HAL
open science

Hydrogéologie du bassin versant de la Haute-Sissili (Haute-Volta)

Nindaoua Savadogo

To cite this version:

Nindaoua Savadogo. Hydrogéologie du bassin versant de la Haute-Sissili (Haute-Volta). Géologie appliquée. Universite Scientifique et Médicale de Grenoble, 1975. Français. NNT : . tel-00759907

HAL Id: tel-00759907

https://theses.hal.science/tel-00759907

Submitted on 3 Dec 2012

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.

205142
1975
192

Doctorat de 3ème Cycle

N° d'ordre

DOUBLE
205.142
1975
192

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE

DE **GRENOBLE**

Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE 3ème CYCLE

Spécialité : Géologie Appliquée

Mention Hydrogéologie

HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE-SISSILI (HAUTE-VOLTA)

par A. Nindaoua SAVADOGO

Soutenue le 15 décembre 1975 devant la commission d'examen

Président : R. BARBIER Professeur

Rapporteur : J. SARROT REYNAULD
Professeur Directeur de Thèse

Examinateur : J.C. FOURNEAUX
Assistant Docteur

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

A la mémoire de mon père et de ma mère

0520432733

205142
1975
192

Doctorat de 3ème Cycle

N° d'ordre

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE

DE **GRENOBLE**

Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE 3ème CYCLE

Spécialité : Géologie Appliquée

Mention Hydrogéologie

HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE-SISSILI (HAUTE-VOLTA)

T.76/14

par A. Nindaoua SAVADOGO

Soutenue le 15 décembre 1975 devant la commission d'examen

Président : R. BARBIER Professeur

Rapporteur : J. SARROT REYNAULD
Professeur Directeur de Thèse

Examinateur : J.C. FOURNEAUX
Assistant Docteur

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

AVANT - PROPOS

Ce mémoire a été préparé auprès des Services de l'Hydraulique et de l'aménagement de l'espace rural (HAER) de Haute-Volta avec lesquels j'ai travaillé pendant 21 mois. J'ai été associé pendant mon séjour à l'étude hydrogéologique de préfactibilité du ranch de Léo dont le périmètre fait partie du bassin versant de la Haute-Sissili, qui fait l'objet de cette thèse.

Son but était de me permettre, au moment où je dois terminer mes études, de connaître mon futur terrain de travail, tout en apportant ma contribution à l'étude hydrogéologique du socle cristallin dans les conditions climatiques du bassin versant de la Haute-Sissili.

Nombreuses ont été les difficultés rencontrées au cours de cette étude:

- parceque le HAER était surtout un service de surveillance de travaux, on n'y avait guère fait une place à la recherche même appliquée, malgrè les difficultés et les échecs rencontrés dans certains travaux (taux très élevé des puits "modernes" sans eau par exemple). Il s'en suit que toute l'infrastructure pour des études hydrogéologiques est inexistante; j'ai dû, entre autre, emprunter des pluviomètres à l'ASECNA, faire les analyses sommaires d'eau auprès du Service National des eaux (SNE); l'absence de véhicules disponibles m'a amené à faire 15000 kilomètres à motocyclette, seul et sans arme dans cette brousse presqu'inhabitée où le pittoresque côtoie le danger permanent de rencontre possible de bêtes sauvages (éléphants, lions) de serpents, mais aussi de braconniers, pour lever la carte géologique.

Les 75 kg environ de matériel de jaugeage comprenant: saumon, treuil et caisses d'accessoires ont été également déplacés en motocyclette.

- l'autre grande difficulté était l'absence d'encadrement scientifique sur place: j'ai dû souvent faire appel au professeur directeur de thèse.

Ces travaux ont pu s'accomplir grâce à l'aide matérielle et morale de nombreuses personnes auxquelles il me plait d'adresser ici ma profonde gratitude.

- Je remercie tout d'abord Monsieur le professeur J. SARROT-REYNAULD qui, après m'avoir accueilli en section hydrogéologie à l'Institut Dolomieu, n'a ménagé ni ses efforts, ni son temps pour me trouver des stages pratiques avant mon retour en Haute-Volta. Je lui suis aussi très reconnaissant d'avoir, malgrè ses occupations, suivi régulièrement mon travail en me guidant et en me donnant des conseils dans une correspondance fréquente.

Je remercie Monsieur le Professeur R. BARBIER qui me fait l'honneur de présider ce jury.

J'exprime ma reconnaissance aux enseignants de géologie de la Faculté des Sciences de Brest qui nous ont réservé un accueil inoubliable en 1971 et à ceux de l'Institut Dolomieu qui m'ont encadré trois ans durant.

- Mes remerciements vont également :
au personnel du HAER, et en particulier à celui de l'IRH : M. BRINDAMOUR, M. NITEMA, M. KAM, M. KERE qui m'ont beaucoup aidé pendant tout mon séjour ;
aux ingénieurs de Géohydraulique en poste à Ouagadougou : M. SOLAGES, M. BERRARD, et surtout M. ENGALENC qui m'a fait bénéficier de son expérience;
- à M. BUCHARD et à M. CLARY de la C. G. G. ;
- au directeur de l'E. I. E. R. M. RAIBAUD qui a gracieusement mis à notre disposition une salle de travail dans son établissement ;
- à M. PRAT du C. I. E. H. ;
- à M. Ambroise KABRE et M. J. P. QUEDRAOGO de l'ASECNA ;
- aux sous-préfets de Léo MM. BONANE et PASSOUM ;
- à mon cousin Justin SAWADOGO, directeur de Léo I, qui m'a toujours hébergé chez lui ;
- et enfin au personnel de la station d'épuration des eaux de la S. N. E. et en particulier à M. Ouèda ELI.

INTRODUCTION

GENERALITES SUR LA HAUTE-VOLTA

1. - GEOGRAPHIE DE LA HAUTE-VOLTA

1.1. - SITUATION, SUPERFICIE ET LIMITES

La Haute-Volta est située au cœur de l'Afrique occidentale et y occupe une superficie de 275 000 km^2. Elle a cinq pays limitrophes : le Mali à l'Ouest et au Nord, le Niger à l'Est, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Dahomey au Sud. Elle n'a donc pas de débouché maritime. Elle est surtout tributaire du port d'Abidjan auquel sa capitale Ouagadougou est reliée par chemin de fer.

1.2. - RELIEF ET COURS D'EAU

1.2.1 - Le relief

Partie centrale du bouclier ouest africain, la Haute-Volta s'étend sur une immense pénéplaine, résultant d'un processus d'érosion achevée. Cette pénéplaine est dominée à l'Ouest, et au Sud Ouest par une importante ligne de hauteurs.

1.2.1.1 - La pénéplaine

D'une altitude moyenne de 300 m, elle est légèrement pentée du Nord vers le Sud. Sa monotonie d'ensemble est interrompue çà et là par des chaînes de colline et des collines isolées :

- les chaînes de collines

Ce sont : à l'Ouest, celle allant de Houndé à Arbinda, la chaîne centrale allant de Kongoussi à Garango et séparant les bassins de la Volta Blanche et du Niger ; et à l'Est, la petite chaîne de Gabnangou.

- Les collines isolées

Elles sont trop nombreuses pour qu'on en puisse donner ici une liste complète. Citons seulement à titre d'exemple celles de Bani, de Yako, de Kaya, d'Arbinda et les pics de Wayen et de Naouri.

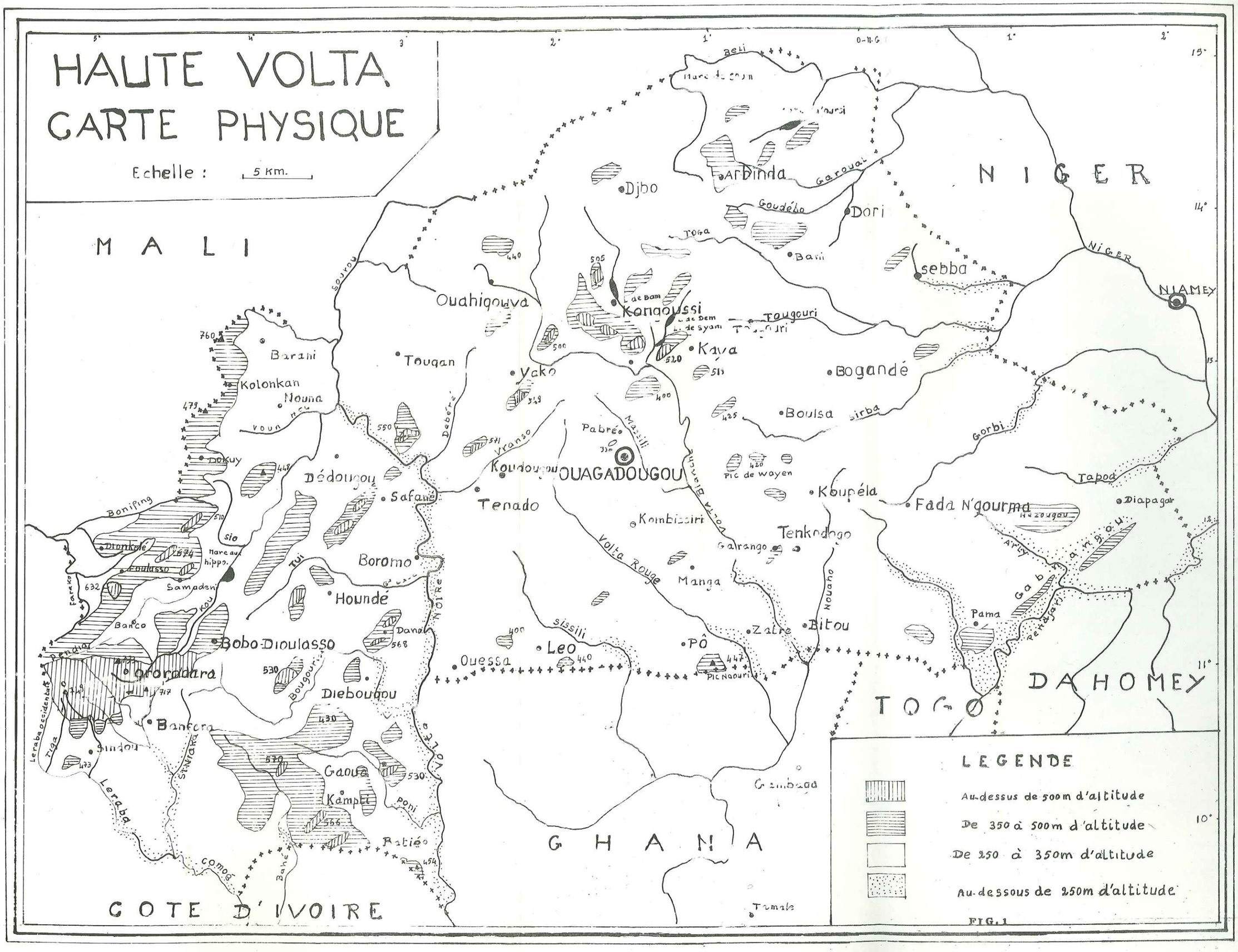

HAUTE VOLTA
CARTE PHYSIQUE
Echelle : 5 km.
MALI
NIGER
GHANA
TOGO
DAHOMEY
COTE D'IVOIRE
Djbo
Arbinda
Dori
Bani
Sebba
NIAMEY
Ouahigouya
Kongoussi
Kaya
Tougouri
Bogandé
Boulsa
Barani
Kolonkan
Nouna
Tougan
Yako
Pabré
OUAGADOUGOU
Koudougou
Pic de wayen
Koupéla
Fada N'gourma
Diapaga
Dédougou
Safané
Tenado
Kombissiri
Tenkodogo
Garango
Manga
Zabre
Bitou
Pô
Pic Naouri
Leo
Ouessa
Boromo
Houndé
Dano
Bobo-Dioulasso
Diebougou
Banfora
Sindou
Gaoua
Kampti
Batiéo
Pama
Gambaga
Tamale
Dokuy
Dionkele
Foulasso
Samadeni
Banco
Bonifing
Sourou
Débéré
Vranso
Massili
Volta Blanche
Volta Rouge
Nouaho
Gorbi
Tapoa
Arly
Gabangou
Kou
Tui
Sio
Comoé
Bane
Poni
Leraba
Tiga
Sénéfara
Dendiri
Farako
Mare aux hippo.
Mare de Soum
Beli
Garoual
Goudébo
Toga
Niger
Sirba
Voun Hou
Nazinon
Nakambé
Nouhao
Pendjari
Mouhoun
Lerabo occidental
Noire
Volta
Lac de Bam
Lac de Dem
Lac de Syam
Pic de Tamale
0-M.G.
760
479
448
510
674
632
530
717
430
570
566
454
520
505
500
440
400
425
420
447
15°
14°
13°
12°
11°
10°
5°
4°
3°
2°
1°
LEGENDE
Au-dessus de 500m d'altitude
De 350 à 500m d'altitude
De 250 à 350m d'altitude
Au-dessous de 250m d'altitude

FIG. 1

1.2.1.2 - La ligne de hauteurs

Sous cette appellation on regroupe le haut plateau des environs de Gaoua et le plateau de Bobo Dioulasso qui est le plus élevé et dont l'essentiel de la topographie se situe entre 500 et 550 mètres. Ce dernier plateau qui comporte plusieurs sommets dépassant 700 mètres culmine à 750 mètres à Teninkourou et se poursuit tout au long de la frontière Mali - Haute-Volta jusqu'à Barani.

1.2.2 - Les cours d'eau

Bien que la plupart des fleuves qui la parcourent n'aient de l'eau qu'une partie seulement de l'année, la Haute-Volta est dans l'ensemble un pays bien drainé.

- L'Est et le Nord sont parcourus par les affluents du Niger (Garoual, Toga, Tougouri, Séréba, Gorbi, et Tapoa) et par ceux de la Pandjari.

- Le centre et l'Ouest du pays sont drainés par les trois Volta (Volta noire, Volta blanche et Volta rouge).

- Le Sud Ouest cède ses eaux à la Comoé.

- La Sissili qui est, elle aussi, un affluent de la Volta draine le centre sud du territoire avant de rejoindre ce fleuve principal entre Gambaga et Tamalé en territoire Ghanaen.

1.3. - LE CLIMAT

La Haute-Volta est située dans la zone climatique soudanéenne caractérisée par une alternance de deux saisons très contrastées : une saison sèche et une saison des pluies ou hivernage. L'alternance de saisons est liée à l'influence du Sahara et de l'océan Atlantique.

1.3.1 - La saison sèche

Elle doit son existence au fait que la Haute-Volta et même l'Afrique boréale toute entière est parcourue par un vent sec connu sous le nom d'harmattan qui souffle d'octobre à mars, du Nord Est vers le Sud Ouest. De novembre à février, l'harmattan est remplacé ou renforcé par l'alisé boréal, vent frais et même froid soufflant du Nord Est au Sud Ouest.

1.3.2 - La saison des pluies

A partir de mars, le Sahara surchauffé devient une zone de basses pressions aspirant les masses d'air océaniques : c'est la mousson qui se glisse alors sous l'harmattan dont elle est séparée par un plan incliné du Sud vers le Nord. Ce plan qui est appelé front intertropical ou FIT fait la navette entre la côte et le Sud du Sahara : en janvier le FIT est à Bouaké (Nord de la Cote d'Ivoire). Il atteint Tombouctou en août et reprend ensuite le chemin de la Côte d'Ivoire. La planche 2 nous montre les schémas du dispositif mousson-harmattan et le déplacement annuel du FIT selon G. ROUGERIE ( ).

On constate que toutes les régions de la Haute-Volta sont à un moment de l'année intéressées par une des quatre zones définies par G. ROUGERIE, et liées au dispositif mousson-harmattan dont nous venons de parler.

Le climat va donc dépendre de la progression des divers stades du FIT, de la durée et de l'ampleur des manifestations pluviométriques.

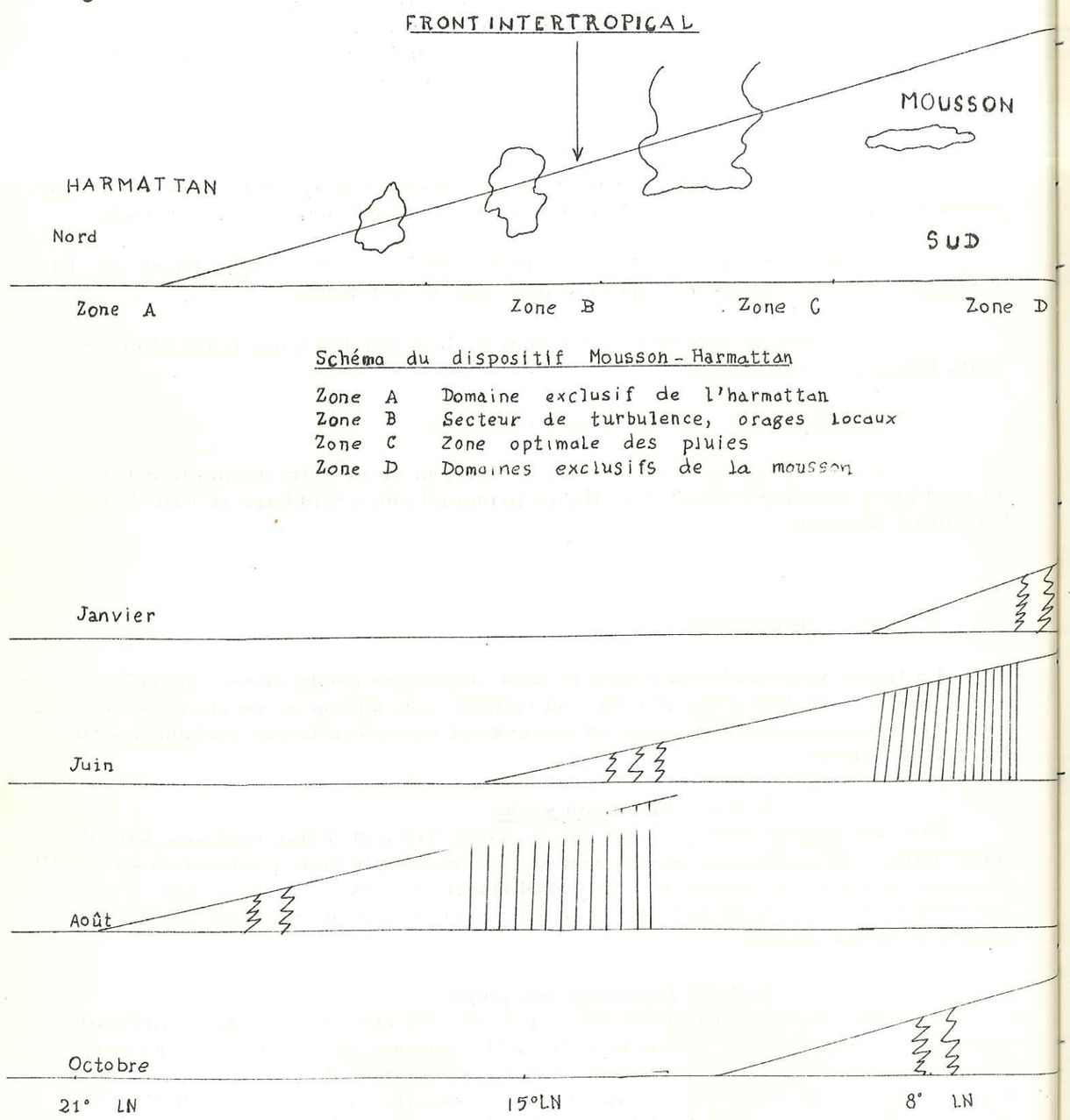


Schéma du dispositif Mousson - Harmattan

Zone A Domaine exclusif de l'harmattan
Zone B Secteur de turbulence, orages locaux
Zone C Zone optimale des pluies
Zone D Domaines exclusifs de la mousson

Schéma de déplacement annuel
-"du front intertropical"-

orages locaux

pluies

FIGURE 2

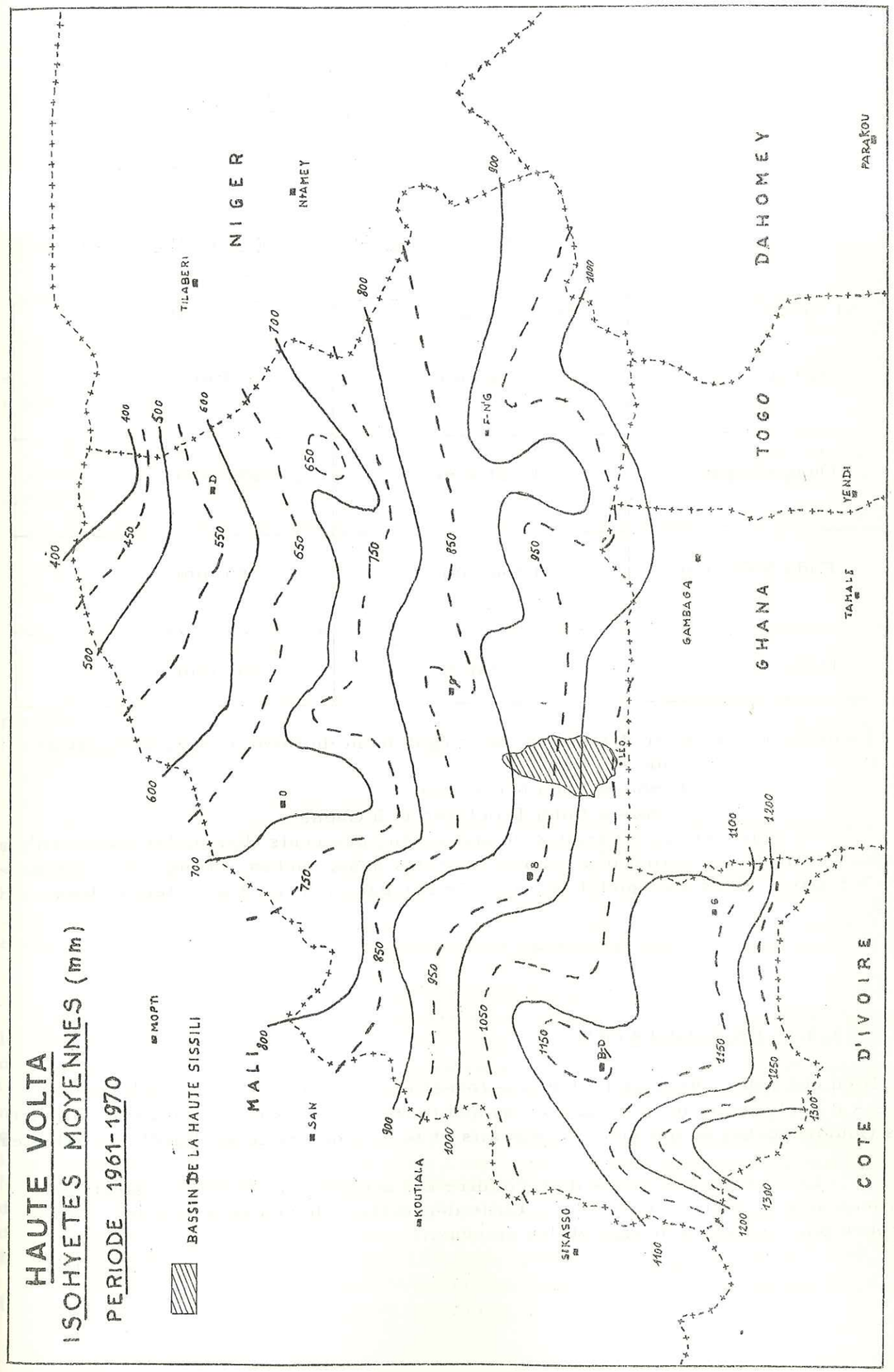


FIGURE 3

1.3.3 - Les sous-zones climatiques

On distingue généralement en Haute-Volta trois sous-zones climatiques délimitées par des isohyètes :

- climat sud-soudanéen-pluviométrie supérieure à 1000 mm/an ;
- climat nord-soudanéen - pluviométrie comprise entre 1000 et 700 mm/an ;
- climat présahélien - pluviométrie inférieure à 700 mm/an.

Il faut cependant noter que les variations de la pluviométrie sont souvent importantes d'une année à l'autre.

ECARTS PLUVIOMETRIQUES OBSERVES EN QUARANTE ANS

STATION	MAXIMUM	MINIMUM
Gaoua	2 359 mm	823 mm
Ouagadougou	1 551 mm	672 mm
Fada N'Gourma	1 460 mm	509 mm
Dori	783 mm	253 mm

La durée de la saison des pluies varie également du Nord au Sud. Elle est de :

- 3 mois à Dori,
- 4 mois à Fada N'Gourma,
- 5 mois à Bobo-Dioulasso et à Gaoua ;

- eu égard au cycle variable du phénomène des vents (harmattan-mousson), les zones climatiques auront des limites spatiales assez lâches, changeantes d'une année à l'autre. Elles vont plutôt se caractériser par la durée des facteurs climatiques.

1.4. - LA VEGETATION

Bien que peu riche dans le domaine forestier, la Haute-Volta possède quelques milliers d'hectares de forêt dispersés au Sud (pays Lobi et pays Gourrounsi), à l'Est (pays Gourmandché) en bordure des massifs et le long des rivières (forêts de galeries).

- La plus grande partie du territoire est occupée par la savane parsemée de grands arbres dont la densité et la taille décroissent du Sud vers le Nord, où l'on ne trouve plus que des arbustes et des épineux.

1.5. - LA POPULATION

La Haute-Volta compte aujourd'hui six millions d'habitants répartis entre plus d'une vingtaine d'ethnies dont les mossi, les dioula et les peulhs sont les plus importants en nombre et en extension.

95 % de la population appartiennent au monde rural. L'élevage est entre les mains des peulhs nomades, mais on rencontre aussi chez les sédentaires une association de l'élevage et de l'agriculture.

1.6. - LES RESSOURCES ECONOMIQUES

La Haute-Volta est surtout un pays d'agriculture et d'élevage. Elle produit et exporte le coton, l'arachide, le sésame et quelques produits maraîchers. Les moutons et les chèvres sont vendus surtout à la Côte d'Ivoire et au Ghana.

Dans les grandes villes (Ouagadougou, Bobo-Dioulasso, Koudougou, Banfora) existent des petites industries de transformation des produits locaux : peaux, coton, arachide et bientôt canne à sucre.

Il n'existe pas encore de gisements miniers en exploitation.

1.7. - EQUIPEMENT HYDRAULIQUE

Le nombre des ouvrages d'exploitation des eaux s'est considérablement accru pendant ces quinze dernières années. On peut distinguer les retenues de surface et les ouvrages d'exploitation des eaux souterraines :

- Les retenues de surface

La Haute-Volta n'a pas de barrage hydroélectrique. Les retenues existantes sont données par de petits barrages collinaires, des digues et des radiers. Elles sont souvent pérennes et on les exploite à des fins agricoles (aménagement d'aval de barrage en rizière, irrigation de cultures maraîchères) ou à des fins alimentaires : alimentation en eau de certaines agglomérations (la ville de Ouagadougou par exemple). Elles constituent dans tous les cas d'excellents abreuvoirs pour les animaux.

- Les ouvrages d'exploitation des eaux souterraines

Ils sont constitués de forages mais surtout de puits. Les seconds étant de très loin les plus nombreux. Ce développement inégal est dû à l'adoption de la méthode d'exécution des ouvrages par leurs utilisateurs, dénomée "investissement humain". Bien que déjà nombreux, la sécheresse des années précédentes a remis en question, non seulement le mode de construction des puits, mais aussi le puits lui-même en tant que type d'ouvrage. D'où la multiplication des forages dans les dernières campagnes. Il faut cependant noter que le puits reste l'ouvrage le plus adapté aux besoins actuels, à savoir qu'il faut des ouvrages très nombreux auxquels on ne demande que de faibles débits (10 m^3/j environ). Le forage nécessite, lui, l'installation de pompes ; or, qui dit pompe dit aussi entretien (personnel, pièces de rechange, véhicules). Donc le forage exigera des pouvoirs publics, un budget d'entretien plus important.

Plutôt que d'abandonner les puits il faudrait donc surtout mieux adapter leur mode de construction aux conditions hydrogéologiques.

2. - APERCU SUR LA GEOLOGIE DE LA HAUTE-VOLTA

Nous aborderons cette étude géologique en parlant de la répartition spatiale, puis temporelle des diverses formations qui occupent le territoire.

2.1. - REPARTITION SPATIALE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES (fig. 4)

La Haute-Volta est surtout un pays de socle cristallin. Un peu plus de la moitié du territoire est en effet occupée par des granites, des granito-gneiss ou des gneiss qui isolent des franges de roches schisteuses et des massifs volcaniques.

2.1.1 - Les schistes

Ils affleurent surtout :

- dans la région de Banfora, à l'Est de la ligne Kong-Banfora-Bobo-Dioulasso ;
- en deux bandes parallèles de direction Nord-Sud allant de Kamti à Dédougou et de Batié à Yako ;
- entre Ouabigouha et Boulsa ;
- au Sud ouest et au nord est de Dori ;
- entre Fada et Diapaga, ainsi qu'au Nord de cette dernière localité ;
- et enfin, entre Boulsa et Manga.

2.1.2 - Les grès

Ils sont sub-horizontaux et recouvrent en discordance, aussi bien les granites que les schistes à l'Ouest de la ligne Banfora-Bobo-Diébougou-Kassoum.

2.1.3 - Les formations du Gondo

Les grès sont relayés, dans la région de Tougan-Nouna, puis tout au long de la frontière avec le Mali, par des sables éoliens, des argiles et des alluvions fluvio-lacustres, dites formations du Gondo.

2.1.4 - L'extrême nord du pays

Il est occupé par des dolomies, des calcaires peu plissés, des grès quartziques, des schistes et des grès arkosiques.

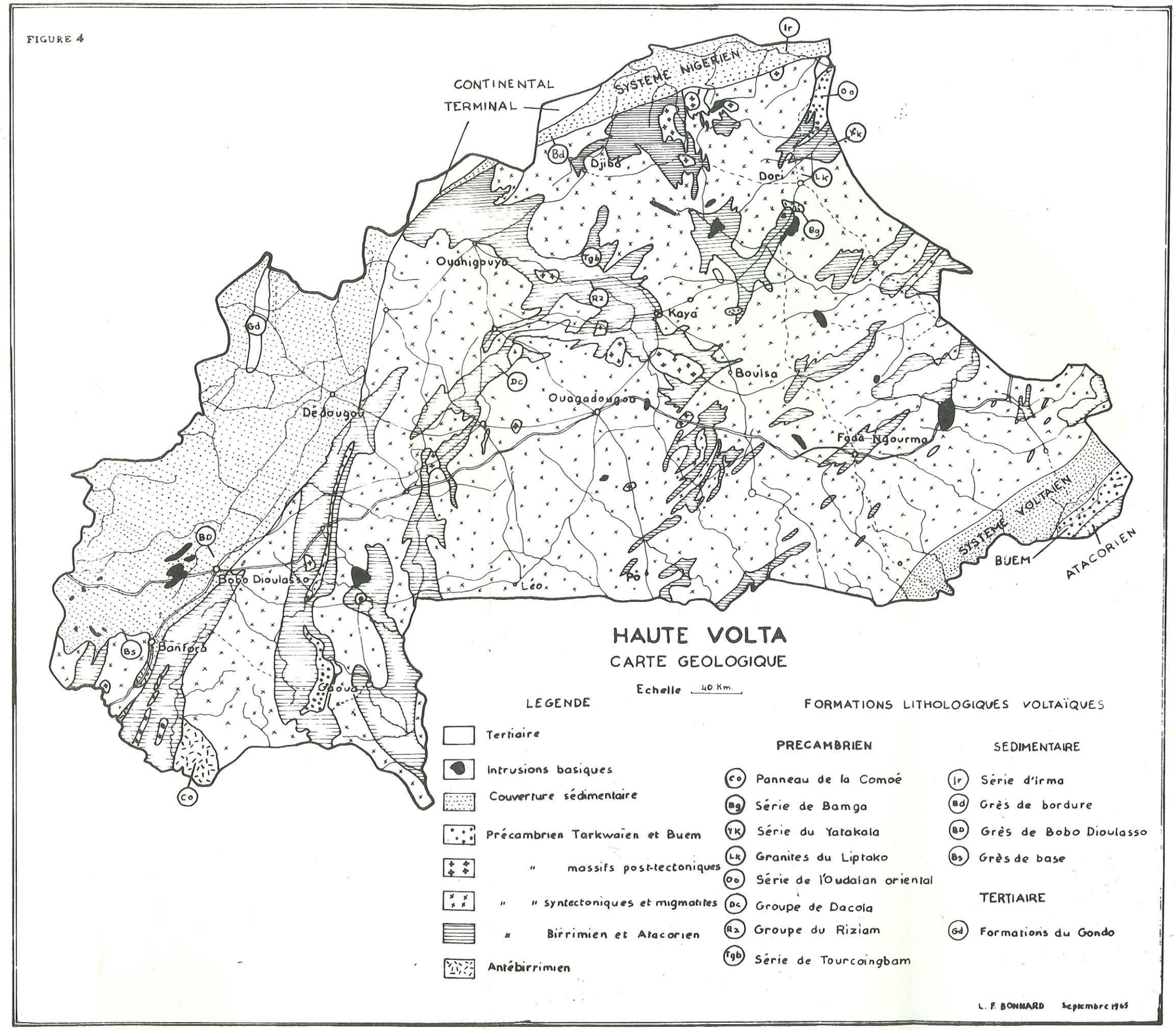
2.1.5. - Entre Pama et Diapaga

Affleurent des sédiments gréseux pentés vers le Sud Est.

2.1.6 - Les roches orthométamorphiques

Il s'agit de roches volcaniques et éruptives basiques ou ultrabasiques, souvent associées en massifs concordants aux schistes, et rarement aux granites. Elles sont abondantes au Nord Est de Dori. Dans la région de Banfora on rencontre des tufs basiques, des greywackes, des amphibolites et des chloritoschistes à carbonates. Autour de Bobo-Dioulasso on trouve des dolérites, des gabbros et des diorites.

FIGURE 4


CONTINENTAL TERMINAL
SYSTEME NIGERIEN
SYSTEME VOLTAIEN
BUEM
ATACORIEN
Djibo
Dori
Ouahigouya
Kaya
Boulsa
Ouagadougou
Dédougou
Fada Ngourma
Bobo Dioulasso
Léo
Pô
Banfora
Gaoua
Ir
Oo
Yk
Bd
Lk
Bg
Tgb
Rz
Gd
Dc
BD
Bs
Co
HAUTE VOLTA
CARTE GEOLOGIQUE
Echelle 40 Km.
LEGENDE
Tertiaire
Intrusions basiques
Couverture sédimentaire
Précambrien Tarkwaïen et Buem
" massifs post-tectoniques
" " syntectoniques et migmatites
" Birrimien et Atacorien
Antébirrimien
FORMATIONS LITHOLOGIQUES VOLTAÏQUES
PRECAMBRIEN
Co Panneau de la Comoé
Bg Série de Bamga
YK Série du Yatakala
LK Granites du Liptako
Oo Série de l'Oudalan oriental
Dc Groupe de Dacola
Rz Groupe du Riziam
Tgb Série de Tourcoingbam
SEDIMENTAIRE
Ir Série d'Irma
Bd Grès de bordure
BD Grès de Bobo Dioulasso
Bs Grès de base
TERTIAIRE
Gd Formations du Gondo
L. F. BONNARD Septembre 1965

2.1.7 - Les roches cristallines

On les rencontre partout en Haute-Volta, sauf : à l'Ouest et au Nord où elles disparaissent sous la couverture sédimentaire des "grès horizontaux" et du continental terminal ; au Sud Est elles sont relayées par les formations des systèmes du Voltaien, du Buen et du l'Atacorien.

Les roches cristallines sont classées en fonction de leur mise en place dans l'orogenèse birrimienne et de leur pétrographie. On distingue ainsi :

- les massifs syntectoniques qui sont les plus répandus et qui se caractérisent par :
  - . leurs gisements concordants avec les schistes ou les gneiss encaissants
  - . leurs grandes dimensions,
  - . leur structure orientée,
  - . leur composition hétérogène,
  - . leur important cortège filonien,
- les massifs éruptifs post-tectoniques : de dimensions réduites, ils sont géographiquement liés aux roches métamorphiques birrimiennes et présentent une homogénéité aussi bien de structure que de texture. L'auréole de métamorphisme y est réduite ou même absente. Ils présentent une grande diversité pétrographique (granites alcalins, granites calco-alcalins, granodiorites, syénites).

2.2. - REPARTITION DANS LE TEMPS DES FORMATIONS GEOLOGIQUES

Les formations géologiques de Haute-Volta sont essentiellement d'âge précambrien et primaire. Or, la stratigraphie du Précambrien est difficile sinon impossible à établir avec certitude parce que la plupart des terrains ont été métamorphosés.

L'établissement de la stratigraphie du Primaire se heurte également à l'absence de fossiles.

Il s'en suit que toute répartition, aussi grossière soit-elle, ne peut se faire qu'à partir de considérations pétrographiques et de datations absolues pour les roches cristallines.

Les divers schistes, les roches paramétamorphiques et orthométamorphiques appartiennent au Précambrien (Birrimien).

Les roches cristallines se sont mises en place, surtout au Birrimien. Les formations dites "grès horizontaux", transgressives sur l'antécambrien plissé et arasé appartiendraient à la base du Paléozoïque. En effet, dans le Nord du Mali et de la Mauritanie, aussi bien qu'en Guinée, elles sont recouvertes en discordance par des niveaux siluriens à Monograptus priodon.

Les intrusions variées (basaltes, syénites, andésites, diorites, gabbros et dolérites) que l'on rencontre partout en Haute-Volta sont considérées comme étant du même âge et postérieures aux formations sédimentaires de Bobo-Dioulasso qu'elles recoupent.

Les formation du Gondo, formations fluvio-lacustres et éoliennes déposées dans la cuvette du Séno datent de la fin du Tertiaire ; elle s appartiennent au système du Continental Terminal bien connu en Afrique occidentale.

Les cuirasses tabulaires répandues entre Kaya et Ouahigouya, près de Gaoua et de Houndé, entre Djibo et Dori seraient, elles, aussi du Tertiaire.

Dans le Quaternaire on a regroupé : les alluvions des vallées, les cuirasses latéritiques de bordure de rivière et les dunes du Nord du pays.

chronologie géologique générale	Age (MA)	Evénements géologiques locaux	Faciès pétrographiques
QUATERNAIRE			Latérites
TERTIAIRE	45	Pénéplanation et cuirassement Remplissage de la cuvette du Seno	sables éoliens, fluvio-lacustres, argiles noires, latérites. (Formations du Gondo)
SECONDAIRE	190		
PRIMAIRE	550	faibles ondulations intrusions basiques Transgression marine et dépôts de sédiments argilo-gréseux (= calcaires)	Dolomies grès, conglomérats, schistes (Grés horizontaux) Calcaires dolomitiques
PRECAMBRIEN	1650 1850	Pénéplanation ORO-GE-NESE BIR-RI-MIEN NE - érosion+dépôt de molasse - émersion+surection de chaînes de montagne - plissement et granitisation - métamorphisme+granitisation - sédimentation et volcanisme basique Antébirrimien	grès, arkoses conglomérats granites alcalins et calco-alcalins roches para ; sch. argileux s. sériciteux, s. chlori. quartz méta. conglo. - métagabbros, métatufs granites, gneiss, migmatites.

EVOLUTION GEOLOGIQUE DANS LA CHRONOLOGIE GENERALE

2.3. - GEOMORPHOLOGIE

L'altitude moyenne, la faiblesse des pentes et la monotonie des paysages en Haute-Volta sont surtout liées à la présence des formations granito-gneissiques. Elles sont généralement recouvertes par d'abondantes formations superficielles : arènes granitiques, argiles de décomposition, latérites. D'où la rareté des affleurements qui ne forment d'ailleurs avec les dolérites et les buttes cuirassées que des collines de quelques dizaines de mètres de hauteur.

Les formations volcaniques donnent, quant à elles, des reliefs hardis surmontés ou non de plateaux cuirassés. Les schistes à niveaux résistants de quartzites peuvent aussi donner des reliefs accusés.

Les terrains sédimentaires de l'Ouest constituent des hauts plateaux dominant la pénéplaine. Nous avons déjà indiqué qu'on y trouvait le point culminant du pays.

2.4. - APPARTENANCE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU BASSIN DE LA SISSILI

Le bassin de la Sissili occupe le centre sud du territoire voltaïque. Il est entièrement compris entre l'isohyète 900 et l'isohyète 1050 m. Il constitue une zone de transition entre le climat sud soudanéen et le climat nord soudanéen.

La Sissili draine un bassin versant à substratum de granito-gneiss auxquels s'associent, çà et là, des batholites de granite et de granodiorite (en fait il n'existe qu'un seul affleurement de granodiorite connu). Il faut cependant noter qu'au niveau du dernier coude qu'elle dessine en Haute-Volta, existent des pointements de roches vertes, de volcanites neutres à basiques et une longue intrusion de volcanites acides.

CHAPITRE II

HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE-SISSILI

1. - GEOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

1.1. - LIMITES ET SUPERFICIE

En territoire voltaïque, la Sissili présente un bassin de forme triangulaire séparant le bassin de la Volta Noire, à l'Ouest de celui de la Volta Rouge, à l'Est. Nous appelons Haute-Sissili, la partie nord du bassin de la Sissili ayant pour exutoire le pont de Nébou. Elle couvre une superficie de 3 210 km^2 comprise entre le 11e et le 12e parallèle de latitude nord et entre les méridiens 1, 30° et 2, 30° de longitude ouest. Administrativement, le bassin appartient à la sous-préfecture de Léo.

En dehors de la ligne de crêtes des hautes cuirasses latériques du Nord Est qui séparent les eaux de la Sissili de celles de la Volta Noire, les limites topographiques du bassin de la Haute-Volta sont très difficilement cernables à cause de la planéité du relief. A défaut de cartes précises nous avons dû tracer les contours du bassin à l'aide de photographies aériennes au 1/50 000.

