un ensemble de formations géologiques dont l'unique caractéristique commune est de présenter des résistivités apparentes différentes de celles du niveau supérieur latéritique et du niveau qui lui est sous-jacent. Sur le tracé des sondages électriques, les résistivités apparentes de ce niveau occupent le fond du bateau, c'est-à-dire qu'on les individualise à partir de la rupture de pente descendante marquant la base de la cuirasse et la remontée à 45° du niveau résistant sur lequel il repose (S.E. 1, Qt Résidentiel 2 POLI fig 3.36). Nous reviendrons plus loin sur les aspects géologiques de ce niveau arénique.

Le troisième et dernier niveau géophysique est représenté par le socle. Il est marqué par une remontée à 45°.

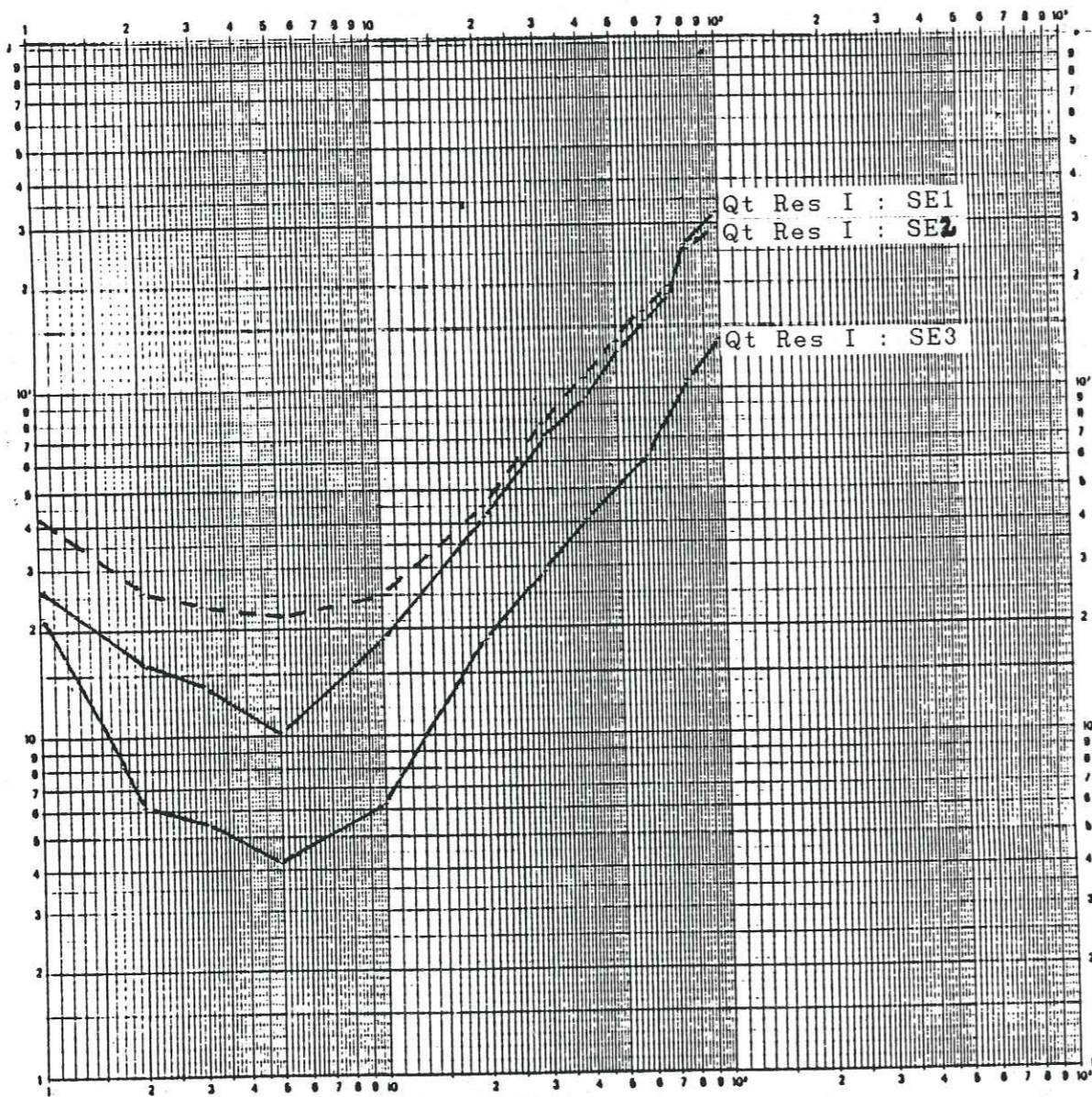


Fig 3.36 : Allure générale des sondages électriques en fond de bateau

Bien que chaque sondage électrique constitue un cas d'espèce à interprétation spécifique, nous donnons les ordres de grandeurs des résistivités apparentes généralement obtenues pour les trois niveaux identifiables par géophysique au Nord-Cameroun (dispositif WENNER) :

- cuirasse indurée : 20 - 300 Ohm-m,
- arènes : 4 - 60 à 70 Ohm-m,
- socle : résistivité apparente infinie

* Le second type de courbes rencontré est une courbe à une seule branche montante (fig 3.37) (S.E. VOKO ; SE 1 et 2 de la Zone C du Camp des Réfugiés ; SE 2 Zone B du même camp ; S.E. 2 MANGO).

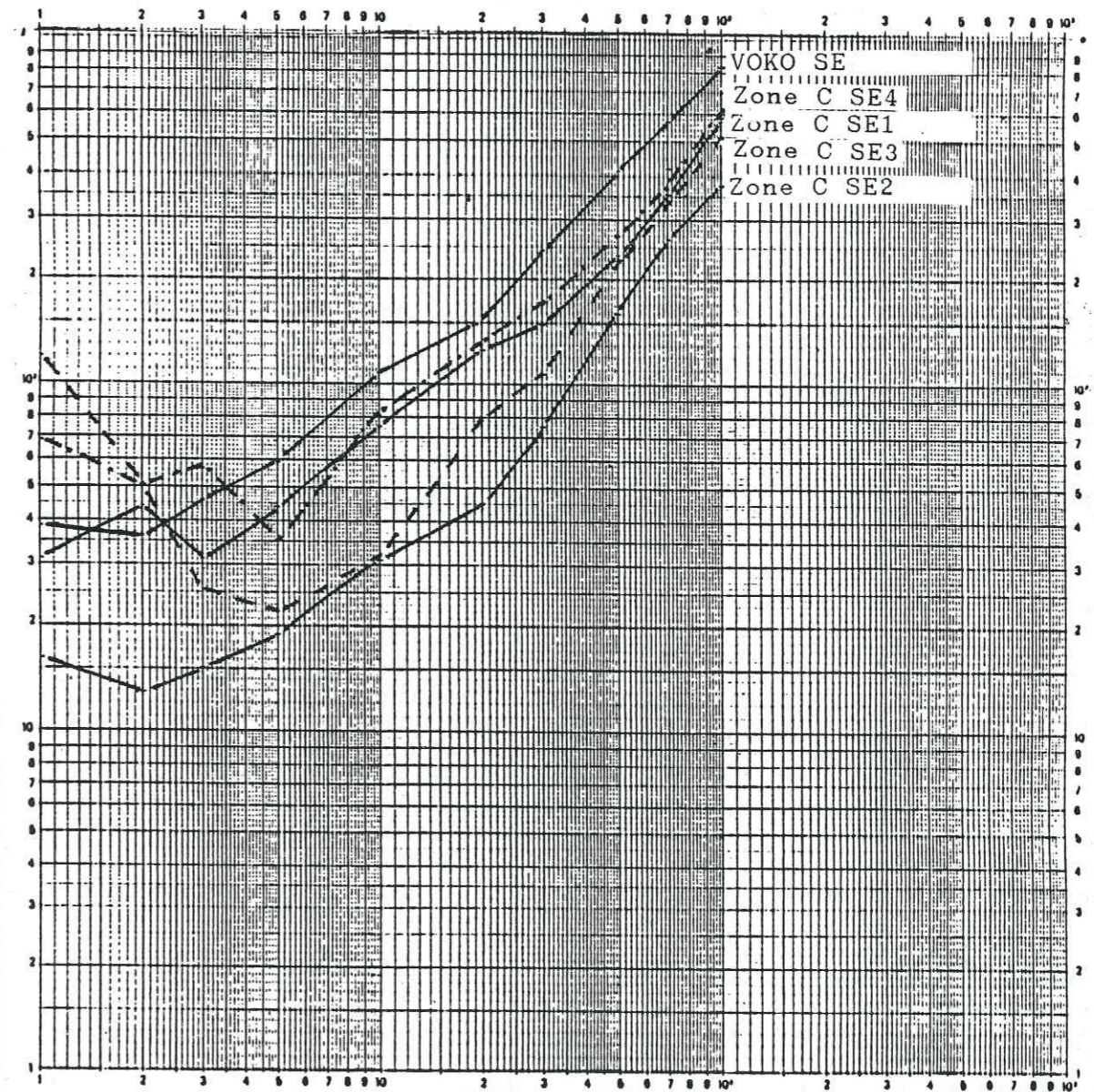


fig 3.37 : Second type de diagramme de S.E. rencontré au Nord-Cameroun.

Ce type de courbe est caractéristique des structures à deux terrains : le niveau cuirassé supérieur est absent, le premier terrain marqué sur le diagramme de sondage est peu résistant et correspond au niveau conducteur constitué par des arènes. Ce niveau repose sur un terrain très résistant à résistivité apparente infinie.

Nature géologique des différents niveaux géophysiques individualisés par les sondages électriques

* La cuirasse indurée :

Dans les zones où ces cuirasses sont présentes, le drainage est généralement mauvais, du fait de leur imperméabilité. Que ces cuirasses dérivent de roches acides (granites) ou basiques (gabbros, amphibolites), elles présentent la caractéristique commune d'être compactes, aquifuges, composées de gravillons imbriqués les uns dans les autres et enrichis en oxydes de fer. Ces grands traits justifient les fortes résistivités apparentes et la teinte rouge brique généralement présentées par ces formations. Les variations des épaisseurs et des résistivités des cuirasses se traduisent sur les courbes de sondage par des translations verticales des diagrammes. Les sondages 1, 2 et 3 (fig 3.36) du Quartier Résidentiel 1 de POLI réalisés sur des schistes traduisent bien cet effet fluctuant des valeurs des résistivités apparentes ; en effet, la cuirasse est plus résistante sur le S.E.2. que sur les S.E. 1 et 3. En plus, sur ces schistes, l'augmentation des valeurs des résistivités de la cuirasse se traduit par un amortissement du fond du bateau doublé d'une augmentation de la résistivité des arènes qui la jouxte. Ces deux faits conduisent à une estimation de plus en plus délicate et difficile de l'épaisseur de cette cuirasse.

* Les arènes :

Comme nous l'avons dit plus haut, ce terme "arènes" englobe tout un ensemble de formations géologiques différentes mais géophysiquement équivalentes. Les modestes épaisseurs des différents horizons géologiques constituant cette assise font qu'il est très difficile voire impossible de les individualiser sur les diagrammes de sondages électriques. Nous pensons, comme l'a dit A.N. SAVADOGO (1984) que "par le jeu des équivalences, certains horizons bien distincts sur les coupes géologiques ne vont pas se traduire sur la courbe expérimentale" d'autant plus que géophysiquement, ces horizons ne présentent pas un contraste de résistivité élevé par rapport à leurs voisins. A ce titre, l'interprétation des sondages électriques dans le but de la détermination de la succession géologique en profondeur devient extrêmement délicate même si on applique le principe de la suppression; en fait, on constate que certains horizons de ce niveau intermédiaire ne modifient pas fondamentalement l'allure du diagramme de sondage électrique, tant que leur épaisseur reste faible. On ne peut donc pas, à partir des seules données de sondages électriques, conclure à leur existence ou non.

Dans tous les cas et quelle que soit la succession, on retiendra que ce niveau arénique est composé de tout un ensemble de formations parfois grenues (pour les profils d'altération développés sur roches acides grenues) ou argileux pour les roches plus riches en ferro-magnésiens. Géophysiquement, ce niveau constitue le niveau conducteur et donc le niveau le plus apte à être aquifère.

* Le socle :

Il constitue la troisième entité géophysique et l'unité la plus profonde. Quelle que soit sa nature pétrographique, sa résistivité apparente est toujours très élevée et assimilée, pendant les interprétations des sondages électriques, à l'infini.

Calcul des épaisseurs des niveaux du profil d'altération à partir des sondages électriques :

Tous les sondages électriques que nous avons réalisés ont été interprétés par la méthode de la croix sur les abagues (standard et auxiliaire) se rapportant au quadripôle WENNER fournis par le constructeur de l'appareillage que nous avons utilisé. Pour certains cas difficiles, une approche suivant la méthode des conductances horizontales ($C = h/$) a été menée. A chaque fois, nous retenons comme résultats probables ceux qui se rapprochaient le plus des coupes géologiques des trois seuls forages considérés comme étalons et existant dans notre zone d'étude avant nos travaux ; il s'agit du forage de la Prison de POLI, de celui du marché de la même ville et enfin, du forage de GODE. A partir de toutes ces considérations et des données fournies par les forages que nous avons positionnés dans le secteur de POLI et dans les autres zones cristallines du Nord-Cameroun, les ordres de grandeurs suivants peuvent être retenus pour les profondeurs des trois niveaux individualisés plus haut.

* La cuirasse indurée :

Quel que soit le faciès géologique considéré (granite, migmatite, schistes...), elle dépasse rarement 4 à 5 m de profondeur. Des cas exceptionnels de cuirasse atteignant 10 m sont localement constatés : GODE, vallée des Rôniers.

* Les arènes :

Autant le "toit" de cette unité hydrogéologique est relativement aisé à définir par les diagrammes de sondage électrique, autant la détermination de sa base est complexe. La frange fissurée du bed-rock qui est donnée pour être la partie la plus productrice du profil d'altération fait-elle ou non partie de cette seconde entité géophysique ? L'étude hydrogéologique statistique que nous avons menée au chapitre 4.2 nous a permis de consulter un certain nombre de rapports de forages exécutés par diverses équipes.

Dans cette étude, nous avons distingué l'épaisseur des altérites notée EA de la pénétration dans le socle notée PS. En fait, certains forages qui s'arrêtent dans l'arène consolidée du bed-rock sont souvent considérés comme atteignant le socle. De plus, la géophysique donne un ordre de grandeur de l'épaisseur des altérites mais la technique hautement perfectionnée du marteau-fond-de-trou permet de traverser, sans différence notable de vitesse d'avancement, la frange fissurée du bed-rock et même quelques mètres de celui-ci, sans que l'on puisse dire avec certitude qu'on n'est plus dans le niveau arénique. Ce cas a été fréquemment observé lors des différentes forations dans les schistes de POLI. L'observation des cuttings refoulés du forage ne permet pas non plus de trancher avec précision. Dans ces conditions, il y a lieu de se demander ce que c'est que "le socle". Les définitions diffèrent suivant que l'on est géophysicien ou foreur.

Toutefois, si nous considérons que la frange fissurée du bed-rock fait partie intégrante du niveau arénique conducteur et que le socle est exclusivement constitué de la zone "compacte" résistante sous-jacente, nous pouvons dire que dans le secteur de POLI, l'épaisseur de cette unité varie statistiquement entre 5 et 47 à 55 m.

* La frange fissurée du socle :

Eu égard à ce que nous avons dit ci-dessus, la détermination précise de son épaisseur est très délicate. A ce titre, A.N. SAVADOGO (1984) dit que "l'épaisseur de la zone fissurée qui est la tranche la plus productrice du profil d'altération est souvent non déterminable, parcequ'à la profondeur où elle est enfouie et vue son épaisseur généralement faible, elle ne marque pas la courbe de sondage électrique".

* Le socle :

Les problèmes de définition de la limite inférieure des arènes lui sont applicables en ce qui concerne sa limite supérieure d'autant plus qu'il jouxte ces arènes. Néanmoins, nous pensons qu'il se situe dans les 60 - 70 m. Ce qui est tout à fait en accord avec la valeur maximale limite que nous avons déterminée pour l'arrêt d'un forage dans les formations cristallines Nord-Camerounaises. Rappelons toutefois que cette valeur (70 m) est déduite des études statistiques et est donc susceptible de souffrir des exceptions locales.

Effets des mégafractures sur les diagrammes de sondages :

L'hydraulicité des formations cristallines étant incontestablement liée aux fractures qui l'affectent, il importe d'identifier les effets de ces fractures repérés ou non en photogéologie sur les diagrammes de sondages électriques.

Dans notre cas, trois phénomènes ont été notés pendant nos campagnes de mesures. Les données des forages (débits et cuttings) que nous avons implantés et qui furent exécutés par A. TEMATIO, nous ont permis de constater que l'on se trouvait bien sur des fractures :

1/ L'accroissement brutal de l'épaisseur des altérites (fig 3.38) :

Les S.E. réalisés dans les quartiers résidentiels 1 (fig 3.36) et 2 (fig 3.39) ainsi que ceux réalisés à BOULKO (fig 3.38) et distants de 70 m l'un de l'autre, montrent bien cet accroissement de l'épaisseur des altérites. Les forages réalisés dans les deux quartiers résidentiels ont confirmé cet aspect faillé des sites d'exécution des sondages électriques.

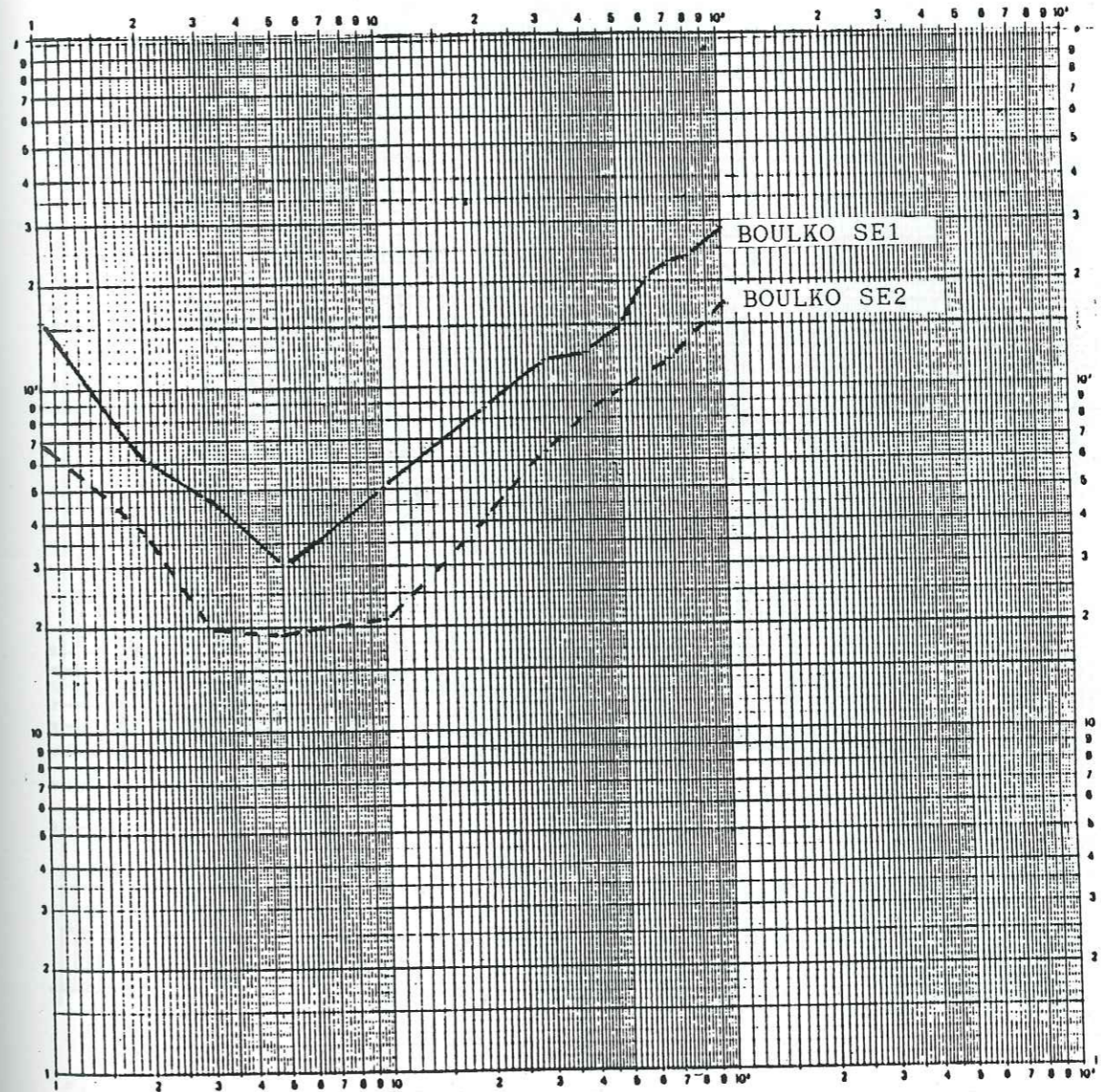


fig 3.38 : Effets des fractures sur les sondages électriques : sondages de BOULKO montrant l'accroissement brutal de l'épaisseur des altérites.

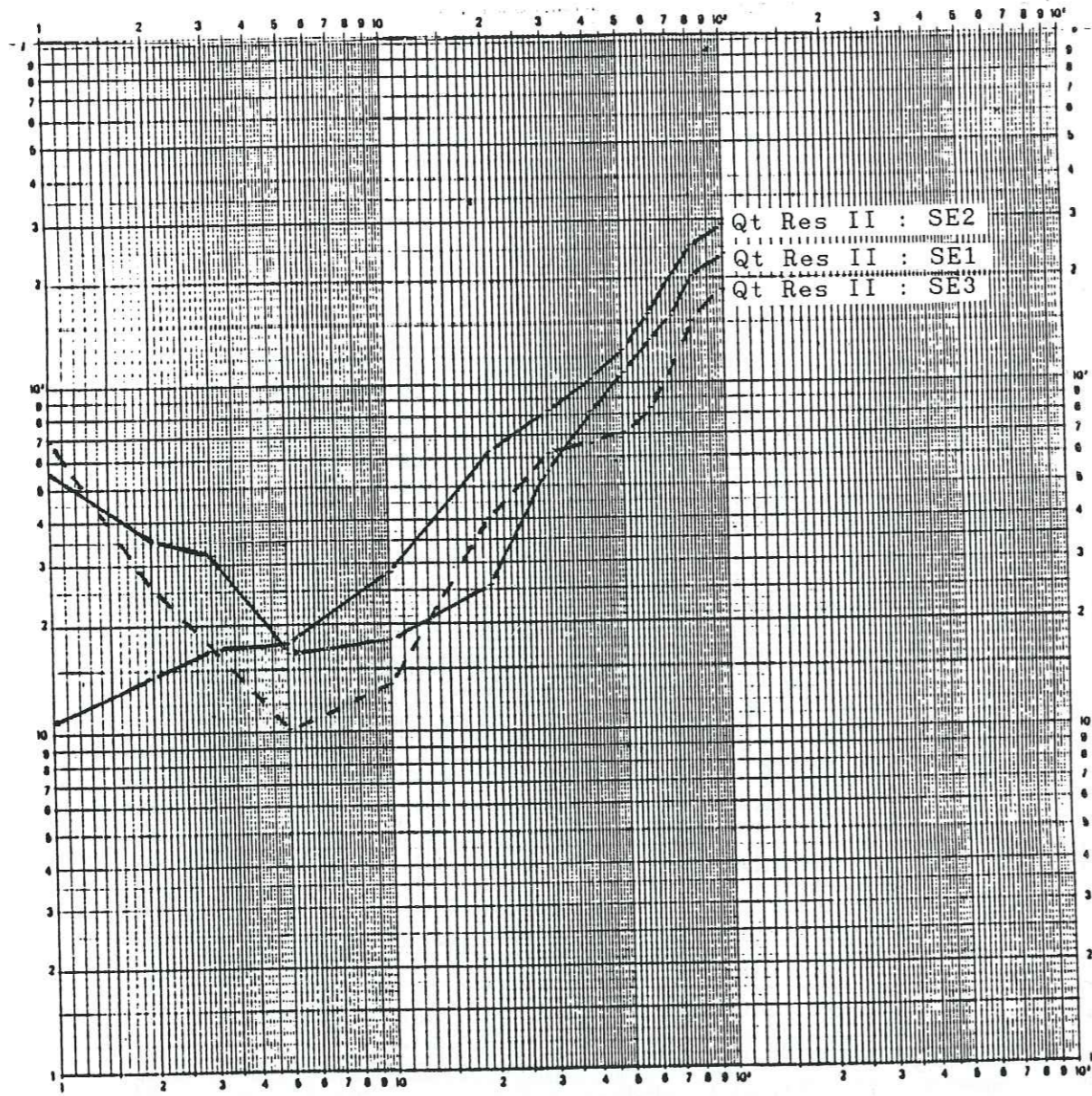


fig 3.39 : Sondages du Qt Résidentiel II montrant la remontée à 45° du socle (SE1) et l'accroissement de l'épaisseur des altérites entre les SE1 et 3

2/ Les sondages électriques incomplets (fig 3.40):

Le seul cas enregistré a été réalisé dans le village de DJOUMTE, situé à la base du massif granitique du même nom. Ce massif est constitué de deux grandes buttes entaillées par une profonde vallée qui, à la seule observation géomorphologique, paraît être une faille. Cette vallée se prolonge dans la "plaine" au Sud-Ouest du village par un thalweg. Un puisard servant à l'alimentation en eau du bétail est foncé suivant cet axe. Le niveau de l'eau dans ce puisard est à moins de deux mètres de la surface du sol (Janvier) mais la zone est fréquemment inondée en saison des pluies à tel point que la réalisation d'un forage dans cette zone faillée nécessiterait des aménagements annexes et une attention particulière relative aux problèmes d'infiltration directe des eaux marécageuses polluées de surface.

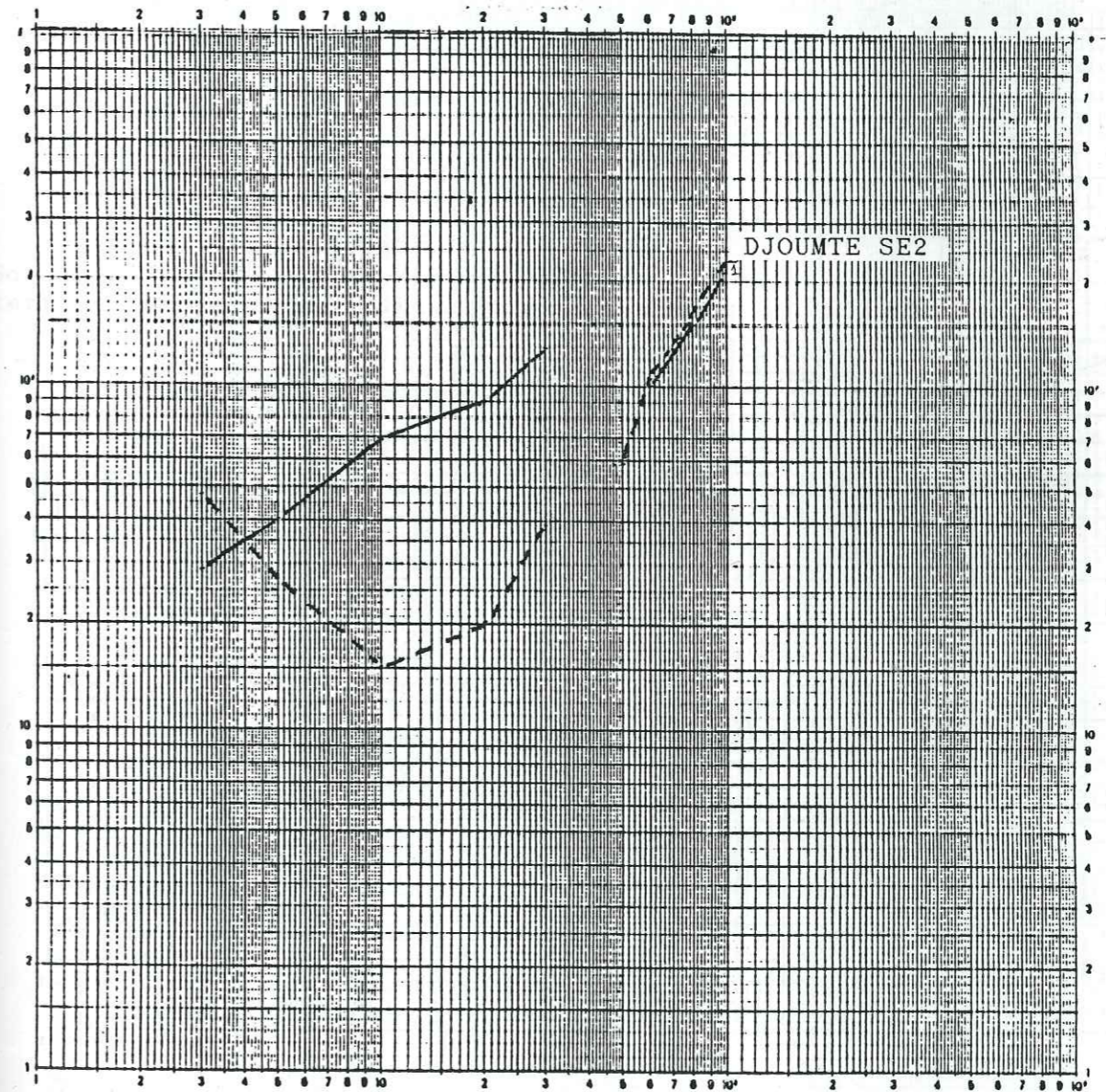


fig 3.40 : Effets des fractures sur les sondages électriques : S.E. incomplets du village de DJOUMTE

3/ La remontée traînante (fig 3.41) :

Elle est observée sur la branche montante des sondages électriques réalisés à BAKDONKO (fig 3.41) et à MANGO-VILLAGE (fig 3.42). Les résultats très satisfaisants obtenus pour le forage positionné sur le site de BAKDONKO ont confirmé l'existence de la faille et nous ont amenés à y positionner deux autres ouvrages supplémentaires destinés à servir dans le cadre de l'hydraulique urbaine de la ville de POLI. Les problèmes inhérents à la surexploitation de la "poche d'eau" mise en évidence sont moindres dans la mesure où l'importante zone broyée qui l'alimente recoupe deux cours d'eau qui ne tarissent jamais, même pendant les mois les plus chauds de l'année.

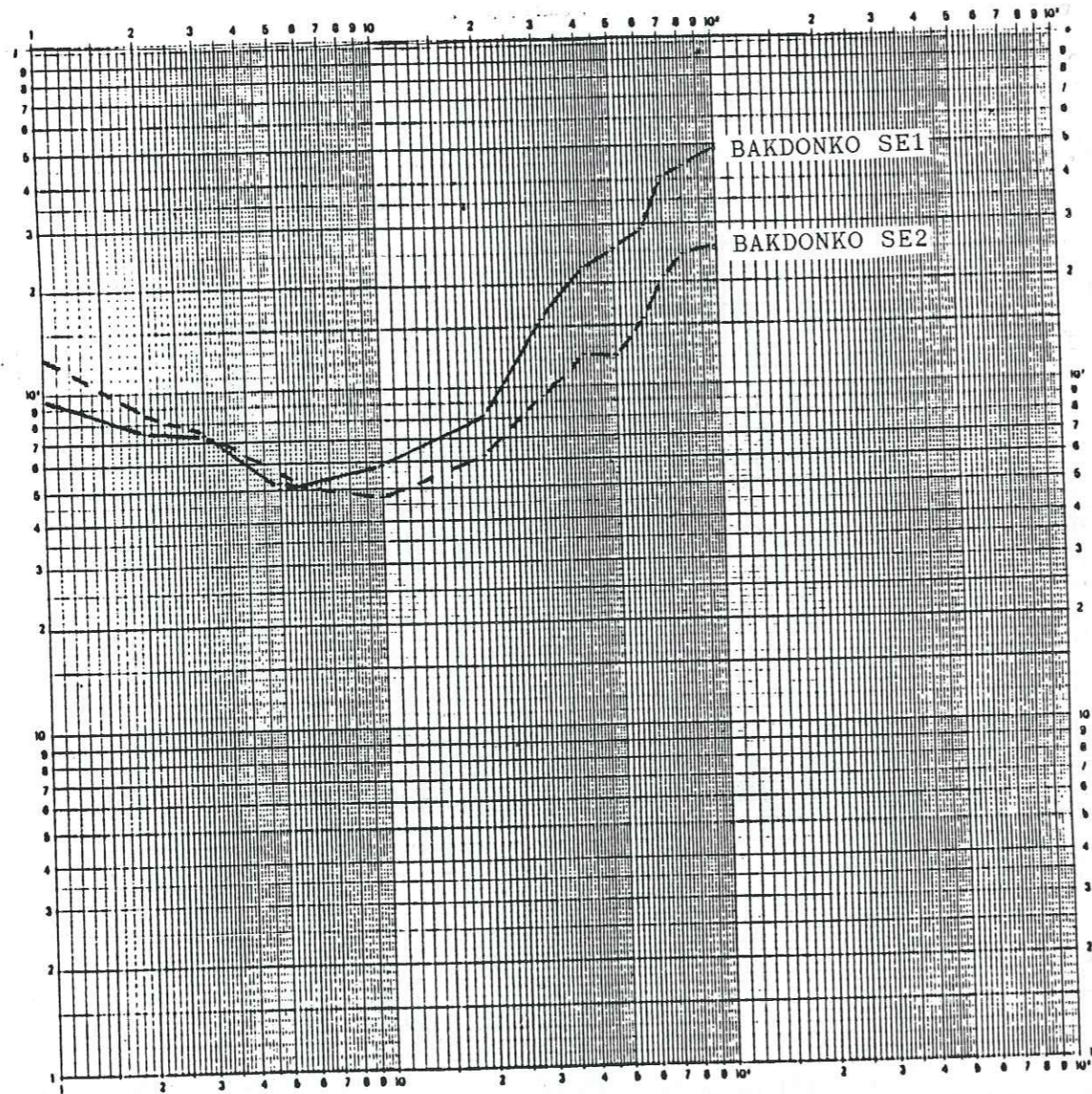
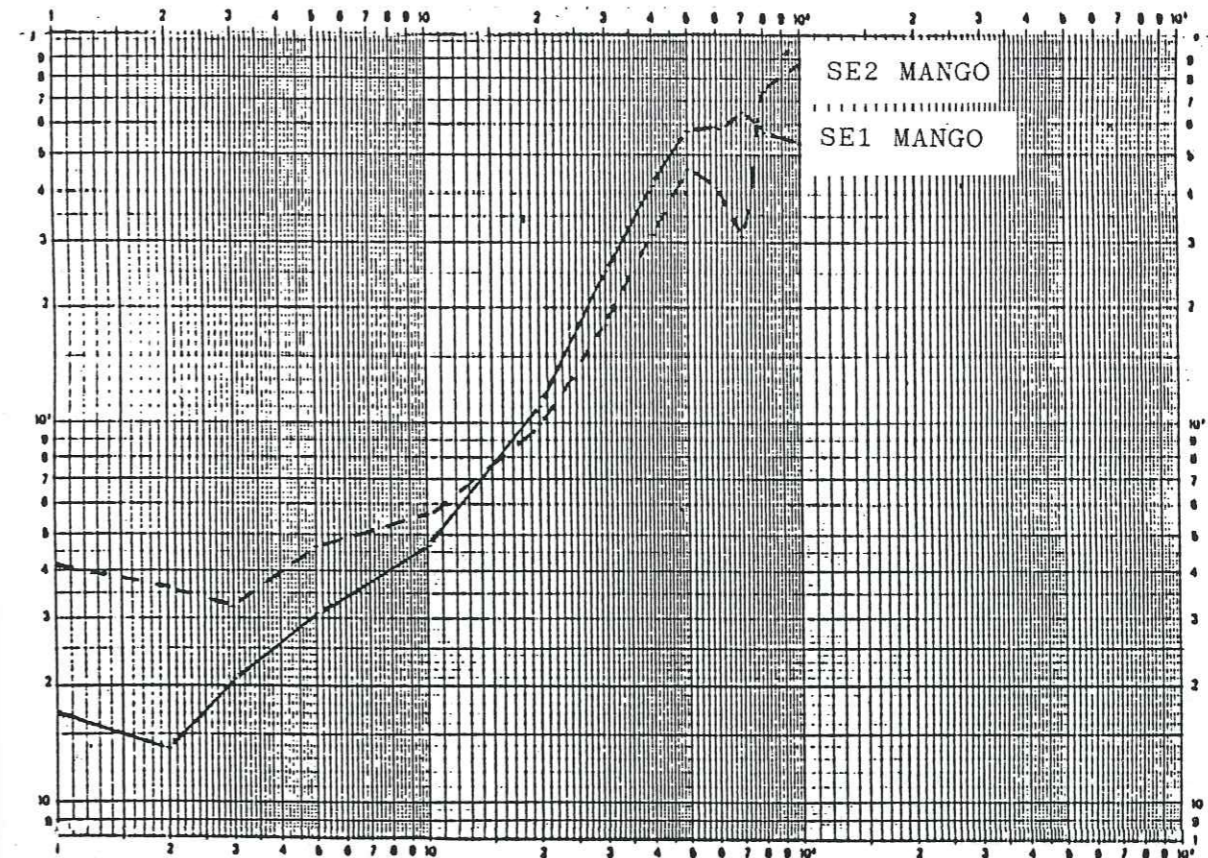


fig 3.41 : Effets des fractures sur les sondages électriques : S.E. de BAKDONKO montrant la remontée traînante



- Sondages électriques de MANGO-village : structure à deux terrains et remontée traînante des courbes

- Sondages électriques de la Zone A du Camp des Réfugiés : variation de l'épaisseur des altérites

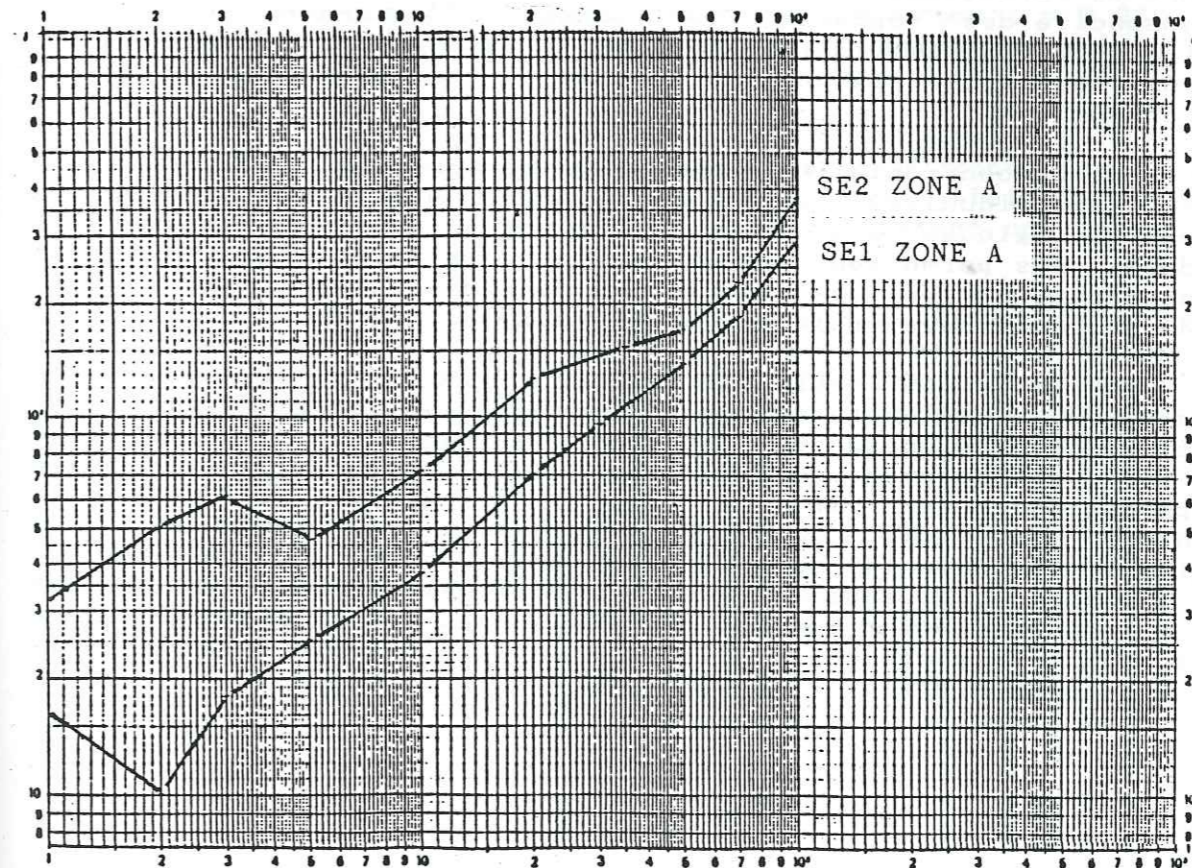


fig 3.42 : Influences des fractures sur l'allure des courbes de sondage électrique

Limites et avantages des S.E. suivant le dispositif WENNER :

* La disposition des électrodes suivant le quadripôle WENNER (AM = MN = NB = a) ne permet pas d'éliminer les "à-coup de prise" encore appelés "à-coup MN" qui sont des anomalies issues des effets des hétérogénéités superficielles. Ce fait rend plus complexe les interprétations des sondages électriques. La dissociation des effets de ces hétérogénéités superficielles de ceux des discontinuités profondes recherchées est par voie de conséquence beaucoup plus délicate et nécessite du doigté et une certaine expérience.

* En revanche, le quadripôle WENNER rend plus facile le calcul des coefficients K et surtout donne des valeurs de V plus élevées. Le matériel (appareil à tester la résistance spécifique type 3244) que nous avons utilisé donne, par lecture directe, la valeur de R égale à V/I et une simple multiplication par 2 permet d'obtenir la valeur de la résistivité apparente cherchée. En plus, ce dispositif est beaucoup plus rapide d'autant plus que les distances entre les électrodes et le pas de mesure sont plus grands.

Dans tous les cas, que l'on choisisse le quadripôle WENNER ou SCHLUMBERGER, on arrive, par l'interprétation des courbes de sondages électriques, dans bien des cas, à déterminer la répartition verticale des formations géologiques. Toutefois, nous avons eu à noter qu'un certain nombre de problèmes restaient insolubles, notamment celui de l'incapacité des sondages électriques, à discerner tous les horizons géologiques du grand ensemble conducteur situé entre le résistif cuirassé de surface et le résistif compact de profondeur.

La confrontation des épaisseurs des différents niveaux individualisés par les sondages électriques et les coupes géologiques des forages implantés au droit de ces sondages nous permettent de conclure qu'on arrive, à partir de l'interprétation de ces sondages, à déterminer à près de 80 % ou 85 % l'épaisseur vraie de ces niveaux.

Mais, cet ordre de grandeur de la précision des résultats des interprétations des sondages électriques chute considérablement quand on considère le crucial problème posé par les différentes définitions du "socle" par les géophysiciens d'une part, et les foreurs d'autre part. Dans bien des cas, le socle électriquement résistif et à résistivité apparente infinie des premiers se trouve à bien des mètres en dessous du socle mécaniquement résistif des seconds, à tel point que les corrélations entre la profondeur dictée par la géophysique et la profondeur du socle "trouvée" par les foreurs présente souvent des écarts notables.

Corrélation entre la profondeur du socle déterminée par les sondages électriques et les forages :

Dans le but de quantifier les écarts constatés entre la profondeur du socle sain déterminé par les sondages électriques et ceux déterminés par les forages, nous avons considéré un échantillon de 19 forages que nous avons positionnés et exécutés dans le secteur de POLI et ses environs et dont nous connaissons avec précision ces courbes de valeurs. De plus, nous avons complété ces données par 11 valeurs supplémentaires fournies par HYDROGEO (1973), relatifs aux forages des environs de MAROUA et MORA et où la profondeur suivant les deux méthodes d'approche est donnée. Il faut signaler que les valeurs géophysiques obtenues par HYDROGEO résultent de la combinaison des méthodes électriques et sismiques, ce qui les rend très fiables et justifie leur prise en compte dans nos études.

Ces 30 forages sont répartis inégalement sur trois grands groupes de faciès géologiques : granites : 5 forages soit 16,6 % ; gneiss-migmatitiques : 7 forages soit 23,3 % ; schistes : 18 forages soit 60,0 %.

Sur ce stock initial de 30 forages, nous avons entrepris un essai de corrélation. L'approche est statistique et basée sur la méthode de régression linéaire. La droite de régression est établie par la méthode des moindres carrés qui vise à minimiser la somme des carrés des distances des différents points à la droite la mieux ajustée. Les résultats de cette analyse sont donnés par la figure 3.43 et permettent de relever les faits suivants :

* La droite de corrélation a pour équation $Y = 0.932x + 0.914$ et on note un assez bon regroupement de points autour de cette droite.

* Le coefficient de corrélation r est égal à 0.760. Il est positif et supérieur à la valeur de 0.700 généralement admise dans toute étude statistique comme valeur minimale au-delà de laquelle les paramètres étudiés présentent une bonne corrélation.

* La dispersion des points autour de la droite est généralement inférieure à 5 m pour tous les sites où le socle est situé à plus de 25 - 30 m de profondeur. Par contre, pour des profondeurs plus faibles du socle, certains points présentent des dispersions relativement importantes, atteignant exceptionnellement 10 à 13 m.

Malgré la bonne corrélation générale mise en évidence entre les valeurs des épaisseurs des altérites fournies par ces deux méthodes, des écarts importants peuvent donc être obtenus ponctuellement, surtout pour des zones où le socle n'est pas profond.

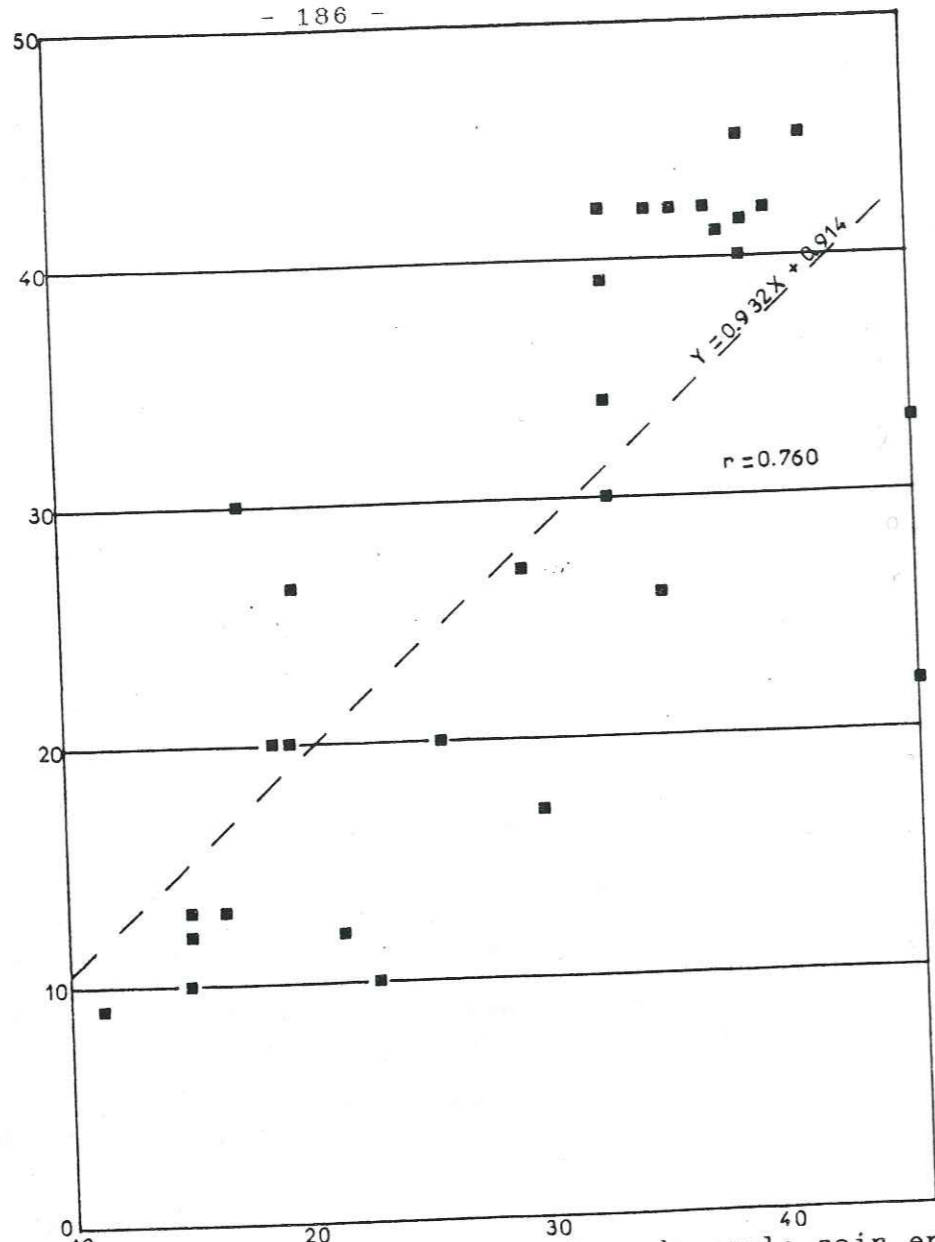


fig 3.43 : Corrélation entre profondeur du socle sain en sondages électrique et en forages

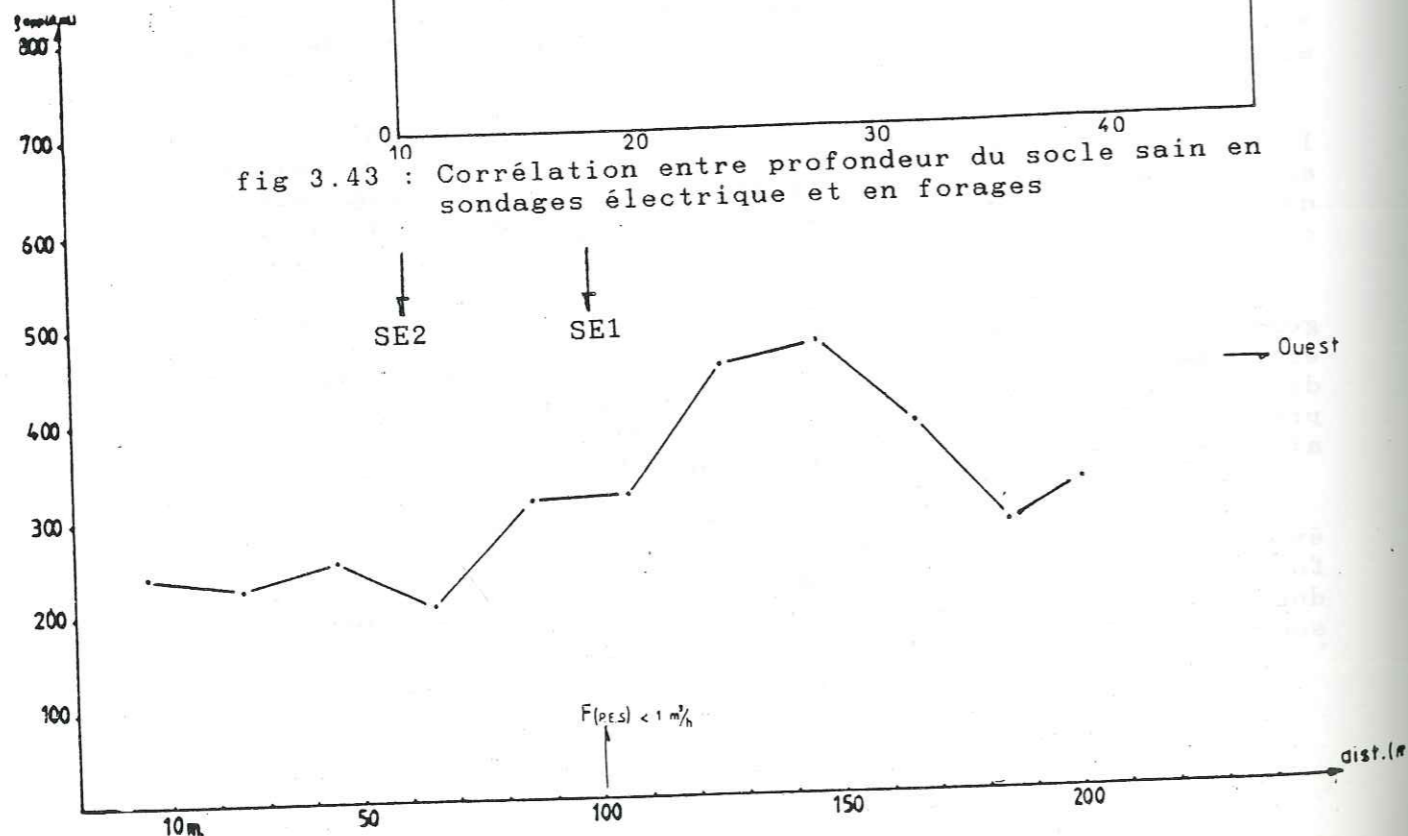


fig 3.44 : Situation du S.E. et du forage du Qt SAR sur le profil de trainé

Ces légères divergences - dont les effets s'estompent considérablement dans une étude statistique globale - résultent, comme nous l'avons dit plus haut, des différences d'interprétation dans la définition du "socle" par le géophysicien et le foreur. A ce titre, nous évoquerons le cas du forage du quartier SAR de POLI dont l'exécution a démarré le 12.02.1986 pour ne s'achever que le 21.02.1986, suite aux éboulements des terrains argileux qui ont bloqué le marteau au fond du trou. L'implantation de ce forage a été faite après deux sondages électriques réalisés le long du profil de trainé effectué dans le sens Est-Ouest, en direction de la station météorologique de la ville. Ce trainé électrique (fig 3.44) montre quelques points bas qui ont été testés par des sondages électriques (fig 3.45). Bien que les deux sondages distants de 40 m montrent des valeurs très différentes des épaisseurs des altérites, l'interprétation de ces deux courbes de sondages nous a permis de donner les valeurs de 38 - 40 m comme celles que devaient atteindre le forage. De plus, le point de réalisation du S.E.2 nous paraissait le plus approprié du fait de l'importance de l'épaisseur des altérites et du caractère moins argileux de celles-ci.

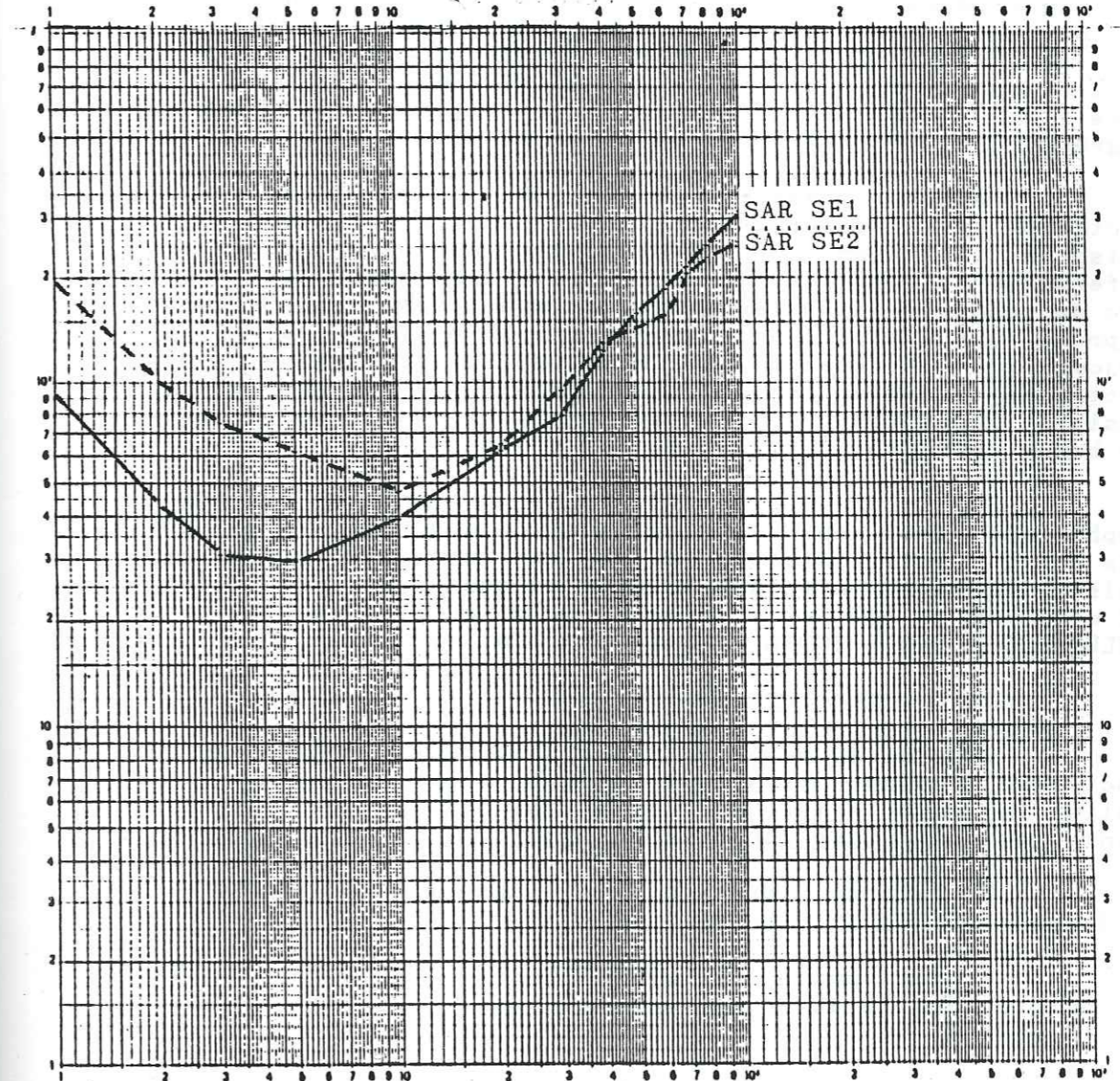


fig 3.45 : S.E. du Qt SAR - POLI montrant des différences notoire des épaisseurs des altérites

Le forage réalisé sur le S.E.1 a atteint le "socle", d'après le rapport du foreur, à la profondeur de 33 m. Pour notre part, nous sommes convaincus que ce "socle" décrit par les foreurs est très certainement la zone plus compacte mais fissurée qui jouxte les arènes s.s. Les essais de débits exécutés postérieurement nous ont réconfortés dans notre position car ce forage débite bien moins d'un m³/h. Nous pensons donc que la frange fissurée du bed-rock n'a pas été perforée et que seule la partie superficielle de la "poche d'eau" débite l'eau extraite de ce forage. Quand on connaît le caractère argileux et bouillant - du reste démontré par les éboulements pendant la foration - des arènes schisteuses desquelles sont tirées ces eaux, on peut se demander quelle espérance de vie accorder à cet ouvrage.

3.4.3.4.2. Les profils électriques

Bref rappel du principe :

Contrairement aux sondages électriques, le traîné électrique permet de faire des investigations dans le sens horizontal à une profondeur déterminée par la longueur du quadripôle AMNB. Dans la pratique, on déplace à la surface du sol l'ensemble du quadripôle dont l'écartement des électrodes reste fixe. Les résultats sont reportés sous forme de diagramme dans un repère arithmétique.

