

**Mémoire de Fin d'études
présenté en vue de l'obtention
du diplôme d'ingénieur
des sciences et techniques de l'eau
Option: Hydrogéologie
(Burkina-Faso)**

**Thème: La réalimentation de la nappe de l'aquifère du bas-fond de
Gourga (Bidi)**

Encadreur : J.M. LAMACHERE

A mon père : COULIBALY Souleymane

A ma mère : N'GO Mariam

A maître Tiékoura COULIBALY

A mademoiselle KIEMDE Aliane Sylvia

A tous ceux que j'aime

Je dédie ce mémoire.

	Sommaire	
	Sigles et abréviations.....	
	Listes des tableaux, des cartes et des figures.....	
	Introduction.....	1
	Données disponibles.....	2
Chapitre I	<u>Cadre de l'étude</u>	
I.1	Aperçu hydroclimatique.....	3
I.1.1	Type de climat.....	3
I.1.2	Facteurs du climat.....	3 à 11
I.2	Aperçu géologique.....	12
I.3	Aperçu géomorphologique.....	12
I.4	Hydrogéologie et hydrologie.....	12
Chapitre II	<u>Hydrogéologie du bas-fond de Gourga</u>	
II.1	Géologie du site.....	13 à 14
II.2	Historique et inventaire des points d'eau et piézomètres.....	14 à 17
II.3	Etude de l'évolution des niveaux piézométriques.....	18
II.3.1	Variations piézométriques en fonction du temps.....	18 à 21
II.3.2	Facteurs explicatifs des variations piézométriques..	21 à 25
II.4	Etude de l'aquifère.....	25
II.4.1	Analyse morphologique de la surface piézométrique...	25 à 28
II.4.2	Caractéristique de l'écoulement.....	28 à 31
II.4.3	Caractéristiques des réservoirs.....	31 à 34
Chapitre III	<u>Chimie et utilisation de l'eau</u>	35
III.1	Commentaire des données chimiques et bactériologiques.....	37 à 39
III.2 U	Utilisation de l'eau et problèmes rencontrés.....	40
III.2.1	Nature des besoins en eau et utilisation du bas-fond	40 à 42
III.2.2	Point de vue de la population.....	42
	Conclusions et recommandations.....	43
	Bibliographie.....	
	Annexes.....	

Sigles et abréviations

E.I.E.R	= Ecole Inter-Etat des ingénieurs de l'Equipement Rural
CIRAD	= Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement
ORSTOM	= Organisme de Recherche Scientifique de territoire d'Outre-Mer (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération)
ETSHER	= Ecole des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural
Six "S"	= Savoir se servir de la saison sèche en savane et au sahel
P.P.R.A	= Programme Petits Ruminants et Aviculture
FEER	= Fond de l'Eau et de l'Equipement Rural
O.N.G	= Organisation Non Gouvernementale
ORD	= Organisation Régionale de Développement
FA.S.T	= Faculté des Sciences et Techniques.

Cartes

1 - Carte géologique de la province du Yatenga.....	annexe
2 - Carte géomorphologique de la province du Yatenga.....	annexe
3 - Carte de localisation des puits et puisards dans les quartiers.....	annexe
4 - Carte du bassin de Bidi - Equipement hydropluviométrique.....	annexe
5 - Carte de variation positive du bas-fond.....	annexe
6 - Carte d'étude des ressources en eau du Yatenga.....	annexe
7 - Carte du bas-fond de Gourga	
8 - Carte topographique du substratum.....	Page 16

Schémas

1 - Schéma du village de Bidi.....	annexe
2 - Coupe du forage de Gourga (F2).....	annexe
3 - Coupe du puits Banfora (P2).....	annexe
4 - Essais de Pompage - Puits ORSTOM.....	annexe

Tableaux

	Pages
Tableau 1 : Données de l'évapotranspiration de la station météorologique de de Nayiri et de Ouahigouya.....	4
Tableau 2 : Données de températures de la station météorologique de Nayiri et de Ouahigouya.....	5
Tableau 3 : Données de l'insolation de la station de Nayiri et de Ouahigouya	6
Tableau 4 : Données d'humidité relative de la station de Nayiri et de Ouahigouya.....	7
Tableau 5 : Données sur les vitesses des vents à Nayiri et à Ouahigouya....	8
Tableau 6 : Valeurs moyennes des vitesses de tarissement au niveau des dif- férentes lignes piézométriques.....	22
Tableau 7 : Profondeurs auxquelles on peut capter la nappe à l'étiage au niveau des piézomètres.....	25
Tableau 8 : Profondeurs auxquelles on peut capter la nappe phréatique au niveau de chaque ligne piézométrique (axe thalweg et rives)....	25
Tableau 9 : Données chimiques et bactériologiques du puits de Dabéré et du forage F2.....	36
Tableau 10 : Données chimiques et bactériologiques du puits ORSTOM, du puits Harouna Tido et du forage F1.....	36