1.2. - LE RELIEF ET LE COURS D'EAU

1.2.1 - Le relief

Il est très peu marqué et se caractérise surtout par sa monotonie. La rivière coule sur un plateau de 320 m d'altitude moyenne légèrement incliné du Nord vers le Sud. De la source de la Sissili (à la hauteur du village de Thiou), au pont de Nébou, la dénivellation n'est que de 79 m, soit une pente moyenne de 1 pour 1000. Du plateau émergent çà et là des collines dont la plupart sont des buttes de cuirasse latéritique. Mais il existe, près du pont de Nébou, des dômes de granite. De ce côté E d'ailleurs du bassin, les dômes granitiques prennent le pas sur les buttes cuirassées. Le pic granitique de Boala-Picalia, avec ses 439 mètres d'altitude constitue même le plus haut sommet du bassin de la Sissili. Les cuirasses perchées sont surtout remarquables à l'Ouest du bassin ; elles forment des escarpements près de Bou, à l'interfluve de la Fantebéna (affluent de la Volta Noire) et de la Koutiala. De Vara à Thiou, puis de Thiou à Bougnounou, les buttes de cuirasse s'ordonnent en chaîne presque ininterrompue bordant le bassin de la Sissili à l'Ouest et au Nord Ouest.

1.2.2 - Le cours d'eau

Avant que son cours de direction nord-sud ne tourne de 90° pour se diriger vers l'Est, la Sissili reçoit son affluent le plus important résultant de l'union du Boufara, du Kaboutola, d'Assipio et du Kontiala.

La longueur totale des drains du bassin versant de la Haute-Sissili atteint 1039 km, ce qui donne une densité moyenne de 0,321 km au km^2. Seulement ces drains sont inégalement répartis : au Nord d'une ligne passant par Saouy, Luin, Nessano, Lon et Tiano, la densité tombe à 476 km pour 1730 km^2, soit une densité de 0,277 km au km^2, alors que dans la portion sud du bassin elle atteint 0,380 km au km^2.

Le dessin du réseau hydrographique est dendritique et rectangulaire. Généralement plat et peu marqué, le lit de la Sissili devient encaissé à partir de Nevri. Il est alors souvent bordé de fortes cuirasses dont l'épaisseur peut dépasser quelquefois 4 à 5 mètres.

La répartition inégale des drains influe sur les conditions d'affleurement du substratum. En effet, dans le Nord où le réseau hydrographique est lâche, on a en abondance des cuirasses perchées et des gravillons de démantellement. Par contre, au Sud et à l'Est, on a une abondance de sols sableux gris-bleu (indiquant que le socle est sub-affleurant) que dominent de nombreux dômes de granite. On note donc une différence de décapage conforme à la loi de l'érosion régressive de la rivière.

1.3. - LES VOIES D'ACCES

Le bassin a deux principales voies d'accès :
- la route Ouagadougou-Léo par Sabou (210 km) et la piste Ouagadougou-Léo par Spouy (165 km). A ces deux grands axes carrossables en toutes saisons viennent s'ajouter un grand nombre de pistes et de sentiers qui ne sont praticables qu'en bicyclette ou en motocyclette. D'une manière générale la liaison des villages entre eux et même aux grands axes routiers est très mauvaise. Nombreux sont les villages qui sont isolés du reste de la sous-préfecture pendant tout l'hivernage.

1.4. - LA POPULATION

Elle était presqu'uniquement formée de Gourounsi. Mais la longue sécheresse que vient de connaître le Sahel a amené des pheuls, mais surtout des mossi du plateau du centre à migrer dans cette région du Sud où la pluviométrie est restée suffisante pour la culture du mil. Ces immigrants ont, soit grossi les villages déjà existants, soit formé de nouveaux hameaux disséminés dans la brousse.

1.5. - LES RESSOURCES ECONOMIQUES DU BASSIN

1.5.1 - L'agriculture

C'est la principale activité de la population qui cultive pour sa consommation propre le mil, le riz, le haricot, l'igname, et pour l'exportation l'arachide, le sésame et surtout le coton.

1.5.2 - L'élevage et la pèche

L'élevage était insignifiant avant l'arrivée des pheuls du Nord et ce à cause de la présence de la mouche tsé-tsé dans la région.

Il n'existe pas de peuplade de pêcheurs dans le bassin de la Sissili. Aux périodes de hautes eaux, les riverains mènent leurs activités agricoles, mais dès que la rivière commence à s'assècher (février, mars), le chapelet de mares qui en reste est régulièrement envahi par des femmes qui viennent pêcher les silures à l'aide de paniers à double ouverture, tandis que les hommes font la chasse.

1.5.3 - La végétation et la faune

La végétation est de type savane arbustive, avec de hautes herbes parsemées de grands arbres, la densité de la végétation croît du Nord vers le Sud où on peut parler de forêt claire. La forêt de galerie existe le long des rivières ; toutefois, en dehors de son utilisation comme bois de chauffe et de toiture, la forêt ne fait l'objet d'aucune exploitation industrielle. Certains arbres sont d'ailleurs protégés par les populations qui en cueillent les fruits. Parmi ces arbres citons le karité, le nétier et le baobab (rare dans ce bassin).

La faune est nombreuse et très variée : pendant cette campagne d'étude nous avons pu rencontrer lions, éléphants, bubales, hypotragues, cinocéphales, singes roux et plusieurs variétés de biches (guib arnaché, biche cochonne, etc.).

A propos de faune, signalons qu'en dehors de la mouche tsé-tsé qui est en régression, le fléau de la région est l'onchocerchose que véhiculent les simulies genre de petites mouches abondantes aux périodes de hautes eaux, au bord des rivières. La sous-préfecture de Léo compte 12 % d'onchocerchosiens, taux qui est très élevé si l'on sait que la maladie entraîne à la longue la cécité des riverains atteints.

2. - INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE-SISSILI

Nous avons entrepris depuis octobre 1973, en même temps que le lever géologique, un inventaire sommaire des ressources en eau du bassin versant.

Dès le début de l'étude, nous avons pu constater qu'il n'existait plus de source qui coulait. La rivière elle-même était réduite à un chapelet de petites mares (mares de Névri, Méio, Kayéro, Tô, Tabou, Kasso et Sissili). Ces mares qui constituent les seuls points d'eau de surface servent d'abrévoirs, tant pour les bêtes sauvages, que pour les animaux domestiques. Malheureusement elles s'assèchent presque toutes dès le mois de mars. Seules, certaines mares situées à l'aval du pont de Nébou sont pérennes.

L'alimentation en eau des villages est assurée par des puits modernes à paroi en béton et par des puisards.

2.1. - LES PUITS MODERNES

Sur les 73 villages que compte le bassin de la Haute-Sissili, 22 sont desservis par des puits modernes. Ces puits ont une profondeur cumulée de 260 m, soit une profondeur moyenne de 11, 84 m. Le plus profond d'entre eux est celui de Dana, avec 25, 4 m, et le moins profond : le puits de Zao (5, 10 mètres).

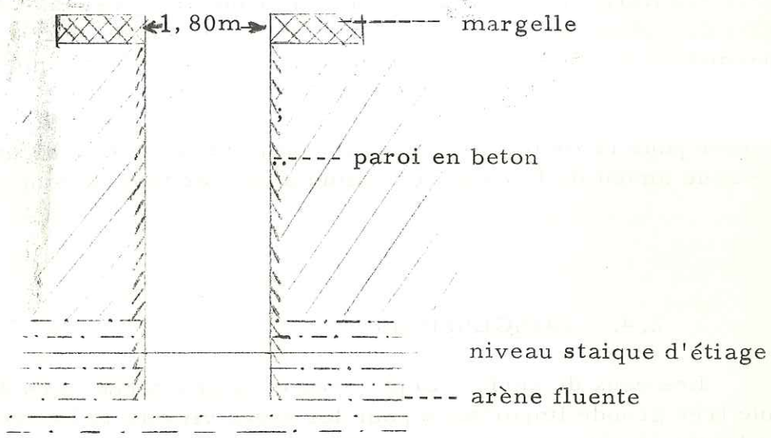
La profondeur des puits varie donc du simple au quintuple. Mais elle dépend de la position topographique des puits (plateau ou en bas-fond). A l'exception du puits de Kayero qui a atteint le substratum (qui du reste affleure à quelques mètres de son point d'implantation), tous les autres se sont arrêtés au niveau de l'altération argilo-sableuse, dite arène fluente. Les rapports d'exécution font mention d'une hauteur de 34,3 m d'u
La h^teur maximale étant celle du puits de Gao (4 m). Ces chiffres sur la hauteur d'eau n'ont cependant qu'une valeur indicative, car comme nous allons le voir, les hauteurs d'eau dans les ouvrages varient remarquablement au cours de l'année, mais aussi d'une année à l'autre pour les mêmes périodes. C'est ainsi que des puits qui n'avaient jamais tari se sont asséchés pendant la saison sèche (1973-1974).

REMARQUES

Des 22 puits modernes 5 seulement ont de l'eau toute l'année. Cet échec ne s'explique pas par une forte quantité d'eau demandée aux puits, car celle-ci est généralement faible (4 à 5 m^3/j). Il est surtout lié à :

- la faible hauteur d'eau dans ces puits qui s'arrêtent généralement au toit de la nappe de l'étiage ;
- la faible perméabilité de l'aquifère exploité ;
- au mode de construction de ces ouvrages dont voici le schéma

PUITS MODERNES



A ce type d'ouvrage nous pouvons trouver deux inconvénients :

- le premier est mineur et relatif au trop grand diamètre de ces puits (1, 80 m). Il s'en suit qu'en cas d'assèchement, les usagers ne peuvent pas les approfondir, faute de poulie et de corde robuste ;
- le deuxième cas est : étant donné que la nappe baigne des formations argilo-sableuses (arène fluente), tout rabattement rapide du niveau d'eau dans le puits ou remontée rapide de celui-ci hors du puits (ce qui se produit quand on tire un débit relativement important ou quand la nappe remonte vite pendant l'hivernage) entraîne un phénomène de boulance lié à la différence de niveau hydrostatique entre l'intérieur et l'extérieur du puits. On peut donc arriver au puits sec dans une nappe encore importante mais dont la pression différentielle ne suffit pas à décolmater le fond du puits touché par les argiles qu'a charriées la boulance.
- toutes ces remarques nous conduisent à préconiser, dans ces formations d'altération, la construction de puits à diamètre réduit mais surtout à paroi crépinée et l'emploi de gravillon de développement. Un pompage de développement est également nécessaire pour éliminer les particules fines et améliorer les débits d'exploitation.

2.2. - LES PUISARDS

On désigne sous ce nom les puits traditionnel qui diffèrent des puits modernes par leur petit diamètre, leur profondeur généralement faible, et par le fait que leur paroi n'est pas betonnée.

Dans le bassin de la Sissili ces puisards sont souvent situés dans le lit majeur et même quelquefois dans le lit mineur des rivières. Ils exploitent l'eau des nappes alluviales. Inondés pendant l'hivernage, ils sont abandonnés pour l'eau des marigots.

2.3. - LES AUTRES OUVRAGES DU BASSIN

Le seul barrage du bassin est celui de Kassou : il s'agit là en fait d'une diguette orientée Nord Ouest Sud Est et dont la hauteur ne dépasse guère trois mètres. Elle sert de radier assurant la liaison entre les deux quartiers nord et sud du village. Elle permet néanmoins d'avoir une retenue parfois pérenne qui sert d'abreuvoir.

Il n'existe pas de forage antérieur à cette étude.

A Nopo, à Métio et à Kayéro ont été édifiées des diguettes jouant un rôle de radier pour la route Ouagadougou-Léo par Sabou. Ces diguettes permettent une retenue amont de l'eau qui constitue ainsi des mares temporaires.

2.4. - CONCLUSIONS

Les eaux de surface sont rares et temporaires. Les eaux souterraines ont donc une très grande importance pour les êtres vivants et l'économie du bassin versant de la Haute-Sissili.

Les ouvrages de rétention de l'eau en surface ou d'exploitation des eaux souterraines sont également rares. Ceci s'explique par la très faible densité de la population liée à la présence des simuliesvecteurs de l'onchocerchose, maladie qui est à l'origine du délaissement de nombreux villages dont on voit un peu partout les vestiges.

3. - CLIMATOLOGIE

Au paragraphe III de notre introduction, nous avons déjà indiqué l'appartenance du bassin versant de la Haute-Sissili à une zone de transition entre le climat sud-soudanéen et le climat nord-soudanéen. Examinons maintenant les facteurs climatiques qui caractérisent cette zone.

3.1. - LES TRAVAUX EFFECTUES

Ils ont intéressé la pluviométrie, le ruissellement, les fluctuations des niveaux hydrostatiques des nappes, la température et le pH.

3.1.1 - La pluviométrie

- Les stations préexistantes

L'agence pour la sécurité de la navigation aérienne (ASECNA) avait déjà installé à Thiou, à Gao et à Sapouy des pluviomètres et une station météorologique complète à Léo. Mais actuellement, il n'y a que la température (minimale et maximale journalières) et la pluviométrie qui continuent a être régulièrement mesurées à cette dernière station pour le compte de l'ASECNA.

L'organisme régional de développement (ORD) a lui aussi, installé depuis 1973 des pluviomètres à Kassou, et à Tâbou.

- Les nouvelles stations

Nous avons installé pour cette étude, trois pluviomètres à Nébou, à Névri et à Tô ; trois pluviomètres totalisateurs à Kouri, à Sourou et à Bougnounou. Ces installations dont le but était la densification du réseau de surveillance des précipitations ont permis de réduire à 37 km la distance maximale séparant les 12 stations les unes des autres.

La surveillance des pluviomètres fut confiée aux agents de l'ORD et aux éducateurs ruraux.

3.2. - LE RUISSELLEMENT

Ces mesures ont nécessité l'installation au pont de Nébou (situé à 30 km de Léo, sur la route Léo-Ouagadougou par Sapouy) d'un limnigraphe Aott X à flotteur et à révolution mensuelle. A ce limnigraphe, nous avons associé une échelle limnimétrique de contrôle.

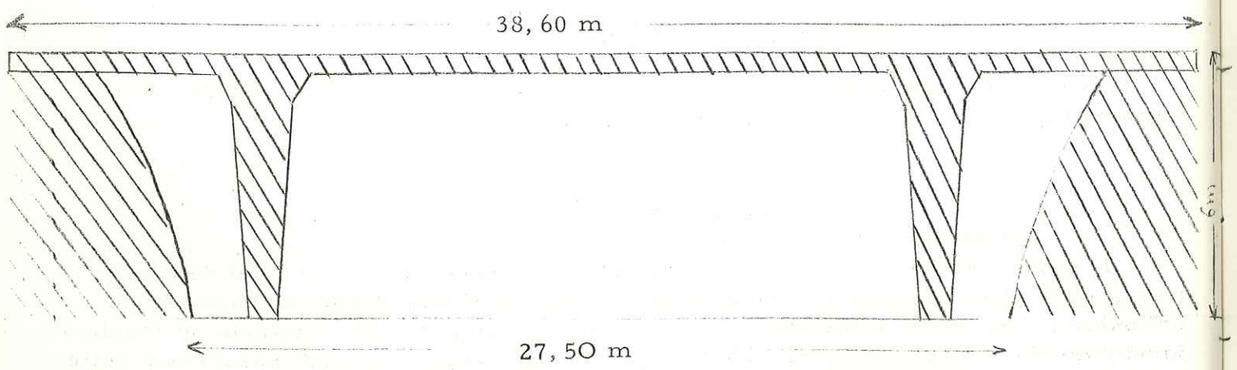
Pour corréler hauteur d'eau et débit, 12 jaugeages dont 6 au saumon et les six autres à la perche ont été réalisés. Tous ces jaugeages eurent lieu au mois d'août où il a fallu rester en permanence à Léo afin de pouvoir surveiller les cotes de l'eau au pont de Nébou.

- La station de jaugeage de Nébou

Le choix du pont de Nébou a surtout été motivé par son accessibilité. De plus, c'est le seul ouvrage important de ce genre sur la Sissili, à partir duquel il est possible d'effectuer des jaugeages au saumon. En l'absence de pont, ces jaugeages se font en pirogue et nécessitent une équipe forte d'au moins quatre personnes.

Le site du pont de Nébou est favorable aux jaugeages, car il ne présente aucune cause de turbulence. Il correspond à un encaissement du lit de la rivière entre deux cuirasses de bordure. La Sissili franchit le pont après un léger méandre amont. Sous le pont, la rivière coule sur ses alluvions argileuses, mais son lit y semble stable.

SCHEMA DU PONT DE NEBOU



3.1.3 - Les fluctuations des niveaux hydrostatiques

Nous avions envisagé au départ la surveillance d'une dizaine de puits convenablement répartis sur toute l'étendue du bassin versant. Cet objectif a dû cependant être abandonné en raison de l'inaccessibilité de certaines stations pendant l'hivernage. Cinq puits seulement situés sur les grands axes reliant Ouagadougou à Léo ont pu être régulièrement suivis.

Les mesures du pH et de la température des eaux furent faites en même temps que celles de la profondeur des niveaux hydrostatiques à raison d'une mesure par mois.

Il n'existe plus sur le bassin versant, de station de mesure de l'évaporation et de de l'humidité relative ; ces facteurs n'étant plus suivis à Léo depuis seulement quatre ans.

3.2. - LES PREMIERS FACTEURS DU CLIMAT

3.2.1 - La température

Comme nous venons de le dire, elle ne fait l'objet de mesures régulières qu'à Léo.

Lorsqu'on tient compte que des moyennes mensuelles, on trouve que la température varie très peu au cours de l'année. Cependant, l'écart entre la température minimale absolue et la température maximale absolue atteint 30° dans l'année. Les amplitudes diurnes sont toujours très élevées, mais elles atteignent leurs valeurs maximales pendant la période fraîche qui s'étend de novembre à février. Les températures les plus basses sont celles du mois de mars.

Pour la période qui va de 1960 à 1970, on a pu enregistrer sous abri à Léo, les moyennes suivantes :

- moyenne des températures maximales : 33°9
- moyenne des températures moyennes : 27°50
- moyenne des températures minimales : 21°1

La station de Léo étant située au Sud du bassin, on peut prévoir pour ce dernier des moyennes plus élevées pour les températures maximales, car celles-ci croissent du Sud vers le Nord en Haute-Volta. Les amplitudes diurnes varient également dans le même sens.

3.2.2 - L'humidité relative de l'air

L'alternance saison sèche-hivernage lui impose de grandes variations annuelles. Les moyennes mensuelles passent de 24 % en janvier à 81 % en août, soit un écart de 57 %.

Les moyennes annuelles de l'humidité relative sous abri à Léo de 1960 à 1970 ont été de :

- 64 % à 8 heures,
- 48 % à 12 heures
- 49 % à 17 heures

3.2.3 - L'évaporation

Elle varie dans le sens inverse de l'humidité relative, connaissant son maximum en janvier et son minimum en août. A Léo, la moyenne de l'évaporation mesurée à l'évaporomètre Piche entre 1960 et 1970 est de : 2 452 mm/an.

3.2.4. - Les vents

Le bassin versant de la Sissili connaît les mêmes types de vents (harmattan, alisé, mousson) que le reste de la Haute-Volta. Mais son appartenance à la zone sud du du territoire lui fait bénéficier d'une longue saison de pluies. D'autre part, l'importance de la densité du couvert végétal atténue la violence de l'harmattan.

De l'action combinée des facteurs température, vents et pluies, résulte un climat plus doux que celui que l'on connaît à Ouagadougou situé au Nord du bassin versant.

3.2.5 - La période favorable aux études géologiques

En principe toute la saison sèche est favorable aux études sur le terrain. Mais une importante couverture d'herbe cache tout à la fin de l'hivernage. Il faut donc attendre que celle-ci soit piétinée par les animaux et surtout brûlée par les chasseurs pendant les mois de janvier et de février. On peut travailler de février à juin. Il faut cependant, dès la première quinzaine de ce dernier mois, craindre les éléphants qui, avec les premières pluies commencent à migrer de l'Est vers l'Ouest du bassin.

TABLEAUX CLIMATOLOGIQUES DE LA STATION DE LEO (période 1960-1970)

EVAPORATION MOYENNE en mm à L'EVAPOROMETRE PICHE

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
388.7	363.6	350.3	239	168.6	114.1	80.4	55.5	57.1	104.1	204.4	326.6	9 452

MOYENNE DE L'HUMIDITE RELATIVE SOUS ABRI (%)

heures de mesure 08, 12, 17 heures

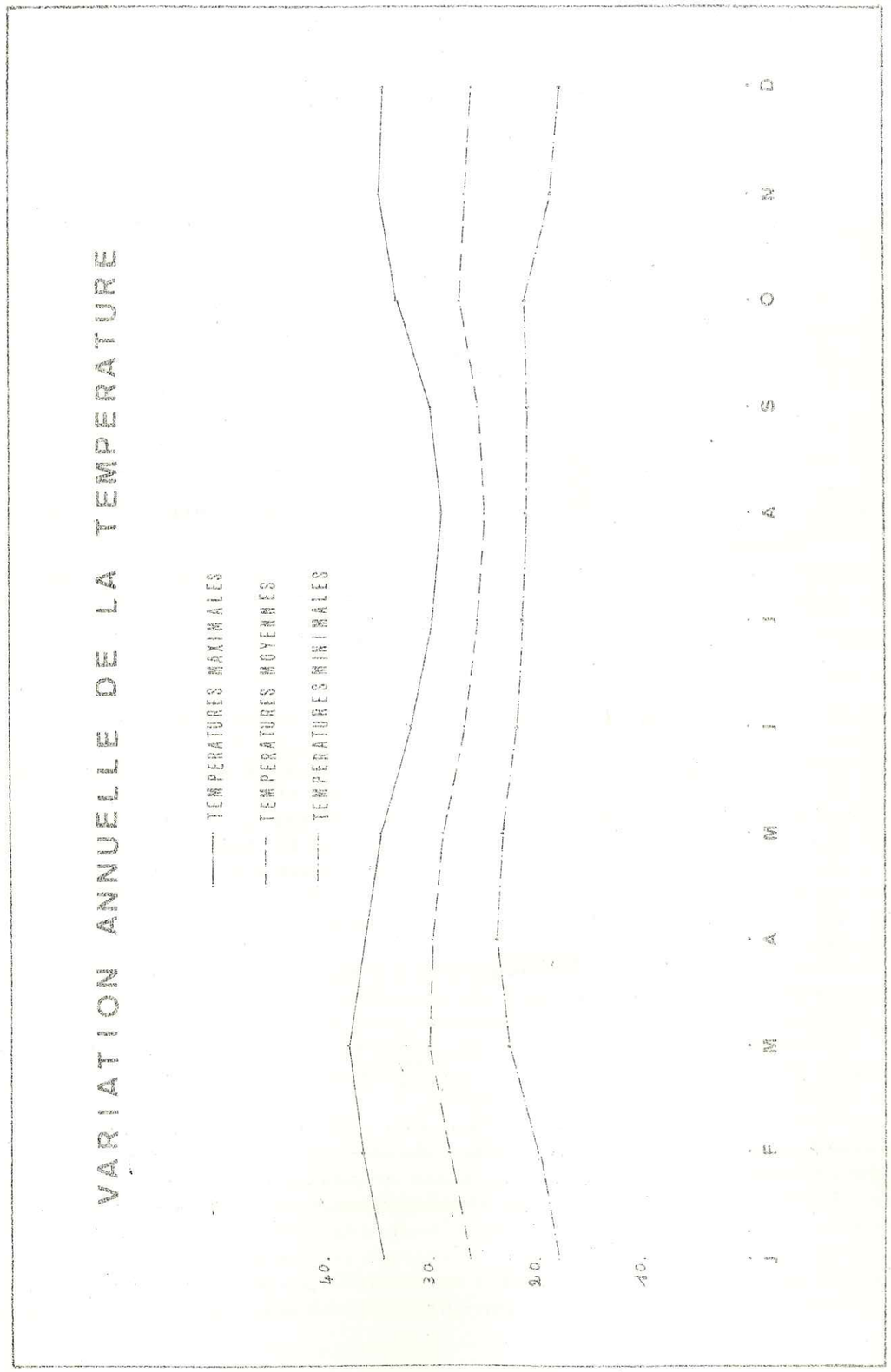
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
32	33	46	65	76	81	87	90	87	79	58	37	64
19	21	28	44	56	65	71	77	73	57	36	23	48
21	21	26	41	53	63	72	78	78	64	45	29	49

MOYENNE DES TEMPERATURES MAXIMALES, MOYENNES, MINIMALES

(sous abri)

TEMPERATURES MINIMALES ABSOLUES

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
34.9	36.7	38.1	36.5	35.0	32.2	30.2	29.3	30.4	33.5	35.2	34.8	33.9
26.5	28.5	30.4	30.2	29.2	27.2	25.2	25.3	25.7	27.5	27	26.4	27.5
18.2	20.4	22.8	24.0	23.5	22.1	21.6	21.2	21.0	21.4	18.9	18.0	21.1
12.0	15.0	15.0	170	17.5	15.0	18.0	18.0	18.4	17.1	13.2	12.0	



3.3. - LES FACTEURS DU BILAN D'EAU DU BASSIN

3.3.1 - La pluviométrie

La saison des pluies dure de mai à octobre, mais la pluviométrie maximale est toujours connue au mois d'août où il n'est pas rare d'enregistrer la moitié des précipitations annuelles. Les pluies sont donc mal réparties non seulement sur toute l'année, mais aussi pendant l'hivernage.

Le bassin versant de la Haute-Sissili est compris entre les isohyètes 1050 et 900 mm. La pluviométrie de ces quatre dernières années est déficitaire, comme d'ailleurs dans tout le Sahel.

TABLEAU PLUVIOMETRIQUE DES STATIONS ASECNA

périodes / stations	1960 à 1970	1970	1971	1972	1973	1974
GAO		741	818.3	755	747.5	822.1
LEO	1066.9	835	1152.2	826.9	1005.8	1149.4
SAPOUY	915.9	669	940.6	785.3	646	889
THIOU		643	747	792.4	705.8	777.4

En 1974 on a pu enregistrer partout dans le bassin versant des pluies dès le mois d'avril ; on peut cependant noter que la vraie saison des pluies n'a commencé qu'en fin juin, donc très tardivement par rapport aux autres années. Dans le tableau de la figure 6 nous donnons la pluviométrie mensuelle des 9 stations d'observations journalières ainsi que la pluviométrie moyenne annuelle des 12 stations.

La pluviométrie moyenne annuelle pour l'ensemble du bassin versant n'a été que de 862 mm pour l'hivernage 1974. Si cette pluviométrie est supérieure à celle des trois années précédentes (1971, 1972, 1973), elle est néanmoins déficitaire par rapport à la moyenne de la période 1960-1970 qui place le bassin versant tout entier entre les isohyètes 1050 et 900 mm.

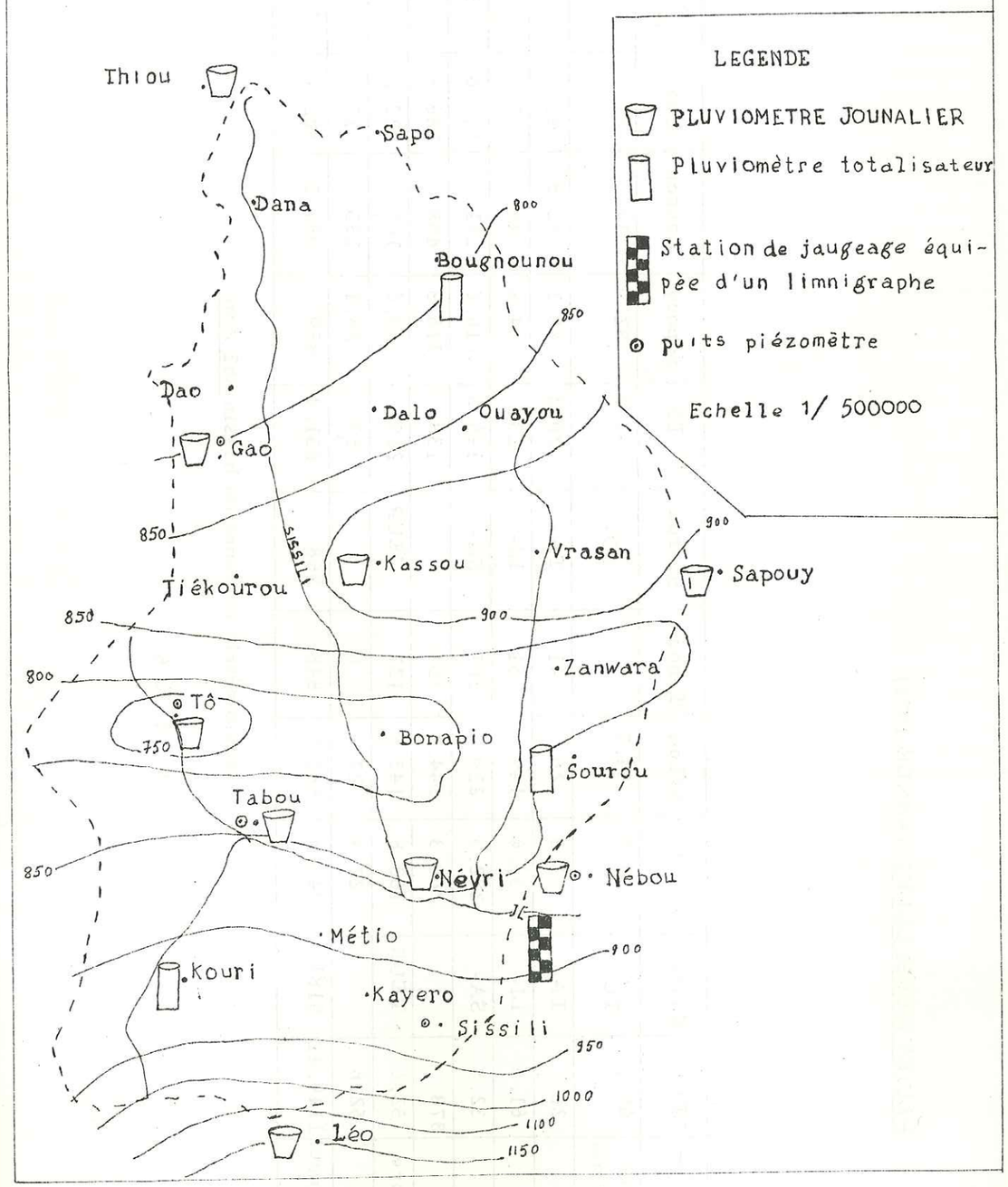
On remarque que même au niveau du bassin versant il y a une régression de la pluviométrie du Sud vers le Nord (carte des isohyètes).

La région de Tô a connu une pluviométrie particulièrement déficitaire. Par contre, celle de Kassou a reçu 954 mm, pluviométrie qui est supérieure à la moyenne du bassin alors que la station de Kassou occupe géographiquement le centre du bassin.

Nous donnons en figures 7 et 8 la répartition annuelle des précipitations à Kassou, nous y avons enregistré 954 mm de pluie tombée en 57 jours soit une averse moyenne de 17 mm ; lorsqu'on sait que ces précipitations arrivent sous forme d'orages parfois violents, dont la durée n'excède pas une à deux heures, on comprend l'importante action érosive exercée par ces pluies sur les sols, malgré la faiblesse des pentes. Il s'en suit que l'eau des premières pluies est très chargée et très trouble. Cette érosion des sols, qui au début de l'hivernage s'exerce sur un matériel qui s'y prête beaucoup (sol dénudé par les feux de brousse) s'amenuise très vite avec l'apparition du couvert végétal.

BASSIN DE LA HAUTE SISSILI

Réseau météorologique



PLUIES MENSUELLES (ANNEE 1974)

Localités / Moisiées	LEO	Kouri	Novri	Nébou	Tabou	Sourou	Tô	Sopouy	Kassou	Gao	Bou-younou	Thiou	moy. mens.
Pluie antérieure à mai	69.7	TO-	54.7	54.7		TO-	43.2	82.9	34	31.6	TO-	27.5	44.24
Mai	26	TA-	71.5	26	41	TA-	20.2	49.2	82.5	21	TA-	41.4	42.2
Juin	61.6	LI-	33.6	149	51	LI-	23	54.8	46	73.7	LI-	77.5	63.1
Juillet	32.8	SA-	232.3	219	267	SA-	146.3	216.8	181	193.6	SA-	126.3	179
Août	378		269.3	244.4	354		138	376.8	498	266.8		249.1	305
Septembre	52.6	TEUR	162.8	143.7	127	TEUR	210	163.6	163	223.2	TEUR	205.1	164.5
Octobre	52.6		22.4	27	8		53	28.1	135	12.2		50.3	29.6
Total annuel	1149.41	9181	846.6	862.7	848	868	631.4	889	954.5	822.1	786	777.4	862

Pluviométrie moyenne du bassin 862 mm

FIGURE 6

TABLEAU PLUVIOMETRIQUE DE LA STATION DE KASSOU (1974)

	avril	mai	juin	juillet	août	septem.	octobre
1					40	6	8.5
2							
3							
4							
5					1.0	12.5	
6				27			
7			36		2.0	12.5	
8				1.0		12	
9				2.0			
10					30	9.5	2.5
11		11					2.5
12				13	48	2.0	
13					25	33	
14					30		
15			35	48	8		
16					63	3.5	
17					3.0		
18						12.5	
19			2.0				
20				8.0	21	0.5	
21		48			8.5		
22				42	12.5	12.5	
23							
24				42	20		
25					42.5		
26	34	0.5			8.5		
27				13	20	33.5	
28		21					
29			8.0	4.0			
30		2.0			5.0	5.5	
total mensuel	34	82.5	46	187	428	163.5	13.5

FIGURE 7

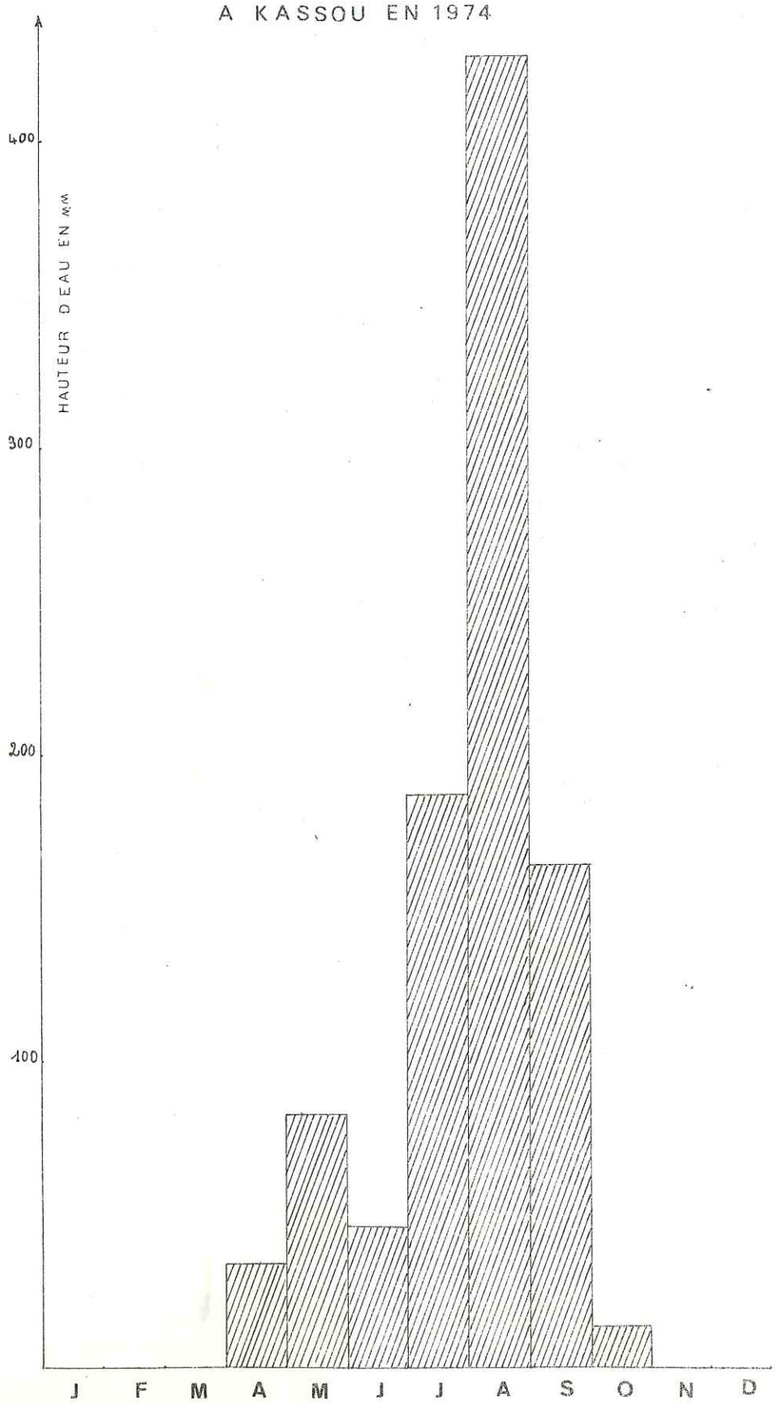


FIGURE 7

3.3.2 - Le ruissellement

Il s'est traduit par l'écoulement d'une lame d'eau dont la hauteur a été enregistrée par le limnigraphe du pont de Nébou qui a fonctionné d'avril à octobre.

La figure 9 nous montre un enregistrement des hauteurs du mois d'août. Elle permet de voir comment se fait l'enregistrement : un balayage complet de la feuille ne fait que 2, 50 mètres ; en période de crue, pour enregistrer des hauteurs d'eau supérieures à 2, 50 m, il se produit un premier retournement au haut de la feuille à 2, 50 m, puis un deuxième retournement au bas de la feuille, à 5 mètres, puis un troisième à 7, 50 mètres et ainsi de suite.

La plus grande hauteur d'eau enregistrée en 1974 a été celle du 17 août qui a atteint 4, 17 mètres. Comme nous étions au pont de Nébou pendant la crue, un jaugeage a pu être réalisé à 4, 05 m.

Nous pouvons résumer le dépouillement de l'enregistrement limnimétrique annuel par le tableau des hauteurs d'eau journalières (fig. 10) et par le diagramme lui correspondant de la figure 11.

L'écoulement qui était nul avant la saison des pluies a commencé avec elle et a pris fin 10 jours après la dernière pluie du mois d'octobre.

A cause de la faiblesse des pentes, l'eau des pluies s'évacue très lentement entrainant pour la rivière un temps de réponse très grand, pouvant atteindre 12 et même 24 heures. La crue du 17 août correspond par exemple à un effet cumulé des averses du 15 et du 16 août.

Pour calculer les débits correspondant aux hauteurs enregistrées, nous avons effectué les 12 jaugeages de la figure 12, jaugeages qui nous ont permis de tracer la courbe de tarage de la figure 13.

--Exploitation de la courbe de tarage

Elle va consister en l'établissement du barème hauteurs-débits de la rivière à partir de simples lectures graphiques (fig. 14). Ce barème va nous permettre ensuite de dresser un tableau des dèbits moyens journaliers puis de tracer le diagramme qui lui est associé (fig. 15 et 16).
La courbe de tarage a une allure parabolique. Essayons de voir s'il n'existe pas une relation simple entre le débit et la hauteur d'eau. Pour cela, posons:
$Log(y) = f(x)$. En portant y le débit en ordonnées et x la hauteur d'eau en abscisses sur un papier semi-logarithmique, nous constatons que les points de coordonnées x et y se distribuent selon deux droites: une première de pente forte (3, 078) à laquelle succède une deuxième de coefficient angulaire moins élevé (1, 819) et d'équation
$y = 1,819x + Log3$ à partir de 1, 50 mètres de hauteur d'eau (fig. 17).

--Calcul du volume d'eau écoulé

Il peut se faire soit en planimétrant la surface délimitée par la courbe du diagramme des débits moyens journaliers et par l'axe des temps, soit en calculant le débit moyen qu'on multiplie par le temps.
Nous trouvons pour l'année 1974 un volume d'eau écoulé de 61.200,000m^3.Rapporté à la surface du bassin versant, il lui correspond 190mm de hauteur d'eau de pluie soit environ 21% de la pluviométrie annuelle.

3. 3. 3- Relation entre l'écoulement et les précipitations

Aux périodes de fortes pluies correspondent des grandes quantités d'eau écoulée; le mois d'août en est un exemple frappant. Mais, lorsque nous considérons les deux périodes qui précède et succède à ce dernier mois, nous constatons que pour des précipitations égales, l'écoulement est plus important après le mois d'août. l'explication qu'on peut en donner est la densification du couvert végétal. L'effet de celui-ci serait à la fin de l'hivernage que ce connait en zone forestière (fig. 18). D'autre part, le sol est gorgé d'eau dès la fin du mois d'août et a tendance à absorber moins d'eau qu'en juin et en juillet.