Le but premier assigné aux mesures du traîné électrique est la détermination, pour le point d'investigation choisi en fonction de l'écartement des électrodes, des différentes valeurs de la résistivité apparente ; il importe donc de choisir minutieusement cet écartement. Généralement, on prend une valeur du quadripôle AMNB, tel qu'on reste toujours sur la branche montante de la courbe de sondage électrique ; cette longueur est appelée "longueur de ligne sensible". Quelques sondages étalons sont indispensables pour une bonne conduite des traînés.

Pour notre part, les différentes campagnes géophysiques que nous avons initiées ou auxquelles nous avons pris part, nous ont permis de réaliser des profils de résistivités apparentes autant avec le quadripôle WENNER (AB = 180 m ; NM = 60 m ; Pas = 30 m) qu'avec le quadripôle SCHLUMBERGER (AB = 200 m ; MN = 10 m, Pas de 10 m).

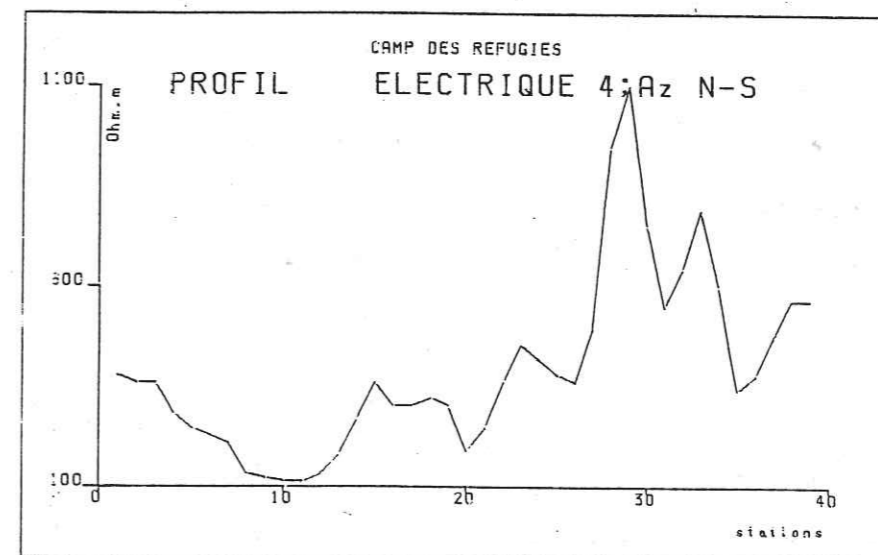
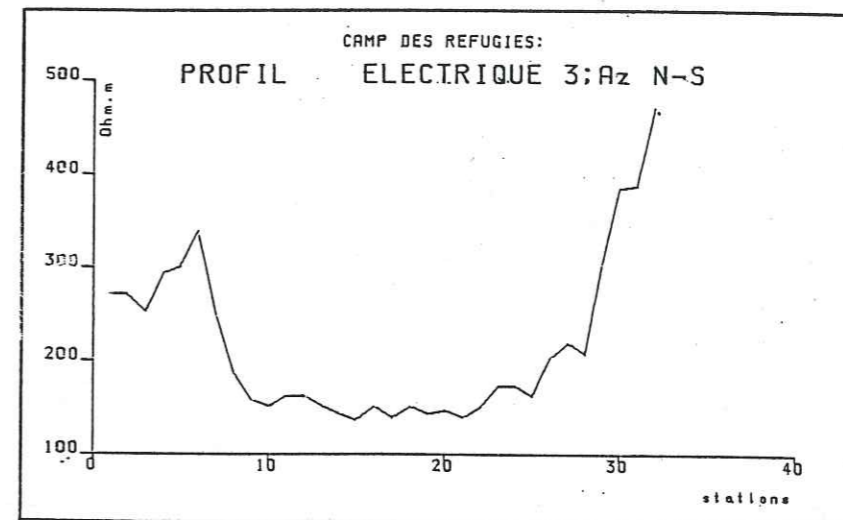
Allure générale des courbes :

Il n'y a pas de type standard de courbe de profil électrique d'autant plus que chaque mesure effectuée à une station la caractérise et seule la jonction des différents points donne l'allure générale du profil.

Profils de résistivités apparentes suivant le quadripôle WENNER :

Pendant nos travaux, les profils suivant cette disposition des électrodes étaient utilisés dans cinq cas spécifiques :

* Dans les zones où le réseau de fractures repérées sur images satellites et/ou sur photographies aériennes est extrêmement dense et donc susceptible d'être recoupé même par un pas aussi important : c'est le cas du camp des Réfugiés et de la partie Sud de la ville de POLI dont trois exemples sont donnés par la figure 3.46 ci-dessous.



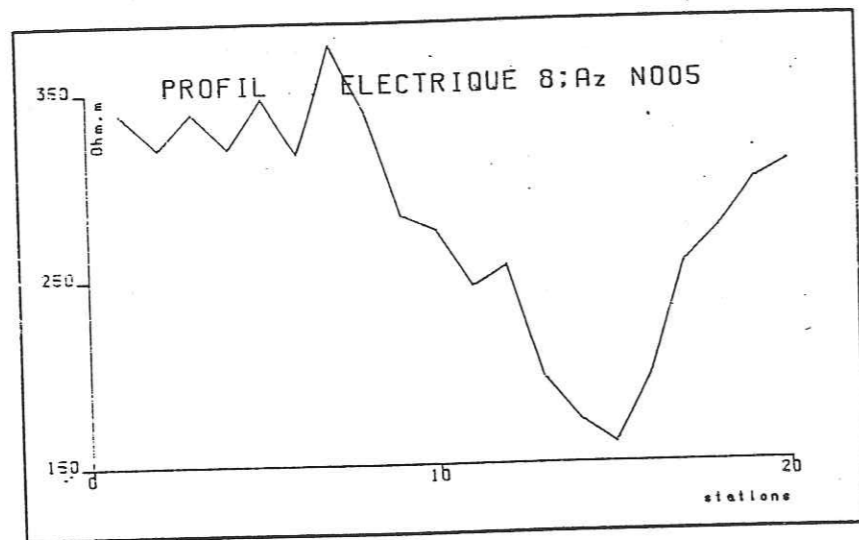


fig 3.46 : Trois aspects généraux des profils WENNER au Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO (AB = 180, MN = 60, pas = 30 m)

* Dans les zones où la simple observation géomorphologique permet déjà d'individualiser des failles et parfois même leur orientation dans l'espace (DJOUMTE, vallée des Rôniers, BOULKO). Dans ces conditions, le profil est tendu perpendiculairement aux axes faillés et le pas n'est resserré que vers les épontes de la discontinuité.

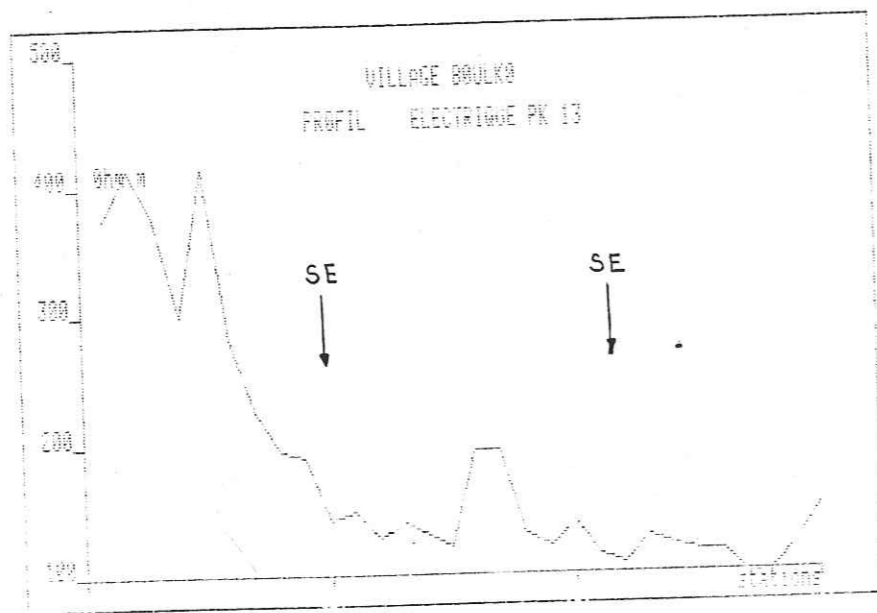


fig 3.47 : Profil électrique WENNER sur faille à BOULKO

* Dans les zones où les contacts pétrographiques sont difficiles à définir sur le terrain, du fait du degré d'altération des différentes unités géologiques. Ces cas ont été observés à MANGO-Village, dans la vallée des Rôniers et au Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO.

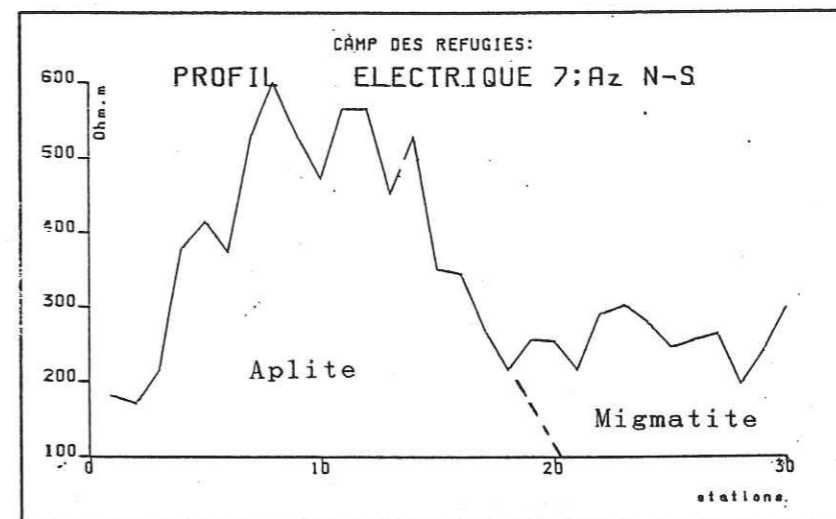


fig 3.48 : Profil WENNER sur filon aplitique résistant au Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO

* Dans les zones où un nombre très restreint (un ou deux) de forages appelés à être équipés de pompes manuelles à débit inférieur à 2 m³/h est demandé.

* Enfin, dans les zones où la pluviométrie est relativement forte et où la presque totalité des puits de grands diamètres ne tarissent jamais, même pendant les années qui ont été fichées comme ayant été les plus chaudes ; c'est le cas de la vallée des Rôniers et du village MANGO, tous deux pour les années 1982 et 1983. Ces localités bénéficient d'un environnement montagneux exceptionnel et les discontinuités sont bien alimentées.

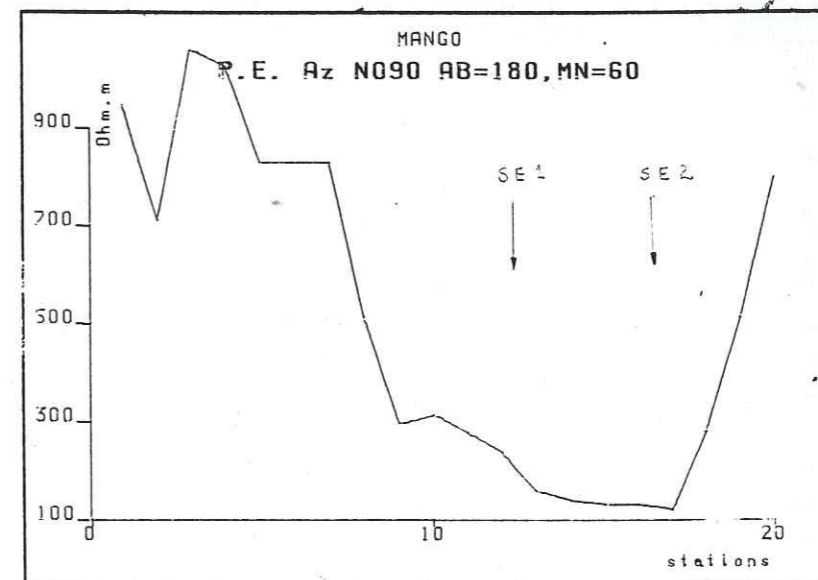


Fig 3.49 : Profil WENNER sur une discontinuité des quartzites de MANGO.

Dans tous les cas, des sondages électriques au droit des valeurs les plus basses des résistivités apparentes sont toujours nécessaires pour étalonner au mieux ces trainés. Le choix des deux sites demandés à l'équipe géophysique et leur hiérarchisation ne sont faits qu'après cette succession d'opérations.

Cependant, malgré cette démarche, certains sites à priori aisés et prospectés suivant le schéma général décrit ci-dessus, se sont révélés négatifs (débit inférieur à 600 l/h) à la foration ; c'est le cas du forage du village VOKO (rebaptisé GORMAYA) situé en rive droite du FARO sur des gneiss-migmatitiques voisins de ceux du Camp des Réfugiés Tchadiens qui, de leur côté, ont donné des résultats satisfaisants. C'est-à-dire que même fort des méthodes indirectes de détection des structures aquifères, le milieu cristallin reste un milieu anisotrope par excellence et chaque site représente un cas spécifique difficilement extrapolable et capable de réserver les surprises les plus désagréables.

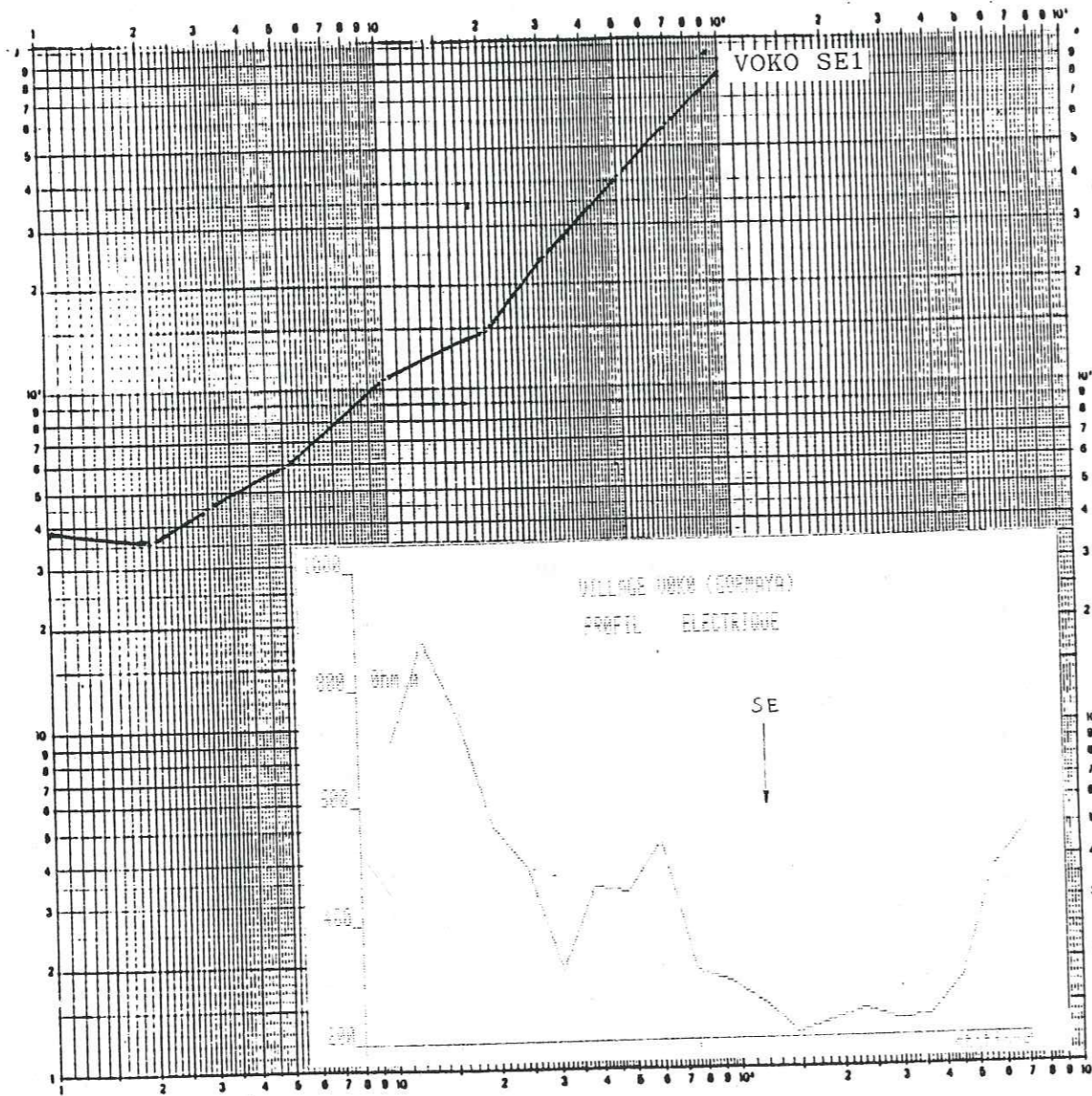


Fig 3.50 : Profil et sondage WENNER sur les gneiss-migmatitiques de VOKO.

D'autre part, quelques trainés WENNER nous ont permis d'individualiser des limites de faciès géologiques lorsque ceux-ci présentaient des valeurs très contrastées de résistivités apparentes ; c'est le cas du profil TS1 que nous avons réalisé dans la vallée des Rôniers, entre les Hossérés GODE au Nord et PAL au Sud. Ce profil montre un contraste très marqué entre les valeurs des résistivités du granite de GODE et celles des schistes s.s. ou des schistes intercallés dans les lames du granite orienté du Hosséré PAL.

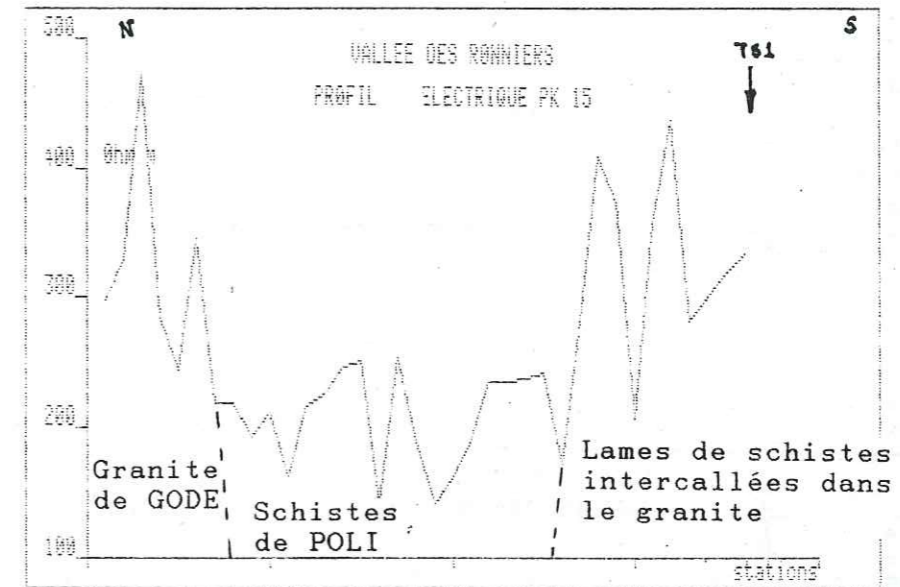


fig 3.51 : Profil TS1 montrant le contraste des résistivités apparentes de différents faciès pétrographiques.

Profils de résistivités apparentes suivant le quadripôle SCHLUMBERGER :

A l'inverse du quadripôle WENNER, le pas de mesure de ce quadripôle est de 10 m. Pour une même longueur de profil, ce quadripôle nécessite donc un temps trois fois plus long ; de plus, nous réalisons des trainés à répétition ce qui implique six fois plus de mesures par rapport au profil WENNER. Toutefois, le nombre important de mesures autant que le temps d'exécution plus long sont largement compensés par les informations plus précises que ce dispositif fournit. En effet, il permet, pour une orientation donnée du profil, de recouper et de visualiser sur le profil les effets de la quasi-totalité des discontinuités (méga et microfractures). Les cartes des résistivités apparentes qui suivent sont par conséquent plus fines et d'une qualité meilleure.

La précision autant que la finesse des résultats obtenus par ce dispositif, couplées au temps relativement plus long d'exécution, sont les raisons pour lesquelles nous les réservons pour "les cas les plus difficiles", c'est-à-dire pour les cas où :

* Les sondages électriques initiaux d'étalonnage montraient des épaisseurs d'altérites très infimes et où l'observation de terrain permet d'identifier par endroits des dômes de roches saines compactes (TCHOLLIRE, MBE...).

* Le dépouillement des résultats des trainés WENNER ne donnait pas des résultats convaincants permettant d'implanter avec une marge de confiance assez grande (GODE, ECOLE PRINCIPALE DE POLI). La figure 3.52 donne le profil SCHLUMBERGER obtenu à cette école ; le seul point bas remarquable du profil est situé entre les stations 9 et 15, ce qui signifie 60 m et qui correspond, en profil WENNER, à deux mesures. Cette anomalie, confirmée postérieurement par le sondage électrique réalisé en ce point et le forage de cette école qui débite 3,6 m³/h n'était pourtant pas passée inaperçue sur le profil WENNER, mais son effet y était très amorti du fait du très important pas de mesure.

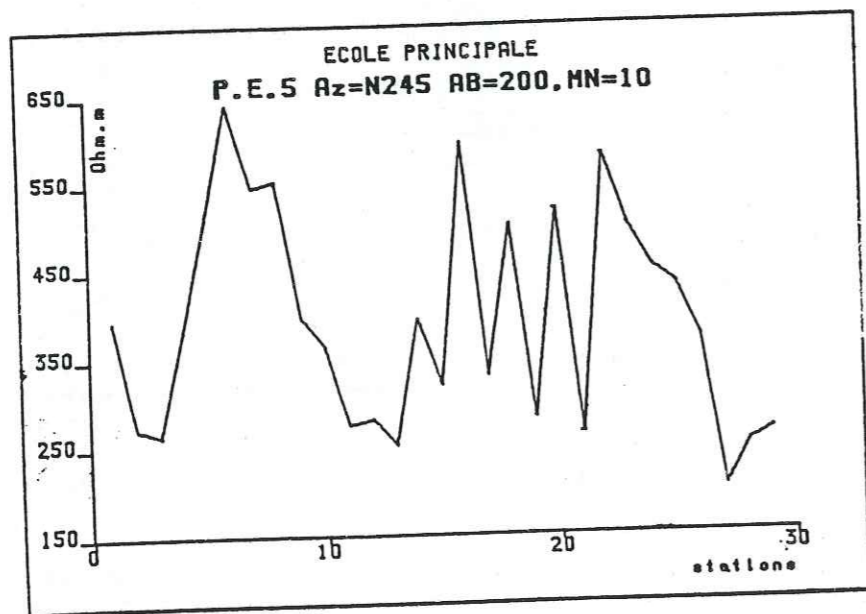


figure 3.52 : Profil SCHLUMBERGER montrant une discontinuité sur les schistes de POLI

* Les forages à forts débits sont demandés pour l'hydraulique urbaine. Dans ce cas, l'implantation de l'ouvrage sur une discontinuité majeure est impérative et capitale pour sa pérennité. C'est dans ce cadre que les villes de TCHOLLIRE, MBE, NGAOUNDAL, POLI, MERI et BOURRHA ont bénéficié d'une attention géophysique toute particulière.

Nous avons mentionné plus haut que, pour la réalisation des profils de trainé électriques, on choisissait l'écartement des électrodes du quadripôle, de telle sorte que l'on reste toujours sur la branche montante du sondage électrique ; cette branche montante représentant les valeurs des résistivités apparentes du bed-rock, l'étude horizontale des variations de cette résistivité peut donc être assimilée à l'étude, dans le même sens, des variations du niveau du socle. Les résultats sont donnés sous forme de cartes de résistivités apparentes qui sont donc assimilables à des cartes de variation du toit du socle.

3.4.3.4.3. Les cartes de résistivités apparentes ou cartes de variations du toit du socle

Pour les six localités citées ci-dessus, le problème posé est celui de l'hydraulique urbaine, à savoir réaliser des forages pour une adduction d'eau. Le suivi technique et financier du réseau de canalisations appelé à drainer l'eau jusqu'au château de stockage, couplé aux considérations chimiques, imposent une réduction notable du nombre de forages à exécuter tout en maximisant les débits d'exhaure. Il importe donc de réaliser une étude fine et synthétique des possibilités en eau de toute la zone prospectée. Cette synthèse passe inévitablement par l'établissement de cartes de résistivités apparentes permettant d'avoir une vue synoptique de l'ensemble des zones aquifères ponctuelles, ainsi que de leurs axes respectifs d'alimentation et/ou de drainage.

Pour illustrer les différents aspects de la carte de résistivités apparentes et les résultats qui en ont été tirés, nous présentons les cas de trois localités : TCHOLLIRE-ville, POLI-ville et le Camp des Réfugiés Tchadiens (zones A et C).

TCHOLLIRE

La localité est occupée par trois types de faciès géologiques : les schistes, les gneiss et les grés. Les contacts entre les différents faciès sont anormaux.

L'étude stéréoscopique des photos aériennes au 1/50 000 nous permet de noter que près de 54 % des fractures sont réparties dans les directions N 170-180 ; N 30-40 et N 60-70 (fig 3.53).

Les valeurs des résistivités apparentes autant que les courbes d'isorésistivités et les axes conducteurs qui en sont déduits sont donnés par la figure 3.54. L'étude de l'orientation spatiale des sept axes conducteurs individualisés montre qu'ils ont tous des tracés qui oscillent dans la fourchette directionnelle N 40-80.

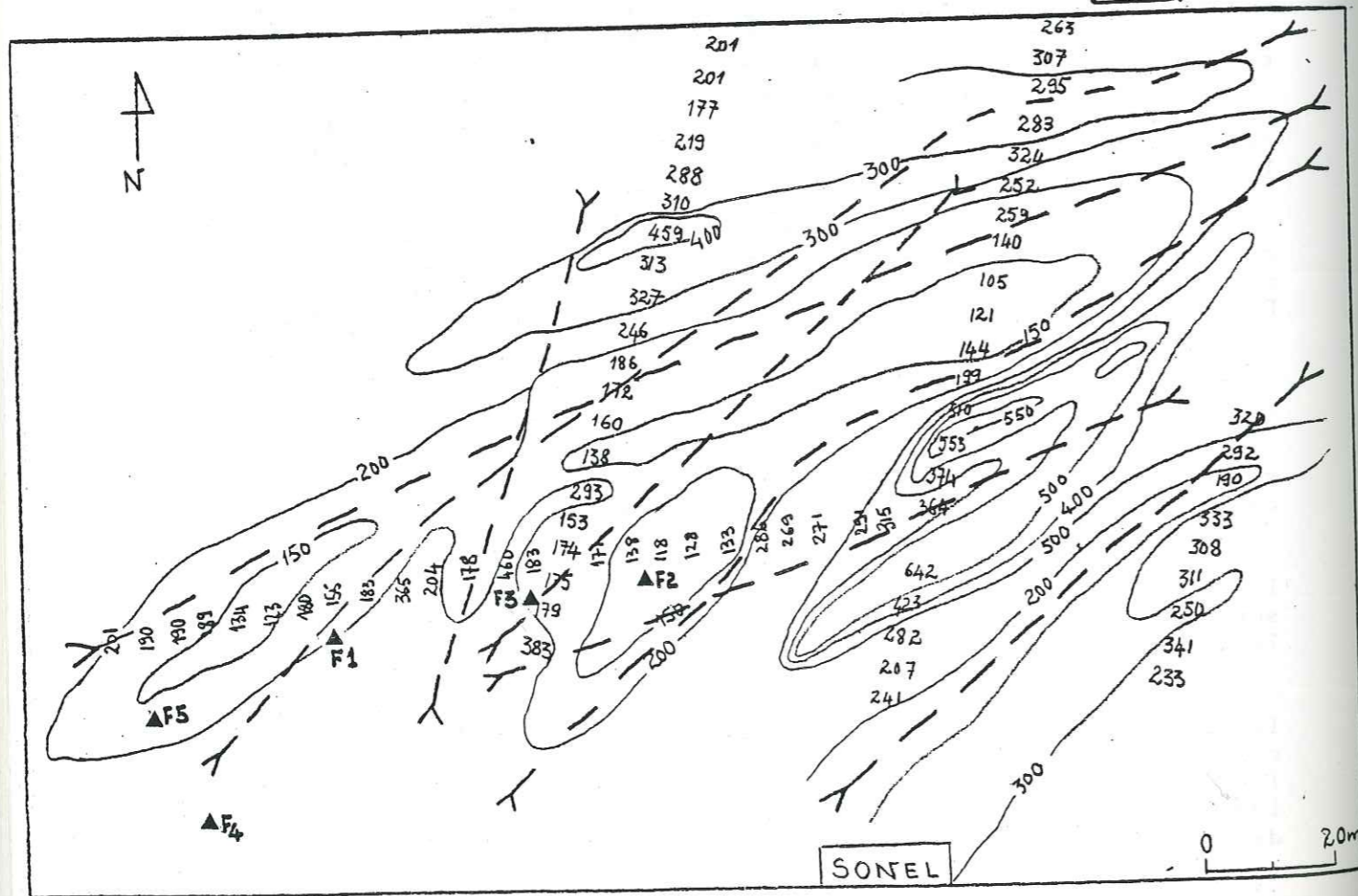
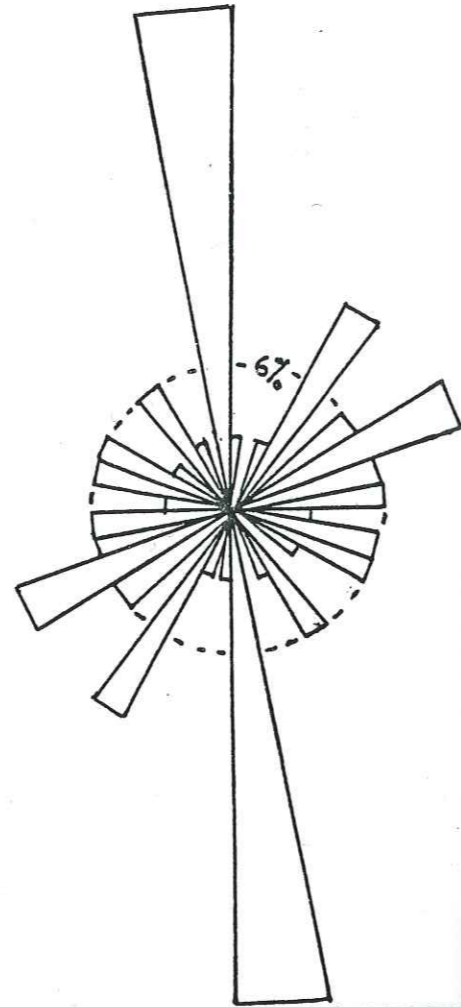
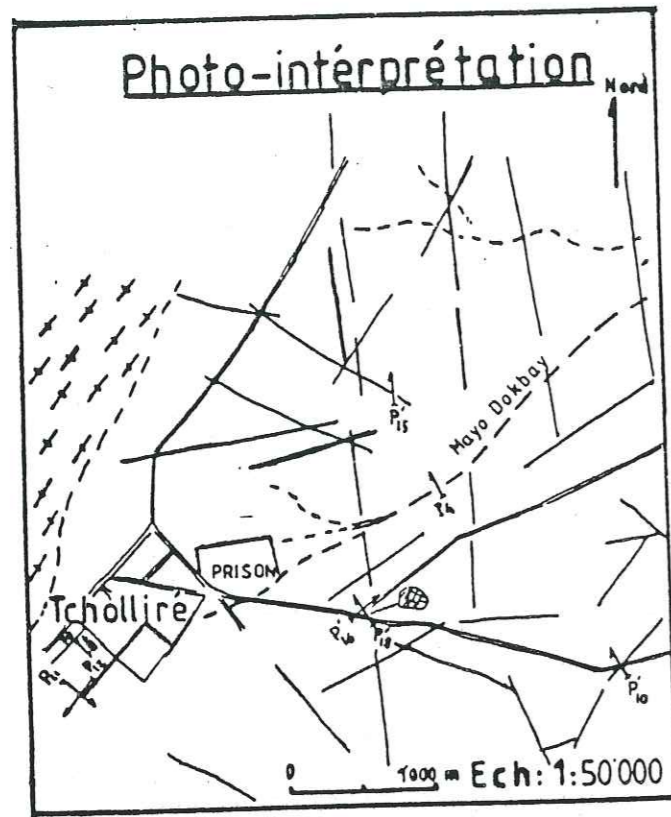


fig 3.54 : TCHOLLIRE : Photofractures, rosace et carte des axes conducteurs

FIGURES COMMUNS A TOUTES LES CARTES

- ⊙ ☆ Puits
- ▲ △ Forages
- Implantations proposées
- Sondage électrique
- Profil électrique et son sens
- ⎵ 600 ⎶ Courbe d'isorésistivité apparente
- Y - - - Y Axe conducteur
- ⎓ G ⎓ Bâtiment, Gendarmerie
- ⎓ ⎓ Pont ou radier
- ⎓ ⎓ Rivières ou cours d'eau saisonnier
- ⎓ ⎓ Routes et pistes

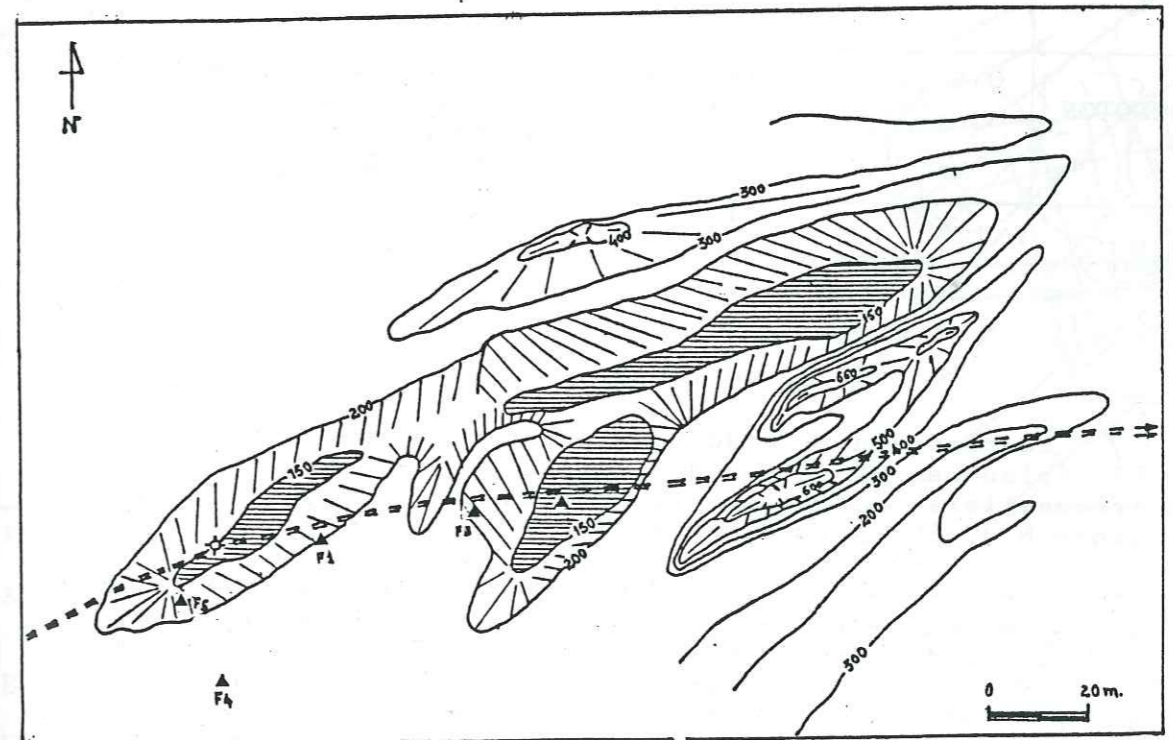


fig 3.55 : Situation géographique des forages de la ville de TCHOLLIRE par rapport aux poches d'eau

Ces axes conducteurs ont donc des directions beaucoup plus proches de celles des fractures orientées N 30-40 et N 60-70. Ces fractures sont moins nombreuses que celles de la direction N 170-180, mais semblent être plus pénétrantes. Elles induisent, au niveau du bed-rock et des arènes qui le surmontent, des propriétés hydrauliques particulièrement intéressantes qu'il convient de localiser avec précision pour l'implantation des forages (fig 3.55). D'ailleurs, les valeurs des débits obtenus aux différents forages déjà exécutés (tableau 1) sur ce site permettent de mieux comprendre la nécessité de rechercher impérativement les axes conducteurs ou au mieux la zone de croisement de deux (ou plusieurs) axes.

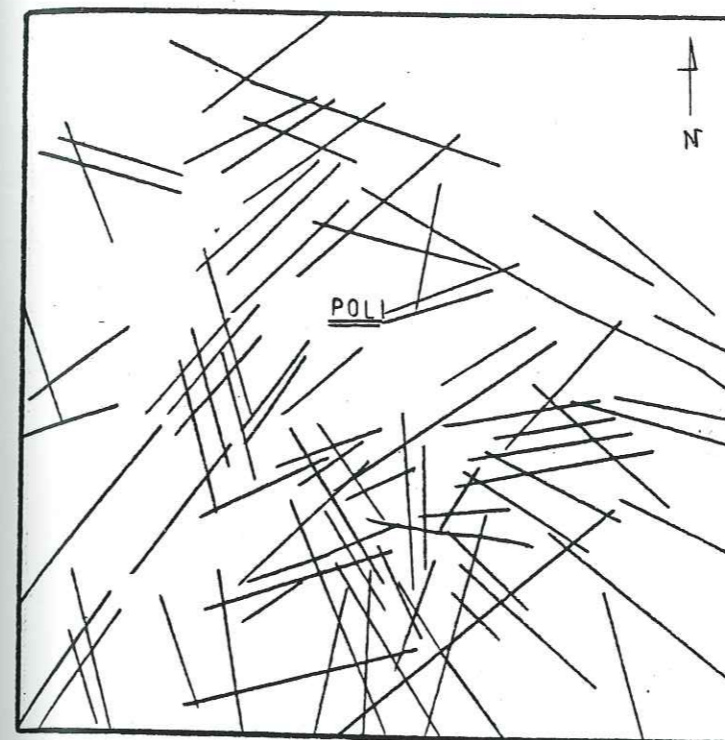
| FORAGE | Q m ³ /h | LOCALISATION | OBSERVATIONS |
|-----------------|------------------------|---------------------------------|---|
| F1 SODECOTON | 6 | axe conducteur | L'anomalie est longue et traverse la "poche d'eau" |
| F2 (S.E.E.) | 3 | creux du socle | |
| F3 (ARLAB) | 9 | axe conducteur | L'anomalie recoupe un "creux" du socle |
| F4 | 2 | - | Situé en dehors de la zone couverte par les courbes d'isorésistivités |
| F5 SODECOTON | 0.8 | zone de remontée seuil du socle | Situé entre 2 anomalies mais dans la zone frontale de la poche d'eau |

Tableau 3.10_b : Débits des forages de TCHOLLIRE en fonction de leur implantation

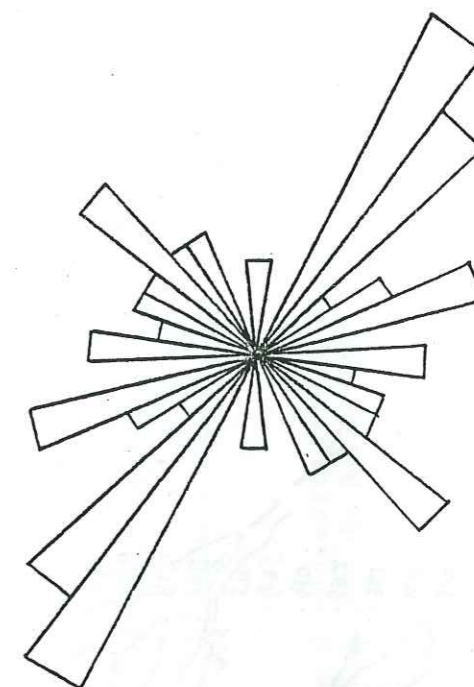
POLI-ville

La rosace de l'étude de la fracturation des environs de POLI (planches A et B de la figure 3.56) montre que les pics fréquentiels les plus importants sont relevés dans les directions N 30-50, N 70-80 et N 90-100.

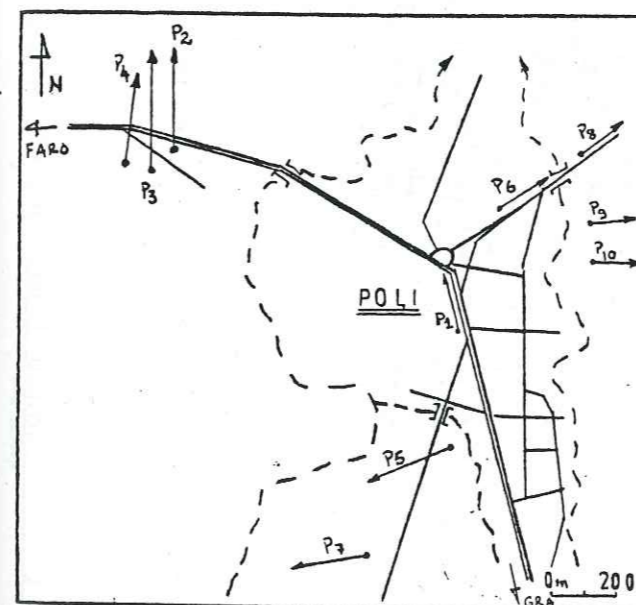
L'étude des cartes des résistivités apparentes et des axes d'anomalies qui en sont déduits, montre que quelle que soit la zone considérée (POLI-NORD OUEST ; POLI NORD-EST ou POLI SUD), ces axes d'anomalies ont les mêmes directions que les fractures qui affectent le matériel géologique et qui ont été repérées sur les photos aériennes. Dans les trois cas présentés, les courbes d'isorésistivités s'allongent toujours suivant la (ou les) direction d'orientation du maximum des fractures.



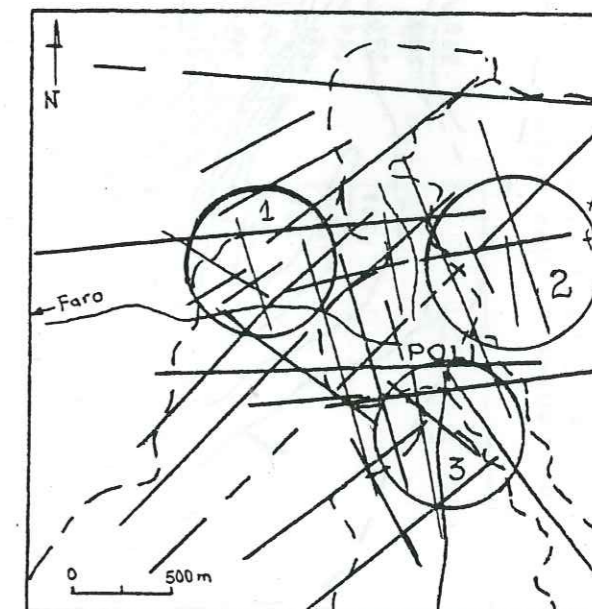
A



B



C



D

fig 3.56 : POLI

A : Carte de fracturation des environs de POLI (photo n° 307 ; 1/50 000)

B : Rosace de distribution des fractures des environs de POLI

C : Plan de situation des profils de résistivités apparentes

D : Plan de localisation des cartes de résistivités apparentes

1 - POLI NORD-OUEST : BAKDONKO

2 - POLI NORD-EST : Qt RESIDENTIELS

3 - POLI SUD : ECOLE PRINCIPALE ET SAR

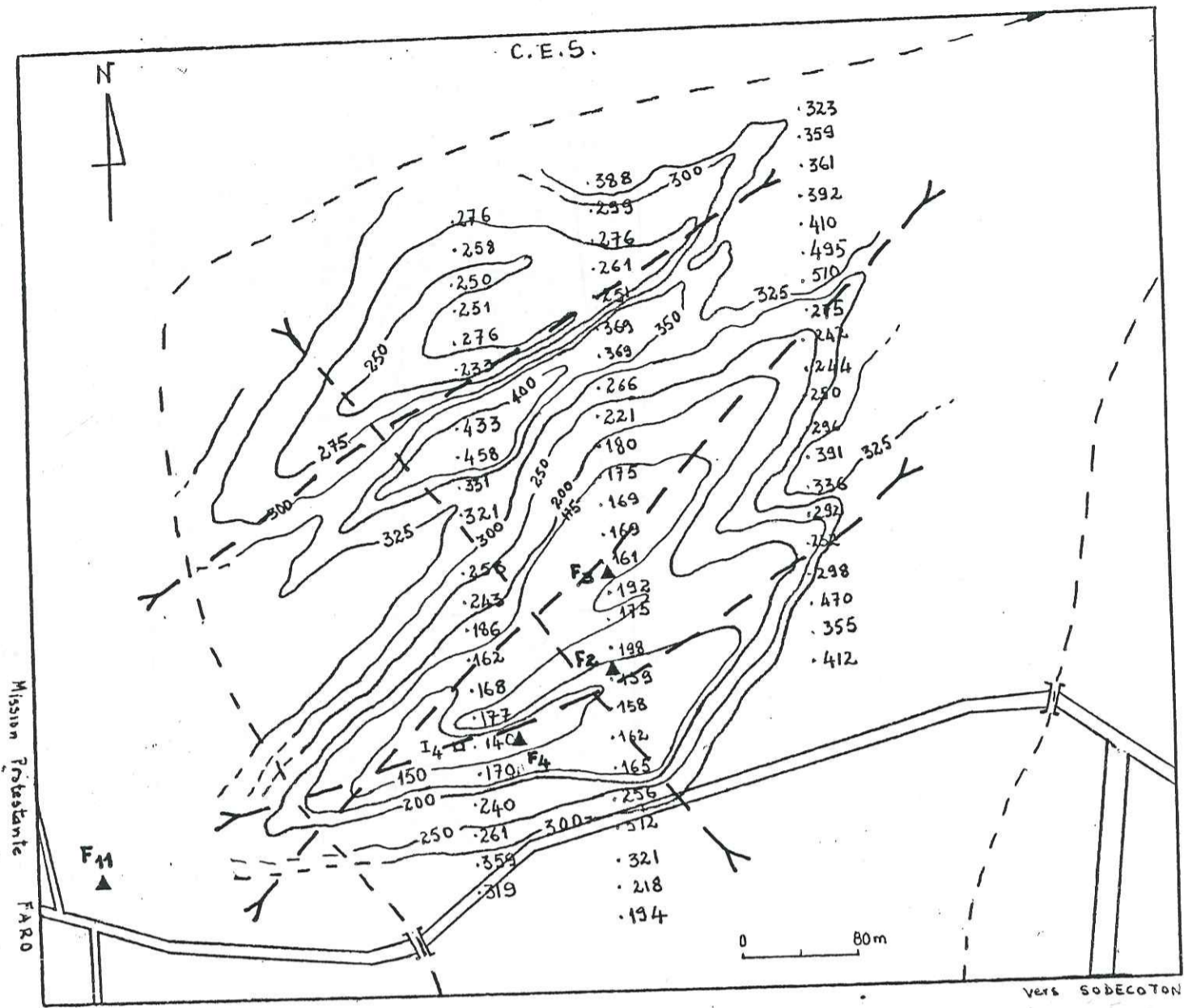


fig 3.57 : Carte des résistivités apparentes et des axes conducteurs du NW de POLI : BAKDONKO

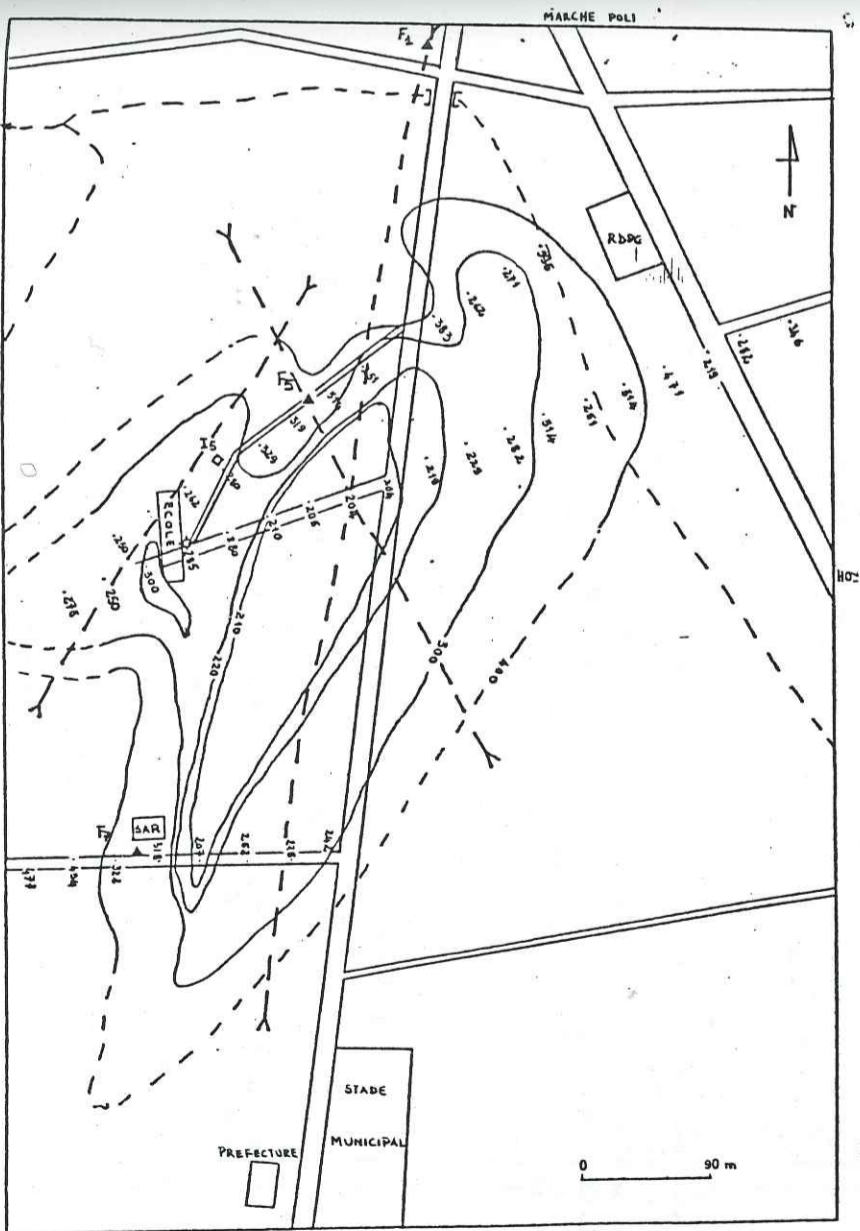


fig 3.59 : Carte d'isoresistivités apparentes et des axes conducteurs du Sud de POLI : Ecole Principale et SAR

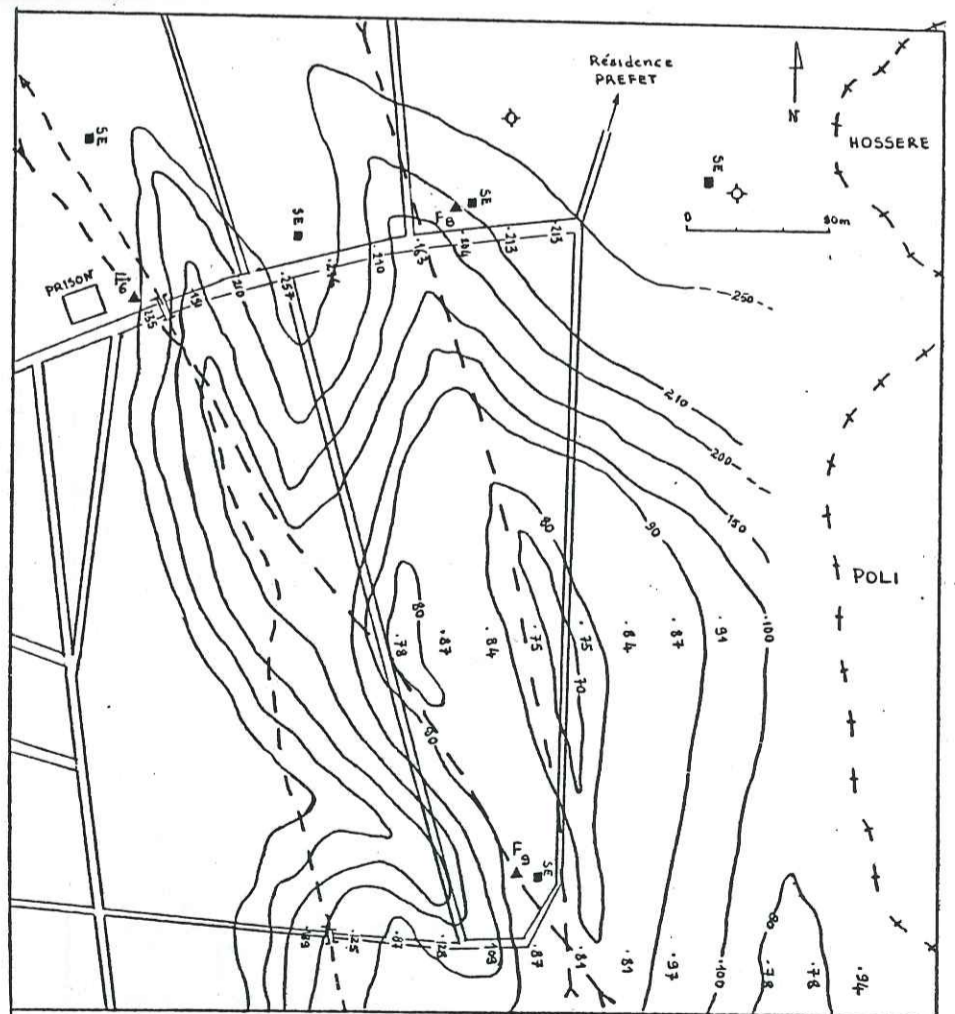


fig 3.58 : Carte d'isoresistivités apparentes et des axes conducteurs du NE de POLI : Qt Résidentiels 1 et 2

A l'échelle de l'affleurement qui est celle à laquelle sont effectuées les études géophysiques, on retrouve donc les directions principales des fractures repérées sur les photographies aériennes au 1/50 000.

La productivité hydraulique des forages implantés est étroitement liée à la position de ceux-ci par rapport aux axes conducteurs. Le tableau ci-dessous résume ces aspects (fig 3.57, 3.58 et 3.59).

| ZONE | N° FORAGE | ENTREPRISE | Q m ³ /h | DAC (m) | OBSERVATIONS |
|------------------------------|-----------|----------------|---------------------|---------|---|
| POLI NW BADDONKO | F2 | P.E.S. | 6 | 0 | Les débits des forages F3 et F4 ont été estimés à l'air lift. |
| | F3 | P.E.S.+GEOTEST | 15 | 0 | |
| | F4 | P.E.S.+GEOTEST | 20 | 0 | |
| | F11 | P.E.S. | - | 15 | |
| POLI NE (Qt RESIDENTIELS) | F6 | ARLAB | 9 | 0 | |
| | F8 | P.E.S. | 2.7 | 30 | |
| | F9 | P.E.S. | 13.5 | 0 | |
| POLI SUD | F1 | ARLAB | 4.5 | 0 | |
| | F5 | P.E.S. | 3.6 | 5 | |
| | F7 | P.E.S. | 0.7 | 90 | |

TABLEAU 3.11 : Débits des forages de POLI en fonction de leur distance à un axe conducteur déduit de l'interprétation des cartes d'isorésistivité. (D.A.C. Distance par rapport à l'axe conducteur le plus proche)

Bien que les débits des forages F3 et F4 soient surestimés du fait de l'imprécision de la méthode d'estimation utilisée, les données du tableau permettent de conclure que les ouvrages proches ou implantés sur des axes conducteurs induits par les failles, sont en moyenne largement supérieures à ceux des autres ouvrages.

CONCLUSION :

Les courbes d'isorésistivité, assimilées aux courbes isohypses, permettent, après interprétation et détermination des axes conducteurs, d'implanter judicieusement les forages et d'obtenir de gros débits sans qu'il faille obligatoirement rechercher les points bas topographiques ou aller le plus près possible des mayos.

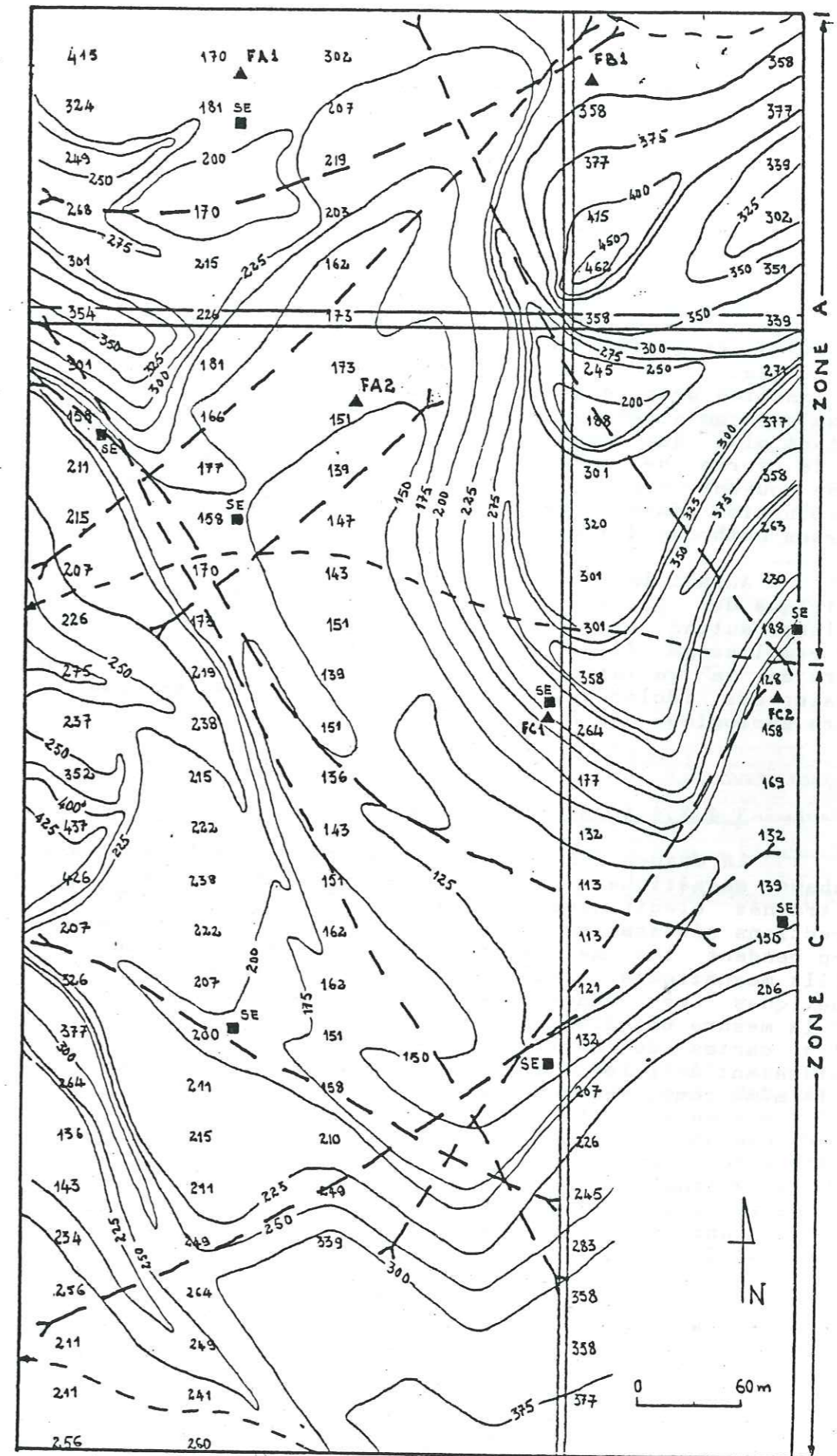


fig 3.60 : Carte d'isorésistivités et des axes conducteurs des zones A et C du Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO

Dans certains cas, ces axes peuvent coïncider avec des zones géomorphologiquement favorables ; c'est du reste ce qui a été observé dans les zones B et C du Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO où les forages FB2, FC1 et FC2 ont été implantés et réalisés (figure 3.60). Dans d'autres cas, ils intersectent le tracé des cours d'eau ou des thalwegs (forage FB1, figure 3.60) ; l'association de ces deux structures est judicieuse et a donné, pour ce forage FB1, un débit de 5.6 m³/h.