Figures

Figure 1 = Données météorologiques de la station synoptique de Ouahigouya et de la station de Nayiri.....	9 et 10
Figure 2 : Relation entre les données météorologiques annuelles de Nayiri et de Ouahigouya.....	
Figure 3 : Coupe géologique schématique du bas-fond de Gourga.....	13
Figure 4 : Topographie du substratum.....	16
Figure 5 : Les différentes phases de fluctuations piézométriques.....	20
Figure 6 : Relevés piézométriques du puits de Gourga.....	23
Figure 7 : Relevés piézométriques de la ligne n° 3 à Gourga.....	24
Figure 8 : Sections de roches mouillées des 5 lignes piézométriques (1989- 1990).....	26 et 27
Figure 9 : Carte piézométrique à la recharge maximale	29
Figure 10 : Carte piézométrique à l'étiage.....	30

REMERCIEMENTS

Je ne saurais commencer ce mémoire de fin d'étude sans adresser mes sincères remerciements :

- Aux autorités du F.A.S.T et en particulier celles du département de géologie pour leur profond attachement à notre formation.
- Aux autorités de l'ORSTOM du Centre de Ouagadougou pour m'avoir permis d'effectuer mon stage dans leur service.
- A Monsieur Jean-Marie LAMACHERE qui a de tout coeur accepté de m'encadrer. Qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde gratitude.
- A Monsieur Ousmane Boureima, pour sa disponibilité sans faille à mon égard pour la réalisation de ce travail.
- Aux camarades Eric, Boéné Jean-Etienne, Bassolé pour leur disponibilité durant ce stage.
- A tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont été favorables au déroulement du présent mémoire.
- Enfin à tous les camarades de la 3ème promotion, avec lesquels j'ai passé des moments inoubliables.

Je leur suis très reconnaissant.

INTRODUCTION

La maîtrise de l'environnement est indispensable à l'homme pour assurer sa survie. De cette toile de fond se détache la maîtrise de l'eau.

Cette étude est une interprétation des résultats de quatre années de mesures, une analyse des données disponibles.

Le premier chapitre définit le cadre géographique de l'étude.

Le second chapitre traitera de l'hydrogéologie du bas-fond de Gourga. L'objectif étant d'étudier la recharge de la nappe du bas-fond et de proposer des solutions en vue de l'accroître.

Nous nous intéresserons plus particulièrement à la nappe superficielle du bas-fond de Gourga.

Enfin nous traiterons de l'utilisation et de la chimie des eaux qui nous permettront d'appréhender les difficultés que la population rencontre dans l'alimentation en eau.

En somme cette étude permettra de révéler les conditions qui définissent l'état actuel de l'aquifère pour enfin dégager les premières conclusions qui serviront d'éléments de base pour des investigations futures.

Données disponibles

Pour effectuer cette étude les données suivantes étaient disponibles :

- Les mesures météorologiques de la station de Nayiri située à 3 km environ de Gourga. Ces mesures effectuées durant la période 1987 à 1991 portaient sur la pluviométrie, l'insolation, la vitesse du vent, l'humidité relative, la température, l'E.T.P et l'évaporation au bac colorado.

- Les mesures météorologiques de la station synoptique de Ouahigouya étaient également disponibles durant cette même période.

- Les relevés piézométriques des cinq (5) lignes piézométriques et sur certains puits exploités étaient également mis à notre disposition.

- Il y a aussi les mesures limnimétriques faites sur les trois stations situées dans la zone d'étude à savoir la station de Tilli barrage, de Gourga aval et la station de Tilli.

- Il y a enfin l'historique des débits qui a été porté à notre connaissance.

Chapitre I Cadre de l'étude

Le bas-fond de Gourga dans la région de Bidi, qui est le cadre de la présente étude, est situé un peu au-dessus du 14ème degré de latitude nord, à environ 40 km au Nord-Ouest de la ville de Ouahigouya.

C'est une dépression d'environ 600 m de long sur 200 m de large traversée pendant l'hivernage par les eaux du marigot AOTO.

Les apports dans cette dépression sont sous la dépendance directe des précipitations qui surviennent dans la région de mi-juin à mi-septembre.

I.1 Aperçu hydroclimatique

I.1.1. Type de climat

La province du Yatenga se situait, avant la dernière phase sèche entre les isohyètes 600 et 700 millimètres (Y. Brunet-Moret, 1983).

Sur la période 1966-1980, elle se situe entre les isohyètes 500 et 600 millimètres.

Le climat était de type soudano-sahélien jusqu'en 1968. Il devient franchement sahélien depuis 1969 avec une saison sèche longue de 8 à 9 mois.