HAUTEURS D'EAU JOURNALIERES en m

Cours d'eau: SISSILI - Station: NEBOU

	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEM.	OCTOB.
1	0,06			0,65	1,18	1,00	0,38
2	0,02			0,55	1,45	1,04	0,42
3	0,00			0,45	1,31	1,09	0,44
4				0,39	1,74	1,12	0,41
5			0,90	0,22	1,75	1,17	0,37
6			0,52	0,14	1,26	1,21	0,31
7			0,13	0,11	0,79	1,25	0,29
8				0,08	0,52	1,29	0,26
9				0,06	0,37	1,33	0,24
10				0,05	0,32	1,11	0,30
11				0,04	0,70	0,93	0,34
12				0,03	0,72	0,82	0,27
13				0,03	0,81	1,11	0,27
14				0,02	1,20	1,44	0,24
15				0,73	2,80	1,39	0,23
16				1,01	3,46	1,54	0,20
17				0,92	4,04	1,56	0,18
18				0,61	3,88	1,48	0,17
19				0,92	3,14	1,44	0,14
20				1,37	2,24	1,27	0,11
21				1,38	1,61	1,09	0,08
22				1,16	1,25	0,86	0,04
23				1,96	1,25	0,67	0,00
24		0,22		2,88	1,18	0,55	-0,05
25		0,29		2,38	0,96	0,47	-0,09
26		0,16		2,14	0,74	0,39	-0,13
27		0,00		2,32	0,81	0,30	
28		-0,03		1,98	1,12	0,38	
29		-0,04		1,72	1,37	0,38	
30				1,78	1,30	0,40	
31				1,60	1,21		

FIGURE 9

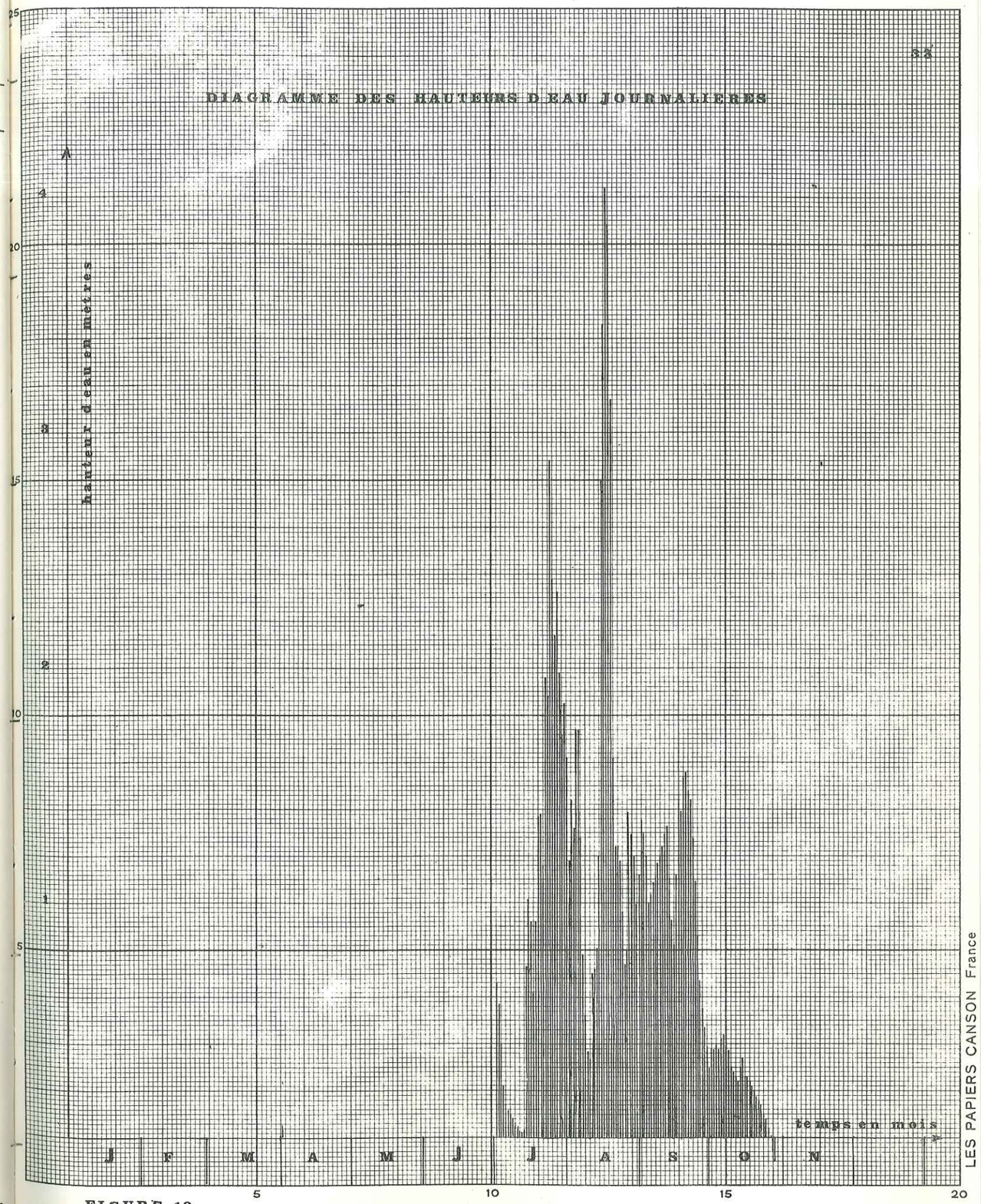
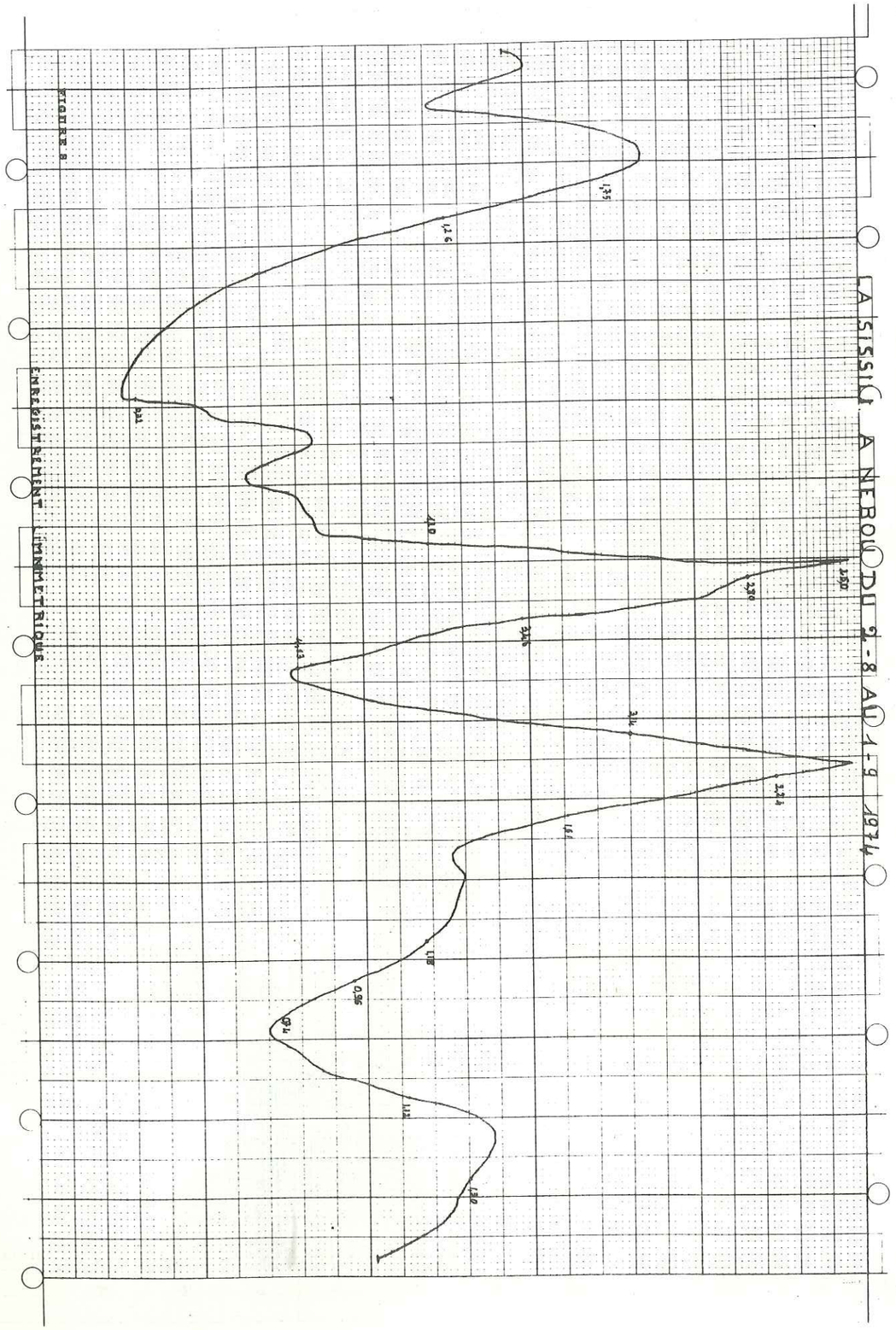


FIGURE 10



Rivière: SISSILI - Station: NEBOU - Jaugeage du: 8 août 1974
Observations: Jeaugeages au saumon - Moulinet: 16 148 - Hélice n° 418 437
Heure: D 9h30 - F 10h

	Distances	Profondeurs	Profondeurs corrigées	N/Tours	T/sec.	N/T	Vm/sec.
RG							
	6m	0,42	0,37				
		0,30	0,25	4	20	0,20	0,070
V1		0,20	0,15	16	20	0,80	0,149
		0,10	0,05	19	20	0,95	0,166
	8m	0,50	0,45	0			
		0,30	0,25	6	20	0,30	0,083
V2		0,20	0,15	19	20	0,95	0,166
		0,10	0,05	26	20	1,30	0,210
	10m	0,55	0,50				
		0,50	0,45	14	20	0,70	0,134
V3		0,30	0,25	22	20	1,70	0,185
		0,20	0,15	31	20	1,55	0,243
		0,10	0,05	29	20	1,45	0,230
	12m	0,55	0,50	0			
		0,50	0,45	50	20	2,50	0,363
V4		0,30	0,25	51	20	2,55	0,370
		0,20	0,15	52	20	2,60	0,376
		0,10	0,05	50	20	2,50	0,363
	14m	0,60	0,55	27	20	1,35	0,217
		0,40	0,35	63	20	3,15	0,449
V5		0,20	0,15	53	20	2,65	0,382
		0,10	0,05	58	20	2,90	0,415
	16m	0,48	0,43				
		0,40	0,35	10	20	0,50	0,109
V6		0,20	0,15	5	20	0,25	0,074
	18m	0,38	0,33				
V7		0,30	0,25	13	20	0,65	0,128
		0,20	0,15	15	20	0,75	0,141
		0,10	0,05	13	20	0,65	0,128
	20m	0,22	0,17	20	20	1,00	0,172
V8		0,10	0,05	27	20	1,35	0,217
RD	à 23m						

FIGURE 11 : exemple de feuille de jaugeage

JAUGEAGES EFFECTUES AU PONT DE NEBOU

Rivière: SISSILI

Numéro du jaugeage	Hauteur d'eau à l'échelle	Débits en m3	Dates
1	0,71	1,925	01/ 07/ 1974
2	1,46	9,02	02/ 08/ 1974
3	1,23	5,680	03/ 08/ 1974
4	1,67	10,54	05/ 08/ 1974
5	0,52	1,85	08/ 08/ 1974
6	0,26	0,76	10/ 08/1974
7	2,80	33,8	15/ 08/ 1974
8	2,74	29,52	15/ 08/ 1974
9	3,38	47,44	16/ 08/ 1974
10	4,05	72,00	17/ 08/ 1974
11	3,00	27,20	19/ 08/ 1974
12	2,40	18,32	20/ 08/ 1974

FIGURE 12

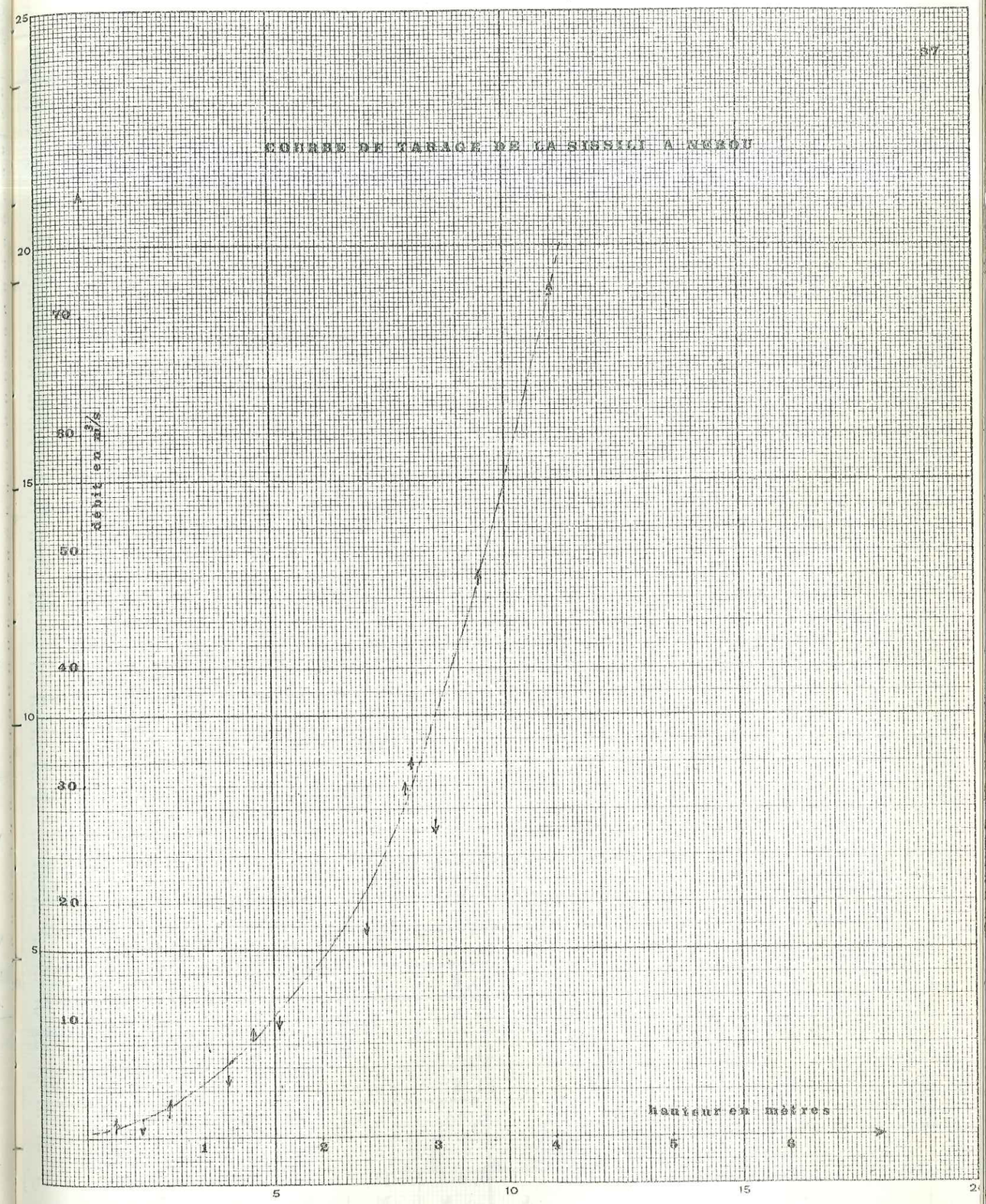


FIGURE 13

DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN m3

ANNEE 1974

	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEM.	OCTOBRE
1	0,61			2,09	5,59	4,12	1,10
2	0,52			1,65	8,23	4,44	1,21
3	0,50			1,30	6,77	4,85	1,27
4				1,13	11,3	5,10	1,18
5			3,46	0,76	11,4	5,51	1,08
6			1,56	0,65	6,30	5,84	0,94
7			0,64	0,61	2,75	6,21	0,90
8				0,58	1,52	6,58	0,84
9				0,56	1,08	6,95	0,80
10				0,55	0,97	5,02	0,92
11				0,94	2,33	3,66	1,01
12				0,53	2,42	2,93	0,86
13				0,53	2,87	5,02	0,86
14				0,52	5,75	8,02	0,80
15				2,47	29,1	7,51	0,78
16				4,20	49,4	9,07	0,72
17				3,59	72,2	9,28	0,70
18				1,90	65,2	8,44	0,68
19				3,59	38,9	8,02	0,65
20				7,32	18,2	6,40	0,61
21				7,42	24,7	4,85	0,58
22				5,43	6,21	3,20	0,54
23				14,1	6,21	2,18	0,50
24		0,71		31,3	5,59	1,65	0,45
25		0,90		20,5	0,96	1,35	0,41
26		0,67		16,7	2,52	1,13	0,37
27		0,50	0,71	19,5	2,87	0,92	
28		0,47	0,80	14,3	5,10	1,06	
29		0,46	0,90	11,1	7,32	1,10	
30			0,99	11,8	6,68	1,15	
31				9,70	5,84		
				6,4	11,2	4,7	0,8

MOYENNE ANNUELLE: 5,8

FIGURE 15

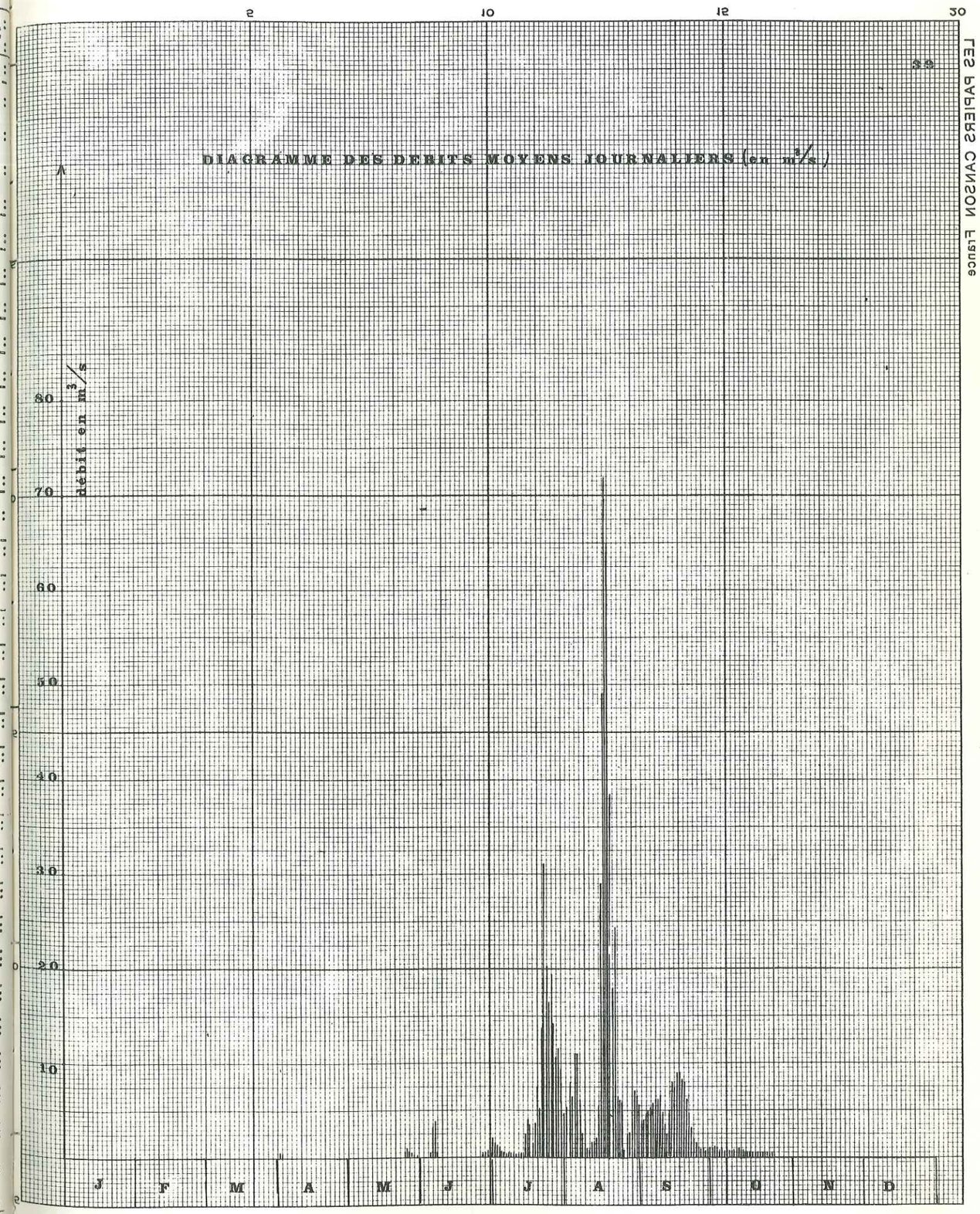


FIGURE 16

BARÈME N° 4 RIVIÈRE SISSILI STATION NEBOU DATE

D. 2-69

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0.00		0	0,50	0.50	1,44	1.00	4,12	1.50	8,65	2.00	14,6	2.50	22,7	3.00	34,7	3.50	50,8	4.00	70,4	4.50	
1		1	0,51	1	1,48	1	4,20	1	8,75	1	14,7	1	22,9	1	35,0	1	51,2	1	70,9	1	
2		2	0,52	2	1,52	2	4,28	2	8,86	2	14,9	2	23,1	2	35,3	2	51,5	2	71,3	2	
3		3	0,53	3	1,56	3	4,36	3	8,96	3	15,0	3	23,2	3	35,6	3	51,9	3	71,8	3	
4		4	0,54	4	1,60	4	4,44	4	9,07	4	15,2	4	23,4	4	35,9	4	52,2	4	72,2	4	
5		5	0,55	5	1,65	5	4,53	5	9,17	5	15,3	5	23,6	5	36,2	5	52,6	5	72,7	5	
6		6	0,56	6	1,69	6	4,61	6	9,28	6	15,5	6	23,8	6	36,5	6	53,0	6	73,2	6	
7		7	0,57	7	1,73	7	4,69	7	9,38	7	15,6	7	24,0	7	36,8	7	53,3	7	73,6	7	
8		8	0,58	8	1,77	8	4,77	8	9,49	8	15,6	8	24,1	8	37,1	8	53,7	8	74,1	8	
9		9	0,59	9	1,81	9	4,85	9	9,59	9	15,8	9	24,1	9	37,1	9	53,7	9	74,5	9	
0.40		0.10	0,60	0.60	1,85	1.10	4,94	1.60	9,70	2.10	16,1	2.60	24,5	3.10	37,7	3.60	54,4	4.10	75,0	4.60	
1		1	0,61	1	1,90	1	5,02	1	9,81	1	16,2	1	24,7	1	38,0	1	54,8	1	75,4	1	
2		2	0,62	2	1,95	2	5,10	2	9,93	2	16,4	2	25,0	2	38,3	2	55,1	2	75,8	2	
3		3	0,64	3	1,99	3	5,18	3	10,0	3	16,5	3	25,2	3	38,6	3	55,5	3	76,3	3	
4		4	0,65	4	2,04	4	5,26	4	10,2	4	16,7	4	25,4	4	38,9	4	55,9	4	76,7	4	
5		5	0,66	5	2,09	5	5,35	5	10,3	5	16,8	5	25,7	5	39,2	5	56,2	5	77,1	5	
6		6	0,67	6	2,14	6	5,43	6	10,4	6	17,0	6	25,9	6	39,4	6	56,6	6	77,5	6	
7		7	0,68	7	2,18	7	5,51	7	10,5	7	17,1	7	26,1	7	39,8	7	57,0	7	77,9	7	
8		8	0,70	8	2,23	8	5,59	8	10,6	8	17,3	8	26,3	8	40,1	8	57,4	8	78,4	8	
9		9	0,71	9	2,28	9	5,67	9	10,7	9	17,4	9	26,6	9	40,4	9	57,7	9	78,8	9	
0.30		0.20	0,72	0.70	2,33	1.20	5,75	1.70	10,9	2.20	17,6	2.70	26,8	3.20	40,7	3.70	58,1	4.20	79,2	4.70	
1		1	0,74	1	2,37	1	5,84	1	11,0	1	17,8	1	27,0	1	41,0	1	58,5	1		1	
2		2	0,76	2	2,42	2	5,94	2	11,1	2	17,9	2	27,3	2	41,4	2	58,8	2		2	
3		3	0,78	3	2,47	3	6,03	3	11,2	3	18,1	3	27,5	3	41,7	3	59,2	3		3	
4		4	0,80	4	2,52	4	6,12	4	11,3	4	18,2	4	27,7	4	42,0	4	59,6	4		4	
5		5	0,82	5	2,56	5	6,21	5	11,4	5	18,4	5	28,0	5	42,4	5	60,0	5		5	
6		6	0,84	6	2,61	6	6,30	6	11,5	6	18,6	6	28,2	6	42,7	6	60,3	6		6	
7		7	0,86	7	2,66	7	6,40	7	11,7	7	18,7	7	28,4	7	43,0	7	60,7	7		7	
8		8	0,88	8	2,71	8	6,49	8	11,8	8	18,9	8	28,6	8	43,4	8	61,2	8		8	
9		9	0,90	9	2,75	9	6,58	9	11,9	9	19,0	9	28,9	9	43,7	9	61,4	9		9	
0.20		0.30	0,92	0.80	2,80	1.30	6,68	1.80	12,0	2.30	19,2	2.80	29,1	3.30	44,0	3.80	61,8	4.30		4.80	
1		1	0,94	1	2,87	1	6,77	1	12,1	1	19,4	1	29,4	1	44,4	1	62,2	1		1	
2		2	0,97	2	2,93	2	6,86	2	12,3	2	19,5	2	29,7	2	44,7	2	62,7	2		2	
3		3	0,99	3	3,00	3	6,95	3	12,4	3	19,7	3	29,9	3	45,1	3	63,1	3		3	
4		4	1,01	4	3,06	4	7,05	4	12,5	4	19,8	4	30,2	4	45,4	4	63,5	4		4	
5		5	1,04	5	3,13	5	7,14	5	12,7	5	20,0	5	30,5	5	45,7	5	64,0	5		5	
6		6	1,06	6	3,20	6	7,23	6	12,8	6	20,2	6	30,8	6	46,1	6	64,4	6		6	
7		7	1,08	7	3,26	7	7,32	7	12,9	7	20,3	7	31,1	7	46,4	7	64,8	7		7	
8		8	1,10	8	3,33	8	7,42	8	19,0	8	20,5	8	31,3	8	46,7	8	65,2	8		8	
9		9	1,13	9	3,39	9	7,51	9	13,2	9	20,6	9	31,6	9	47,1	9	65,7	9		9	
0.10		0.40	1,15	0.90	3,46	1.40	7,60	1.90	13,3	2.40	20,8	2.90	31,9	3.40	47,4	3.90	66,1	4.40		4.90	
1		1	1,18	1	3,53	1	7,70	1	13,4	1	21,0	1	32,2	1	47,7	1	66,5	1		1	
2		2	1,21	2	3,59	2	7,81	2	13,6	2	21,2	2	32,5	2	48,1	2	67,0	2		2	
3		3	1,24	3	3,66	3	7,91	3	13,7	3	21,4	3	32,7	3	48,4	3	67,4	3		3	
4		4	1,27	4	3,72	4	8,02	4	13,8	4	21,6	4	33,0	4	48,8	4	67,8	4		4	
5		5	1,30	5	3,79	5	8,12	5	14,0	5	21,7	5	33,3	5	49,1	5	68,3	5		5	
6		6	1,32	6	3,86	6	8,23	6	14,1	6	21,9	6	33,6	6	49,4	6	68,7	6		6	
7		7	1,35	7	3,92	7	8,33	7	14,2	7	22,1	7	33,9	7	49,8	7	69,1	7		7	
8		8	1,38	8	3,99	8	8,44	8	14,3	8	22,3	8	34,1	8	50,1	8	69,5	8		8	
9		9	1,41	9	4,05	9	8,54	9	14,4	9	22,5	9	34,4	9	50,5	9	70,0	9		9	
0		0.50	1,44	1.00	4,12	1.50	8,65	2.00	14,6	2.50	22,7	3.00	34,7	3.50	50,8	4.00	70,4	4.50		5.00	

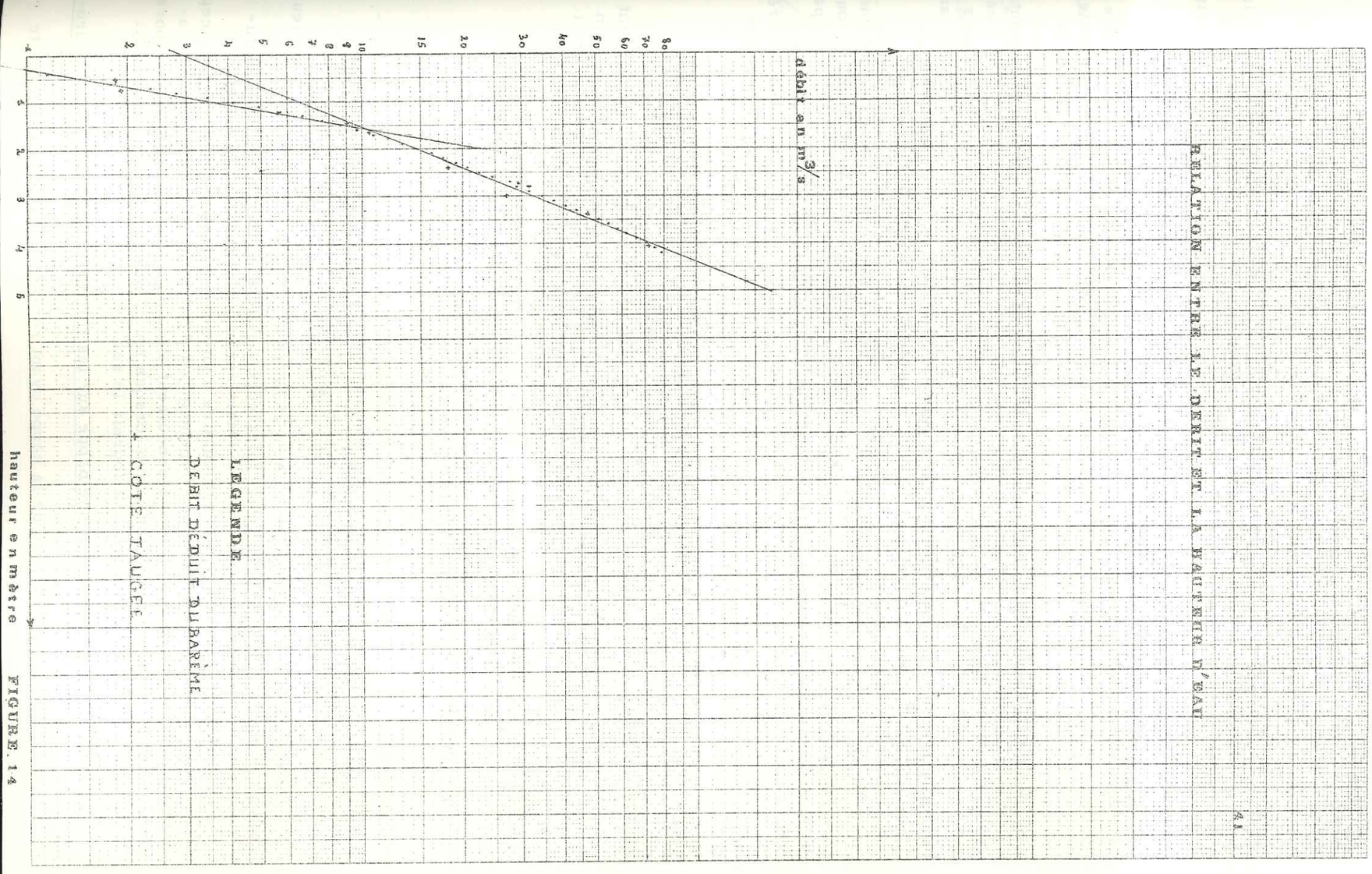


FIGURE. 1.4

Il est impossible de dégager une relation nette entre les précipitations journalières et l'accroissement du débit à cause du caractère local des pluies qui tombent sous forme d'orage. Néanmoins, on voit que la rivière après une reponse à une pluie amorse tout de suite une décrue dont l'allure de la courbe est semblable à celle de la crue et que le débit tend très vite à s'annuler si les précipitations étaient espacées seulement de quelques jours. Les nappes ne jouent donc pas ici un rôle de régulateur de débit.

Le volume d'eau écoulé est faible; il correspond au ruissellement au sens strict du mot puisque l'écoulement superficiel ne bénéficie pas d'une restitution d'eau de la part des nappes souterraines. Celles-ci restent assez basses pendant toute la durée de la saison des pluies. Il y a une indépendance entre l'eau d'infiltration et le ruissellement. Le fond de la rivière est même colmaté par des argiles alluvionnaires; en février, nous avons pu constater ce phénomène en creusant un puisard à 200mètres environ à l'aval du pont de Nébou et à un mètre d'une mare. Nous n'y avions rencontré le toit de la nappe qu'à trois mètres en dessous du niveau de la mare. La rivière est donc perchée par rapport à la nappe. Les argiles qui étanchent le fond des marigots semblent jouer un rôle dans la protection des nappes contre l'évapotranspiration car les fluctutions des niveaux hydrostatiques sont très faibles dans le lit des rivières.

- Conclusions: La rivière est perchée par rapport aux nappes d'eau souterraines; les précipitations que reçoit le bassin versant alimentent un écoulement spontané tout en rechargeant les nappes dont le toit reste bas même aux périodes de hautes eaux par rapport au lit de la rivière. Néanmoins, on peut se demander si certaines mares pérennes situées à l'aval du pont de Nébou ne reçoivent pas des apports d'eau infiltrée ne serait-ce que pendant une courte période après la saison des pluies. Auquel cas il y aurait des inferoflux locaux qui aideraient ces mares à se perpétuer.

3.3.4- Le déficit d'écoulement

Il est très élevé et vaut: P (précipitations) - E (écoulement) c'est à dire: 862mm - 190mm = 672mm soit 78% de l'apport pluviométrique annuel. En prenant pour base de calcul les données de la station de Kassou on obtient: 954-190= 764mm soit 80% des préci précipitations. L'utilisation des données de Kassou nous conduit à des résultats qui se rapprochent beaucoup de ceux calculés pour Parakou au nord Dahomey en 1963 (fig. 18).

Le déficit d'écoulement va se repartir entre l'infiltration, l'évapotranspiration directe et l'évapotranspiration différée.

3.3.5- Les fluctuations des niveaux hydrostatiques

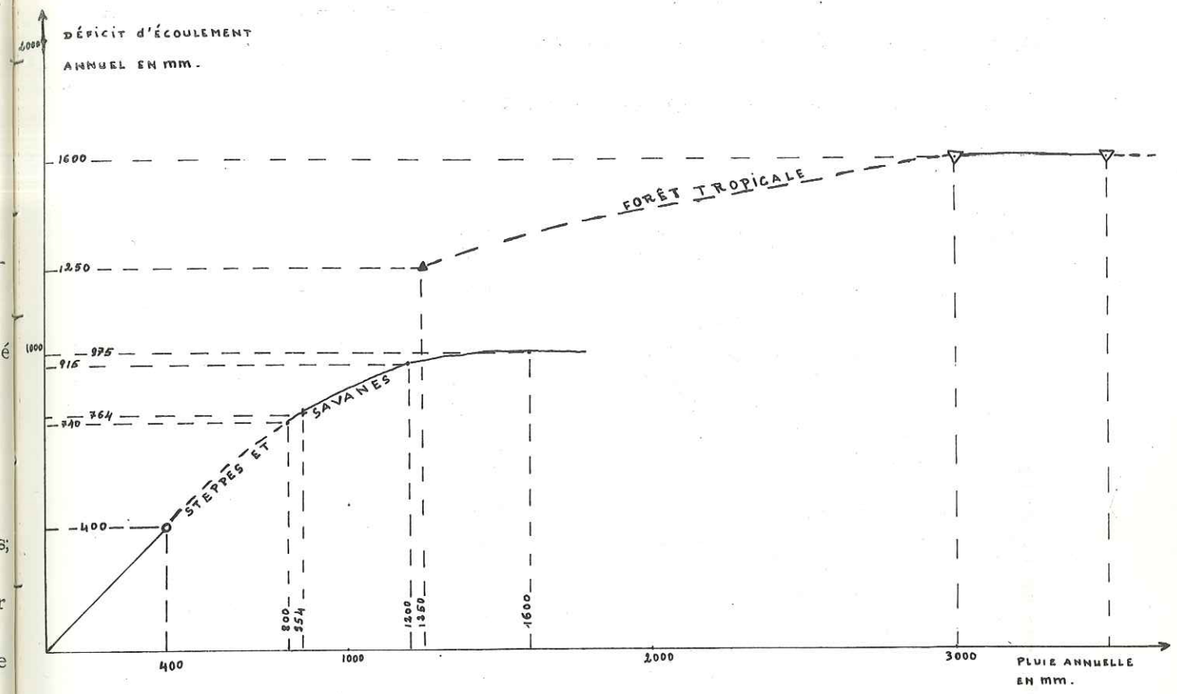
Elles sont l'expression de l'action de l'évaporation, de l'évapotranspiration différée et de l'infiltration sur les nappes.

- Action de l'évaporation et de l'évapotranspiration

La partie tout à fait supérieure du sol en contact avec l'atmosphère va être soumise à l'évaporation si la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air est inférieure à la tension de vapeur d'eau saturante dans le sol à la même température. Mais après l'assèchement de l'extrême surface du sol, l'évaporation devient tributaire d'un renouvellement d'humidité susceptible de venir des couches profondes. Cependant, à partir d'une certaine valeur (valeur critique), les fortes évaporations conduisent à l'annulation de l'effet de l'évaporation sur le sol. Cette autolimitation a lieu lorsque les débits demandés par l'évaporation sont supérieurs à ceux que peut fournir le sol.

- Influence de la profondeur d'une nappe sur les fluctuations de son niveau hydrostatique

Admettons que le niveau de la nappe ayant remonté de 5mètres (à la suite

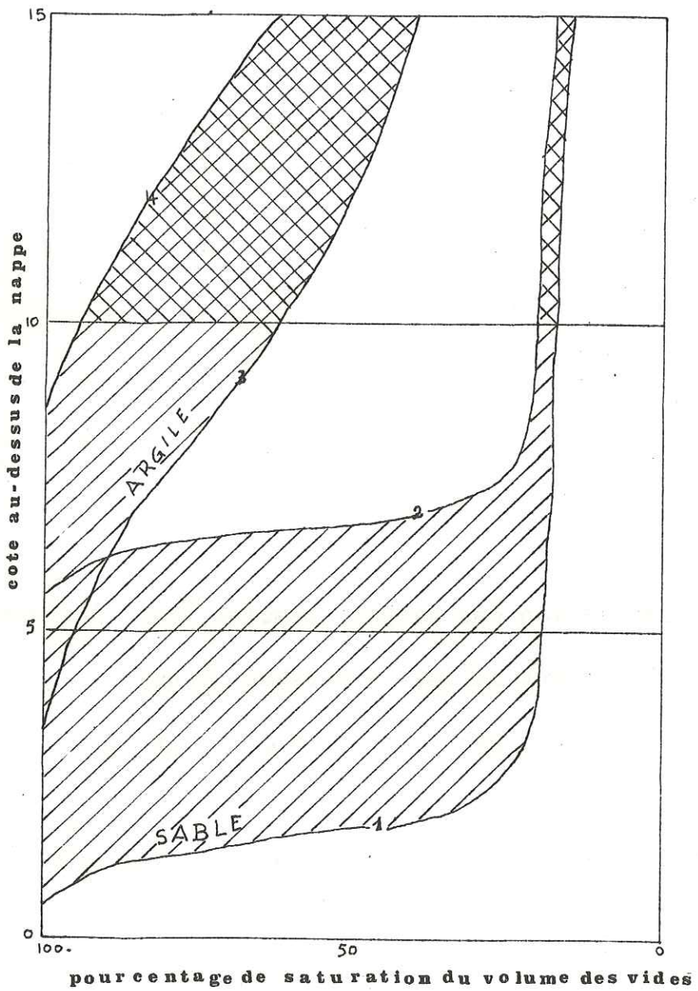


- o seuil d'alimentation des nappes (Lemoine 1954, Archambault 1960)
- • déficit d'écoulement calculé à Parakou (Dahomey)
- ▲ déficit d'écoulement mesuré en Cote D'Ivoire (Archambault 1960)
- ▽ déficit d'écoulement mesuré en Guyane française (Hiez 1963)
- + déficit d'écoulement calculé à Kassou (Léo-Haute-VOLTA 1974)

FIGURE 18

PROFIL D'HUMIDITE A L'EQUILIBRE AVANT ET APRES UNE FLUCTUATION DE 5mètres DU NIVEAU DE LA NAPPE

(R. DEGALLIER 1961)



QUANTITE DEAU MISE ENJEU PAR LA FLUCTUATION

DIFFERENCE POUR DES NAPPES A 10 ET A 15m DE PROFONDEUR INITIALE

FIGURE 17

d'apport pluviométrique), survienne un essorage (effet de l'évapotranspiration) la rabaissant d'autant. Il s'établit un nouveau profil d'humidité (fig. 19).
Qu'il s'agisse de sable ou d'argile, le nouveau profil sera semblable au précédent mais décalé de 5mmètres pour équilibrer les nouvelles forces de tension et de pesanteur.
Les quantités d'eau impliquées dans cette opération seront représentées par la surface comprise entre la courbe de teneur en eau initiale et celle décalée et le segment horizontal indiquant la cote initiale du sol au-dessus de la nappe.
La variation des quantités d'eau en fonction de la cote initiale du sol au-dessus de la nappe est faible pour les sables mais très forte pour les argiles. Pour les sables, le coefficient de proportionalité entre l'amplitude des fluctuations et les quantités d'eau correspond à la porosité utile. Ce n'est point le cas chez les argiles où l'infuence de la profondeur du toit de la nappe est importante.
Il est évident que le cas de nos altérites se situe entre ces deux extrèmes (sable-argile) étudiés par DEGALLIER en 1961; tendant tantôt vers l'un, tantôt vers l'autre en fonction des quantités relatives des minéraux non altérés (quartz surtout).
Tout apport ou prélèvement d'eau tendra à faire décaler l'ensemble du profil d'humidité. L'apport d'eau de pluie par exemple décalera le profil vers des teneurs en eau plus fortes et se propagera de haut en bas jusqu'à faire flctuer le plan de la nappe. Mais il ne pourra réussir ce décalage qu'après avoir comblé les déficits causés par l'évapotranspiration.