Tous les exemples que nous avons présentés contribuent à montrer l'influence hydraulique des discontinuités géologiques et structurales sur la productivité des ouvrages de captage des eaux souterraines. La détermination précise de ces discontinuités et des axes conducteurs qu'elles induisent est capitale, mais complexe, d'autant plus que dans la nature, ils ne se manifestent pas sous la forme de structures linéaires rectilignes, comme le laisse souvent croire leur tracé en plan sur papier. Cette détermination passe par l'intégration des résultats de diverses méthodes d'approche.

Autant la photointerprétation et la méthode électrique des résistivités sont aptes à détecter les zones faillées, autant elles sont incapables de préciser la nature d'un remplissage filonien. La méthode magnétique, par la mesure de la variation du champ magnétique, permet, dans certains cas (dolérites, amphibolites...), de préciser la nature géologique des filons.

3.4.3.4.4. Le magnétisme

La mesure des valeurs de la composante horizontale H du champ magnétique suivant des lignes en général parallèles aux trainés électriques nous ont permis d'établir, après les corrections nécessaires dues aux variations instantanées du champ pendant les mesures et aux orages magnétiques, des profils magnétiques, mais aussi et surtout des cartes magnétiques. Ces données ont été d'un apport très appréciable dans la mesure où elles ont permis d'éliminer, sur les profils et les cartes de résistivités apparentes, des zones qui paraissaient a priori intéressantes et bien sûr de préciser, par le même coup, les zones les plus favorables (fig 3.61).

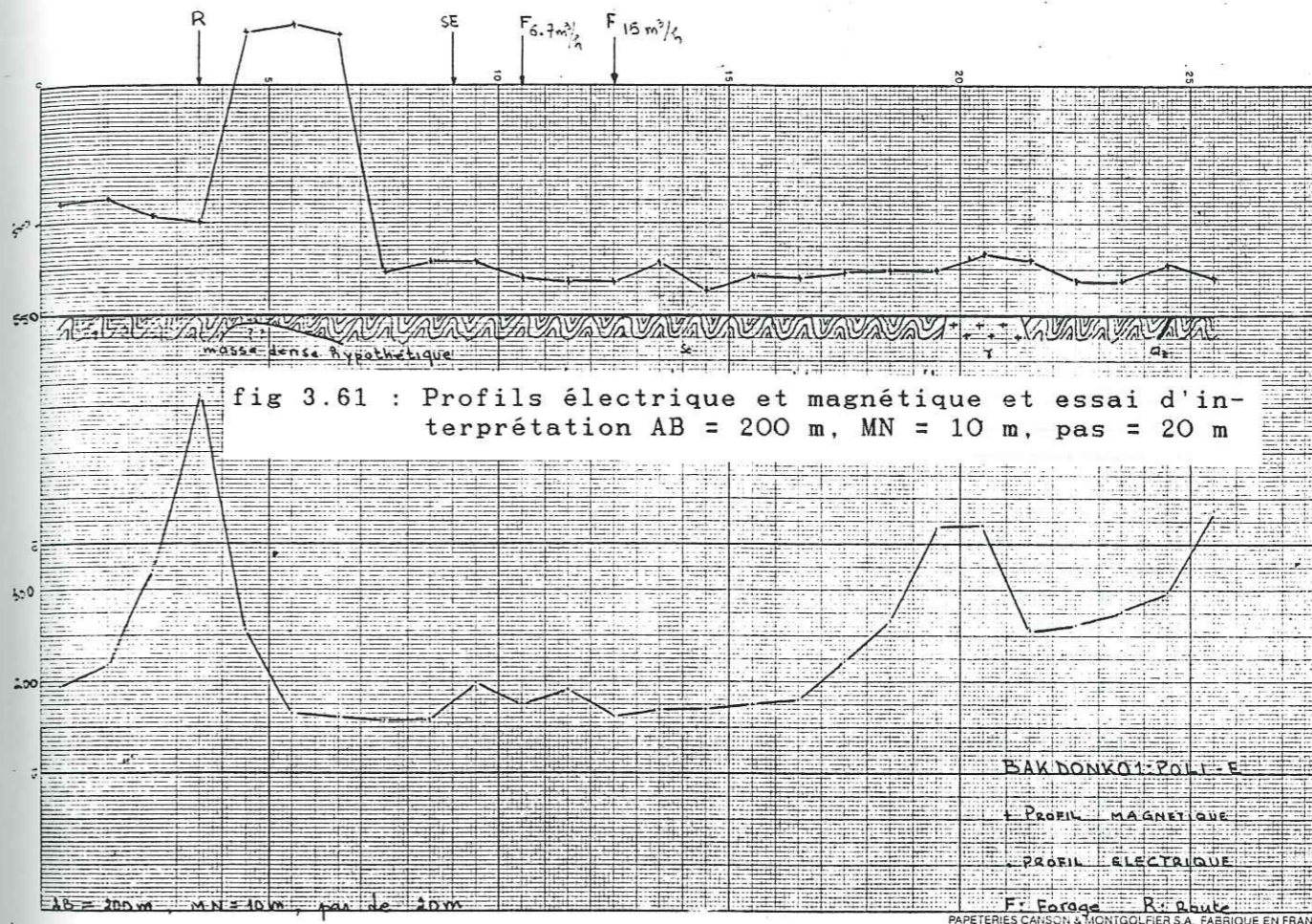


fig 3.61 : Profils électrique et magnétique et essai d'interprétation AB = 200 m, MN = 10 m, pas = 20 m

Pendant nos travaux, nous n'avons fait aucune implantation de forage sur la seule base des données magnétiques, d'autant plus que les profils obtenus étaient parfois très monotones. Par contre, la vallée des Rôniers qui a été prospectée grâce à cette méthode géophysique a donné des profils à valeurs plus contrastées. Nous y avons réalisé, suivant des profils N-S, 13 profils ; tous les profils sont espacés de 2 km les uns des autres. La figure 3.62 donne trois exemples de profils magnétiques obtenus dans cette vallée.

Cette méthode magnétique présente toutefois l'inconvénient de n'être applicable que dans les régions relativement dépourvues d'objets métalliques (tôles, voitures, boîtes de conserve, conduites en fonte...) ou très loin des fils électriques. Ces deux aspects ont constitué, pendant nos travaux, un frein à son utilisation sur tous les sites prospectés par la méthode électrique des résistivités.

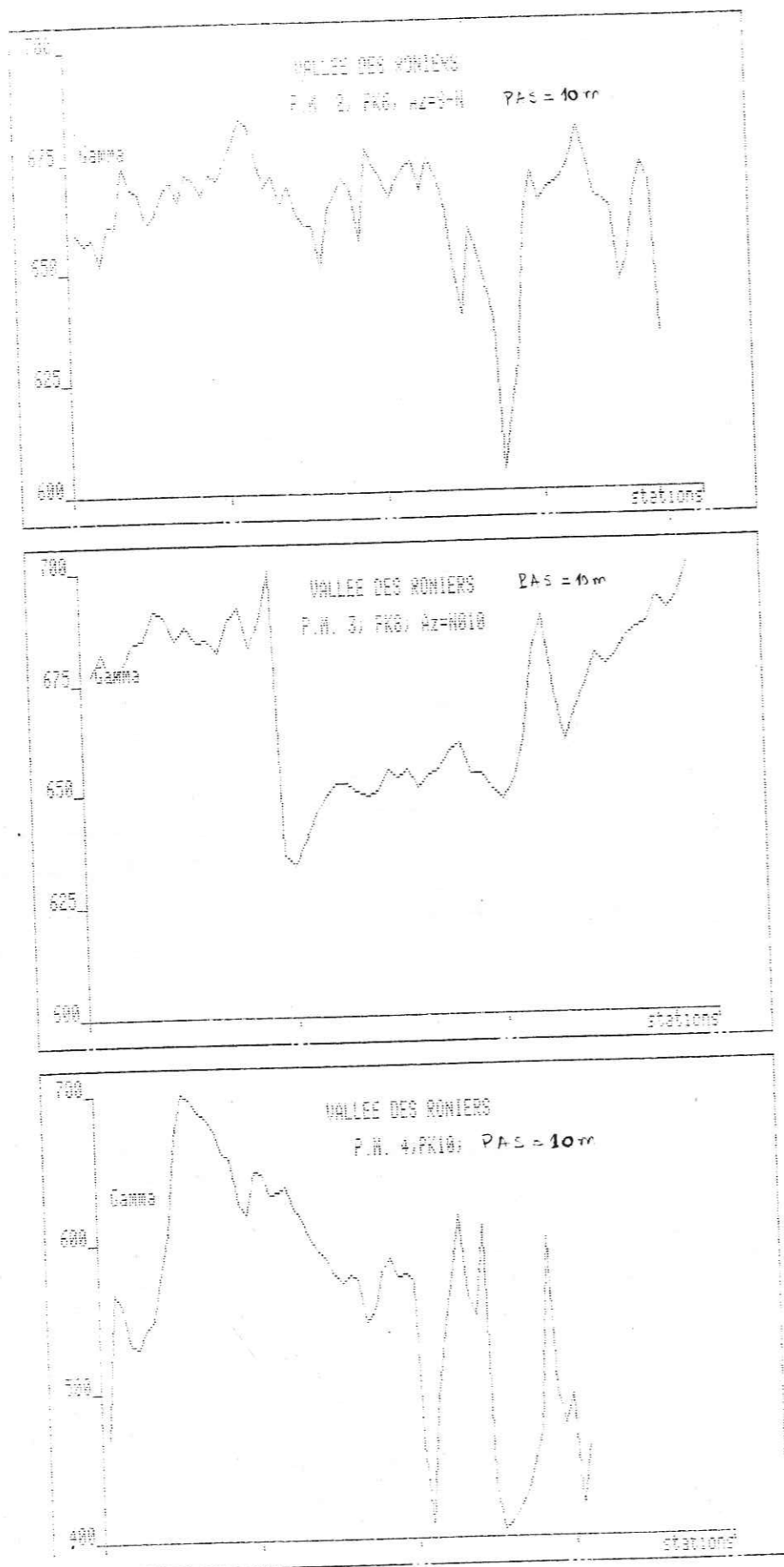


fig 3.62 : Trois aspects des profils magnétiques obtenus dans la vallée des Rôniers
 PAS = 10 m PAS = 10 m PAS = 10 m

3.4.4. CONCLUSIONS SUR LES METHODES GEOPHYSIQUES D'IMPLANTATION

A partir des résultats de tous les exemples présentés, il ressort que la géophysique, par le biais de la méthode électrique des résistivités - et dans une moindre mesure le magnétisme - a permis d'obtenir de très bons résultats sur le socle cristallin Nord-Camerounais.

Malgré l'inaptitude des sondages électriques à la détermination précise de tous les horizons du profil d'altération et de leurs profondeurs relatives, ils restent la méthode indirecte présentant la meilleure fiabilité pour des investigations verticales à partir de la surface du sol. Cette fiabilité serait considérablement accrue si géophysiciens et foreurs s'accordent sur ce qu'il conviendrait d'appeler le "socle".

Les profils électriques, pour leur part, ont une fiabilité certaine pour des investigations horizontales. Suivant l'ampleur du problème posé, on peut utiliser l'une ou l'autre (WENNER ou SCHLUMBERGER) variante des trainés. En effet, alors que le trainé WENNER a un pas de mesure plus grand et permet de débrouiller rapidement les sites, le trainé SCHLUMBERGER est plus précis, mais plus long et devrait être réservé aux cas difficiles. Dans tous les cas, quel que soit le quadripôle choisi, les résultats hydrogéologiques obtenus sur les sites prospectés par trainés justifient largement la confiance qui leur est accordée par les différentes équipes.

Les cartes de résistivités apparentes, quant à elles, réalisent la synthèse de toutes ces données. Leur interprétation ainsi que la détermination des axes conducteurs permet d'accroître considérablement le pourcentage de succès, mais aussi et surtout la productivité hydraulique de l'ouvrage que l'on implante.

Toutefois, lorsque l'axe conducteur est individualisé, on est souvent confronté au crucial problème de la distance axe conducteur - forage à adopter pour une maximisation du débit de l'ouvrage. Bien que les forages réalisés à POLI (tableau 3.11) nous enseignent que le débit des ouvrages décroît avec l'augmentation de la distance axe conducteur - forage, ceux de TCHOLLIRE (tableau 3.10) sont beaucoup plus complexes à expliquer. En effet, le faible débit (0.8 m³/h) du forage F5 situé pourtant à la partie frontale d'une poche d'eau est difficile à expliquer autant que le "modeste" débit du forage F2 (3 m³/h) foncé à l'aplomb même d'une poche d'eau. Le problème reste donc entier quant à la détermination d'une distance critique forage-axe conducteur à considérer pour le choix final du point de foration. La détermination de cette distance est d'autant plus difficile que, comme le dit A.N. SAVADOGO (1984), "la complexité du problème traité résulte de l'hétérogénéité et surtout de l'anisotropie des divers milieux et plus spécialement du milieu fissuré".

Pour conclure, nous dirons que, malgré ces quelques cas d'indéterminations - qui du reste le sont toujours pour toutes les autres méthodes directes ou indirectes d'implantation - la méthode électrique des résistivités reste la méthode de reconnaissance par excellence. Couplé à la photointerprétation, elle contribue de façon très efficace à réduire considérablement les taux d'échecs des forages autant qu'à augmenter les chances d'obtention des grands débits sur le socle cristallin Nord-Camerounais.

3.5. ASPECTS GEOMORPHOLOGIQUES DES AQUIFERES NORD-CAMEROUNAIS

Au Nord-Cameroun et dans le cadre de l'hydraulique villageoise, l'optique actuelle est de vouloir équiper tous les villages de forages à faibles débits situés dans un rayon maximum de 800 m du centre des villages. Cet aspect est notifié dans toutes les conventions relatives aux différents programmes d'hydraulique lancés par le gouvernement Camerounais et justifie certainement l'installation généralisée des pompes à faible débit (1,5 m³/h) sur tous les forages, quel que soit le débit obtenu à l'essai.

Dans ces conditions et pour cet objectif, les ressources en eau de la couche d'altération sont généralement suffisantes et ces ouvrages peuvent, dans la plupart des cas, être implantés uniquement suivant des critères géomorphologiques sans que le taux de succès soit fondamentalement plus bas.

Ces critères géomorphologiques d'implantation des ouvrages étant utilisés par la presque totalité des entreprises oeuvrant pour l'alimentation en eau des villes et villages du Nord du pays, il convient de dire deux mots sur ceux-ci. Nous nous attacherons exclusivement aux caractéristiques morphologiques des deux aquifères individualisés lors de l'étude géostatistique du chapitre 4.1., à savoir :

- * l'aquifère superficiel qui est justement lié à la géomorphologie externe,
- * les aquifères profonds liés au modelé du bed-rock.

3.5.1. L'AQUIFERE SUPERIEUR

Tous les puits et un bon nombre de forages réalisés autant dans le secteur de POLI qu'à travers le Nord-Cameroun exploitent cet aquifère. Il est localisé dans les arènes grenues ou schisteuses issues de l'altération des roches du socle. L'étude hydro-statistique que nous avons menée sur 272 forages a montré que les venues d'eau de cet aquifère sont, en général, observées à partir de 8-10 m de profondeur. La géométrie de la nappe autant que la position du niveau piézométrique dépendent étroitement de la morphologie externe. En fonction du mode de gisement de ces nappes, B. TILLEMENT (1966) distingue cinq types différents :

- * la nappe d'arène "in situ",
- * la nappe mixte alluvio-arénacée,
- * la nappe purement alluvionnaire (underflow),
- * la nappe d'arène du pied d'inselberg,
- * la nappe d'éboulis.

Pour notre part, bien qu'aucun de tous les ouvrages que nous avons positionnés au Nord-Cameroun n'intéresse cette nappe, des observations ponctuelles, réalisées sur divers sites permettent de cerner leur mode de gisement et parfois leur mode d'alimentation.

Pour illustrer ces aspects, nous présentons, parmi les nombreux sites prospectés, le cas de quatre zones : le village de DJOUMTE, la vaste zone cuirassée des environs de TSORKE, la vallée des Rôniers et enfin le Hosséré POLI.

DJOUMTE

Comme nous l'avons dit plus haut en traitant des différents aspects des failles sur les courbes de sondage électrique, le village de DJOUMTE est situé au Sud d'un imposant massif granitique panafricain qui porte le même nom. Ce massif est nettement intrusif dans les formations encaissantes mais cette discordance n'est pas observable à la base du massif occupée par de gros blocs de tailles variées et issues de la dislocation de l'ensemble rocheux.

Les deux grands ensembles constituant l'unité morphologique appelée massif de DJOUMTE sont séparés par une importante faille approximativement N - S repérable dans la vallée par le thalweg qu'elle génère.

A la base de ces deux unités, des sources semblables à celles de la Mission Catholique de FIGNOLE ou voisines de celles décrites par B. TILLEMENT (1966) à l'Ouest de GUIDER et rangées dans la catégorie des nappes d'éboulis, sont présentes mais n'ont pas des débits pérennes. Ces points d'eau ne fonctionnent que pendant la saison des pluies et tarissent complètement pendant la saison sèche (Janvier -Avril), au moment où la population a le plus besoin d'eux.

A notre passage en Mars 1986, le village (autant que le bétail) était ravitaillé en eau par deux modestes ouvrages à capacités et potabilité médiocres. Il s'agit d'un puits de grand diamètre foncé jadis par le Génie Rural et situé à l'Est de l'Ecole et d'un puisard foncé dans les altérites de la vallée, à environ 400 m du puits.

Ces deux ouvrages, de profondeurs modestes (22 m pour le puits et 4,5 m environ pour le puisard) captent la nappe liée aux altérites et à la très résistante cuirasse qui les surmonte. Cette nappe est alimentée d'une part par le mouvement par descensus des eaux à travers et au contact du massif et de la faille et, d'autre part, par les eaux torrentielles de ruissellement qui dévalent les pentes abruptes du massif. Il va sans dire qu'une bonne partie des produits solides charriés par ces eaux sur les flancs des massifs et à la base de celui-ci est drainée dans ces deux points d'eau. De plus, le puisard est situé en aval d'une zone marécageuse (sol à pseudogley) entretenant en permanence une certaine quantité d'eau stagnante. Cette zone boueuse est fréquemment utilisée par les bergers et leurs troupeaux. L'aspect pollué et la potabilité douteuse des eaux de ces deux ouvrages peuvent être établis, directement sur le terrain, par la simple observation de la couleur et des débris contenus dans l'eau et un rapide test portant sur l'odeur de celle-ci.

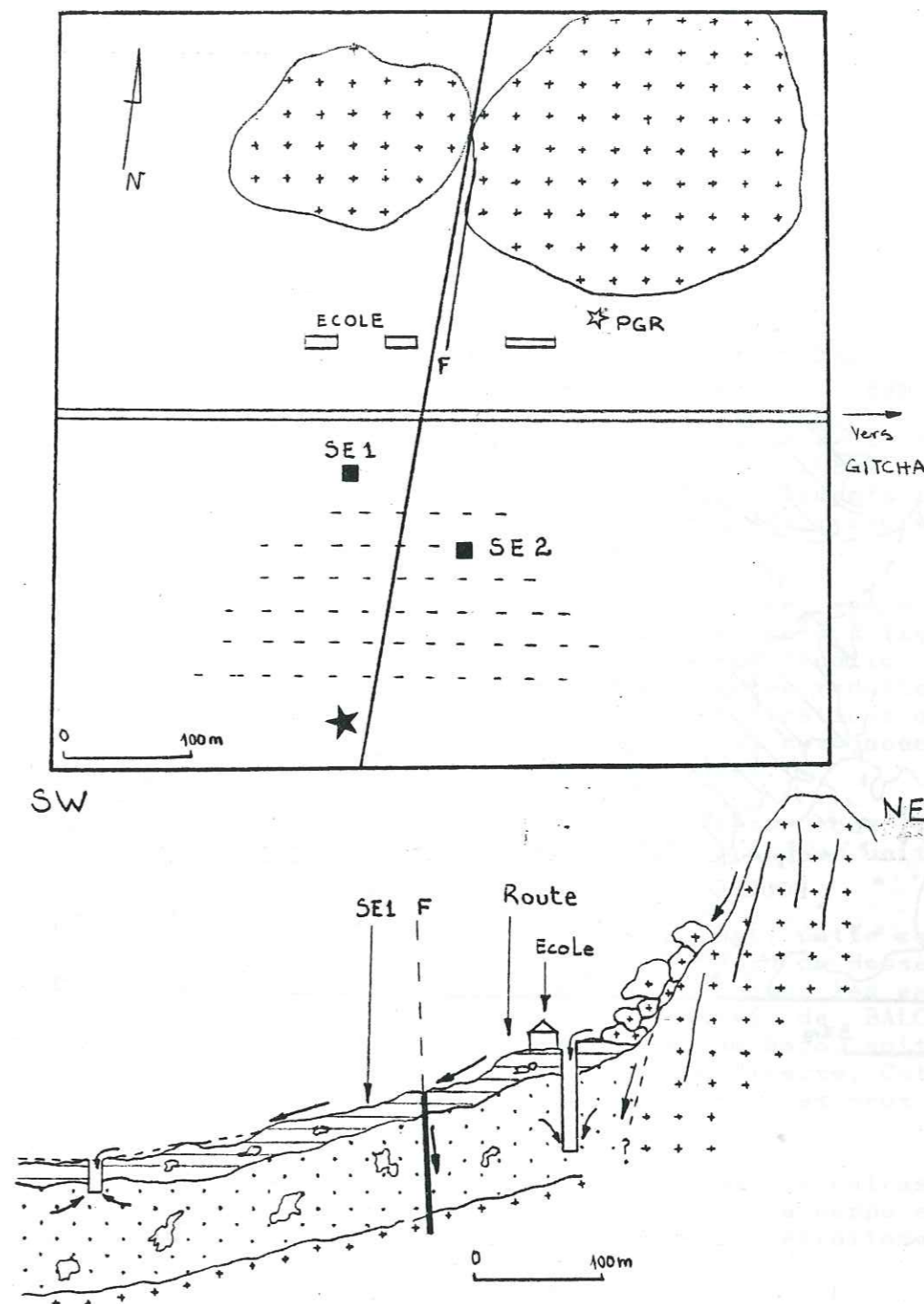


Fig 3.63 : Géomorphologie, mode de gisement et de circulation des eaux de DJOUMTE.

LA ZONE CUIRASSEE DES ENVIRONS DE TSORKE ET RIGA :

Cette zone est entièrement comprise dans ce que nous avons convenu d'appeler le secteur de POLI ; elle est située au Nord de la formation volcano-sédimentaire de MANGBEI, entre les latitudes 8°30' - 8°50' N et les longitudes 13°10' - 13°30' E. Abstraction faite des formations de MANGBEI, l'essentiel du matériel géologique est dioritique.

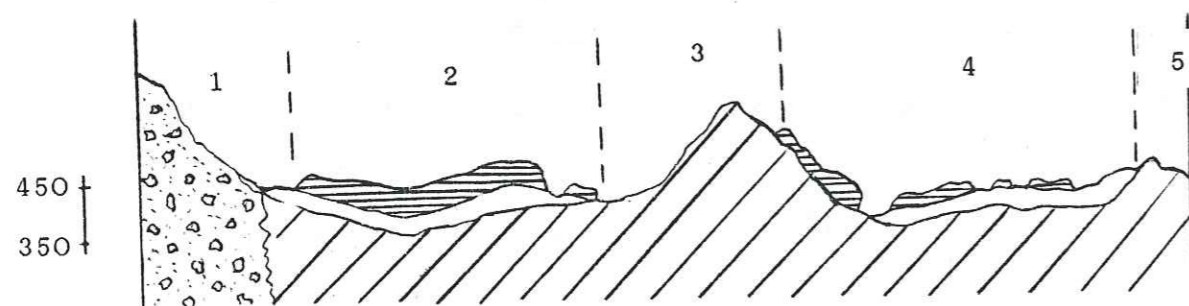
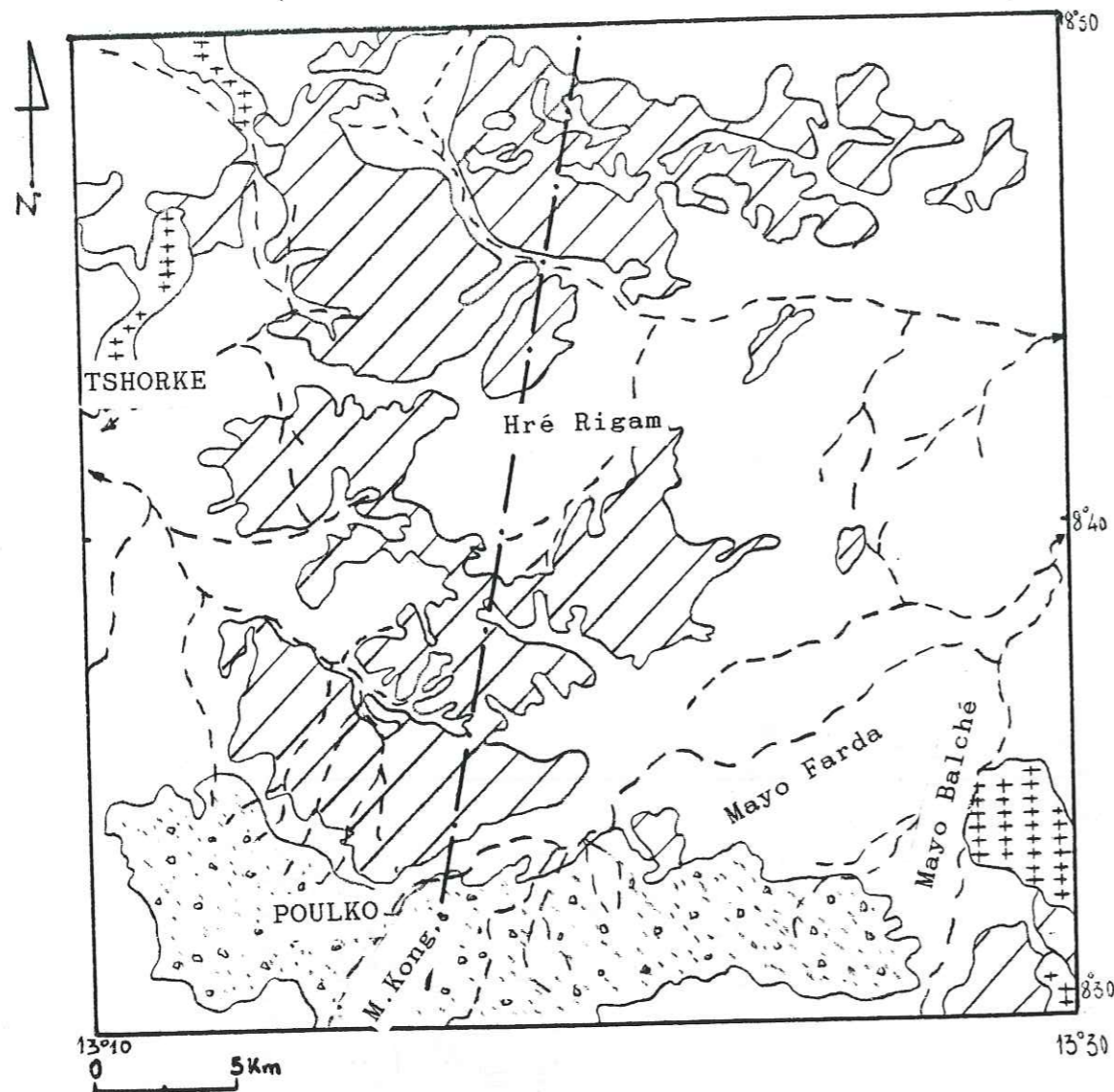


fig 3.64 : Mode de gisement de la nappe de cuirasse noyée des environs de TSHORKE

L'ensemble de la zone est pentée vers le Nord, en direction de la BENOUE, mais présente par endroits quelques pointements rocheux et cuirassés. Les altitudes varient de 717 m au Hosséré BALCHE à 320 m au Nord-Est.

Cette zone est marquée par deux grands traits géomorphologiques : l'existence de cuirasses ferrugineuses et des sols à pseudogley.

* La cuirasse : elle est, en général, située entre 400 et 450 m d'altitude. Dans les parties à relief conforme, elle coiffe les ensembles pédologiques. Sa terminaison est toujours brutale et des petites sources sont observables à sa base. Par endroits, elle est déchiquetée, mais un cours d'eau (ou une petite rivière) occupe toujours l'espace inter-cuirasse ainsi individualisé (Mayo DIZE, Mayo KILBOU...). Cette cuirasse est pratiquement toujours noyée. L'alimentation de cette nappe s'effectue depuis les cours d'eau qui coulent entre les cuirasses.

* Les sols à pseudogley : En superficie, ces sols sont plus abondants et sont à l'origine de nombreux flats marécageux observés autant que de l'importante ramification du réseau hydrographique. De par leurs perméabilités réduites, ces sols ralentissent considérablement les infiltrations des eaux qui constituent alors, dans les ensembles sus-jacents (essentiellement la cuirasse), des nappes perchées.

Une coupe S - N réalisée à travers cette zone (fig 3.64) nous permet de distinguer quatre grandes unités géomorphologiques :

* 1, la zone d'alimentation : en fait, cette zone est constituée de deux sous-zones : le flanc Nord du Hosséré BALCHE et le cours du Mayo NIELSE. Dans tous les cas, les eaux des précipitations qui tombent sur ce massif de BALCHE contribuent soit au ruissellement superficiel du Mayo, soit à l'alimentation de la nappe par infiltration directe. Cette nappe est également alimentée par l'infiltration des eaux le long du lit du cours d'eau.

* La zone 2 : le relief est conforme, la cuirasse noyée et la nappe perchée. L'alimentation de cette nappe est beaucoup plus latérale que verticale. Elle est étroitement liée au régime hydrologique des cours d'eau.

* Les zones 3 et 5 : le relief est inversé, le dôme dioritique éventré. L'émersion de ce dôme témoigne de sa modeste fissuration et par conséquent, de sa faible perméabilité. Les eaux qui y tombent sont donc toutes (ou presque) drainées vers les mayos ou à la base des cuirasses.

* La zone 4 : Autant que la zone 2, cette zone présente une nappe de cuirasse pincée cette fois entre deux dômes éventrés de diorite intrusive panafricaine.

LA VALLEE DES RONIERS

Sur la carte des reliefs du secteur de POLI (fig 2.2), nous avons distingué 4 grandes tranches d'altitudes correspondant aux unités morphologiques ; il s'agit :

- * des surfaces supérieures à 1 000 m et correspondant aux interfluves,
- * de surface comprises entre 1 000 et 500 m et relatives aux versants,
- * des surfaces comprises entre 500 et 300 m et correspondant aux vallées,
- * des surfaces inférieures à 300 m et relatives aux plaines.

Dans la seule vallée des Rôniers, on retrouve les trois premières unités (fig 3.65).

* Les interfluves : Constituée par quelques grands sommets de la chaîne de POLI, cette unité est composée de deux axes montagneux sub-parallèles qui s'allongent d'Ouest en Est. Tandis que les massifs de GODE, GOMBO, OTERE et BOULKEGATE occupent le Nord de la vallée, les massifs de PAL, YALBO et DEMBAKO la limitent au Sud. Cet ensemble de massifs culmine à 1 665 m. L'altitude des piedmonts varie en fonction des massifs considérés.

* Les versants ou hautes vallées : Elles couvrent les surfaces comprises entre les hautes crêtes et les basses terres. Ces versants ont des formes très variées, en relation avec la nature et la structure de la roche constituant le massif. De façon générale, ces versants sont profondément ravinés et présentent des zones concaves vers le haut. La presque totalité des affluents du Mayo YELE qui est le collecteur principal de cette vallée, prennent leur source sur ces versants, à des altitudes variées.

* La Vallée : Elle occupe la surface comprise entre les interfluves et se développe largement dès la rupture de pente des versants. L'altitude la plus basse (372 m) est située à la sortie Ouest de la vallée. Cette vallée est occupée essentiellement par des roches anté-panafricaines profondément érodées et arasées. Par endroits, ces roches sont fortement latéritisées et forment une cuirasse épaisse et compacte marquée sur les courbes de sondages électriques par de très fortes valeurs de résistivités apparentes ; c'est le cas de la puissante cuirasse rencontrée par BOSKALIS pendant le creusement du seul forage de GODE. Cette cuirasse, développée sur des migmatites, est épaisse de 11 m.

L'alimentation de la nappe superficielle de cette vallée se fait par infiltration directe des eaux dans les fractures des massifs ou par infiltration de ces eaux dans les formations altérées occupant la dépression centrale. Ces altérites ont des épaisseurs très élevées au droit des zones faillées.

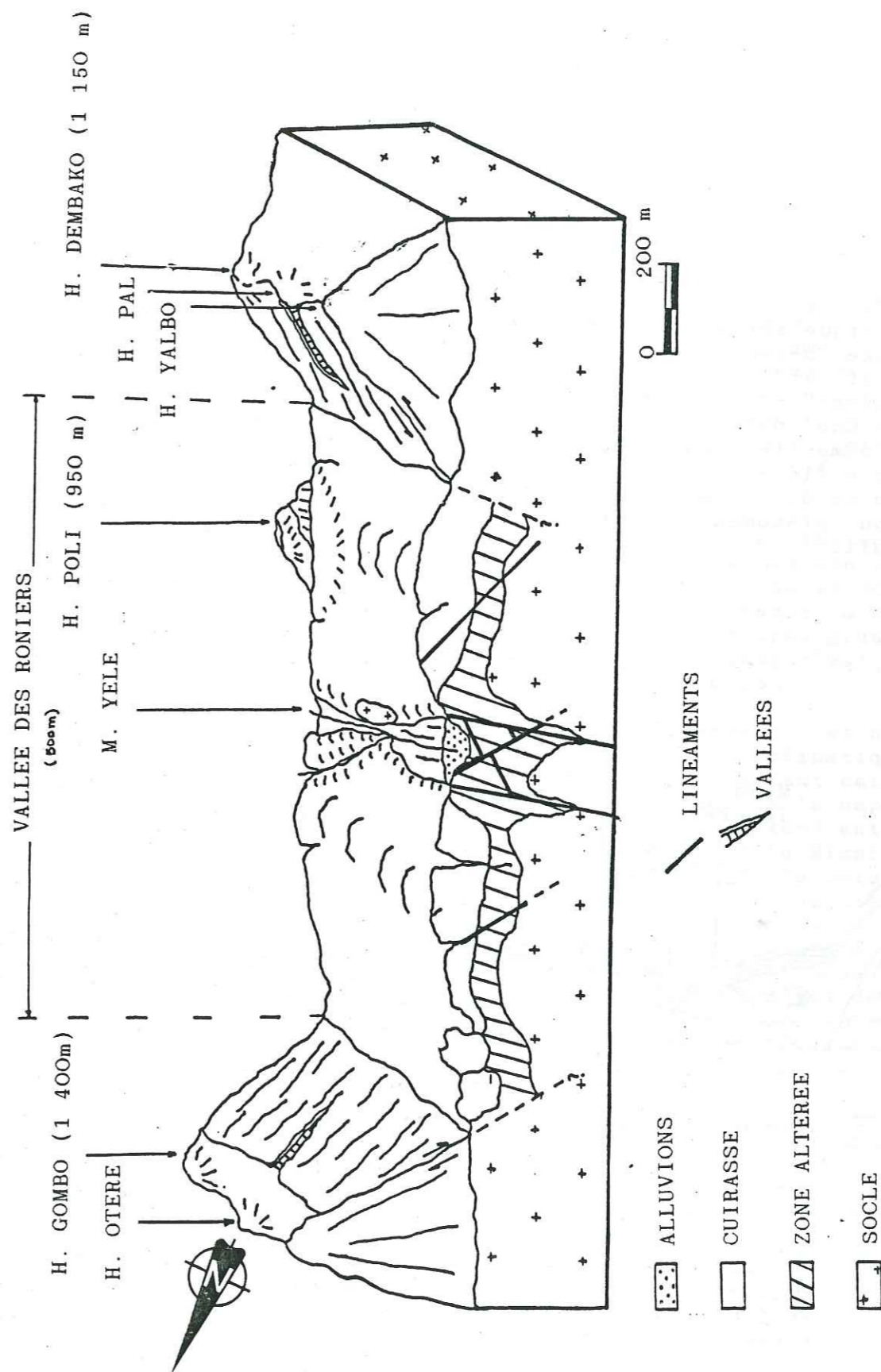


fig 3.65 : Bloc diagramme des unités morphologiques de la Vallée des Rôniers

Cette situation "fermée" de la vallée des Rôniers, doublée de l'épaisseur considérable des produits d'altération et de l'existence d'une continuité hydraulique entre les altérites et les fractures qui ont favorisé leur développement, est très certainement à l'origine de la parfaite alimentation des eaux de sa nappe superficielle. En effet, la cuirasse est toujours noyée et aucun cas de puits sec ou dénoyé pendant la saison sèche n'a été relevé. Ce fait témoigne d'un bon fonctionnement hydraulique des altérites captées par ces puits.

LE HOSSERE POLI

La morphologie de la nappe superficielle de la ville de POLI offre un exemple de nappe semi-captive alimentée par deux axes drainants superficiels. La forme du niveau piézométrique autant que le niveau de l'eau dans les ouvrages de captage dépendent d'une part de la morphologie externe, mais aussi et surtout des saisons climatiques. Pendant la saison sèche, la baisse du niveau de l'eau dans les mayos entraîne une baisse remarquable du niveau piézométrique et parfois même le dénoisement du puits imparfait de la Mission Catholique (16 m). Par contre, pendant la saison des pluies, la remontée du niveau des eaux des Mayos entraîne une remontée du niveau piézométrique qui se traduit par une réalimentation de ce puits.

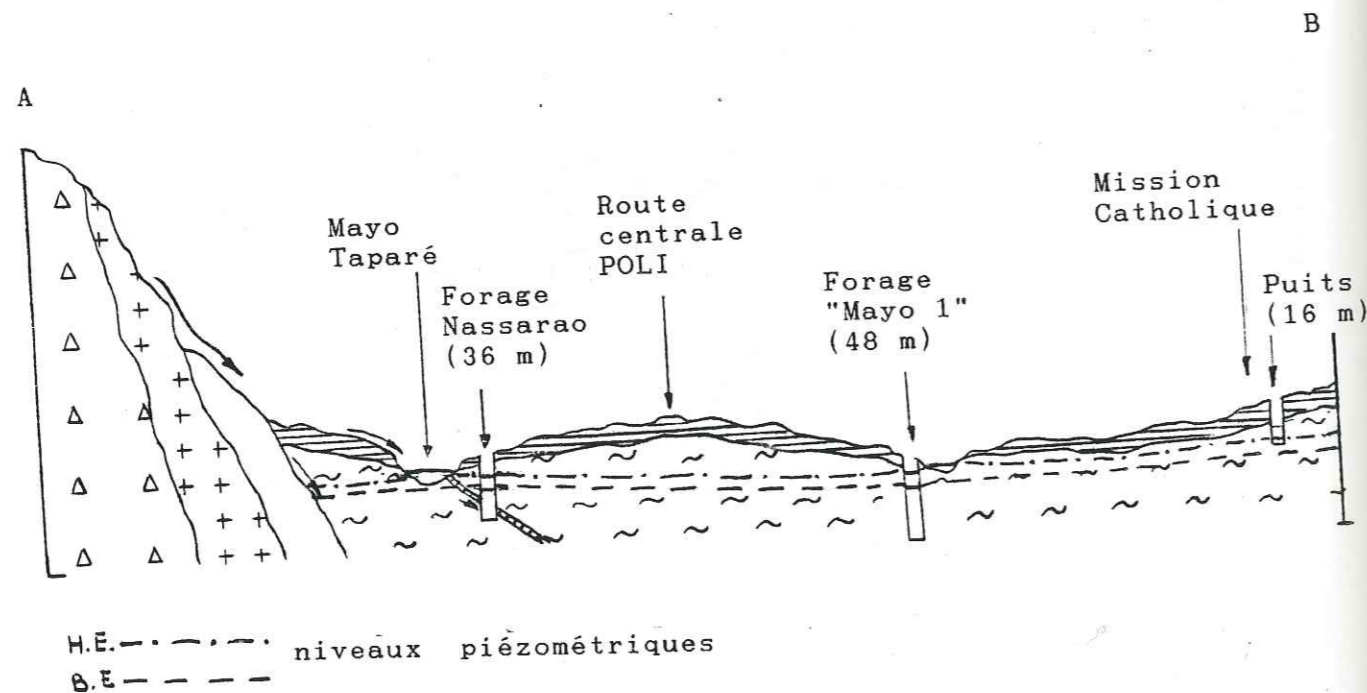


fig 3.66 : Coupe schématique des unités géomorphologiques de POLI montrant la variation du niveau piézométrique en fonction des saisons (le trait de coupe est repérable sur la figure 3.70)

CONCLUSION

Autant que pour les nappes des éboulis, colluvions et alluvions décrits par B. TILLEMENT (1966) à travers le Nord-Cameroun, les nappes superficielles du secteur de POLI illustrées par les quatre exemples que nous avons donnés sont intéressantes, mais leur exploitation en vue de l'alimentation en eau des populations et du bétail exige la résolution de nombreux problèmes dont notamment ceux relatifs :

* à leur potabilité,

* au débit d'exhaure disponible et extractible en fonction du type et de la profondeur de l'ouvrage devant capter ces eaux. En effet, cette nappe est généralement captée par des puits imparfaits à grand diamètre et peu profonds (15 - 20 m). Une solution serait de poursuivre le creusement de ces puits et les amener à être tous parfaits, mais la technique de la boue ou du calweld jadis utilisée par le Bureau de l'Eau et le Génie Rural pour le fonçage de ces puits, ont des limites dictées par les propriétés physiques et géologiques des terrains aquifères cristallins.

Bien que l'étude géomorphologique de la zone cuirassée située au Nord de POLI et de la vallée des Rôniers nous montre que la cuirasse est très souvent mouillée et donc susceptible de contenir une quantité appréciable d'eau souterraine, il n'en demeure pas moins que la très grande proximité de ces eaux de la surface les expose, comme c'est le cas à DJOUMTE, à des phénomènes externes de pollution.

A ceci, il faut ajouter un dernier aspect - et non des moindres - : il s'agit de la grande dépendance climatique de la productivité hydraulique des ouvrages captant cette nappe. En effet, l'étude de la coupe morphologique de la nappe superficielle de POLI montre l'étroite liaison existant entre les saisons et les productivités du puits de la Mission Catholique. Si à cela on adjoint les effets de la baisse généralisée des hauteurs pluviométriques pendant la dernière décennie et par conséquent, l'augmentation substantielle de l'évapotranspiration, on comprend aisément pourquoi un nombre considérable d'ouvrages captant cette nappe et jadis productifs sont aujourd'hui secs et délaissés. Sur les deux axes routiers POLI-VOKO et POLI-TCHAMBA, nous avons dénombré, pour les 32 puits comptabilisés, 4 (12,5 %) seulement qui sont encore fonctionnels. Dans la seule ville de POLI, sur les 14 puits existant, seuls 4 sont fonctionnels !

Fort de tout ce que nous avons établi ci-dessus à la lumière des exemples pris dans le secteur de POLI, il importe d'aller chercher l'eau là où elle se trouve et où sa potabilité autant que sa qualité et son mode d'alimentation dépendent le moins possible des facteurs externes.

3.5.2. LES AQUIFERES PROFONDS

A l'inverse de l'aquifère supérieur en général continu, les aquifères profonds sont discontinus et ponctuels. C'est pourquoi nous les désignons au pluriel.

Ces aquifères sont associés aux grandes fractures repérables sur les images satellites et les photographies aériennes. A l'échelle de l'affleurement, ces fractures peuvent et doivent être confirmées par la géophysique et la géomorphologie. Cette démarche est la plus judicieuse car elle permet de mener, à des échelles d'observations variées, des investigations devant aboutir au choix précis d'un site.

Dans le sens vertical, les sondages électriques permettent de déterminer autant la profondeur du socle que celles des différents niveaux du profil d'altération. Les profils électriques, pour leur part, permettent, après le choix de la longueur de ligne sensible, de réaliser des trainés et de relever ainsi les variations latérales du toit du socle marqué justement sur les sondages électriques par la branche montante.

La synthèse de toutes ces données géophysiques est réalisée sur les cartes d'isorésistivités apparentes. Dans le secteur de POLI et pour les exemples présentés (POLI, TCHOLLIRE, ZONES A et C du Camp des Réfugiés) autant que ceux de la figure 3.67. (ZONE B du Camp des Réfugiés et MANGO), la comparaison des directions des linéaments repérés par la photointerprétation et celles des axes conducteurs déduits de l'interprétation de ces cartes, conduit à une concordance satisfaisante, malgré quelques légères variations locales dues certainement aux différences d'échelle des deux modes d'études et des documents utilisés.

Si l'on assimile les courbes d'isorésistivités de la carte des résistivités apparentes à des courbes isohypses marquant le toit du socle, il est possible, par simulation, de faire une représentation perspective de ce toit du socle. Les blocs diagrammes des figures 3.68 et 3.69 relatifs à la Zone B du Camp des Réfugiés et au village MANGO donnent un aperçu de cette représentation.

Ces diagrammes nous montrent que le socle cristallin de ces deux localités (autant que celui des autres zones cristallines du secteur de POLI et du Nord-Cameroun) est vallonné et présente des creux ou dépressions séparés par des seuils. Les axes conducteurs sont, en général, constitués par les espaces inter-seuils.

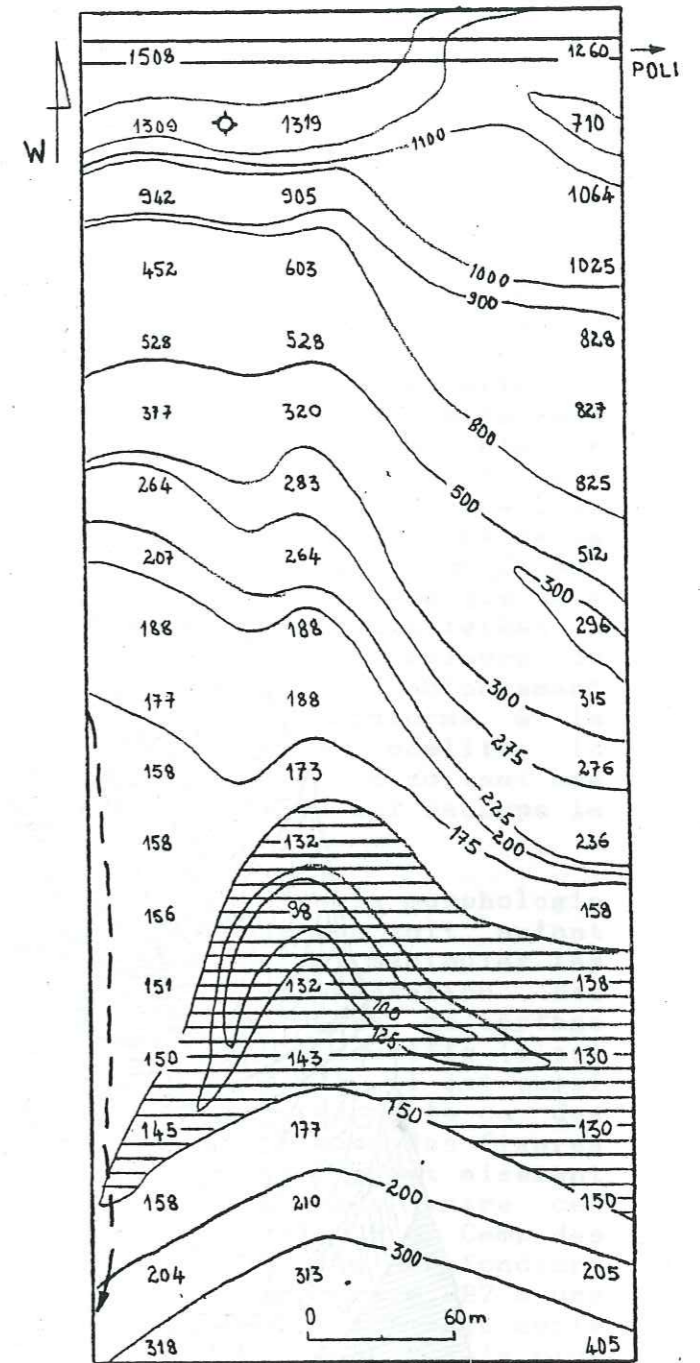
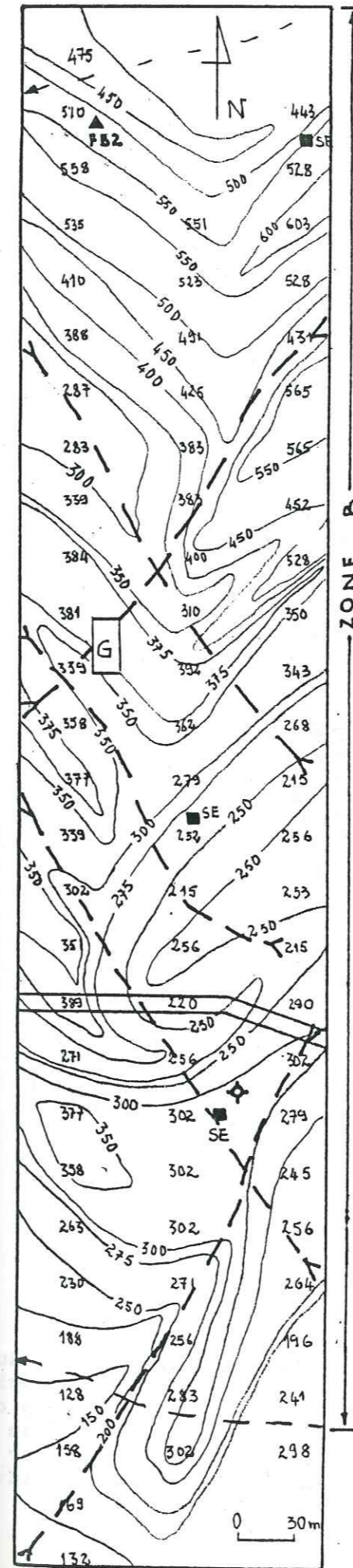


fig 3.67 :

Carte d'isorésistivités et des axes conducteurs de la zone B du Camp des Réfugiés et du village MANGO

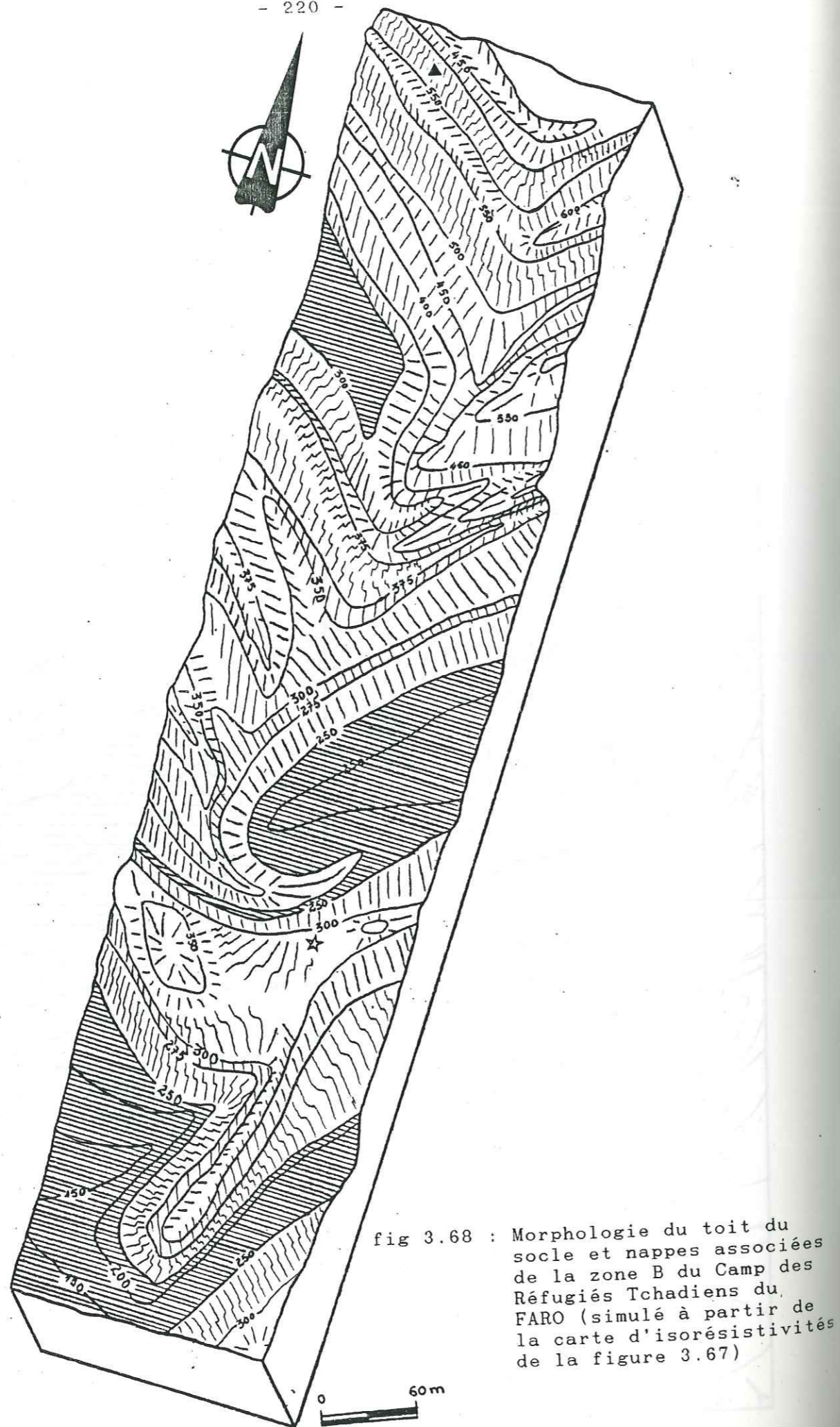


fig 3.68 : Morphologie du toit du socle et nappes associées de la zone B du Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO (simulé à partir de la carte d'isorésistivités de la figure 3.67)

La comparaison de la morphologie de ce toit du socle avec la morphologie externe montre, pour la zone B du Camp des Réfugiés, que les dépressions topographiques superficielles ne correspondent pas toujours aux dépressions du toit du socle ; en effet, la poche d'eau matérialisée par la dépression centrale du bloc est marquée, sur le terrain, par un léger dôme - de moindre importance certes - mais de gradient quand même positif. Il en est de même pour le seuil (à 350 m) situé juste au Sud Ouest de ce creux ; sur le terrain et à partir du grand axe routier FIGNOLE - FARO dessiné sur la carte des résistivités apparentes de la figure 3.67, la morphologie externe est en pente continue vers le thalweg du Sud du bloc diagramme. C'est également le cas pour l'extrémité Nord du bloc, au-delà de la poche d'eau à 300 m : sur le terrain, la surface topographique plonge en pente douce vers le Nord, en direction du thalweg qui limite la carte des résistivités apparentes. Or, sur le bloc diagramme, cette zone est marquée par une remontée notoire du toit du socle. En revanche, dans certaines zones du bloc, la morphologie du toit du socle - et donc de la nappe qu'il jouxte - s'accorde bien avec la géomorphologie externe. C'est le cas de la zone de la Gendarmerie de ce camp où la remontée en seuil du socle est aussi observable sur le terrain par l'existence de quelques blocs de roches profondément fracturées mais peu altérées. A MANGO, par contre, la baisse continue des valeurs de résistivités apparentes qui se traduit par un enfoncement croissant Ouest-Est du toit du socle est conforme à la morphologie externe. En effet, dans cette localité, la topographie externe est pentée dans le sens W - E suivant une direction parallèle à celle du cours d'eau qui recoupe la piste POLI -BANTADJE.

Autant ce mode de représentation de la morphologie du socle rend bien compte de la structure de son toit, autant il permet de noter avec quelle prudence il faut manipuler les critères géomorphologiques externes d'implantation des ouvrages. S'il est vrai que certains ouvrages de captage implantés sur des seuils du socle sont très productifs (c'est le cas du forage FB2 de la zone B ; figure 3.68), il est aussi vrai que d'autres ne le sont pas. Nous citerons le cas des deux puits représentés sur les blocs diagrammes des figures 3.68 et 3.69. Ces écarts de productivité s'expliquent aisément par les différences notoire des profondeurs entre ces ouvrages ; en effet, le puits de la zone B du Camp des Réfugiés autant que celui de MANGO ont des profondeurs respectives de 16 et 14 mètres, alors que le forage FB2 a une profondeur de 33 mètres. Il va sans dire que ce forage capte la frange fissurée du bed-rock à travers laquelle la plus grande partie des eaux souterraines circulent en direction des points les plus bas représentés par les creux du socle. Un sondage électrique réalisé à 120 m à l'Est de ce forage nous avait révélé le socle à 34 mètres de profondeur. Par contre, les deux puits cités ci-dessus n'intéressent que la nappe superficielle et la mince arène des zones de remontée du socle ; ces arènes sont, en basses-eaux, constamment vidées de leurs eaux qui s'écoulent vers les creux du socle.

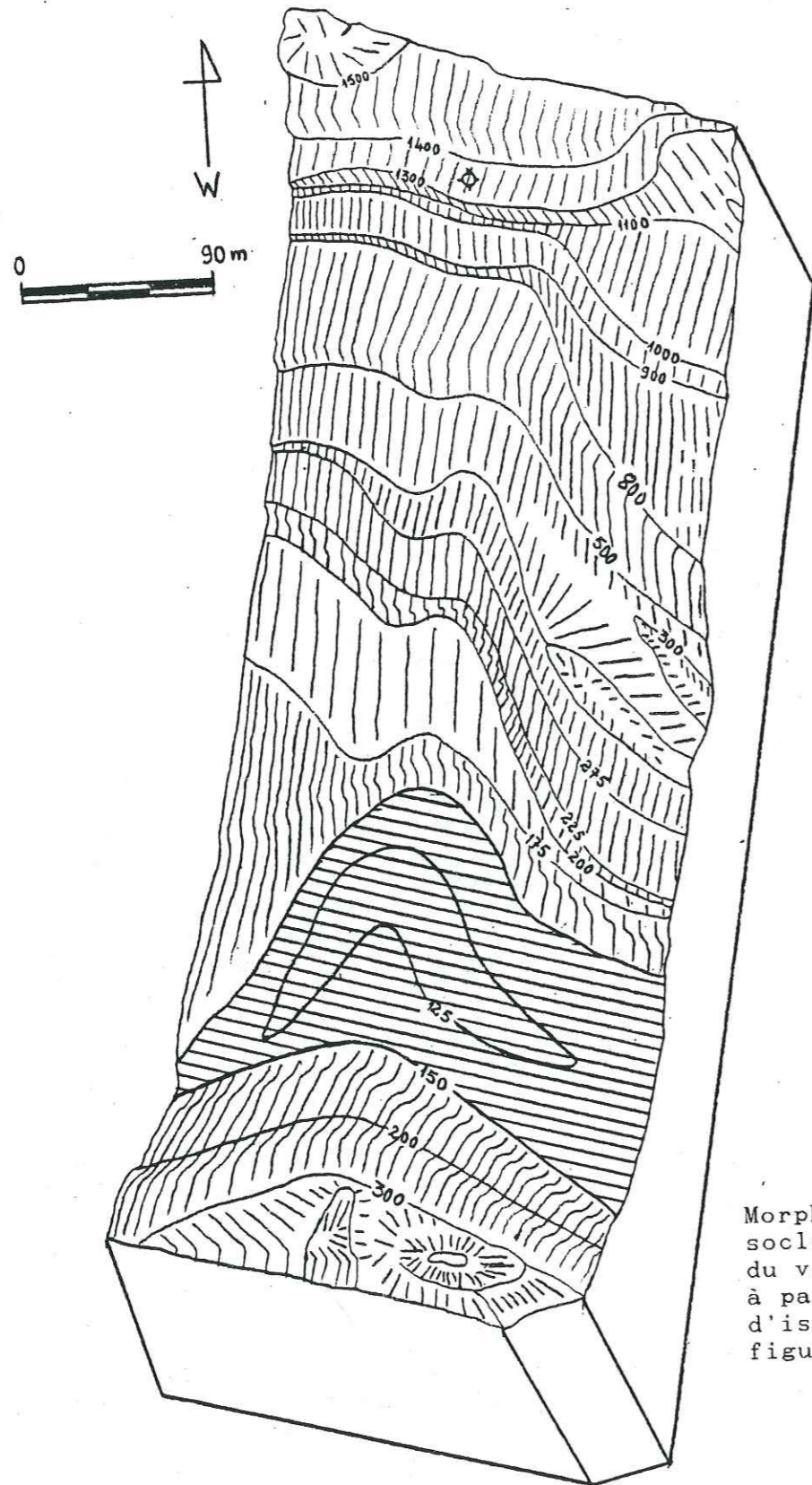


fig 3.69 :

Morphologie du toit du socle et nappe associée du village MANGO (simulé à partir de la carte d'isorésistivités de la figure 3.67)

Mode d'alimentation des nappes profondes :

Dans le socle intensément fracturé et fissuré du secteur de POLI et spécialement dans les zones ayant des arènes grenues, l'alimentation des nappes profondes se fait suivant un double processus :

* Une alimentation par circulation per descensum des eaux de précipitations et/ou des eaux de la nappe superficielle,

* Une alimentation latérale depuis les zones préférentielles représentées par les berges des Mayos. En effet, aux hautes eaux, les seuils sont noyés et permettent l'intercommunication des poches et leur réalimentation par des circulations d'eau s'effectuant horizontalement à travers les arènes et le socle fissuré (A.N. SAVADOGO, 1984). Pendant les basses eaux, les seuils sont émergés et chaque poche évolue suivant ses caractéristiques propres. L'appel gravitaire de l'eau des arènes vers les poches hydrauliques du socle sous-jacent provoque le dénoiement constant des ouvrages imparfaits foncés dans ces altérites ; c'est le cas des puits de MANGO et de la zone B du Camp des Réfugiés foncés respectivement sur des altérites granito-quartzitiques et migmatitiques.

Dans les zones schisteuses, par contre, les arènes sont très argileuses, parfois colmatées et pratiquement imperméables. Le mode d'alimentation des nappes profondes est différent. Les coupes géologiques des forages que nous avons positionnés dans les régions schisteuses de POLI nous enseignent qu'après avoir franchi la nappe superficielle décrite plus haut, on traverse des argiles humides mais non saturées avant d'atteindre le toit de la nappe de la roche fissurée dont le niveau remonte considérablement comme le montre le tableau 3.11 ci-dessous, relatif à quelques forages de cette localité.

| FORAGE | ALTITUDE (m) | DATE DE FORATION | PV1 (m) | PV2 (m) | NIVEAU LE 3.3.86 |
|------------------|--------------|------------------|---------|--------------|------------------|
| NASSARAO | 477 | 07.2.86 | 15 | 18 | 8 m70 |
| ECOLE PRINCIPALE | 470 | 08.2.86 | 13 | 18 | 6 m65 |
| Qt RESIDENTIEL I | 472 | 24.2.86 | 21 | 26.5 | 6 m20 |
| BAKDONKO | 467 | 27.2.86 | 13 | con- tinu | 5 m50 |

TABLEAU 3.11_b : Ordre de grandeur de la remontée des nappes montrant leur semi-captivité

Ces nappes profondes sont donc semi-captives. Leur alimentation s'effectue exclusivement par des infiltrations et circulations latérales des eaux depuis les mayos et au moyen des fractures et diaclases qui morcellent ces schistes. Les infiltrations per descensum sont absentes et ces nappes sont donc en charge sous le niveau argileux imperméable qui sert de mur à la nappe superficielle.

3.5.3. CONCLUSION

Tout au long de ce paragraphe traitant des aspects géomorphologiques et des modes de gisement et d'alimentation des différents aquifères du socle cristallin du secteur de POLI, nous avons montré, par des exemples tirés des observations effectuées dans ce secteur, les potentialités hydrauliques des différentes unités morphologiques et pédologiques.

L'aquifère supérieur est, en général, continu. Il est alimenté dans le sens vertical et horizontal, quel que soit le faciès pétrographique. Son modelé est étroitement lié à la morphologie externe.

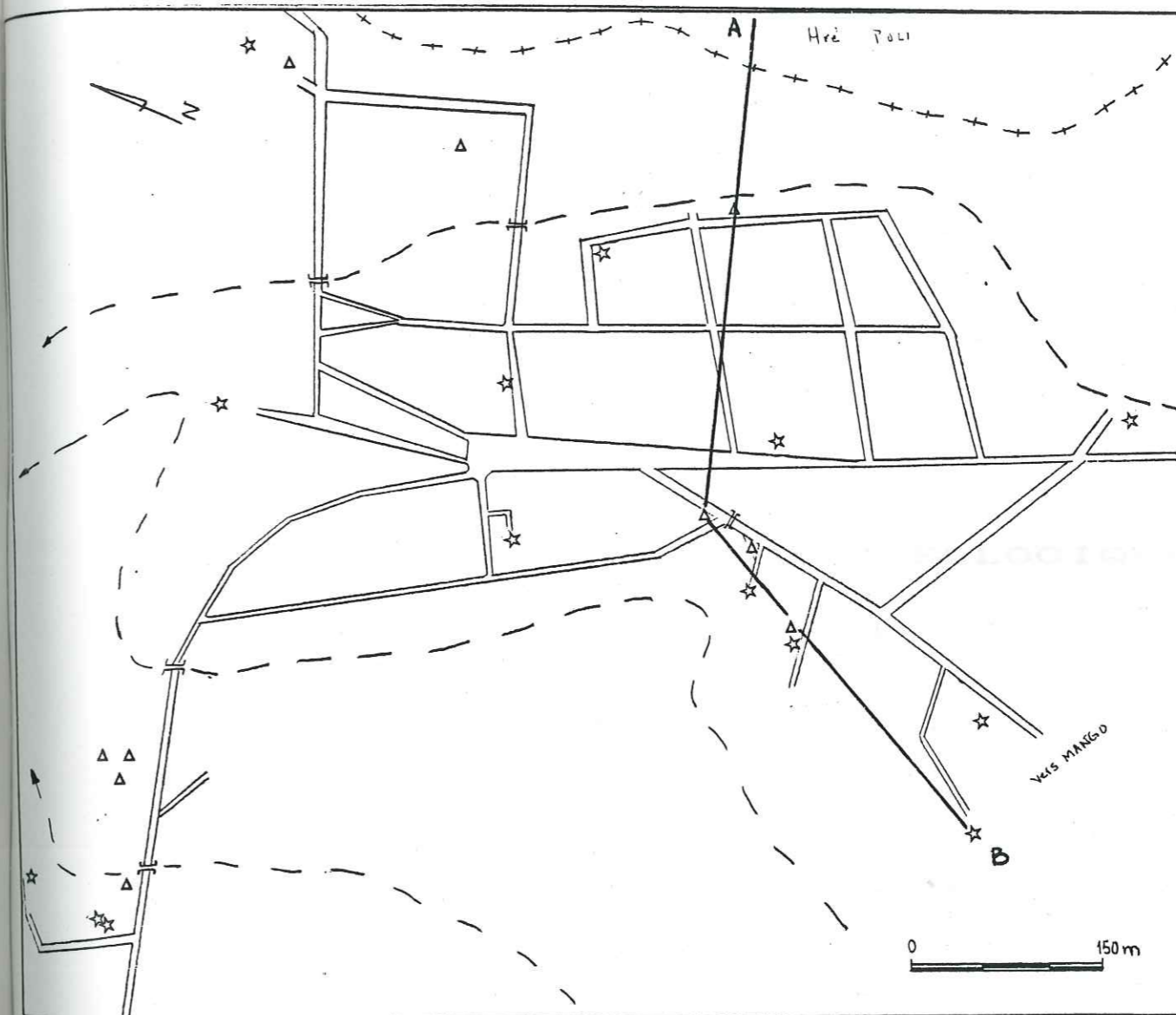
Les aquifères profonds, quant à eux, sont discontinus. Leur mode d'alimentation est variable mais dépend fortement du réseau de fracturation et de la nature pétrographique du socle sur lequel sont développées les arènes. Le modelé de ces nappes est conditionné par la morphologie du toit du socle sur lequel elles reposent. Cette morphologie n'est déterminable que grâce aux méthodes indirectes et spécialement la méthode électrique des résistivités apparentes.

Améliorations à apporter sur la conception des projets d'hydraulique :

Au Nord-Cameroun, les ouvrages à gros débits ainsi que les études d'implantations plus poussées sont réservés aux grandes localités, dans le cadre des adductions d'eau.

Si les nécessités immédiates peuvent justifier l'orientation des recherches vers les aquifères proches et faciles à localiser et à prospecter, à terme le développement économique des villes et villages impliquera un accroissement rapide des besoins en eau. Il est alors irrationnel et économiquement négatif de multiplier sans arrêt les ouvrages à faibles débits.

A ce titre et pour illustrer cet aspect irrationnel de la multiplication des ouvrages à faibles débits, nous citerons l'exemple de la seule ville de POLI (figure 3.70) où, à la fin de l'année 1986, 24 ouvrages (14 puits pour 10 forages) étaient déjà exécutés. Quand on sait que certains de ces ouvrages ont donné plus de 10 m³/h à l'essai et que des pompes de 1,5 m³/h y sont installées, on se demande s'il ne serait pas plus économique et plus pratique d'exploiter au maximum ces forages en créant un réseau de distribution comme cela a été fait à TCHOLLIRE et à MBE où pourtant, des débits aussi élevés n'ont été rencontrés sur aucun forage.



☆ puits
 △ forages

fig 3.70 : Carte de situation géographique des ouvrages de captage d'eaux souterraines de la ville de POLI à la fin d'année 1986

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

CHAPITRE 4

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES
ET HYDRODYNAMIQUES
DES AQUIFERES

* * *

* *

*

Plan 1. Carte géologique
de la région de
la capitale
à l'échelle de 1:50,000
par le Service Géologique
du Canada, 1962.

4.1. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

L'hydrogéologie est, par définition, la science des écoulements souterrains. Les paramètres susceptibles d'influencer ces écoulements dépendent fortement de la structure des réservoirs (fracturation et fissuration), de la nature pétrographique et minéralogique des formations, du degré d'altération de celles-ci et de l'épaisseur de la frange altérée.

4.1.1. HYDROGEOLOGIE DU SOCLE CRISTALLIN NORD-CAMEROUNAIS

Dans ses travaux concernant l'hydrogéologie de la partie septentrionale du Cameroun au Nord du 8ème parallèle, B. TILLEMENT (1972) distingue deux grands domaines hydrogéologiques : le domaine des roches cristallines et celui des roches sédimentaires.

Les 2/3 du Nord-Cameroun sont occupés par les formations cristallines recouvertes par endroits par les formations sédimentaires (bassins du Mayo Rey, de Garoua, d'Amakoussou, de Figuil et de la plaine du Lac Tchad). Ce terme global de formations cristallines englobe aussi bien les roches métamorphiques que plutoniques.

L'évolution de la prospection hydrogéologique dans ces zones cristallines peut se résumer à deux grandes phases définies en fonction des méthodes de foration utilisées. En effet, avant les années 70 (précisément 1973), la prospection hydrogéologique était axée exclusivement vers la recherche systématique des zones présentant des franges d'altération suffisamment épaisses et susceptibles de recéler une nappe d'arène. Depuis l'avènement du marteau-fond-de-trou permettant d'accéder à des profondeurs plus grandes, la prospection a connu une orientation nouvelle.

4.1.1.1. Les ressources hydrauliques des arènes

Les matériaux détritiques issus de l'altération des formations du socle peuvent être classés en quatre grands groupes :

- * Les alluvions : Elles sont constituées par les matériaux détritiques déposés le long du lit des cours d'eau ayant assuré leur transport,

- * Les colluvions résultent de l'accumulation et de l'épendage au pied des pentes des matériaux altérés,

- * Les éboulis sont constitués par l'accumulation de fragments déplacés par gravité,

- * Les éluvions correspondent aux produits de l'altération demeurés en place. Elles constituent ce qui est couramment appelé arènes.

Au Nord-Cameroun, les nappes d'eau souterraine existant dans les trois premiers groupes cités ci-dessus ont, en général, un débit faible et la reprise par évapotranspiration (croissante du Sud au Nord) est telle que le niveau hydrostatique baisse considérablement pendant la saison sèche. Pour certaines d'entre elles, le niveau hydrostatique atteint même le bed-rock altéré en fin d'étiage (B. TILLEMENT). Ces unités ne devraient être retenues pour une prospection hydrogéologique en vue de l'alimentation en eau d'une localité que s'il est prouvé qu'il n'y a pas d'autres solutions envisageables et si une étude antérieure exécutée sur un nombre d'années acceptable permet de connaître avec précision l'amplitude des battements de la nappe.

Dans les éluvions, par contre, les potentialités hydrauliques sont beaucoup plus vastes. Bien que ces éluvions aient une extension verticale modeste et très fluctuante, leur extension latérale est par contre considérable et les circulations horizontales en leur sein constituent une source d'alimentation indirecte qui s'ajoute à la source principale représentée par les précipitations.

Les ouvrages de captage qui exploitent ces arènes sont essentiellement des puits de grand diamètre. De nombreux programmes de fonçage de puits (traditionnels ou modernes) ont été exécutés depuis les années 50. Ils portaient uniquement sur ce réservoir qui était considéré à l'époque comme le seul aquifère contenant des ressources en eau disponibles en terrain cristallin et cristallophyllien. A ce titre, B. TILLEMENT notait "l'obligation d'orienter la prospection vers les bas-fonds, les creux topographiques, c'est-à-dire en des endroits où les produits ont pu être entraînés".

A ce jour, plus de 1 000 puits exploitent cet aquifère et l'atteignent à une profondeur maximale de 25 m (tableau 4.1). Sur un total de 98 puits réalisés dans le département du FARO de 1964 à 1981 (rapport Génie Rural 1985), la représentation de la figure 4.1. montre que 60 % de ces puits ont une profondeur comprise entre 10 et 15 m. Ceci nous donne un ordre de grandeur de la puissance de la frange altérée qui est captée par ces puits.

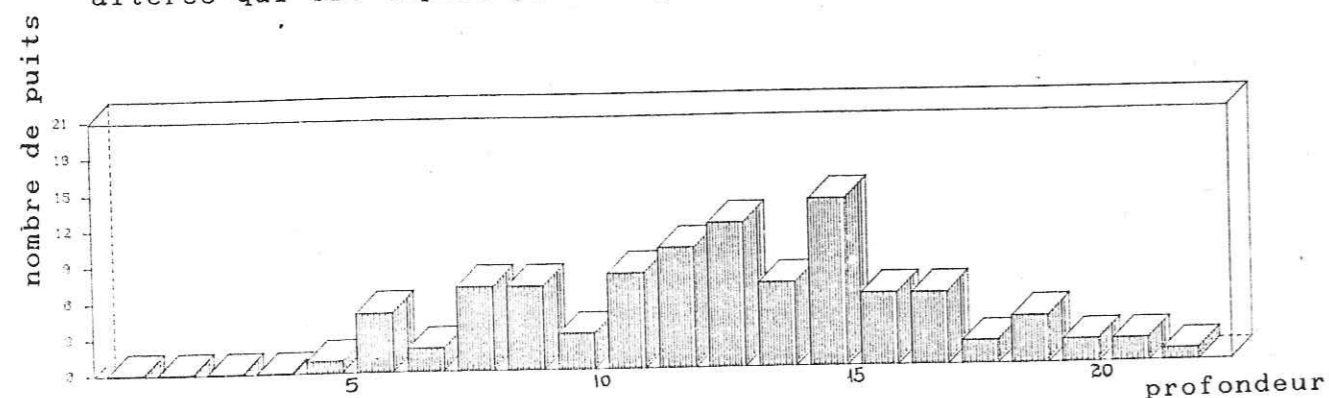


Fig 4.1 : Variations des profondeurs de 98 puits du département du FARO

Dans les arènes, le caractère anisotrope des circulations souterraines et la variabilité notoire des débits d'exhaure sont très marqués. En effet, le caractère lenticulaire de ces formations est tel que deux puits voisins peuvent fournir des débits très différents parce que l'un aura recoupé une lentille sableuse importante et l'autre n'aura traversé qu'un aquifère essentiellement argileux. Dans cette optique, les observations de terrain montrent que les arènes des zones granito-gneissiques sont plus sableuses et donc plus aptes à être captées que celles des zones schisteuses qui sont plus argileuses. Malgré cette remarque, certaines conditions locales peuvent améliorer considérablement les capacités hydrauliques des arènes schisteuses. Nous donnons, comme exemple, le cas des puits des villages BATAOL et MOUGDA décrits par B. TILLEMENT. Dans les deux cas, l'essentiel du matériel géologique est schisteux mais il a été intrudé par un filon de quartzite (pour BATAOL) et faillé suivant la direction N 30° pour MOUGDA. Dans ce second village, on note l'existence de deux puits et d'une douzaine de puisards alignés suivant cette direction.

Le tableau 4.1 ci-dessous montre que pour les cinq puits pris en compte, les débits sont très variables. Une corrélation entre ces débits et la profondeur des puits montre que ces deux paramètres sont inversement corrélables suivant une loi linéaire. L'équation de la droite est $Y = 0.12 x + 3.02$ et le coefficient de corrélation - 0.88.

| VILLAGE | PARAMETRES | | | | |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| | COORDONNEES | PROFON- DEUR (m) | NIVEAU ETIAGE (m) | DEBITS m3/h | RABATTE MENT (m) |
| GUIDER (KAIGAMA) | x = 13°57' y = 9°56' | 16.6 | 5.0 | 0.6 | 4.5 |
| BADJENGO | x = 13°43' y = 9°30' | 12.7 | 8 | 1.6 | 1.9 |
| KOSSEYEL | x = 13°37' y = 9°27' | 24.5 | 23 | 0.2 | - |
| DOLLA FALI | x = 13°34' y = 9°27' | 15.1 | 8 | 0.8 | 2.9 |
| DOLLA FOULBE | x = 13°35' y = 9°27' | 11.8 | 5 | 1.9 | 0.8 |

TABLEAU 4.1 : Caractéristiques de quelques puits du Nord-Cameroun (tirées de B. TILLEMENT, 1972)

Sur le plan hydrodynamique, les faibles perméabilités obtenues ainsi que leurs hétérogénéités et le revêtement insuffisamment filtrant rendent pratiquement impossible la réalisation des essais de débit fiables. Les valeurs déterminées par B. TILLEMENT et données à titre indicatif montrent que les nappes d'arène sont très hétérogènes et présentent des transmissivités très variables à la verticale d'un même puits ou d'un puits à un autre.

CONCLUSION

Compte tenu de ce qui a été énoncé plus haut et de l'étude hydroclimatologique qui nous a permis d'établir que la période actuelle est caractérisée par une diminution de la lame d'eau précipitée se traduisant par une baisse généralisée des niveaux piézométriques des nappes et un dénoiement des puits, on ne saurait assez insister sur la nécessité de ne plus respecter les programmes préétablis de forage de puits. En 1982, B. TILLEMENT disait que "presque tous les puits exploitant ce genre de nappe sont installés dans les thalwegs (...) mais dans tous les cas, seul le bed-rock altéré est aquifère en fin d'étiage". Il importe donc, dans les campagnes de création de points d'eau à venir, d'aller chercher l'eau là où elle se trouve en toute saison, c'est-à-dire dans le socle fissuré.

4.1.1.2. Capacités hydrauliques du socle fissuré

La recherche d'eau dans la frange fissurée du socle cristallin est relativement récente. Elle a débuté au Cameroun (comme du reste dans tous les autres pays de l'Afrique Centrale et Occidentale) avec l'apparition du marteau-fond-de-trou. Cette technique de foration mise à la disposition des différentes entreprises dès les années 73 a permis de réaliser, en moins de 15 ans, plus de 2 000 forages. Elle a permis de réduire considérablement le temps de foration, car elle utilise un système pneumatique de percussion placé au bout du train de tiges ; ceci permet d'obtenir une grande rapidité d'exécution dans les terrains durs (granites, migmatites...).

De nombreux programmes de forages d'approvisionnement en eau potable des zones rurales du Cameroun ont été lancés depuis une dizaine d'années. Tandis que la SCANWATER (Société Danoise de recherche des eaux souterraines) positionne et exécute les forages dans la zone méridionale du pays (au Sud de l'Adamaoua), le Projet des Eaux Souterraines (P.E.S.) et l'entreprise FORACO-Cameroun assurent l'exécution des forages dans les trois provinces les plus septentrionales (ADAMAOUA, NORD et EXTREME-NORD).

Dans le but de dégager les caractéristiques générales des ouvrages "profonds" qui captent ce socle, nous avons réalisé une étude statistique portant sur 272 forages. Tous ces ouvrages sont situés dans les provinces du Nord et de l'Extrême Nord, c'est-à-dire au Nord du 8ème parallèle.

Cette étude statistique tient compte des données obtenues pendant :

* Le programme d'hydraulique villageoise (Phase I) terminé en 1985, commandité par le Ministère de l'Agriculture par le biais du FONADER et contrôlé par l'entreprise ARLAB-CAMEROUN.

* Le programme d'hydraulique villageoise du Projet Sud-Est Bénoué commandité par la SODECOTON et exécuté par le BRGM.

* Le programme d'hydraulique villageoise de la vallée supérieure de la Bénoué commandité par la Mission d'Etude pour l'aménagement de cette vallée et exécuté par le BRGM et FORACO.

* Le programme PNUB commandité par les Nations Unies et exécuté par HYDROGEO-CAMEROUN en 1975.

* Les différentes campagnes annuelles et intensives des géologues du Projet des Eaux Souterraines.

4.1.1.2.1. Méthodologie

Les données brutes qui ont servi de base à notre étude statistique sont reportées en annexe. Pour chaque forage, nous avons retenu :

- * Le nom de la localité (village) dans laquelle le forage a été exécuté,
- * La profondeur totale notée Pt,
- * Le niveau statique noté NS,
- * L'épaisseur des altérites notée EA,
- * La profondeur de pénétration dans le socle notée PS,
- * Le débit à l'essai noté Q,
- * La profondeur de la première venue d'eau notée PV1,
- * La profondeur de la seconde venue d'eau notée PV2,
- * Le faciès géologique noté G.

(Les lacunes dans ces séries de données sont remplacées par le chiffre 0).

Concernant le dernier paramètre, le décodage des chiffres qui le caractérisent est le suivant :

- 1 - Granites et granito-gneiss,
- 2 - Migmatites,
- 3 - Gneiss,
- 4 - Formations sédimentaires,
- 5 - Formations de la zone de transition,
- 6 - Schistes,
- 7 - Roches volcaniques.

En fonction des limites imposées par le matériel utilisé (APPLE IIe), nous avons constitué deux fichiers de l'ensemble de ces données. Nous les avons ensuite traités grâce au programme A.C.P.N. de l'U.S.T.M.G. Nous avons procédé à la recherche de la variation des débits en fonction des autres paramètres. Des diagrammes binaires des fonctions $Q = f(Pt)$; $Q = f(EA)$; $Q = f(PS)$; $Q = f(PV1)$; $Q = f(PV2)$ ont été tracés.

4.1.1.2.2. Résultats et interprétation

* La répartition par classe des débits :

Lorsque nous considérons les valeurs brutes des débits (tous les faciès confondus), on constate que 24.3 % des forages ont des débits inférieurs à 0.6 m³/h. Au Cameroun et dans le cadre de l'hydraulique villageoise, la valeur de 600 l/h est considérée comme valeur minimale acceptable pour qu'un forage soit déclaré positif. Toutefois, dans certaines zones jugées "difficiles" à cause des échecs successifs enregistrés dans la recherche des eaux souterraines, cette limite baisse jusqu'à 450 l/h. Malgré le caractère fluctuant de cette limite, certaines entreprises de forage installent des pompes sur des forages ayant donné à l'essai moins de 300 l/h ; cette pratique irresponsable vise essentiellement deux objectifs :

* Déclarer le forage positif et gonfler démesurément les pourcentages de succès enregistrés,

* Ne plus avoir à exécuter un autre forage, car ces entreprises sont payées au mètre-linéaire positif foré.

La valeur de 24.3 % peut donc être considérée, à titre indicatif - et statistique - comme étant le taux global d'échec (tous les faciès confondus) enregistré au Nord-Cameroun.

| CLASSE DE Q m ³ /h | % |
|-------------------------------|------|
| 0-0.6 | 24.3 |
| 0.6-1 | 11.8 |
| 1-1.5 | 9.6 |
| 1.5-2 | 5.9 |
| 2-3 | 9.9 |
| 3-4 | 5.1 |
| 4-6 | 5.1 |
| 6-9 | 8.4 |
| 9-12 | 3.7 |
| 12-15 | 8.4 |
| 15-20 | 3.3 |
| 20-25 | 2.9 |
| > 25 | 1.5 |
| TOTAL | 99.9 |

TABLEAU 4.2 : Répartition par classe des débits de 272 forages du Nord-Cameroun

* La répartition des classes de débits en fonction des faciès géologiques :

Prenant en compte les classes de débits définies ci-dessus et les quatre faciès géologiques les plus dominants du Nord-Cameroun (schistes, granito-gneiss, formations sédimentaires et formations de la zone de transition), force est de constater que le nombre le plus réduit de forages réalisés et le taux d'échec le plus élevé sont enregistrés dans les schistes (8 forages pour 50 % de taux d'échec). Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des résultats.

| CLASSE DE Q m ³ /h | FACIES | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | SCHISTES (%) | GRANITO-GNEISS (%) | FORMATIONS SEDIMENTAIRES (%) | FORMATIONS ZONE TRANSITION (%) |
| 0-0.6 | 50 | 28.1 | 17.8 | 21.9 |
| 0.6-1 | 0 | 17.9 | 4.2 | 11.1 |
| 1-1.5 | 12.5 | 15.6 | 2.1 | 7.3 |
| 1.5-2 | 0 | 5.4 | 6.3 | 7.3 |
| 2-3 | 12.5 | 10.9 | 8.4 | 9.7 |
| 3-4 | 0 | 6.25 | 5.2 | 2.4 |
| 4-6 | 12.5 | 5.4 | 2.1 | 9.7 |
| 6-9 | 0 | 5.4 | 8.4 | 19.5 |
| 9-12 | 12.5 | 1.5 | 4.2 | 7.3 |
| 12-15 | 0 | 3.1 | 18.9 | 2.4 |
| 15-20 | 0 | 0 | 9.4 | 0 |
| 20-25 | 0 | 0 | 8.4 | 0 |
| > 25 | 0 | 0 | 4.1 | 0 |
| TAUX ECHEC (%) | 50.0 | 28.1 | 17.8 | 21.9 |

TABLEAU 4.3 : Répartition des classes de débits par faciès géologique

Ces deux phénomènes (nombre de forages et taux d'échec) sont le résultat d'une seule et même cause, à savoir le caractère argileux et colmaté des schistes. En effet, des quatre faciès distingués, les schistes sont ceux qui contiennent la plus forte teneur en ferro-magnésiens. L'altération de ces schistes est donc relativement plus rapide et les arènes qui en sont issues sont très riches en argiles fines susceptibles de colmater les pores et microdiaclasses de la roche. Les infiltrations y sont donc ralenties au maximum et les circulations très lentes sinon nulles. En Côte d'Ivoire, dans la région de la boucle du cacao, des ouvrages foncés dans ce type de formations ont parfois présenté des débits décroissants pendant l'exploitation. Au contraire des arènes granitiques et migmato-gneissiques dont les pores et microdiaclasses s'appauvrissent progressivement en argiles fines pendant le pompage (effet de décolmatage), les arènes schisteuses, quant à elles, s'imperméabilisent. Ce fait est très gênant et justifie, sans nul doute, la vaste zone déclarée "défavorable" par ARLAB-CAMEROUN sur la carte de synthèse des données hydrogéologiques du Nord-Cameroun réalisée en 1985.

Cette zone épouse pratiquement les contours des limites lithologiques des schistes de POLI, du 8ème parallèle au Nord des formations volcano-sédimentaires de MANGBEI. Les générations successives d'hydrogéologues se sont tellement désintéressées des études dans cette zone que très peu de travaux lui sont consacrés.

Le second groupe de formation présente un nombre relativement élevé de forages et un pourcentage d'échec de 28.1 %. Le nombre élevé de forages est dû à l'extension géographique quasi-généralisée des granito-gneiss. Le taux d'échec de 28.2 % est acceptable pour ces formations quand on sait que certaines d'entre elles sont effectivement fracturées et microfissurées, mais se présentent sous forme de dômes intrusifs discordants, occupant de vastes surfaces (Hossérés GODE, DJOUMTE, BORONGO, KONE, PAL, YALBO, MANGO, VOKRE, DOUMBOULKO, NIGBA). Les différentes fractures et fissures (quelle que soit leur genèse) contenues dans ces massifs dénudés ne peuvent jouer qu'un rôle hydrogéologique de drain (sans aucune fonction capacitive superficielle ou profonde) par lesquels les eaux météoriques percolent. On est très loin du cas des massifs volcaniques macrofracturés du Puy de Dôme (H. DJEUDA TCHAPNGA, 1985) présentant une fracturation en grand mais reposant sur un substratum perméable en petit et apte à jouer un rôle capacitif. Toutes les eaux qui tombent donc sur ces massifs s'écoulent en cascade vers les dépressions environnantes où elles s'infiltrent (ou coulent) dans les formations plus perméables (arènes du socle, formations sédimentaires...). Ce fait explique le réseau hydrographique (matérialisé par le tracé des thalwegs) extrêmement dense qui est rencontré sur ces massifs.

Quant aux formations sédimentaires, nous avons sélectionné les forages réalisés en leur sein, mais placés au voisinage des formations cristallines. Ceci nous a permis de noter d'une part les variations des débits enregistrés dans ces deux types de formations à comportement hydrodynamique fondamentalement différent, mais aussi et surtout à comparer les ordres de grandeur des pourcentages d'échec. Ici, ce taux est de 17.8 %. Il est quasi certain que la prise en compte de forages situés à l'intérieur même des bassins sédimentaires du Nord-Cameroun nous aurait donné une valeur du taux d'échec nettement inférieure à 17.8 %. Ce point témoigne, s'il en était encore besoin, de la relative complexité de l'hydrogéologie des terrains cristallins par rapport à celle des ensembles sédimentaires. Nous donnons pour preuve la répartition spatiale des forages réalisés au Nord-Cameroun avant 1985 et consignée par ARLAB sur sa carte citée plus haut ; le seul demi-carré de LAGDO (9°00 - 9°30 ; 13°30 - 13°45) contenait 12 forages positifs pour un négatif, tandis que les carrés de GODE (8°30 - 9°00 ; 13°00 - 13°30), MANGO (8°00 - 8°30 ; 13°30 - 14°45) et BALCHE (8°30 - 9°00 - 13°30 - 14°00) qui sont tous cristallins, ne comptent qu'un seul forage en leur sein ; les études de reconnaissance préliminaire les ont cartographiées comme défavorables. Les mêmes faits sont observables dans le carré de TCHOLLIRE (8°00 - 8°30 ; 14°00 - 14°30) où on note cinq forages négatifs pour deux productifs (l'un de ces forages est situé dans les formations sédimentaires du Mayo Rey).

La zone de transition située grossièrement au Sud du Cordon dunaire est constituée par des formations sédimentaires reposant sur les roches cristallines. Une fois de plus, le taux d'échec de 21.9 % déterminé pour ces formations est acceptable si l'on considère que les forages captent autant ces formations que la frange fissurée du socle. Lorsque ces formations cristallines sous-jacentes ne sont pas fracturées, elles jouent un rôle de mur imperméable, favorisant ainsi l'accumulation des eaux souterraines dans les sédiments qu'elles supportent.

*** Variations des débits en fonction de la profondeur totale des forages :**

La figure 4.2 nous donne, pour les deux fichiers, la répartition des débits en fonction de la profondeur totale. En A, les débits croissent avec la profondeur jusqu'à 60 m. Au-delà de cette valeur, la tendance est plutôt inverse. En B, la croissance des débits par rapport aux profondeurs est très forte et s'observe entre 10 et 30 m. Au-delà de cette limite, les débits décroissent avec l'augmentation de la profondeur forée.

*** Variations des débits en fonction de l'épaisseur des altérites :**

Dans les deux cas (A et B), la distribution des points représentatifs dans les diagrammes binaires indique que les débits augmentent progressivement avec l'épaisseur des altérites. L'ensemble est corrélable suivant une loi linéaire à coefficient de corrélation positif et plus élevé dans le cas A (fig 4.2).

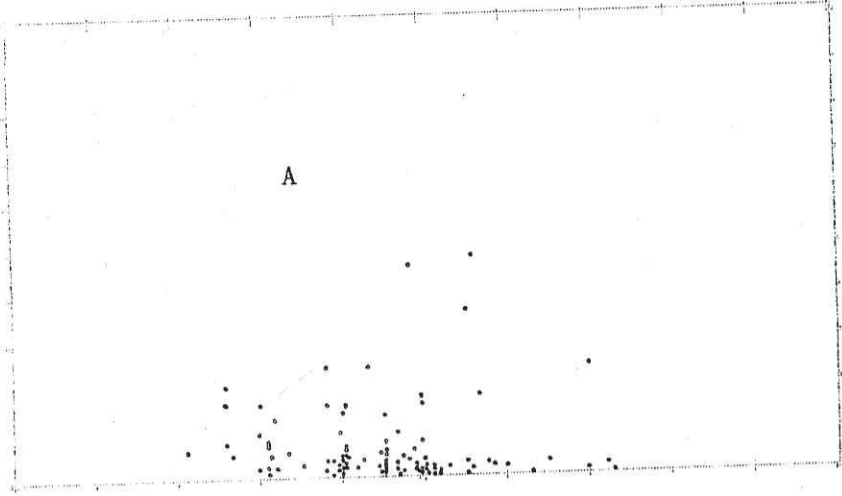
*** Variations des débits en fonction de la pénétration dans le socle :**

La dispersion très prononcée des points nous fait noter qu'il existe une corrélation négative entre les deux paramètres étudiés. La figure 4.3 donne les deux représentations graphiques de cette analyse. Hydrogéologiquement, ce résultat statistique permet de mettre en évidence le phénomène de surcreusement (foration inutile) très fréquent dans les campagnes d'hydraulique villageoise. La poursuite démesurée de la foration dans le socle d'un site donné ne garantit pas forcément l'obtention du débit escompté.

*** Variations des débits par rapport à la profondeur de la première venue d'eau :**

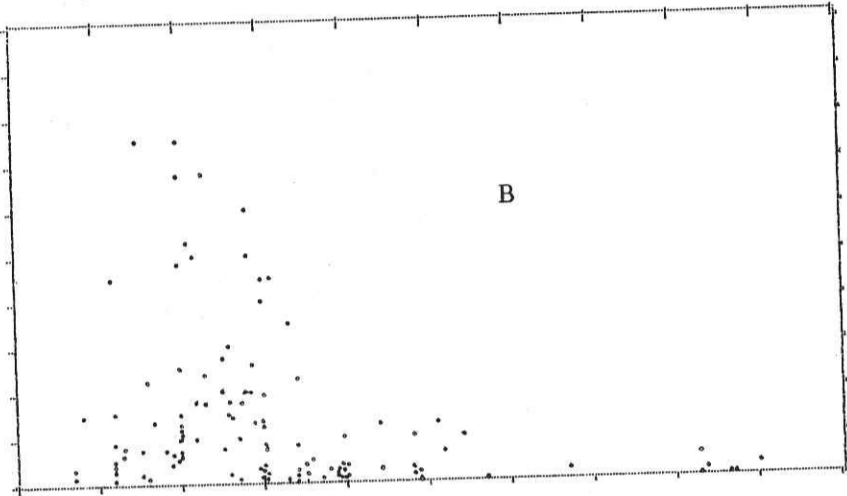
La première venue d'eau est essentiellement située entre les profondeurs de 10 et 30 m pour les deux fichiers (figure 4.3). Cette profondeur coïncide avec celle des débits les plus élevés observés pendant l'étude des variations des débits par rapport à l'épaisseur des altérites. La venue ainsi mise en évidence correspond à la "première nappe" et est le résultat de la vidange des arènes. C'est cet aquifère qui est, en général, capté par les puits dont les profondeurs ne dépassent que très rarement 25 mètres.

EN ABSCISSE Pt DE 0 A 120
EN ORDONNEE Q DE 0 A 20

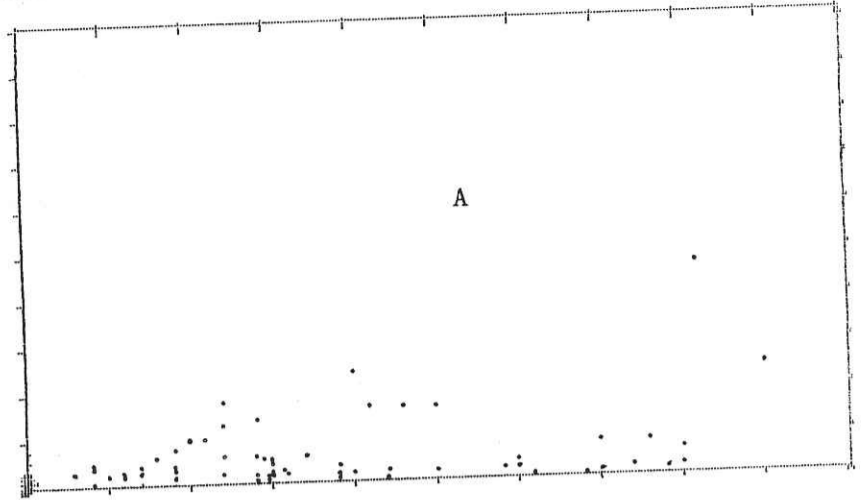


$Q = f(Pt)$

EN ABSCISSE Pt DE 10 A 110
EN ORDONNEE Q DE 0 A 20



EN ABSCISSE EA DE 0 A 50
EN ORDONNEE Q DE 0 A 50



$Q = f(EA)$

EN ABSCISSE EA DE 0 A 100
EN ORDONNEE Q DE 0 A 20

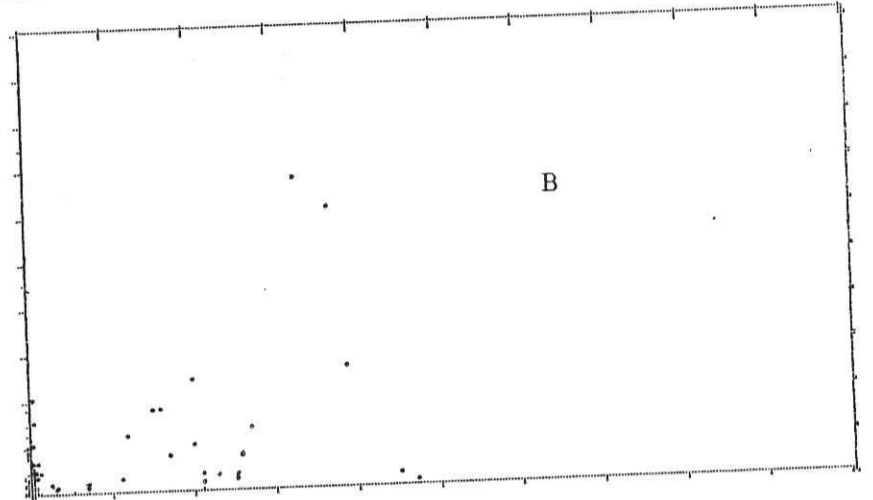
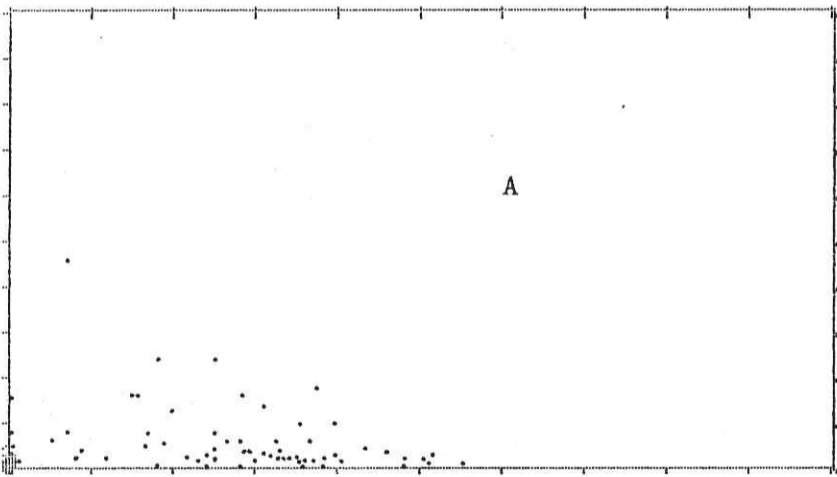


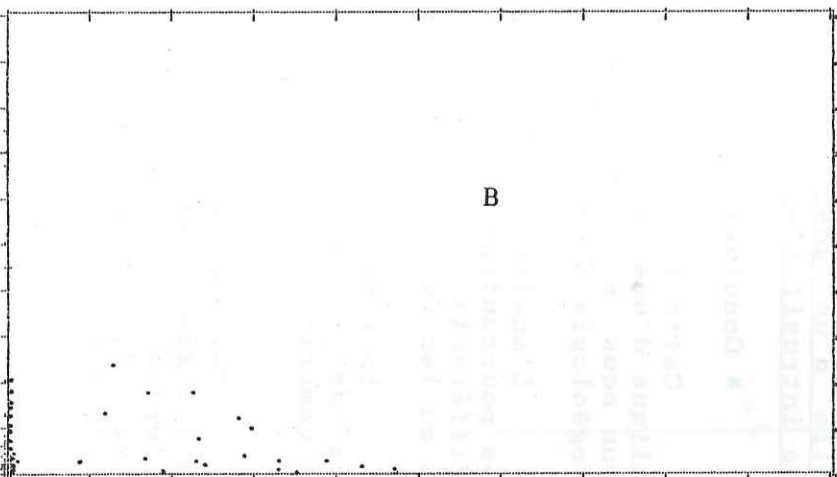
fig 4.2. : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la Profondeur totale (Pt) et de l'Epaisseur des altérites (EA)

EN ABSCISSE PS DE 0 A 100
EN ORDONNEE Q DE 0 A 50

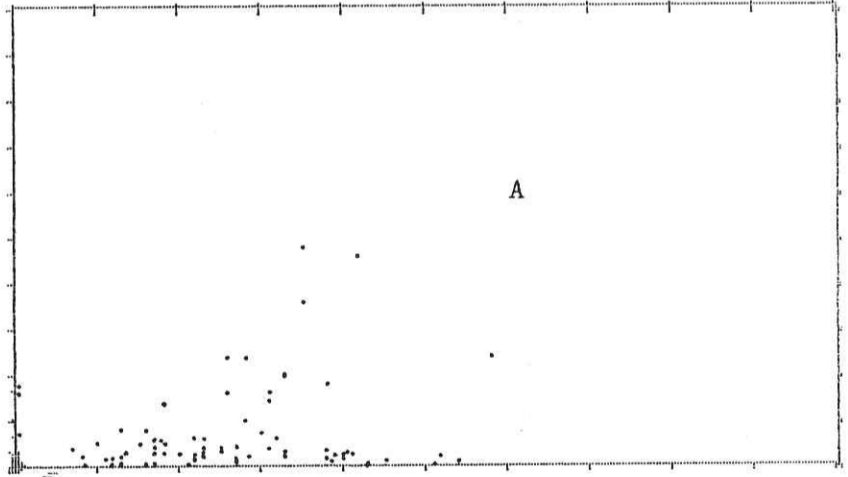


$Q = f(PS)$

EN ABSCISSE PS DE 0 A 100
EN ORDONNEE Q DE 0 A 20



EN ABSCISSE PV1 DE 0 A 100
EN ORDONNEE Q DE 0 A 50



$Q = f(PV1)$

EN ABSCISSE PV1 DE 0 A 100
EN ORDONNEE Q DE 0 A 20

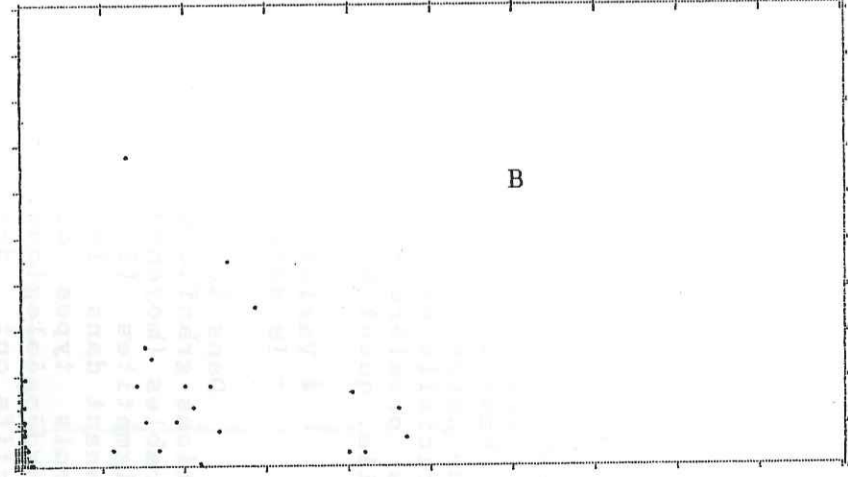


fig 4.3 : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la Pénétration dans le socle (PS) et de la première venue d'eau (PV1)

* Variations des débits par rapport à la profondeur de la seconde venue d'eau : (fig 4.4)

Dans les forages du fichier A, les venues sont concentrées entre 30 et 50 m. Les débits les plus importants oscillent autour de 50 m. Quant à ceux du fichier B, la distribution des points est plus anarchique et les venues sont observées entre 25 et 60 mètres. Les débits les plus importants sont enregistrés entre 30 et 45 mètres. Cette zone correspondrait à la zone dite de "seconde nappe". Elle est vraisemblablement en continuité hydraulique avec la première puisque les zones de localisation de ces deux unités se chevauchent pour le fichier B. Aux termes de première et seconde nappe, nous préférons ceux, plus descriptifs, de nappe superficielle et nappe profonde (A.N. SAVADOGO, 1984). Alors que la première est liée à la morphologie externe, la seconde est liée, quant à elle, au modelé du bed-rock.

* Variations de la profondeur totale par rapport à la nature pétrographique : (fig 4.4)

Dans les deux cas, les forages exécutés dans les formations granito-gneissiques (1) ont des profondeurs comparables (moyenne 35 m) à celles des forages foncés dans les migmatites (2) et les gneiss (3). Ce résultat n'est pas surprenant dans la mesure où la distinction géologique entre ces trois types de formations ne se fait plus sentir sur le plan hydrogéologique. En effet, ces faciès et leurs arènes respectifs ont des comportements hydrauliques et des propriétés capacitatives très voisines, mais fonction de leur hétérogénéité texturale. Dans une hiérarchisation hydraulique faite en fonction de ce critère, une migmatite hétérogène (du type agmatite) aurait une productivité hydraulique plus élevée que celle d'un gneiss s.s. qui, à son tour, primerait sur un granite intrusif classique.

* Conclusion :

Cette approche statistique de la productivité hydraulique d'une population de 272 forages exécutés au Nord-Cameroun nous a permis de dégager les grands traits de l'hydrogéologie Nord-Camerounaise :

L'analyse globale des résultats permet de remarquer que les pourcentages de succès et la productivité des ouvrages sont différents suivant que l'on considère les classes de débits ou les faciès géologiques.

En effet, suivant les classes de débits enregistrés, le taux de succès est de l'ordre de 75.7 % avec 42.4 % de débits compris entre 0.6 et 4 m³/h et 33.3 % supérieurs à 4 m³/h.

Par contre, la répartition des débits en fonction des faciès géologiques montre que les taux de succès croissent dans l'ordre suivant : schistes (50 %), granito-gneiss (71.9 %), zone de transition (78.1 %) et enfin formations sédimentaires (82.2 %).

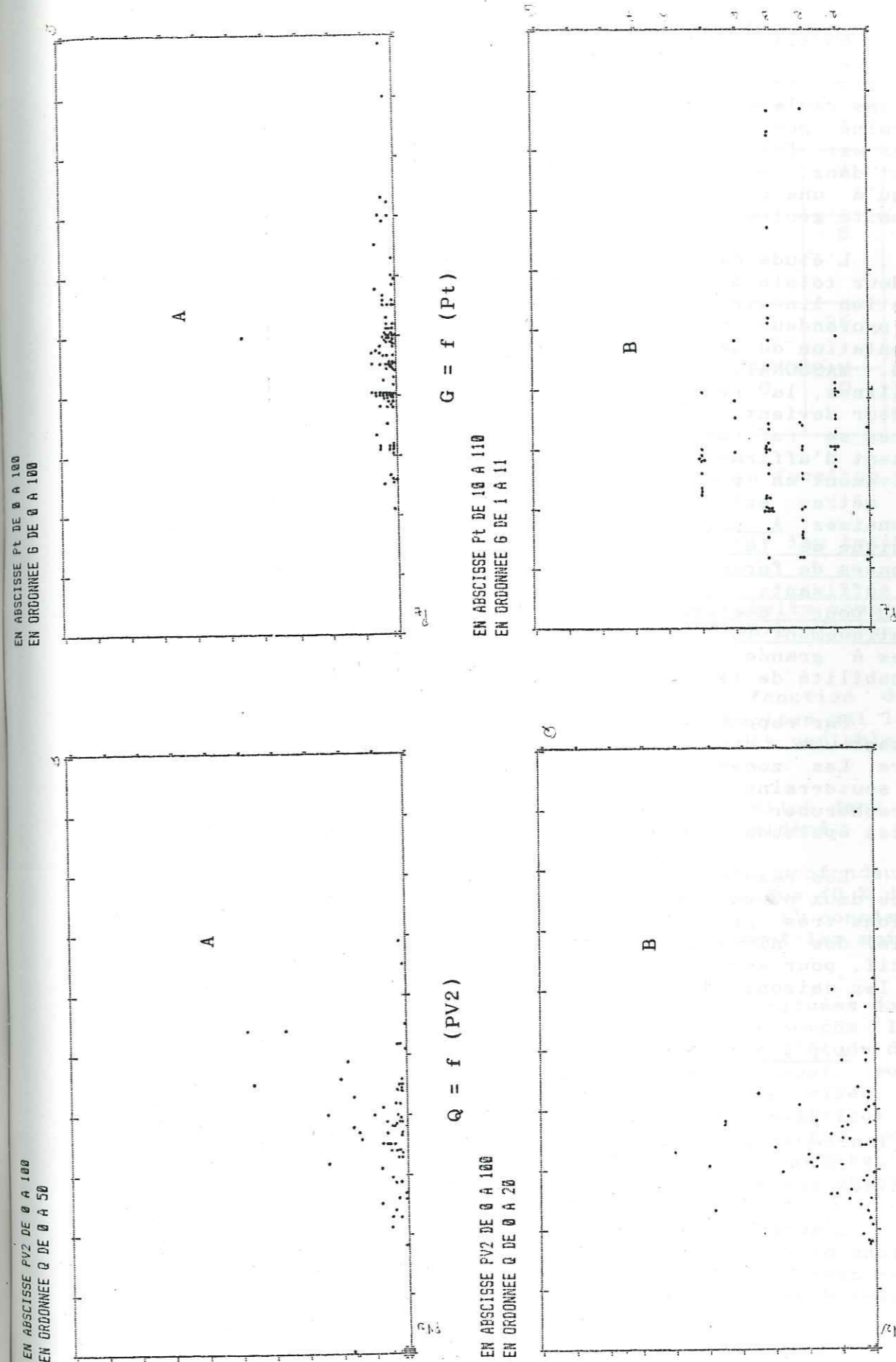


fig 4.4 : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la deuxième venue d'eau (PV2) et de la profondeur par faciès géologique

Dans les schistes, 25 % des débits sont supérieurs à 4 m³/h. Ce chiffre passe à 15.6 % pour les granito-gneiss, à 39.0 % pour la zone de transition et 55.7 % pour les formations sédimentaires. Il est à noter que ce chiffre de 25 % déterminé pour les débits des forages foncés dans les schistes est fort et tient plus au nombre réduit de forages existant dans ces formations et pris en compte dans cette étude qu'à une productivité hydraulique relativement forte de cette unité géologique.

L'étude de la variation des débits par rapport à la profondeur totale des forages nous a montré qu'il n'existe pas de relation linéaire entre les deux paramètres. L'augmentation de la profondeur d'un forage ne garantit donc pas forcément l'augmentation du débit de celui-ci. Des auteurs (M. ENGALENC, 1979, G. MASSONAT, 1981), estiment que « dans les zones cristallines, la recherche d'eau au-delà de 120 mètres de profondeur devient aléatoire car la quasi totalité des fractures se referme à cette profondeur ». Nos travaux nous permettent d'affirmer que les fractures se referment effectivement en profondeur, mais nous pensons que la limite de 120 mètres est très élevée pour les formations Nord-Camerounaises. A partir des enseignements tirés de l'étude géophysique de la zone mobile du secteur de POLI et surtout des données de forages, nous pensons qu'une profondeur de 70 m serait suffisante, dans les unités cristallines du Nord-Cameroun pour déclarer un forage négatif et arrêter systématiquement la foration. En fait, il reste des fractures ouvertes à grande profondeur, mais leur nombre est réduit et la probabilité de les recouper est faible.

Par rapport aux épaisseurs des altérites, les débits présentent une distribution corrélable suivant une loi linéaire. Les zones où le toit du bed-rock sain forme des seuils souterrains doivent donc être évités au maximum. On devra rechercher le plus possible à recouper le couple altérites épaisses - frange fissurée du socle.

Les résultats statistiques ont permis de mettre en évidence deux niveaux aquifères en continuité hydraulique. Les variations très prononcées (notamment pendant la dernière décennie) des niveaux piézométriques font dire qu'il est impératif, pour assurer la pérennité des ouvrages, quelles que soient les saisons, de capter la frange fissurée du bed-rock.

4.1.1.2.3. Comparaison avec les résultats obtenus dans les pays voisins

A partir des données de la première campagne de forage lancée en 1982 dans le Sud-Ouest du GABON (provinces de NYANGA et NGOUNIE), M. DETAY (1985) a effectué une étude statistique des paramètres hydrogéologiques.

L'auteur, après une identification géologique des formations occupant cette zone et un recensement des forages exécutés dans celle-ci, dégage les caractéristiques générales consignées dans les tableaux 4.4 et 4.5.

| FACIES | | DEBITS | | | | | |
|---|------------------------|--------|-------|-----------|------------|-------------|--------|
| | | Q = 0 | Q < 1 | 1 < Q < 5 | 5 < Q < 10 | 10 < Q < 20 | Q > 20 |
| Précambrien inférieur série granitique (%) | | 34 | 28 | 17 | 10 | 7 | 3 |
| Précambrien supérieur série schisteuse-grès (%) | | 4 | 12 | 48 | 16 | 12 | 8 |
| Précambrien supérieur | Série schisto-calcaire | 15 | 4 | 15 | 18 | 23 | 25 |
| | Série de la BOUENZA | 14 | 36 | 50 | 0 | 0 | 0 |

TABLEAU 4.4 : Répartition des classes de débits en fonction des faciès géologiques

Les tableaux 4.4 et 4.5 font ressortir les traits suivants :

* Le maximum de forages présente des débits compris entre 1 et 5 m³/h. Les débits supérieurs à 5 m³/h existent, mais sont exceptionnels.

* Les débits varient fortement en fonction des faciès géologiques et de l'épaisseur des altérites qui les recouvrent. Ces altérites ont des puissances très variables, mais la moyenne est de 30 m (M. DETAY).

* L'essentiel des venues d'eau est situé dans la fourchette 20 - 60 m, quel que soit le faciès considéré.

* Pour le Précambrien inférieur où des profondeurs de 80 à 100 m ont été atteintes, l'auteur stipule que 40 % des venues d'eau se situent entre 20 et 60 m. De plus, il constate que ce sont les forages les plus profonds qui sont les moins productifs.