-- Fluctuations des niveaux hydrostatiques des nappes du bassin de la Haute-Sissili

Nous avons resumé les résultats obtenus par le tableau et les graphiques des figures 20 et 21.

Les graphiques de fluctuation appèlent plusieurs remarques:
- Le régime de fluctuation des niveaux hydrostatiques fait apparaître une succession de deux périodes:
  . une période de remontée qui va de fin juillet à fin septembre,
  . une période de baisse qui s'étend d'octobre à juillet.
-- la valeur moyenne de la variation du niveau piézométrique est de 6, 86mètres mais les extrèmes sont de 3, 95 et de 13, 65mètres.

VARIATIONS ANNUELLES DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES (en mètres)

LOCALITE	SISSILI	TABOU W	TABOU E	TO	GAO	NEBOU
Variation annuelle	3, 95	6, 20	6, 74	4, 25	13, 65	6, 41

Des variations faibles sont observées dans les puits de bas-fonds alors qu'en plateau elles sont élevées.
--La remontée commence très tôt dans les bas-fonds où les nappes réagissent dès les premières pluies du mois de mai. En plateau par contre, la remontée est tartive et ne se produit qu'en fin juillet. Ce retard s'explique par le déficit d'humidité des profils d'altération plus important en plateau donc plus long à combler par les apports pluviométriques.
-- La remontée se fait en deux phases visibles sur les courbes de fluctuation: une première qui est rapide et qui intéresse les premiers métres au-dessus de la nappe, et une deuxième phase plus lente qui concerne les tous derniers mètres avant la sur-

FLUCTUATIONS DES NIVEAUX HYDROSTATIQUES

(de janvier à février 1974)

stations / mois	SISSILI	TABOU W	TABOU E	TO	GAO	NEBOU
Janvier	4,26	5,06	9,35	8,76	10,95	8,00
Février	4,45	5,37	9,78	8,83	13,45	à sec
Mars	5,32	5,69	9,82	9,57	13,71	"
Avril	5,70	8,50	10,00	9,45	17,35	"
Mai	4,95	7,00	à sec	10,10	à sec	"
Juin	3,39	6,34	à sec	9,63	à sec	"
Juillet	1,90	5,92	9,68	9,90	à sec	"
Aout	1,75	2,65	7,30	7,52	6,20	5,75
Septembre	1,80	2,35	3,26	6,50	4,50	3,27
Octobre	1,93	2,30	4,40	5,65	3,70	3,27
Novembre	2,00	2,60	6,15	6,45	4,50	4,35
Décembre	2,15	3,35	7,85	7,10	5,85	5,90
	2,41	3,90	8,10	7,54	6,70	6,62

Remarque: Les valeurs données correspondent à la profondeur du toit de la nappe par rapport à la margelle du puits

FIGURE 19

COURBES DE FLUCTUATIONS DES NIVEAUX HYDROSTATIQUES

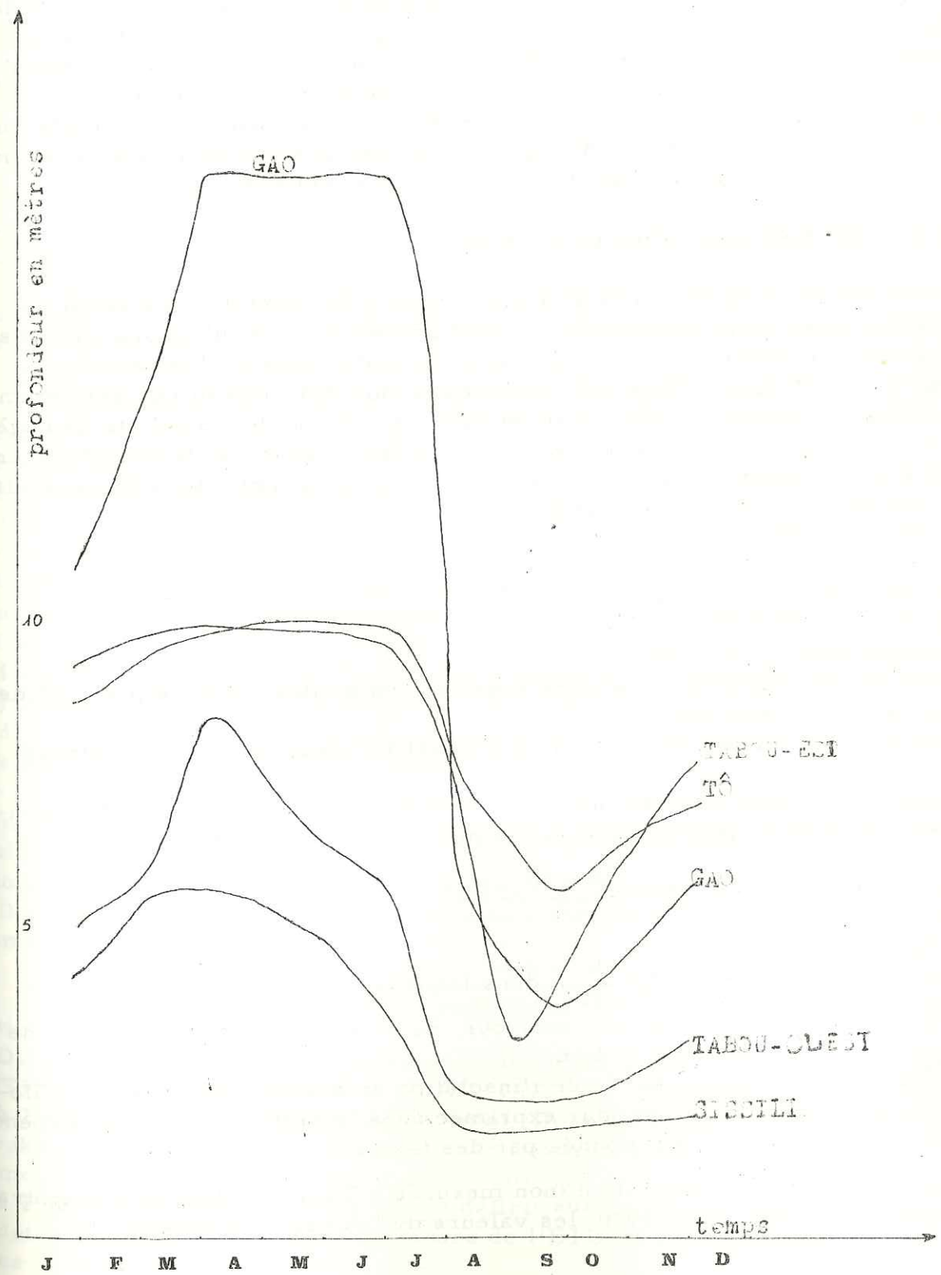


FIGURE 20

face du sol. Cette bipartition de la remontée sur les courbes s'expliquerait par une différence de porosité utile entre les couches profondes et celles superficielles.
-- Les nappes affleurent dans les bas-fonds dès la fin du mois de Juillet alors qu'en plateau elles restent un peu plus profondes (3m).

- Cause de la baisse des nappes

Nous avons vu en parlant du ruissellement que ce dernier commençait et prenait fin presqu'en même temps que la saison des pluies. Les nappes reconstituées pendant l'hivernage n'alimentent donc pas un écoulement externe. La cause de la baisse des nappes est l'évapotranspiration qui entraine l'assèchement des couches superficielles des altérites et une diminution de l'humidité de l'ensemble du profil d'altération. D'après les travaux de F. Lelong à Parakou (Nord Dahomey) en 1963, la porosité totale des arènes atteind 43%, leur porosité utile 5 à 6%, mais leur teneur en eau à la fin de la saison sèche ne dépasse guère 32% en moyenne. Il existe donc un déficit d'humidité de 5 à 6% qui doit être comblé pendant la période qui précède la remontée des nappes. C'est pourquoi, l'eau des prémières pluies ne se manifeste pas à l'état libre; elle sert à assurer la recharge occulte des nappes.

3.3.6. - Evapotranspiration potentielle

Elle a déjà fait l'objet de nombreux travaux en Afrique occidentale. L'institut de recherches agronomiques tropicales (IRAT) a testé systématiquement pendant 10 ans à Tarna (Niger) et à Mogtédo (en Haute-Volta) sept formules dues à: Thorthwaite, Blaney-Criddle, Turc, Walker, Prescott, Makking et Bouchet. Parmi ces sept formules, celles de Turc, de Blaney-Criddle et de Walker donnèrent des résultats homogènes proches des valeurs mesurées. La formule de Turc a été retenue par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) parcequ'à cause de sa simplicité, elle permettait l'exploitation des données de plusieurs stations.
Ecrivons la deuxième formule de Turc:

$$ETP = (Ig + 50).\,0,40\,\frac{t}{t+15} \quad \text{avec :}$$

ETP = évapotranspiration potentielle
Ig = valeur mensuelle de la radiation solaire exprimée en petites calories par cm2 de surface horizontale et par jour.
t = température moyenne mensuelle en °c (en prenant la température à 12 heures).

Lorsque l'humidité relative devient inférieure à 50% (ce qui se produit à Léo pendant les mois de: décembre, janvier, février et mars) la formule devient:

$$ETP = (Ig + 50).\,0,40\,\frac{t}{t+15}\,\left(1 + \frac{50 - Hr}{70}\right) \text{ où:}$$

Hr = humidité relative
Ig est donné par $Ig = Ig_A\,(0,18 + 0,62\,\frac{h}{H})$ dans laquelle,

Ig_A = énergie de radiation solaire en cal/cm2/jour. Elle est donnée par les tables de Angot et ne dépend que de la latitude du lieu.
$\frac{h}{H}$ = insolation relative où h est la durée de l'insolation en heures mesurée à l'héliographe, H la durée astronomique du jour exprimée dans la même unité. H ne dépend que de la latitude et sa valeur est donnée par des tables.

Après extrapolation pour la valeur de h (non mesurée à Léo) le calcul de l'évapotranspiration donne pour la période 1960-1970 les valeurs du tableau ci-dessous:

ETP en mm/ mois à Léo de 1960 à 1970

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ETP annuelle en mm
208	207	205	154	157	148	135	116	132	158	167	185	1972

Cette valeur très élevée de l'évapotranspiration potentielle dont il faut beaucoup tenir compte dans la réalisation des retenues de surface explique l'épuisement des mares du bassin versant.

3.3.7. Evapotranspiration directe

Elle a déjà été calculée par F. LELONG pour Parakou en 1963. Nous allons d'abord exposer la méthode employée et donner également les résultats obtenus à Parakou; ensuite, nous tenterons d'appliquer la méthode à notre bassin versant:
-- Il s'agit d'une détermination d'intervalles de variation de l'évapotranspiration directe dans laquelle on divise la saison des pluies en deux périodes (avant le début de la remontée des nappes et après ce dernier)
-- Limite inférieure de l'évapotranspiration directe pour la première moitié de l'hivernage:
On admettra que le déficit d'humidité du profil d'altération est de 5 à 6% et qu'il se manifeste sur 5 à 6 mètres d'épaisseur d'altérites.
L'évapotranspiration directe: ETD = 550 à 600mm (hauteur de pluie) - 360mm (hauteur maximale infiltrée pour combler le déficit d'humidité de 6% sur 6m de terrain = 190 à 240mm.
-- Limite supérieure de l'ETD avant la remontée: selon des observations faites par Kucharska-Forkasiewiez à Korogo (Coye d'Ivoire), les nappes d'arènes peu profondes n'accusent une remontée que lorsque les apports de pluie dépassent 15 à 18mm. Ce seuil représente donc la hauteur d'eau maximum reprise par l'évapotranspiration à chaque pluie. Le calcul fait sur cette base donne 340 à 380mm d'ETD contre 215mm d'infiltration pour Parakou.
-- Limites de l'ETD pendant la deuxième moitié de l'hivernage (après le début de la remontée): d'après Lee (1942), Féodoroff et Rafi (1962) l'évaporation d'un sol sableux nu est voisine de l'évapotranspiration potentielle quand la teneur en eau est supérieure à la capacité de rétention et elle décroît progressivement au fur et à mesure que le sol se déssèche. On peut par conséquent admettre que pour cette période l'évapotranspiration directe est supérieure à Np. ETP et inférieure à Nt. ETP avec ETP = évapotranspiration potentielle et Nt = nombre total de jours
Lelong trouve pour cette période 230 à 461 mm d'ETD
-- Donc pour tout l'hivernage 1963 on a eu à Parakou: une ETD comprise entre 215 + 230= 445mm et 360 + 416 = 776mm.

Application de la méthode au bassin versant de la Haute Sissili (avec Kassou comme station de référence).
-- Détermination de la limite inférieure de l'ETD avant la remontée: D'après les cartes d'ETP annuelles de LEMOINE et PRAT, l'ETP est plus importante à Kassou (Léo:1972mm) qu'à Parakou où elle n'est que de 1600mm. Donc un report brut des données climatiques de Parakou à Kassou nous ferait souestimer l'évapotranspiration du bassin versant. Cependant même en admettant que le déficit d'humidité des profils d'altération est le même à Kassou qu'à Parakou, (c'est à dire 5 à 6% de déficit sur 6m d'altérites), l'application de la méthode de détermination de la limite inférieure de l'ETD de Lelong nous conduit à plusieurs conclusions contraires aux faits observés:
· premièrement comme il faut 360mm d'eau pour combler le déficit d'humidité avant la remontée, cette dernière n'aurait pas pu avoir lieu avant le 15 août eu égard à la pluviométrie et à l'écoulement alors qu'elle commence en fait fin Juillet même en plateau.
· deuxièmement, si les nappes remontent dès fin juillet après comblement du déficit, il nous

faudrait pouvoir négliger non seulement l'écoulement, mais aussi l'ETD dont on veut déterminer la limite inférieure.

. En conclusion: les données de 5 à 6% nous conduisent à une trop grande surestimation du déficit d'humidité à combler telle que nous ne pouvons plus calculer la limite inférieure de l'ETD.

-- Limite supérieure de l'ETD avant la remontée: en partant des données d'observations de Kucharska-Forkasiewiez on obtient pour Kassou:

. ETD = 50, 5mm
. Infiltration = 73mm
. Ecoulement = 39mm

-- Limites de l'ETD pour la seconde moitié de l'hivernage: Nous partirons de:

Np. ETP < ETD < Nt. ETP avec

Np = nombre de jours de pluie } de la période juillet, août, septembre.
Nt = nombre total de jours

ETP = évapotranspiration potentielle journalière
ETD = évapotranspiration directe

soit que: 45+67, 32+61, 6 = 174 ETD 135+116+132 = 383mm.

Résumons ces résultats par un tableau de bilan d'eau de l'hivernage:

BILAN D'EAU de l'HIVERNAGE

	Pluviométrie	Ecoulement	ETD mini.	ID max.	ETD max.	ID mini.
Du 26 avril au 30 juin	162, 5	39	?	?	50, 5	73
Du 1er juil. au 30 sept.	779	151	174	454	383	245
Du 26 avril au 30 sept.	941, 5	190	174 +?	454 +?	533, 5	318

Ce tableau comporte deux inconnues: la valeur minimale de l'évapotranspiration directe et la valeur maximale de l'infiltration de la première moitié de l'hivernage. Néanmoins, on peut déjà dire qu'à l'issue de l'hivernage, il y a eu infiltration et recharge des nappes. Cette recharge sera-t-elle excédentaire par rapport à la reprise évapotranspiratoire réelle de l'année? Les faits nous permettent de répondre par l'affirmative; en effet le levé piézométrique que nous avons effectué le 17 juin 1975 montre qu'il y a eu une variation positive des réserves d'eau souterraines:

TABLEAU COMPARATIF ENTRE LES NIVEAUX STATIQUES D'ETIAGE DE 1974 ET DE 1975

Lieu / Date	Sissili	Tabou W.	Tabou E.	Tô	Gao
2/7/1974	3, 59	9, 68	9, 92	9, 90	17, 35 à sec
17/6/1975	4, 70	6, 85	9, 90	9, 75	15, 75

Il y a une différence entre les dates, mais il faut noter qu'à partir de Juin les niveaux statiques sont stationnaires jusqu'à la remontée des nappes.

Essayons par l'application de formules de chiffrer la reprise de l'évapotranspiration réelle.

3. 3. 8 - Evapotranspiration réelle

Essayons de calculer pour l'année 1974 l'évapotranspiration réelle du bassin versant de la Haute Sissili en utilisant les formules de TURC et de COUTAGNE:

3. 3. 8. 1 - La première formule de TURC: elle s'écrit:

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

avec P = précipitation annuelle
L = 300 + 25T + 0, 05 T3
T = température moyenne annuelle en °C

Son application numérique nous donne pour l'année 1974 avec :
P = 862mm et T = 27, 5°C
L = 2027, 33; L + 410189, 67; p^2 = 743044

Er = 523, 6 6 ≃ 524mm

3. 3. 8. 2. - La formule de COUTAGNE : Elle a pour base la pluviométrie et la température. Elle s'écrit:

$$Er = P - \lambda P^2 \quad \text{avec: } = \frac{1}{0,8 + 0,14\ T}$$

P = précipitation annuelle en mètres
T = température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est valable que pour $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$ c'est dire qu'avec les données climatiques de notre bassin on aura:

549 < P < 2320mm

L'application numérique nous donne:

$\lambda = 0,215$, $\lambda P^2 = 0,15975 \simeq 160$

d'où $Er = P - \lambda P^2 = 862 - 160 = 702$ mm

3. 3. 8. 3. Discussion des deux formules: Nous avons vu que l'année 1974 était excédentaire par rapport à 1973 du point de vue de pluviométrie. Le levé des niveaux piézométriques du 17 juin 1975 laisse également voir qu'au niveau des nappes il y a eu une variation positive des réserves. Des puits qui étaient secs l'année précédente à la même époque ont de l'eau cette année.

Nous avons également, vu que le déficit d'écoulement était de 672mm. L'application de la formule de COUTAGNE nous fait conclure qu'il y a un prélèvement de l'évapotranspiration réelle sur les réserves existantes; ce qui est contraire aux faits observés.

En conclusion des deux formules nous ne pouvons retenir que celle de TURC puisque celle de COUTAGNE nous a conduit à une surestimation de l'évapotranspiration réelle.

Remarque sur la formule choisie - Si la formule de TURC nous permet une meilleure approche de l'évapotranspiration directe, on note que son expression $Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$ ne tient compte que de la pluviométrie et de la température.

Or , si ces deux facteurs sont essentiels, il y en a bien d'autres non négligeables il y a ici surtout la répartition des précipitations annuelles qui détermine la durée d'exposition des nappes à l'effet de l'évapotranspiration différée.

L'influence de ce facteur est remarquable sur les deux années 1973-1974. En effet, en admettant que l'écoulement a gardé les mêmes proportions en 1973 et 1974 soit 20% des précipitations et en applicant la formule à 1973 on obtient avec:

P = précipitations = 776mm
T = température moyenne annuelle = 27°5
E = écoulement = 155mm
DE = déficit d'écoulement = 621mm
Er = évapotranspiration réelle = 505mm
d'où dW = variation des réserves = +116mm

On aboutit donc à la conclusion que 1973 avait elle aussi un bilan hydrologique excédentaire; ce qui est contraire aux faits observés.

L'évapotranspiration réelle a donc été sousestimée à cause du fait que la formule ne tient pas compte de la répartition des précipitations. En effet, si 1973 est déficitaire de 86mm par rapport à 1974, la différence entre les deux années réside dans la répartition des précipitations qui ont été moins bien étalées en 1973 où il a cessé de pleuvoir dès début septembre. Il s'en est suivi que dès ce dernier mois les nappes commençaient à s'essorer au profit de l'évapotranspiration différée. Ce qui a entrainé un épuisement des eaux de réalimentation des nappes, conduisant à un bilan plutôt négatif.

3.3.9. - Bilan global d'eau du bassin de la Haute Sissili

Ecrivons la formule générale du bilan hydrologique:

P = E + R + I . Et pour un bassin sans pertes souterraines comme c'est le cas ici: .....
P = E + R + dW avec:

P = pluviométrie annuelle en mm
E = évapotranspiration réelle annuelle en mm
R = ruissellement annuel en mm
dW = variation des réserves en mm

En utilisant les résultats obtenus par l'application de la première formule de TURC nous pouvons maintenant écrire de manière chiffrée le bilan hydrologique de l'année 1974 pour le bassin versant:

P = E + R = dW = 862 = 524 + 190 + 148
avec
P = 862mm
E = 524mm
dW = + 148mm

3.3.10 - Conclusions

L'année 1974 affiche un bilan hydrologique excédentaire par rapport à 1973. Ce fait s'est traduit par une hausse générale des niveaux statiques d'étiage même dans les puits qui étaient naguère à sec. Mais le fait que nous ayons pu constater cet excédent par une variation du niveau statique dans les puits qui étaient à sec montre que les nappes ne s'étaient pas beaucoup rabattues pendant la dernière période sèche; leur toit était très proche du fond des puits. En effet, en donnant aux arènes une porosité utile de 5 à 6% et un déficit d'humidité de 5 à 6% quand elles sont au-dessus de la nappe, on remarquera que pour une hausse du niveau statique de 1m50 (comme celle qu'on a enregistrée à Gao) il faut 150 à 180mm d'eau. Ce qui est bien voisin de l'excédent dW (dW = 148mm) observé.

--- Nous avons vu en établissant ce bilan que tous les facteurs étaient représentés, mais que le facteur le plus important était l'évapotranspiration. Mais que pour peu que la pluviométrie soit normale comme celle de 1974 (qui du reste est déficitaire par rapport à la moyenne 1960-1974) cette évapotranspiration n'arrive pas à nuire beaucoup aux réserves d'eau souterraines;

--- L'étude hydrogéologique que nous allons entreprendre aura pour objectifs: la définition des systèmes aquifères; la localisation des aquifères; la détermination des propriétés hydrauliques des aquifères et l'analyse des propriétés physico-chimiques de l'eau de ces nappes.

IV - GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT

4.1. Les travaux antérieurs

J. SAGATZKI a levé de 1932 à 1937 la carte géologique de reconnaissance de la feuille de Tenkodogo Ouest à laquelle appartient le bassin versant de la Haute Sissili à l'échelle 1/500.000.

-- L'assistance technique néerlandaise a publié en 1968 une carte de reconnaissance photo-géologique de Léo établie par J. H. LANGENBERG et F. W. HAARBRINK à l'échelle 1/200.000.

La première, est malgrè sa petite échelle une bonne carte pétrographique.

La deuxième moins détaillée que la première fait mention du cuirassement et de l'existence de quelques fractures.

4.2. - La carte géologique

Nous avons pour notre part, à l'aide des photographies aériennes au 1/50.000 et de 15.000 km d'itinéraire tenté d'établir une esquisse hydrogéologique au 1/100.000 du bassin versant de la Haute Sissili en dessinant à la fois le contours des affleurements mais aussi celui des cuirasses latéritiques. La carte porte également des indications géomorphologiques (glacis, escarpement etc...). Les principales failles ont été portées. Nous avons aussi indiqué les stations de mesures hydrologiques et les différents ouvrages d'exploitation des eaux souterraines.

4.3. - La géologie du bassin versant

Le bassin est entièrement occupé par deux types de formations géologiques: des roches orthométamorphiques (granito-gneiss) et des roches éruptives postérieures aux premières et qui sont essentiellement des granites intrusifs. Ces roches se sont mises en place pendant l'orogénèse birrimienne.

-- SAGATZKY distinguait dans le premier groupe des granito-gneiss à biotite dominante des granito-gneiss à biotite et amphibole, des granito-gneiss à biotite et amphibole, des granito-gneiss à amphibole et des granito-gneiss à deux micas. Il a par ailleurs réparti les roches éruptives en granite calco-alcalin, granite à muscovite dominante et granodiorite.

-- Du point de vue de répartition spatiale, les granito-gneiss à biotite dominante affleurent dans le lit de la Sissili à l'aval du pont de Nébou; les granito-gneiss à biotite et à amphibole se rencontrent entre Kayéro et Névri; il en est de même des granites calco-alcalins qui existent également autour de Léo; le village de Bonapio est cotoyé à l'Est et au Sud-Est par des granito-gneiss à deux micas ou à muscovite dominante; le seul pointement de granodiorite du bassin versant se trouve sur la route Ouagadoudou-Léo par Sabou entre Guénien et Bazilakoa.

-- Dans les environs immédiats du bassin, on peut noter la présence des roches basiques (ophites) affleurant près de Thiou et entre Sapouy et Diansia. Parceque la tectonique (fracturation), la composition minéralogique et la structure (dimension des grains) influe sur la quantité et la qualité de l'altération, nous avons décrit: des granito-gneiss pegmatitiques des granito-gneiss à grain moyen et des granito-gneiss à grain fin; l'abondance relative du quartz et des ferromagnesiens a été souvent mentionnée. En effet, il est connu que les meilleures altérations (celles ayant une bonne perméabilité) dérivent des roches à gros grain et riches en quartz. L'abondance des ferromagnesiens entraine par contre des altérations argileuses très peu perméables.

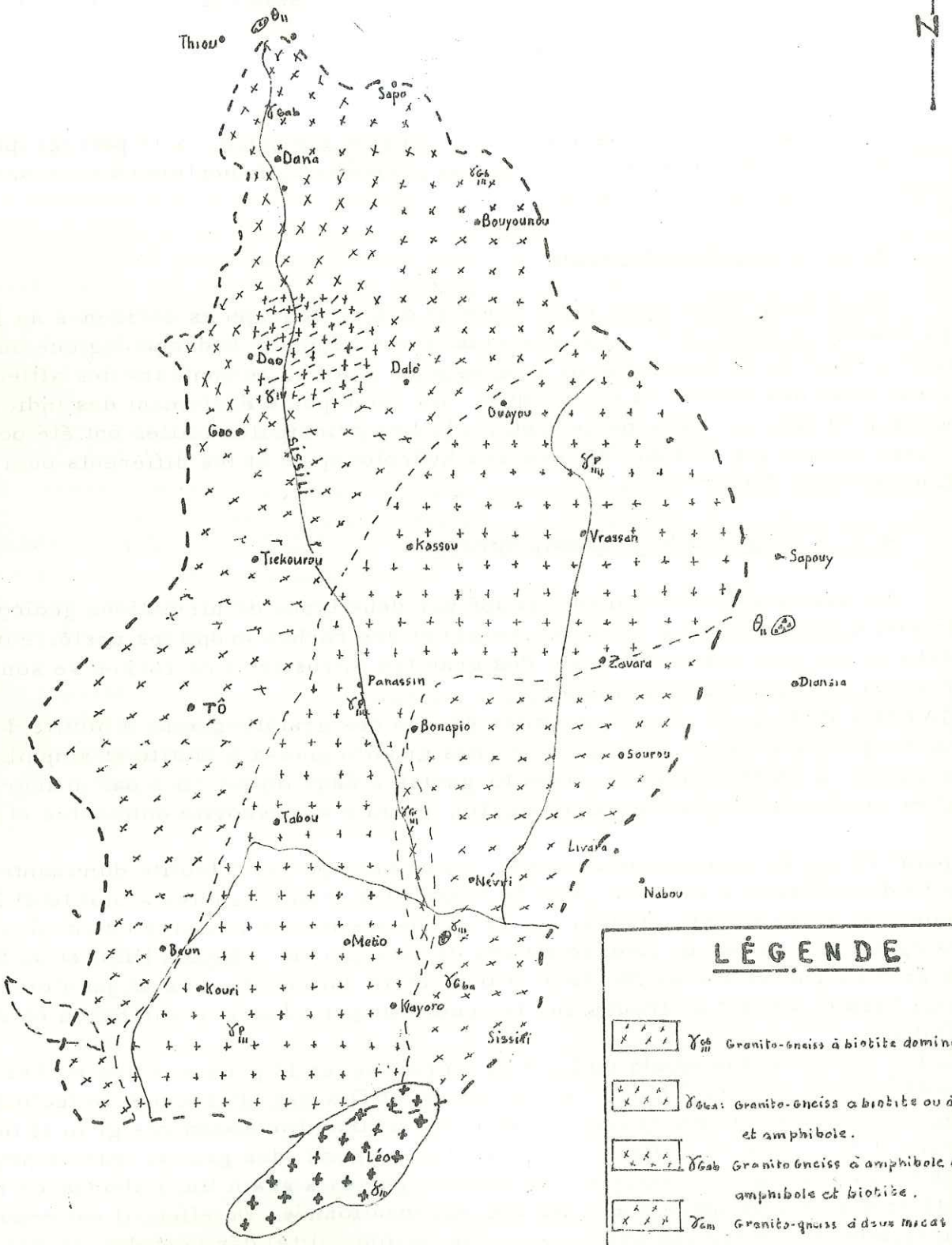
-- Les affleurements sont très rares. Les faciès pétrographiques changent d'un affleurement à l'autre si bien qu'en dehors d'une description ponctuelle, il n'est pas possible de tracer les limites pétrographiques significatives.

-- On note chez les granito-gneiss une direction de foliation nord-sud pour les affleurements à l'ouest de la route Ouagadoudou-Léo par Sapouy alors qu'à l'est de celle-ci la foliation s'oriente suivant la direction est-ouest.

HAUTE SISSILI

CARTE GÉOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE

à l'echelle du 500.000e

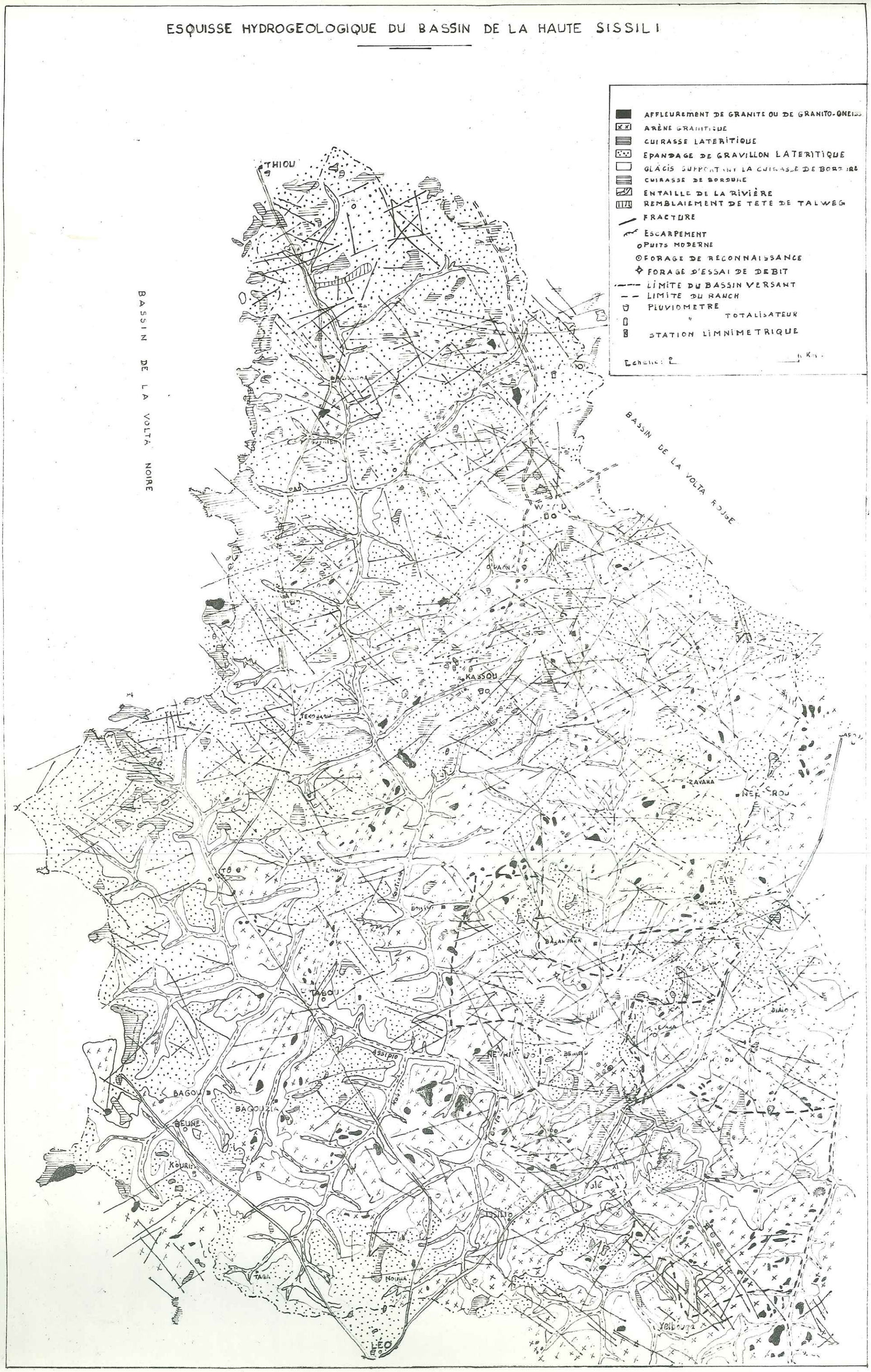


CARTE EXTRAIT DE LA FEUILLE DE TENKODOGO.

LEVÉE PAR J. SAGATZKY.

FIGURE 21

ESQUISSE HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN DE LA HAUTE SISSILI



4.3.1. - La tectonique

Grâce aux photographies aériennes nous avons pu tracer un réseau dense de deux groupes de fractures: un premier groupe Est-Ouest et Nord-Sud peu important et second SO-NE et NO-SE qui constitue l'élément essentiel de la fracturation. Les direction du dernier groupe sont les mêmes que celles du champ de failles ouest africain.

4.3.2. - L'altération

L'élément essentiel de la géologie est l'altération dont nous donnons (figure 21) le profil type. On rencontre de haut en bas:

-- la cuirasse latéritique: très répandues dans le Nord et le centre de la Haute-Volta, les cuirasses se raréfient au fur et à mesure que l'on descend vers le Sud. Dans le bassin de la Sissili, il n'y a que des buttes cuirassées de petites dimensions situées généralement aux interfluves. Un autre niveau de cuirasse se rencontre aussi en bordure des rivières. Quelque soit sa position topographique, la cuirasse présente toujours les mêmes caractéri tiques: elle est de couleur rouge brique; sa dureté élevée fait qu'on l'utilise comme pierre de construction de bâtiments ou d'empierrement de route. La cuirasse est surtout faite de gravillons cimentés et indurés, mais elle renferme parfois des niveaux de galets de quart anguleux qui lui font attribuer une origine colluvionaire.

D'allure compacte, la cuirasse est cependant alvéolaire et parcourue par de nombreuses fissures.

-- Les argiles à canaux: on ne les rencontre pas dans tous les profils. De même couleur que la cuirasse, ce sont comme leur nom l'indique des argiles parcourues par de petits canaux semblables à des pistes de vers de terre.

-- Les argiles latériques: c'est le kaolin des puisatiers. Elles proviennent d'une altération très poussée de la roche mère dont la structure a complètement disparu. Leur couleur change de haut en bas, passant du rouge brique tacheté de blanc au blanchâtre à veines rouges. Elles renferment de nombreuses concretions surtout dans leur partie supérieure. La carapace résulte d'un cuirassement superficiel de ces argiles.

-- Les arènes argileuses: elles se distinguent du kaolin sousjacent par le fait qu'on y reconnaît déjà la structure de la roche mère. Cependant, les feldspaths et tous les ferromagnésiens sont entièrement décomposés et donnent une poudre fine qui, une fois gorgée d'eau devient une argile fluente.

-- Les arènes grenues: on peut y reconnaitre tous les minéraux de la roche mère: feldspaths et ferromagnesiens ne sont que partiellement dégradés.

-- La roche mère fissurée: c'est le granite ou le granito-gneiss parcouru de nombreuses fissures et où commence l'altération en boule classique.

-- La roche mère saine : elle est partout constituée de granite ou de granito-gneiss sauf entre Guénien et Bazilakoa où l'on voit affleurer du granodiorite.

4.3.3. - Les alluvions

Nous avons déjà dit dans le chapitre "Inventaire des ressources en eau du bassin" qu'il existait des puisards qui les exploitaient. Toutefois, il faut noter que ces alluvions ont une faible extension: elles se limitent au lit majeur des rivières. D'autre part leur épaisseur est réduite (5 à 6m). Leur exploitation est surtout rendue difficile par le fait qu'elles sont innondées pendant l'hivernage.

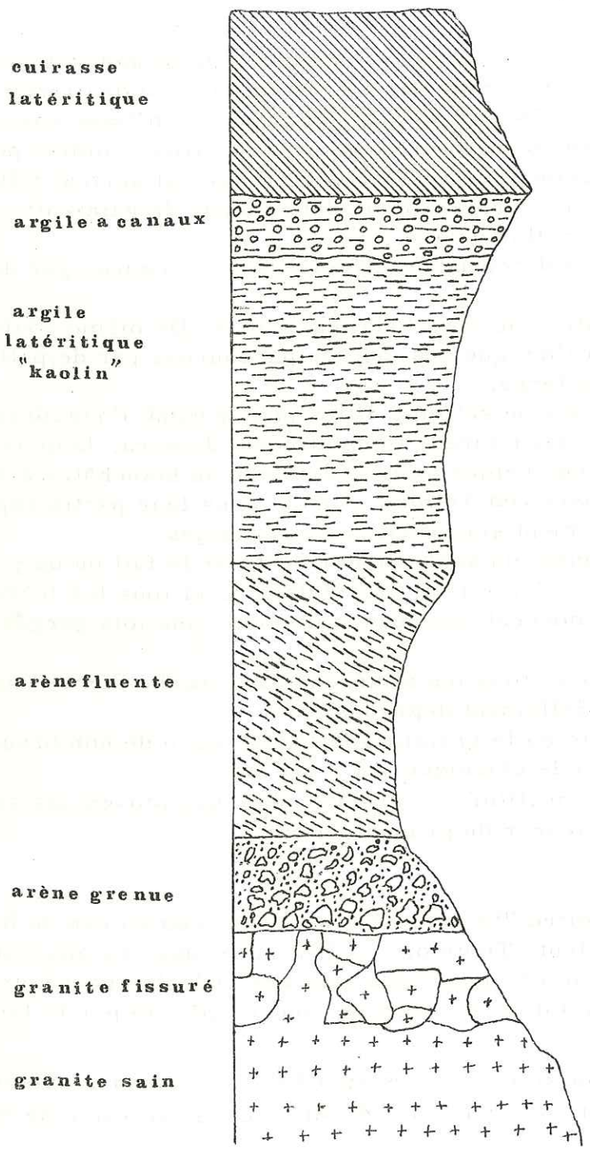
La description des alluvions peut se faire en s'aidant des déblais des puisards. Celui, que nous avons creusé près du Pont de Nébou nous donne la coupe suivante de haut en bas:

- 0 50m d'argiles grises
- 0, 40m d'argiles rougeâtres
- à partir d'un mètre de profondeur une intercalation de sables blancs et de sables argileux bleus.

Les sables rencontrés sont très fins (grains millimétriques et non cimentés si bien qu'ils étaient boulants.

En d'autres endroits du bassin, il est possible de rencontrer dans les niveaux sableux des lits très peu épais de galets de quartz et de gravillons latéritiques très roulés.

PROFIL TYPE DE L'ALTERATION DU GRANITE



Caractères généraux - Toutes les formations d'altération ont un caractère commun: elles contiennent des pores et des interstices qu'elle que soit la compacité de la roche dont elles dérivent. Le phénomène d'altération est donc un générateur de vides. Alors que les roches cristallines sont en principe totalement compactes, et par conséquent sèches sauf dans les zones fissurées et les diaclases, leurs produits de décomposition sont plus ou moins poreux et donc susceptibles d'emmagasiner de l'eau. Du point de vue physique cette propriété se traduit par une densité variant entre 1,3 et 2,3, mais toujours inférieure à la moyenne pondérale des densités des minéraux constitutifs (en général supérieure à 2,5); la valeur de l'écart permet de définir le pourcentage des vides (porosité totale). Si la porosité est une condition sine qua non, elle n'est pas une condition suffisante pour donner à une roche sa qualité d'aquifère; il faut que les vides communiquent entre eux et soient ouverts au milieu extérieur. La perméabilité dépend de la continuité des conduits et de la taille de ces derniers: plus les conduits seront grossiers et plus la perméabilité sera forte.

D'une manière générale, la porosité totale des altérite est élevée (30 à 45 %) mais par suite de la finesse des conduits leur perméabilité est faible et même quelquefois négligeable suivant le niveau du profil d'altération auquel on s'interesse.

La cuirasse latéritique - Nous avons vu qu'elle était alvéolaire et parcourue de fissures; elle présente donc une bonne perméabilité, et une fois noyée, elle constitue un excellent aquifère fournissant de très bon débits (plus de $10m^3$/ heure à Ouahigouya).

Les argiles à canaux - Les canalicules intercommuniquantes qui les parcourent les rendent hydrogéologiquement intéressantes.

Les argiles latéritiques et les arènes argileuses - Elles ont des perméabilités médiocres et les puits qui les exploitent fournissent rarement des débits supérieurs au m^3/heure.

Les arènes grenues - Elles ont une perméabilité beaucoup plus élevée que celle des argiles, mais les débits qu'on tire excèdent rarement $3m^3$/ heure.

La roche fissurée - Aucun puits ne l'exploite sur le bassin versant, mais les forages qui y descendent fournissent 8 à $9m^3$/heure au Ghana. Elle est donc de loin la partie la plus intéressante du profil d'altération.

V - ORIENTATION DE LA RECHERCHE D'EAU DANS LE CRISTALLIN DE HAUTE VOLTA

Si les différents niveaux de profil que nous avons décrits ont des caractéristiques hydrogéologiques contrastées qui se traduisent par les débits plus ou moins importants qu'ils peuvent fournir, la priorité n'est nullement donnée à un aquifère particulier et les ouvrages existants (surtout les puits) prennent l'eau partout où on la rencontre. Les niveaux les plus productifs sont pourtant situés au sommet et à la base du profil d'altération. On peut résumer sur une coupe schématique tous les différents cas où il est possible de trouver l'ean en pays cristallin ou métamorphique à recouvrement latéritique (figure 22). Six possibilités ont été distinguées:

1) Zone BC - inféro-flux pérenne dans un sillon alluvial. Ce cas est très rare en Haute-Volta.