Dans les provinces de NYANGA et NGOUNIE situées dans la partie méridionale du GABON, nous retrouvons les caractéristiques majeures mises en évidence dans l'étude des forages du Nord-Cameroun. Ces caractéristiques sont, pour certaines d'entre elles, différentes de celles mises en évidence dans les formations cristallines de l'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Burkina-Faso...) ; en effet, des forages dépassant 90 m de profondeur et des altérites présentant des puissances de plus de 120 m y ont été décrits (site de KOSSOUKA décrit par A.N. SAVADOGO, 1984).

| | | V.E. | PROFONDEUR (m) | | | | |
|----------------|----------|--------------|----------------|-------|-------|-------|--------|
| | | | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 |
| Précambrien | | Q<1 m3/h (%) | - | 38 | 62 | - | - |
| Inférieur : | | 1<Q<5m3/h(%) | - | 60 | 20 | - | 20 |
| Série | | Q>5 m3/h (%) | - | - | 83 | - | 17 |
| Granitique | | TOTAL VE (%) | - | 32 | 58 | - | 10 |
| Précambrien | | Q<1 m3/h(%) | 29 | 43 | 14 | 14 | |
| Supérieur | | 1<Q<5m3/h(%) | 20 | 55 | 25 | - | |
| Série Schisto- | | Q>5 m3/h(%) | 14 | 57 | - | 29 | |
| Gréseuse | | TOTAL VE (%) | 21 | 53 | 18 | 8 | |
| Précambrien | Série | Q<1 m3/h(%) | 25 | - | 50 | 25 | |
| | Schisto- | 1<Q<5m3/h(%) | 7 | 79 | 14 | - | |
| | Calcaire | Q>5 m3/h(%) | 20 | 65 | 8 | 6 | |
| | | TOTAL VE (%) | 18 | 64 | 12 | 6 | |
| Supérieur | Série | Q<1 m3/h(%) | 43 | 43 | - | 14 | |
| | de la | 1<Q<5m3/h(%) | - | 86 | 14 | - | |
| | BOUENZA | Q>5 m3/h(%) | - | - | - | - | |
| | | TOTAL VE (%) | 21 | 64 | 7 | 7 | |

TABLEAU 4.5 : Pourcentage par gamme de profondeur et importance des venues d'eau (M. DETAY, 1985)

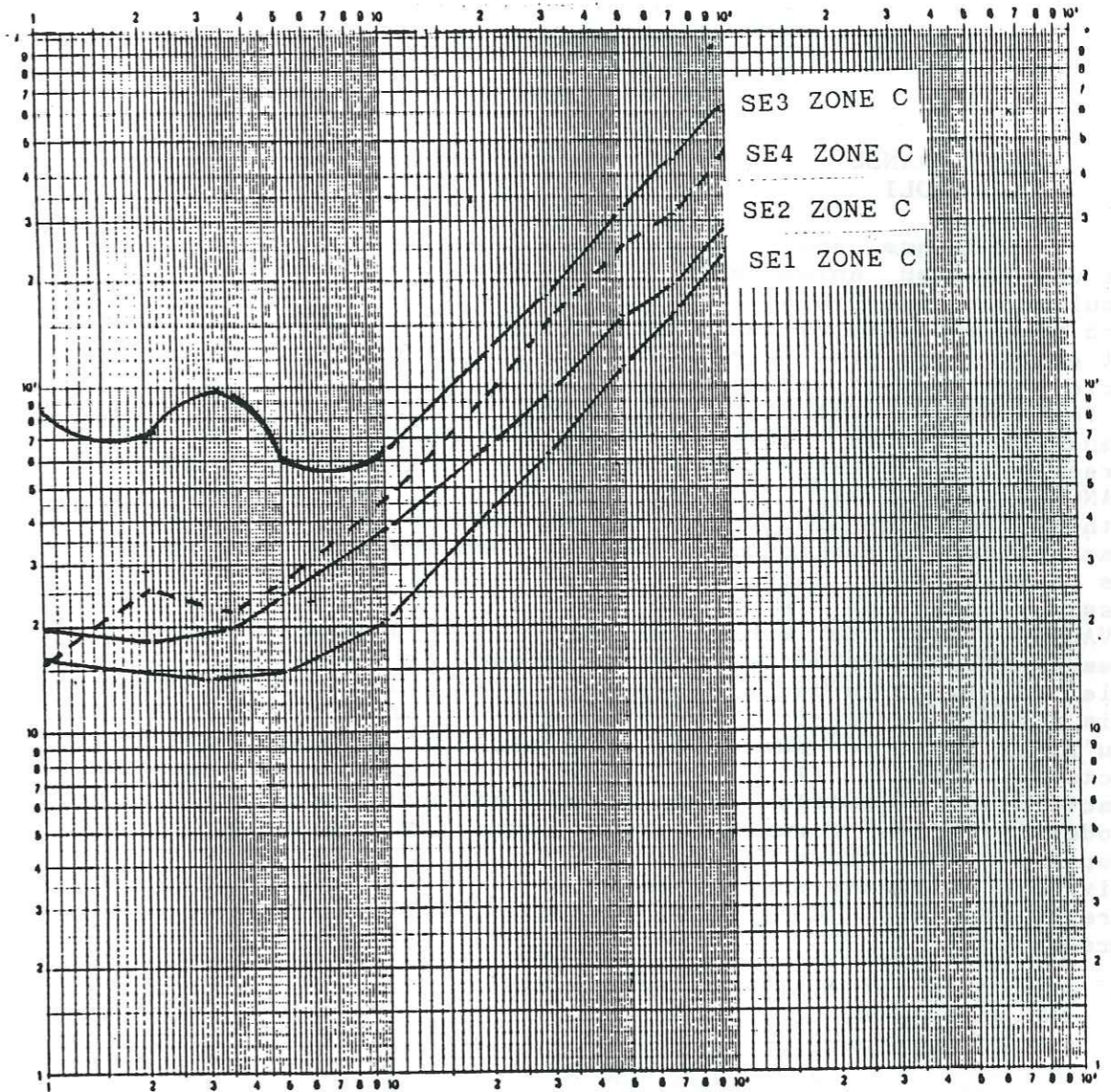


fig 4.5 : Courbes de S.E. de la Zone C du Camp des Réfugiés montrant des épaisseurs d'altérites variables mais toutes inférieures à 50 mètres

Les conclusions hydrogéologiques auxquelles nous arrivons semblent donc avoir un caractère régional limité à la zone mobile d'Afrique Centrale. En fait, contrairement à l'Afrique de l'Ouest qui est un vaste domaine arasé et profondément pénéplané, dans la zone mobile on est encore loin du coeur des chaînes. Les phénomènes de décompression latérale, d'ouverture des joints, d'altération des formations du socle sont encore très actifs et ont une incidence importante et certaine sur l'hydrogéologie des ensembles lithologiques qui constituent cette zone mobile.

4.1.2. GRANDS TRAITIS DE L'HYDROGEOLOGIE DU SECTEUR DE POLI

De nos jours, il est acquis que le socle cristallin est un milieu anisotrope ; les théories classiques des écoulements souterrains en milieu homogène et isotrope ne sont donc pas applicables dans ces formations. De nombreux auteurs ont établi que les fonctions capacitatives et drainantes de ce socle sont le fait de la frange altérée, mais aussi et surtout le fait des différentes fractures qui le morcellent. Les transmissivités et perméabilités sont donc des fonctions directes de la fracturation. A ce titre, des auteurs tels F.O. FRANCISS (1970) et C. LOUIS (1968) ont mis au point des méthodes de détermination de ces paramètres en fonction de la fracturation. L'application de ces formules de détermination des perméabilités induites aux formations cristallines du bassin versant de la Sissili (BURKINA FASO) a permis à A.N. SAVADOGO (1984) de constater que "les ouvrages de captage d'eau montrent des différences de productivité énormes pouvant aller du simple au décuple dans des zones proches ou éloignées mais d'égales perméabilités induites". Cet auteur conclut donc "qu'il existe, en marge de la fracturation en grand, des facteurs locaux tel le faciès pétrographique et la fracturation à petite échelle qui influent aussi sur la productivité des forages". Nous sommes en accord avec ces propos et nous nous attacherons, dans le chapitre qui va suivre, à faire une analyse de la productivité hydraulique des forages réalisés dans le secteur en fonction de ces paramètres.

4.1.2.1. Etat de fissuration des unités géologiques du secteur de POLI

Dans l'étude à l'affleurement des microstructures du secteur de POLI, nous avons distingué les grands ensembles géologiques suivants : schistes, gneiss-migmatitiques, granites, formations volcano-sédimentaires. Ces ensembles correspondent aux grandes unités hydrogéologiques. Toutefois, il convient de leur adjoindre les complexes annulaires et les filons divers (pegmatites, quartz et dolérites) qui présentent des caractéristiques hydrogéologiques spécifiques.

4.1.2.1.1. Les schistes

L'unité schisteuse de POLI est constituée de quartzites micacés et de schistes divers (argileux, à séricite, à épidote...). Ces formations sont faiblement métamorphosées (épizone) et sont relativement riches en ferromagnésiens. Elles constituent donc des points faibles de l'altération chimique. Les arènes de ces formations sont, en général, épaisses mais très riches en argiles fines. L'infiltration et la circulation des eaux y sont fortement ralenties du fait du colmatage des pores par ces particules fines. La séquence lithologique type rencontrée par les forages dans ces formations est assez monotone :

- 1 - Argiles grises tendres, parfois latéritiques
0 - 3 m
- 2 - Argiles brunes caillouteuses
3 - 4 m
- 3 - Schistes fissurés et altérés
4 - 16 m
- 4 - Schistes fissurés non altérés
16 - 38 m

Dans les vallées, ces schistes sont intensément microfissurés et cette microfissuration favorise leur altération. Les sols qui en sont issus sont en général peu évolués, régosoliques. A certains endroits (Mayo MOGDE), ils rappellent, par l'existence de joints argileux rouge sombre l'altération des sols rouges tropicaux (P. BRABANT et F.X. HUMBEL, 1974).

Le colmatage des pores et diaclases signalé plus haut et l'infiltration limitée des eaux se traduisent par un étalement caractéristique du réseau hydrographique. D'autre part, ces faits tendraient à expliquer le désintérêt des hydrogéologues quant à ce qui concerne la recherche de eaux souterraines dans ces formations. A ce sujet, B. TILLEMENT préconisait, pour l'alimentation en eau de la ville de POLI, deux modes de captage se rapportant tous à l'exploitation de l'écoulement superficiel du Mayo KONG. De nos jours, les besoins en eau de cette localité (environ 90 m³) ont été largement satisfaits à l'issue de la campagne de foration que nous avons menée conjointement avec les géologues du P.E.S. en 1986. Les devis estimatifs montrent que l'exploitation des eaux souterraines par le biais des forages a été nettement moins onéreuse pour la ville de POLI. De plus, l'eau livrée aux populations est d'une qualité chimique et bactériologique satisfaisante sans traitement préalable.

4.1.2.1.2. Les gneiss-migmatitiques

Dans cette catégorie hydrogéologique de formations, nous rangeons les gneiss, orthogneiss, migmatitites s.s. et les granites migmatitiques orientés.

Ces faciès sont largement répandus au Sud-Ouest (environs de SIGARI), au Centre-Ouest (gneiss et orthogneiss de Tété) et au Centre-Est (versant Nord du Hosséré MANGO). Ils constituent l'encaissant des ensembles circonscrits plus récents.

La microfissuration de la roche est intense. On distingue plusieurs familles de joints susceptibles de jouer des rôles hydrogéologiques favorables. A ceux issus des effets des tectoniques successives ayant affecté le secteur de POLI, il faut ajouter une dernière catégorie liée à la décompression. En effet, à l'approche de la surface topographique et à mesure que l'érosion agit, se produit en l'absence de toute autre contrainte tectonique, une variation de l'état des contraintes due à la diminution de la composante verticale de la pression lithostatique. Ce phénomène nommé "scheeting" par HILLS E.S. (1966) a été étudié par divers auteurs. Il génère des fractures généralement parallèles à la surface topographique dans les roches cristallophilliennes. Ces fractures sont souvent ouvertes et les surfaces guidées à la fois par des fractures préexistantes et probablement par des plans de moindre résistance d'origine tectonique (A.N. SAVADOGO, 1984). Dans le secteur de POLI, ces fractures sont nombreuses et subparallèles au plan horizontal créé par l'érosion. Elles contribuent à morceler le rocher en prismes de dimensions très variables. Sur la figure 3.54 du chapitre 3.3 réalisée à partir d'une photographie de terrain, cette famille de joints est représentée par les fractures du réseau 4.

L'altération des minéraux constitutifs des roches de cette unité hydrogéologique est différentielle. La vitesse du phénomène autant que l'importance de la frange altérée dépendent de la plus ou moins grande abondance des ferromagnésiens dans les séquences. Les arènes sont, en général, peu épaisses mais sableuses et les pores intercommunicants. Les circulations verticales et horizontales des eaux s'en trouvent facilitées. Ces formations ont, par conséquent, une fonction capacitive nettement supérieure à celle des schistes. Cette fonction capacitive élevée doublée de la facilité de diffuser les fluides générée par la microfissuration, assure aux ouvrages implantés dans ces formations des débits pérennes.

La séquence lithologique type obtenue grâce aux données des forages réalisés dans ces formations est la suivante :

| | |
|---|-----------|
| 1 - Argiles sableuses | 0 - 7 m |
| 2 - Sables grossiers | 7 - 12 m |
| 3 - Sables | 12 - 14 m |
| 4 - Roche pourrie à structure conservée | 14 - 26 m |
| 5 - Roche diaclasée non altérée | 26 - 36 m |
| 6 - Roche mère saine | |

4.1.2.1.3. Les granites

Nous utilisons ce terme granite dans son sens le plus large. Nous y rangeons tout un ensemble de formations présentant des aspects communs relatifs au mode de gisement, au mode d'altération et à la texture.

* Le gisement des roches que nous attribuons à cette unité hydrogéologique est caractéristique : ces roches d'origine magmatique sont nettement discordantes dans les formations encaissantes des groupes de POLI.

* En ce qui concerne le mode d'altération, tous ces granites présentent une altération en boule typique. Ce type d'altération est lié aux réseaux multiples de fractures qui les morcellent. Les fractures sont, pour la plupart, congénétiques et ont donc été étudiées dans le chapitre réservé à la fracturation du secteur de POLI. A ces réseaux de fractures se sont ajoutées les fractures tardives, liées à la décompression du matériel granitique. Les blocs qui en résultent sont de dimensions et de formes variées. Ils s'accumulent généralement aux pieds des massifs lorsque ceux-ci présentent une pente oblique pouvant favoriser leur descente par gravité (Hossérés GODE et DJOUMTE). Dans d'autres massifs à bords faillés et redressés, tel un escarpement, les blocs sont plus volumineux et moins nombreux à la base ; c'est le cas du Hosséré MANGO (versant Nord).

* Sur le plan textural, ces granites sont équants, en général porphyroïdes. Cette homogénéité granitique est vraisemblablement à l'origine de la modeste fissuration en petit des massifs. En effet, malgré le grain grossier de la roche, les minéraux sont solidement imbrigués les uns sur les autres. Ce fait contribue à imperméabiliser ces formations.

Dans le secteur, cet ensemble comprend les granites de GODE, TSORKE, DJOUMTE, NYORE, BORONGO, KONE, MANGO et VOKRE. En fonction de leur mode de gisement, de leur position dans le bâti structural du secteur, de leur mode d'altération et des propriétés hydrauliques des arènes qu'elles génèrent, les granodiorites et les diorites seraient rattachables, dans un cadre hydrogéologique, à cette catégorie de formation.

4.1.2.1.4. Les formations volcano-sédimentaires

Bien que les formations constituant cette série soient d'une part détritiques et d'autre part volcaniques (coulées trachy-andésitiques), elles ont été cimentées par un matériel essentiellement quartzueux et imprégné d'oxydes de fer rougeâtre. Les capacités hydrauliques de ces formations sont donc, au même titre que celles des formations qui leur ont donné naissance, liées à leur état de fissuration en petit. Sur le terrain, des filons de dolérite intrudent ces formations suivant une direction moyenne N 10° et des microdiaclasses sont observées sans que tout ceci puisse constituer des zones préférentielles d'infiltration ou de circulation des eaux.

La cimentation de ces formations a entraîné la fermeture des pores et fissures susceptibles d'octroyer à ces ensembles des propriétés hydrogéologiques appréciables. Ce fait est d'autant plus gênant que, pendant nos investigations hydrogéologiques dans le village de HOY situé justement sur ces formations, des difficultés notoires ont été relevées. En effet, des essais de mesures de résistivités apparentes se sont soldés par des échecs successifs, ceci était dû à l'état anhydre, compacté et cimenté des terrains. Le seul forage réalisé aux environs du village a été positionné et exécuté à près de 800 m de celui-ci, dans un site qui s'était révélé moins défavorable que les autres.

4.1.2.1.5. Les complexes annulaires

Dans le secteur de POLI, on en compte deux : le massif de POLI et celui de TCHEGUI. Ces massifs mis en place dans un contexte anorogénique et relativement récent (Paléocène-Eocène) sont très peu fissurés. La fracturation à grande échelle est la plus présente. Des mégafractures circulaires (ring-structures) y sont observées. Ces fractures mimment les limites lithologiques des formations emboîtées qui constituent ces massifs ; elles sont donc moins pénétratives à l'échelle de l'affleurement que les mégafractures transverses qui affectent ces massifs. Les effets conjugués de ces deux réseaux de fractures découpent les roches en blocs de taille modeste qui roulent jusqu'au pied des massifs.

4.1.2.1.6. Les filons

Ils sont très variés et très abondants dans le secteur de POLI. Nous distinguons trois grands groupes : les filons de microgranites, les filons de quartz et les filons doléritiques.

* Les microgranites constituent le réseau le plus important. Ils ont une direction générale sub-méridienne passant localement à la direction SE-NW.

* Les filons de quartz : Dans les roches foliées, ces filons empruntent les directions de fluidalité du matériel. Ils sont souvent étirés et forment des boudins (rods).

* Les filons de dolérite sont moins abondants que les microgranites. Ils s'organisent suivant un réseau sub-méridien mais présentent une direction secondaire E-W. Les faciès des deux familles sont semblables.

4.1.2.2. Comportement hydraulique des unités géologiques du secteur de POLI

Toutes les formations géologiques constituant le secteur de POLI ne présentent pas le même mode de fissuration en petit. Les capacités hydrauliques étant étroitement liées à cette fissuration, les différentes unités ne présentent donc pas les mêmes propriétés hydrauliques. Les granites, les formations volcano-sédimentaires et les complexes annulaires sont certes fracturés, mais le réseau de microfissures accompagnant cette fracturation n'est pas dense.

Cette rareté de fissures est liée à l'homogénéité texturale des granites, à la cimentation des formations volcano-sédimentaires et au caractère tardif et anorogénique des complexes annulaires. Les vastes surfaces occupées par ces formations ont donc un intérêt hydrogéologique limité.

Les formations du secteur de POLI qui présentent des caractéristiques hydrogéologiques plus intéressantes sont, par ordre d'importance décroissante, les filons, les gneiss-migmatitiques et les schistes.

4.1.2.2.1. Les gneiss-migmatitiques

Pendant nos séjours sur le terrain à travers le Nord-Cameroun, nous avons positionné 38 forages dans ces faciès ; 26 de ces forages ont été implantés dans les localités de MBE, TCHOLLIRE, MERI, BOURRHA et 12 dans les villes et villages compris dans le secteur de POLI ou voisins. Sur ces 12 forages, 6 ont été positionnés et exécutés au Camp des Réfugiés Tchadiens situé à une trentaine de kilomètres à l'Ouest du secteur de POLI, sur les migmatites de la rive droite du Mayo FARO. Parmi les 6 restants, 4 seulement ont été exécutés. Les deux autres ont été positionnés dans des villages situés dans l'axe de la vallée des Rôniers (GARE et HERKO). Les pistes menant à ces localités sont impraticables pour des véhicules du gabarit de la sondeuse (15 tonnes).

Du point de vue résultats, les profondeurs forées pour chaque ouvrage oscillaient entre 32 et 44 mètres tandis que les débits, exprimés en m³/h, allaient de 0.6 à 5.6. Toutes les implantations ont été faites après des études photointerprétatives, géophysiques et géomorphologiques.

| LOCALITE | PROFONDEUR TOTALE (m) | NIVEAU HYDROSTATIQUE (m) | DEBIT m ³ /h | RABAT TEMENT MAX. | NATURE DU SUBSTRATUM |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| Camp Réfugiés(C1) | 32 | 7.06 | 5.60 | 4.73 | Migmatites |
| Camp Réfugiés(C2) | 32 | 8.30 | 0.75 | 4.05 | Migmatites |
| Camp Réfugiés(A2) | 44 | 2.60 | - | - | Migmatites |
| Camp Réfugiés(A1) | 32 | 5.82 | 1.16 | 3.65 | Migmatites |
| Camp Réfugiés(B1) | 32 | 1.73 | 1.50 | 6.08 | Migmatites |
| Camp Réfugiés(B2) | 38 | 2.42 | 1.20 | 6.07 | Migmatites |
| VOKO | 38.5 | Eboulements (négatif) | | | Micaschiste |
| PATEMANGA | 32.5 | 2.62 | - | - | Albitite |
| BANTADJE | 44.5 | 5.47 | 0.72 | 12.11 | Albitite |
| GODE | 38 | 7.35 | 2.25 | 6.14 | Granite |
| FIGNOLE | 32 | 4.52 | - | - | Granite |
| YEMTE | 32 | 4.25 | 0.60 | 11.11 | Gneiss |

TABLEAU 4.6. : Caractéristiques hydrogéologiques des forages réalisés dans les gneiss-migmatitiques

4.1.2.2.2. Les schistes

Ces formations, largement répandues dans le Sud-Ouest du secteur ont été intensément sollicitées pour l'alimentation en eau de la ville de POLI elle-même et de quelques villages voisins. Au total, sept forages y ont été réalisés ; le tableau ci-dessous récapitule les résultats :

La droite de corrélation débit-profondeur a pour équation $Y = -x + 41.11$ et le coefficient de corrélation est de -0.71 .

| LOCALITES | PROFON-DEUR TO-TALE (m) | NIVEAU STATI-QUE (m) | DEBIT (m3/h) | GEOPHY-SIQUE | | SUBSTRATUM |
|-------------------|-------------------------|----------------------|--------------|--------------|-----|------------|
| | | | | NON | OUI | |
| NASSARAO | 39 | 9.19 | 1.2 | | + | Schistes |
| LAINDE | 33 | 7.03 | 3.6 | | + | Schistes |
| BOUMBA | 39 | 4.90 | 1.8 | | + | Schistes |
| BAKDONKO | 33 | 5.82 | 6.7 | | + | Schistes |
| Qt RESIDENTIEL I | 39 | 6.92 | 2.7 | | + | Schistes |
| Qt RESIDENTIEL II | 33 | 6.62 | 13.5 | | + | Schistes |
| PINTCHOUMBA | 56 | 5.14 | 0.6 | - | | Rhyolite |

TABLEAU 4.7 : Caractéristiques hydrogéologiques des forages réalisés dans les schistes

4.1.2.2.3. Les filons

Hydrogéologiquement, ces formations ne représentent pas une unité au sens strict du terme. Par leur action sur les unités précédemment décrites, elles induisent des productivités hydrauliques plus élevées. En effet, en intrudant les gneiss et les schistes, elles permettent à ces formations d'acquérir des potentialités hydrodynamiques et hydrauliques secondaires susceptibles d'améliorer considérablement leurs fonctions capacitatives et/ou drainantes. En fait, lorsque l'on considère le tableau 4.7 ci-dessus qui donne les valeurs des débits obtenus dans les schistes, on peut noter les faits caractéristiques suivants :

Abstraction faite du "super débit" de 13.5 m3/h enregistré pour le forage du Quartier Résidentiel II qui est situé à 30 mètres du Mayo TAPARE, les plus forts débits (6.7 et 3.6 m3/h) sont enregistrés pour des forages qui traversent un filon de quartz extrêmement broyé. Les cuttings issus des deux forages ont révélé des fragments très altérés de ce filon à partir de 14 mètres de profondeur. Cette profondeur correspond, dans les deux cas, à celle de la première venue d'eau. L'étude géophysique préliminaire des deux sites distants de près de 1 400 mètres et séparés par un important cours d'eau a permis de mettre en évidence l'orientation de l'axe conducteur. Cet axe passe par les deux forages et recoupe le cours d'eau (fig 4.6).

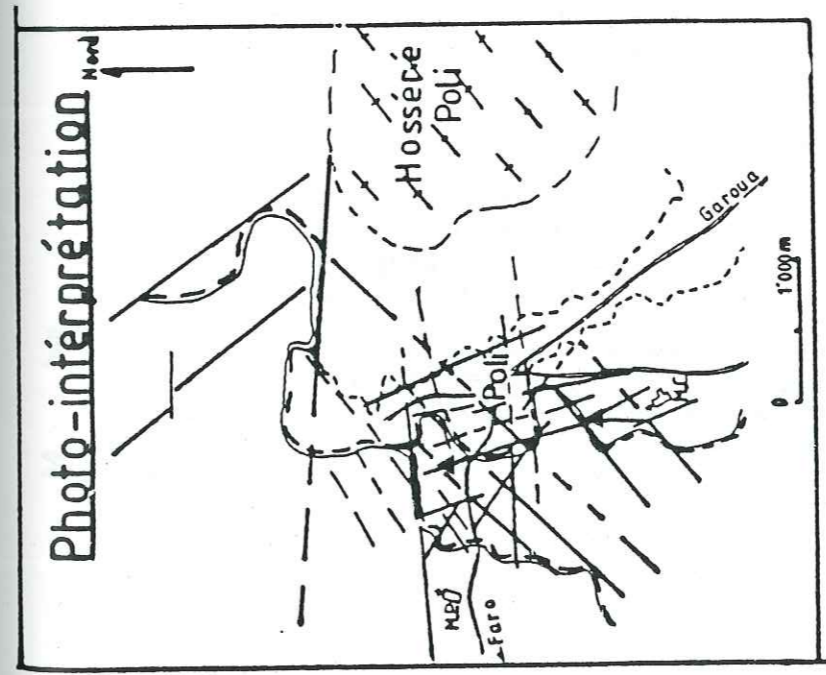
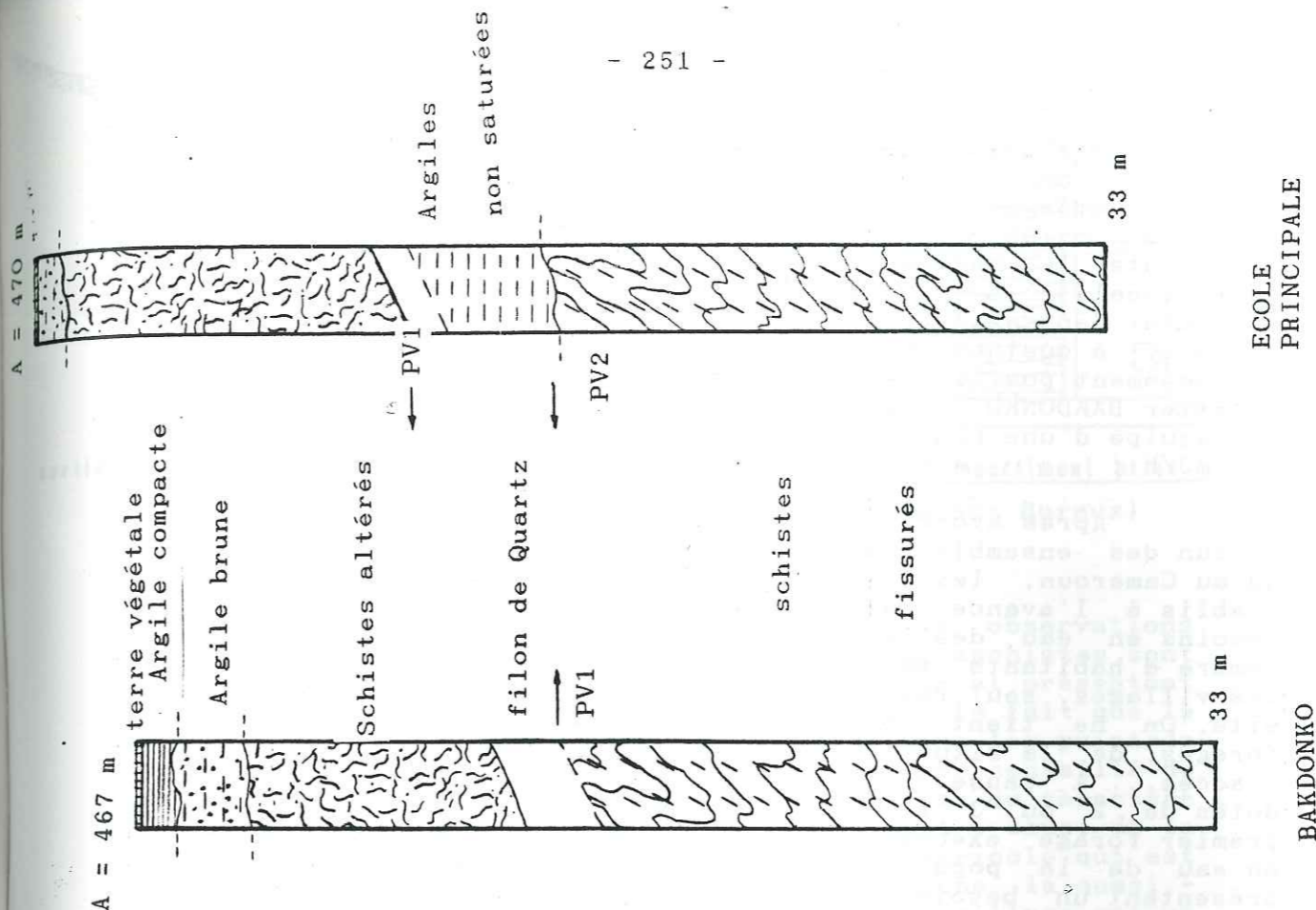


fig 4.6 : Situation photogéologique et logs des forages de BAKDONKO et de l'Ecole Principale de POLI montrant :
 * les relations entre la localisation du filon de quartz et les venues d'eau,
 * la semi-captivité de la nappe inférieure de l'Ecole,
 * la continuité hydraulique entre les deux nappes de BAKDONKO.

ECOLE PRINCIPALE
 BAKDONKO

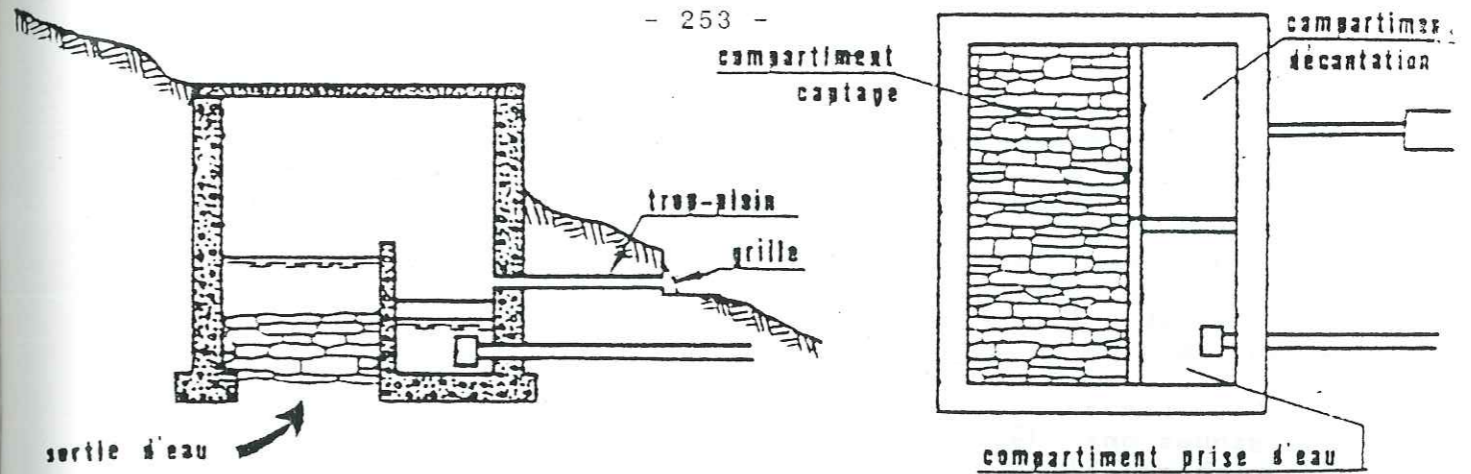
Des mois après la détermination de cet axe drainant, nous avons mené avec les hydrogéologues de GEOTEST en Février 86, une campagne de prospection couvrant la ville de POLI et visant à implanter des forages à gros débit susceptibles d'alimenter le château d'eau qui devait être construit dans cette localité. Les 20 m³/h recherchés furent obtenus (et même largement dépassés) par deux forages implantés justement sur cet axe, à quelques mètres seulement de celui que nous avons précédemment positionné. Ce forage de 6.7 m³/h exécuté dans le quartier BAKDONKO pour le compte de l'hydraulique villageoise est équipé d'une hydropompe VERGNET d'une capacité maximale de 1,5 m³/h !

Après avoir abordé la productivité hydraulique de chacun des ensembles décrits ci-dessus, il convient de noter qu'au Cameroun, les programmes d'hydraulique villageoise sont établis à l'avance par les autorités administratives. Les besoins en eau des populations sont estimés en fonction du nombre d'habitants par localité. Sur les fiches signalétiques des villages, seul ressort le nombre de forages à exécuter par site. On ne tient donc nullement compte des débits des forages, de la situation géographique des villages, des voies d'accès... A cause de ces faits, certains villages ont été dotés de 2 ou 3 forages alors que le débit obtenu dans le premier forage exécuté aurait largement satisfait les besoins en eau de la population. A l'inverse, d'autres villages présentant un besoin en eau réel et vital se sont trouvés insatisfaits à cause de leur situation géographique (cas du village de RIGA situé sur une crête) ou de l'impraticabilité des voies d'accès (cas des villages situés dans la vallée des Rôniers et de ceux situés au Sud de MANGO). Dans tous ces villages, d'autres méthodes de captage et d'alimentation en eau peuvent être mis en oeuvre pour résoudre le crucial problème que rencontre ces populations en saison sèche.

Dans les villages de GARE et HERKO, tous deux situés dans la vallée des Rôniers, deux solutions différentes sont envisageables : l'une concerne les eaux souterraines et l'autre les eaux superficielles.

* Les eaux souterraines :

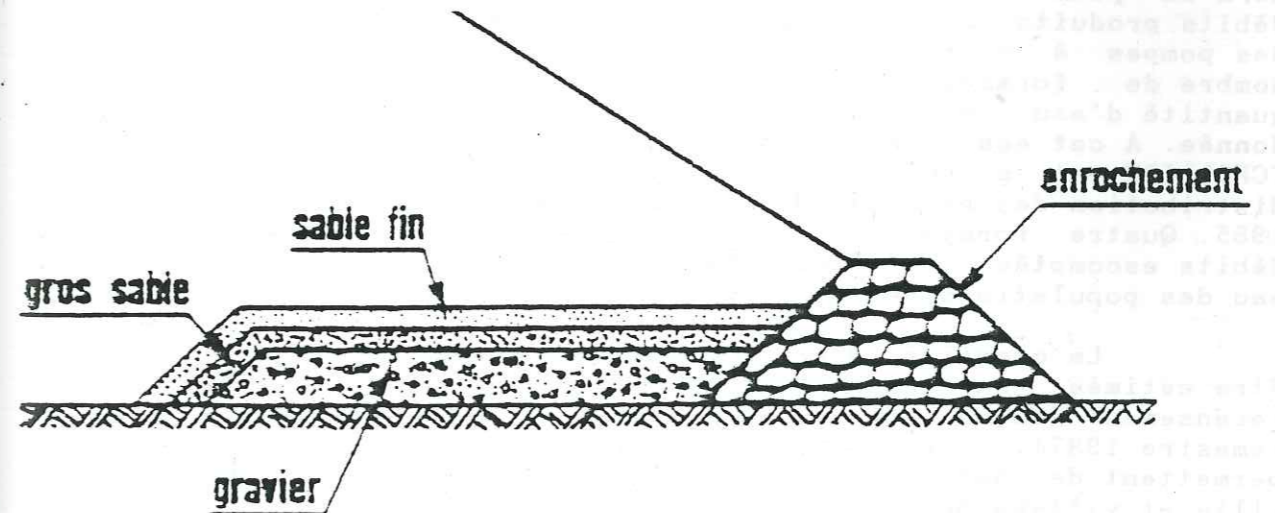
Environ 300 mètres avant le village de GARE qui se trouve au sommet d'une butte, il existe une source située au Sud de la route. Cette source, appelée "source du blanc" par les autochtones a un débit pérenne même pendant les mois les plus chauds de l'année (Mars - Avril). Les eaux qui ressurgissent en ce point coulent dans les arènes non exploitées du flanc des collines. La qualité chimique des eaux est bonne (voir chimie). Un aménagement peu coûteux et très pratique de ce point d'eau peut être envisagé suivant le modèle simple proposé ci-après.



(tiré du Mémento de l'Adjoint Technique des travaux Ruraux)

* Les eaux superficielles :

Quant au village de HERKO, les observations montrent que les altérites des gneiss et micaschistes sont constitués d'éléments noirs fortement argileux et présentant des paillettes inaltérées de muscovite. Malgré le fait que le niveau de l'eau se trouve à moins d'un mètre dans les puisards (observations effectuées en Mai), il n'est pas conseillé de vouloir capter cette eau d'une part à cause du caractère colmaté et boueux de l'aquifère, et d'autre part à cause de la potabilité douteuse liée à l'intense activité agricole qui est pratiquée par les populations locales. En revanche, la quasi-totalité des ruisseaux qui coulent autour de ce village ont un cours grossièrement Nord-Sud. Une digue, aussi modeste soit-elle et positionnée avant la route, aurait une zone d'épandage suffisamment vaste. Les pertes par infiltration seraient négligeables étant donné le caractère argileux des arènes gneissiques et micaschisteuses. Le modèle proposé ci-dessous présente l'avantage d'être simple et peu coûteux dans la mesure où tous les matériaux devant servir à la construction seront trouvés sur place. Seules la pompe et la tuyauterie devront être achetées.



(tiré du Mémento de l'Adjoint Technique des Travaux Ruraux)

4.1.3. CONCLUSIONS

Le milieu cristallin est imperméable à l'état sain. L'étude des aspects tectoniques du secteur de POLI nous a montré que ce socle est intensément fracturé suivant diverses directions de l'espace. Les fractures sont accompagnées de fissures dont les effets sont notables sur les capacités hydrauliques de ce socle.

Les arènes issues de l'altération des formations géologiques ont des propriétés hydrodynamiques et capacitatives appréciables. Elles sont, en général, exploitées par des puits incomplets à grand diamètre. La profondeur de ces puits excède rarement 25 mètres. La baisse généralisée des niveaux piézométriques pendant la dernière décennie (76-85) a provoqué le tarissement quasi-général de ces points d'eau.

Dès lors, les forages dont les profondeurs moyennes oscillent autour de 38 - 42 mètres semblent être la solution la plus indiquée pour capter l'horizon fissuré du socle cristallin. Cet horizon est moins tributaire des variations et rigueurs climatiques. Ces propos ne signifient pas que la résolution des problèmes d'alimentation en eau des populations de tout le Nord-Cameroun passe exclusivement par la généralisation des forages. Nous avons montré, par des exemples pris dans le secteur de POLI, que certaines localités dans lesquelles des forages ne peuvent encore être réalisés (ceci pour des raisons diverses), peuvent néanmoins être alimentées en eau par le biais de la réalisation d'autres types d'ouvrage de captage. Les ouvrages proposés sont d'un coût réduit.

A l'inverse, force est de constater que d'autres localités bénéficient d'un nombre très élevé de forages. Ces ouvrages sont sous-utilisés ; des pompes ayant des capacités maximales de 1.5 m³/h sont installées sur des forages de 10 m³/h ou plus. Il va sans dire que si l'on tenait compte des débits produits par les forages pour déterminer la capacité des pompes à y installer, on réduirait considérablement le nombre de forages à exécuter en respectant pourtant la quantité d'eau nécessaire et demandée pour une localité donnée. A cet égard, nous pensons que l'exemple de la ville de TCHOLLIRE est à suivre. Dans cette localité, un réseau de distribution des eaux par des canalisations a été construit en 1985. Quatre forages ont été suffisants pour obtenir les débits escomptés et susceptibles de satisfaire la demande en eau des populations de la ville.

La quantité d'eau nécessaire pour une localité peut être estimée en tenant compte des résultats du dernier recensement général de la population Camerounaise (premier semestre 1987). Les données de cette vaste opération permettent de déterminer le nombre d'habitants pour chaque ville et village du pays.

En outre, au Nord Cameroun et dans le cadre de l'hydraulique villageoise, la valeur de 25 litres par personne et par jour est retenue comme valeur minimale nécessaire. On peut donc déterminer le volume horaire nécessaire pour une localité en utilisant la formule :

$$Q = 1.041 \cdot 10^{-3} H \quad [Q] = V^3 T^{-1}$$

dans laquelle H désigne le nombre d'habitants.

4.2. LES PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES

4.2.1. INTRODUCTION

Nous avons précisé en 1985, dans le cadre de notre mémoire de D.E.A., la complexité de l'écoulement des eaux en milieux fracturés et fissurés. Pour simplifier le problème, nous avons alors distingué les formations perméables en petit de celles perméables en grand. Alors que dans les premières les lois qui régissent la circulation de l'eau dans les milieux poreux considérés comme homogènes et isotropes sont, en général, applicables, dans les secondes, par contre, le phénomène de diffusion des filets liquides est plus compliqué et ces lois des milieux poreux inapplicables.

De nombreux auteurs dont notamment LOMIZE, OLLOS, BOGOMOLOV, SNOW et plus récemment C. LOUIS (1968), C. RAYNEAU et B. CROSNIER (1970 à 1974) se sont préoccupés de l'aspect dynamique des écoulements dans ces milieux discontinus. Malgré la diversité des paramètres pris en compte par ces auteurs dans leurs approches respectives, il ressort que la détermination des lois de l'écoulement de l'eau dans les fractures des roches éruptives et calcaires reste imprécise. En effet, plusieurs facteurs entrent en compte et aucune des différentes formules établies ne tient compte de tous ces facteurs.

En fait, ces milieux renferment en général une sorte de nappe aquifère fondamentalement discontinue et constituée en réalité par un réseau irrégulier de lames et de filets liquides liés au réseau hétérogène et anisotrope de fractures et fissures des formations géologiques.

La dynamique de l'écoulement des eaux étant étroitement liée à la structure du milieu, ces écoulements seront donc aussi hétérogènes et anisotropes. Ils peuvent être mis en évidence par l'analyse et l'interprétation des essais de pompage.

4.2.2. LES ESSAIS DE POMPAGE

Dans tout le Nord-Cameroun et suivant l'option actuelle des différents projets, la recherche du débit maximum sur un site donné ne représente pas la priorité pour une campagne ; la priorité est axée vers l'alimentation de tous les villages par des forages à faibles débits. Dans cette optique, ces forages appelés "forages villageois" par A.N. SAVADOGO (1984) ne sont, en général, pas parfaits et intéressent, dans la majorité des cas, la nappe superficielle liée à la géomorphologie externe.

En 1972 déjà, B. TILLEMENT qui traitait des aspects hydrodynamiques de cette nappe disait que « compte tenu de la faible perméabilité des terrains aquifères, de leur faible extension, de leur extrême hétérogénéité et du revêtement des puits insuffisamment filtrants, il est impossible, dans la généralité des cas des nappes d'arène, de faire des essais de débits en régime transitoire par la méthode de THEISS, dont les résultats soient interprétables et permettent de tirer des valeurs représentatives de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement ».

Cette remarque formulée pour les puits bétonnés de grand diamètre dont les profondeurs dépassent rarement les 22 - 25 mètres, a été extrapolée par les différents ateliers de foration aux cas des forages exécutés par le marteau fond-de-trou, à tel point qu'actuellement, la succession des opérations effectuées pour la réalisation d'un forage est la suivante :

- 1 - Etudes préliminaires d'implantation,
- 2 - Foration,
- 3 - Tubage du forage,
- 4 - Nettoyage du forage et estimation du débit,
- 5 - Installation de la pompe.

Nous utilisons volontairement le terme de nettoyage du forage à la place de celui d'essais de pompage, car bien que des mesures de rabattements soient souvent effectuées, cette opération vise essentiellement à pomper l'eau boueuse du forage. En général, elle est arrêtée dès que l'eau qui sort du forage a une couleur acceptable ; cet arrêt peut parfois intervenir juste 1 heure ou 1 heure 30 seulement après le début du refoulement de l'eau du forage. Elle a donc pour but de décolmater les fissures et diaclases susceptibles d'être empruntées par les eaux qui s'écoulent vers le forage.

Pour notre part, dans le souci de donner quelques valeurs quantitatives aux paramètres hydrodynamiques de la nappe profonde captée par les forages que nous avons implantés dans le secteur de POLI, il nous est apparu indispensable de solliciter des pompages plus longs. Malheureusement, pour des raisons budgétaires (carburant et mobilisation plus longue du matériel et du personnel sur un même site), la Direction du Projet des eaux souterraines nous a autorisé la réalisation de ces essais sur cinq forages seulement, encore que ceux-ci ne dépassaient jamais deux heures de temps (120 minutes). La détermination des paramètres hydrodynamiques, quelle que soit la méthode d'interprétation choisie ayant une fiabilité croissante avec un temps de pompage de plus en plus long, il n'est pas aisé d'interpréter nos pompages ; les valeurs qui seront déduites de ces interprétations sont donc des ordres de grandeur et non des valeurs absolues à prendre en compte dans le cas où l'on envisagerait une exploitation intensive de cette nappe.

Quand on ajoute à ces temps très courts des pompages d'essais l'inexistence totale des piézomètres - les puits les plus proches des forages sont tous imparfaits et rapidement dénoyés dès les premiers instants de pompage - on comprend mieux la complexité du suivi de l'évolution des nappes dans le but de la détermination des caractéristiques hydrodynamiques.

4.2.2.1. La foration

Pour tous les sites prospectés, le fonçage des ouvrages a été effectué par le marteau fond-de-trou. Ce procédé pneumatique rapide utilise deux taillants de diamètre différent. Le plus grand (9''5/8) sert, dans le cadre du P.E.S. et en fonction des caractéristiques techniques du matériel japonais de foration utilisé, à forer les 3 à 6 premiers mètres du trou. Le second (6''1/2) fixé au bout des tiges à partir de cette profondeur sert à creuser le restant de la colonne jusqu'à la profondeur initialement indiquée par la géophysique. Pour certains sites, ces deux profondeurs peuvent être différentes (FB2 Camp des Réfugiés et forage de la SAR de POLI). Pendant la foration et à chaque ajout de tige après la première venue d'eau, des mouvements verticaux brusques de l'ensemble de la colonne permettent un décolmatage préalable des fissures traversées par le forage.

4.2.2.2. Tubage

Après avoir atteint la profondeur prédite par la géophysique ou une profondeur à partir de laquelle la vitesse d'avancement du marteau chute considérablement, le foreur imprime encore plusieurs mouvements verticaux de l'ensemble de la colonne. Des tubes PVC (Ø 100 mm) sont alors assemblés et introduits dans le forage. La colonne crépinée, en général toujours longue de 8 mètres dans le cadre du P.E.S., est placée au fond du forage, largement en dessous du niveau de la seconde venue d'eau. Cette colonne est fermée au fond par un bouchon de béton ; à partir du sommet de cette colonne crépinée jusqu'à la surface, on place des PVC pleins dont la longueur varie en fonction de la profondeur totale du forage. Dans la zone "vide" comprise entre les PVC et le bord du trou, on constitue le massif filtrant par introduction des graviers à granulométrie fine, préalablement recueillis et tamisés.

Le tableau 4.8. ci-dessous fait la synthèse des caractéristiques techniques de quelques forages dans le secteur de POLI.

| FORAGE | ENTRE- PRISE | P. TOT. (m) | PV 1 | PV 2 | TUBA- | CRE- | Q m ³ /h | N. STAT/ 50 1 | GEOLOGIE |
|---------------|-----------------|-------------------|------|------|----------------------|-------|------------------------|---------------------|-----------|
| | | | | | GE (PVC PLEIN) | PINE | | | |
| F1 GODE | BOSKALIS | 40 | - | - | - | - | 0.8 | - | Migmatite |
| F2 GODE | BOSKALIS | 38 | 28 | 37 | 0-23 | 23-38 | 3.5 | 8.80 | Migmatite |
| F POLI MAR. | BOSKALIS | 38 | 23 | 37 | 0-23 | 23-38 | 3.5 | 5.40 | Schiste |
| F POLI PRI. | BOSKALIS | 38 | 21 | 35 | 0-23 | 23-38 | 9.4 | 5.30 | Schiste |
| F NASSARAO * | P.E.S. | 39 | 15 | 18 | 0-28 | 28-38 | 1.2 | 9.1 | Schiste |
| F EC PRINC * | P.E.S. | 33 | 14 | 17 | 0-22 | 22-30 | 3.8 | 7.0 | Schiste |
| F SAR | P.E.S. | 33 | 15 | 18 | 0-22 | 22-30 | 0.7 | 8.8 | Schiste |
| F Qt Res I * | P.E.S. | 39 | 21 | 28.5 | 0-28 | 28-38 | 2.7 | 7.2 | Schiste |
| F Qt Res II * | P.E.S. | 38 | 18 | 22 | 0-25 | 25-33 | 13.5 | 7.0 | Schiste |
| F BAKDONKO * | P.E.S. | 33 | 13 | - | 0-22 | 22-30 | 8.7 | 8.1 | Schiste |
| F BOUMBA | P.E.S. | 39 | 17 | 23 | 0-28 | 28-38 | 1.8 | 4.9 | Schiste |
| F PINTCHOU. | P.E.S. | 50 | 45 | - | 0-44 | 44-50 | 0.8 | - | Rhyolite |

TABLEAU 4.8 : Caractéristiques techniques de quelques forages du secteur de POLI
* Forages ayant bénéficié d'un pompage relativement plus long et interprétable

4.2.3. INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE

L'inexistence de piézomètres fait que nous ne pouvons estimer que la transmissivité.

L'application de la méthode de THEISS-JACOB pour la détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères suppose que les hypothèses de base suivantes sont remplies (G.P. KRUSEMAN et N.A. DE RIDDER, 1973) :

* L'aquifère a une extension latérale apparemment illimitée.

* L'aquifère est homogène, isotrope et d'épaisseur uniforme dans la zone influencée par le pompage d'essai.

* Avant le pompage, la surface piézométrique est presque horizontale dans la zone influencée par le pompage.

* On pompe à débit constant.

* Le puits d'essai pénètre entièrement l'aquifère et l'eau arrive en écoulement horizontal sur toute l'épaisseur de la nappe.

Il est évident, en fonction des résultats des études effectuées dans les chapitres précédents, que plusieurs de ces conditions ne sont pas satisfaites dans le secteur de POLI :

* La "nappe profonde" ici captée est liée à la morphologie du substratum. La structure vallonnée de ce socle définit des poches d'eau d'extension limitée.

* L'aquifère est étroitement lié au réseau de fractures et est, par le fait même, hétérogène et anisotrope.

* Techniquement et en fonction des caractéristiques du matériel de pompage que nous avons utilisé, il était très difficile de pomper à débit constant.

* Les forages pénètrent effectivement la nappe profonde, mais la profondeur crépinée (8 m) ne correspond pas toujours à l'épaisseur de la nappe.

Malgré tous ces écarts et surtout à cause de l'inexistence des piézomètres, nous avons utilisé cette méthode de THEISS-JACOB pour interpréter nos essais.

Les figures 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 et 4.11, donnent l'allure sur papier semi-logarithmique des droites $S = f(\log t)$ pour chaque forage ainsi que les valeurs de la pente i et de la transmissivité T correspondante, calculée à partir de la formule simplifiée de THEISS :

$$T = \frac{0.183 Q}{i}$$

où Q représente le débit de pompage,
 S le rabattement,
et t le temps.

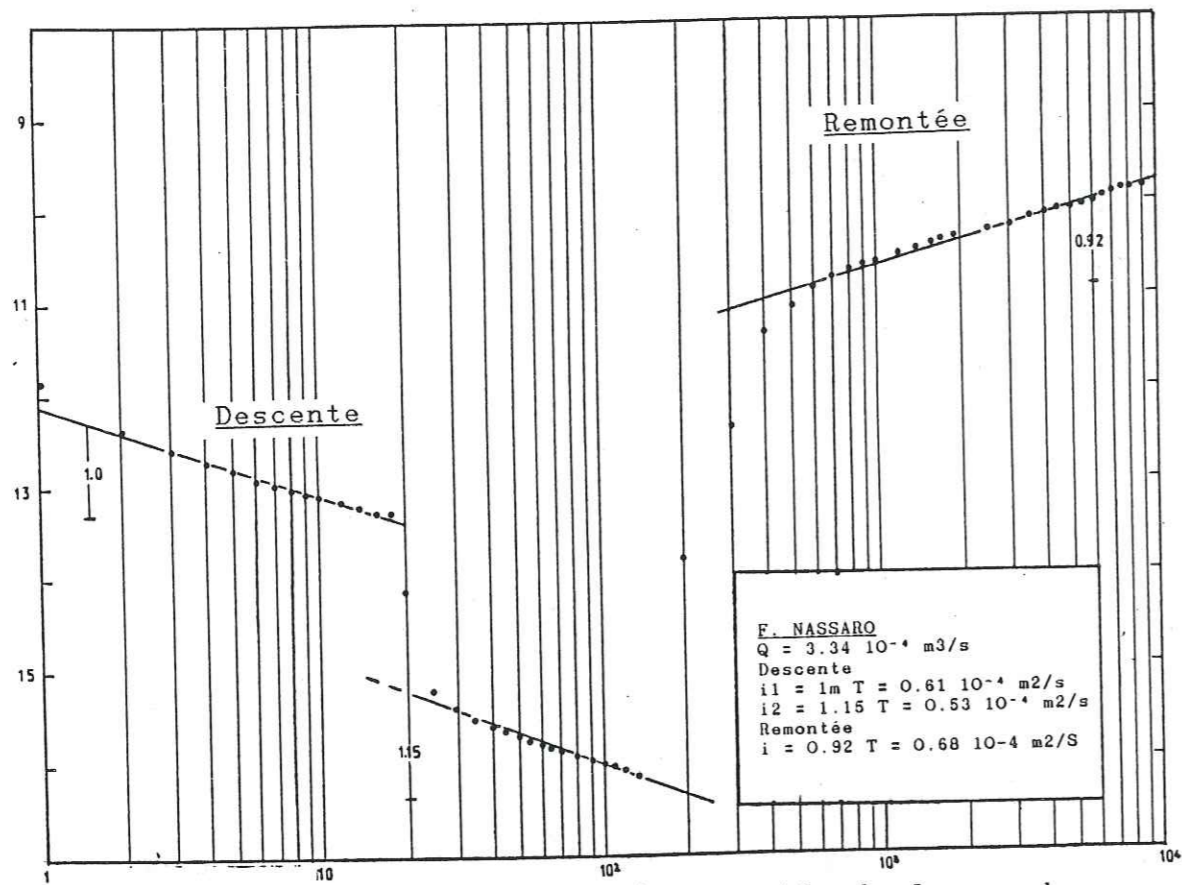


fig 4.7 : Courbes de descente et de remontée du forage de NASSARAO

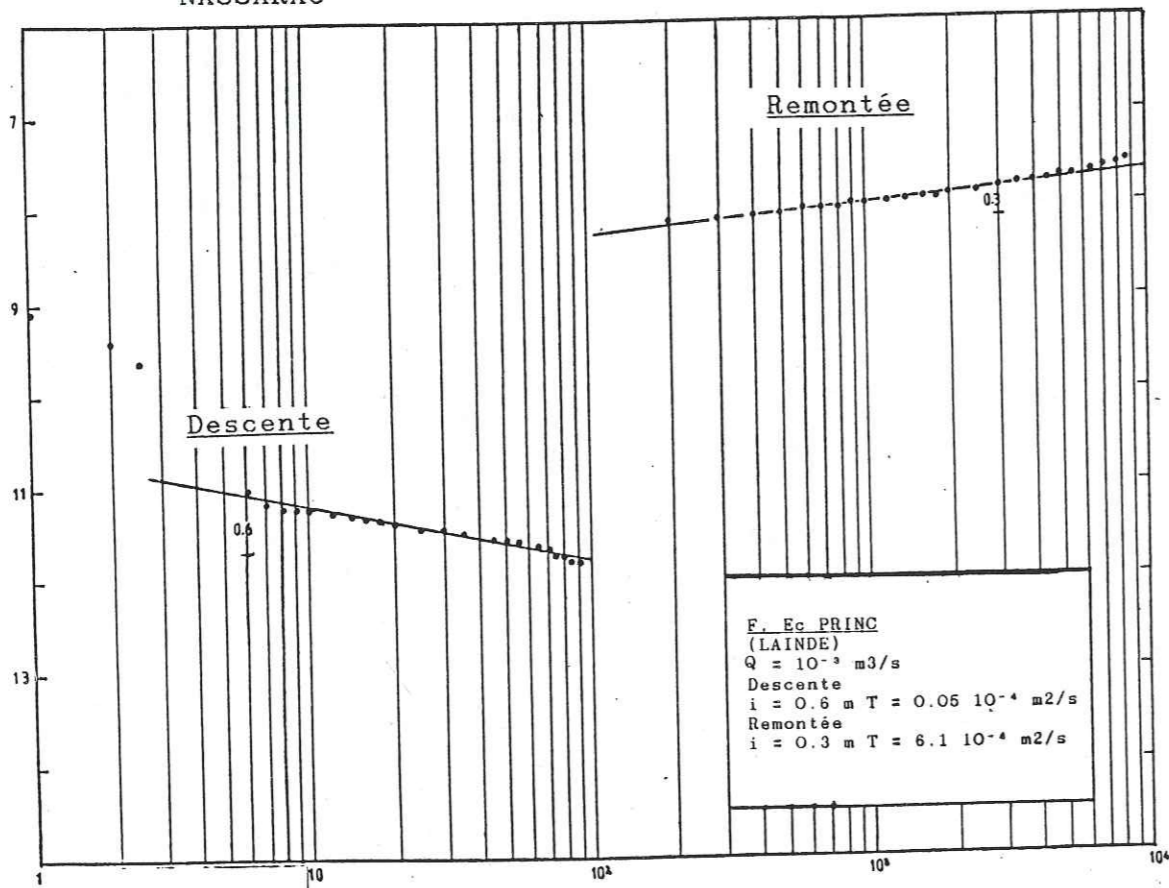


fig 4.8 : Courbes de descente et de remontée du forage de l'Ecole Principale de POLI

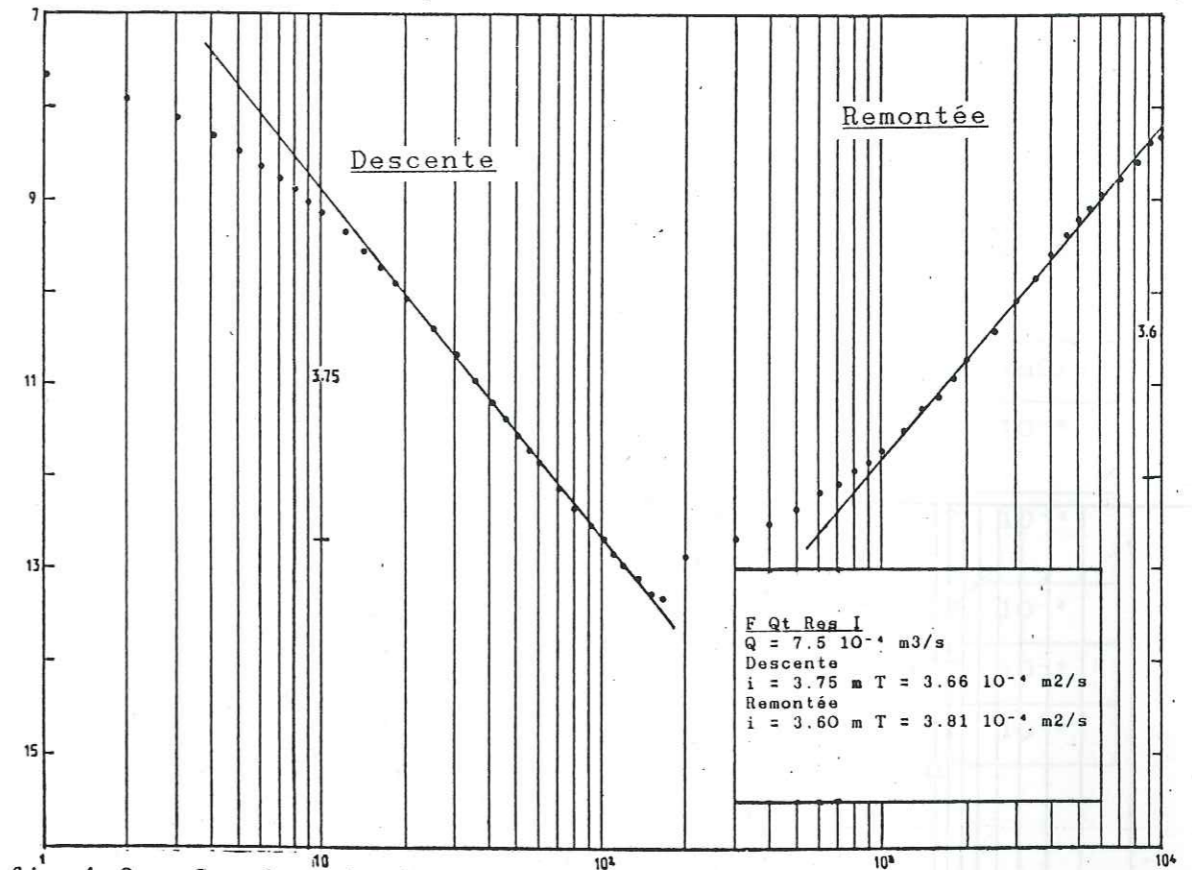


fig 4.9 : Courbes de descente et de remontée du forage du Qt Résidentiel 1

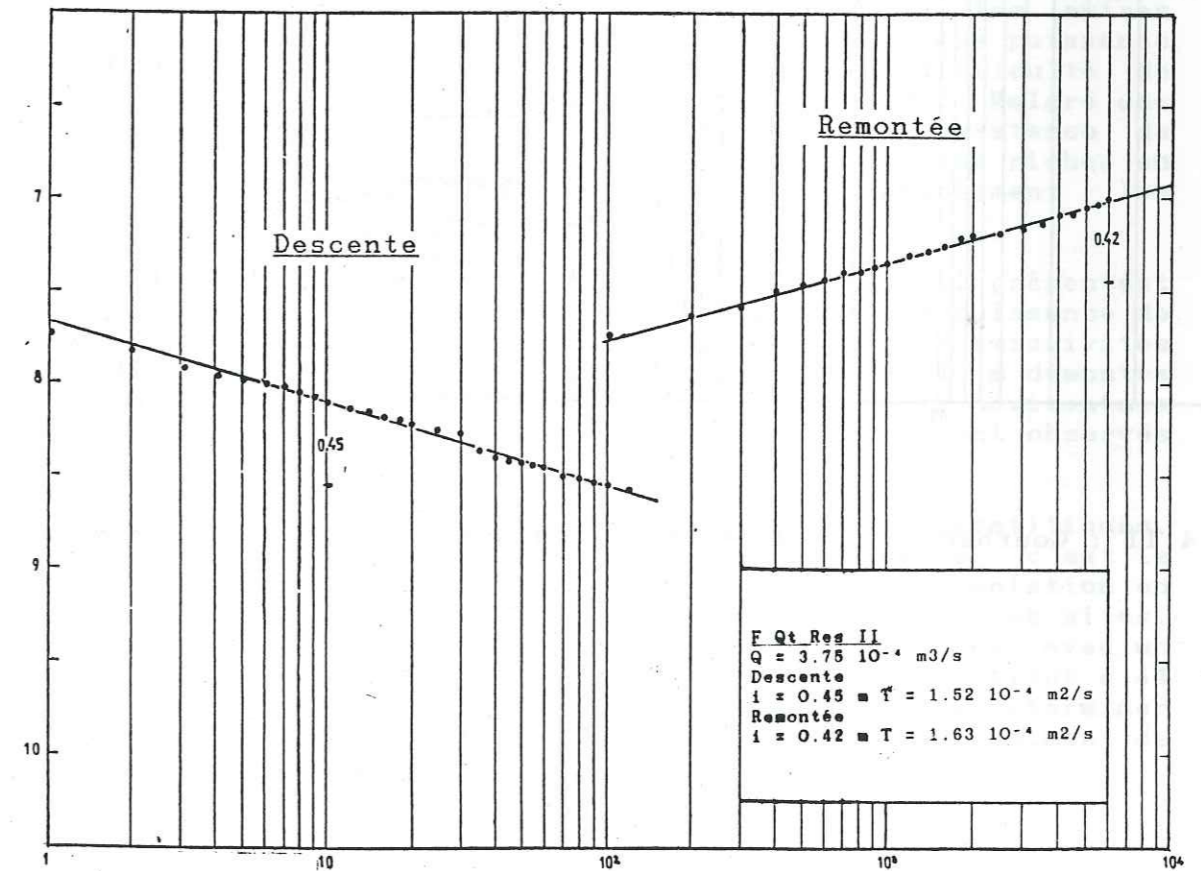


fig 4.10 : Courbes de descente et de remontée du forage du Qt Résidentiel 2

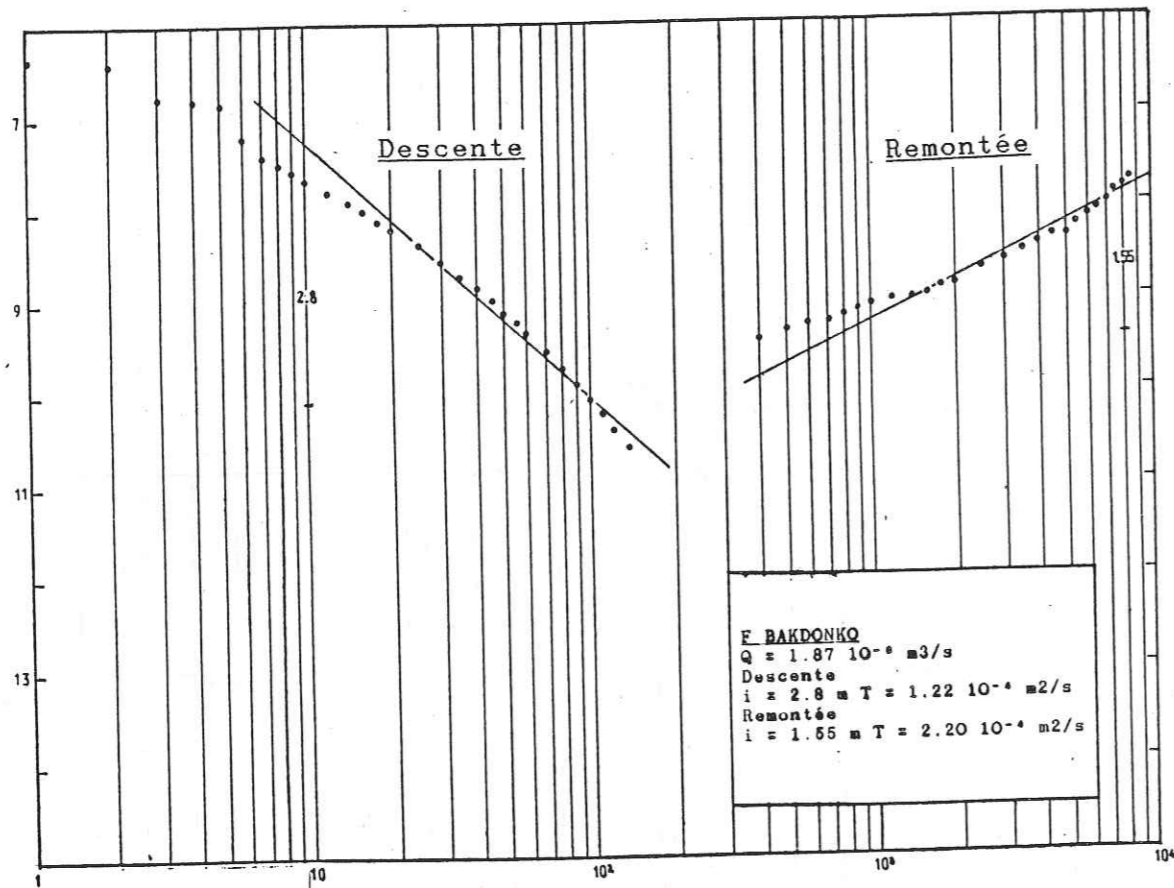


fig 4.11 : Courbes de descente et de remontée du forage de BAKDONKO

Bien que les débits ne soient pas strictement constants pendant le pompage, les valeurs des transmissivités obtenues à partir des courbes de descente ou de remontée pour les différents forages sont très voisines les unes des autres. Nous avons choisi, pour caractériser l'aquifère pompé par chaque forage, de faire la moyenne arithmétique des valeurs obtenues. Toutes ces valeurs sont données par le tableau 4.9 ci-dessous :

| FORAGE | DESCENTE | REMONTEE | T moy (m2/s) |
|----------------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| NASSARAO | 0.61 10 ⁻⁴ 0.53 10 ⁻⁴ | 0.68 10 ⁻⁴ | 0.60 10 ⁻⁴ |
| Ecole Princip. (LAINDE) | 3.05 10 ⁻⁴ | 6.10 10 ⁻⁴ | 4.57 10 ⁻⁴ |
| F Qt Res I | 3.66 10 ⁻⁴ | 3.81 10 ⁻⁴ | 3.73 10 ⁻⁴ |
| F Qt Res II | 1.52 10 ⁻³ | 1.63 10 ⁻³ | 1.57 10 ⁻³ |
| BAKDONKO | 1.22 10 ⁻⁴ | 2.20 10 ⁻⁴ | 1.71 10 ⁻⁴ |

TABLEAU 4.9 : Transmissivités des schistes de POLI

A l'exception du forage du Qt Res II dont la transmissivité est de 1.57 10⁻³ m2/s, toutes les autres transmissivités sont faibles mais sont dans la même puissance de 10. Ces faibles valeurs traduisent la difficulté de transmission des fluides des schistes de POLI. Malgré une alimentation convenable (forte pluviométrie, existence de cours d'eau superficiels...), ces schistes sont très riches en argiles fines qui ralentissent considérablement les circulations latérales des eaux.

De plus, les forages des Qt Res I et II présentent des transmissivités différentes de l'ordre d'une puissance de 10. Cette différence notable des valeurs de transmissivités entre ces deux forages distants seulement de 240 m démontre une fois de plus l'hétérogénéité et l'anisotropie horizontale des formations et des écoulements souterrains souvent observés sur de très courtes distances.

En revanche, dans les zones granito-migmatitiques, les transmissivités sont relativement plus élevées : c'est le cas des forages de KOZA 1 et 2 réalisés pour l'alimentation en eau de la localité de MOKOLO (HYDROGEO, 1973). Sur ces sites, des essais de pompage de longue durée (48 heures) avec un suivi de l'évolution de la nappe dans un puits situé à 44 mètres et considéré comme piézomètre ont permis de déterminer autant la transmissivité que le coefficient d'emmagasiment de la nappe des arènes captée.

Site de KOZA 2 :

Géologie et hydrogéologie :
 Les deux nappes (externe et profonde) caractéristiques du socle cristallin Nord-Camerounais sont présentes. Ces deux aquifères sont séparés par un niveau argileux limoneux saturé (9-19 m). La coupe lithologique du forage autant que le diagramme de représentation de la vitesse d'avancement du rotary et les caractéristiques techniques de l'équipement du forage sont données par la figure 4.12.

Les venues d'eau principales sont à 5 et 19 m de profondeur. La nappe est semi-captive.

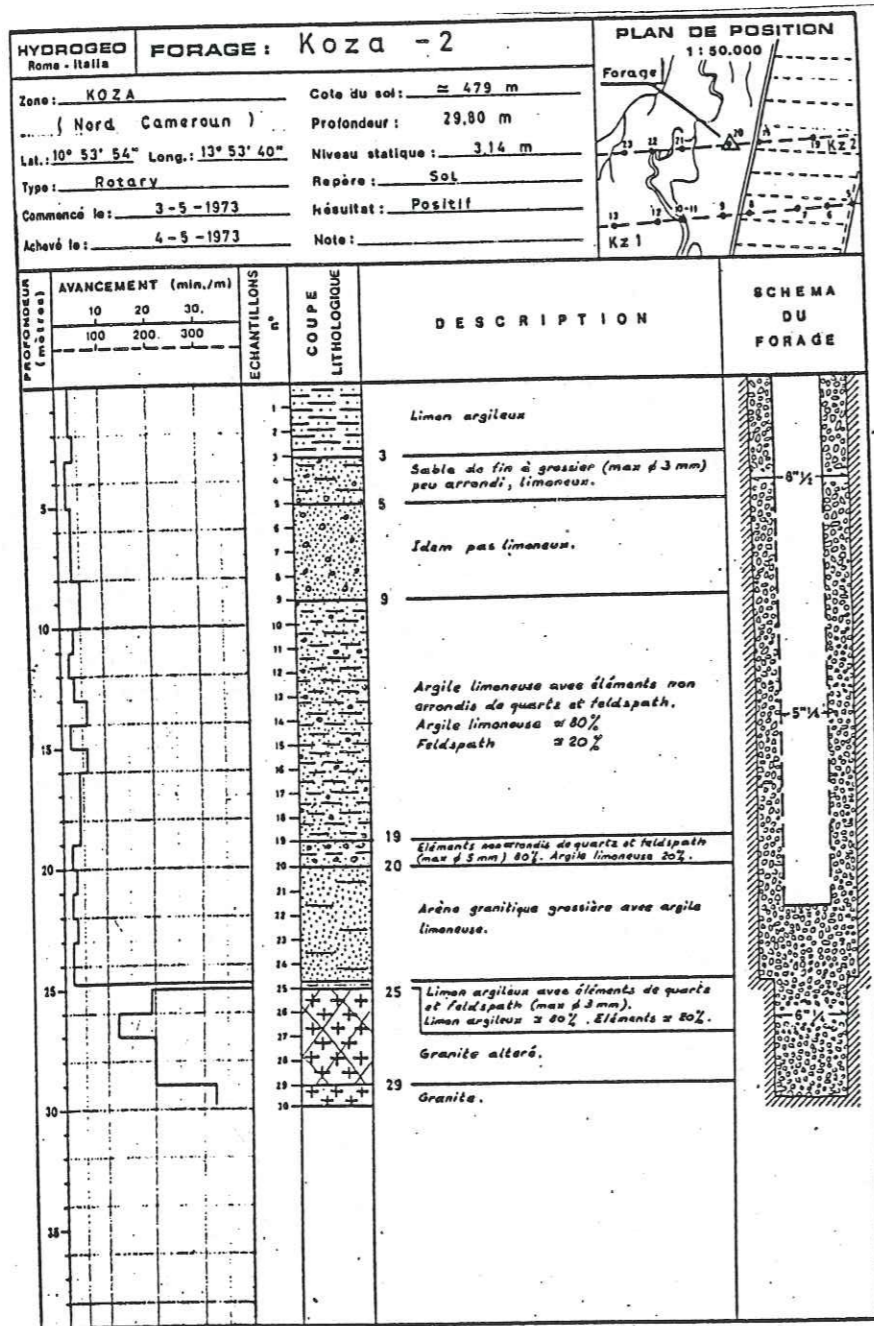


fig 4.12 : Coupe géologique et équipement du forage de KOZA 2 (HYDROGEO, 1973)

Le pompage a duré 48 heures à un débit constant de 5 l/s et a provoqué un rabattement total de 97 cm.

Un essai par paliers de débit a été exécuté sur le forage.

Interprétation

* Essai par paliers :

Il a consisté en trois paliers de débits de 2 heures chacun, sans arrêt intermédiaire. Le tableau 4.10 rassemble les éléments de calcul des rabattements des paliers.

| N° PALIER | Q m3/s | S (m) | ΔS (m) | S/Q (s/m2) |
|-----------|----------------------|-------|--------|------------|
| 1 | 1.3 10 ⁻³ | 0.15 | 0.15 | 115.3 |
| 2 | 3.0 10 ⁻³ | 0.38 | 0.23 | 126.6 |
| 3 | 5.0 10 ⁻³ | 0.72 | 0.34 | 144.0 |

TABLEAU 4.10. : Calcul des rabattements des paliers

Q : Débit par palier

S : Rabattement après 2 heures de pompage à débit Qi (1 ≤ i ≤ 3)

ΔS : Rabattement différentiel après 2 heures de pompage à débit Qi

S/Q : Rabattement spécifique

Les courbes caractéristiques des pompages par paliers sont données par la figure 4.12.

Les différents paramètres sont :

$$B = 100 \text{ sec/m}^2$$

$$C = \text{tg } \beta = \frac{136 - 100}{4 \times 10^{-3}} = 9 \text{ 000 sec}^2/\text{m}^5$$

Les pertes de charge quadratique CQ2 sont très importantes (45 fois supérieures aux pertes de charge BQ dues aux formations) pour le débit de 5 l/s. Près de 30 % du rabattement est dû aux pertes de charges dans le puits.

* Descente :

Pour le forage d'essai, les rabattements sont reportés en fonction du temps sur diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques (fig 4.12). Pour le puits d'observation, la figure 4.14 donnent les allures des courbes.

L'évolution des rabattements étant dans les deux cas régulière, l'interprétation peut être faite par la méthode de THEISS-JACOB. Le tableau 4.11 récapitule tous les éléments de calcul ainsi que les résultats obtenus.

Fig 4.12b : Courbes caractéristiques du pompage par paliers

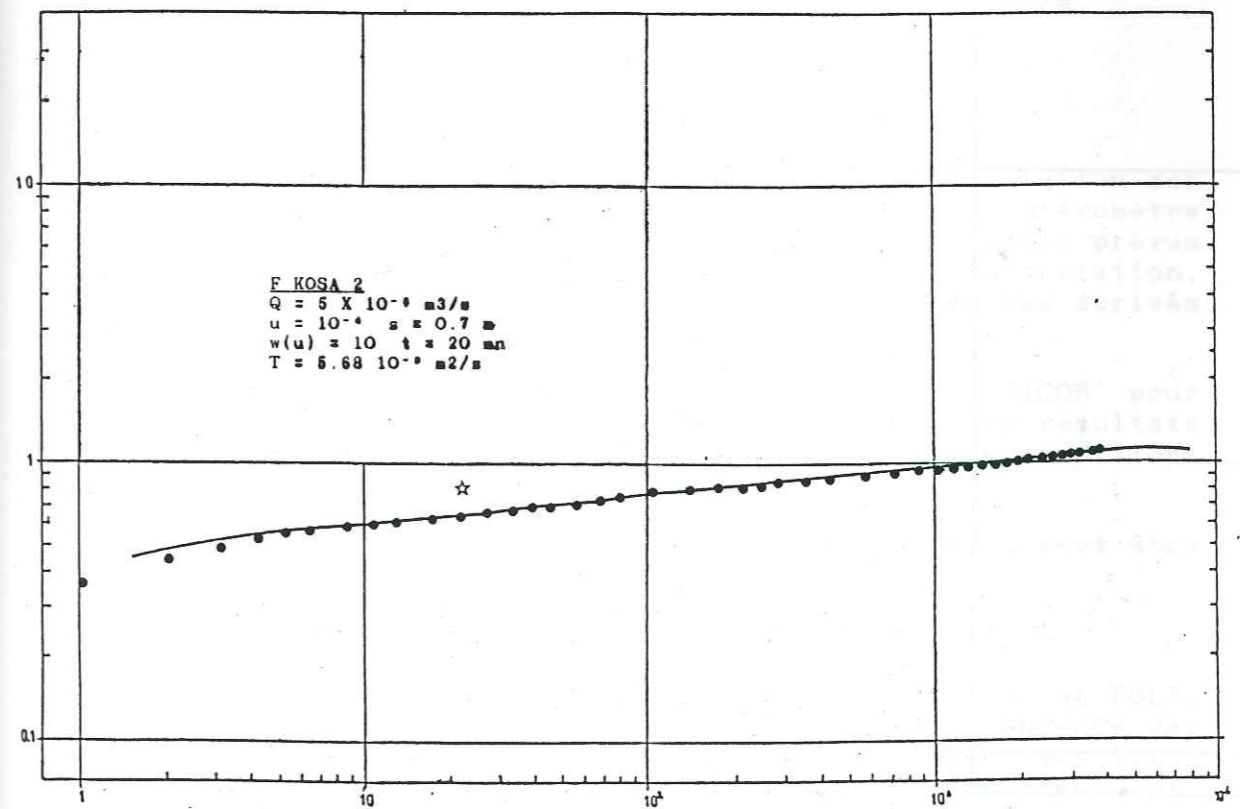
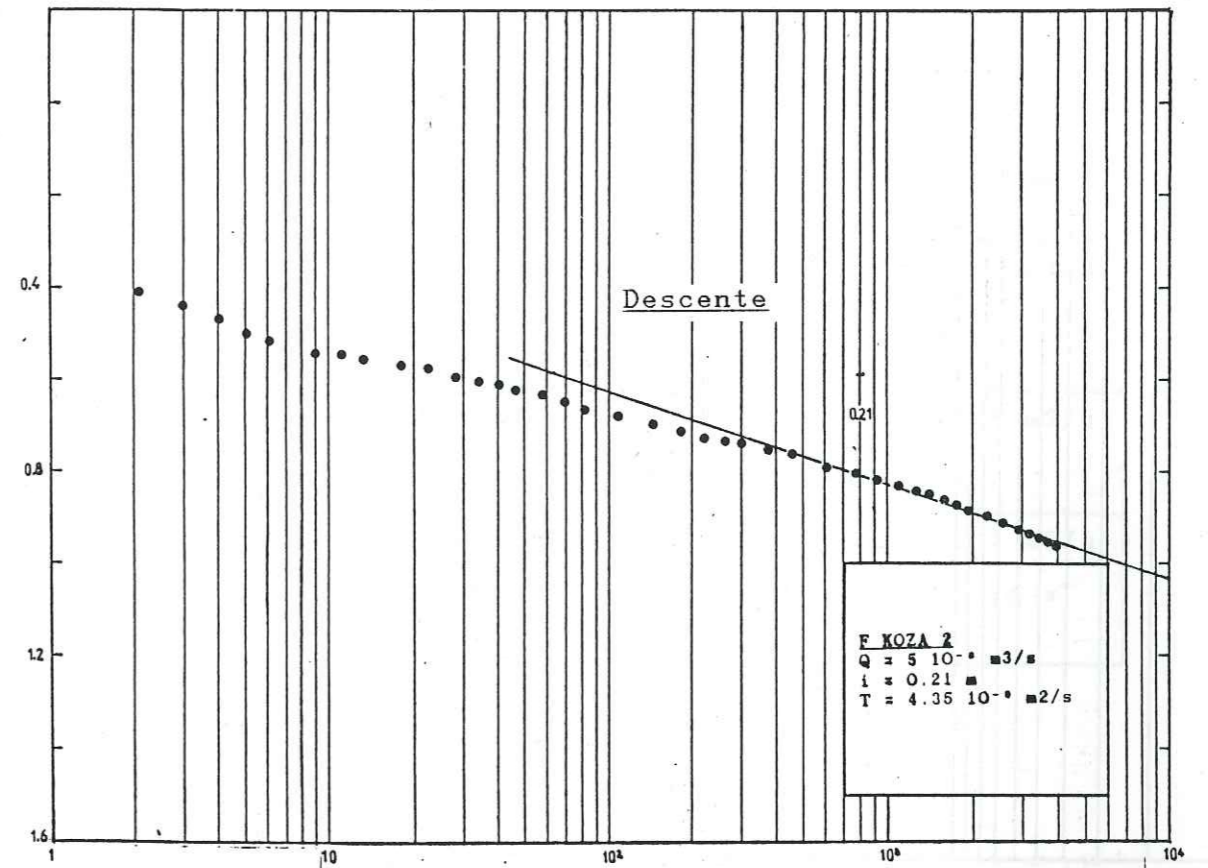
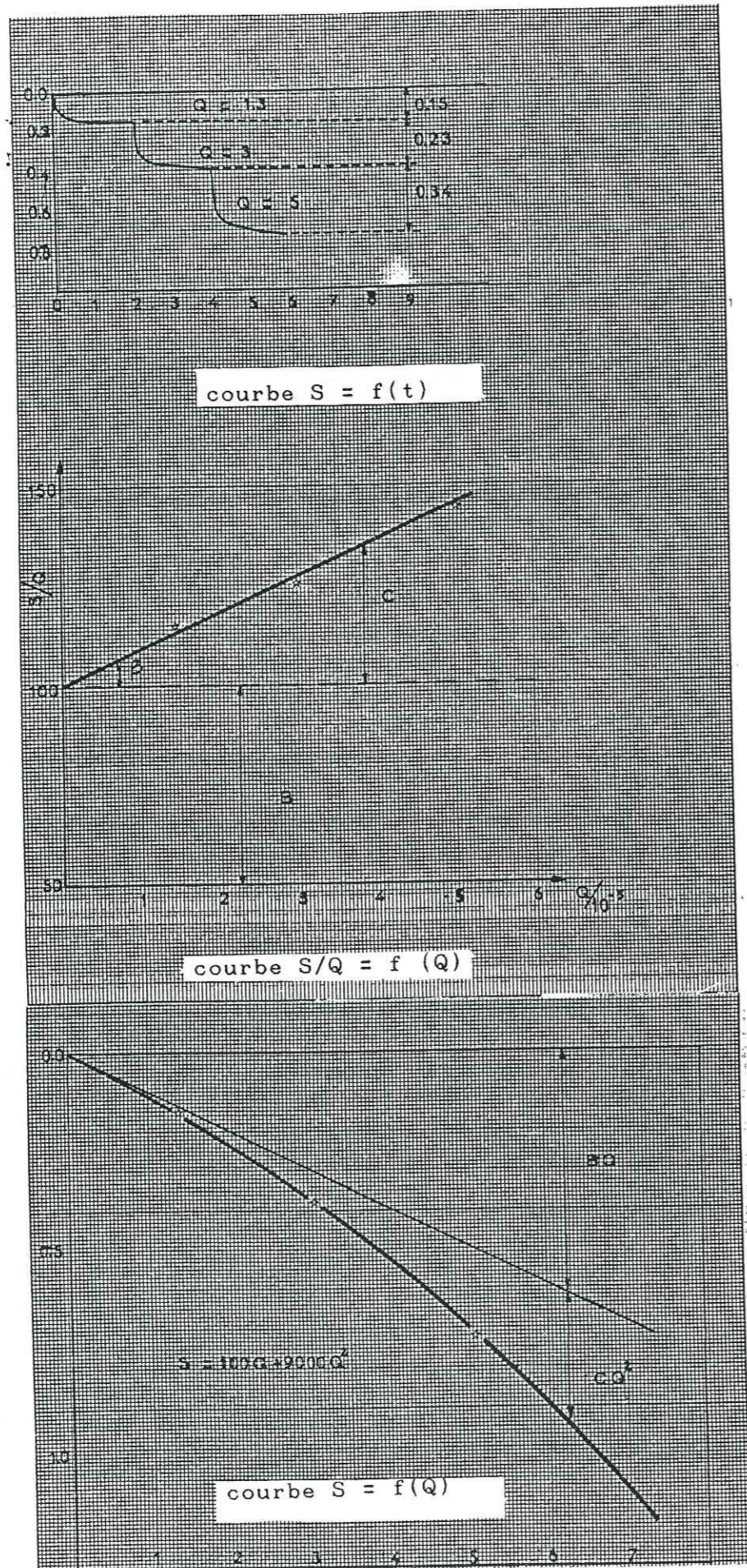


fig 4.13 : Diagramme semi-logarithmique et bilogarithmique du forage de KOZA 2

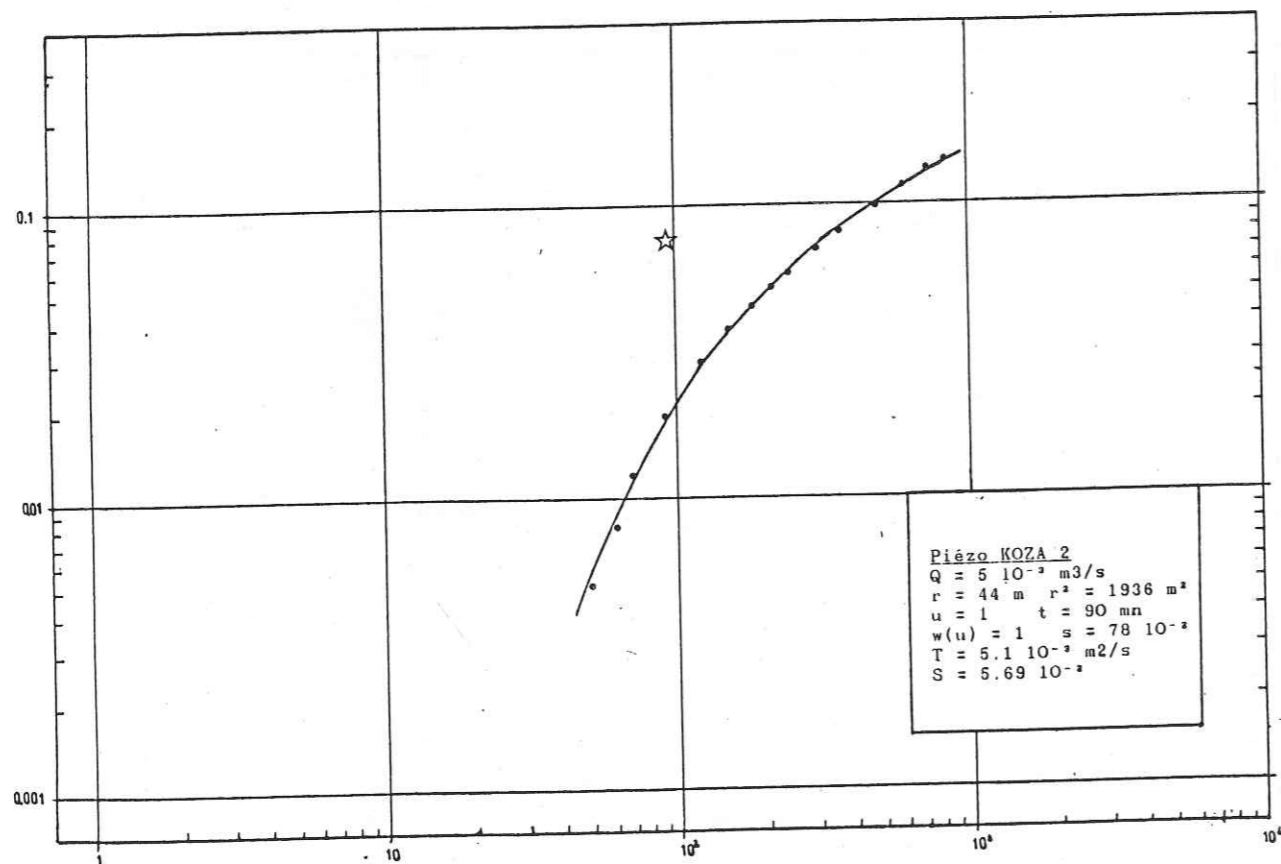
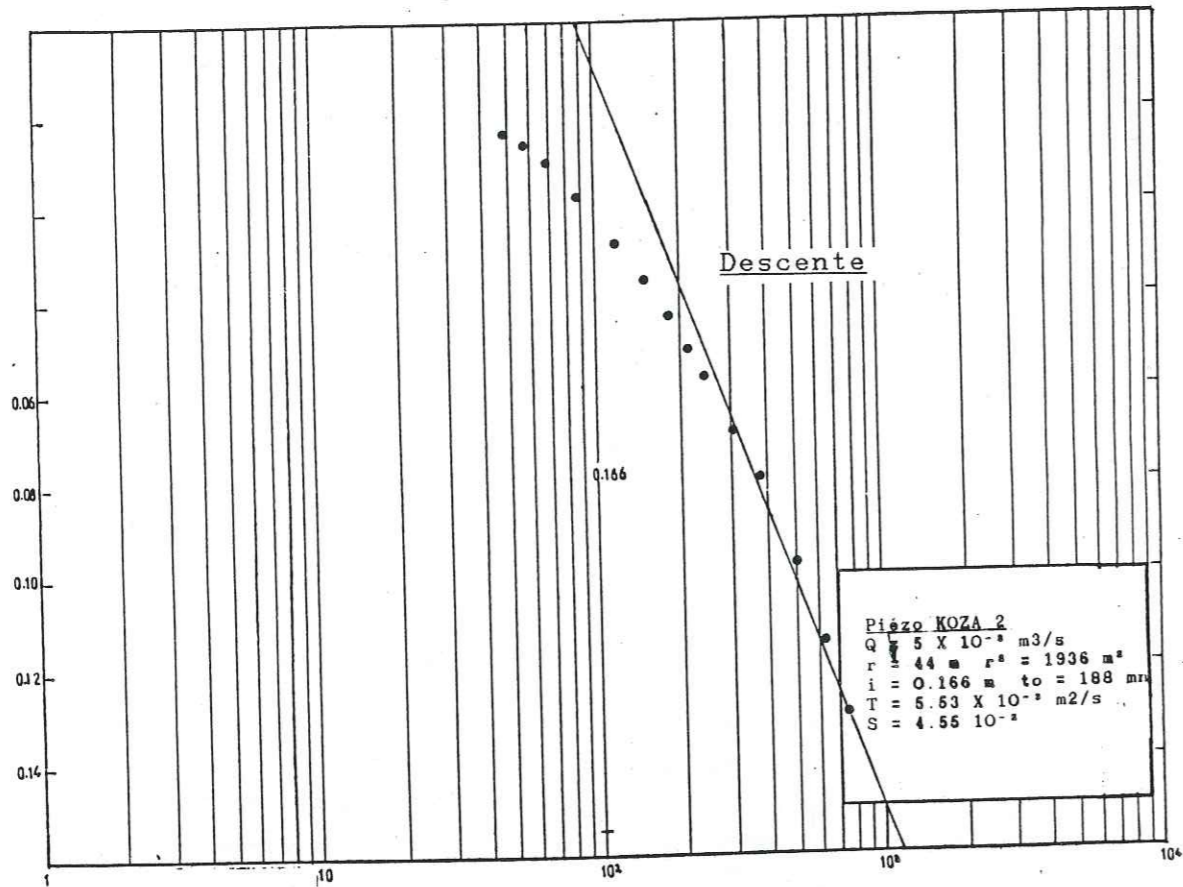


fig 4.14 : Diagramme semi-logarithmique et bilogarithmique du piézomètre de KOZA 2

| METHODE | OUVRAGE | ELEMENTS DE CALCUL | PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES |
|--------------------|--------------------|---|---|
| Semi-Logarithmique | Forage | $Q = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $i = 0.21 \text{ m}$ | $T = 4.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| | Puits (Piézomètre) | $Q = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $i = 0.166 \text{ m}$ $r = 44 \text{ m}$ $t_0 = 118 \text{ m}$ | $T = 5.53 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ $S = 4.55 \times 10^{-2}$ |
| Bilogarithmique | Forage | $Q = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $w(u) = 10$ $s = 0.7 \text{ m}$ $U = 10^{-4}$ $t = 20 \text{ mn}$ | $T = 5.68 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| | Puits (Piézomètre) | $Q = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $w(u) = 1$ $s = 0.78 \text{ m}$ $u = 1$ $t = 90 \text{ mn}$ $r = 44 \text{ m}$ | $T = 5.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ $S = 5.69 \times 10^{-2}$ |

TABLEAU 4.11. : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de KOZA 2

* Remontée :

Les rabattements résiduels du forage, reportés en fonction de t/t' en diagramme semi-logarithmique, s'alignent suivant une droite de pente $i = 0.175 \text{ m}$.

$$d'où T = \frac{0.183 Q}{i} = \frac{0.183 \times 5 \times 10^{-3}}{0.175} = 5.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

4.2.4. CONCLUSION

Au cours des essais de pompage, l'évolution des rabattements dans les forages pompés et dans le piézomètre d'observation (KOZA 2) est en général conforme à celle prévue en régime transitoire ; ce fait permet, pour l'interprétation, d'utiliser la solution de THEISS et l'une de ses dérivés (THEISS-JACOB).

L'application des formules de THEISS-JACOB pour l'interprétation de pompage de KOZA 2 donne des résultats satisfaisants malgré le non respect de certaines conditions aux limites imposées pour ces formules.

L'aquifère capté par ce forage de KOZA peut être caractérisé par les paramètres :

$$T = 5.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ et } S = 5.12 \times 10^{-2}$$

En ce qui concerne les forages du secteur de POLI, les temps très courts de pompages doublés de l'absence des piézomètres ne permet pas de caractériser avec précision l'évolution des rabattements et de tirer des enseignements précis, relatifs aux phénomènes d'écrans imperméables, de drainance, etc...

La moyenne arithmétique des transmissivités calculées à partir des essais réalisés sur ces forages captant les aquifères des schistes de POLI est de $2.82 \cdot 10^{-4}$ m²/s (cette moyenne ne prend pas en compte la valeur obtenue pour le forage du Qt Res II). Une comparaison de cette valeur à celle obtenue à KOZA 2 montre que la transmissivité des formations granitiques de KOZA est 18.3 fois supérieure à celle enregistrée dans les schistes.

CHAPITRE 5

GEOCHIMIE

DES EAUX

* * *

* *

*

5.1. INTRODUCTION

Cette étude géochimique des eaux est basée sur les résultats de dosages effectués sur une trentaine d'échantillons prélevés à travers le secteur de POLI et répartis ainsi qu'il suit :

- * eaux de pluie : 1 échantillon,
- * eaux de surface : 2 échantillons,
- * eaux de source : 1 échantillon,
- * eaux de puits : 14 échantillons,
- * eaux de forages : 12 échantillons.

Tous les échantillons ont été prélevés en période de basses eaux, entre les mois de Mars et Avril de l'année 1986.

Le dosage des ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , ainsi que la mesure du pH et du TAC, ont été effectués au Laboratoire d'analyses du Ministère des Mines et de l'Energie du CAMEROUN à YAOUNDE.

Le dosage des ions Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} a été effectué au Laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut DOLOMIEU suivant les méthodes d'analyses décrites par G. ARMAND et B. DELAQUAISE (1977).

Les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) ont tous été dosés par spectrophotométrie d'absorption (Ca^{2+} , Mg^{2+}) et d'émission (Na^+ et K^+) au Laboratoire d'hydrologie de la faculté de Pharmacie de GRENOBLE.

5.2. ETUDE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES EAUX

Parmi les 30 échantillons dont nous disposons, nous avons considéré les 26 analyses les plus complètes (23 échantillons d'eaux souterraines et 3 échantillons d'eau de surface) pour entreprendre cette approche statistique. La liste de ces analyses est donnée en annexe. L'analyse statistique porte sur 10 variables.

5.2.1. LE pH

La valeur moyenne de ce paramètre est de 7.99. Abstraction faite du pH des eaux du puits de BOULKO et de celui de la source de GARE (S1 GARE), les pH sont toujours supérieurs à 7. Les eaux issues des quartzites (BOULKO) et les gneiss (GARE) sont en effet généralement acides, contrairement aux eaux issues des autres faciès pétrographiques (schistes, rhyolites, granites...) qui sont essentiellement basiques. Toutefois, on peut remarquer que ces pH des eaux des gneiss deviennent légèrement basiques en profondeur : c'est le cas du pH de 7.3 relevé pour les eaux du puits de GARE.

Les coefficients de corrélation entre le pH et tous les autres paramètres chimiques sont, en valeur absolue, en général inférieurs à 0.6, ce qui traduit une corrélation moyenne d'ensemble.

Il convient de signaler que tous ces pH ont été mesurés au Laboratoire (25°C), près de 8 mois après le prélèvement des échantillons.

5.2.2. LES CONCENTRATIONS IONIQUES

Pour des raisons de commodité, nous les avons exprimés, dans le tableau donné en annexe, en mg/l et en meq/l mais nos réflexions se feront en mg/l.

a) La minéralisation totale :

La minéralisation totale des eaux du secteur de POLI est faible et très variable : les valeurs trouvées sont comprises entre 183.32 mg/l (PM.P POLI) et 709.58 mg/l (F1P POLI) (tableau 5.1).

| | MINERALISA- TION TOTALE | (Na ⁺ /Mt)% | (HCO ₃ / Mt) % | (Na ⁺ + HCO ₃) |
|------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|--|
| F PINT | 301.43 | 19.4 | 71.6 | 91.0 |
| F OUROU | 479.33 | 43.2 | 52.8 | 96.0 |
| F. BOUM. | 581.38 | 41.61 | 54.4 | 96.0 |
| F. BOUL | 281.79 | 18.9 | 60.6 | 79.5 |
| P SAR | 190.76 | 24.1 | 66.5 | 90.6 |
| PEP POLI | 418.74 | 12.9 | 82.5 | 95.4 |
| F WATE | 621.09 | 37.9 | 52.0 | 89.9 |
| F1P POLI | 709.58 | 29.6 | 66.5 | 96.1 |
| PEM POLI | 289.52 | 20.4 | 65.3 | 85.7 |
| PM POLI | 183.32 | 21.6 | 66.5 | 88.1 |
| FIAMAMO | 446.99 | 45.6 | 47.0 | 92.6 |
| F Qt Res 1 | 516.28 | 38.8 | 54.6 | 93.4 |
| F2M POLI | 167.87 | 33.4 | 30.7 | 64.1 |

| | MINERALISA- TION TOTALE | (Na ⁺ /Mt)% | (HCO ₃ / Mt) % | (Na ⁺ + HCO ₃) |
|-----------|----------------------------|------------------------|------------------------------|--|
| P GARE | 221.07 | 22.1 | 59.1 | 81.2 |
| B.D.O. | 244.37 | 14.6 | 76.4 | 91.0 |
| S. GARE | 209.79 | 18.9 | 68.0 | 86.9 |
| FEP POL | 443.88 | 10.4 | 77.8 | 88.2 |
| PP POLI | 624.85 | 36.2 | 58.4 | 94.6 |
| F PRISON | 588.83 | 9.0 | 84.8 | 93.8 |
| F SAR | 309.13 | 70.0 | 23.2 | 93.2 |
| P PTT | 538.69 | 9.0 | 81.8 | 90.8 |
| PR1 POLI | 249.71 | 15.4 | 68.9 | 84.3 |
| M. YELE | 128.52 | | | |
| M. YELE 2 | 182.74 | | | |

TABLEAU 5.1 : Minéralisations totales des eaux du secteur de POLI et teneurs relatives de Na⁺ et HCO₃ par rapport à la minéralisation totale

Toutes les eaux analysées présentent le même faciès chimique avec comme cation dominant le sodium et anion dominant le bicarbonate. La prépondérance de ces ions sur les autres est remarquable tant sur le plan pondéral qu'ionique. Si l'on considère les données du tableau 5.1., on remarque que, pour tous les échantillons, les concentrations pondérales du sodium prises par rapport à la minéralisation totale et ramenées en pourcentage, varient de 9 % (F PRISON et P PTT) à 45.6 % (F1A MAYO) tandis que celles des bicarbonates varient de 23.2 % (F SAR) à 84.8 % (F. PRISON). Dans tous les cas, la baisse de la concentration pondérale de l'un ou l'autre de ces deux ions est presque toujours "compensée" par une relative abondance de l'autre, à tel point qu'à eux seuls, ils constituent toujours de 64.1 à 96.1 % de la minéralisation totale.

Les autres ions se maintiennent, mais à des proportions très modestes, variant entre 3.9 et 35.9 % de la minéralisation totale.

Ces faits cadrent bien avec la nature géochimique des terrains aquifères dans lesquels ont été foncés les ouvrages de captage de ces eaux : schistes de POLI et granito-gneiss.

b) Etude de la variation de la concentration des ions Na⁺ et HCO₃⁻ en fonction des teneurs des autres ions :

L'importance pondérale notoire des ions Na⁺ et HCO₃ dans toutes les eaux du secteur de POLI et leur grande contribution à l'établissement de la balance ionique nous ont conduit à envisager une étude visant à caractériser les variations de leurs teneurs en fonction des teneurs des autres ions.

Pour ce faire, nous avons utilisé deux outils statistiques différents :

- * l'analyse des coefficients de corrélation,
- * l'analyse en composantes principales normées (ACPN).

Les coefficients de corrélation :

En valeur absolue, tous les coefficients de corrélation entre l'ion Na⁺ et les autres éléments n'excèdent jamais 0.33 ; ce qui signifie qu'aucun de tous les autres ions n'influence les concentrations du Na⁺.

Pour l'ion HCO₃⁻, les valeurs de ce coefficient n'excèdent pas non plus 0.27. Il n'existe donc pas de corrélation significative entre les teneurs en cet ion et les teneurs des autres.

L'A.C.P.N. :

Contrairement à la méthode des coefficients de corrélation qui est une méthode d'analyse bivariable (comparaison de deux variables), l'A.C.P.N. est une méthode multivariable (étude simultanée d'un ensemble de variables). Cette méthode vise essentiellement :

* à établir l'ordre d'importance des variables indépendantes sur les variations de la variable dépendante considérée,

* à mettre en évidence les données qui jouent un rôle négligeable ou nul dans l'évolution de cette variable dépendante,

* à établir la fonction linéaire liant cette variable aux variables utiles tout en testant la validité de cette régression (ce dernier volet n'a pas été réalisé, du fait du nombre relativement réduit des échantillons étudiés).

Un programme sur ordinateur (APPLE IIe), mis au point à l'Institut DOLOMIEU, permet, d'une part de calculer les coefficients directeurs et les ordonnées à l'origine des droites, les valeurs des vecteurs propres et d'autre part, la contribution des variables suivant les différents axes principaux. En outre, ce programme permet de faire la représentation graphique des échantillons étudiés et de dégager les différentes tendances. Nous donnons les résultats du traitement informatique sous forme de graphiques (figure 5.1.).

Cette ACPN a été effectuée sur 8 variables caractéristiques des 24 échantillons pris en compte. Les 8 axes individualisés F1 à F8 expliquent 99.7 % de la faible variance totale (8.00) du système. Bien qu'aucun axe pris isolément n'explique de façon satisfaisante cette variance, il est intéressant de noter que l'axe F1 (28.77 %) permet d'individualiser deux pôles :

* Le premier, hyperbicarbonaté et hypersodique : Toutes les eaux faisant partie de cet ensemble présentent des teneurs en HCO₃⁻ supérieures à 200 mg/l et des teneurs en Na⁺ supérieures à 50 mg/l. Ce sont les eaux des forages de PINTCHOUMBA (1), d'OUROUKESSOU (2), de BOUMBA (3), de WATE (7), de F1P POLI (8), de F1A (11), du Quartier Résidentiel 1 (12), du F2M POLI (13), de la PRISON (19), de la SAR (20) et des puits de l'Ecole de POLI (6), de l'Ecole Maternelle (9), du PP POLI (18), des PTT (21) et de la Résidence du Préfet de POLI (22).

* Le second, bicarbonaté sodique. Les eaux ont des teneurs de bicarbonates inférieures à 200 mg/l et des teneurs en sodium inférieures à 50 mg/l. Tous les autres échantillons font partie de cette seconde catégorie, à l'exception des échantillons 17 et 23. L'échantillon 17 des eaux du forage de l'Ecole Principale de POLI a une teneur en Na⁺ inférieure à 50 mg/l, mais une teneur en HCO₃⁻ largement supérieure à 200 mg/l, ce qui explique sa position excentrée par rapport aux deux grands groupes distingués ci-dessus.

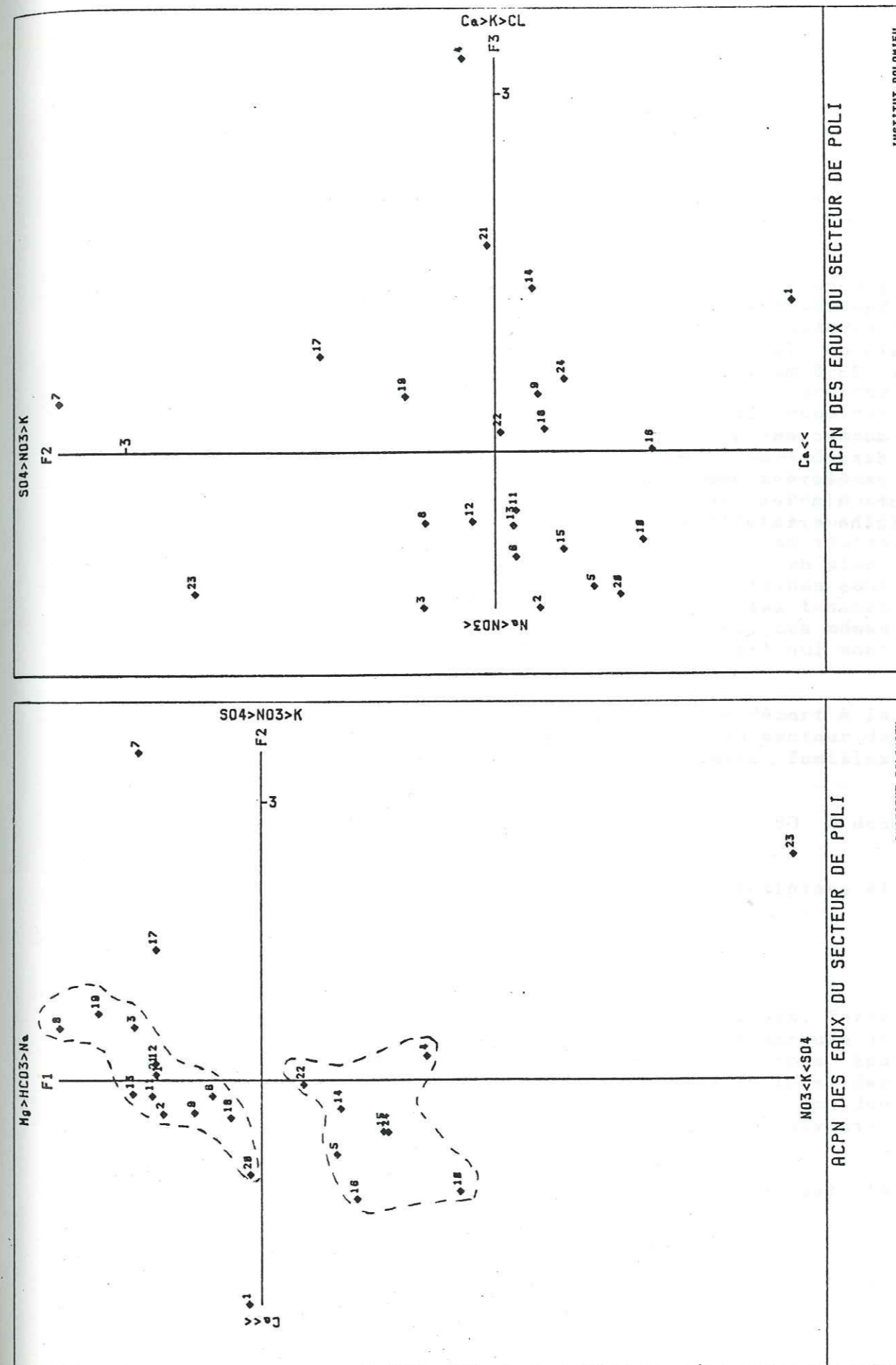


Fig 5.1. : ACPN DES EAUX DU SECTEUR DE POLI

L'échantillon 23, pour sa part, représente les eaux de ruissellement du Mayo YELE prélevées au PK15 dans la vallée des Rôniers. Les teneurs en Na^+ et HCO_3^- sont relativement très faibles ; en revanche, la teneur en NO_3^- est forte.

Suivant cet axe F1, le calcium, le potassium, les sulfates et les nitrates sont corrélés négativement par rapport aux magnésium sodium, chlorures et bicarbonates.

Dans le plan formé par les axes F1 et F2, les deux groupes distingués ci-dessus persistent, mais on note un décalage de l'échantillon 7 des eaux du forage de WATE. Le point représentatif des eaux de ce forage migre vers le pôle sulfaté du fait de sa relativement importante teneur en ions SO_4^{2-} (29.5 mg/l).

En conclusion à cette étude statistique des eaux du secteur de POLI, force est de constater que les autres ions dissous ne jouent pas un rôle considérable vis-à-vis des teneurs élevées des ions bicarbonates et sodium. En effet, ces teneurs élevées en HCO_3^- et faibles en Ca^{2+} traduisent bien l'origine cristalline de ces eaux.

5.3. CLASSIFICATION DES EAUX

Malgré la diversité des modes de représentation graphiques, toutes les méthodes de classification chimique des eaux mises au point par les différents auteurs sont basées sur l'importance des principaux anions et cations dissous dans ces eaux. En fonction de la teneur de ces différents ions, on distingue des familles chimiques d'eaux. Ces familles sont caractérisées par des formules établissant l'importance relative de chaque ion.

Dans le secteur de POLI et à la lumière de ce que nous avons noté plus haut, il va sans dire que si nous considérons la classification des eaux sur cette base, toutes nos eaux sont bicarbonatées sodiques.

Dans ses études relatives aux "sources thermominérales du CAMEROUN", A. LE MARECHAL (1976) constate que «la présence des bicarbonates dans les eaux thermominérales du CAMEROUN issues des terrains éruptifs est générale : c'est un élément ubiquiste tandis que la présence de Cl^- et SO_4^{2-} en teneurs caractéristiques est localisée dans un nombre limité de source». Selon cet auteur, «il ne suffit donc pas, pour définir ces eaux, de considérer les seules proportions relatives des anions, mais il faut, en plus, considérer les teneurs en valeurs absolues : certaines eaux seront donc caractérisées par Cl^- ou SO_4^{2-} même si les teneurs de ces ions sont inférieures à celles de HCO_3^- . Les mêmes observations sont valables pour le Mg^{2+} et le Ca^{2+} qui sont mineurs par rapport aux alcalins ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)».

Ces deux remarques ont servi de point de départ à la différenciation des familles chimiques des eaux du secteur de POLI et ont permis de distinguer les grandes familles suivantes :

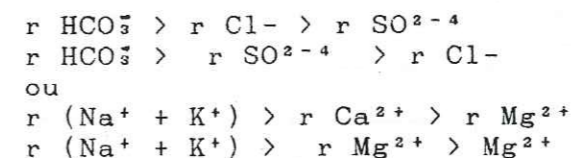
- * les eaux hyperbicarbonatées ($\text{HCO}_3^- > 90\%$ des anions),
- * les eaux bicarbonatées chlorurées,
- * les eaux bicarbonatées - chlorurées - sulfatées et bicarbonatées sulfatées chlorurées.

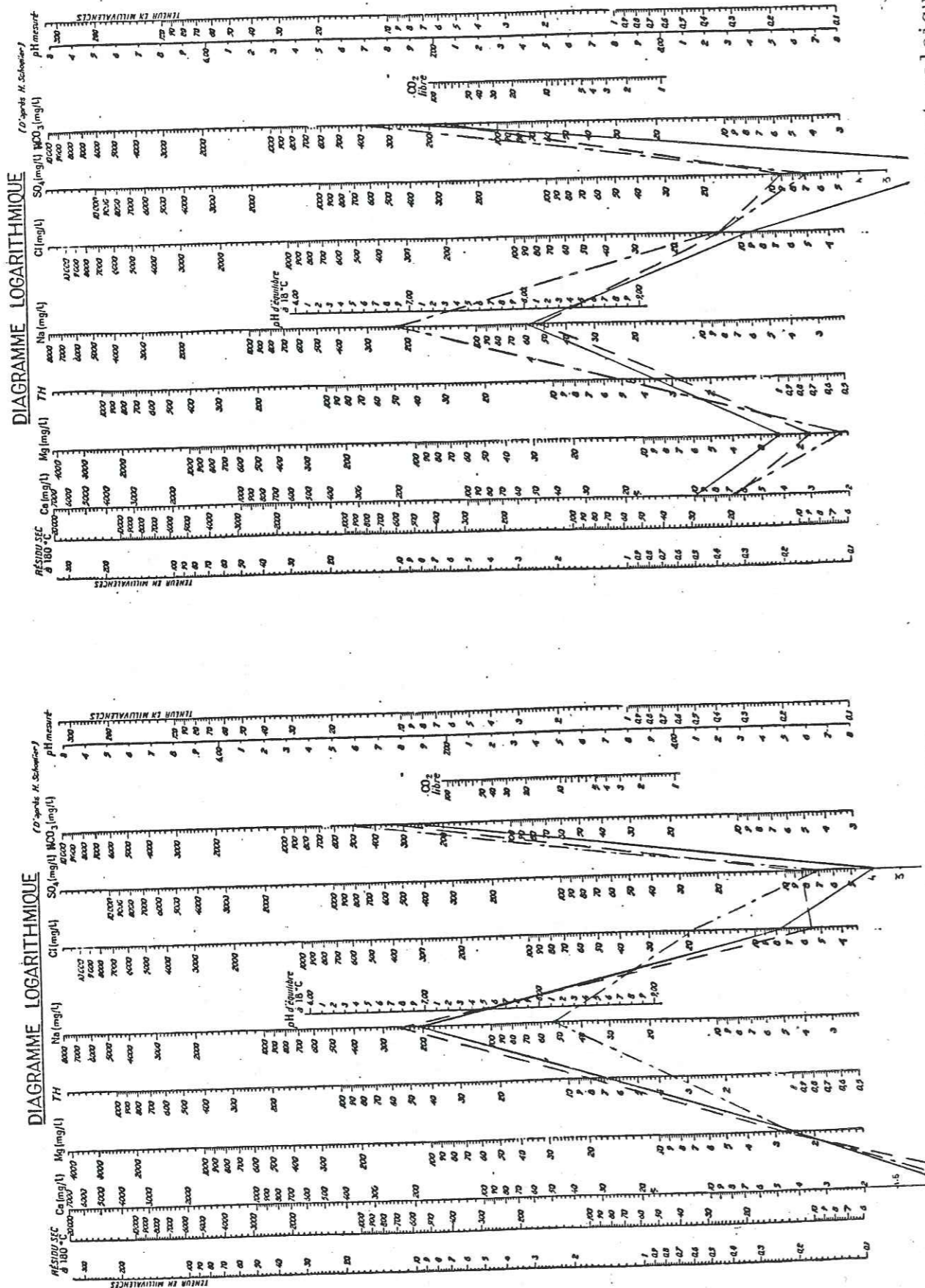
5.3.1. LES EAUX HYPERBICARBONATES

Elles représentent 55 % des eaux analysées. Cette famille est caractérisée par une prédominance très marquée de l'ion HCO_3^- sur tous les autres anions. Pour tous les échantillons, cet ion représente au moins 90 % du total des anions. A l'intérieur de cette famille et en fonction des teneurs ioniques des cations, on distingue les types suivants :

- * Les eaux hyperbicarbonatées sodiques :
La formule caractéristique de ce type est la

suivante :





Eaux hyperbicarbonatées sodiques et calciques

Eaux hyperbicarbonatées sodiques

Fig 5.2 : Les faciès chimiques des eaux du secteur de POLI

Le pourcentage ionique de la somme (Na⁺ + K⁺) est supérieure à 90 % des cations.

Ce sont les eaux des forages de OUROUKESSOU (2), de BOUMBA (3), 1P POLI, du Quartier Résidentiel 1 (8), de la base de DOUMBOULKO (15), de la PRISON DE POLI (19) et des puits de l'Ecole Principale (6), de la SAR (5) des PTT (21). Tous ces ouvrages captent les eaux des formations schisteuses de POLI. Les fortes valeurs de r(Na⁺ + K⁺) obtenues proviennent de l'altération, par les eaux, des feldspaths alcalins (orthose) et plagioclases (albite) très abondants dans ces formations.

* Les eaux hyperbicarbonatées sodiques et calciques

La formule générale qui caractérise ce type est la suivante :

$$r \text{ HCO}_3^- > r \text{ Cl}^- > r \text{ SO}_4^{2-}$$

$$r \text{ Ca}^{2+} + r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{ Mg}^{2+}$$

Parmi toutes les eaux analysées, aucune ne respecte intégralement ces deux conditions, mais puisque nous tenons en plus compte des valeurs absolues du Ca²⁺ et du Mg²⁺ par rapport à celles du groupe (Na⁺ + K⁺) qui est partout dominant, nous constatons que les eaux de PINTCHOUMBA (1), des puits de BOULKO (4), PP POLI et les eaux superficielles du Mayo YELE (station 2, PK 35) peuvent être rangées dans ce type.