2) Zone DE - caractérisée par une plus grande épaisseur du granite altéré encore cohérent. L'arène grenue draine l'arène fluente et permet d'obtnir des débits intéressants.

3) Zone EF - Les arènes ont leur plus grande épaisseur. La puissance de l'aquifère peut compenser sa faible perméabilité.

LES DIVERS CAS OÙ IL EST POSSIBLE DE TROUVER DE L'EAU EN PAYS CRISTALLIN

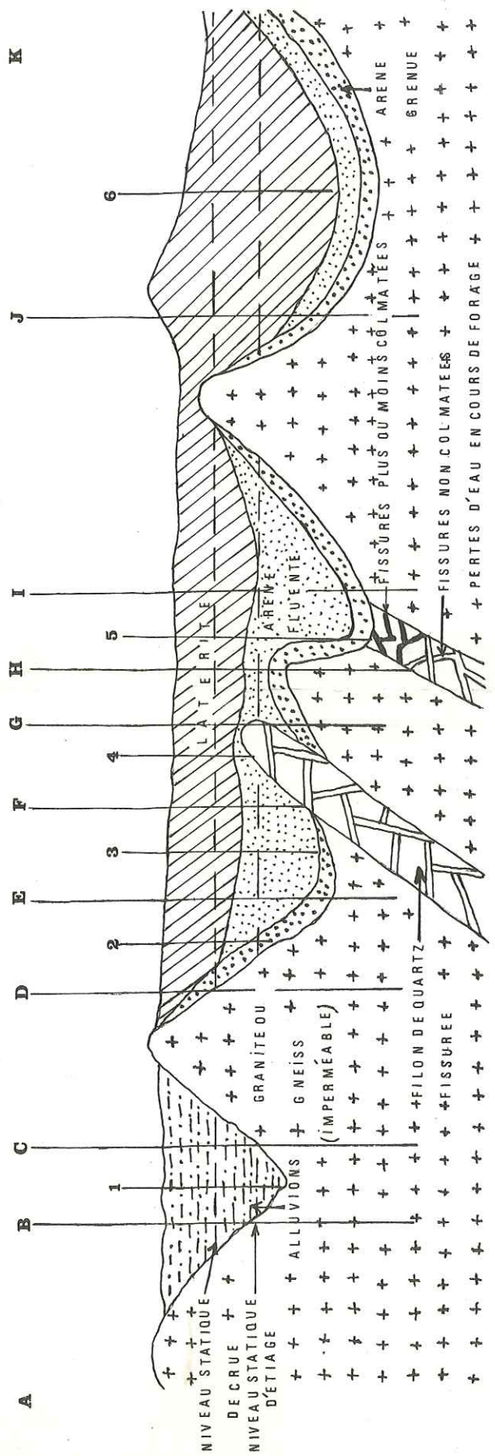


FIGURE 22

4) Zone FG - nous avons un filon fissuré non altéré (quartz, aplite, zone silicifiée) qui joue un rôle de drain dans les arènes peu perméables.

5) Zone HI - fracture dans le granite: l'épaisseur d'arène augmente brutalement au dessus de la fracture. La zone joue alors un rôle de drain par rapport à la masse d'arène à condition que la fissure ne soit pas colmatée.

6) Zone JK - secteur sous-latéritique de nappe ou cuirasse noyée. Il existe des régions où le toit de la nappe phréatique reste au-dessus du mur latéritique au moment des basses eaux. On a affaire à une cuirasse noyée qui incomparablement plus intéressante que les arènes du point de vue perméabilité.

Zone de contact - Il faut enfin ajouter à ces six cas un septième qui est la zone de contact entre le granite et les formations encaissantes (généralement des schistes en Haute-Volta) et qui constitue un drain pour les zones d'altération des deux roches voisines.

CONDITIONS D'EXISTENCE DES NAPPES

Les propriétés hydrogéologiques des altérites permettent la constitution des nappes d'eau permanentes chaque fois que les précipitations atmosphériques sont suffisantes pour les alimenter. Cette alimentation suppose:
- que la hauteur des pluies excède l'évapotranspiration de surface (intersection de la végétation et évaporation du sol), sinon l'infiltration ne pourra se faire que localement à la faveur d'épendage;
- que le déficit d'humidité du profil soit comblé;
- que les quantités d'eau infiltrées soient supérieures à celles prélevées par l'évapotranspiration différée.

Le seuil des pluies annuelles à partir duquel l'infiltration alimente les nappes est variable selon les zones bio-climatiques:
- il est minimum quand les pluies sont concentrées dans le temps et que le sol est à la fois nu et perméable (zone aride à sol sableux);
- il est maximum quand les pluies sont étalées dans le temps et le sol couvert d'une importante végétation grosse consommatrice d'eau (zone tropicale humide);
- il est fort pour les nappes profondément enfouies (Degallier 1965 et Lelong 1966).

Le seuil est difficile à définir de façon précise; en Afrique de l'Ouest on dispose de quelques repères:
- autour du 14ème parallèle, il est voisin de 400mm (Archambault 1960);
- au Sud à Korogo (Côte d'Ivoire) et à Parakou (Dahomey), sa valeur atteind 600mm.
- le seuil d'alimentation peut atteindre et même dépasser 1000mm si l'on en juge par l'accroissement du déficit d'écoulement (figure 18).

La remontée saisonnière des nappes du bassin de la Sissili montre qu'elles se rechargent pendant l'hivernage; seulement, il existe aussi la reprise de l'évapotranspiration différée de la saison sèche qui impose aux nappes des rabattements considérables. La perenneté des réserves constituées va dépendre essentiellement de l'épaisseur de l'aquifère que constitue la zone d'altération granitique. En effet, on peut dire que toutes les zones dont les épaisseurs d'altérites sont supérieures à la valeur métrique du rabattement annuel des nappes majorée de la profondeur des nappes aux hautes eaux constituent des aquifères permanents.

VI - ORIENTATION DE LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE SISSILI

Une orientation particulière s'impose à cause de la nature des réservoirs liée à la géomorphologie et surtout à la morphologie du substratum.

6.1. - La nature des réservoirs

COUPE GEOLOGIQUE SYNTHETIQUE

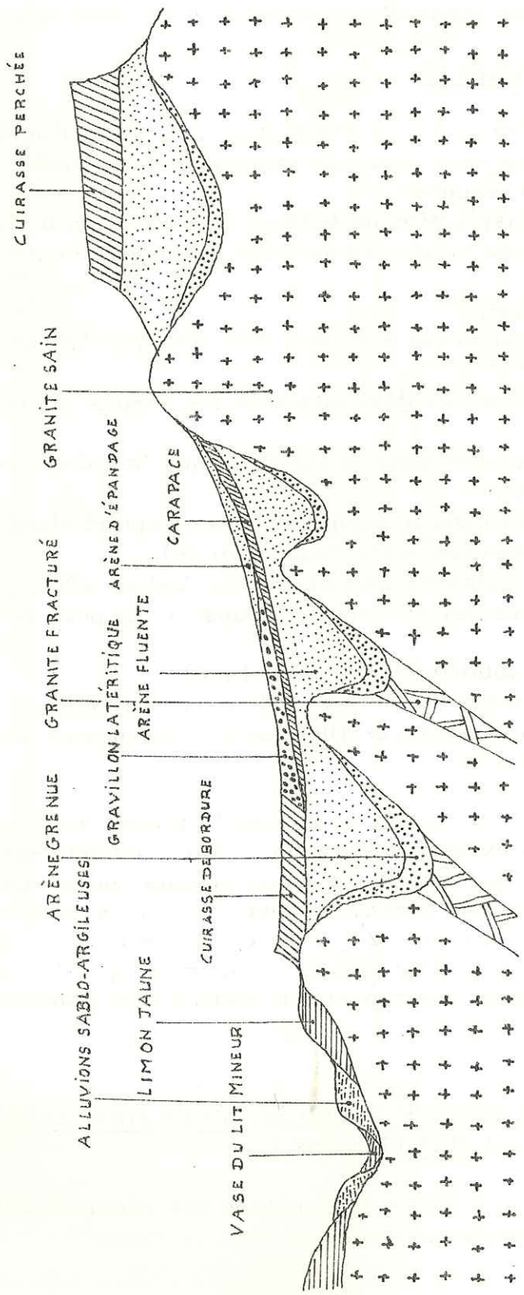


FIGURE 23

6.1.1. - les alluvions

Elles existent un peu partout, mais comme nous l'avons déjà dit, leur domaine d'extension est innondable et leur épaisseur très réduite. Nous les négligerons donc dans la recherche des aquifères exploitables.

6.1.2. - les altérites

Leurs possibilités d'exploitation ont été exposées dans le paragraphe précédent où nous avons également dit que leur épaisseur augmentait brutalement à l'aplomb des fractures du substratum. Comme le débit croît avec l'épaisseur de l'aquifère, il nous faudrait chercher les épaisseurs d'altérites les plus importantes qui sont associées aux fractures du substratum.

6.1.3. - Le substratum

Le granite sain a une porosité d'interstice très faible de l'ordre de 0,1% et une perméabilité quasi nulle. Par contre, les fractures dans le granite, en même temps qu'elles favorisent une bonne altération, constituent des zones de circulation préférentielle de l'eau. Ce sont donc des drains.

6.2. - La géomorphologie

Elle se caractérise par la présence de cuirasses et de dômes de granite. L'observation de la composition et de l'étagement des cuirasses nous permet de distinguer deux cuirasses dérivées:

- une première, et c'est la plus récente qui constitue la cuirasse de bordure des rivières;
- une deuxième cuirasse perchée par rapport à la première et que l'on rencontre surtout au sud et à l'est du bassin aux interfluves.

Ces deux cuirasses contiennent des galets de quartz, mais aussi des gravillons de cuirasse latéritique. Ce sont des cuirasses provenant du démentellement d'un troisième niveau de cuirasse que nous n'avons cependant pas pu observer. Il pourrait exister sur les hauteurs à moins qu'il n'aie été complètement décapé par l'érosion qui lui a permis d'alimenter les autres niveaux de ses gravillons.

Lorsque nous cheminons d'un talweg vers un interfluve, nous traversons successivement, après les vases et les alluvions actuelles du lit mineur (figure 23):

- une petite terrasse de limon jaune;
- une cuirasse de bordure qui peut reposer directement sur le substratum sain: à 600m au Nord du grand pont sur la Sissili et à 30m environ à l'aval du petit pont sur la route Ouagadoudou-Léo par Sapouy, on peut observer cette cuirasse de bordure évoluant directement sur le granite sain affleurant; d'autres exemples de ce phénomène ont été remarqués à Bonapio au Nord du grand dôme granitique et sur les affleurements de granite à l'Est de Mouna (petit village à 5km au Nord de Léo).
- un épandage de gravillons latéritiques
- des arènes argilo-sableuses de couleur gris-bleu
- quelquefois un pointement de granite
- et enfin au sommet de l'interfluve une cuirasse perchée.

Nous pouvons résumer ces observations par la coupe schématique de la figure 23.

Cette coupe reste toutefois une coupe type, car il n'est pas rare que la position des affleurements de granite présente des aspects déroutants. D'autre part, on peut remarquer que la morphologie évolue du Nord au Sud, passant d'une morphologie de cuirasses étendues et d'épandage de gravillons à une morphologie de petites cuirasses bien perchées, auxquelles s'associent d'importantes cuirasses de bordure (figure 30).

6.3. - Cuirasses latéritiques et recherche d'eau

On a souvent évoqué, pour expliquer l'origine du fer dont la concentration et le durcissement donnent naissance à la cuirasse, une migration per ascensum du fer des horizons inférieurs vers le sommet du profil d'altération. Cette explication fait con clure à l'existence d'une importante altération sous-jacente à la cuirasse. Donc, qui di cuirasse, pourrait aussi dire forte altération. Mais nous avons vu qu'il existait des cuirasses de bordure de rivière qui pouvaient se trouver en contact direct avec le grani Pour ces dernières le fer ne peut provenir que d'apports latéraux. Les cuirasses peuve servir de guide pour la recherche de fortes altérations, mais il faudrait pouvoir disting cuirasse d'interfluve et cuirasse de bordure.

Au niveau de notre bassin versant, ni l'un ni l'autre de ces deux types de cui se ne sont intéressants: la cuirasse d'interfluve est ici une cuirasse perchée qui de ce fait ne peut jamais être noyée même aux hautes eaux. D'autre part, sa position topogra phique impose une réalimentation précaire de la zone d'altération qui la supporte. La c rasse de bordure peut être noyée (exemples visibles à Métio et à Bazanvara) mais son épaisseur réduite et la proximité du substratum la rendent peu intéressante pour l'impl tation de forage d'eau.

6.4. - Morphologie du substratum

Il n'existe pas d'études antérieures sur le bassin versant qui puissent nous pe mettre d'avoir une idée précise sur la morphologie du substratum. La distribution des affleurements peut nous permettre d'avancer l'hypothèse d'un socle de dômes et de peti plateformes isolant des poches d'altération profondes liées à des fractures. On remarq à Bou par exemple l'existence d'un puisard de 14mètres de profondeur au pied d'un imp tant affleurement de granite.

6.5. - Limites de la zones à prospecter

Nous avons déjà éliminé les bas-fonds et les deux types de cuirasse que nous avons distingués. La zone de prospection va donc se limiter au glacis supportant la car pace latéritique.

Nous n'avons pas rencontré au cours du levé de la carte géologique de filons importants de quartz qui constituent là où ils existent d'excellents drains. La recherche d'eau dans le bassin de la Haute Sissili sera donc orientée vers la recherche des fractu res de substratum auxquelles sont associées les poches d'eau.

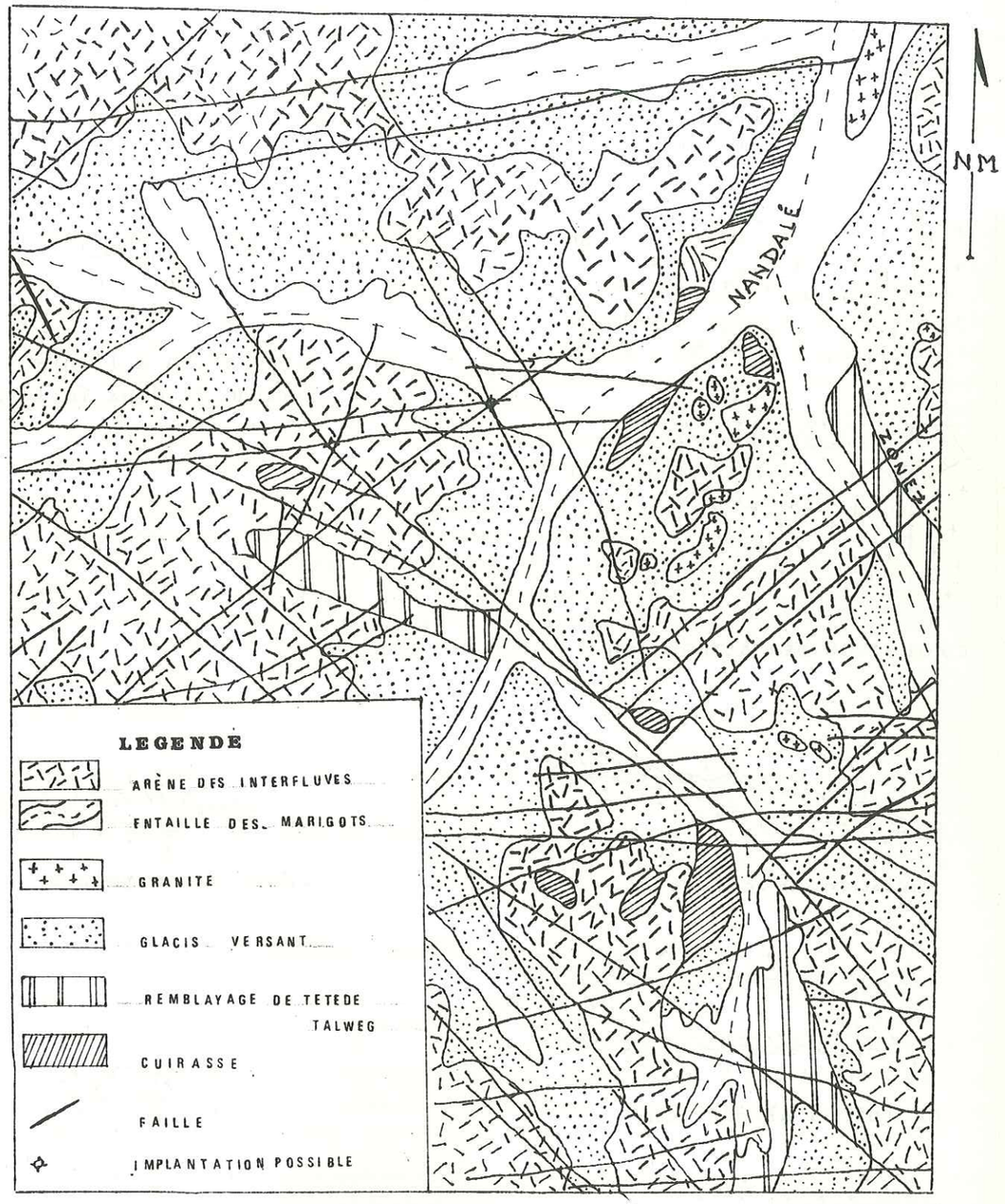
VII - LA FRACTURATION DU SOCLE

7.1. - La nature de la fracturation

L'âge des granito-gneiss ainsi que celui des fractures qui les affectent n'est pas connu avec précision. Les contraintes tectoniques imposées au socle cristallin rigi de ont pu provoquer des ruptures de plusieurs types:

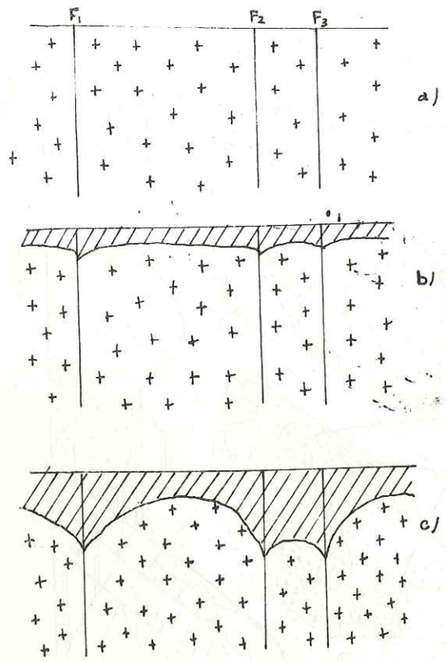
- des joints ou des diaclases favorisant l'altération en boule du granite. Beau coup de ces joints sont occupés par des filonnets de quartz. Ils sont très nombreux et forment un réseau complexe découpant la roche en une multitude de mailles de forme très variable.

- des failles qui sont d'importants accidents cassants. Elles sont généraleme verticales, planes et rectilignes ou légèrement curvilignes. Leur longeur est d'ordre du

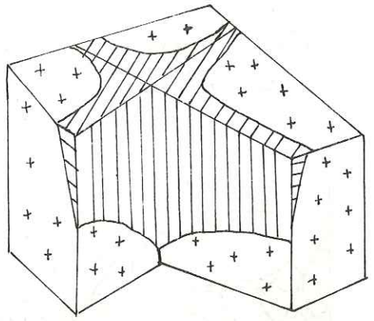


EXTRAIT DE CARTE AU 1 50000 DU RANCH

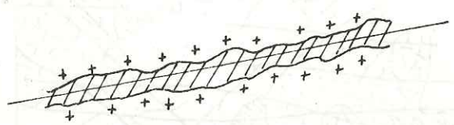
FIGURE 24



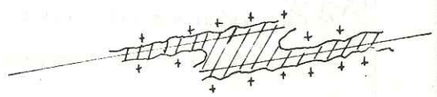
ÉVOLUTION DE L'ALTÉRATION



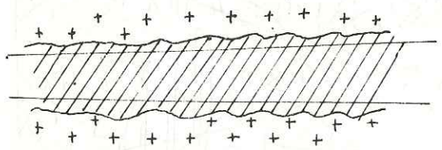
Altération à l'intersection de deux failles



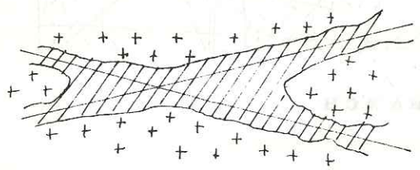
altération sur une faille



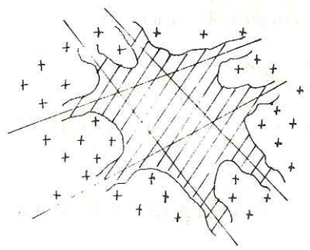
Failles en relais



Couloir d'altération



Croisée de failles



Réseau maillé

ZONES PREFERENTIELLES DE L'ALTERATION

kilomètre à plusieurs dizaines de kilomètres. Les failles du bassin versant s'ordonnent suivant deux directions principales: NW.SE et SW.NE (ces deux directions sont parallèles à celles du champ de failles ouest africain). Il existe également des accidents moins fréquents de direction est-ouest et nord-sud. Les failles s'ordonnent par paires parallèles et se recoupent soit orthogonalement, soit sous des incidences variables, délimitant des couloirs allongés et des mailles carrés ou lozangiques (extrait de carte au 1/50000 du ranch).

7.2. - Fracturation et altération

Hors des zones décapées de relief (dômes de granites affleurant) où l'érosion prend le pas sur l'altération, cette dernière développe une importante action per descensum dont les produits s'accumulent et forment le profil que nous avons décrit. Mais ce processus se développe plus rapidement au droit des fractures parceque la fracturation a modifié la cohésion de la roche en cette zone devenue un drain. Les fractures peuvent être isolées ou associées en réseau dense; dans ce dernier cas comme dans le premier il leur correspond une évolution particulière du mode d'altération (figure 39).

Nous voyons donc que les zones d'altération maximum seront localisées sur une faille, à l'intersection des failles, entre deux failles rapprochées (100 à 200m), dans les mailles de fractures de faible diamètre. On pourrait dire de l'altération ce que J.R.A. GODARD (cité par J. RISER) a dit de l'érosion : " l'action de l'érosion différentielle est d'autant plus originale que les manifestations de la tectonique ont pris des formes variées telles que: fracturation à grande échelle, existence de filons, diaclases, macro-macro et microfissuration".

CONCLUSION

L'inégale répartition des masses d'altération entraine une inégale répartition des ressources hydrauliques. Les meilleures conditions d'implantation des ouvrages d'exploitation de l'eau (forages surtout) seront réalisées lorsqu'une forte épaisseur d'altérites se superposera à une fracture ou à une association de fractures. Des exemples nous sont fournis au Ghana où des forages foncés dans le granite fissuré donnent des débits de 7 à 9m^3/h.

7.3. - Facteurs limitant le rôle de drain des fractures

7.3.1. - Influence de la profondeur sur les fractures

Les fractures ouvertes en surface se referment en profondeur provoquant une réduction importante de la perméabilité. Les fissures satellites des failles disparaissent rapidement; l'importance et la fréquence des vides diminuent dans le même sens.

Par suite, s'il est connu que le débit extrait augmente avec la profondeur de l'ouvrage (épaisseur de l'aquifère), il n'en demeure pas moins que le débit spécifique chute très rapidement.

7.3.2. - Influence de l'altération sur les fractures

Le lessivage du manteau altéré par les eaux d'infiltration favorise le transport de particules fines qui peuvent venir colmater partiellement les fissures. On peut donc s'attendre à ce que le sommet de la zone fracturée de la roche présente des caractéristiques hydrauliques voisines de celles de l'arène qui la surmonte.

VIII - METHODES DE RECHERCHE DES FRACTURES

Nous en avons utilisé trois: la géomorphologie, la photographie aérienne et la géophysique.

8.1. - La géomorphologie

Elle est le seul guide pour les études de terrain; la rareté des affleurements et l'absence de belvédère rendent nécessaires la prise en considération des formes morphologiques. C'est en nous aidant de la morphologie que nous pourrons ordonner les différentes cuirasses et distinguer les arènes annonçant le socle de celles qui correspondent à des épandages alluvionnaires. On lui doit surtout le tracé des contours des différentes formations à partir des photo aériennes.

8.2. - La photographie aérienne

Elle est en fait l'outil principal du géologue. Elle permettra la délimitation précise des faciès qu'on aura pu distinguer sur les itinéraires du levé géologique.

En admettant comme critères de fracturation du socle:
- les alignements de la végétation, la rectitude de certains contacts, la délimitation rectiligne du grisé des photos et le réseau hydrographique hiérarchisé et orthogonal, nous arrivons à tracer un réseau très dense de failles dont nous avons déjà fait la description. (cf-7. 1.)

8.3. - La géophysique

Etant donné le grand nombre d'hypothèses que nous avons admises pour le tracé des failles, le rôle de la géophysique sera de les infirmer ou de les confirmer, mais aussi de localiser avec precision les fractures.

Son emploi vise donc à répondre à deux questions principales:
-- Existe-t-il vraiment des fractures dans le socle ?
-- Et si oui, suivent-elles les tracés que nous leur avons donnés en nous appuyant sur les photographies aériennes ?

8.3.1. - Les travaux de géophysiques antérieurs

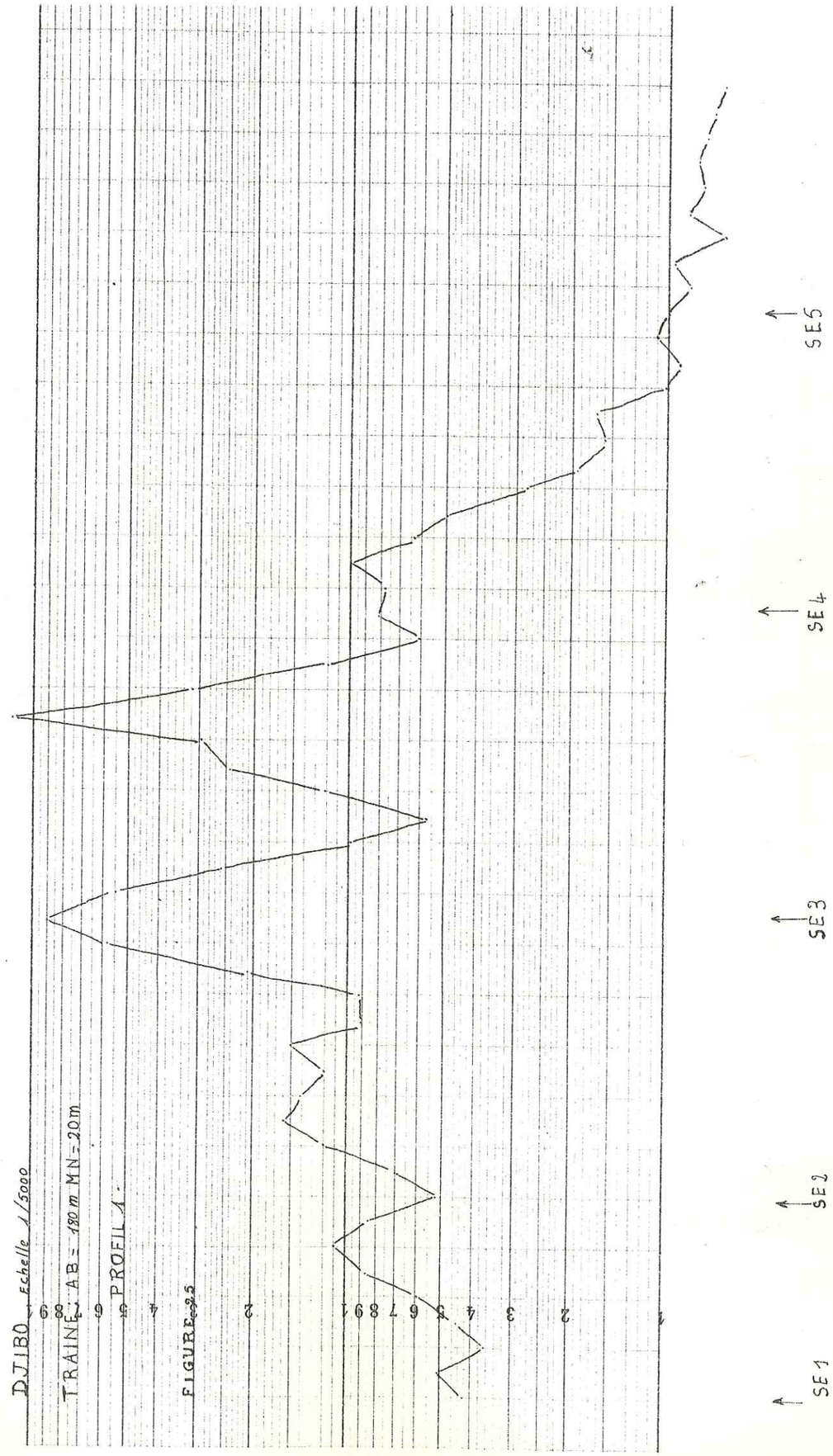
Les campagnes de géophysique de recherche d'eau menées en Haute-Volta depuis 1960 ont montré l'aptitude de celle-ci à résoudre les problèmes de détection de failles et de filons dans le socle cristallin. L'exemple le plus récent que nous pouvons citer est l'étude géophysique de Djibo (au Nord-Est de la Haute-Volta): la présence de la faille s'est traduite par une importante variation de résistivité sur le profil de trainé électrique (figure 28). Les sondages électriques (SE4 et SE5) que nous avons effectués avant puis sur l'accident à 220 mètres l'un de l'autre font ressortir une importance différence d'épaisseur de la zone d'altération entre les deux points d'implantation des sondages. La brutalité de la variation de profondeur permet de dire que la faille a été accompagnée d'un important rejet vertical.

CAS DE NOTRE BASSIN VERSANT

La sismique réfraction qui a quelquefois été employée pour la résolution des problèmes de socle est ici inopérante à cause de la présence de la cuirasse dont les vitesses de propagation sont supérieures à celles des altérites sous-jacentes. La méthode de prospection électrique a donc été choisie pour l'étude du périmètre du ranch de Léo.

Implantation de la géophysique

Les secteurs prospectés étaient ceux où la fracturation était la plus dense. Ceci afin de mettre en évidence des zones de fortes altérations liées aux intersections



Mission DJIBO

Date 5-11-1974

S.E. 4 et 5

Forage

Interprétation :

Azimut de AB 0 Gr.

Cote de surface

Coupe des terrains

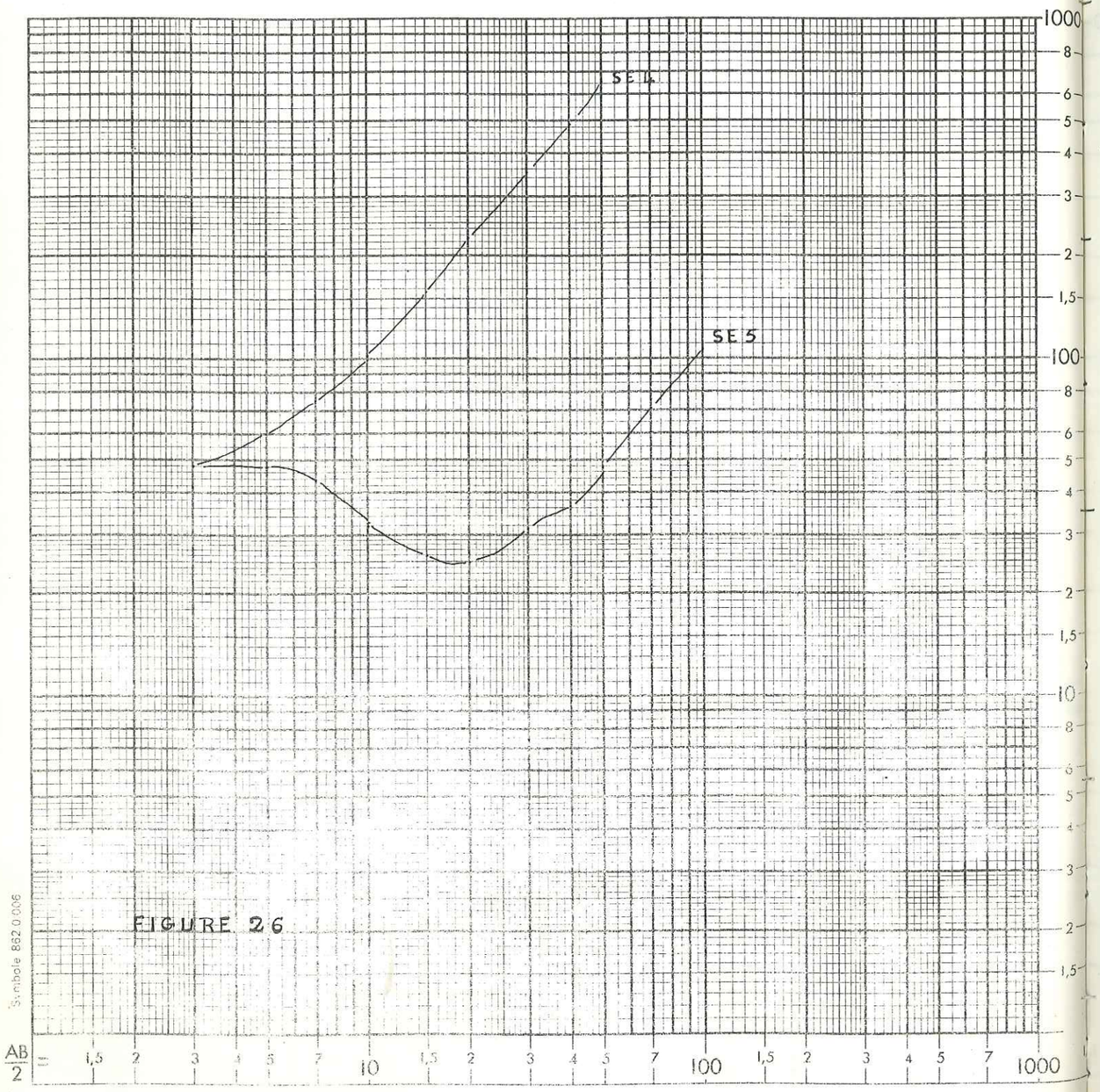


FIGURE 26

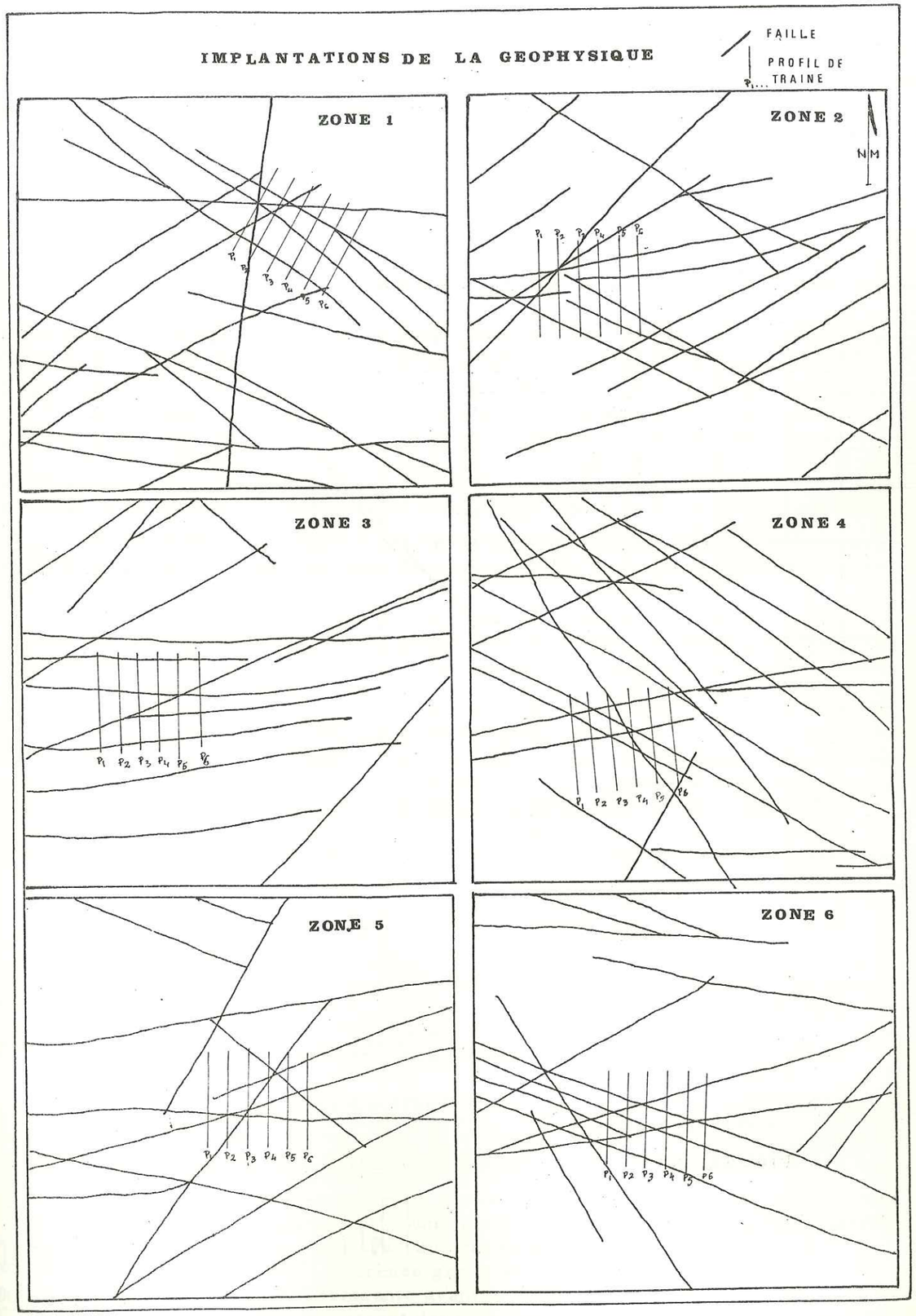


FIGURE 27

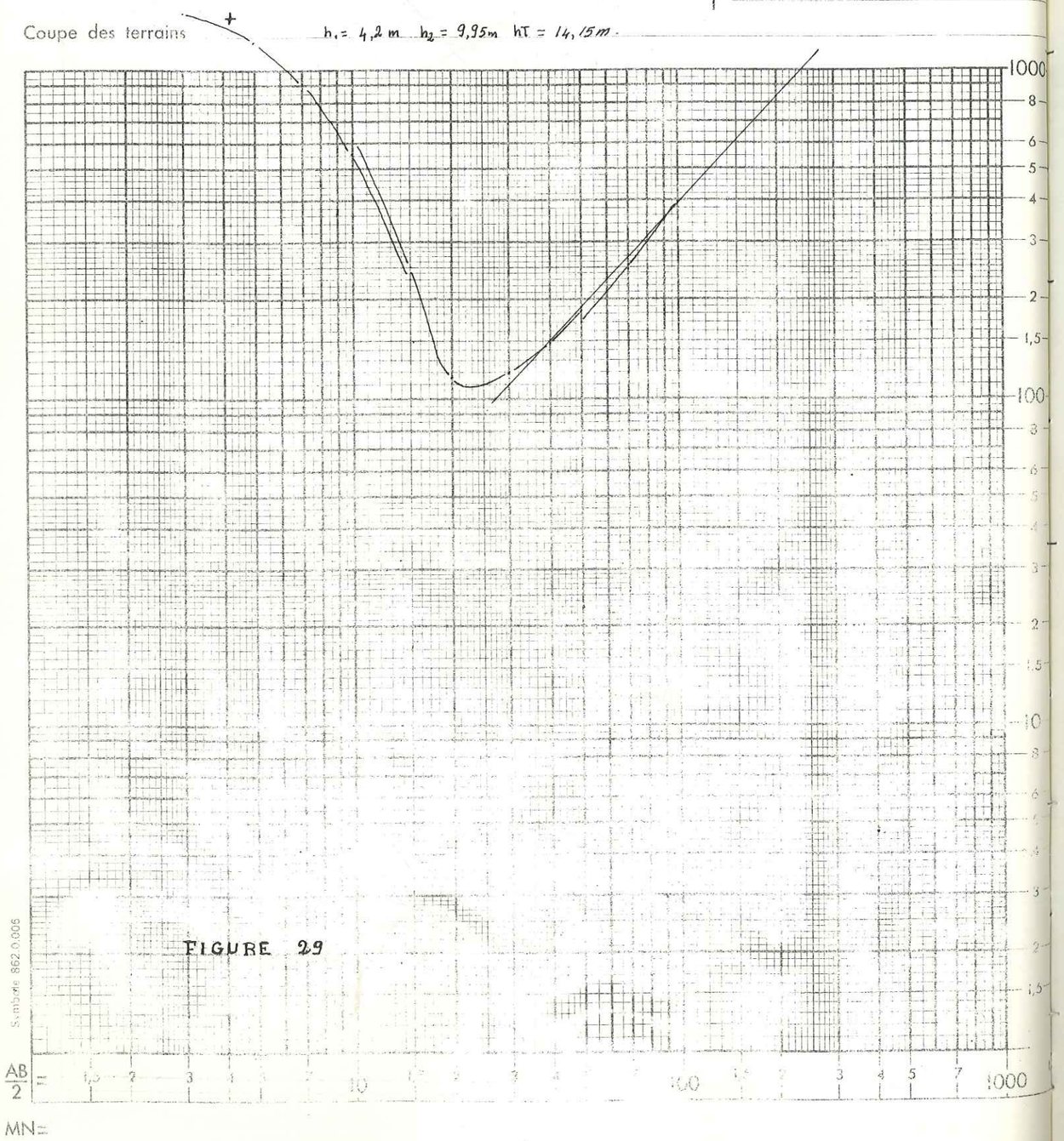


FIGURE 29

des failles, aux couloirs d'altération de failles rapprochées, et aux mailles de failles de faible diamètre.