Le substratum géologique dans lequel circulent ces eaux est varié ; tandis que le forage de PINTCHOUMBA est foncé dans des rhyolites, le puits de BOULKO capte les arènes des quartzites et celui de PP POLI les arènes schisteuses. Quel que soit le faciès pétrographique considéré, l'étude pétrographique nous a montré que toutes ces formations présentent la caractéristique commune d'être riches en feldspaths calcosodiques (plagioclases) susceptibles de libérer, par altération, leurs cations aux eaux.

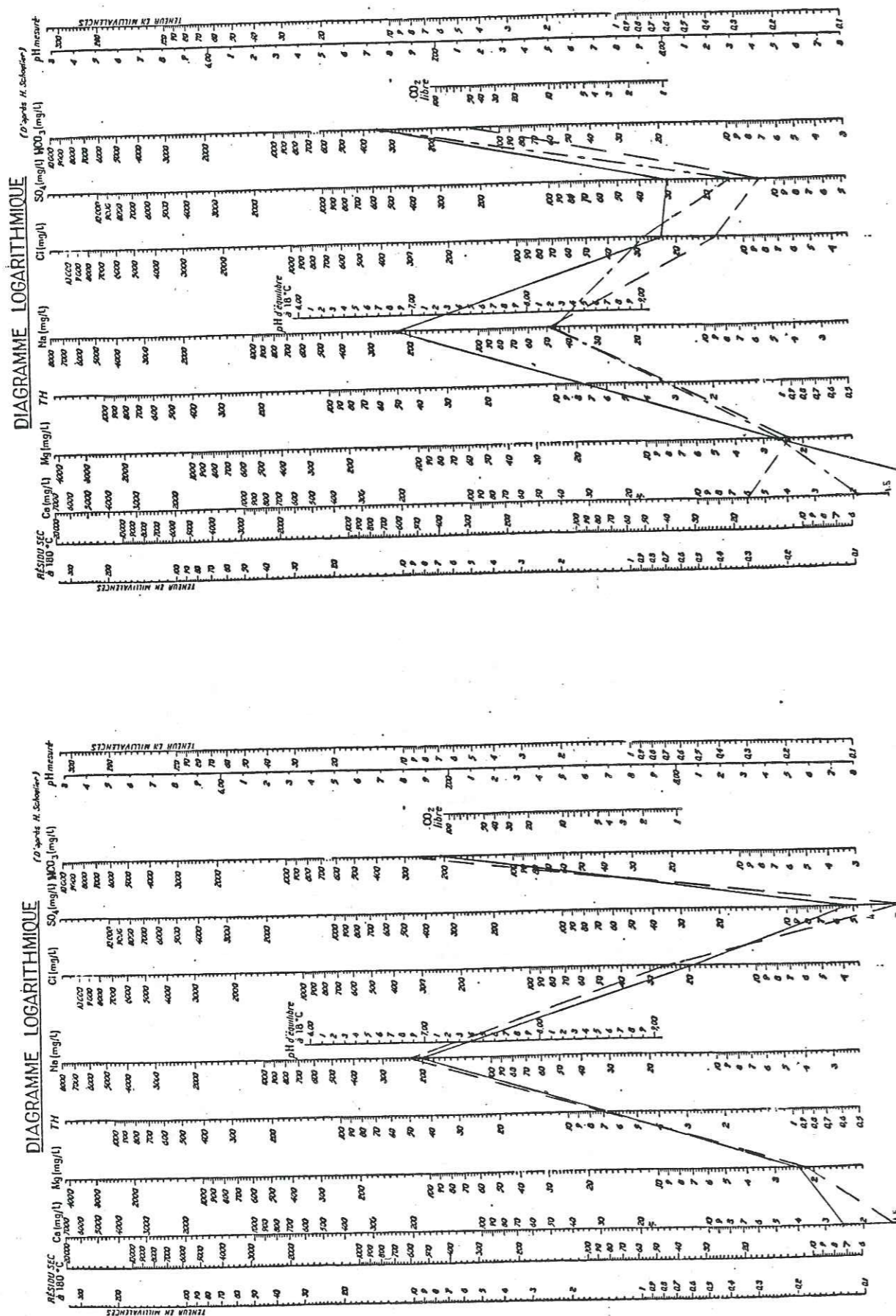
5.3.2. LES EAUX BICARBONATÉES - CHLORURÉES SODIQUES ET POTASSIQUES

Elles constituent 32 % des eaux analysées. La formule qui les caractérise est :

$$r \text{ HCO}_3^- > r \text{ Cl}^- > r \text{ SO}_4^{2-} \text{ et}$$

$$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{ Mg}^{2+} > r \text{ Ca}^{2+}$$

Dans toutes les eaux de cette famille, le HCO₃⁻ représente entre 80 et 90 % des anions, mais les proportions de Cl⁻ sont relativement plus élevées. Ces ions ne pouvant donc plus être considérés uniquement comme un fond géochimique, nous les utilisons comme critères secondaires de différenciation.



Eaux hyperbicarbonatées chlorurées sodiques et potassiques

Eaux hyperbicarbonatées chlorurées sulfatées et sulfatées sodi-potassiques

Fig 5.3 : Les faciès chimiques des eaux du secteur de POLI

Les eaux des forages 1A (MAYO) (11), 2M POLI (13), SARL (20), des puits PR1 POLI (22), de l'Ecole Maternelle (9), de la Mission Protestante de POLI (10) et de la source S1 du village GARE (16) font partie de cette famille chimique. Ces eaux circulent dans les produits d'altération des schistes ou des gneiss (S1 GARE). Comme les eaux de la première famille chimique individualisée, la minéralisation de ces eaux est dominée par les ions HCO₃ et Na⁺ + K⁺ qui proviennent essentiellement de l'altération des feldspaths. Toutefois, l'accroissement substantiel des teneurs en Cl⁻ sont à noter. Nous en donnerons une explication plus loin.

5.3.3. LES EAUX BICARBONATEES CHLORUREES SULFATEES ET BICARBONATEES SULFATEES CHLORUREES SODIQUES ET POTASSIQUES

Cette famille est caractérisée par la formule :
 $r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-}$ ou
 $r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$

Elle constitue 13 % des eaux analysées ; ce sont les eaux des forages de WATE (7), de l'Ecole Principale de POLI (17) et des puits de GARE (14).

Ces eaux sont caractérisées par de fortes teneurs relatives de SO₄²⁻ allant jusqu'à 29.5 mg/l et des teneurs en chlorures variant de 10.36 à 28.12 mg/l. Elles circulent dans les altérites de deux types de formations : schistes et gneiss.

Le report de nos analyses dans le diagramme triangulaire de PIPER permet d'arriver aux mêmes conclusions que celles que nous avons dégagées à l'issue de l'étude statistique des eaux du secteur de POLI, à savoir :

- * L'appartenance de toutes les eaux au type bicarbonaté,
- * La prédominance remarquable de l'ion Na⁺ sur tous les autres cations.

Par contre, le report des mêmes analyses dans le diagramme logarithmique de SCHOELLER-BERKALOFF est plus parlant (figures 5.2. à 5.5.). En effet, ce mode de représentation permet de mieux différencier les familles chimiques individualisées ci-dessus. En plus, il permet de constater que la valeur particulière accordée aux ions chlorures et sulfates malgré leurs modestes teneurs par rapport aux bicarbonates est intéressante.

5.4. LES EAUX DU SECTEUR DE POLI PAR RAPPORT AU CONTEXTE GEOLOGIQUE

Pendant tous nos séjours sur le terrain, nous n'avons positionné aucun forage dans la zone sédimentaire qui occupe la partie la plus septentrionale du secteur de POLI. Toutes les eaux analysées sont donc issues exclusivement des formations cristallines, cristalphylliennes et volcano-sédimentaires. Le tableau 5.2. donne la répartition des échantillons d'eau en fonction du faciès pétrographique de l'aquifère.

| | Nbre d'Ech. | % |
|----------------------|-------------|------|
| Schistes de POLI | 16 | 61.6 |
| Granito-gneiss | 2 | 7.7 |
| Quartzites | 1 | 3.8 |
| Volcano-sédimentaire | 4 | 15.4 |
| Eaux de surface | 2 | 7.7 |
| Eaux de pluies | 1 | 3.8 |
| TOTAL | 26 | 100 |

TABLEAU 5.2. : Répartition des échantillons d'eau en fonction du faciès pétrographique de l'aquifère

Lorsque l'on considère les minéralisations totales (cations + anions) prises par rapport aux faciès pétrographiques des localités dans lesquelles ont été prélevés les échantillons, on constate que la minéralisation des eaux issues des gneiss et migmatites (GARE) est, en général, plus faible que celle des eaux issues des schistes. Cette "forte" minéralisation des eaux des schistes est en relation avec l'aspect colmaté des fissures et diaclases susceptibles d'être emprunté par les eaux ; en effet, le caractère très argileux (argiles fines) des schistes et de leurs produits d'altération contribue à imperméabiliser les discontinuités et à réduire par le même coup la perméabilité de ces formations. La baisse des perméabilités entraîne de mauvaises circulations des eaux et donc un temps de séjour plus long au contact des schistes. Les possibilités d'échanges et de dissolution des substances chimiques entre l'eau et l'aquifère sont considérablement accrues.

5.5. L'INDICE D'ECHANGE DE BASE (i.e.b.)

Au cours de leur trajet souterrain et en fonction justement du temps qu'elles passent au contact des formations géologiques dans lesquelles elles circulent, les eaux souterraines échangent leurs ions avec ceux contenus dans ces formations.

D'après H. SCHOELLER (1934), ce phénomène d'échange appelé adsorption peut être réalisé par les unités géologiques suivantes :

- * les minéraux argileux (s.l.),
- * les minéraux zéolitiques,
- * l'hydroxyde ferrique,
- * les substances organiques (humus).

De façon générale, ces roches appelées permutolites peuvent céder à l'eau des alcalins contre des alcalino-terreux ou vice-versa. Si l'on admet qu'avant les échanges, il y a un équilibre ionique de la forme $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = r \text{Cl}^-$ et $r\text{Ca}^{2+} = r\text{SO}_4^{2-} + r\text{HCO}_3^-$, on peut apprécier l'ampleur des phénomènes d'adsorption par l'étude des valeurs des indices donnés par les formules suivantes :

$$\text{alcalins} \quad \text{i.e.b.} = \frac{r \text{Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r \text{Cl}^-}$$

$$\text{alcalino-terreux} \quad \text{i.e.b.} = \frac{r \text{Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{SO}_4 + r \text{HCO}_3 + r\text{NO}_3}$$

Pour notre part, et en ce qui concerne les eaux du secteur de POLI, les fortes teneurs ioniques de $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ par rapport aux valeurs ioniques des alcalino-terreux, font dire, à priori, qu'il y a probablement eu échange des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites. L'i.e.b. a donc été déterminé par la seconde formule de H. SCHOELLER.

L'examen des résultats montre que les i.e.b. de toutes les eaux analysées sont négatifs ; ce qui confirme, à posteriori, que ces eaux échangent effectivement leurs ions Ca^{2+} et Mg^{2+} contre les ions Na^+ et K^+ des permutolites. Ces échanges contribuent d'une part à augmenter considérablement les teneurs ioniques et pondérables de ces alcalins dans l'eau et d'autre part à faire baisser les teneurs en alcalino-terreux.

En outre, l'obtention systématique des i.e.b. négatifs, quel que soit le type de point d'eau considéré (source, puits, forage) et quelle que soit la nature pétrographique des terrains montre que les phénomènes d'adsorption se font dès les premiers mètres parcourus par les eaux d'infiltration, à tel point qu'avant d'atteindre les grandes profondeurs captées par les forages, le faciès chimique est déjà relativement sous-saturé en alcalino-terreux.

Dans notre secteur d'étude, ces permutolites sont essentiellement constituées de minéraux argileux issus, comme nous l'avons mentionné dans les aspects géologiques et géophysiques du secteur, de l'altération des unités schisteuses et granito-gneissiques constituant l'essentiel du matériel géologique.

5.6. ORIGINE DES IONS

La classification chimique des eaux ayant permis de distinguer les grandes familles, nous essaierons dans ce paragraphe d'interpréter les variations des compositions chimiques, en fonction de la nature géologique des terrains et d'aborder des problèmes relatifs à l'origine des substances dissoutes.

5.6.1. Les cations

5.6.1.1. Les alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+})

Les teneurs en calcium sont généralement très faibles autant pour les eaux des puits que pour celles des forages. Elles varient de 0 mg/l à 10 mg/l ; certaines eaux en sont donc parfois totalement dépourvues. La valeur maximale est obtenue pour les eaux des rhyolites de PINTCHOUMBA.

Ces ions Ca^{2+} proviennent de l'altération des feldspaths plagioclases, des grenats, des hornblendes contenus dans les schistes et les granito-gneiss de POLI. La relative importante teneur en Ca^{2+} des eaux de PINTCHOUMBA s'explique par le lessivage de la frange altérée rhyolitique riche en minéraux calciques.

Les teneurs en magnésium présentent une plage de variation moins large : les teneurs vont de 0.08 mg/l (P MIP POLI) à 2.68 mg/l (F Qt Res 1). Ces ions proviennent essentiellement de l'altération des minéraux ferro-magnésiens (olivine, micas, chlorites, cordiérites, pyroxènes...) contenus dans les roches.

L'étude pétrographique des unités géologiques du secteur de POLI nous a montré (chapitre 3) que toutes ces unités (schistes, granito-gneiss, micaschistes, rhyolites...) sont constituées d'une proportion importante de feldspaths plagioclases, de hornblende et de ferromagnésiens, tous susceptibles de libérer, par altération, des quantités appréciables d'alcalino-terreux. Or, le dosage de ces éléments dans nos eaux montre que, quel que soit le faciès géologique, ces éléments ont toujours des teneurs pondérales très modestes, parfois même inférieure à l'unité. Certains échantillons sont même tout simplement dépourvus de calcium. Pour étudier les variations chimiques de ces alcalino-terreux, nous avons établi le rapport $r \frac{Mg}{Ca}$.

Les valeurs de ce rapport varient fortement d'un point d'eau à un autre ; en effet, si l'on fait abstraction des valeurs infinies données par les eaux ne contenant pas de Ca^{2+} (3 échantillons) on remarque que 7 échantillons (32 %) présentent un rapport inférieur à 1 et 12 échantillons (55 %) un rapport supérieure à l'unité.

Les échantillons ayant un rapport $r \frac{Mg}{Ca}$ inférieur à un sont issus des roches basiques (rhyolites de PINTCHOUMBA), des arènes des quartzites de BOULKO, de quelques puits de POLI (PMi P POLI, PP POLI, P PTT) et enfin du puits de GARE et de la source de la même localité. En dehors du forage de PINTCHOUMBA (56 m) dont le faible rapport s'explique par une relative abondance des ions Ca^{2+} , toutes les autres eaux sont issues de puits à grands diamètres, peu profonds (moyenne 25 m) et captant la nappe superficielle qui circule dans les arènes des schistes et des gneiss de POLI. Les faibles valeurs du rapport $r \frac{Mg}{Ca}$ dans ces eaux s'expliquent par des faibles teneurs ioniques des deux ions impliqués dans ce rapport ; lorsque nous considérons les profils d'altération déduits des études géophysiques et surtout les logs lithologiques fournis par les puits et forages, on constate que ce niveau superficiel dans lequel se développe cette nappe est le plus riche en argile de tout le profil. Les phénomènes d'adsorption et de fixation des alcalino-terreux étant, dans le secteur de POLI, essentiellement le fait des produits argileux divers, l'abondance de ceux-ci dans la partie sommitale du profil et les échanges qui s'en suivent provoquent un appauvrissement en Ca^{2+} et Mg^{2+} des eaux de cette nappe.

Pour tous les autres échantillons ayant un $r \frac{Mg}{Ca}$ supérieur à 1, nous constatons que cet accroissement du rapport est essentiellement dû à une relative augmentation des teneurs ioniques du magnésium. Ces échantillons étant issus, pour la plupart d'entre eux, des eaux de forages, il nous semble logique de penser que ces eaux des poches d'eau profondes captées par les forages sont relativement plus riches en Mg^{2+} . Cette richesse en magnésium est relative et est considérée par rapport aux teneurs des ions calcium car malgré elle, les teneurs en cet ion restent toujours trop faibles pour qu'il faille nécessairement lier leur présence à l'existence de roches très basiques dans le sous-sol des zones cristallines Nord-Camerounaises, y compris le secteur de POLI (A. LE MARECHAL, 1976).

5.6.1.2. Les alcalins (Na^+ et K^+)

Les teneurs ioniques des eaux en alcalins sont plus fortes que celles des alcalino-terreux décrits ci-dessus. Cette importance des alcalins est due aux fortes teneurs généralisées du Na^+ dans toutes les eaux analysées. En effet, les rapports rNa^+/Ca et rNa/Mg sont toujours très forts et varient entre 10 et 228.

L'abondance des alcalins permet la fixation du gaz carbonique ; cette fixation entraîne une évolution des eaux initialement acides vers l'acquisition d'un pH basique. Cet aspect est bien illustré par les eaux de la source de GARE (S1 GARE) et celles du puits du même village (17 m). Tandis que les eaux de cette source ont un pH acide de 6.6. pour un ($rNa^+ + rK^+$) de 1.72, les eaux du puits ont un pH de 7.3 pour un ($rNa^+ + rK^+$) de 2.33. Les phénomènes d'adsorption et de libération des alcalins dans le milieu aqueux sont croissants de la surface vers la profondeur (au moins pour la partie sommitale du profil d'altération) et sont en grande partie responsables de la basité des eaux souterraines.

Les ions Na^+ et K^+ proviennent de la décomposition de nombreux minéraux parmi lesquels nous pouvons citer les feldspaths, les pyroxènes, les micas et les amphiboles.

L'ensemble des eaux analysées donne des teneurs en Na^+ supérieures à celles du K^+ . Ceci peut s'expliquer d'une part par la plus grande stabilité des feldspaths et des micas potassiques et d'autre part par l'absorption et la mobilisation de K^+ dans les minéraux néoformés au cours de l'altération (A. LE MARECHAL, op cit). En effet, dans les produits argileux noirs observés à la base du Hosséré HERKO et développés aux dépens des gneiss de la Vallée des Rôniers, de larges plages de micas blancs (muscovite) sont encore observables. L'existence de ces paillettes de micas dans ces produits argileux ayant subi une altération très poussée témoigne de la relative stabilité de ces minéraux vis-à-vis des processus d'altération.

L'étude des teneurs en Na^+ en fonction des types d'ouvrages montre que les faibles teneurs (inférieures à 50 mg/l) sont obtenues essentiellement pour les eaux des puits et de la source de GARE. Les teneurs en Na^+ des eaux des forages sont toutes supérieures à cette valeur (excepté celle du forage de l'Ecole Principale (17) individualisée et interprétée pendant l'analyse en composantes principales).

Cette coupure établie à 50 mg/l peut paraître arbitraire mais elle nous paraît intéressante dans la mesure où elle permet de mieux comprendre et d'interpréter les variations des teneurs du sodium dans les eaux ; ces variations peuvent se résumer en trois grands points :

1/ Les phénomènes d'adsorptions liés à l'action des permutolites et caractéristiques de la nappe superficielle, induisent des échanges entre les alcalino-terreux des eaux et les alcalins des terrains. Ils aboutissent à un appauvrissement des eaux en alcalino-terreux et à un enrichissement en alcalins. Cette augmentation des teneurs en alcalins est encore relativement faible et les eaux "peu" chargées en ces ions.

2/ L'infiltration de ces eaux vers la base du profil d'altération et de la frange fissurée du bed rock captée par les forages s'accompagne d'une augmentation des teneurs en Na^+ suivie par une diminution relative des teneurs en K^+ qui sont absorbés et s'intègrent dans les réseaux des minéraux néoformés du profil.

3/ L'existence de fortes concentrations en Na^+ dans certains puits captant la nappe superficielle (PP POLI (18)) serait vraisemblablement liée à la continuité hydraulique et au mélange, au moins pendant la saison des pluies, des eaux des deux nappes.

5.6.2. Les anions

5.6.2.1. Les Chlorures

Les teneurs en ions chlorures sont relativement faibles dans les eaux du secteur de POLI. Elles varient de 5.55 mg/l (F. BOUMBA) à 28.5 mg/l (P PTT POLI). Du point de vue ionique, ces teneurs deviennent respectivement 0.16 et 0.80 meq/l.

Pris par rapport aux teneurs des autres anions ou par rapport à la minéralisation totale, ces teneurs en ions Cl^- peuvent être considérées comme très faibles mais, lorsque l'on considère les variations absolues de ces teneurs pour les différents échantillons, on remarque que bien qu'elles restent toujours très faibles, des variations sensibles de teneurs sont notées pour certaines eaux. Dans la classification chimique des eaux, l'utilisation de modestes variations des teneurs en chlorures comme critère secondaire de différenciation nous a permis d'individualiser ces eaux. Il s'agit des eaux des puits et forages creusés dans les formations schisteuses de POLI et de la source de GARE.

Ces ions Cl^- proviendraient essentiellement de trois sources principales, sans que l'on puisse dire, à l'état actuel des connaissances, la part de chacune d'elles :

* Une origine atmosphérique, liée aux précipitations ; les faibles teneurs s'expliqueraient alors par l'éloignement du secteur de POLI par rapport à la côte.

* Une origine chimique, liée au lessivage des roches encaissantes. En effet, GOLDSCHMIDT (1958) mentionne une teneur moyenne de 500 ppm dans les roches magmatiques.

* Une dernière origine liée à la présence de recouvrement argileux sur le substratum ; ce recouvrement rend difficiles les circulations d'eau en son sein et dans les parties fissurées du bed rock qu'il colmate (A.N. SAVADOGO, 1984). Bien que nous ayons montré plus haut l'existence d'un recouvrement argileux de ce type et dont les propriétés adsorbantes jouent un rôle primordial dans l'acquisition du faciès chimique final des eaux du secteur de POLI, les faibles teneurs en Cl^- rencontrées ne nous autorisent pas à envisager une origine de ce type pour les chlorures. En effet, d'après A.N. SAVADOGO, ce recouvrement argileux favorise une surconcentration des chlorures et du magnésium par évaporation et dissolution. Or, dans nos eaux, les teneurs en chlorures autant que celles des ions Mg^{2+} sont faibles.

5.6.2.2. Les bicarbonates

Autant que le sodium vis-à-vis des cations, l'ion bicarbonate représente l'anion le plus fréquent dans nos eaux. Les teneurs pondérales varient de 71.9 mg/l (F.SAR) à 499.1 mg/l (F. PRISON).

Le pH des eaux varie de 6.1 à 8.4 avec une moyenne de 7.99 ; les ions HCO_3^- sont donc dominants par rapport aux ions CO_3^{2-} .

Les résultats d'analyse du seul échantillon d'eau de pluie dont nous disposons et qui a été recueilli à GARE le 26.04.1986 donnent une teneur de 14.64 mg/l de HCO_3^- .

Les eaux superficielles du Mayo YELE, pour leur part, donnent, pour les échantillons de PK 15 et du PK 35 respectivement les teneurs pondérales suivantes en HCO_3^- : 44.93 et 101.3 mg/l ; ce qui donne une moyenne de 72.6 mg/l.

Les eaux souterraines, par contre et quel que soit le faciès pétrographique considéré, donnent des teneurs variant de 71.9 à 499.1 mg/l. Si l'on considère la moyenne de 253.9 mg/l déterminée pour l'ensemble des échantillons des eaux souterraines, on constate que ces eaux renferment au moins 3.5 fois plus de HCO_3^- que les eaux de surface et 17.3 fois plus que les eaux de pluies. Ceci tend à montrer que la plus grande partie des bicarbonates des eaux souterraines est acquise lors de l'infiltration et montre aussi que l'eau du Mayo YELE ne provient pas des nappes souterraines.

Ces bicarbonates proviennent essentiellement de deux sources :

* La dissolution du CO₂, originaire de l'atmosphère et des sols (H. SCHOELLER, 1962),

* L'action de la couverture végétale (A.N. SAVADOGO, 1984).

5.6.2.3. Les sulfates

Comme celles en ions chlorures, les teneurs en sulfates de nos eaux sont faibles. Avec une moyenne de 8.02 mg/l, elles varient de 1 mg/l (F. PINTCHOUMBA) à 29.5 mg/l (F. WATE). Ce forage de WATE est réalisé à la base de formations volcano-sédimentaires de HOY.

L'étude du rapport rSO₄/Cl montre que tous ces rapports sont inférieurs à l'unité (à l'exception du forage de BOUMBA où il est de 1.06) ce qui traduit bien la pauvreté relative de nos eaux en ces deux ions.

En fonction de ces résultats, il est possible d'envisager au moins deux origines probables des ions sulfates :

* Les sulfates pourraient provenir de la décomposition de la pyrite présente dans les formations schisteuses et gneissiques du socle de POLI ; en effet, les cuttings recueillis aux abords du forage négatif réalisé par BOSKALIS en 1984 dans la localité de GODE nous ont montré quelques cristaux de pyrite dans la migmatite.

* Les sulfates pourraient être attribuables au soufre qui existe dans les roches magmatiques en faible quantité : 0.052 % d'après CLARKE et WASHINGTON cités par GOLDSCHMIDT (op cit) et de 100 à 500 ppm dans les roches volcaniques. La forte teneur relevée dans les eaux de WATE aurait probablement une origine liée à cette seconde source.

5.6.2.4. Les Nitrates

Toutes les eaux du secteur de POLI présentent des teneurs faibles en nitrates. Elles varient entre 2.2 mg/l (F. WATE) à 5.28 mg/l (S1 GARE).

A la suite de A.N. SAVADOGO (1984) et en fonction des faibles teneurs en nitrates obtenues et de l'absence totale, à travers tout le secteur de POLI, d'utilisateur d'engrais, nous pensons que les quelques milligrammes de nitrates trouvés dans nos eaux proviennent essentiellement de la dégradation microbienne, dans le sol, de la matière organique (minéralisation puis nitrification).

Conclusion sur les anions :

De l'étude des teneurs en anions des eaux du secteur de POLI, nous pouvons conclure que deux sources principales et communes à tous ces anions contribuent à minéraliser les eaux ; il s'agit, par ordre d'importance relative aux quantités d'anions apportées, des précipitations et de l'altération des formations géologiques.

5.7. LES CRITERES D'EAU D'IRRIGATION

Ces critères dépendent essentiellement de la qualité chimique de l'eau, du climat, de la nature géologique du sol et des types de plantes qui constituent la couverture végétale du sol.

En règle générale, une eau très minéralisée peut présenter des dangers d'alcalinisation et de salinisation des sols par le remplacement des ions alcalino-terreux (Ca²⁺ et Mg²⁺) par le sodium (Na⁺).

Les fortes teneurs en sodium des eaux du secteur de POLI et les phénomènes d'adsorption fréquents et caractéristiques dans nos eaux nous ont amenés à estimer ces critères d'irrigation.

Les échanges ioniques entre le Na⁺ et les alcalino-terreux peuvent être appréciés par le S.A.R. (Sodium Absorption Ratio). La formule donnant ce paramètre est la suivante :

$$S.A.R. = \frac{rNa^+}{\frac{rCa^{2+} + rMg^{2+}}{2}}$$

L'absence dans nos mesures physico-chimiques de la conductivité qui est une donnée fondamentale permettant le report sur diagramme binaire des S.A.R., nous amène à considérer le problème à une dimension. Nous prenons donc en compte seulement les subdivisions en fonction de la valeur du S.A.R. Nous considérons les intervalles suivantes :

- * S.A.R. < 10 : Eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.
- * 18 < S.A.R. < 26 : Eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation des sols.
- * S.A.R. > 26 : Eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

L'analyse des S.A.R. déterminés pour nos eaux montre que :

* 13 d'entre eux (soit 59 %) ont un S.A.R. < 10 et sont donc utilisables avec peu de danger d'alcalinisation des sols : il s'agit des eaux des forages de PINTCHOUMBA, de l'Ecole Principale de POLI, de la PRISON, des puits de BOULKO, de la SAR, de l'Ecole Principale de POLI, de GARE, de la Base de DOUMBOULKO, des PTT, de la Résidence du Préfet et enfin, de la source de GARE.

* 6 d'entre eux (soit 27 %) ont un S.A.R. compris entre 18 et 26 et sont donc susceptibles de provoquer une alcalinisation des sols. Il s'agit des forages de OUROUKESSOU, du P1 POLI, du P2(A) MAYO, du Quartier Résidentiel 1, de la SAR et du puits PP POLI.

* Enfin, 3, soit 14 % de ces eaux présentent un danger d'alcalinisation très fort, du fait de leur S.A.R. supérieur à 26. Ce sont les eaux des forages de BOUMBA, WATE et F2M POLI.

5.8. CONTRIBUTION DE LA GEOCHIMIE DES ROCHES DANS L'INTERPRETATION DE LA MINERALISATION DES EAUX

Pour quantifier au mieux la part des constituants minéraux des roches dans les processus d'acquisition des faciès chimiques des eaux, nous avons reconsidéré, sous un angle purement hydrogéologique, la vingtaine de résultats d'analyses géochimiques des roches du secteur de POLI présentés au chapitre 3.2

Tous les pourcentages pondéraux d'oxydes sont convertis en milliéquivalents du cation correspondant. Nous avons ensuite calculé, pour tous les échantillons, les rapports caractéristiques rMg^{2+}/rCa^{2+} , rNa^+/rK^+ et $\frac{rMg^{2+} + rCa^{2+}}{rNa^+ + rK^+}$. Le tableau 5.3 donne l'ensemble des résultats.

Dans la conception de ce tableau, nous avons conservé les quatre grands groupes de formations que nous avons distingué dans la représentation binaire de J. JUNG (fig 3.9)

Les données du tableau 5.3 font remarquer les points suivants :

* Le rapport rMg/rCa :

La plage de variation des valeurs de ce rapport est assez large mais, si nous prenons comme repère l'unité, on constate que seuls les schistes (S3 PK6), les gneiss (MM1 PK 26 et HH3 PK12) et les micaschistes (EMG PK14) ont des rapports supérieurs à cette valeur. Toutes les autres formations géologiques (volcaniques et métamorphiques) ont des valeurs inférieures à l'unité et parfois nulles.

* Le rapport rNa^+/rK^+ :

Si l'on maintient le repère fixé à 1, on constate qu'à l'exception du schiste (S3 PK6) du Mayo DEMDJAI, ce rapport est toujours supérieur à cette valeur. La valeur maximale de ce rapport est de 32.54 et caractérise le gneiss (MG4 PK15).

* Le rapport $\frac{rMg^{2+} + rCa^{2+}}{rK^+ + rNa^+}$

Abstraction faite de l'échantillon de gabbro EH 06,12, de la dolérite EH.05,12 et du schiste S3 PK6, toutes les autres valeurs sont inférieures à l'unité.

Ces constatations (notamment la dernière) sont fondamentales dans la mesure où elles nous montrent que le déficit ionique et pondéral relatif des alcalino terreux constaté dans la presque totalité des eaux du secteur de POLI est aussi exprimé dans les roches saines dont les altérites et les fissures sont aquifères.

En effet, si l'on admet avec KLAN (1929) cité par H. SCHOELLER (1962) que le rapport rMg/rCa de l'eau est le même que celui de la dolomite lorsque ce minéral est dissous seul, il nous paraît logique de penser qu'un déficit ionique et/ou pondéral d'un des éléments constitutifs de cette roche sera aussi perçu comme tel dans les eaux.

Bien que les principaux mécanismes de mise en solution des ions diffèrent entre le milieu carbonaté (dissolution) et le milieu cristallin (hydrolyse), il est très probable que les constatations de KLAN soient aussi valables pour nos roches cristallines.

Toutefois, nous pensons que, quantitativement, ce déséquilibre ionique relatif mis en évidence par l'étude géochimique des roches du secteur de POLI, ne suffit pas, à lui seul, à expliquer toutes les différences entre les teneurs des alcalino-terreux et celles des alcalins des eaux.

Pour le démontrer, nous avons considéré d'une part, les sommes ioniques ($rNa^+ + rK^+$) et ($rMg^{2+} + rCa^{2+}$) des roches, et d'autre part, les mêmes sommes pour les eaux.

| ECHANTILLONS | Mg O% | Ca O% | Na2 O% | K2 O% |
|--------------|-------|-------|--------|-------|
| EH O612 | 1.97 | 12.59 | 2.84 | 0.87 |
| HG PK23 | 5.44 | 6.93 | 1.73 | 1.47 |
| HO 5.12 | 5.07 | 8.72 | 3.83 | 2.02 |
| EH O8.12 | 2.29 | 5.92 | 3.34 | 4.42 |
| EMG PK 14 | 3.79 | 1.87 | 3.61 | 1.92 |
| MG 4 PK15 | 1.86 | 4.24 | 7.28 | 0.34 |
| HH3 PK12 | 3.75 | 2.33 | 2.9 | 3.32 |
| MM1 PK26 | 3.75 | 4.39 | 4.16 | 2.78 |
| P7 PK2 | 0.09 | 0.02 | 0.40 | 0.35 |
| S3 PK6 | 1.66 | 0.31 | 0.17 | 1.79 |
| P10 PK3 | 0.00 | 0.10 | 5.25 | 4.46 |
| C1 PK2 | 0.16 | 0.96 | 6.36 | 2.09 |
| AB3 7I | 0 | 1.11 | 11.25 | 0 |
| N3 PK14 | 0.69 | 1.81 | 4.79 | 3.56 |
| AB1 ZC | 0.19 | 1.63 | 6.97 | 0.87 |
| MT2 PKO | 0.34 | 1.47 | 5.26 | 4.44 |
| HG 3F | 0 | 0.53 | 4.29 | 4.68 |
| HG 4F | 0 | 0.43 | 5.10 | 4.09 |
| HG PK27 | 0.21 | 0.74 | 4.6 | 4.64 |
| EH O1.12 | 0.58 | 2.39 | 5.81 | 2.32 |

| ECHANTILLONS | Mg MAT | Ca MAT | Na MAT | K MAT |
|--------------|--------|--------|--------|-------|
| EH O612 | 48.87 | 224.50 | 91.64 | 18.47 |
| HG PK23 | 134.95 | 123.57 | 55.82 | 31.21 |
| HO 5.12 | 125.78 | 155.50 | 123.59 | 42.89 |
| EH O8.12 | 56.81 | 105.56 | 107.78 | 93.84 |
| EMG PK 14 | 94.02 | 33.34 | 116.49 | 40.76 |
| MG 4 PK15 | 46.14 | 75.60 | 234.91 | 7.22 |
| HH3 PK12 | 93.03 | 41.55 | 93.58 | 70.49 |
| MM1 PK26 | 93.03 | 78.28 | 134.24 | 59.02 |
| P7 PK2 | 2.23 | 0.36 | 12.9 | 7.43 |
| S3 PK6 | 41.18 | 5.53 | 5.48 | 38.00 |
| P10 PK3 | 0.00 | 1.78 | 169.41 | 94.70 |
| C1 PK2 | 3.97 | 17.12 | 205.23 | 44.37 |
| AB3 7I | 0 | 19.79 | 363.02 | 0 |
| N3 PK14 | 17.12 | 32.27 | 154.56 | 75.58 |
| AB1 ZC | 4.71 | 29.06 | 224.91 | 18.47 |
| MT2 PKO | 8.43 | 26.21 | 169.73 | 94.27 |
| HG 3F | 0 | 9.45 | 138.43 | 99.36 |
| HG 4F | 0 | 7.67 | 164.57 | 86.84 |
| HG PK27 | 5.21 | 13.19 | 148.43 | 98.51 |
| EH O1.12 | 14.39 | 42.62 | 187.48 | 49.25 |

| ECHANTILLONS | Mg | Ca | Na | K |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| EH O612 | 97.74 | 449 | 183.28 | 36.94 |
| HG PK23 | 269.9 | 247.14 | 111.64 | 62.42 |
| HO 5.12 | 251.56 | 311 | 247.18 | 85.78 |
| EH O8.12 | 113.62 | 211.12 | 215.56 | 187.68 |
| EMG PK 14 | 188.04 | 66.68 | 232.98 | 81.52 |
| MG 4 PK15 | 92.28 | 151.2 | 469.82 | 14.44 |
| HH3 PK12 | 186.06 | 83.1 | 187.16 | 140.98 |
| MM1 PK26 | 186.06 | 156.56 | 268.48 | 118.04 |
| P7 PK2 | 4.46 | 0.72 | 25.8 | 14.86 |
| S3 PK6 | 82.36 | 11.06 | 10.96 | 76.0 |
| P10 PK3 | 0.00 | 3.56 | 338.82 | 189.4 |
| C1 PK2 | 7.94 | 34.24 | 410.46 | 88.74 |
| AB3 7I | 0 | 39.58 | 726.04 | 0 |
| N3 PK14 | 34.24 | 64.54 | 309.12 | 151.16 |
| AB1 ZC | 9.42 | 58.12 | 449.82 | 36.94 |
| MT2 PKO | 16.86 | 52.42 | 339.46 | 188.54 |
| HG 3F | 0 | 18.9 | 276.86 | 198.72 |
| HG 4F | 0 | 15.34 | 329.14 | 173.68 |
| HG PK27 | 10.42 | 26.38 | 296.86 | 197.02 |
| EH O1.12 | 28.78 | 85.24 | 374.96 | 98.5 |

| ECHANTILLONS | rMg/rCa | rNa /rK | rMg+rCA /rNa +rK | |
|--------------|---------|---------|------------------|-------------|
| EH O612 | 0.22 | 4.96 | 2.48 | Grabos |
| HG PK23 | 1.09 | 1.79 | 2.97 | Granite |
| HO 5.12 | 0.81 | 2.88 | 1.69 | Diabase |
| EH O8.12 | 0.54 | 1.15 | 0.80 | Diabase |
| EMG PK 14 | 2.82 | 2.86 | 0.81 | Micaschiste |
| MG 4 PK15 | 0.61 | 32.54 | 0.50 | Gneiss |
| HH3 PK12 | 2.24 | 1.33 | 0.82 | Gneiss |
| MM1 PK26 | 1.19 | 2.27 | 0.89 | Gneiss |
| P7 PK2 | 6.19 | 1.74 | 0.13 | Tuf |
| S3 PK6 | 7.47 | 0.14 | 1.07 | Schiste |
| P10 PK3 | 0.00 | 1.79 | 0.007 | |
| C1 PK2 | 0.23 | 4.62 | 0.08 | Trachyte |
| AB3 7I | 0 | - | 0.05 | (albitite) |
| N3 PK14 | 0.53 | 2.04 | 0.21 | |
| AB1 ZC | 0.16 | 12.18 | 0.14 | Syénite |
| MT2 PKO | 0.32 | 1.8 | 0.13 | Diabase |
| HG 3F | 0 | 1.39 | 0.04 | Granite |
| HG 4F | 0 | 1.89 | 0.03 | Aplite |
| HG PK27 | 0.39 | 1.51 | 0.07 | Granite |
| EH O1.12 | 0.34 | 3.80 | 0.24 | Grès Arkos. |

TABLEAU 5.3 : Composition géochimique des roches du secteur de POLI (% oxydes, MAT, meq/l)

| EAUX | | ROCHES | |
|----------|-------------|------------|-------------|
| r Na + K | r Mg + r Ca | r Na + r K | r Mg + r Ca |
| 2.58 | 0.71 | 110.11 | 273.37 |
| 9.04 | 0.25 | 87.03 | 258.52 |
| 10.63 | 0.21 | 166.48 | 281.28 |
| 2.93 | 0.46 | 201.62 | 162.37 |
| 2.01 | 0.16 | 157.25 | 127.36 |
| 2.39 | 0.19 | 242.13 | 121.74 |
| 10.41 | 0.26 | 164.07 | 134.58 |
| 9.26 | 0.26 | 193.26 | 171.31 |
| 2.61 | 0.31 | 20.33 | 2.59 |
| 1.73 | 0.13 | 43.48 | 46.71 |
| 8.89 | 0.31 | 264.11 | 1.78 |
| 8.88 | 0.27 | 249.7 | 21.09 |
| 9.72 | 0.26 | 363.02 | 19.79 |
| 2.33 | 0.49 | 230.14 | 49.39 |
| 1.63 | 0.07 | 243.38 | 33.77 |
| 1.72 | 0.43 | 264 | 34.64 |
| 2.04 | 0.29 | 237.79 | 9.45 |
| 9.89 | 0.42 | 251.41 | 7.67 |
| 2.42 | 0.25 | 246.94 | 18.4 |
| 9.4 | 0.33 | 236.73 | 57.01 |
| 2.18 | 0.44 | | |
| 1.80 | 0.18 | | |

TABLEAU 5.4 : Valeurs comparées des teneurs des alcalins et des alcalino-terreux dans les eaux et les roches du secteur de POLI

Si nous désignons par y les teneurs en alcalino-terreux et par x les teneurs en alcalins, le traitement des couples de valeurs par la méthode des moindres carrés permet de déterminer, dans les deux cas, les équations des droites correspondantes et du coefficient de corrélation.

| ROCHES | EAUX |
|-----------------------|------------------------|
| A = - 0.467 | A = - 0.0025 |
| B = - 184.3 | B = 0.317 |
| Y = - 0.467 X + 184.3 | Y = - 0.0025 x + 0.317 |
| r = - 0.411 | r = - 0.0067 |

Nos deux droites se recoupent au point :
 $(rNa^+ + rK^+) = 402.15 \text{ meq/l}$
 $(rMg^{2+} + rCa^{2+}) = - 0.69 \text{ meq/l}$

Dans la pratique, le non parallélisme des deux droites signifie que l'évolution des paramètres étudiés (teneurs des alcalino-terreux par rapport à celles des alcalins dans les roches et dans les eaux qui assurent leur hydrolyse) n'est pas linéaire. D'autres facteurs du milieu influencent les variations des teneurs de ces ions. Parmi ceux-ci, nous avons cité et traité le cas des permutolites, mais il est certain qu'il en existe d'autres.

CONCLUSIONS

GENERALES

CONCLUSIONS GENERALES

Depuis 1972, date de publication des travaux de B. TILLEMENT relatifs aux aspects hydrogéologiques du Nord-Cameroun au-delà du 8^e parallèle, plus de deux milliers d'ouvrages (puits et forages) de captage des eaux souterraines ont été réalisés dans la partie septentrionale du pays.

L'étude de la répartition spatiale de tous ces ouvrages par rapport aux faciès géologiques montre que plus des 2/3 de ceux-ci sont situés dans les zones sédimentaires pourtant moins vastes que les zones cristallines. Pour l'ensemble du Nord-Cameroun, ce sous-équipement des zones cristallines en points d'eau tient aux difficultés multiples rencontrées par les différentes équipes chargées de la création de ceux-ci. En effet, les taux d'échecs relativement plus élevés dans ces zones ont entraîné un désintéressement quasi-généralisé des équipes vis-à-vis de la recherche hydrogéologique dans les localités situées en terrains cristallins et cristallophilliens.

Les travaux que nous avons menés dans le secteur de POLI et dans d'autres zones cristallines Nord-camerounaises contribuent à une meilleure connaissance des capacités hydrauliques des formations qui les constituent.

De l'étude des facteurs géographiques du secteur de POLI, il ressort que :

Ce secteur est constitué de huit bassins versants. Le relief est contrasté et les pentes des versants sont très fortes ; les altitudes varient de 200 à 2 000 m. Le passage d'une tranche d'altitude à une autre se fait sur de courtes distances constituant ainsi des escarpements.

Le réseau hydrographique des différents bassins versants est extrêmement ramifié et varié ; l'analyse combinée des paramètres morphométriques de ce réseau et des reliefs montre que les indices de drainage des différents bassins versants sont très forts. Tous les cours d'eau constituant ce réseau prennent leur source en altitude et ont un caractère torrentiel.

Pendant le trajet qui les conduit jusqu'aux zones topographiques plus encaissées, ces rivières de montagne ont une action érosive intense. Elles contribuent à décaper les roches saines en leur privant de leurs franges altérées qui pourtant sont susceptibles de présenter par endroits des potentialités aquifères intéressantes.

Sur le plan climatologique, l'étude des précipitations des 25 dernières années montre une tendance généralisée à la baisse. Malgré cette tendance régionale observée à travers tout le Nord Cameroun, l'existence de nombreux massifs montagneux dans le secteur de POLI permet de maintenir la pluviométrie annuelle au dessus de 1 250 mm. Les températures varient de 29 à 38 °C.

A la station météorologique de POLI considérée comme la station de référence de notre zone d'étude, la valeur des précipitations pour l'année moyenne de la décennie 76-85 est de 1 415 mm.

Les diverses méthodes de calcul de l'évapotranspiration nous ont permis de déterminer, pour cette même station, la valeur moyenne de 1 029,9 mm, soit 74 % de la lame d'eau précipitée. Les mêmes calculs à la station de GAROUA située à une trentaine de kilomètres au Nord du secteur de POLI donnent la valeur de 904,8 mm pour les précipitations et 702,9 mm pour l'évapotranspiration ce qui représente 77,7 % des précipitations. L'évapotranspiration évolue donc en sens inverse par rapport à la précipitation, mais dans le même sens que l'augmentation des températures ; en effet, le Nord-Cameroun est caractérisé par un gradient thermique croissant du Sud au Nord.

L'inexistence des stations de jaugeage dans notre secteur d'étude nous a conduits à utiliser les données des stations proches pour apprécier la lame d'eau ruisselée. Ainsi, par recoupement de plusieurs méthodes, à la station hydrologique du BUFFLE NOIR, le ruissellement a été estimé à 318,7 mm, soit 22,89 % des précipitations. En finale, à cette station du BUFFLE NOIR, juste 43,7 mm d'eau (3,1 %) de la lame précipitée s'infiltrer pour contribuer à la recharge de la nappe.

Le taux d'infiltration est relativement faible, mais est explicable par la nature très argileuse et à perméabilité très réduite des formations géologiques. Toutefois, nous pensons que l'infiltration à partir des lits des cours d'eau est très importante et constitue vraisemblablement une source d'alimentation secondaire des nappes ; elle permet certainement à une grande partie des eaux ruisselées de rejoindre les réserves souterraines. En effet, le tracé des cours d'eau coïncide généralement avec les axes de discontinuité susceptibles de constituer des zones d'infiltration potentielles.

Dans le secteur de POLI, les données des photographies aériennes, des études lithologiques et pétrographiques ont permis de situer le secteur dans le contexte plissé, métamorphisé et fracturé de la zone mobile.

Les grands ensembles géologiques autant que les différentes phases de déformation ayant affecté ce secteur sont distingués par rapport à l'important évènement thermo-tectonique panafricain qui a affecté les ensembles lithologiques de cette zone.

Dans ce secteur, nous avons montré, à partir de l'étude du réseau de fractures tiré des images satellites et des photographies aériennes des différents carrés de ce secteur, que le milieu cristallin, bien que fondamentalement hétérogène et anisotrope, se morcelle suivant des directions bien précises de l'espace.

Ces directions sont dictées par l'orientation dans l'espace et dans le temps des champs de contraintes et, en accord avec le principe de fonctionnement des familles de fractures suivant des couples suborthogonaux, les blocs morcelés vont bouger les uns par rapport aux autres en s'écartant ou en se rapprochant ; on distingue donc ainsi des familles directionnelles de fractures extensives et compressives. La succession et la réorganisation dans le temps des champs de contraintes ainsi que les différences d'intensités absolues des phases tectoniques correspondantes, rendent plus complexe l'évolution tectonostructurale de ces familles de fractures. Ainsi, une même fracture peut avoir un comportement carrément contraire (extension puis compression ou vice-versa) au cours de deux ou plusieurs phases de déformations successives. Les observations plus fines et intéressantes des volumes rocheux bien moins importants nous ont permis de décrypter avec précision les phases successives de déformations ayant affecté ce secteur. La synthèse de toutes ces données a permis d'établir une hiérarchisation du réseau de fractures. Bien que ces études de surface permettent de dissocier les groupes de fractures "fermées" des "ouvertes", elles ne nous donnent pas d'indications verticales et horizontales sur l'ordre de grandeur de la zone altérée associée aux fractures.

Car, bien que la recherche hydrogéologique dans les formations cristallines du socle soit essentiellement axée sur le repérage des hétérogénéités (A.N. SAVADOGO, 1984), il n'en demeure pas moins que la connaissance de l'étendue de la zone broyée liée à ces hétérogénéités est capitale. Ces aspects ont été abordés par l'étude des méthodes de prospection des eaux souterraines que nous avons mises en oeuvre dans le secteur de POLI et dans d'autres zones cristallines du Nord-Cameroun.

Les méthodes indirectes de détection des aquifères que nous avons utilisées sont essentiellement géophysiques (électriques et magnétiques). Dans tous les cas, la géomorphologie constitue toujours le point de départ de nos investigations.

L'étude géostatistique menée sur 272 forages situés, pour la plupart d'entre eux, dans les formations cristallines Nord-Camerounaises nous a permis d'une part de distinguer les différentes nappes des formations et d'autre part, de déterminer les taux d'échecs enregistrés dans les formations cristallines (schistes, granito-gneiss) par rapport à ceux obtenus dans les formations sédimentaires. Ces différences montrent la relative complexité de l'hydrogéologie de ces formations.

La variabilité remarquable des propriétés hydrodynamiques (T et S) est la règle dans les différentes formations du socle cristallin et s'observe encore au sein d'un même faciès géologique et ceci même sur de courtes distances. Les exemples des transmissivités des forages des Quartiers Résidentiels 1 et 2 de POLI forés dans les schistes et distants juste de 240 m mais présentant des transmissivités différentes de l'ordre d'une puissance de 10 illustrent bien cet aspect anisotrope des formations.

Ces faits nous font dire que les paramètres que nous avons déterminés ne sauraient être, en aucun cas, étendus à l'ensemble des schistes de POLI. Ils ne sont valables que dans les voisinages immédiats du forage.

Les eaux qui circulent à travers les formations du socle cristallin Nord-Camerounais sont faiblement minéralisées.

La comparaison entre la minéralisation des eaux de surface (pluie et rivière) et les eaux souterraines montre que ces dernières ont une charge ionique bien plus élevée ; cette minéralisation provient donc essentiellement de la mise en solution des minéraux contenus dans les sols et les roches qu'elles baignent.

Le faciès chimique caractéristique de toutes les eaux analysées est bicarbonaté sodique. La prépondérance remarquable de ces ions par rapport à tous les autres est vraisemblablement dû :

* pour le sodium :
- aux faibles teneurs relatives originelles des alcalino-terreux dans les roches,
- aux phénomènes d'adsorption de ces mêmes ions par les permutolites de la partie sommitale des profils d'altération,
- aux phénomènes de fixation préférentielle des ions K^+ par les minéraux argileux néoformés.

* pour le bicarbonate :
- à la dissolution du CO_2 atmosphérique,
- à une importante activité des végétaux qui constituent la savane boisée et les quelques îlots de forêt claire du secteur de POLI,
- une troisième source pourrait être envisagée : la dissolution du CO_2 magmatique. En effet, le secteur de POLI est une région volcanique, mais nous en disposons pas de suffisamment d'échantillons d'eau prélevée dans ces formations pour pouvoir quantifier les effets de cette source probable.

Pour terminer, nous dirons que si nous avons, à travers ce mémoire, essayé de jeter les bases de ce qui pourrait être considéré comme la seconde phase de l'hydrogéologie Nord-Camerounaise, il n'en demeure pas moins que beaucoup de choses restent à faire. Nous pensons notamment à :

* une étude quantitative plus poussée et plus précise du phénomène de recharge des nappes par le biais, d'une part d'observations piézométriques continues et d'autre part, d'analyses isotopiques des eaux.

Nous ne disposons pas de moyens nécessaires pour cerner ces aspects, mais nous espérons, au-delà de cette lacune, avoir contribué à une meilleure connaissance des potentialités hydrauliques des zones cristallines Nord-Camerounaises et avoir apporté, par l'implantation des forages que nous avons réalisés au Nord-Cameroun, un élément de solution à la résolution des problèmes vitaux posés à nos compatriotes du Nord.

B I B L I O G R A P H I E

B I B L I O G R A P H I E

- AL-ANBAR, N. (1979) :
Infiltration et écoulement en milieu karstique.
Etude statistique des données climatiques et
hydrogéologiques. Hydrogéologie du bassin versant du
Furon-Vercors (France).
- ALEKSANDROWSKI, P. (1985) :
Graphical determination of principal stress
directions for slickenside lineation population : an
attempt to modify Arthaud's method. JOURNAL OF
STRUCTURAL GEOLOGY vol. 7/1. p 73-82.
- ANDERSON, E.M. (1951) :
The dynamic of faulting. OLIVER AND BOYD. Ed.
LONDON. 206 p
- ANGELIER, J. (1975-c) :
Sur l'analyse des mesures recueillies dans des sites
faillés : l'utilité d'une confrontation entre les
méthodes dynamiques et cinématiques. CR. ACAD. SC.
FR (D) 281/23 P 1905-1908
- ANGELIER, J. (1977) :
La reconstitution dynamique et géométrique de la
tectonique de failles à partir de mesures locales
CR. ACAD. SC. FR. (D) 285, p 637-640
- ANGELIER, J., GOGUEL, J. (1979) :
Sur une méthode simple de détermination des axes
principaux des contraintes pour une population de
failles CR. ACAD. SC. FR (D), 288, p 307-310
- ANGELIER, J., MECHLER, P. (1977) :
Sur une méthode graphique de recherche des
contraintes principales également utilisable en
tectonique et séismologie : la méthode des dièdres
droits. BULL. SOC. GEOL. FR. (7), 19/6 p 1209-1318
- ARLAB-CAMEROUN (1985) :
Rapport final du programme d'Hydraulique villageoise
dans les provinces du Nord et de l'Extrême Nord
(Phase I)
- ARMAND, C., DELAQUAISE, B. (1977) :
Analyse physico-chimique des eaux : Mémento pratique
22 p
- ARTHAUD, F. (1969) :
Méthode de détermination graphique des directions de
raccourcissement, d'allongement et intermédiaire
d'une population de failles. BULL. SOC. GEOL. FR (7)
XI. p 729-737
- ASTIER, J.C. (1971) :
Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Masson et
Cie, Paris. 227 p

- BARD, J.P. (1980) :
Microtexture des roches magmatiques et
métamorphiques 192 p
- BESSELES, B. (1969) :
Synthèse simplifiée des connaissances sur la
géologie du Cameroun. Bull. Dir. Mines et Géol.
Cameroun n° 5, YAOUNDE
- BESSELES, B., TROMPETTE, R. (1980) :
Géologie de l'Afrique : La chaîne panafricaine "zone
mobile d'Afrique Centrale (partie sud) et zone
mobile soudanaise Mem. B.R.G.M., n° 92
- BLES, J.L., GROS Y. (1980) :
La fracturation du granite de Bassiès (Pyrénées
ariégoises, France) : Chronologie des phases
tectoniques, évolution des fractures. Bull. Soc.
Géol. France (7), t XXII, n° 3, p 377-390
- BLES J.L., FEUGA, B. (1981) :
La fracturation des roches : Manuels et Méthodes n°
1, B.R.G.M. Ed Orléans, 123 p
- BOUCHE, P., POULET, M. (1971) :
Méthodes et exemples d'étude sur photographies
aériennes de la fracturation naturelle des
carbonates. Rev. Inst. Fr. Pet. Z6/1. p 3-22
- BOURGUET, L. et al (1981) :
Méthodologie de la recherche hydrogéologique en zone
du socle cristallin B.R.G.M. (Bulletin n° 4)
- BRABANT, P., HUMBEL, F.X. (1974) :
Carte pédologique du Cameroun au 1/200 000, feuille
POLI, avec notice, 107 p. Cath. ORSTOM, Sec. Pédo n°
51
- BRIERE, G., RAZACK, M. (1981) :
Méthode informatique pour l'étude sur clichés
aériens de la fracturation des magasins aquifères
fissurés. Rev. Géol. dyn. et de Géog. phys. vol 23,
fasc. 2, p 131-142, Paris
- B.R.G.M. (1979) :
Compte rendu des forages du programme d'hydraulique
villageoise du projet Sud-Est BENOUE. Tomes 1 et 2
- CAREY, E., BRUNIER, B. (1974) :
Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique
élémentaire appliqué à l'étude d'une population de
faille. C.R. ACAD. SC. FR. (D) 279. p 891-894
- CASTANY, G. (1963) :
Traité pratique des eaux souterraines. Dunod - Paris.
- CASTANY, G., MARGAT (1977) :
Dictionnaire français d'Hydrogéologie. Edition
B.R.G.M.

- CLIFFORT, T.N. (1969) :
The Damaran-Katangan (pan-African) geosyncline of
Southern Africa. ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-
Ferrand, n° 41, Geol. Minér., n° 19 "5e colloq.
Geol. Afr. Clermont-Ferrand, 9 - 11 avril 1969"
- CRUCHET, M. (1983) :
Relations entre l'hydrogéologie, le thermalisme et
les circulations d'eaux uranifères dans les roches
fissurées. Les massifs cristallins de Basse
Maurienne (Savoie). Thèse de 3ème cycle USMG 235 p.
- DASSIBAT, C. (1967) :
Etude hydrogéologique des Monts MANDARA. Rapport fin
de mission FED. BRGM Yaounde ; Yao 67 AC, 1967, 38
p, 16 p, 16 cartes + notice, logs sondage
- DERRUAU, M. (1974) :
Précis de géomorphologie, 6e édition
- DETAY, M. (1985) :
Analyse statistique des paramètres hydrogéologiques
de la première campagne de forage dans le Sud-Ouest
Gabonais. Bull C.I.E.H. n° 60, 1985
- DILUCA, C., MULLER W. (1985) :
Evaluation hydrogéologique des projets d'hydraulique
en terrains cristallins du Bouclier Ouest Africain,
CIEH Ouagadougou - BGR, Hannover
- DJEUDA TCHAPNGA, H.B. (1985) :
Hydrogéologie des roches volcaniques. DEA USMG, 108p
- DROGUE, C. (1974) :
Structure de certains aquifères karstiques d'après
les résultats de travaux de forages. C.R. Acad.
Sci., Paris, Série D, t. 278, p 2621-2624
- DUBREUIL, P. (1974) :
Initiation à l'analyse hydrologique. Masson et Cie,
ORSTOM
- DUMONT, J.F. (1985) :
Etude structurale de l'Adamaoua et de sa marge Nord.
Bull IRGM MESRES
- DUMONT, J.F., TOTEU, S.F. (1984) :
Sur deux cycles de migmatisation dans la zone mobile
panafricaine, au Nord Cameroun, 10 R.A.S.T.,
Bordeaux
- DUMONT, J.F., TOTEU, S.F., PENAYE, J. (1985) :
Ensembles structuraux et principales phases de
déformations panafricaines dans la zone mobile du
Nord Cameroun, Région de POLI. MESRES, Rev. Sci et
Tech. Sér. Sci. Terre, 1985, 1 (1-2) p 9-23

- EKODECK, G.E. (1984) :
L'altération des roches métamorphiques du Sud
Cameroun et ses aspects géotechniques Thèse Doc.
Etat ès Sc.Nat.IRGM. Univ. Sci. et Medic. GRENOBLE I
- ENGALENC, M., SAVADOGO, N.A. (1975) :
Rôle de la fracturation dans la recherche des eaux
souterraines dans les granites de l'Afrique
Occidentale. Bull. de liaison du C.I.E.H., n° 20
- ENGALENC, M. (1978-1979) :
Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine
des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest.
Volumes 1 et 2
- ENO BELINGA, S.M. (1972) :
L'altération des roches basaltiques et les processus
de bauxitisation dans l'ADAMAOUA (CAMEROUN). Thèse
Doc. Etat PARIS VI, 570 p ronéo
- ETCHECOPAZ et al (1980) :
An inverse problem in microtectonics for the
determination of stress tensors from fault striation
analysis. Journal of structural geology. Vol 3/1. p
51-65
- FORKASIEWICK, J. (1972) :
Interprétation des données de pompages d'essai pour
l'évolution des paramètres des aquifères. B.R.G.M.
Rapport 72 SGN 273 AME
- FOUDA, B. (1968) :
Prospection hydrogéologique dans l'arrondissement de
GUIDER, Arch DMG et B.E., BE 159, 20 p, 10 pl
- GAMSONRE, E.P. (1975) :
Contribution à l'étude géologique des formations
précambriennes de la région de Ouahigouha (Haute
Volta). Thèse Doctorat ès-sciences. Université de
Besançon
- GENIEUX, M. (1958) :
Climatologie du Cameroun, in Atlas du Cameroun,
Publ. IRCAM/ORSTOM, Ydé
- GOGUEL, J. (1965) :
Traité de tectonique. 2e ed. Masson - PARIS 457 p
- GRILLOT, J.C. (1977) :
A propos de méthodologies d'analyses quantitatives à
l'échelle régionale de champ de fractures : premiers
résultats d'une application. Rev. Geogr. phys. Geol.
Dynam., Paris (2), vol XIX, fasc. 3, p 219-234
- GRILLOT, J.C. (1979) :
Structure des systèmes aquifères en milieu fissuré :
Contribution méthodologique à cette connaissance.
Thèse Doctorat ès Sciences, U.S.T.L. Montpellier,
ronéo, 212 p

- GRILLOT J.C., RAZACK, M. (1985) :
Fracturing of a tabular limestone platform :
Comparaison between quantified microtectonic and
photogeological. Tectonophysics, 193, p 326-348
- HYDROGEO-CAMEROUN (1973) :
Rapport préliminaire sur les recherches d'eau
souterraines dans les aires de MOKOLO, TSANAGA,
MOKOLO EST, MANDAKA. Projet CMR/71/516 - Con 58/72
- HYDROGEO-CAMEROUN (PNUD) (1975) :
Rapport de forage dans le Nord-Cameroun. Annexe
technique n° 5
- KAMBOU, R. (1984) :
Etude géochimique (Majeurs et traces) de quelques
complexes anorogéniques de la "ligne du Cameroun" :
TEGUI, POLI et KOULOUMI. Mémoire de DEA de
Géochimie. Univ. de PARIS VII. 57 p
- KOCH, P. (1959) :
Le Précambrien de la frontière occidentale du
Cameroun central. Dir. Mines Géol. territ. Cameroun,
Bull. n° 3
- KRUSEMAN, G.P., DE RIDDER N.A. (1974) :
Interprétation et discussion des pompages d'essai.
International Institute Forland Reclamation and
Improvement. Netherlands Traduction. MEILHAR A.
- LASSERRE, M. (1967) :
Données nouvelles acquises en géochronologie, par la
méthode au strontium, appliquées à l'étude des
massifs cristallins du Cameroun. C.R. Soc. Géol.
Fr., pp 89-90
- LASSERRE, M. (1969) :
Cameroun : Examen des résultats géochronologiques
obtenus depuis 1967 par la méthode au strontium.
Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, n° 41, Géol.
Minér. n° 19, "5e Colloq. Géol. Afr. Clermont-
Ferrand, 9 - 11 avril 1969" p 29-31
- LE FUR, Y. (1970) :
Missions sulfures POLI. Rapport de fin de mission.
Rapp B.R.G.M.
- LE FUR, Y. (1971) :
Les indices de cuivre du groupe volcano-sédimentaire
de POLI (Cameroun) Bull du B.R.G.M. (2e série),
section II, n° 6, 1971, p 79-91
- LE MARECHAL, A. (1976) :
Géologie et géochimie des sources thermominérales du
Cameroun. Travaux et documents de l'ORSTOM. N° 59.
PARIS
- LETOUZEY, R. (1969) :
Etude phytogéographique du Cameroun. P. Lechatier
Ed., Paris, 511 p

- MANANGA, G. (1982) :
Interprétation de l'imagerie LANDSAT pour une étude géologique de la zone volcanique de l'Ouest-Cameroun. Rapport de fin de stage C.R.T.O. OUAGADOUGOU
- MASSONAT, G. (1981) :
Hydrogéologie en milieu fissuré et thermalisme. Etude du massif de Bramefarine et du Nord du massif d'Alleverd. La source thermominérale d'Alleverd (Isère - France). Thèse 3e cycle - Grenoble
- MEMENTO DE L'ADJOINT TECHNIQUE DES TRAVAUX RURAUX (1977) :
Edition du Ministère de la Coopération ; Collection "Techniques rurales en Afrique"
- NYOBE, J.B. (1984) :
Esquisse géologique du Cameroun ; Notice et carte provisoire de la feuille MANGO ; 1/50 000, IRGM
- OLIVRY, J.C. (1979) :
Monographie du Nyong et des fleuves côtiers : Tome 1 : Facteurs conditionnels des régimes hydrologiques, 96 p ; Tome II : Hydrologie du NYONG, 230 p ; Tome III : Hydrologie des fleuves côtiers 186 p. Publ IRTISS/ONAREST, Ydé
- OUSMANE, B. (1978) :
Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle du Sahel. L'hydrogéologie du Damagaran Occidental (Environ de Zinder, Niger) Thèse de 3e cycle - Montpellier
- RAZACK, M. (1978) :
Contribution à l'étude de la structure des aquifères en roches fissurées : numérisation et analyse quantitatives de la fracturation relevée sur clichés aériens. Thèse Doct. Ing., U.S.T.L. Montpellier, 124 p. Ronéo
- RAZACK, M. (1979) :
Approche numérique et quantitative de l'étude sur clichés aériens de la fracturation des réservoirs en roches fissurés. Rev. I.F.P., vol XXXIV, n° 4, p 547-574
- REMENIERAS, G. (1976) :
L'Hydrogéologie de l'Ingénieur - 2ème édition revue et augmentée
- ROCCI, G. (1965) :
Essai d'interprétation de mesures géochronologiques. La structure de l'Ouest Africain. Coll. Intern. Geochronel. Nancy. Sci. Terre, X, pp 461-478
- ROCH (1953) :
Itinéraires géologiques dans le Nord Cameroun et de Sud-Ouest du Territoire du Tchad. Bull. Serv. Min. n° 1 YAOUNDE

- ROCHE, M. (1963) :
Hydrogéologie de surface. Paris, Editions GAUTHIER VILLARD
- RODIER, J. (1960) :
L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed. Dunod, Paris
- RUHLAND, M. (1973) :
Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux. Sci. Geol. Bull. 26/2-3. p 91-113. Strasbourg
- SAVADOGO, A.N. (1975) :
Hydrogéologie du bassin versant de Haute Sissili (Haute Volta). Thèse de 3e cycle Univ. Grenoble I
- SAVADOGO, A.N., SARROT REYNAULD, J. (1983) :
Utilisation des nouvelles données isotopiques et chimiques pour la connaissance du mode d'alimentation des nappes du socle cristallin de Haute Volta. 108e congrès national des Sociétés savantes, Grenoble
- SAVADOGO, A.N. (1984) :
Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sc. Nat. Univ. Grenoble
- SCANVIC, J.Y. (1983) :
Télédétection dans les sciences de la terre. Manuels et méthodes n° 7. B.R.G.M.
- SCHNEIDER, J.L. (1968) (FED) :
Remarques sur les études géophysiques de LERICI. B.R.G.M., Ydé, YAO 69001, 19 p, 1 pl
- SCHOELLER, H. (1962) :
Les eaux souterraines, 1ère partie. Masson et Cie, Paris
- SUCHEL, J.B. (1972) :
La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun. Uni C.E.G.E.T. doc n° 5. Univ. Fédérale du Cameroun
- TCHOUA, F. (1972) :
Sur la formation des calderas des Monts Bambouto (Cameroun) C.R. Ac. Sc. Paris Série D, t 264, pp 799-801
- TILLEMENT, B. (1966) :
Etude de l'adduction d'eau de TCHOLLIRE. Arch. DMG et BE. Bt 24, 4 p, 2 pl
- TILLEMENT, B. (1966) :
Prospection hydrogéologique dans les régions cristallines du Nord-Cameroun. Arch. DMG et BE. BE 84, 12 p, 4 pl

TILLEMENT, B. (1972) :
Hydrogéologie du Nord-Cameroun. Thèse Docteur
Ingénieur. Univ. Claude Bernard LYON n° 42

TRAORÉ, A.Z. (1985) :
Géologie et Hydrogéologie des plateaux Madingues
(Mali) région de KOULA-NOSSOMBOUGOU. Thèse de 3e
cycle. Univ. Grenoble I

TRICART, J. (1965) :
Principes et méthodes de la géomorphologie, Masson
et Cie. Ed Paris, 496 p

YACE, I. (1976) :
Etude géologique du volcanisme Eburnéen dans les
parties centrales et Méridionales de la chaîne
Précambrienne de Fettekro. Thèse de Doctorat d'Etat
ès Sc. Nat. Univ. d'Abidjan (CI).

A N N E X E S

ANNEXE 1

* ETUDE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES FORAGES DU NORD-CAMEROUN

FICHER A

.....
 NB D'ANALYSE(S) LUES 120 NB D'ANALYSES STOCKEES 120

NOM DU FICHER : HENRIDJEUDAE

| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|--------|---------|---------|----------|---------|---------|-------|---------|---------|-----------|
| REF | SAGME | TAGAWA | TAGAWA2 | TOUCHKI | WOUKI | | 7 | 8 | BLABLIN | BROUWI |
| Pt - | 0.00 | 72.90 | 69.30 | 99.00 | 55.00 | 56.00 | 70.00 | 31.00 | 38.00 | 39.00 |
| NS | 11.00 | 52.90 | 55.00 | 0.00 | 24.70 | 10.20 | 0.00 | 0.00 | 5.20 | 5.40 |
| EA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.00 | 35.00 | 23.00 | 0.00 |
| PS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 25.00 | 15.00 | 0.00 |
| Q | 10.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 19.00 | 24.00 | 12.00 | 4.00 | 8.00 | 0.20 |
| PV1 | 33.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 35.00 | 35.00 | 58.00 | 16.00 | 0.00 | 17.00 |
| PV2 | 46.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 54.00 | 54.00 | 0.00 | 31.00 | 0.00 | 27.00 |
| G | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 1.00 |
| | | | | | | | | | | |
| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REF | DJABTO | DJAINDI | DJOUNDE | DJOUNDE2 | DJALING | DJOUBAO | | GABANOL | GANSE | BAWAR CBA |
| WAR W | | | | | | | | | | |
| Pt | 40.00 | 55.00 | 45.00 | 45.00 | 39.00 | 38.00 | 51.00 | 60.00 | 40.00 | 45.00 |
| NS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.70 | 12.30 |
| EA | 39.00 | 31.00 | 37.00 | 30.00 | 30.30 | 20.00 | 29.00 | 12.00 | 5.00 | 7.00 |
| PS | 1.00 | 24.00 | 8.00 | 7.00 | 9.00 | 19.00 | 22.00 | 40.00 | 35.00 | 30.00 |
| Q | 0.00 | 0.20 | 1.20 | 4.00 | 2.00 | 12.00 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 0.30 |
| PV1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 0.00 | 39.00 | 22.00 | 21.00 |
| PV2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 32.00 | 0.00 | 45.00 | 34.00 | 30.00 |
| G | 5.00 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

REF BAZANA GOUDERI BOULBA KERADUA KOLEFAT KOURGUI

M. LOUE MOGODEIMOGODE2

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Pt | 31.50 | 58.50 | 50.00 | 90.00 | 35.00 | 45.00 | 0.00 | 52.00 | 31.00 | 31.00 |
| NS | 10.50 | 0.00 | 9.00 | 0.00 | 24.60 | 11.70 | 0.00 | 0.00 | 13.20 | 13.00 |
| EA | 15.00 | 25.00 | 14.00 | 35.00 | 3.00 | 14.00 | 0.00 | 4.00 | 0.00 | 0.00 |
| PS | 16.50 | 33.50 | 36.00 | 55.00 | 32.00 | 31.00 | 0.00 | 48.00 | 0.00 | 0.00 |
| Q | 2.60 | 1.00 | 0.20 | 0.50 | 1.40 | 7.00 | 0.00 | 0.40 | 0.60 | 1.10 |
| PV1 | 18.00 | 40.00 | 0.00 | 45.00 | 20.00 | 18.00 | 0.00 | 16.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 29.50 | 52.00 | 0.00 | 50.00 | 26.00 | 36.00 | 0.00 | 30.00 | 0.00 | 0.00 |
| G | 5.00 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 3.00 | 1.00 | 0.00 | 3.00 | 2.00 | 2.00 |

| | | | | | | | | | | |
|---------|--------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|------------|-------|
| N.ORDRE | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
| REF QUA | MOSBOY | MOSBOY2 | RIBAO | ROUMSIK | ROUMSI2 | ROUMZOU | TAKOMAR | TAKOM2 | TAKOM3TARM | |
| Pt | 72.40 | 70.00 | 45.00 | 47.00 | 40.50 | 45.00 | 48.50 | 50.00 | 50.00 | 33.50 |
| NS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.90 | 10.10 | 11.00 | 15.00 | 14.70 | 15.00 | 0.00 |
| EA | 22.00 | 19.00 | 40.00 | 0.00 | 0.00 | 15.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 14.50 |
| PS | 50.40 | 51.00 | 5.00 | 0.00 | 0.00 | 30.00 | 36.50 | 36.00 | 34.00 | 19.00 |
| Q | 1.00 | 0.50 | 3.00 | 0.40 | 1.00 | 7.80 | 3.00 | 0.90 | 1.20 | 2.70 |
| PV1 | 52.00 | 54.00 | 22.00 | 12.00 | 8.00 | 22.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 69.00 | 65.00 | 39.00 | 26.00 | 0.00 | 39.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| G | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 5.00 |

| | | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|----------|------|
| N.ORDRE | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 |
| REF | TARMOU2 | VREDEKE | DOUKOUL | DOUKOU2 | ZANGA | BADJENG | BADJOUH | BADJOU2 | BASCHEDE | |
| Pt | 40.00 | 0.00 | 47.00 | 45.00 | 49.50 | 40.50 | 40.50 | 40.00 | 51.00 | 0.00 |
| NS | 0.00 | 19.60 | 14.30 | 12.30 | 15.70 | 4.40 | 4.20 | 0.00 | 10.60 | 0.00 |
| EA | 15.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.00 | 0.00 | 0.00 | 7.00 | 15.00 | 0.00 |
| PS | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.50 | 0.00 | 0.00 | 33.00 | 36.00 | 0.00 |
| Q | 2.30 | 0.00 | 0.40 | 2.50 | 8.00 | 2.50 | 2.50 | 2.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 31.00 | 10.00 | 18.00 | 7.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 43.00 | 21.00 | 34.00 | 24.00 | 0.00 | 0.00 |
| G | 6.00 | 1.00 | 5.00 | 5.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 0.00 |

* ETUDE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES FORAGES DU NORD-CAMEROUN

FICHER B

NO D'ANALYSE(S) LUES 120 NO D'ANALYSES STOCKEES 120
 NOM DU FICHER : HENRI2DJ2E

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|---------|-------|
| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| REF UKOUZ | BASCHE2 | BOULA | DAZAL | DEMO | DEMBO2 | DEMSA | DIJDEE | DOUKOUL | DOUKOU2 | DO |
| Pt | 50.00 | 45.00 | 49.50 | 48.00 | 49.00 | 50.00 | 40.50 | 39.50 | 48.00 | 45.00 |
| NS | 12.00 | 0.00 | 2.30 | 10.40 | 10.20 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 29.10 | 20.70 |
| EA | 21.00 | 0.00 | 20.00 | 12.00 | 11.00 | 3.00 | 17.00 | 23.00 | 25.00 | 21.00 |
| PS | 29.00 | 0.00 | 29.50 | 28.00 | 30.80 | 47.00 | 23.50 | 16.50 | 23.00 | 24.00 |
| Q | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 2.40 | 0.50 | 0.20 | 1.50 | 0.70 | 0.60 | 0.40 |
| PV1 | 0.00 | 11.00 | 15.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 0.00 | 28.00 | 37.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| G | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 6.00 | 6.00 | 1.00 | 1.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |

| | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| REF AN | GUIRVIR | KALI | KATALA | LABOUN | LAGAH | LAGAM2 | LAGAM3 | MOUNA | PITOA | REY M |
| Pt | 49.50 | 43.50 | 58.00 | 37.50 | 45.00 | 40.00 | 43.00 | 51.00 | 50.00 | 32.00 |
| NS | 11.10 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 4.30 | 5.00 | 4.00 | 0.00 | 6.30 | 7.60 |
| EA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Q | 0.80 | 7.00 | 2.00 | 3.60 | 0.10 | 0.60 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 3.50 |
| PV1 | 17.00 | 28.50 | 19.00 | 23.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 20.00 |
| PV2 | 34.00 | 43.00 | 35.00 | 38.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 32.00 |
| G | 2.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 4.00 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|---------|--------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|-------|
| N.ORDRE | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| REF BAME | SEKANDE | TAPARE | TCHOLLI | TCHOLLI2 | TCHOLLI3 | TCHOLLI4 | REY BOU | REY BO2 | REY BO3 | |
| Pt | 40.00 | 40.00 | 50.00 | 40.00 | 50.00 | 47.00 | 30.00 | 30.00 | 32.00 | 30.00 |
| NS | 5.50 | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.60 |
| EA | 7.00 | 21.00 | 3.00 | 5.00 | 7.00 | 47.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PS | 33.00 | 19.00 | 47.00 | 35.00 | 43.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Q | 0.20 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 0.30 | 0.20 | 5.00 | 2.00 | 2.00 | 1.20 |
| PV1 | 0.00 | 22.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| G | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |

| N.ORDRE | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
|---------|--------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|---------------|-------|
| REF | LAGAY1 | LAGAY2 | KELEBAY | MBCDD | DJORD | CHORKE | MBA1802 | HANKO | CHANGA.LOUSOL | |
| Pt | 35.00 | 17.00 | 29.00 | 25.00 | 44.00 | 40.50 | 35.00 | 40.00 | 40.00 | 49.00 |
| NS | 3.00 | 1.00 | 0.50 | 1.50 | 0.30 | 2.20 | 1.00 | 1.00 | 1.90 | 10.10 |
| EA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Q | 1.50 | 0.70 | 0.90 | 0.30 | 4.60 | 1.70 | 0.40 | 0.20 | 0.80 | 0.40 |
| PV1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 25.10 | 11.10 | 24.00 | 17.30 | 40.90 | 39.20 | 23.10 | 20.00 | 34.00 | 40.20 |
| G | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 |

| N.ORDRE | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 |
|---------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|
| REF | DJOM | MBOG2 | DOUGDN | YET | TAROUN | MAROU | NDOCK | NDOCK2 | NDOUROU | VOGZOM |
| Pt | 28.00 | 35.00 | 37.00 | 22.00 | 25.00 | 31.00 | 18.00 | 34.00 | 49.00 | 22.00 |
| NS | 2.30 | 3.30 | 2.50 | 0.90 | 2.50 | 4.00 | 4.00 | 3.00 | 3.90 | 1.90 |
| EA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Q | 1.40 | 5.50 | 2.00 | 0.80 | 0.40 | 10.50 | 3.00 | 6.00 | 0.50 | 0.57 |
| PV1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PV2 | 26.50 | 29.50 | 30.60 | 19.20 | 18.30 | 21.00 | 17.50 | 33.00 | 28.90 | 14.30 |
| G | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 |

| N.ORDRE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|--------|---------|--------------|-------|
| REF | CONKOY | VOUNRE | MAJONDE | HAKALDE | GALI n | LOPPE | LABARE | BIDE F. | BAHAMA.DOUGB | |
| Pt | 62.00 | 30.00 | 95.00 | 81.00 | 59.00 | 50.00 | 58.00 | 65.00 | 20.00 | 58.00 |
| PV1 | 47.00 | 14.00 | 32.00 | 16.00 | 25.00 | 28.00 | 16.00 | 45.00 | 9.00 | 17.00 |
| PV2 | 0.00 | 0.00 | 50.00 | 25.00 | 37.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NS | 0.00 | 11.00 | 6.20 | 10.00 | 6.00 | 1.70 | 7.60 | 10.00 | 7.00 | 10.00 |
| Q | 0.00 | 7.50 | 0.20 | 0.50 | 1.00 | 1.30 | 0.33 | 0.05 | 5.90 | 1.90 |
| G | 4.00 | 1.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

| N.ORDRE | 21 | 22 | 23 |
|---------|---------|---------|------|
| REF | BOUNOU. | BODAL A | E |
| Pt | 63.00 | 36.00 | 0.00 |
| PV1 | 46.00 | 20.00 | 0.00 |
| PV2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NS | 20.00 | 5.00 | 0.00 |
| Q | 2.20 | 2.30 | 0.00 |
| G | 3.00 | 1.00 | 0.00 |

NB D'ANALYSE(S) LUES 23

NB D'ANALYSES STOCKEES 23

NOM DU FICHIER : DJJDJJE

| N.ORDRE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|---------|--------------|-------|
| REF | LADDE G | SEBORE | TONGO M | TCHAKAR | BIBEMI | DERIN. | GALI | PADER.1 | PADER.2THIEL | |
| Pt | 91.00 | 50.00 | 41.00 | 50.00 | 54.00 | 45.00 | 45.00 | 97.00 | 97.00 | 97.00 |
| PV1 | 22.00 | 20.00 | 0.00 | 20.00 | 13.00 | 12.00 | 25.00 | 19.00 | 27.00 | 47.00 |
| PV2 | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.00 | 0.00 | 59.00 | 0.00 | 0.00 |
| NS | 7.10 | 13.00 | 22.00 | 16.00 | 4.40 | 14.70 | 12.00 | 4.10 | 4.00 | 6.00 |

ANALYSES BIOCHIMIQUES DES EAUX

ANNEXE 2

REGION: POLI

Table with 7 columns: NO, NOM, PH, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Rows include F PINT, F BURQU, F BOLMB, P BOULK, P SAR, R EPOL, F WATE.

CATIONS

Table for CATIONS (C. PHYSIQUES) with 15 columns: NA+, K+, MG++, CA++, SOMME and 7 sub-columns.

ANIONS

Table for ANIONS with 15 columns: UNIT, MG/L, ME/L and 14 sub-columns.

RAPPORTS

Table for RAPPORTS with 8 columns: MN TT, MG/CA, NA/CA, SO4/CL, NA/MG, S.A.R., I.E.B.

Table with 7 columns: NO, NOM, PH, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14. Rows include F LPPOL, PEM POL, PMIPPOL, FIA MAY, FOTR POL, F2M POL, P GARE.

CATIONS

Table for CATIONS (C. PHYSIQUES) with 15 columns: NA+, K+, MG++, CA++, SOMME and 7 sub-columns.

ANIONS

Table for ANIONS with 15 columns: UNIT, MG/L, ME/L and 14 sub-columns.

RAPPORTS

Table for RAPPORTS with 8 columns: MN TT, MG/CA, NA/CA, SO4/CL, NA/MG.

Table with 7 columns: S.A.R., I.E.B., 25.35, 6.53, 6.75, 22.30, 23.73, 25.00, 4.28, -0.86, -0.03, -0.51, -1.94, -1.59, -2.12, -0.66.

Table with 7 columns: NO, NOM, PH, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. Rows include B D O, S1 GARE, FEcPPOL, P P POL, F PRISO, F SAR, P PTT.

CATIONS

C. PHYSIQUES

Table for CATIONS (C. PHYSIQUES) with 15 columns: NA+, K+, MG++, CA++, SOMME and 7 sub-columns.

ANIONS

Table for ANIONS with 15 columns: UNIT, MG/L, ME/L and 14 sub-columns.

RAPPORTS

Table for RAPPORTS with 8 columns: MN TT, MG/CA, NA/CA, SO4/CL, NA/MG, S.A.R., I.E.B.

LISTE DES FIGURES

- Fig 1.1 : Situation géographique des grands ensembles lithologiques du CAMEROUN
- Fig 1.2 : Carte géomorphologique générale du CAMEROUN
- Fig 1.3 : Carte de situation des bassins hydrographiques du CAMEROUN
- Fig 1.4 : Carte de situation du secteur de POLI dans les bassins versants du FARO et de la BENOUE
- Fig 1.5 : Profils en long de la BENOUE et des Mayos FARO, REY et KEBI
- Fig 1.6 : Zones météorologiques, masses d'air, FIT et oscillations saisonnières : vue en plan
- Fig 1.7 : Zones météorologiques - Vue en coupe verticale
- Fig 1.8 : Les zones climatiques du Cameroun
- Fig 1.9 : Esquisse des isohyètes interannuelles du Nord-Cameroun
- Fig 1.10: Ajustement à la loi normale des totaux pluviométriques annuels des stations du Nord-Cameroun
- Fig 1.11: Fréquences moyennes annuelles des ventes au Nord-Cameroun
- Fig 1.12: Structure d'ensemble de l'AFRIQUE
- Fig 1.13: Esquisse géologique du CAMEROUN
- Fig 2.1 : Carte de situation du secteur de POLI et hydrographie
- Fig 2.2a: Orographie du secteur de POLI
- Fig 2.2b: Carte de situation des bassins versants du secteur de POLI
- Fig 2.3 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo YELE
- Fig 2.4 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo DAWA
- Fig 2.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo KOTELE
- Fig 2.6 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo ILOU
- Fig 2.7 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo BINOSSI
- Fig 2.8 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo DOUKA
- Fig 2.9 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo POUNKO
- Fig 2.10: Courbe hypsométrique du bassin versant du Mayo BOKI
- Fig 2.11: Exemples de types de réseaux hydrographiques en Côte d'Ivoire
- Fig 2.12: Nombre et longueurs des thalwegs
- Fig 2.13: Nombre et longueurs des thalwegs
- Fig 2.14: Nombre et longueurs des thalwegs
- Fig 2.15: Organigramme du bilan mensuel (Thorthwaite)
- Fig 2.16: Etalonnage Hauteurs-Débits à Garoua
- Fig 2.17: Etalonnage Hauteurs-Débits au Buffle Noir
- Fig 3.1 : Esquisse photogéologique du secteur de POLI
- Fig 3.2 : Eléments lithologiques et structuraux des gneiss
- Fig 3.3 : Relations lithologiques entre le granite orienté du Hosséré PAL et les séries anté-panafricaines de POLI
- Fig 3.4 : Carte d'affleurement des complexes annulaires de POLI et TCHEGUI
- Fig 3.5 : Trois aspects microscopiques des formations Anté-panafricaines

- Fig 3.7 : Trois aspects microscopiques des formations post-panafricaines
- Fig 3.8 : Diagrammes binaires oxydes / silice.
- Fig 3.9 : Diagrammes binaires alcalins / silice et alcalino-terreux / alcalins
- Fig 3.10: Diagrammes binaires K_2O/Na_2O et diagrammes ternaires
- Fig 3.11: Réseau de fractures du secteur de POLI tiré des images LANDSAT du 02.11.1977 (Bandes 5 et 7)
- Fig 3.12: Réseau de fractures du secteur de POLI tiré des photographies aériennes du 1/50 000
- Fig 3.13: Exemple d'estimation des directions des fractures non rectilignes
- Fig 3.14: Rosaces de l'organisation spatiale des photofractures des carrés du secteur de POLI (images satellites)
- Fig 3.15: Rosaces de l'organisation spatiale des photofractures des carrés du secteur de POLI (images satellites)
- Fig 3.16: Rosaces de l'organisation spatiale de photofractures des carrés du secteur de POLI (photographies aériennes)
- Fig 3.17: Rosaces de l'organisation spatiale de photofractures des carrés du secteur de POLI (photographies aériennes)
- Fig 3.18: Distribution des longueurs par classe d'orientation des linéaments du secteur de POLI
- Fig 3.19: Distribution des longueurs par classe d'orientation des linéaments du secteur de POLI
- Fig 3.20: Distribution des longueurs par classe d'extension des linéaments des carrés du secteur de POLI
- Fig 3.21: Distribution des longueurs par classe d'extension des linéaments des carrés du secteur de POLI
- Fig 3.22: Diagramme des directions d'alignement de l'ADAMAOUA
- Fig 3.23: Carte de fracturation des environs de MOKOLO
- Fig 3.24: Distribution fréquentielle des fractures de MOKOLO
- Fig 3.25: Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des formations Anté-Panafricaines
- Fig 3.26: Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des orthogneiss et des formations filoniennes
- Fig 3.27: Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des granites circonscrits
- Fig 3.28: Distribution fréquentielle des éléments microstructuraux des formations post-orogéniques
- Fig 3.29: Canevas du passage des 15 dièdres compatibles du granite de GODE
- Fig 3.30: Canevas du passage des 9 dièdres compatibles du granite de GITO
- Fig 3.31: Canevas du passage des 16 dièdres compatibles des migmatites et gneiss
- Fig 3.32: Gneiss du Mayo ILOU
- Fig 3.33: Canevas du passage des 18 dièdres compatibles des schistes de POLI
- Fig 3.34: Tableau récapitulatif des phases tectoniques observées dans les schistes de POLI
- Fig 3.35: Représentation schématique des effets des principales phases du paroxysme thermo-tectonique panafricain

- Fig 3.36: Allure générale des sondages électriques en fond de bateau
- Fig 3.37: Second type de diagramme de S.E. rencontré au Nord Cameroun
- Fig 3.38: Effets des fractures sur les sondages électriques
- Fig 3.39: Sondages du Qt Résidentiel II montrant la remontée à 45° du socle
- Fig 3.40: Effets des fractures sur les sondages électriques
- Fig 3.41: Effets des fractures sur les sondages électriques
- Fig 3.42: Influence des fractures sur l'allure des courbes de sondage électrique
- Fig 3.43: Corrélacion entre profondeur du socle sain en sondages électrique et en forage
- Fig 3.44: Situation du S.E. du forage du Qt SAR sur le profil de trainé
- Fig 3.45: S.E. du Qt SAR-POLI montrant des différences notoires des épaisseurs des altérites
- Fig 3.46: Trois aspects généraux des profils WENNER au Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO
- Fig 3.47: Profil électrique WENNER sur faille à BOULKO
- Fig 3.48: Profil WENNER sur filon aplitique résistant au Camp des Réfugiés
- Fig 3.49: Profil WENNER sur une discontinuité des quartzites de MANGO
- Fig 3.50: Profil et sondage WENNER sur les gneiss-migmatitiques de VOKO
- Fig 3.51: Profil TS1 montrant le contraste des résistivités apparentes de différents faciès pétrographiques
- Fig 3.52: Profil SCHLUMBERGER montrant une discontinuité sur les schistes de POLI
- Fig 3.54: TCHOLLIRE : Photofractures, rosace et carte des axes conducteurs
- Fig 3.55: Situation géographique des forages de la ville de TCHOLLIRE par rapport aux poches d'eau
- Fig 3.56: POLI
- Fig 3.57: Carte des résistivités apparentes et des axes conducteurs du NW de POLI : BAKDONKO
- Fig 3.58: Carte d'isorésistivités apparentes et des axes conducteurs du Sud de POLI : Ecole Principale et SAR
- Fig 3.59: Carte d'isorésistivité apparents et des axes conducteurs du NE de POLI : Qt Résidentiels 1 et 2
- Fig 3.60: Carte d'isorésistivités et des axes conducteurs des zones A et C du Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO
- Fig 3.61: Profils électrique et magnétique et essai d'interprétation
- Fig 3.62: Trois aspects des profils magnétiques obtenus dans la vallée des Rôniers
- Fig 3.63: Géomorphologie, mode de gisement et de circulation des eaux de DJOUMTE
- Fig 3.64: Mode de gisement de la nappe de cuirasse noyée des environs de TSHORKE
- Fig 3.65: Bloc diagramme des unités morphologiques de la vallée des Rôniers
- Fig 3.66: Coupe schématique des unités géomorphologiques de POLI
- Fig 3.67: Carte d'isorésistivités et des axes conducteurs de la Zone B du Camp des Réfugiés et du village MANGO

- Fig 3.68: Morphologie du toit du socle et nappes associées de la zone B du Camp des Réfugiés Tchadiens du FARO
- Fig 3.69: Morphologie du toit du socle et nappe associée du village MANGO
- Fig 3.70: Carte de situation géographique des ouvrages de captage d'eaux souterraines de la ville de POLI à la fin d'année 1986
- Fig 4.1 : Variations des profondeurs de 98 puits du département du FARO
- Fig 4.2 : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la Profondeur totale (Pt) et de l'épaisseur des altérites (EA)
- Fig 4.3 : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la Pénétration dans le socle (PS) et de la première venue d'eau (PV1)
- Fig 4.4 : Etude statistique de la variation des débits en fonction de la deuxième venue d'eau (PV2) et de la profondeur par faciès géologique
- Fig 4.5 : Courbes de S.E. de la zone C du Camp des Réfugiés
- Fig 4.6 : Situation photogéologique et logs des forages de BAKDONKO et de l'Ecole Principale de POLI
- Fig 4.7 : Courbes de descente et de remontée du forage de NASSARAO
- Fig 4.8 : Courbes de descente et de remontée du forage de Ec. P. POLI
- Fig 4.9 : Courbes de descente et de remontée du forage du Qt Résidentiel 1
- Fig 4.10: Courbes de descente et de remontée du forage du Qt Résidentiel 2
- Fig 4.11: Courbes de descente et de remontée du forage de BAKDONKO
- Fig 4.12: Coupe géologique et équipement du forage de KOZA X 2
- Fig 4.12b: Courbes caractéristiques du pompage par paliers
- Fig 4.13: Diagramme semi-logarithmique et bilogarithmique du forage de KOZA X 2
- Fig 4.14: Diagramme semi-logarithmique et bilogarithmique du piézomètre de KOZA X 2
- Fig 5.1 : ACPN des eaux du secteur de POLI
- Fig 5.2 : Les faciès chimiques des eaux du secteur de POLI
- Fig 5.3 : Les faciès chimiques des eaux du secteur de POLI

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1.1 : Situation géographique des stations météorologiques et paramètres étudiés
- Tableau 1.2 : Moyenne des précipitations annuelles d'après B. TILLEMENT, 1972
- Tableau 1.3 : Moyenne des précipitations annuelles (J.C. OLIVRY, 1979)
- Tableau 1.4 : Moyenne des précipitations annuelles (76-85)
- Tableau 1.5 : Moyennes mobiles sur 5 ans des précipitations annuelles
- Tableau 1.6 : Répartition statistique des pluies annuelles du Nord Cameroun
- Tableau 1.7 : Moyennes des précipitations mensuelles (76-85)
- Tableau 1.8 : Moyennes mensuelles des températures minimales, sous abri et maximales
- Tableau 1.9 : Insolation moyenne mensuelle en heures (1961-1970)
- Tableau 1.10: Humidité relative en % (1961-1985)
- Tableau 1.11: Evaporation moyenne au Bac Colorado (1976-1985)
- Tableau 1.12: Evaporation moyenne à l'Evaporomètre Piche (1963-67) (76-85)
- Tableau 1.13: Evaporation moyenne sur Bac
- Tableau 1.14: Age de mise en place de quelques complexes post-panafricain du Cameroun
- Tableau 2.1 : Surfaces moyennes des B.V. de la marge Nord des montagnes de POLI
- Tableau 2.2 : Périmètres (tracé stylisé)
- Tableau 2.3 : Paramètres morphométriques du relief des bassins versants du secteur de POLI
- Tableau 2.4 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo YELE
- Tableau 2.5 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo DAWA
- Tableau 2.6 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo ILOU
- Tableau 2.7 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo KOTELE
- Tableau 2.8 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo BINOSSI
- Tableau 2.9 : Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo DOUKA
- Tableau 2.10: Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo POUNKO
- Tableau 2.11: Répartition hypsométrique et paramétrique morphométriques du bassin versant du Mayo BOKI
- Tableau 2.12: Altitudes maximale et minimale des bassins versants du secteur de POLI
- Tableau 2.13: Nombre, longueurs et paramètres morphométriques des thalwegs du secteur de POLI
- Tableau 2.14: Moyennes mensuelles des pluies : période 1962-1965
- Tableau 2.15: Moyennes mensuelles des pluies : période 1966-1975
- Tableau 2.16: Moyennes mensuelles des pluies : période 1976-1985

- Tableau 2.16b : Répartition statistique des pluies annuelles de POLI et NGAOUNDERE
- Tableau 2.17 : Répartition statistique des pluies mensuelles de POLI et NGAOUNDERE
- Tableau 2.18 : Moyennes mensuelles des températures max. min. et sous abri : période 76-85
- Tableau 2.19 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative. Période 76-85
- Tableau 2.20 : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles calculées pour la station de POLI (76-85)
- Tableau 2.21 : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles calculées pour la station de FIGNOLE (76-85)
- Tableau 2.22 : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles pour la station de POLI (période 76-85)
- Tableau 2.23 : Evapotranspirations potentielles mensuelles et annuelles pour la station de FIGNOLE (période 76-85)
- Tableau 2.24 : Récapitulatif des Evapotranspirations potentielles des stations de POLI et FIGNOLE (période 76-85)
- Tableau 2.25 : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de GAROUA
- Tableau 2.26 : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de POLI
- Tableau 2.27 : Evapotranspirations réelles annuelles de la station de FIGNOLE
- Tableau 2.28 : Bilan moyen annuel de l'eau de la station de POLI (période 76-85) (méthode de THORTHWAITE)
- Tableau 2.29 : Récapitulatif des évapotranspirations réelles des trois stations de référence du secteur de POLI
- Tableau 2.30 : ETR moyennes annuelles des stations du secteur de POLI
- Tableau 2.31 : Jaugeages d'étalonnages de la BENOUE à GAROUA
- Tableau 2.32 : Jaugeages d'étalonnages de la BENOUE au BUFFLE NOIR
- Tableau 2.33 : Débits moyens et débits spécifiques moyens de la BENOUE aux stations de GAROUA et du BUFFLE NOIR
- Tableau 2.34 : Récapitulatif des éléments d'estimation du bilan hydrologique
- Tableau 3.1 : Résultats d'analyses chimiques des roches du secteur de POLI
- Tableau 3.2 : Paramètres C.I.P.W. des roches du secteur de POLI
- Tableau 3.3 : Paramètre de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI
- Tableau 3.4 : Paramètre de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI
- Tableau 3.5 : Paramètre de H. DE LA ROCHE des roches du secteur de POLI
- Tableau 3.6 : Distribution des pics fréquentiels des directions linéamentaires des carrés du secteur de POLI (images satellites)

- Tableau 3.7 : Distribution des pics fréquentiels des directions linéamentaires des carrés du secteur de POLI (photographies aériennes)
- Tableau 3.8 : Directions majeures de fracturation du secteur de POLI par rapport aux régions de NGAOUNDERE et MOKOLO et en fonction de l'échelle d'observation
- Tableau 3.9 : Distribution des pics fréquentiels des directions des fractures par faciès géologique
- Tableau 3.10 : Distribution spatiale des éléments microstructuraux majeurs des phases compressives du secteur de POLI
- Tableau 3.10b : Débits des forages de TCHOLLIRE en fonction de leur implantation
- Tableau 3.11 : Débits des forages de POLI en fonction de leur distance à un axe conducteur déduit de l'interprétation des cartes d'isorésistivité
- Tableau 3.11b : Ordre de grandeur de la remontée des nappes montrant leur semi-captivité
- Tableau 4.1 : Caractéristiques de quelques puits du Nord-Cameroun
- Tableau 4.2 : Répartition par classe des débits de 272 forages du Nord-Cameroun
- Tableau 4.3 : Répartition des classes de débits par faciès géologiques
- Tableau 4.4 : Répartition des classes de débits par faciès géologiques
- Tableau 4.5 : Pourcentage par gamme de profondeur et importance des venues d'eau
- Tableau 4.6 : Caractéristiques hydrogéologiques des forages réalisés dans les gneiss-migmatitiques
- Tableau 4.7 : Caractéristiques hydrogéologiques des forages réalisés dans les schistes
- Tableau 4.8 : Caractéristiques techniques de quelques forages du secteur de POLI
- Tableau 4.9 : Transmissivité des schistes de POLI
- Tableau 4.10 : Calcul des rabattements des paliers
- Tableau 4.11 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de KOZA
- Tableau 5.1 : Minéralisations totales des eaux du secteur de POLI et teneurs relatives du Na⁺ et HCO₃ par rapport à la minéralisation totale
- Tableau 5.2 : Répartition des échantillons d'eau en fonction du faciès pétrographique de l'aquifère
- Tableau 5.3 : Composition géochimique des roches du secteur de POLI (% d'oxyde, MAT, meq/l)
- Tableau 5.4 : Valeurs comparées des teneurs des alcalins et des alcalino-terreux dans les eaux et dans les roches du secteur de POLI

LISTE DES SIGLES UTILISES

- B.R.G.M. : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
(FRANCE)
- C.G.G. : Compagnie Générale de Géophysique (FRANCE)
- C.I.E.H. : Comité Interétat d'Etudes Hydrauliques
(BURKINA FASO)
- C.R.H. : Centre de Recherches Hydrologiques
(CAMEROUN)
- C.R.G.M. : Centre de Recherches Géologiques et Minières
(CAMEROUN)
- C.R.T.O. : Centre Régional de Télédétection de
OUAGADOUGOU (BURKINA FASO)
- H.C.R. : Haut Commissariat aux Réfugiés
- I.R.G.M. : Institut de Recherches Géologiques et
Minières (CAMEROUN)
- M.I.N.M.E.N. : Ministère des Mines et de l'Energie
(CAMEROUN)
- P.E.S. : Projet des Eaux Souterraines (CAMEROUN)

TABLE DES MATIERES

RESUME

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : APERCU GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SOCLE
CRISTALLIN CAMEROUNAIS

| | | |
|--------|---|----|
| 1.1. | CARRE GEOGRAPHIQUE | |
| 1.1.1. | Situation géographique du socle cristallin Camerounais..... | 5 |
| 1.1.2. | Le relief..... | 6 |
| 1.2.1. | Contexte général..... | 6 |
| 1.2.2. | Le relief du Nord-Cameroun..... | 7 |
| 1.1.3. | Données hydrographiques..... | 8 |
| 1.3.1. | Contexte général..... | 9 |
| 1.3.2. | Hydrographie de la vallée de la BENOUE..... | 10 |
| 1.3.3. | Conclusion..... | 15 |
| 1.1.4. | Climatologie | |
| 1.4.1. | Introduction..... | 16 |
| 1.4.2. | Les climats au Cameroun..... | 17 |
| 1.4.3. | Principaux aspects de la climatologie du Nord-Cameroun..... | 19 |
| 1.1.5. | Conclusion générale sur le milieu naturel Nord-Camerounais..... | 34 |
| 1.2. | APERCU SUR LA GEOLOGIE DU SOCLE CRISTALLIN CAMEROUNAIS | |
| 1.2.1. | Introduction..... | 35 |
| 1.2.2. | Les formations du craton..... | 38 |
| 1.2.3. | Les séries intermédiaires..... | 38 |
| 1.2.4. | Les formations du Précambrien récent..... | 39 |
| 1.2.5. | Les formations du Paléozoïque ancien..... | 39 |
| 1.3. | EVOLUTION DES IDEES SUR LA GEOLOGIE DE LA "ZONE MOBILE" DU SECTEUR DE POLI | |
| 1.3.1. | Les interprétations de P. KOCH..... | 41 |
| 1.3.2. | Les interprétations de Y. LE FUZ..... | 43 |
| 1.3.3. | Les interprétations des géologues du CRGM..... | 45 |
| 1.3.4. | Les problèmes posés par les différentes interprétations..... | 48 |
| 1.3.5. | Conclusion..... | 49 |

CHAPITRE 2 : DONNES GEOGRAPHIQUES DU SECTEUR DE POLI

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1.1. | Introduction..... | 51 |
| 2.1.2. | Le relief..... | 51 |
| 1.2.1. | Géomorphologie analytique..... | 53 |
| | Conclusion..... | 63 |
| 2.1.3. | La phytogéographie..... | 65 |
| 2.1.4. | Hydrographie..... | 65 |
| 1.4.1. | Généralités..... | 65 |
| 1.4.2. | Le chevelu hydrographique..... | 66 |
| 1.4.3. | Les paramètres morphométriques du réseau..... | 68 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1.5. | Climatologie..... | 73 |
| 1.5.1. | Les relevés météorologiques..... | 73 |
| 1.5.2. | La pluviométrie..... | 76 |
| 1.5.3. | La température..... | 76 |
| 1.5.4. | L'humidité relative..... | 77 |
| 1.5.5. | Le déficit d'écoulement ou évapotranspiration..... | 84 |
| 2.1.6. | Hydrologie de surface..... | 88 |
| 2.1.7. | Estimation du bilan hydrologique..... | 89 |
| 2.1.8. | Conclusion..... | |

CHAPITRE 3 : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOCHIMIQUE, TECTONO-STRUCTURALE ET GEOPHYSIQUE DU SECTEUR DE POLI

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.1. | GEOLOGIE DU SECTEUR DE POLI | 91 |
| 3.1.1. | Approche photogéologique..... | 91 |
| 1.1.1. | Les formations anté-panafricaines..... | 91 |
| 1.1.2. | Les formations panafricaines..... | 94 |
| 1.1.3. | Les formations post-panafricaines..... | 95 |
| 3.1.2. | Observations lithologiques..... | 95 |
| 1.2.1. | Les formations anté-panafricaines..... | 97 |
| 1.2.2. | Les formations panafricaines..... | 100 |
| 1.2.3. | Les formations post-panafricaines..... | 101 |
| 3.1.3. | Pétrographie..... | 101 |
| 1.3.1. | Les formations anté-panafricaines..... | 103 |
| 1.3.2. | Les formations panafricaines..... | 104 |
| 1.3.3. | Les formations post-panafricaines..... | 104 |
| 3.1.4. | Conclusions sur les études photogéologiques, lithologiques et pétrographiques..... | 105 |
| 3.2. | ETUDES GEOCHIMIQUES | 107 |
| 3.2.1. | Introduction et buts..... | 113 |
| 3.2.2. | Les méthodes d'exploitation..... | 113 |
| 3.2.3. | Les diagrammes binaires..... | 118 |
| 3.2.4. | Les diagrammes ternaires..... | 118 |
| 3.3. | ETUDE DE LA FRACTURATION DU SECTEUR DE POLI | 119 |
| 3.3.1. | Introduction..... | 119 |
| 3.3.2. | Historique..... | 120 |
| 3.3.3. | Orientation des études..... | 122 |
| 3.3.4. | Méthode d'étude..... | 122 |
| 3.4.1. | Introduction..... | 125 |
| 3.4.2. | Buts de la méthode..... | 125 |
| 3.4.3. | Principe..... | 127 |
| 3.4.4. | Résultats..... | 153 |
| 3.3.5. | Détermination des tenseurs de contraintes..... | 153 |
| 3.5.1. | Conditions générales d'apparition du champ de fracturation..... | 156 |
| 3.5.2. | Systèmes de contraintes dans le secteur de POLI..... | 163 |
| 3.5.3. | Synthèse des observations microstructurales et évolution structurale..... | 167 |
| 3.5.4. | Détermination du rôle hydraulique des différentes familles de fractures..... | 168 |
| 3.5.5. | Conclusions sur la fracturation..... | |
| 3.4. | LES METHODES DE PROSPECTION ET D'IMPLANTATION DES OUVRAGES SUR LE SOCLE CRISTALLIN NORD-CAMEROUNAIS | 170 |
| 3.4.1. | Introduction..... | |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.4.2. | Les méthodes directes..... | 170 |
| 4.2.1. | La photogéologie..... | 171 |
| 4.2.2. | La géologie..... | 171 |
| 4.2.3. | La géomorphologie..... | 171 |
| 3.4.3. | Les méthodes indirectes : la géophysique..... | 171 |
| 4.3.1. | Historique des travaux de géophysique appliquée au Nord-Cameroun..... | 172 |
| 4.3.2. | Les méthodes géophysiques utilisées au Nord-Cameroun..... | 172 |
| 4.3.3. | Les appareils de mesures..... | 173 |
| 4.3.4. | Résultats et interprétations..... | 207 |
| 3.4.4. | Conclusions sur les méthodes géophysiques d'implantation..... | |
| 3.5. | ASPECTS GEOMORPHOLOGIQUES DES AQUIFERES NORD-CAMEROUNAIS | 209 |
| 3.5.1. | L'aquifère supérieur..... | 218 |
| 3.5.2. | Les aquifères profonds..... | 224 |
| 3.5.3. | Conclusion..... | |

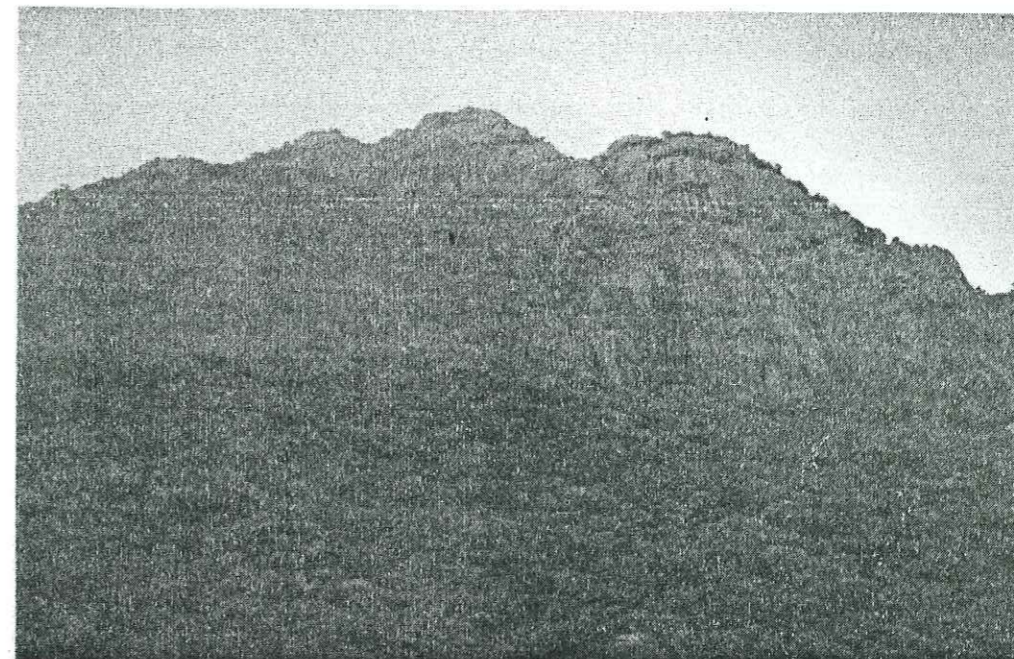
CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.1. | CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES | |
| 4.1.1. | Hydrogéologie du socle cristallin Nord-Camerounais..... | 227 |
| 1.1.1. | Les ressources hydrauliques des arènes..... | 230 |
| 1.1.2. | Capacités hydrauliques du socle fissuré..... | 244 |
| 4.1.2. | Grands traits de l'hydrogéologie du secteur de POLI..... | 248 |
| 1.2.1. | Etat de fissuration des unités géologiques du secteur de POLI..... | 254 |
| 4.1.3. | Conclusions..... | |
| 4.2. | LES PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES | 256 |
| 4.2.1. | Introduction..... | 256 |
| 4.2.2. | Les essais de pompage..... | 258 |
| 2.2.1. | La foration..... | 259 |
| 2.2.2. | Tubage..... | 269 |
| 4.2.3. | Interprétation des essais de pompage..... | |
| 4.2.4. | Conclusion..... | |

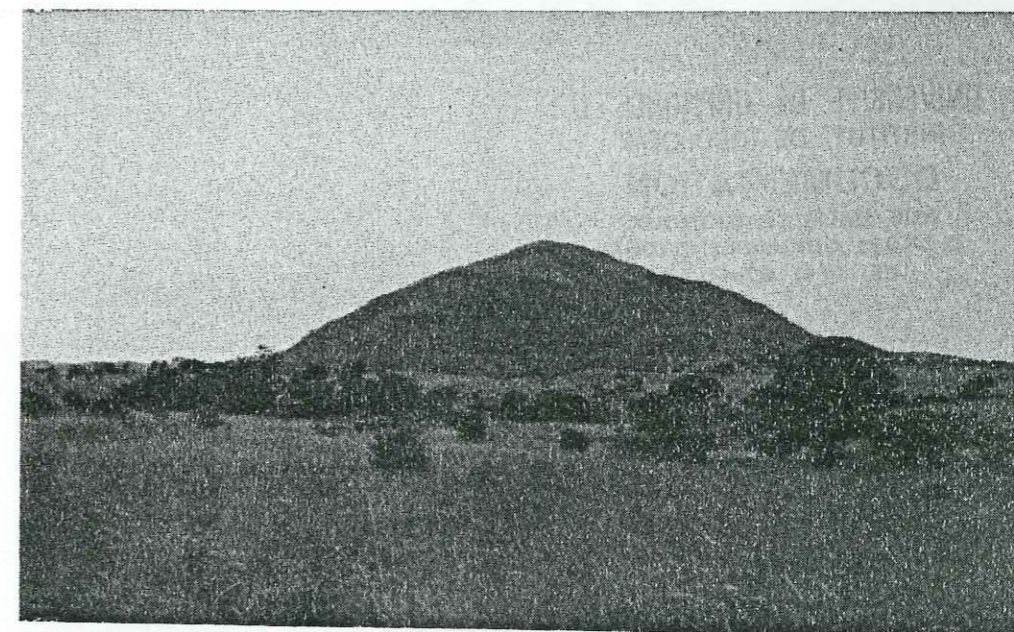
CHAPITRE 5 : GEOCHIMIE DES EAUX

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.1. | INTRODUCTION..... | 272 |
| 5.2. | ETUDE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES EAUX | 272 |
| 5.2.1. | Le pH..... | 273 |
| 5.2.2. | Les concentrations ioniques..... | 278 |
| 5.3. | CLASSIFICATION DES EAUX..... | 280 |
| 5.3.1. | Les eaux hyperbicarbonatées..... | 280 |
| 5.3.2. | Les eaux bicarbonatées-chlorurées sodiques et potassiques..... | 282 |
| 5.3.3. | Les eaux bicarbonatées chlorurées sulfatées et bicarbonatées sulfatées chlorurées sodiques potassiques..... | |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.3.3. | Les eaux bicarbonatées chlorurées sulfatées et bicarbonatées sulfatées chlorurées sodiques potassiques..... | 282 |
| 5.4. | LES EAUX DU SECTEUR DE POLI PAR RAPPORT AU CONTEXTE GEOLOGIQUE | |
| 5.5. | L'INDICE D'ECHANGE DE BASE (i.e.b.) | |
| 5.6. | ORIGINE DES IONS | |
| 5.6.1. | Les cations..... | 284 |
| 6.1.1. | Les alcalinos-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+})..... | 284 |
| 6.1.2. | Les alcalins (Na^+ et K^+)..... | 286 |
| 5.6.2. | Les anions..... | 287 |
| 6.2.1. | Les chlorures..... | 287 |
| 6.2.2. | Les bicarbonates..... | 288 |
| 6.2.3. | Les sulfates..... | 289 |
| 6.2.4. | Les nitrates..... | 289 |
| 5.7. | LES CRITERES D'EAU D'IRRIGATION | |
| 5.8. | CONTRIBUTION DE LA GEOCHIMIE DES ROCHES DANS L'INTERPRETATION DE LA MINERALISATION DES EAUX | |
| | CONCLUSIONS GENERALES..... | 296 |
| | BIBLIOGRAPHIE..... | 300 |
| | ANNEXE 1 : ETUDE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES FORAGES DU NORD-CAMEROUN..... | 308 |
| | ANNEXE 2 : ANALYSES GEOCHIMIQUES DES EAUX DU SECTEUR DE POLI..... | 317 |
| | ANNEXE 3 : ETUDE STATISTIQUE DES ANALYSES GEOCHIMIQUES DES EAUX..... | 319 |
| | LISTE DES FIGURES..... | 321 |
| | LISTE DES TABLEAUX..... | 325 |
| | LISTE DES SIGLES..... | 328 |
| | TABLE DES MATIERES..... | 329 |



LE HOSSERE MANGO : VUE DE LA VALEE DES RONIERS



LE HOSSERE POLI : VUE DE LA ROUTE POLI-MANGO AU PK 3.5.



LE FORAGE D'EAU : POINT VITAL ET DE CONVERGENCE DES POPULATIONS

THESE de DOCTORAT de
l'Université Scientifique, Technologique et Médicale
de Grenoble
spécialité : Géologie appliquée

Titre de l'ouvrage :

**GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE D'UN SECTEUR
DE LA ZONE MOBILE D'AFRIQUE CENTRALE :
Région de POLI, NORD-CAMEROUN**

Nom de l'auteur : **Henri Bosko DJEUDA TCHAPNGA**

Etablissement : Université Scientifique, Technologie et Médicale
de Grenoble

8 JAN. 1988

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (76) 87.46.43

RÉSUMÉ

Le secteur de Poli est situé au Nord-Cameroun. Il est occupé par des formations géologiques diverses, allant des migmatites aux schistes, en passant par les gneiss, les granites orientés, les quartzites, les micaschistes ; tous ces ensembles datés au moins du Protérozoïque moyen ont été affectés par l'important événement thermotectonique pan-africain du Protérozoïque supérieur. Cette orogénèse a également entraîné la mise en place de roches plutoniques acides et basiques. Postérieurement à cette orogénèse, l'évolution géologique de ce secteur est essentiellement volcano-sédimentaire.

Abstraction faite des parties supérieures épimétamorphiques, la morphologie actuelle, autant que les grands traits structuraux de ce secteur sont essentiellement hérités des effets de cette importante orogénèse.

L'étude régionale de cette morphologie montre que le secteur de Poli présente un relief très contrasté, opposant les vallées d'altitudes voisines de 300 m aux hauts sommets qui culminent à plus de 2 000 m. Cet environnement montagneux crée localement des conditions climatiques favorables, caractérisées par une lame d'eau précipitée supérieure à celles observées dans les autres zones cristallines Nord-Camerounaises.

Malgré ces apports considérables, la constitution autant que l'alimentation des nappes souterraines sont médiocres et sont étroitement liées d'une part à la nature pétrographique et au degré d'altération des formations et, d'autre part, à leur état de fracturation et de fissuration.

L'étude du réseau de fracturation à diverses échelles d'observation — images satellites, photographies aériennes, observations de terrain — a permis de réaliser un classement séquentiel des fractures du secteur. Les comparaisons avec des études antérieures ont permis d'intégrer nos conclusions dans un modèle régional d'ensemble, à savoir celui de la zone mobile.

La prospection et la détection des zones broyées liées à ces fractures sont abordées par les méthodes géophysiques et géomorphologiques.

La variabilité des débits de forages autant que celle des propriétés hydrodynamiques sont traitées et témoignent du caractère hétérogène et anisotrope des formations.

Les eaux sont faiblement minéralisées et présentent un faciès chimique majeur : bicarbonaté-sodique.

MOTS-CLÉS

Zone mobile ; Pan-africain ; Cameroun ; Socle cristallin ; Morphométrie ; Schistes ; Granites ; Géochimie ; Fracturation ; Contraintes ; Prospection électrique ; Géomorphologie ; Statistique ; Bicarbonaté-sodique.