Les profils de trainé ont reçu une orientation nord-sud afin de leur permettre de recouper toutes les failles dont nous avons déjà donné les directions; d'autre part, les profils étaient nombreux (6 par km^2 et par zone) et resserrés (200m d'espacement) dans le but d'aider à une connaissance détaillée de la morphologie du substratum. Morphologie que nous avons supposé être accidentée en raison de la présence des fractures.

Nous avons réalisé sur les six zones prospectées 38km de trainé et 90 sondages électriques.

Le choix de la longueur de ligne sensible

La courbe de sondage électrique type rencontrée dans le bassin est une courbe trois terrains en fond de bateau avec une remontée finale à 45° correspondant au substratum granitique (figure 29: SE 14 zone 1). Plus le socle résistant est profond, plus la branche montante de la courbe est décalée vers la droite et plus basses seront les résistivités apparentes lues avec une même longueur de ligne AB choisie suffisamment grande pour que l'on reste toujours sur la branche montante. On voit donc que lorsque le profil de trainé électrique recoupera une fracture accompagnée d'une forte altération différentielle par rapport à celle de l'encaissant, nous aurons une variation négative de résistivité; d'où l'emploi du trainé pour le repérage des failles.

Après quelques sondages tests, nous avons conservé la longueur de la ligne AB = 180m (avec MN = 20 mètres) généralement utilisée pour l'étude du cristallin en Haute-Volta.

Sur les cartes de résistivités apparentes, les plages conductrices seront celles où le substratum résistant sera le plus profond et les plages résistantes correspondront au socle subaffleurant. C'est sur quelques points de ces plages conductrices que nous avons effectué les sondages électriques.

Les difficultés opérationnelles rencontrées

En dehors des problèmes d'accès, la seule difficulté rencontrée dans la prospection électrique était liée à la présence de la cuirasse latéritique. En effet, les très fortes résistivités qu'elles présentent la rendent difficilement traversable par les courants envoyés. Il en résulte que le tension et l'intensité aux électrodes MN sont si faibles qu'elles deviennent difficilement mesurables. Nous avons donc dû quelquefois décaler certains tronçons de profil d'une cinquantaine de mètres, arroser les piquets de cuivre d'eau salée tout en doublant leur nombre.

Les résultats obtenus

Sur l'ensemble des six zones prospectées, la gamme de résistivités rencontrées est très étendue allant de 40 à 1500 m. Sur un même profil, les valeurs des résistivités loin d'être regroupées se répartissent de manière à donner au profil un aspect marqué par la présence de pics et de creux (figure 30).

Les courbes de sondage électrique sont toutes semblables: courbes trois terrains en fond de bateau quelquefois amputées de leur branche descendante.

INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE DES RESULTATS GEOPHYSIQUES

Dans le profil d'altération, nous avons distingué six faciès. Sur les courbes de sondage électrique, on constate qu'on n'en différencie que trois: la cuirasse latéritique (800 la 1500 m), les arènes (80 > ρa > 20 m) et le substratum granitique (ρa =). Toutefois, lorsque l'épaisseur des arènes grenues est importante cela peut se traduire sur la courbe par une remontée trainante avant celle à 45° (figure 31: SE 5 zone 1). Les meilleures perméabilités se rencontrant dans les arènes grenues et dans la roche fissurée, la meilleure courbe de sondage électrique sera celle qui est le plus décalée à droite (forte épaisseur d'altération) mais aussi celle comportant une remontée trainante.

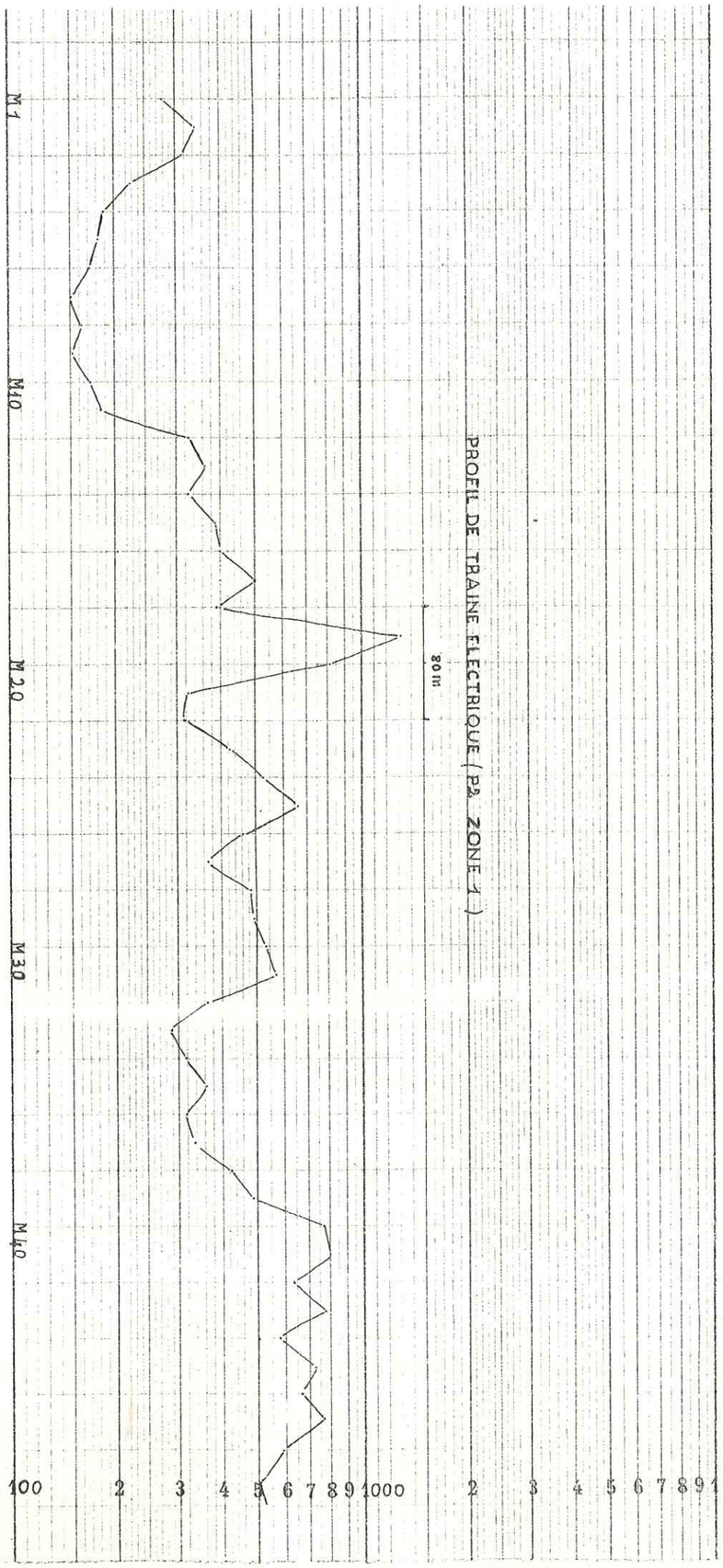


FIGURE 30

Mission LEO

Date 27.

Interval

S.E. 5

Forage P3 M5

Courant AB 30 Gr

Niveau surface

Coupe des terrains

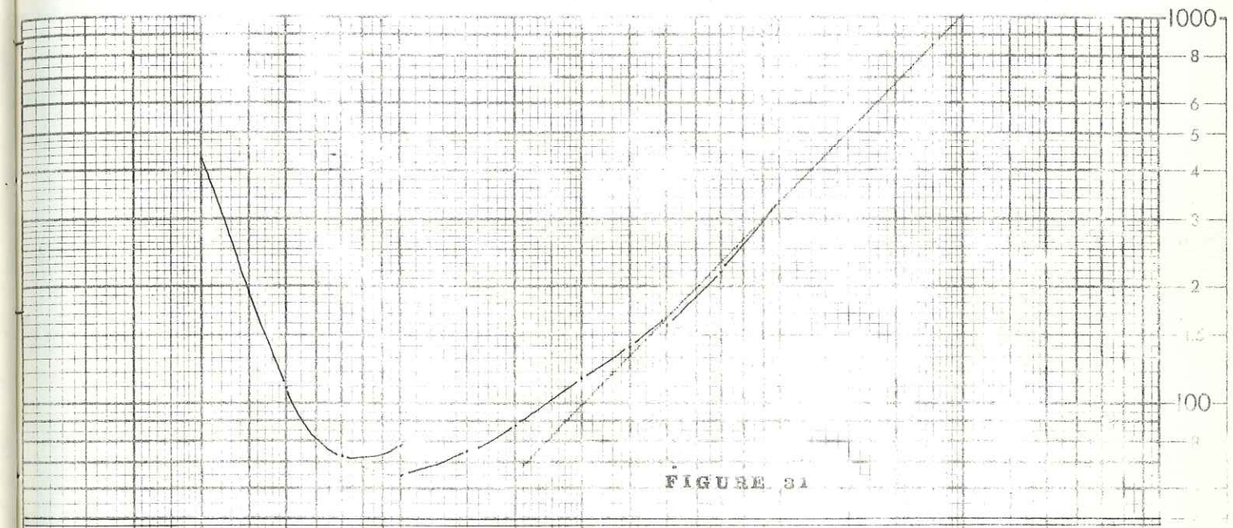


FIGURE 31

LEO ZONE 1 S.E. 9 SUR P4 M14

DATE : 28-2-1975

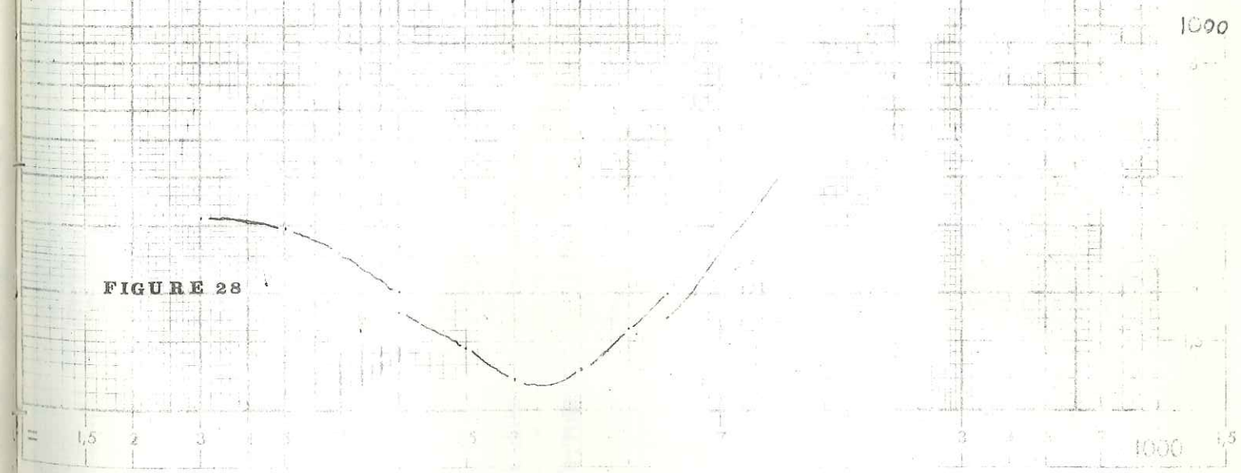
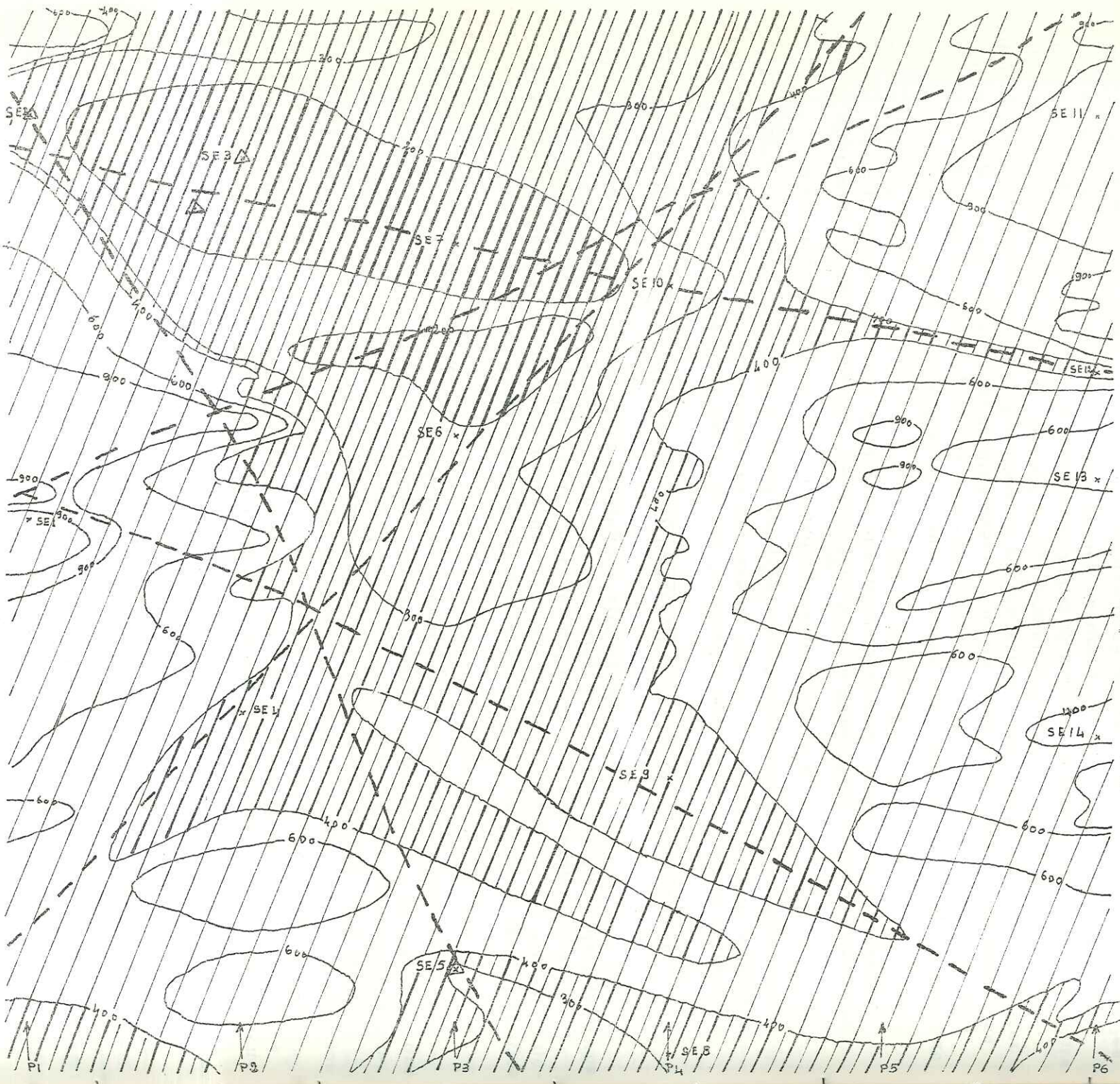


FIGURE 28



RANCH DE LEO ZONE 1

Interprétation hydrogéologique

de la carte de Résistivité

"AB = 180 m MN = 200 m

Echelle : 1/5000

>400 Subaffleurant "Granite ou cuirasse sur granite"

200 à 400 Altération peu profonde

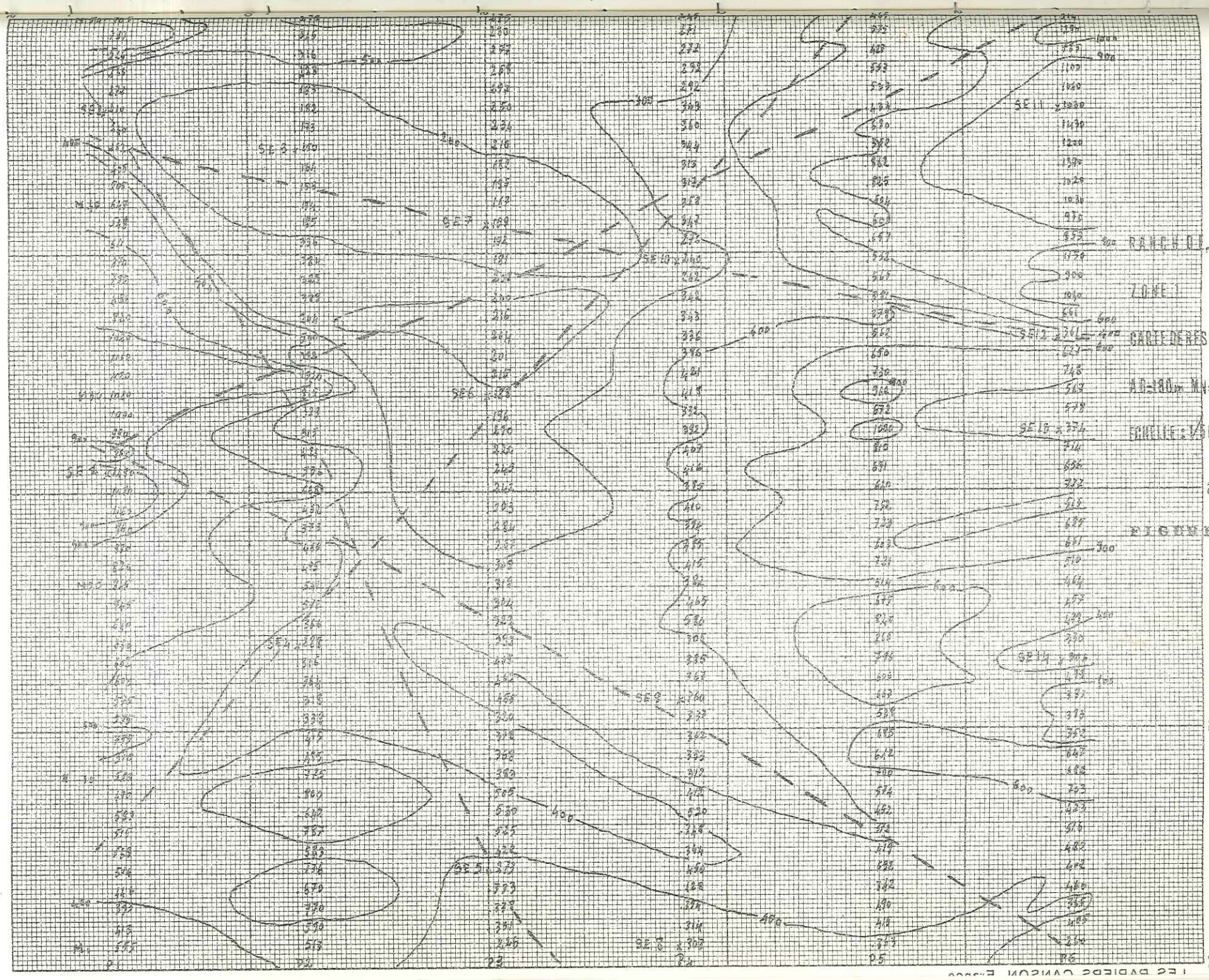
<200 Altération épaisse et humide.

FRACTURES

P_1 .. P_6 Profil de résistivités

△ Forage de reconnaissance.

FIGURE 32



RANCH DE LEO

ZONE 1

CARTE DE RESISTIVITES

AB=180m MN=200m

ECHELLE : 1/5000

FIGURE 32

Les six sondages électriques sur lesquels ont été faits les forages d'essai de débit répondent à la première condition, mais pas tous à la deuxième. Sur les courbes, il est également impossible de savoir à quelle profondeur se trouve le toit de la nappe. Ce fait s'explique par l'inexistence d'un contraste de résistivité marqué entre les altérites noyées et les altérites sèches: l'état d'humidité du profil ne décroît que très progressivement de la nappe vers la surface du sol (figure 19) à cause de la forte porosité d'interstice des arènes qui leur permet de conserver un taux d'humidité toujours élevé. Sur les cartes de résistivités apparentes tracées à partir des profils de trainés électriques, nous constatons l'existence de nombreuses directions d'anomalies électriques. Ces anomalies correspondent aux failles que nous avons reprérées sur les photo-aériennes. Au vu du nombre de ces axes d'anomalies, on peut dire que le réseau de fractures dont la densité nous paraissait très élevée (extrait de la carte au 1/50000 figure 26) a même été sousestimé (figure 32). L'allure générale de la morphologie du substratum que l'on peut déduire des cartes de résistivités confirme la thèse que nous avions déjà avancée à ce sujet: à savoir que l'on a affaire à un socle de dômes, de pics et de plateforme isolant des poches d'altération profondes. Sur la carte de résistivités de la zone 1 (figure 32), nous avons par exemple deux poches correspondant aux 2 plages dont les résistivités sont inférieures à 200 m.

Nous remarquerons que même sur une faille donnée, l'épaisseur de l'altération varie considérablement d'un point à un autre, et ceci de façon imprévisible. Ce phénomène peut s'expliquer par une variation de l'écrasement de la roche le long de la faille et aussi par une variation de faciès (variation de l'importance des minéraux de feldspaths et de ferromagnesiens qui sont plus facilement altérables).

GEOPHYSIQUE ET OUVRAGES D'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Les variations de résistivités sur les profils traduisent l'inégale répartition spatiale des altérites. En reportant les valeurs du trainé sur les courbes de sondage électrique, nous arrivons à déterminer les profondeurs qui leur correspondent.

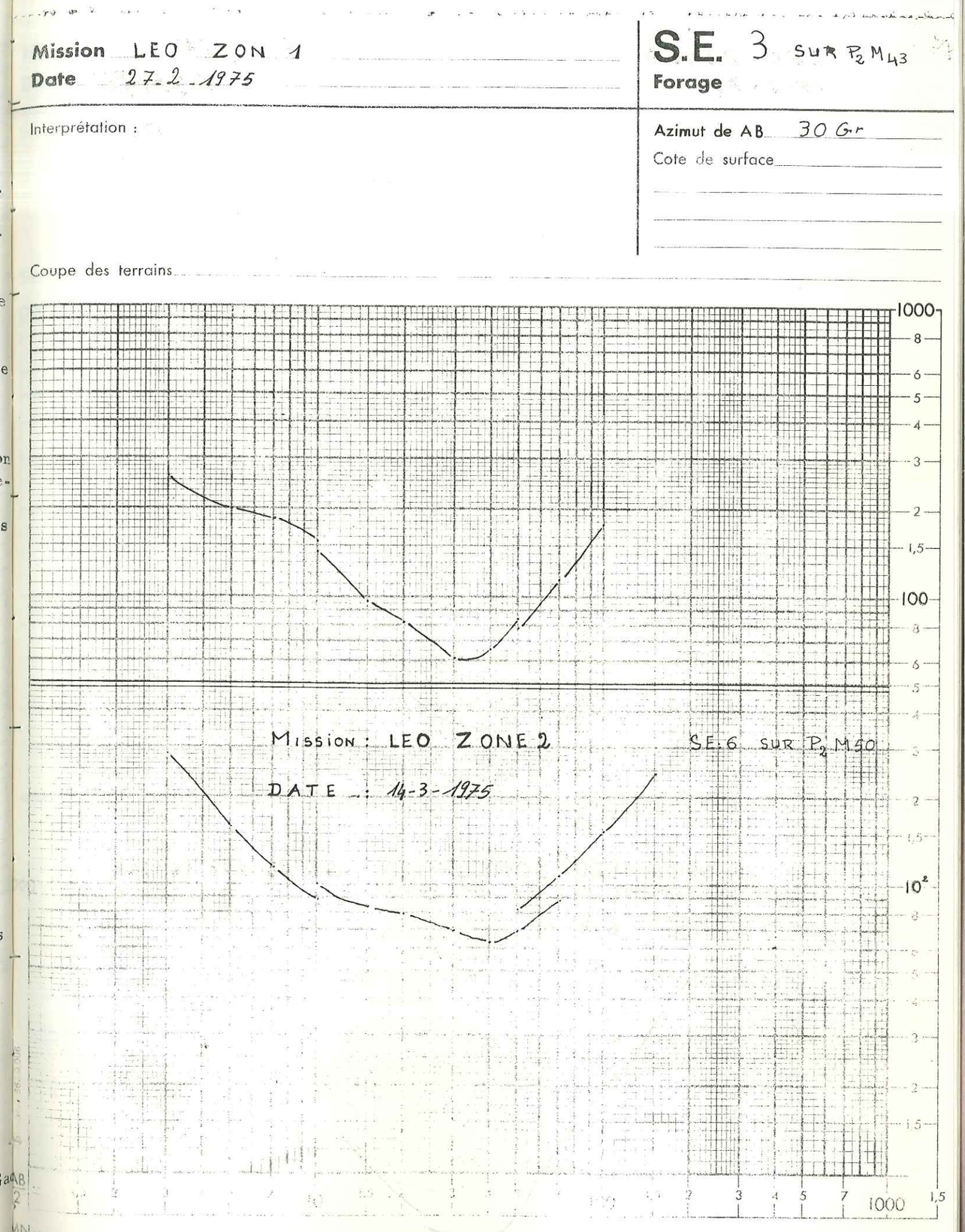
Nous pouvons diviser ces profondeurs en trois tranches:

- une couverture très peu épaisse avec (a 400 m; elle s'identifie au subaffleurant sur lequel on ne peut pas implanter d'ouvrage d'exploitation d'eau souterraine de quelque nature que ce soit.

- une couverture d'épaisseur moyenne comprise entre les courbes de sondage électrique dont la branche montante coupe l'axe des résistivités à 400 Ωm et à 250 Ωm (avec AB = 180m et MN = 20m). Cette tranche d'épaisseur convient particulièrement aux puits. En effet, sa profondeur réduite doit permettre de poser les buses sur le socle afin d'éviter que celles-ci ne basculent sous un effet de tassement différentiel des arènes si elles devaient supporter le poids de la colonne de béton (à Kayéro on peut en effet voir un puits moderne du village fauché après lessivage des arènes sur lesquelles reposaient ses buses. Ce cas de fauchage est cependant unique dans le bassin versant bien que tous les puits modernes s'arrêtent au niveau des arènes fluentes.).

- les altérites très épaisses: il leur correspond des valeurs de résistivités inférieures à 250 Ωm sur les profils de trainé. Leur exploitation nécessite des forages.

- Ces dernières considérations sont fondées sur les épaisseurs d'altérites calculées à partir des sondages électriques SE 14 de la zone 1 (14m d'altération) et SE 6 de la zone 6 (33m d'altération). Nous avons également tenu compte de la valeur maximale de la fluctuation annuelle des niveaux hydrostatiques des nappes du bassin versant (13, 65m à Gao). En effet, on peut considérer que toute altérite dont l'épaisseur est supérieure à la valeur métrique du rabattement maximal des nappes, majorée de la profondeur de la nappe aux hautes eaux, reste partiellement noyée pendant toute la durée de la saison sèche



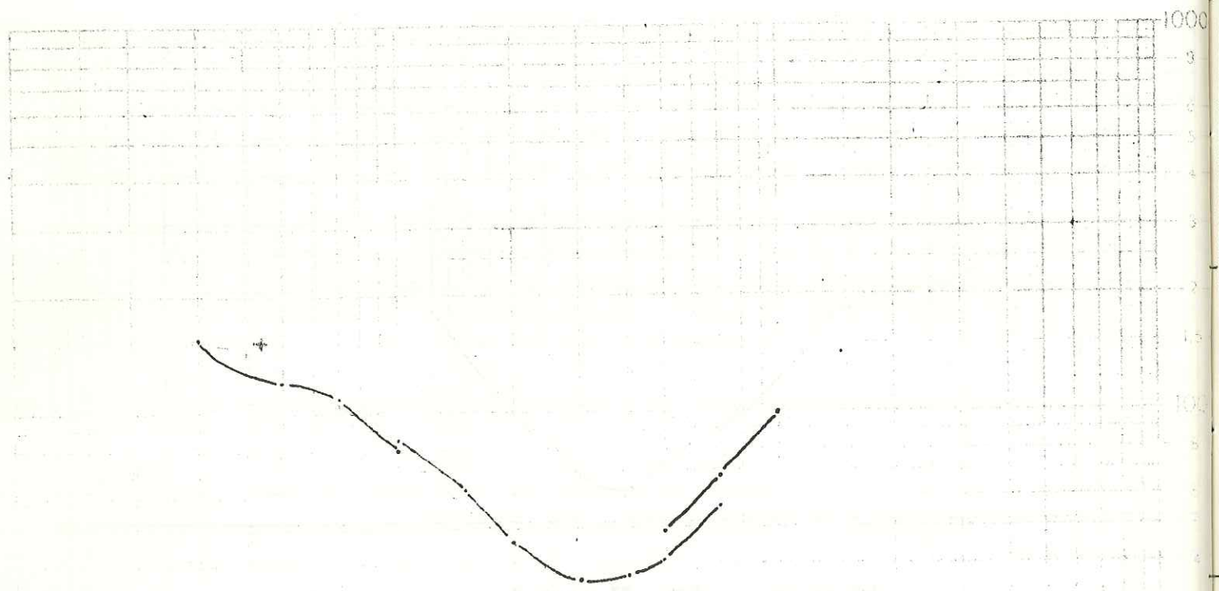
Mission LEO Zone 3
Date 15-3-75

S.E. 15
Forage P5M42

Azimut de AB 0Gr
Cote de surface

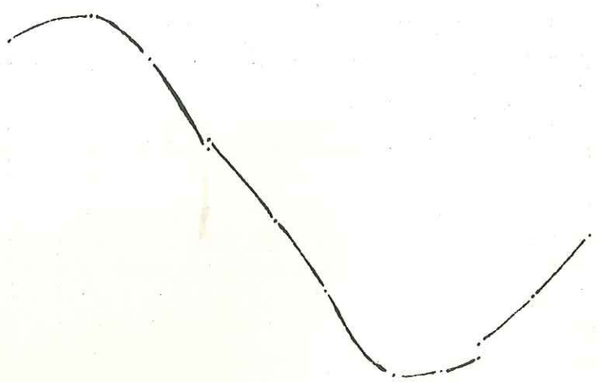
Interprétation :

Coupe des terrains



MISSION: LEO ZONE4 SE 13 SUR P5 M25

DATE : 6-3-75



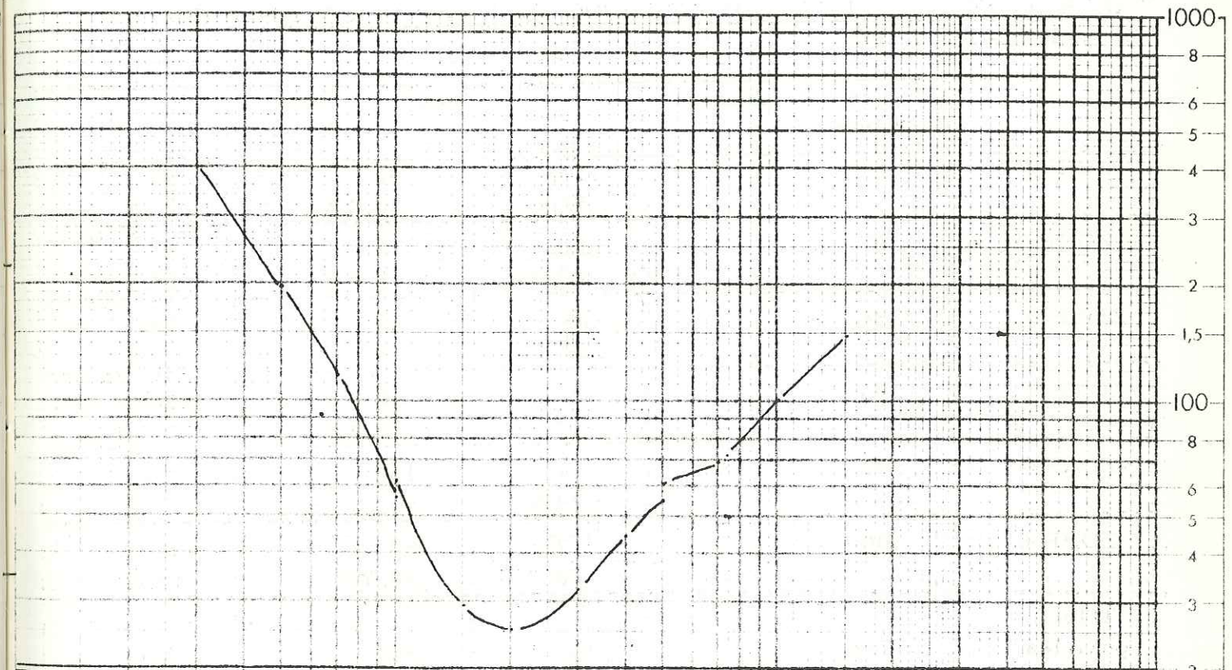
Mission LEO ZONE 5
Date 21-2-1975

S.E. 11
Forage P_3 M_{33}

Azimut de AB 0 Gr
Cote de surface

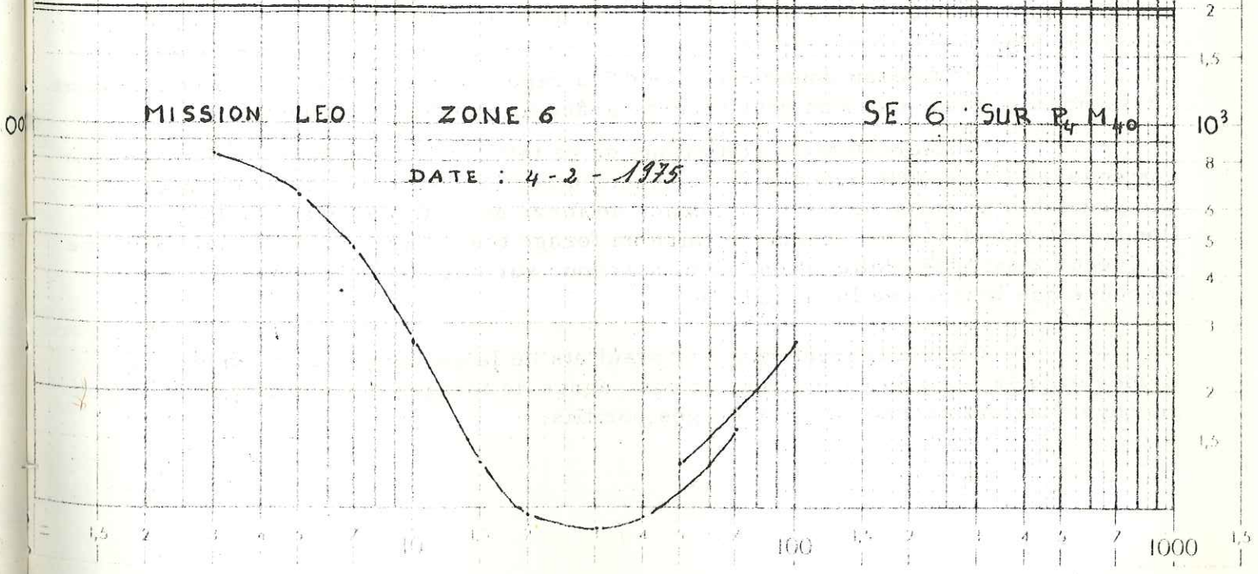
Interprétation :

Coupe des terrains



MISSION LEO ZONE 6 SE 6 SUR P_4 M_{40}

DATE : 4-2-1975



La préférence de l'ouvrage forage au puits se justifie par les difficultés qu'il y a à réaliser un puits dont la profondeur excède 30m.

REPARTITION STATISTIQUE DES ALTERITES EN FONCTION DE LEUR EPAISSEUR

Nous avons déjà distingué trois tranches d'altérite en fonction de l'épaisseur. Essayons de voir quelle est l'importance reletive de l'extension spatiale de chacune d'elles en examinant les cartes de résistivités apparentes. Nous allons le faire d'une statistique, en comptant le nombre de mesures appartenant à chaque tranche. Nous reporterons sur un tableau récapitulatif, par zone, le nombre de mesures appartenant à chaque tranche et son pourcentage relatif au nombre total de mesures par zone. La dernière ligne du tableau est réservée aux totaux des mesures et à leur pourcentage relatif au nombre total de mesures de l'ensemble des six zones étudiées.

TABLEAU DE REPARTITION DES MESURES DE RESISTIVITES APPARENTES

AB = 180m - MN = 20m

	Nombre de mesures par zone	400	400 250m	250m
ZONE 1	300	173 57,6 %	91 30.4 %	36 12 %
ZONE 2	307	124 40.4 %	127 41.4 %	56 18.2 %
ZONE 3	296	65 22 %	83 28 %	148 50 %
ZONE 4	295	1 0 %	60 20.5 %	234 79.5 %
ZONE 5	300	72 24 %	132 44 %	96 32 %
ZONE 6	300	175 58.3 %	89 29.7 %	36 12 %
TOTAL pour les 6 ZONES	1798	610 33.93 %	582 32.37 %	606 33.70 %

Ce tableau donne une idée de la répartition des altérites dans les zones à fracturation dense que l'on peut repérer grâce aux photos-aériennes.

L'interprétation statistique de ce tableau nous permet de dire que: sur ces zones définies nous avons 34% de chance à réaliser sans aucune étude géophysique préalable un puits sec;66% de chance de forer un puits contenant de l'eau toute l'année durant et 34% de chance de faire un forage très réussi, c'est à dire dans une épaisseur maximale d'altération. Ceci parceque sur ces zones le subaffleurant n'occupe que le tiers de la superficie.

Cette interprétation des résultats de la géophysique se trouve confirmée dans le Nord du Ghana, où les campagnes de forages entreprises sans études géophysiques obtiennent 70% d'ouvrages positifs.

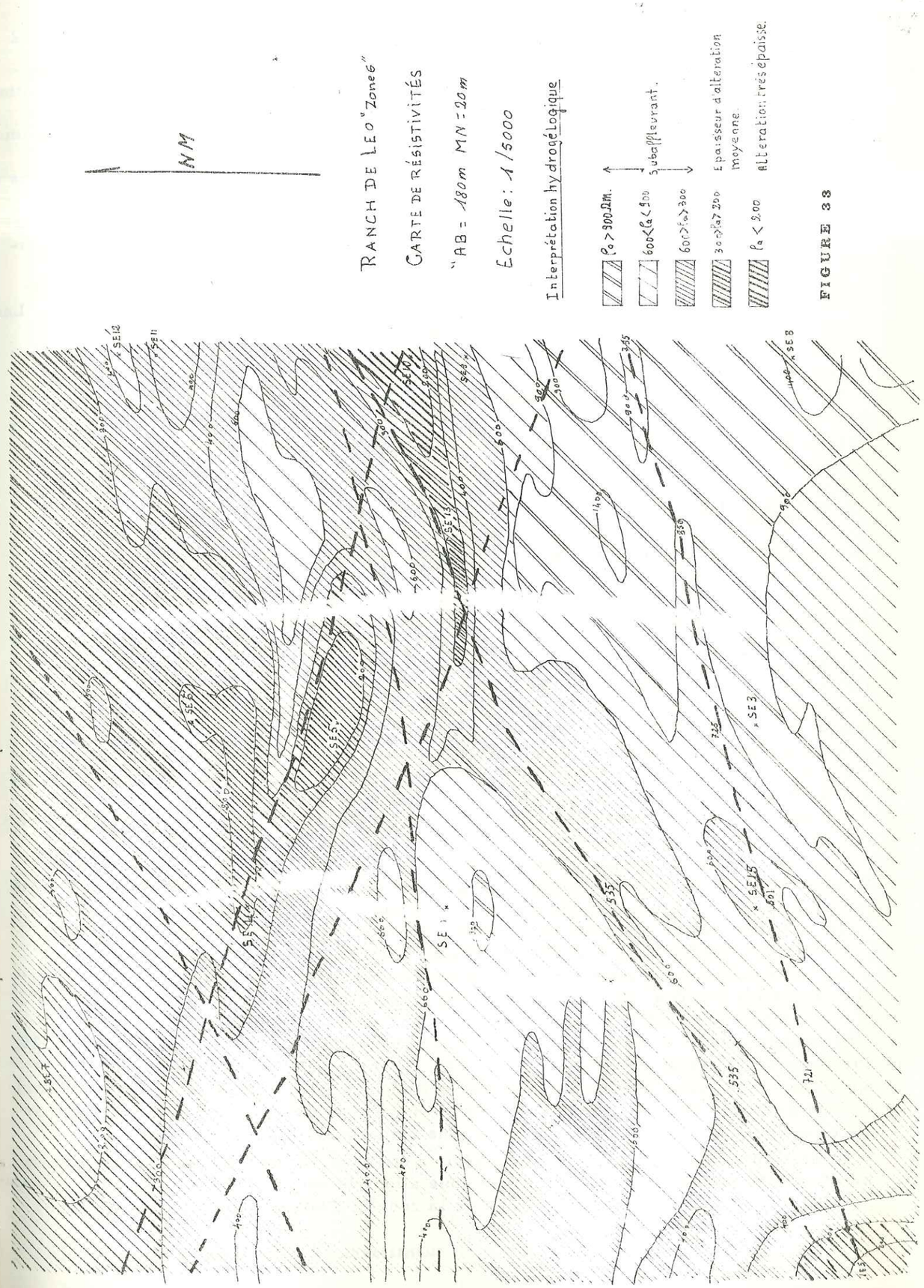


FIGURE 33

On peut donc conclure qu'au niveau du bassin versant de la Haute Sissili, une première importance doit être accordée à l'étude hydrogéologique qui, grâce à une exploitation attentive des photoaériennes permet de dégrossir de 70 % le problème de l'inplantation des ouvrages d'exploitation des eaux souterraines. La géophysique servira surtout comme un moyen de localisation précise des données hydrogéologiques.

Dans le détail, l'examen des cartes de résistivités permet de distinguer deux types de secteurs:

- les secteurs à ressources continues correspondant à une couverture d'altérite bien épaisse partout; un exemple nous fourni par la zone 4 où les résitivités apparentes sont toutes inférieures à 400 Ω m.
- les secteurs à ressources discontinues où la couverture d'altération est réduite par endroit et la nappe absente; c'est le cas des cinq autres zones du ranch d'embouche. Les aquifères y sont limités à des poches isolées.

Si dans les secteurs à ressources continues on peut exploiter en tout point et en toute saison des volumes appréciables d'eau, ce n'est pas le cas pour les secteurs à ressources discontinues où les aquifères revêtent un caractère exceptionnel et accidentel. L'implantation des ouvrages peu importants (puits villageois) ne nécessitera pas d'études particulières dans le premier cas alors que dans le second, pour tout ouvrage, on devra faire appel à la géophysique.

8.4- LES FORAGES

Il y en a eu de deux sortes: des forages de reconnaissance et des forages d'essai de débit réalisés respectivement par deux rotarys de marque CALWELD et ACKER.

-Le gros diamètre des sondages de reconnaissance (30 pouces) a permis d'obtenir de nombreux renseignements hydrogéologiques sur les altérites :

+ dans les déblais, nous avons pu noter la présence de galets roulés, de petits miroirs de faille ainsi que de nombreuses stries qui montrent qu'il y a eu effectivement des failles et qu'à ces failles correspondent de grandes épaisseurs d'altération (très rarement, les forages de reconnaissance qui ont souvent atteint 25 mètres de profondeur ont pu toucher le socle sain).

+ les fractures, lorsqu'elles étaient ouvertes et situées au-dessus du niveau hydrostatique ont donné lieu à des pertes d'eau pendant l'exécution des forages d'essai de débit. Ces pertes furent constatées aux forages ACKER des zones 1, 3, 4 et 5).

+ des filons de quartz ont été quelquefois rencontrés (dans la zone 2 surtout). Mais ce n'était en fait que des filonnets dont la taille n'a jamais dépassé un mètre.

+ dans les coupes des forages, nous avons retrouvé tous les faciès que avons décrits.

Si nous considérons par exemple les forages de reconnaissance de la zone 6 qui ont été faits à partir de la bordure de la Sissili et en s'en éloignant, nous pouvons en tirer la coupe schématique de la figure 36. Cette coupe se rapproche beaucoup de celle de la figure 23. Ici aussi, nous sommes obligés de faire intervenir des seuils entres les différentes poches pour justifier les différences de profondeur des niveaux hydrostatiques entre les forages. En effet, il n'existe presque pas de dénivelé entre les points d'implantation des quatre forages.

Ces forages ont été réalisés sur les sondages électriques SE. 7, SE. 6, SE. 5 et SE. 10. Sur la carte de résistivités de la zone 6 (fig. 33), no voit bien que la poche à laquelle appartient le sondage SE. 7 est séparée de celle qui regroupe SE. 4 et SE. 5 par un bombement de socle. Le sondage SE. 5 est sur une poche séparée également des autres par deux seuils dont celui situé au sud est le plus remarquable.

+Un faciès d'altération de couleur vert clair a été observé dans la zone des arènes du profil d'altération de la zone 5. Comme nous allons le voir, le meilleur débit de la campagne de forages a été obtenu du forage de la zone 5. Cette couleur serait donc dûe à

LOGS DES SONDAGES DE RECONNAISSANCE DE LA ZONE 6

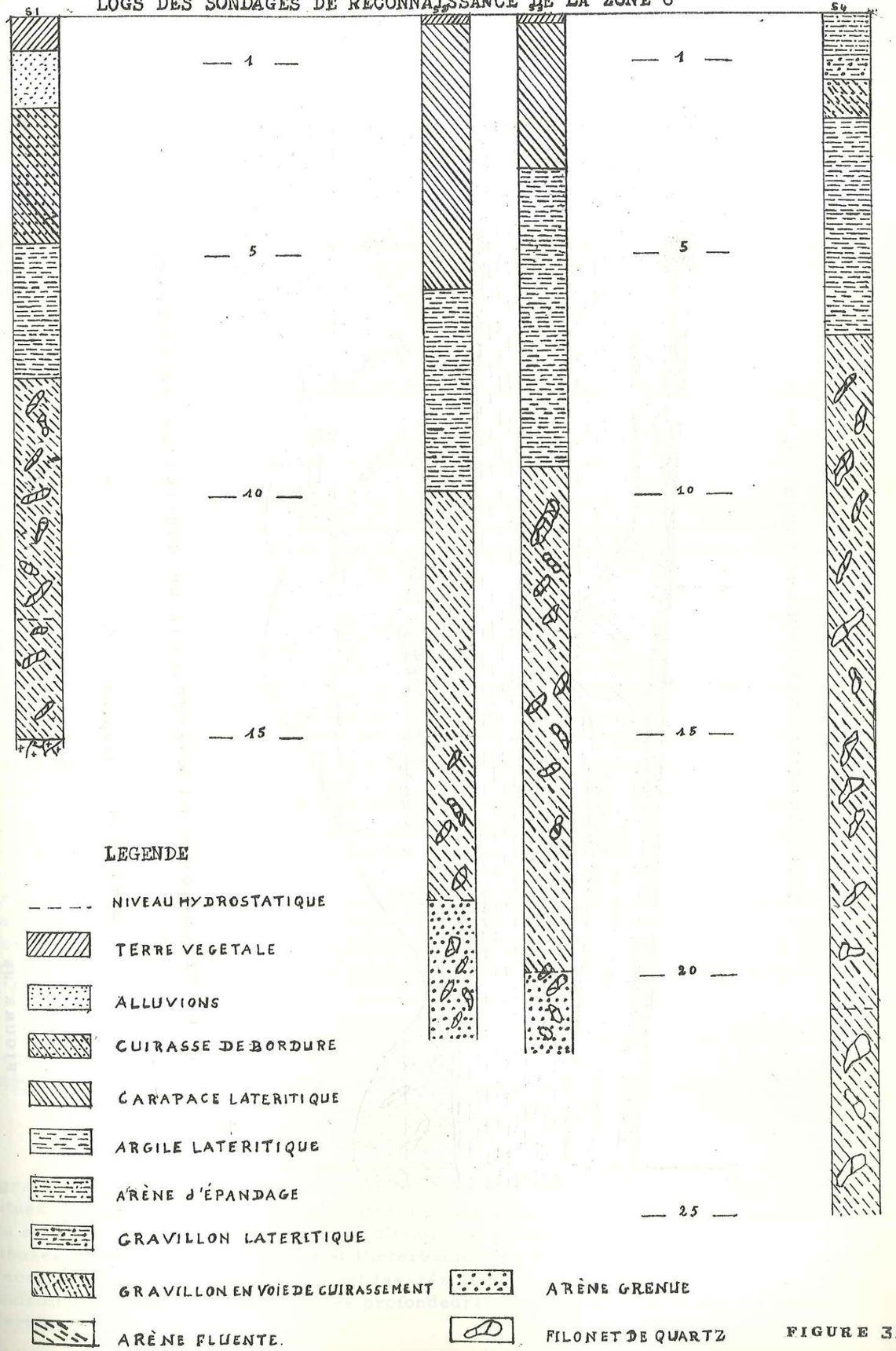
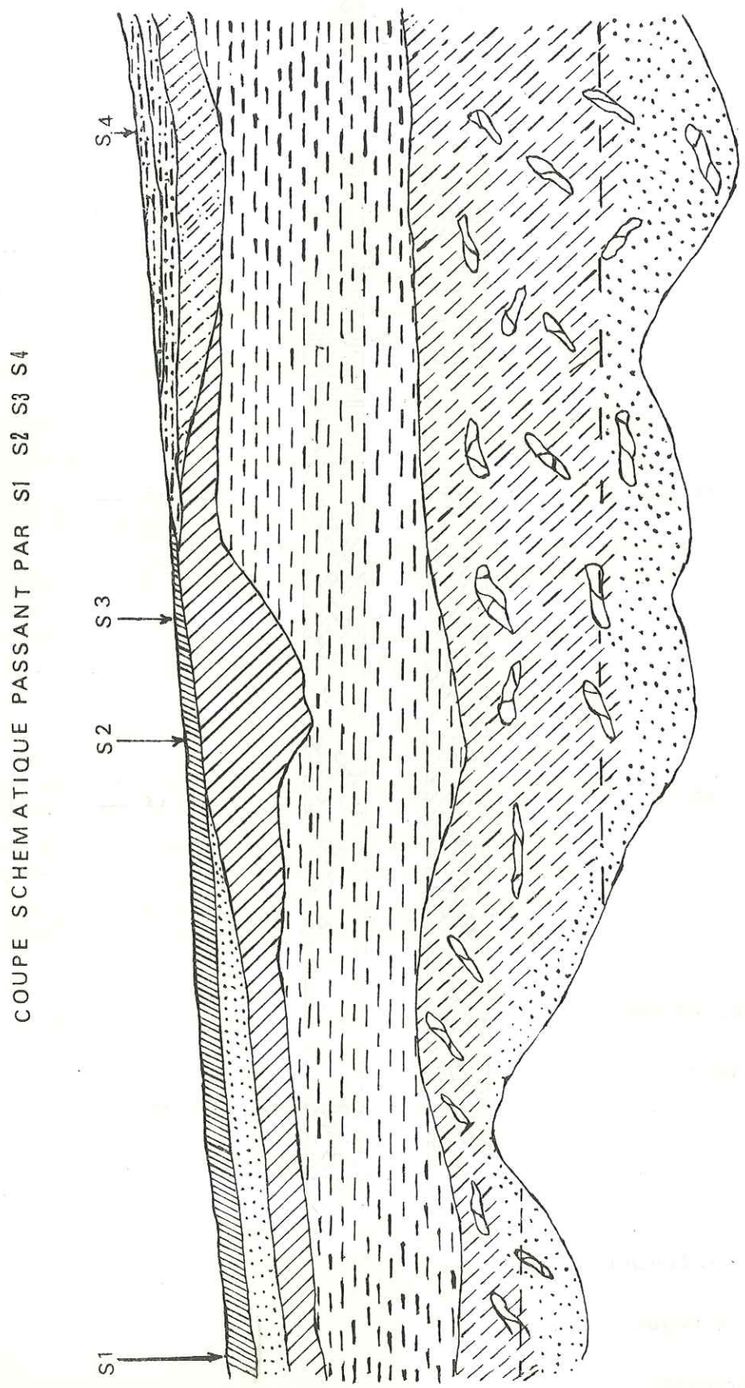


FIGURE 35



FACIES GEOLOGIQUES ET MORPHOLOGIE DU SUBSTRATUM DE LA ZONE 6

ECHELLES : longueur 1/5000

hauteur non respectée

FIGURE 36

un lessivage intensif des feldspaths permettant ainsi d'obtenir une bonne perméabilité dans les altérites qui étaient ici très riches en quartz.

8.5. - Forages et géophysique.

Les sondages de reconnaissance ainsi que les forages d'eau ont confirmé d'une manière générale l'existence des fortes épaisseurs d'altération indiquée par la géophysique. Il faut cependant noter qu'en aucun endroit les profondeurs réellement indiquées par les sondages n'ont été atteintes. Ce phénomène qui tend à faire croire qu'il y a eu une surestimation des profondeurs par les sondages électriques devrait plutôt être interprété comme une incapacité des machines employées à descendre dans le substratum fissuré dont les résistivités contrastent beaucoup avec celles du granite sain pour pouvoir influer sur la courbe de sondage électrique de la même manière que les arènes.

8.6. - Niveaux hydrostatiques d'étiage et profondeur du socle (figure 37)

D'une manière générale, là où le socle est profond, donc recouvert par une épaisse altération, le niveau hydrostatique d'étiage l'est aussi. Deux faits expliquent cette relation:

- il y a un accroissement du prélèvement évapotranspiratoire proportionnel à l'épaisseur d'altération qui surmonte le substratum (en étudiant la fluctuation des nappes nous avons pu remarquer que le rabattement était plus important en plateau où les puits étaient plus profonds qu'en bas-fond);

- la remontée tardive et insuffisante des nappes d'altération profonde en hivernage. A la grande épaisseur d'altération située au dessus de la nappe correspond un déficit d'humidité qui lui est proportionnel. Le comblement de ce déficit d'humidité avant la remontée des nappes (recharge occulte des nappes) va donc nécessiter des apports pluviométriques plus importants. Il est donc à prévoir que ces nappes ne commenceront à remonter qu'en fin août début septembre, et que ces nappes resteront toujours assez profondes jusqu'à la fin de la saison des pluies.

Les nappes peu profondes indiquent donc une faible épaisseur d'altération. C'est ainsi que si la faible profondeur des nappes de bas-fond peut s'expliquer en partie par une plus grande durée de passage des eaux de ruissellement qui favorisent ainsi une meilleure infiltration, on peut remarquer que même en bas-fond, lorsque le passage d'une faille occasionne la présence d'une forte épaisseur d'altération, la nappe est profonde: Exemple- le forage de reconnaissance n°9 de la zone n°1 où le niveau piézométrique se situe à 22,70m en dessous du lit majeur de la rivière où le forage a été implanté (le sondage électrique SE2 correspondant au forage y indiquait au moins 40m d'épaisseur d'altération).

Ces observations nous amènent à insister sur l'implantation des puits non équipés de pompes qui doit se faire plutôt dans les endroits d'épaisseur d'altération moyenne que dans les zones où le socle se trouve être le plus profond.

CONCLUSIONS

La Haute-Sissili draine un bassin occupé par des formations cristallines (granites, granito-gneiss et granodiorite). Les aquifères du bassin versant sont constitués essentiellement par des altérites dont les plus épaisses sont liées aux fractures du substratum. Le repérage et la localisation précises des failles nécessitent de minutieuses études hydrogéologiques et l'intervention de la géophysique. Les forages de reconnaissance effectués confirment les résultats de la géophysique, mais en aucun endroit les forages n'ont atteint les profondeurs d'altérations indiquées par cette dernière.

Essayons par l'analyse des essais de pompage de voir quelles sont les caractéristiques hydrodynamiques de nos aquifères.

Figure 37

PROFONDEUR DU SOCLE ET NIVEAU PIEZOMETRIQUE D'ETIAGE

LOCALITE	PROFONDEUR DU SOCLE	NIVEAU STATIQUE
ZONE 1	36,70m	22,40m
ZONE 2	37 m	20 m
ZONE 3	41,40m	24,28m
ZONE 4	32,50m	19,20m
ZONE 5	33,90m	16m
ZONE 6 (C)	29m	15,80m
ZONE 7 (6)	11,40m	6,10m
LEO 1	15,30m	9,50m
LEO 2	9,20m	à sec
LEO 3	11,30m	à sec
BOURA	15m	10,60m
LON	13m	10,70m
LEO 4	18m	13,40m

IX - CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DES AQUIFERES

D'une manière générale, l'instabilité des débits de pompage rend inexploitables les courbes de descente. Nous n'utiliserons donc que les courbes de remontée pour déterminer les caractéristiques hydrauliques. Comme il n'a pas été possible d'installer des piézomètres autour des forages, nous ne pourrons calculer que la transmissivité des différentes poches aquifères qu'exploitent les forages.

9.1. - La transmissivité: T

Nous allons la calculer en nous servant de la formule d'approximation logarithmique de Theis-Jacob:

$$R = \frac{0.183\ Q}{T} \log \frac{t}{t'} \quad \text{avec:}$$

T = transmissivité
Q = débit en m^3/s
t = temps écoulé depuis le début du pompage
t' = temps écoulé depuis l'arrêt
I = Coéfficient de la droite caractéristique

En utilisant un graphique: R = f(logt), l'équation devient:

$$I = \frac{0.183\ Q}{T} \quad \text{soit} \quad T = \frac{0.183\ Q}{I}$$

L'utilisation de la formule suppose que soient admises les hypothèses simplificatrices suivantes:
- terrain homogène et isotrope;
- nappe horizontale d'épaisseur constante;
- écoulement horizontal;

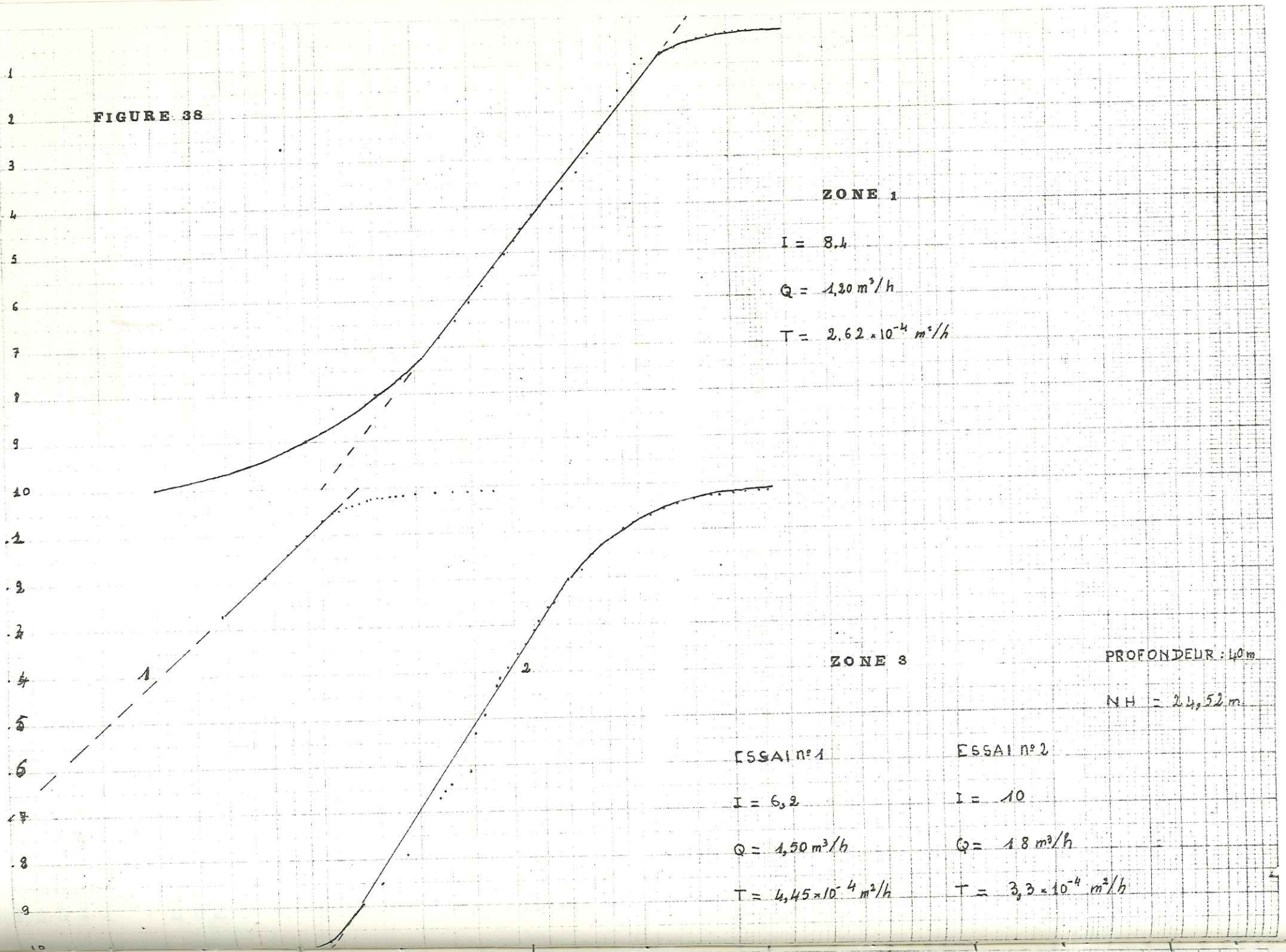
et les conditions aux limites ci-après:
- la nappe est infinie et non réalimentée;
- le forage est une source ponctuelle, et le débit constant;
- la nappe est au repos avant l'essai de pompage.

Dans notre cas, les conditions aux limites sont presques toutes satisfaites. En effet, le temps du pompage étant court, on peut considérer que le comportement de la nappe est celui d'une nappe infinie; l'écoulement souterrain étant inexistant, la nappe est bien au repos avant le début des essais; mais si le forage peut-être considéré comme une source ponctuelle, nous sommes très rarement arrivés à maintenir pendant assez longtemps le débit constant.

Si nous prenons en exemple l'essai de pompage de la zone 6, nous avons deux remontées d'une heure chacune après des pompages de 5 puis de 2 heures. Les pentes des droites caractéristiques obtenues sont de 8,9 et de 8,1. Les débits de pompage ayant été de 1,92 et de 1,8m^3/h, en appliquant la formule de Theiss-Jacob, on obtient des transmissivités de $3,9.10^{-3}$ et de $4,1.10^{-3} m^2/s$.

Les essais ont été répétés chaque fois, si bien que nous disposons de deux valeurs de transmissivité pour chaque forage (tableau-figure 41). Mais ces valeurs sont généralement très voisines même pour des débits différents. Les transmissivités calculées sont très faibles et varient entre 10^{-4} et $10^{-3} m^2/s$. La zone 5 où l'on enregistre des transmissivités de $10^{-2} m^2/s$ fait une très bonne exception. Sur la courbe de remontée de l'essai de cette zone 5. On remarque un changement de pente de la droite caractéristique donc une variation de la transmissivité. Ce changement de transmissi-

FIGURE 38



ZONE 1

I = 8,4

Q = 1,20 m³/h

T = 2,62 × 10⁻⁴ m²/h

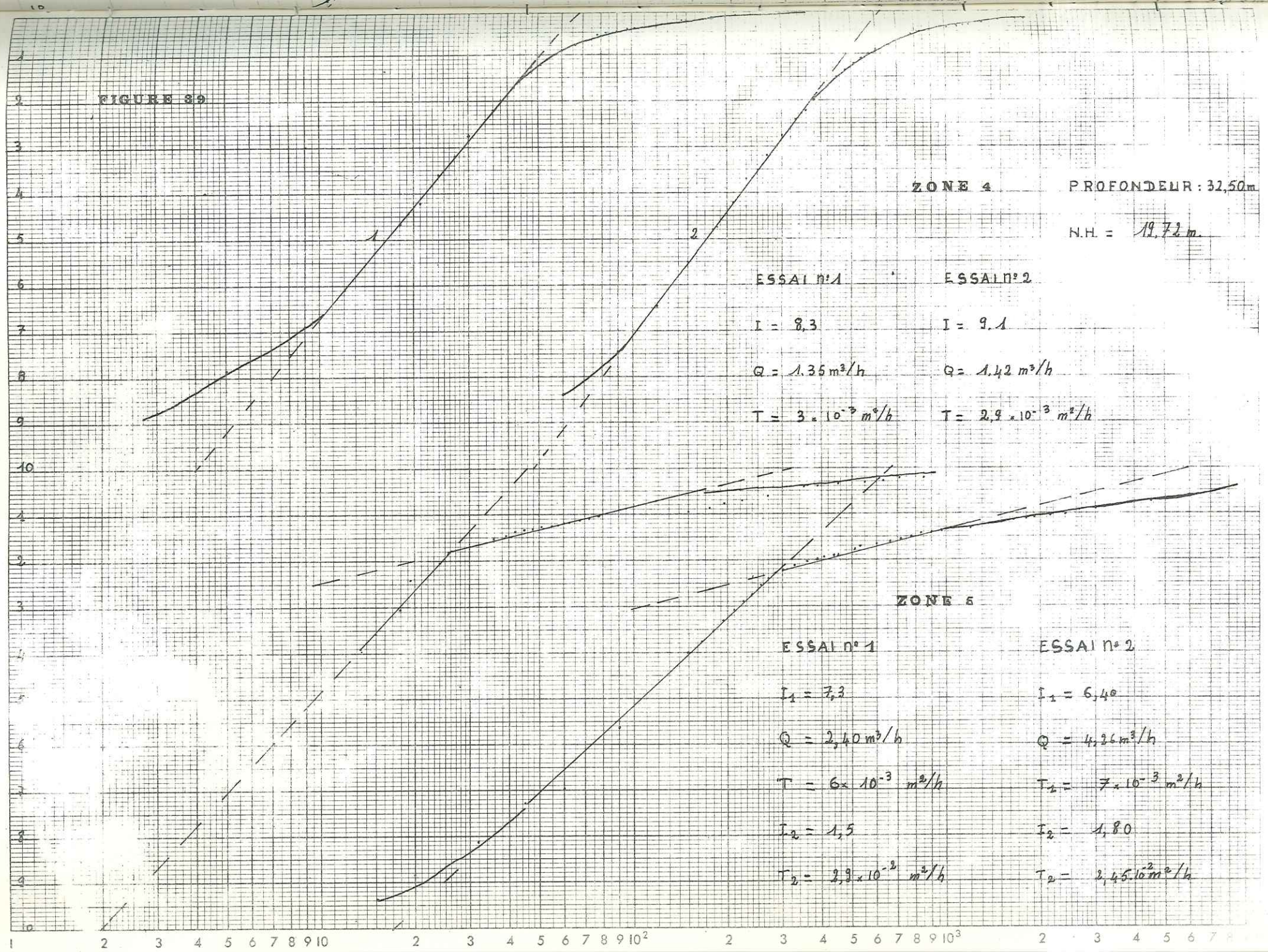
ZONE 3

PROFONDEUR : 40m

NH = 24,52 m

ESSAI n°1	ESSAI n°2
I = 6,2	I = 10
Q = 1,50 m³/h	Q = 18 m³/h
T = 4,45 × 10⁻⁴ m²/h	T = 3,3 × 10⁻⁴ m²/h

FIGURE 39



ZONE 4

PROFONDEUR : 32,50m

N.H. = 19,72 m

ESSAI n°1	ESSAI n°2
I = 8,3	I = 9,1
Q = 1,35 m³/h	Q = 1,42 m³/h
T = 3 × 10⁻³ m²/h	T = 2,9 × 10⁻³ m²/h

ZONE 6

ESSAI n°1	ESSAI n°2
I_1 = 7,3	I_1 = 6,40
Q = 2,40 m³/h	Q = 4,26 m³/h
T = 6 × 10⁻³ m²/h	T_1 = 7 × 10⁻³ m²/h
I_2 = 1,5	I_2 = 1,80
T_2 = 2,9 × 10⁻² m²/h	T_2 = 2,45 10⁻² m²/h

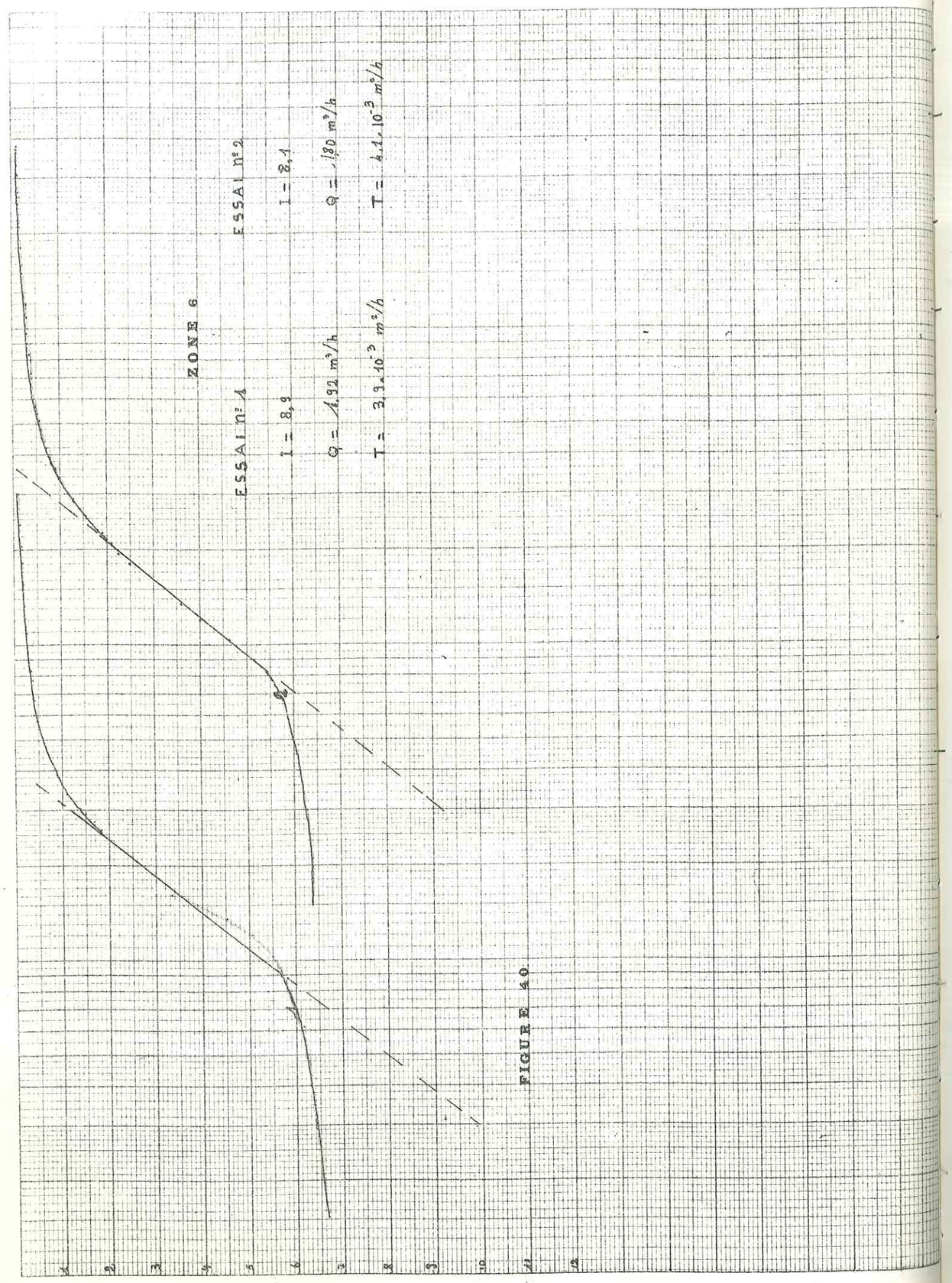


FIGURE 40

vité se produit vers 18 mètres de profondeur. Il est l'expression d'une variation de faciès dans les altérites que baigne la nappe; la couche supérieure est beaucoup plus perméable que celle sur laquelle elle repose.

L'épaisseur des aquifères variant entre 10 et 20 mètres, il s'en suit que les perméabilités que l'on peut déduire des valeurs de transmissivité seront très faibles de (l'ordre de 10^{-5} à 10^{-4} m/s). Ces perméabilités sont néanmoins meilleures que celle des arènes dites fluentes (10-6 m/s environ). Ces valeurs prouvent donc que l'on a pu capter une bonne épaisseur d'arènes grenues.

RESULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE

		ZONE 1	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5	ZONE 6
Hauteur d'eau dans le forage		14.05	15.48	10.78	15.26	10.24
ESSAI N° 1	Q	1.20	1.50	1.35	2.40	1.92
	I	8.4	6.3	8.3	7.3; 1.50	8.9
	T	$2.62\ 10^{-4}$	$4.45\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-3}$	6.10^{3} 2.910^{2}	$3.9\ 10^{-3}$
ESSAI N° 2	Q		1.80	142	4.26	1.80
	I		10	9.1	6.4; 1.8	8.4
	T		$3.3\ 10^{-4}$	$2.9\ 10^{-4}$	$1.2\ 10^{2}$ $43\ 10^{-3}$	$4.1\ 10^{-3}$

9.2. - Les débits obtenus

Ils sont très médiocres. On obtient pour les cinq forages ayant fait l'objet de ces essais de débit, un débit moyen de 2,14 m^3/h. Le but de l'étude hydrogéologique ayant été de vérifier si oui ou non on pouvait obtenir des forages débitant $5m^3/h$ sur chacune des 10 zones du ranch en vue d'abreuver les 1000 têtes de boeufs de la première tranche du projet, la réponse est donc négative. Mais il y a lieu de se demander quelles sont les causes de la médiocrité des débits.

9.3. - Les causes de la médiocrité des débits obtenus

- La première est que, bien que nous ayons pu repérer la fracturation du substratum, les forages n'ont pas été suffisamment foncés pour pouvoir exploiter la roche fissurée qui est en fait la partie la plus productrice du profil d'altération. Le débit exceptionnel de la zone 5 s'explique par le faciès particulièrement qu'a rencontré le forage. Ce faciès dont nous avons déjà parlé avait une couleur verte témoin d'un lessivage important. Il lui correspondait une courbe de sondage électrique sur laquelle les arènes présentaient une résistivité très basse (entre 20 et 30 m).

- Le gravillon de développement n'a fait l'objet d'aucun tri. On a tout simplement utilisé du tout venant, c'est à dire du gravillon latéritique de démontellement de cuirasse.

- L'emploi de la boue (bentonite) a pu être aussi un facteur limitant car la boue pouvait colmater les pores et fissures de l'aquifère surtout à proximité du forage.

- Le diamètre des forages était très petit (110mm intérieur).

- Le développement des forages à l'air lift n'a jamais été très réussi. La faible hauteur d'eau dans les forages n'a pas permis un bon fonctionnement du système. Très souvent la première phase des essais de débit a plutôt consisté à développer le forage car aux premières heures des pompages l'eau qu'on tirait était très boueuse.

9.4. - Conclusion

Les débits que nous avons donnés doivent être considérés avec prudence Il est fort probable qu'avec une meilleure conduite de l'opération forage (surtout en ce qui concerne la profondeur) il soit possible de doubler les débits obtenus ici (l'expérience du Ghana plaide pour cette hypothèse).

A la question est-il possible oui ou non d'obtenir les $5m^3/h$ par forage ? On ne pourra donner de réponse sûre qu'après l'exécution d'un ou de deux forages captant l'eau dans la roche fissurée.

---=---

X - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

10.1. - Les propriétés physiques

Trois facteurs ont été suivis: la température, la résistivité et le PH.

10.1.1. - La température

Les mesures de températures ont été faites à des heures différentes de la journée, (correspondant aux heures de passage aux lieux considérés) et même quelquefois à des jours différents du même mois. La comparaison n'est donc pas possible entre puits car la température de l'eau varie comme celle de l'air au cours de la journée à cause de la faible profondeur des nappes. On peut néanmoins dire que pour nos heures de mesures et pour un même puits, la température moyenne de l'eau est inférieure à celle de l'air ambiant. Toutefois, les grandes amplitudes diurnes de la température ambiante font que la température moyenne annuelle mesurée à Léo (27.5) est inférieure à la moyenne des températures des eaux.

La température ne peut pas servir comme élément de comparaison entre les nappes parce qu'elle suit les variations journalières de la température ambiante. Son étude présente donc très peu d'intérêt.

10.1.2. -Le PH

Il a été mesuré en même temps que la température à l'aide de papier sensible dont la précision n'a pas permis de constater des variations au cours de l'année. Le PH est généralement acide (5 à 7) sauf dans certains puits "modernes" où la dissolution continue du ciment des buses donne des PH basiques. L'utilisation du puits de Tabou - Ouest est réduite à cause de phénomène qui, tout en empêchant au savon de lessive de bien mousser donne à l'eau un goût calcaire qui lui fait préférer l'eau des puisards du bas-fond.

10. 1. 3. -La résistivité

Elle varie d'un point à l'autre du bassin. Les valeurs mesurées sont très élevées et s'étalent entre 2500 et 12500 cm. La minéralisation des eaux est donc moyenne ou faible. D'autre part, sa variation d'un point à l'autre du bassin traduit l'indépendance des poches d'eau les unes par rapport aux autres.

TEMPERATURE DE L'AIR AMBIANT (sous abri)
ET DE L'EAU DES PUITS (1974)

	SISSILI	TABOU W	TABOU E	TO	GAO	NEBOU
J	25 25	27 26	27 26	3O 27	30 27	31 27
F	31.5 27.5	32.5 27	32.5 27.5	34.5 28	35 27	22 27
M	28 27	30 26.5	30 26.5	31 28	35 27.5	
A	31 28	37 27	- -	36.5 29	37.5 29	
M	30.5 29.5	37 27	- -	38.5 29.5	- -	- -
J	3 29.5	36.5 29.5	36.5 30	29 30	- -	- -
J	24 31	26.5 30	26.5 28	26 28.8	27 28.5	33 28.5
A	32.5 31.5	30 29.5	30 28.8	29 28.5	29 29	33.5 29.8
S	32 30.5	30 29	30 28.8	28.8 29	28.8 29.2	30 29
O	35 30.5	31 29.2	31 29.5	39 29	36 29	35 29
N	29.8 29.2	39 29.8	39 29.5	32.5 26.8	32 27.6	32.5 27
D	32.5 28.2	32 26.3	32 27	28 27	26 27	32 26.8
Moyenne annuelle	50.4 28.1	31.9 27.1	31.9 27.9	32 28.3	31.6 28.0	31.1 28.2

10.2. - La chimie des eaux

Les analyses ont porté sur 23 échantillons d'eau divisés en deux groupes.

10.2.1. - Le premier groupe

Il comptait 16 échantillons prélevés dans des puits et des puisards répartis sur toute l'étendue du bassin versant de la Haute-Sissili; leurs analyses furent faites auprès du Service National des Eaux (S.N.E.) à Ouagadougou. Malheureusement, ce ne fut que des analyses sommaires qui n'ont permis que des mesures du PH, de la Résistivité, de la température, du TH, du TA et du TAC. Nous avons également cherché le chlore libre et dosé le fer et les nitrates (NH_4OH).

Afin d'avoir une idée sur la minéralisation totale des eaux, nous avons calculé le résidu sec à partir de la résistivité. En effet, d'après J. RODIER, la résistivité est liée au résidu sec par l'équation suivante:

$$\text{résidu sec (mg/l)} = \frac{0,72 \times 10^6}{\rho \times \frac{1}{A} \times C}$$

avec: ρ = résistivité en ohm. cm;
$\frac{1}{A}$ = facteur de correction de température

C = une constante de l'appareil.

La résistivité varie avec la température. Comme les résultats des mesures doivent être donnés à température standard constante 18, 20 ou 25°C (nous les donnerons pour 18°c), il est nécessaire d'effectuer une correction qui est de la forme:

$$A = \frac{1}{1 - C\,(T_o - T)}$$

où: T_o = Température standard;
T = Température de la mesure
C = une constante; C = 0,021 à 0,022

Nous donnons dans le tableau qui suit les résistivités à la température de la mesure et celles ramenées à 18°.

10.2.2. - Le second groupe

Plus complètes que les premières, les dernières analyses ont permis de connaître la concentration des principaux ions (Ca^+, Mg^{++}, NH_4^+, Na^+, K^+, et Fe^{+++} pour les cations; CO_3^{--}, HCO_3^-, SO_4^{--}, Cl^- et PO_4^{---} pour les anions).

Les eaux présentent également une minéralisation moyenne qui varie pondéralement entre 80 et 170 mg/l avec une moyenne de 126,23 mg/l. Les diagrammes représentatifs de la chimie des eaux analysées sont regroupés dans un domaine où les eaux sont qualifiées de très potables.

Les composantes dominantes de la minéralisation sont Ca^+, Na^+, K^+; HCO_3^- et Cl^-.

La concentration du fer est très faible dans les eaux des forages. On peut l'expliquer par la migration per ascensum de cet élément qui lui permet de venir enrichir les horizons superficiels des altérites. En effet, on remarque que sa concentration est beaucoup plus élevée dans les eaux des premières analyses qui ont été prélevées

../..

Point de Prélèvement	Température à la mesure	Profondeur du prélèvement	Résistivité	Résistivité à 18°	Résidu sec
PORE	33.5	5	7600	10350	69.4
KASSOU	32.9	9	2500	3370	213.8
BONAPIO	33	6	5600	7560	95.2
METIO	32.9	3	12500	16800	43.2
SISSILI 1	32.2	3.70	58000	7700	157.6
SISSILI 2	33.1	8.95	3500	4560	205.3
BAZELAKOA	33	8.30	12000	16200	44.4
GAO	32.9	17.35	2300	3100	232.4
TO	32.8	9.45	3400	4500	157.4
TABOU WEST	32.4	8.5	2500	3300	209.7
TABOU EST	32.2	10	7200	9600	75.5
SOUROU	32	11	2680	3550	93.3
LEVARA	32	16.5	4500	6000	120.6
NEVRI	32.1	11.25	3650	4900	148.5
DIABOU	32.2	5	3560	4700	151.8
MOUNA	32.6	9	4940	6600	108.7

RESISTIVITES ET RESIDUS SECS

vées dans des puits peu profonds (0, 8 mg/l à Poré et à Sissili pour des nappes à 5 puis à 3, 70m de profondeur) que dans celles des forages où les niveaux statiques étaient profonds (la teneur en fer, y est partout inférieure à O, 1 mg/l - donc inférieure aussi à la norme internationale de potabilité à l'égard du fer qui est de 0, 2 mg/l).

- Certains éléments comme le calcium et le magnesium ont des concentrations qui varient très peu d'un forage à l'autre; c'est le contraire pour le chlore le sodium et les sulfates.

- La région étant inhabitée des variations de teneur comme celles du chlore ne sont pas un signe de pollution. Le chlore que nous ne retrouvons pas dans la constitution originelle des roches présentes est apporté aux eaux des nappes sous forme de chlorure de sodium dissout dans l'eau de pluie. Il est donc normal qu'à de fortes teneurs de chlore soient associées des concentrations élevées de sodium; nous pouvons remarquer ce fait pour les eaux des zones 1, 2 et 3. Ces teneurs élevées de chlore traduisent l'effet d'une évaporation forte.

- Les variations de concentration d'éléments autre que le chlore doivent être en rapport avec le chimisme des altérites donc avec celui de la roche mère dont elles dérivent. De ce point de vue, les analyses chimiques des eaux peuvent aider à la connaissance de la géochimie du substratum. Une comparaison des concentrations en milliéquivalent du chlore et du sodium (tableau ci-dessous).

ZONE	1	2	3	4	5	6	NEVRI
Na^+ mEq/l	1, 44	2, 16	1, 92	1, 92	0, 59	0, 59	0, 14
Cl^- mEq/l	O, 39	0, 79	0, 59	0, 19	0, 39	0, 35	0, 40

fait apparaître partout sauf à NEVRI un excédent de sodium par rapport à la teneur en chlore. Cet excédent qui est surtout important pour les zones 1, 2, 3 et 4 doit provenir d'une roche mère riche en feldspaths calcosodiques.

- L'abondance du magnésium dans les eaux des forages des zones 1, 2 et 4 est en liaison avec celle des ferromagnésiens (micas surtout) que nous avons pu remarquer au cours des sondages de reconnaissance.

Donc sur les zones 1, 2 et 4 nous pouvons avoir un substratum gneissique; mais un gneiss peu évolué, riche en micas avec des lits clairs de feldspaths (plagioclases) et de quartz.

- Les teneurs en potassium sont faibles. Cet élément peut provenir de la dégradation des micas et des orthoclases.

- Les minéraux métallifères comme les pyrites et les molydénites de formules: FeS_2 et MoS_2 donnent en s'oxydant des sulfates SO_4^{--} que nous retrouvons en teneur élevée dans les eaux des zones 2 et 3.

Quant aux phosphates, on ne les trouve et en concentrations très faibles que sur les zones 2, 3 et 4. Nous pouvons chercher leur origine dans la présence d'apatite, phosphate tricalcique fluorifère, fréquente dans les schistes cristallins, les pegmatites et les roches neutres basiques riches en micas noirs et en amphiboles.

Point de prélèvement	Niveau statique	PH	cl libre	TH	TAC	TA	Fe	NH_4OH
PORE	5	6.1	0	3.5	2.2	0	O.8	0.3
KASSOU	9	8.5	0	10	4.5	0.6	0.2	0.15
BONAPIO	6	7.8	0	7.5	4.2	0	0.3	0.1
METIO	3	6	0	4	1.8	0	0.4	0.1
SISSILI 1	3.70	5.2	0	5	2.5	0	0.8	0.1
SISSILI 2	8.95	5.6	0	7.5	6	0	0.2	0.1
BAZELAKOA	8.30	5.2	0	2	1.5	0	1	0.1
GAO	17.35	5.3	0	9.5	5.5.	0	0.3	0.1
TO	9.45	6.8	0	13	7.6	0	0.2	0.1
TABOU W	8.50	6.6	0	10.5	6.9	0	0.2	0.1
TABOU E	10	5.2	0	2.5	2.5	0	0.2	0.1
SOUROU	11	5.2	0	7.2	3.2	0	0.2	0.1
LEVARA	16.5	5.2	0	6	4	0	0.2	0.1
NEVRI	11.25	6.3	0	9.1	5.7	0	0.2	0.1
DABIOU	5	7.1	0	11	6.1	0	1.2	0.1
KAYERO	3	6.2	0	4	1.4	0	0.6	0.1
MOUNA	9	7	O	8	4.2	0	0.2	0.1

ANALYSES D'EAU (Première partie)

Point de Prélèvement	R	PH	TH	THC	TM	TA	TAC	TAF
ZONE 1	4750	7.8	8	5.2	2.8	0	2.7	0
ZONE 2	3900	7	6.8	3.9	2.9	0	2.2	0
ZONE 3	3750	6.7	8.5	7	1.5	0	2.9	0
ZONE 4	4200	8	7.7	4.9	2.8	0	2.4	0
ZONE 5	4950	6.9	8.6	6.8	1.8	0	2.1	0
ZONE 6	5400	7.4	7.3	4.8	2.5	0	2.2	0
NEVRI	5850	6.5	7.8	5.8	2.0	0	1.4	0

ANALYSES D'EAU (Deuxième partie)

R = Résistivité en ohms/cm^2/cm

PH = PH électrométrique

TH = Titre hydrotimétrique total

THC = Titre hydrotimétrique calcique

TM = Titre hydrotimétrique magnésien

TA = Titre alcalimétrique à la phénolphtaléine

TAC = Titre alcalimétrique au méthylorange

TAF = Titre en acides forts

---

1) Cations en mg/1

	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	Na^+	K^+	FE^{+++}	Mn^{++}
Z 1	20.8	6.8	0	34.5	10.4	0	-
Z 2	15.6	7	0.1	51.75	9.4	0.03	-
Z 3	28	3.6	0	46	11.7	0.05	-
Z 4	19.6	6.8	0	46	7.8	0.02	-
Z 5	27.2	4.3	0	14.2	8.5	0.01	-
Z 6	19.2	6	0.2	14.1	8.5	0.05	-
Nevri	23.2	4.8	0	3.4	15.4	0.01	-

2) Anions en mg/1

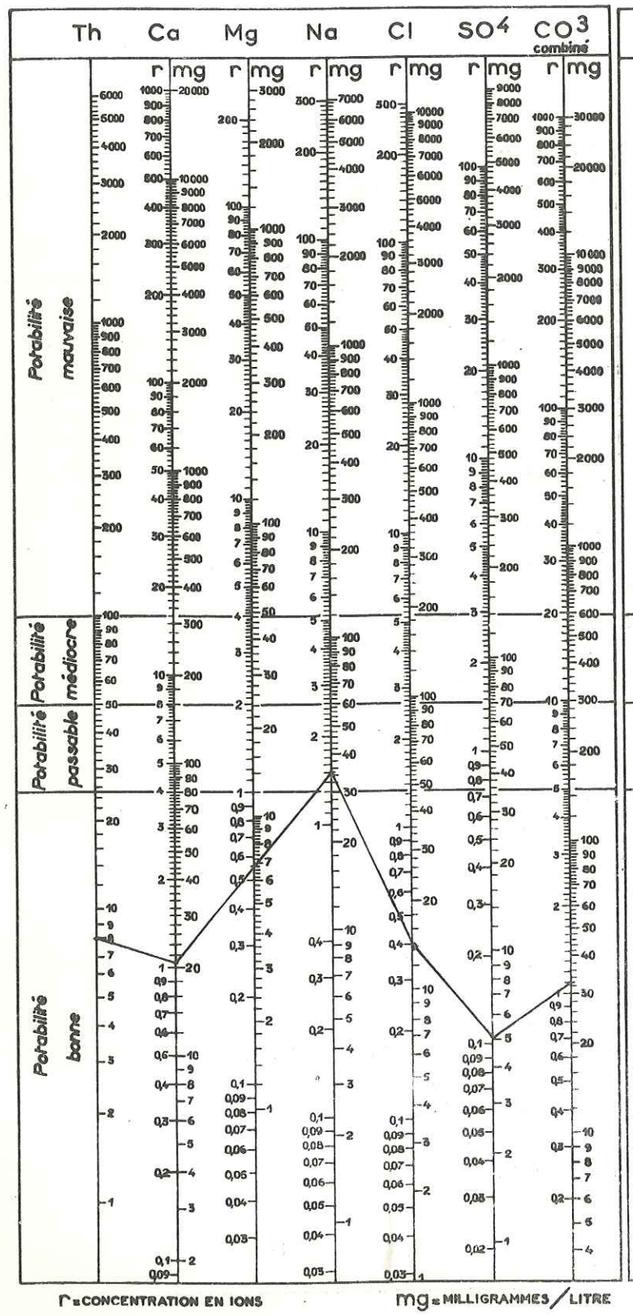
	CO_3^{--}	HCO_3^-	SO_4^{--}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{---}	SiO3
Z 1	0	32.9	5	14.2	-	-	0	-
Z 2	0	26.8	30	28.4	-	-	0.3	-
Z 3	0	35.3	25	21.3	-	-	0.1	-
Z 4	0	29.2	10	7.1	-	-	0.1	-
Z 6	0	25.6	5	14.2	-	-	0	-
Névri	0	17	5	17.7	-	-	0	-

	ZONE1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5	ZONE 6	NEVRI
CATIONS	72.5	83.88	89.35	83.32	54.21	48.05	46.81
ANIONS	52.1	85.5	81.7	46.4	44.8	45.4	39.7
TOTAL	124.6	169.38	171.05	139.62	99.01	93.45	86.51
% pondéral en cations	58.2	49.5	52.2	59.6	54.7	51.5	54.2

ANALYSES D'EAU (deuxième partie)

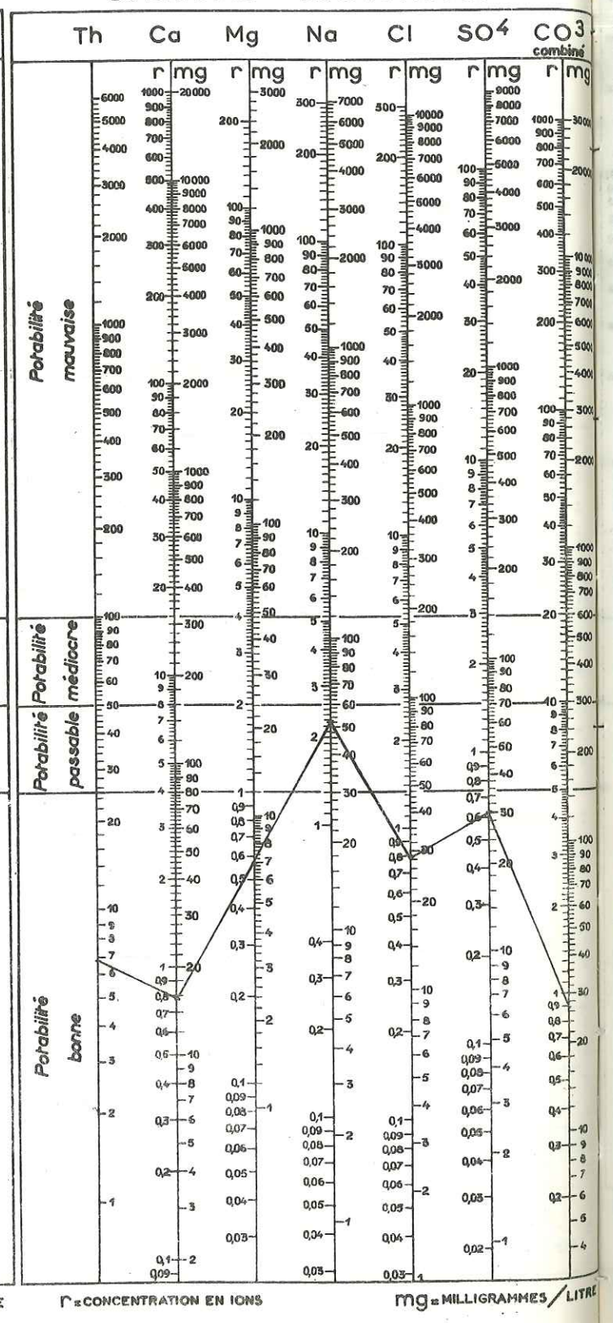
BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



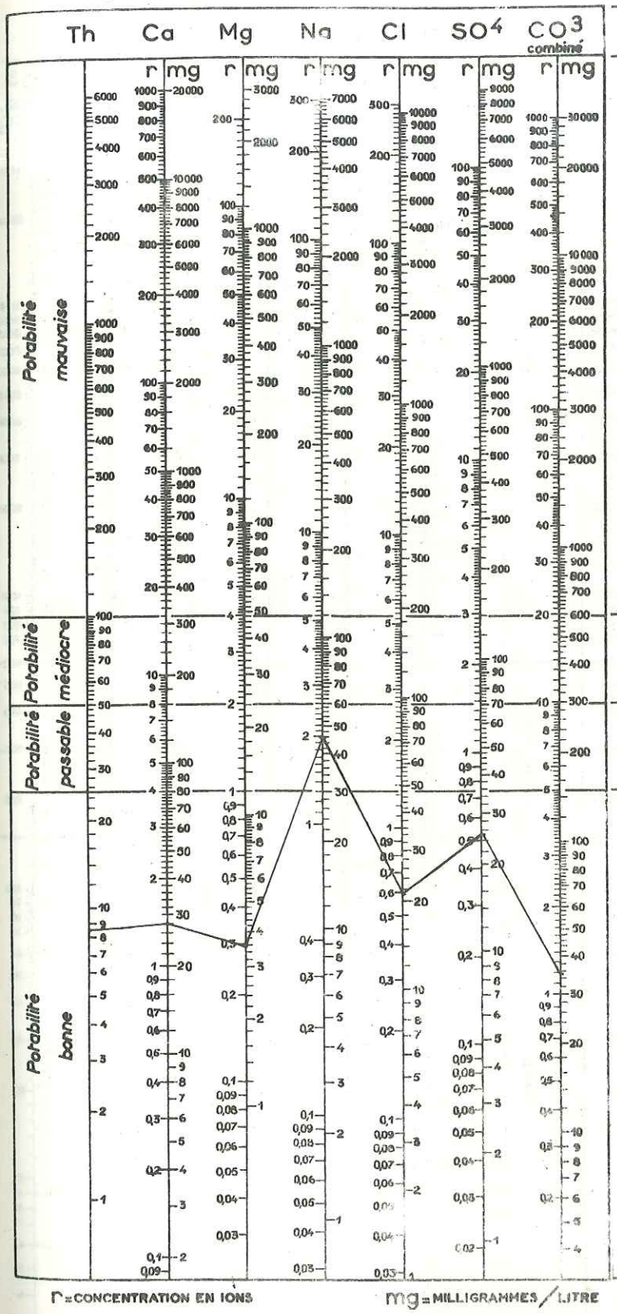
ZONE 1

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



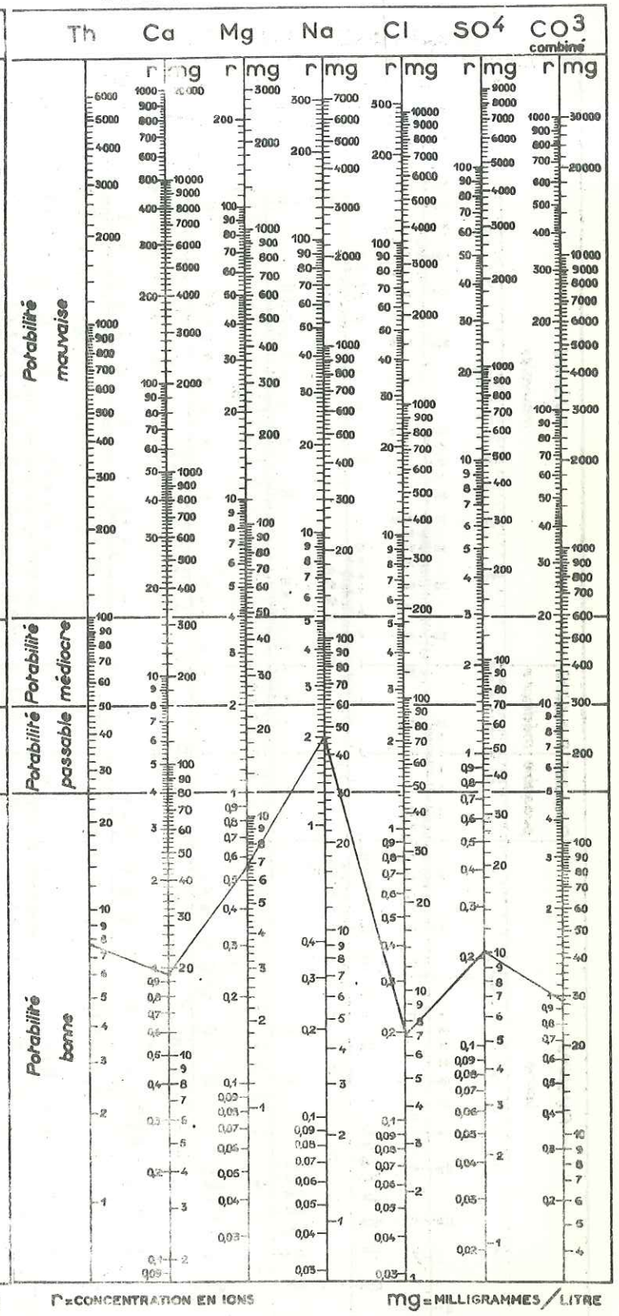
ZONE 2

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

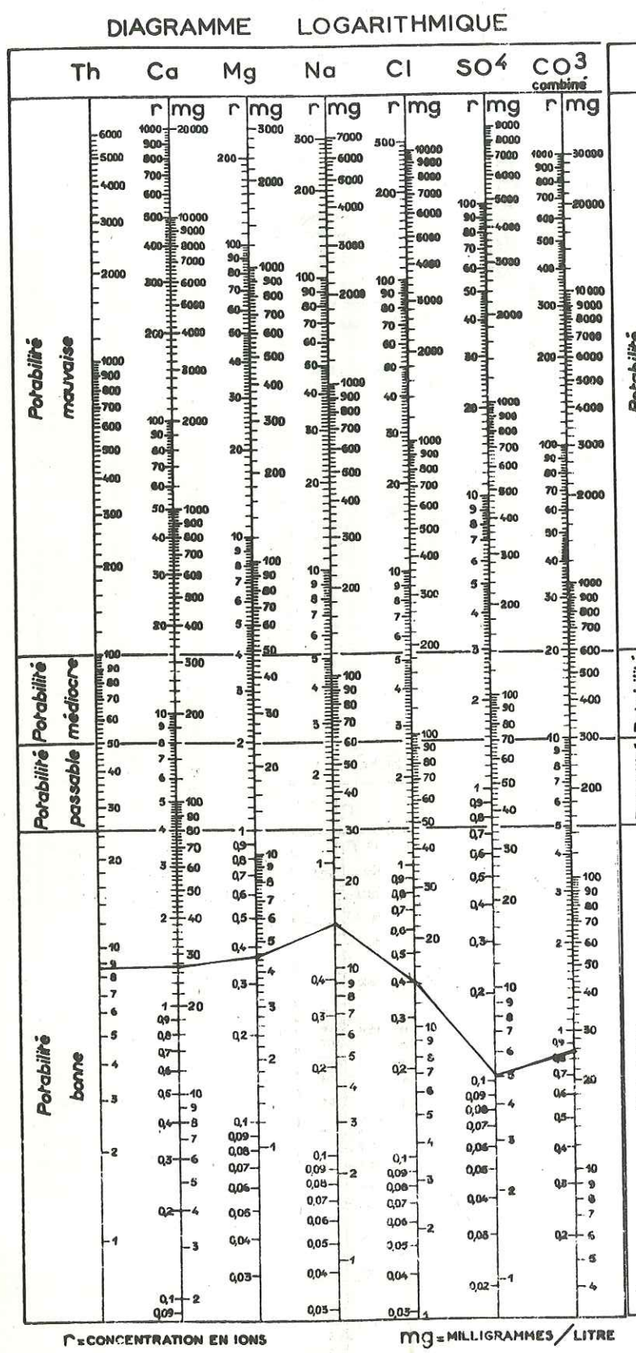


ZONE 3

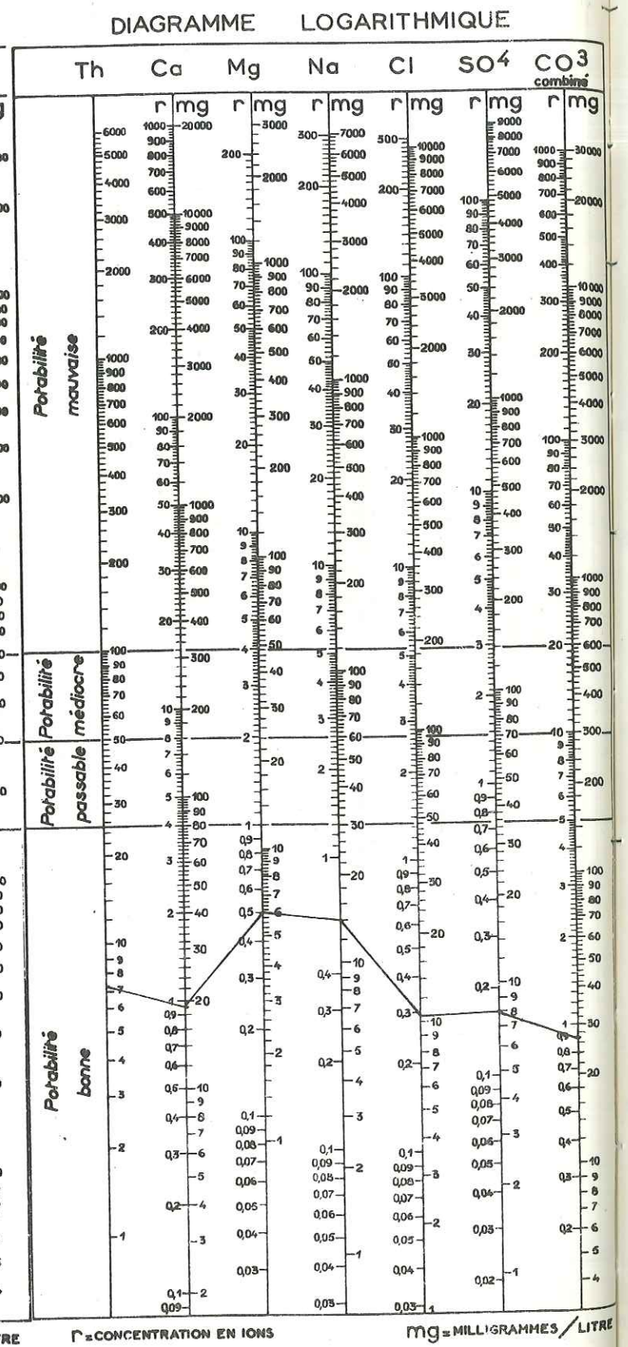
DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



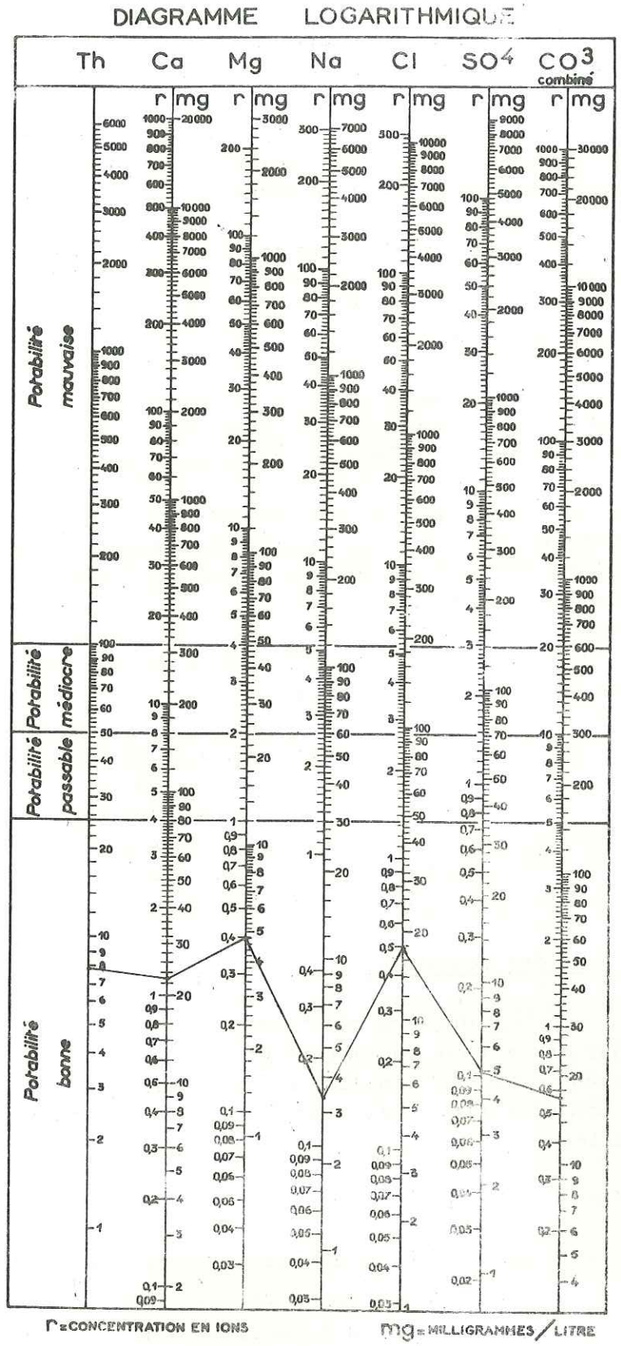
ZONE 4



ZONE 5



ZONE 6



NEVRI

La chimie de l'eau du puits de NEVRI présente des caractéristiques particulières: concentration de chlore plus élevée que celle du sodium, et très faible teneur en ions HCO_3^-. On y enregistre aussi la plus forte concentration en potassium. Ce puits étant busé et sans périmètre de protection, les particularités chimiques sont plutôt l'effet de pollution que de la géochimie du substratum.

L'hétérogénéité du chimisme des eaux analysées et en relation avec celle de la géochimie des aquifères, donc aussi avec celle de la roche mère.

Nous avions défini les systèmes aquifères comme étant un ensemble de poches indépendantes les unes des autres. Comme les propriétés physiques, la chimie des eaux vient elle aussi confirmer cette hypothèse.

A cause de l'immobilité des eaux infiltrées, la chimie des eaux reflète celle des aquifères et du substratum qui les supporte.

10.3 -- Age des eaux

Nous avons prélevé à la fin de cette campagne d'étude deux échantillons d'eau: un, de l'eau de pluie de juin 1975 recueillie à Ouagadoudou et l'autre de l'eau du forage de la zone 5 du ranch d'embouche prélevée à 16 mètres de profondeur.

Sur ces eaux des dosages de tritium ont été effectués au CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE GRENOBLE (C.E.N.G.) sur la demande du Professeur J. SARROT REYNAULD afin de nous permettre de pouvoir apprécier l'âge des eaux souterraines. Les analyses ont donné les résultats suivants:

- Eau de pluie 38 ± 4 unités de tritium
- Eau de forage: inférieur à 3 unités tritium (3 unités tritium représentent la limite inférieure du pouvoir de détection de la méthode employée).

Rappelons que: 1 unité de tritium = 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène
= $3,28.10^{-9}$ curies/cm^3

La valeur de la teneur en tritium trouvée pour l'eau de pluie recueillie à Ouagadougou en Juin 1975 est en bonne concordance avec la moyenne des teneurs en tritium des eaux de pluie mesurées dans les autres pays de l'Afrique Centrale.

Interprétation des résultats obtenus

Le tritium provient de deux réactions qui ont lieu dans la haute atmosphère : . Le bombardement par des rayons cosmiques de l'azote qui donne:
$N + C^{12} + H^3$. L'atmosphère devrait contenir s'il n'y avait que ces bombardements 3kg de tritium. Mais le tritium peut aussi provenir des explosions expérimentales qui donnent la réaction suivante:

$$e + Li \rightarrow He + H^3 + Q \quad (Q = 4,8 \text{ mv})$$

Ces explosions ont enrichi de 200kg de tritium la haute atmosphère.

Les eaux anciennes sont donc plus pauvres en tritium que celles actuelles. Une comparaison des teneurs en tritium doit donc permettre d'avoir une idée sur l'âge des eaux. En effet, si nous avons par exemple des eaux dont la teneur en tritium est voisine de celle des eaux de pluie actuelles, cela va signifier que ces eaux sont actuelles ou qu'elles se mélangent à de faibles quantités d'eaux anciennes.

Si au contraire, la teneur en tritium des eaux souterraines est faible par rapport à celle des eaux de pluie actuelles comme c'est le cas de l'eau de notre forage, plusieurs explications sont possibles:

- les eaux actuelles mettent un temps très long pour rejoindre celle de la nappe.
- l'eau de pluie se mélange à des quantités très importantes d'eaux anciennes
- l'eau actuelle ne se mélange pas du tout aux eaux anciennes et il y a dans ce cas stratification des eaux.

De ces trois hypothèses, nous pouvons rejeter les deux premières:
La première en raison des observations qui nous ont permis de constater que partout sur le bassin versant, il y avait une remontée des nappes pendant l'hivernage. Donc l'eau des pluies rejoint très rapidement celle des nappes souterraines pré-existantes.

La deuxième également car nous avons vu que les aquifères étaient d'extension très limitée et qu'on avait plutôt affaire à des poches qu'à des nappes continues régionales.

Il ne nous reste plus que la troisième hypothèse. Les eaux souterraines seraient donc stratifiées. Et dans ce cas, la teneur en tritium permet de dire que l'eau prélevée dans le forage est d'au moins 30 ans plus ancienne que l'eau de pluie dosée.

Les apports des précipitations des années à bilan hydrologique positif ont permis aux nappes souterraines une remontée vers la surface du sol. Cette remontée se faisant par couches d'eau d'âges successifs avec la possibilité d'existence de lacunes liées aux années déficitaires.

Mais nous venons de traverser une longue période de sécheresse donc une période à bilan hydrologique déficitaire où l'évapotranspiration a continuellement prélevé l'eau des réserves souterraines préexistantes, décapant les couches stratifiées de haut en bas.

L'ancienneté de l'eau du forage nous montre aussi que le bilan que nous avons vu être positif n'a pas eu partout le même effet. Ici par exemple, les précipitations n'ont pas pu assurer la constitution d'une nouvelle couche d'eau.

CONCLUSIONS

Il apparait qu'une part importante des eaux souterraines est ancienne. Cela nous amène à dire que tout pompage important se ferait sur des nappes qui ne se renouvellent pas facilement donc susceptibles de s'épuiser rapidement.

Mais si les eaux sont anciennes, elles ne sont pas fossiles. Nous sommes dans une période de fin de sécheresse où le régime pluviométrique après avoir été déficitaire commence à se régulariser. Il y a donc lieu de penser qu'une bonne pluviométrie devrait permettre une reconstitution périodique des nappes et éviter ainsi leur épuisement qui reste cependant à craindre en période de longue sécheresse.

On peut aussi penser qu'un rabattement important pourrait entrainer une forte infiltration, d'autant plus que l'évapotranspiration se trouverait diminuer si la distance nappe-surface du sol augmentait, et dans ce cas améliorer le bilan d'exploitation.

Ce que nous disons ici est dans le domaine de l'hypothèse, car on n'a fait qu'une seule mesure, et il est très important de poursuivre les mesures et de suivre longtemps l'évolution des nappes pour avoir une confirmation fort utile à l'établissement d'un programme d'exploitation continue des nappes souterraines du bassin versant.

-=-=-=-

XI - CONCLUSIONS

--Le bassin versant de Haute-Sissili appartient à une zone de climat de transition entre le climat sud-soudanéen et le climat nord-soudanéen délimitée par les isohyètes 1050 et 900mm.

. Les facteurs du bilan d'eau du bassin versant qui peut s'écrire: l
P = R + E + dW ont eu en 1974 les valeurs suivantes :
P =862mm
R= 190mm
E = 524mm et
dW = + 148mm.
On voit donc qu'en période de pluviométrie normale (en quantité et en repartition), les réserves d'eau souterraines peuvent bénéficier de 15% environ des précipitations annuelles bien que les prélèvements de l'évapotranspiration soient très importantes.

--Le bassin est entièrement occupé par des formations cristallines (granito-gneiss, granite et granodiorite). Il a une géomorphologie molle et peu ondulée. Par contre, la morphologie du substratum est commandée par l'existence d'une fracturation à laquelle s'associent des poches d'altération profondes. Nous avons donc une morphologie de dômes, de plateformes et d'écueils isolant des poches profondes.

--La recherche d'eau souterraine dans le bassin versant de la Haute-Sissili va donc s'identifier à une recherche des fractures auxquelles sont liées les seuls aquifères que constituent les poches d'altération profondes.

--Les résultats de cette étude nous permettent de dire que même captées sur la totalité de leur épaisseur, les altérites qui surmontent la roche fissurée ont des transmissivités très faibles de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} m^2/s ; il en résulte que les débits que l'on peut en tirer sont très médiocres ($2m^3/h$ en moyenne). Les débits obtenus sur la zone 5 du ranch nous montrent que, plus que de l'épaisseur des altérites noyées, les caractéristiques hydrodynamiques dépendent surtout du faciès de la roches mère dont dérive celui des altérites.

--La recherche des aquifères a nécessité dans cette campagne, des études hydrogéologiques, l'intervention de la géophysique et l'exécution de forages de reconnaissance. Une opération très onéreuse qui nous a conduit au coût de 2.000.000F(CFA) le mètre cube heure d'eau. L'économie de l'eau doit donc viser une réduction maximale du coût du m^3/h.
Grâce aux photoaériennes, nous avons pu repérer le réseau de fractures qui affectent le substratum. Mais la localisation précise des failles sur le terrain est difficile; de plus, les observations hydrogéologiques de surface ne permettent pas de déterminer les zones où l'épaisseur de l'altération est maximale. Or, comme nous l'avons vu, même sur une fracture donnée, l'épaisseur des altérites varie considérablement d'un point à un autre et de façon imprévisible. L'intervention de la géophysique s'impose donc car c'est le seul moyen de repérage précis et rapide des fractures et de détermination de l'épaisseur de la zone d'altération. Néanmoins, l'essentiel du trvail revient à l'hydrogéologue qui, en délimitant les zones favorables, orientera et réduira le travail géophysique.
. D'autre part, les résultats de cette étude montrent aussi que les données de la géophyque sont suffisamment fiables pour qu'on puisse se passer des sondages de reconnaissance mécaniques.

--Mais , les études préliminaires couteuses seraient injustifiables si l'on n'arrivait pas à tirer au maximum profit de leurs résultats. C'est pourquoi, il faut insister sur la conduite des forages, et surtout sur l'emploi de machines puissantes permettant de descendre dans la roche fissurée qui est la zone la plus productive du profil d'altération.

En conclusion, nous pouvons dire que la politique de recherche d'eau souterraine dans le bassin versant de la Haute-Sissili doit reposer essentiellement sur une étude hydrogéologique détaillée secondée par une prospection géophysique brève (qui auront l'une et l'autre pour objectif le repérage et la localisation précise des fractures du substratum) et sur l'emploi de machines capables de permettre l'exploitation de l'eau dans la roche fissurée. Les débits s'en trouveront ainsi augmentés et le coût du mètre cube heure baissera d'autant.
Les eaux souterraines sont très potables et faiblement minéralisées mais leur exploitation à long terme doit être ménagée de façon à tenir compte du fait que les réserves se renouvellent très difficilement.

Nombreuses sont encore les questions qui, au sujet de l'hydrogéologie du socle cristallin sous climat tropical restent sans reponse (formule de détermination de l'évapotranspiration, caractéristiques hydrodynamiques des arènes pour ne citer que celles-là); leur resolution nécessite une étroite collaboration entre diverses diciplines de la recherche scientifique, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Puis-t-elle voir le jour afin de guider avec certitude la recherche d'eau souterraine en pays cristallin dont des milliers d'hommes attendent cet élément essentiel de la vie et du developpement qu'est l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

J. ARCHAMBAULT: Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale -1960

L.F. BONARD; Aperçu sur la gèologie de la Haute-Volta (DGM. -1965)

R. BREMOND, I. CHERET, C;PARSY: Mesures piezométriques et essai de pompage dans les nappes souterraines. Application à l'estimation de la puissance d'une nappe -1960.

J. BRIZE: Application d'observations géomorphologiques et hydrodynamiques à la prospection des nappes de terrains d'altération en Cote-d'Ivoire et en Haute-Volta.

G. CASTANY : Prospection et exploitation des eaux souterraines -1966

R. DEGALLIER: Etude du ruissellement et de l'infiltration sur un petit bassin versant de savane -Korogo(Cote-d'Ivoire) -C.I.E.H.-1972.

R. DEGALLIER: Influence de la profondeur d'une nappe sur les les conditions de son alimentation -CIEH-1965.

J. DUCELLIER: Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du nord de la Haute-Volta-BRGM- Mémoiren°10-1963.

D. EL BATTI : Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville-thèse de 3ème cycle -Grenoble -1975.

F. LELONG : Régime des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération tropicales. Consé quences pour la pédogénèse -Sciences de la Terre, tomeXI-N°2 -1966.

B. GEORGES : Rôle de l'analyse du modelélatéritique dans la la prospection des nappes d'eau souterraines en en Afrique Occidentale- BRGM -N°2-1968.

L. MORET : Précis de géologie- Masson -1947.

J. P. MATHIEZ et G. HUOT : Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines; exemples d'application en Afrque Occidentale-CIH-1966.

G. PALLAUSSI: Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des formations primaires du Soudan méridional et en Haute-Volta-S.G.P.M.-N°33-1959.

J. SAGATZKY: Carte et notice explicative de la feuille Tenkodogo-Ouest- 1950.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

GENERALITES SUR LA HAUTE VOLTA ..... p 3

1/ GEOGRAPHIE DE LA HAUTE VOLTA ..... p 3

1.1./Situation, superficie et limites ..... p 3
1.2./ Relief et cours d'eau..... p 3
1.2.1./ Le relief ..... p 3
1.2.2./ Les cours d'eau ..... p 5

1.3./ Le climat ..... p 6
1.3.1./ La saison sèche ..... p 6
1.3.2./ La saison des pluies ..... p 6
1.3.3./Les sous-zones climatiques ..... p 8

1.4./ La végétation..... p 8

1.5./ La population .....p 9

1.6./ Les ressources économiques .....p 9

1.7./ Equipement hydraulique .....p 9

II/APERCU SUR LA GEOLOGIE DE LA HAUTE-VOLTA .....p 10

2.1./ Répartition spatiale des formations géologiques ..... p 10
2.1.1./ Les schistes ..... p 10
2.1.2./ Les grès ..... p 10
2.1.3./ Les formations du Gondo ..... p 10
2.1.4./ L'extrême Nord ..... p 10
2.1.5./ Entre Pama et Diapaga .....p 10
2.1.6./ Les roches orthométamorphiques .....p 10
2.1.7./ Les roches cristallines .....p 11
2.2./ Répartition dans le temps des formations géologiques..p 11

2.3./ Géomorphologie.....p 14

2.4./ Appartenance géographique et géologique du bassin de la SISSILI .....p 14

HYDROGEOLOGIE DU BASSIN DE LA HAUTE SISSILI .....p 15

I - GEOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT ..... p 15

1.1./ Limites et superficies ..... p 15
1.2./ Le relief et le cours d'eau ..... p 15
1.2.1./ Le relief .....p 15
1.2.2./ Le cours d'eau ..... p 16

1.3./Les voies d'accès ..... p 16

1.4./ La population ..... p 16

1.5./ Les ressources économiques du bassin ..... p 16
1.5.1./ L'agriculture..... p 16
1.5.2./ Elevage et pêche ..... p 17
1.5.3./ Végétation et faune ..... p 17

II - INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE SISSILI..... p 18

2.1./ Les puits modernes p 18

2.2. / Les puisards ..... p 19
2.3. / Les autres ouvrages ..... p 20
2.4. / Conclusions ..... p 20

III - CLIMATOLOGIE ..... p 21

3.1. / Les travaux effectués ..... p 21
3.1.1. / Pluviomètrie ..... p 21
3.1.2. / Ruissellement ..... p 21
3.1.3. / Les fluctuation des niveaux hydrostatiques . p 22

3.2. / Les premiers facteurs de climat ..... p 22
3.2.1. / La température ..... p 22
3.2.2. / L'humidité relative de l'air ..... p 23
3.2.3. / L'évaporation ..... p 23
3.2.4. / Les vents ..... p 23
3.2.5. / La période favorable aux études géologiques ..... p 23

3.3. / Les facteurs du bilan d'eau ..... p 26
3.3.1. / La pluviométrie ..... p 26
3.3.2. / Le ruissellement ..... p 31
3.3.3. / Relation entre l''écoulement et les précipations ..... p 31
3.3.4. / Le déficit d'écoulement ..... p 42
3.3.5. / Les fluctuations des niveaux hydrostatiques. p 42
3.3.6. / Evapotranspiration potentielle ..... p 48
3.3.7. / Evapotranspiration directe ..... p 49
3.3.8. / Evapotranspiration réelle ..... p 51
3.3.9. / Bilan global d'eau du bassin de la Haute-Sissili ..... p 52
3.3.10/ conclusions ..... p 52

IV - GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT ..... p 53

4.1. / Les travaux antérieurs ..... p 53
4.2. / La carte géologique ..... p 53
4.3. / La géologie du bassin versant ..... p 53
4.3.1. / La tectonique ..... p 56
4.3.2. / L'altération ..... p 56
4.3.3. / Les alluvions ..... p 56
4.3.4. / Caractéristiques hydrogéologiques des formations rencontrées ..... p 57

V - ORIENTATION DE LA RECHERCHE D'EAU DANS LE CRISTALLIN DE HAUTE VOLTA ..... p 57

5.1. / Conditions d'existence des nappes ..... p 59

VI - ORIENTATION DE LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE SISSILI ..... p 59

6.1. / La nature des réservoirs p 59
6.2. / La géomorphologie p 61
6.3. / Cuirasses latéritiques et recherche d'eau p 62
6.4. / Morphologie du substratum p 62
6.5. / Limites de la zone à prospecter p 62

VII - LA FRACTURATION DU SOCLE ..... p 62
7.1. / Nature de la fracturation ..... p 62
7.2. / Fracturation et altération ..... p 65
7.3. / Facteurs limitant le rôle de drain des fractures ..... p 65

VIII - METHODES DE RECHERCHE DES FRACTURES p 66
8.1. / Géomorphologie ..... p 66
8.2. / Photoaériennes ..... p 66
8.3. / Géophysique ..... p 66
8.4. / Les forages ..... p 82
8.5. / Forages et géophysique ..... p 85
8.6. / Niveaux hydrostatiques d'étiage et profondeur du socle ..... p 85

IX - CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DES AQUIFERES p 87
9.1. / La transmissivité ..... p 87
9.2. / Les débits obtenus ..... p 91
9.3. / Causes de la médiocrité des débits ..... p 91

X - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ..... p 92
10.1. / Propriétés physiques ..... p 92
10.1.1. / La température ..... p 92
10.1.2. / Le PH ..... p 92
10.1.3. / La résistivité ..... p 92
10.2. / La chimie des eaux ..... p 94
10.3./L'âge des eaux ..... p 104

XI - CONCLUSIONS ..... p 106