La saison des pluies s'étend approximativement de mi-juin à mi-septembre. La province présente une grande variabilité temporelle de précipitations ; le minimum connu étant de 358 mm en 1983 (Bulletin pluviométrique annuel de service météorologique).

I.1.2 Facteurs du climat

I.1.2.1 Précipitations

Dans la région de Bidi, à environ 3 km de Gourga, se situe la station météorologique de Nayiri.

Des observations sont effectuées depuis 1985 à cette station. Elles ont révélé les valeurs suivantes de pluviométrie annuelle répartie essentiellement sur le mois de juillet, août et septembre :

418,4 mm en 1987

552,1 mm en 1988

552,3 mm en 1989

372,9 mm en 1990

Les observations faites à la station de Ouahigouya donnent durant ces 4 années les valeurs suivantes :

456,00 mm en 1987

707,1 mm en 1988

612,2 mm en 1989

403,1 mm en 1990

Le graphique mettant en relation les pluies à la station de Ouahigouya et celle de Nayiri révèle une différence de hauteur de pluie entre les deux (2) stations de l'ordre de 70 mm en moyenne.

I.1.2.2 Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle, calculée d'après la formule de pennan au poste de Ouahigouya, est estimée annuellement à 1 832 millimètres dont 474 millimètres pour les mois de Juillet, Août, Septembre (Bulletin Agrométéorologique décadaire - Météorologie Nationale).

Les données de l'évapotranspiration et l'évaporation au BAC colorado de la station de Nayiri et de Ouahigouya sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Stations	mesures réalisées	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
N	A	299	314	455	463	462	413	294	243	264	303	305	305
	B	147	160	201,5	212	243,86	224	199,43	186	173,25	174,47	153	143,37
O	C	301	332,7	405,3	424,7	449,7	350	271,33	175	188	265,66	298,3	292,7
	D	-	-	-	212,94	227,5	190,8	176,01	154,14	173,19	165,81	-	-

* Tableau n° 1

- * N - Station météorologique de Nayiri
- * O - Station synoptique de Ouahigouya
- * A - Evaporation en (mm) bac colorado
- * B - E.T.P en millimètre
- * C - Evaporation en (mm) - bac classe "A"
- * D - E.T.P en millimètre

Comparé à la station de Ouahigouya l'E.T.P moyenne annuelle à la station de Nayiri est de 2 218 mm dont 559 mm pour les mois de Juillet, Août et Septembre. L'évaporation au Bac colorado est estimé à 4 120 mm à Nayiri et de 3 754,40 mm à Ouahigouya (Bac classe "A").

I.1.2.3. Températures

Les températures les plus élevées se situent dans les mois d'Avril et Mai tandis que les plus basses se rencontrent dans les mois de Décembre et Janvier.

Les températures maximales et minimales mensuelles se trouvent regroupées dans les tableaux ci-dessous.

Stations	mesures réalisées	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
N	A	13,45	16,70	20,9	25,5	27,2	26,70	23,50	22,80	23,10	22,10	17,8	15,30
	B	31,0	34,4	37,74	41	41,2	38,1	34,50	33,15	34,5	37,4	36,15	31,80
O	C	16,7	19,9	24,2	26,5	28,4	26,2	24,15	22,9	23,3	23,7	21	17,65
	D	31,7	34,5	34,7	40,3	41,2	37,2	34,1	31,8	33,3	37,2	36,3	32,2

* Tableau n° 2

* N - Station météorologique de Nayiri

* O - Station synoptique de Ouahigouya

* A - Températures minimales (en 0°C)

* B - Températures maximales (en 0°C)

* C - Température minimale (en 0°C)

* D - Température maximale (en 0°C)

L'analyse des courbes de températures révèle que l'amplitude thermique à Nayiri est minimale en Juillet, Août et Septembre où elle est de l'ordre de 10°C et maximale aux deux extrêmes (Janvier à Mars et Octobre à Décembre).

La température minimale moyenne annuelle est de 21,2°C et la maximale 38,7°C.

Comparativement le même tableau nous donne les températures maximale et minimale de Ouahigouya.

La température minimale moyenne annuelle à Ouahigouya est de 22,9°C et la maximale de 35°C.

I.1.2.4 Insolation

L'insolation maximale est atteinte au mois de Mai. Elle est très variable sur de courtes périodes (d'un mois à l'autre). Le minimum est atteint au mois d'Août (voir tableau ci-dessous).

Stations	mesures réalisées	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
N	A	279	258,5	281	243	309	249	256	242	245	278	268,8	263,5
O	B	297,7	276	281,3	271	319,3	262	269	241,3	253	294	304,7	288

* Tableau n° 3

* N - Station météorologique de Nayiri

* O - Station synoptique de Ouahigouya

* A - Mesures d'insolation enregistrées à Nayiri

* B - Mesures d'insolation enregistrées à Ouahigouya

I.1.2.5 Humidité relative

L'humidité de l'air est maximale dans les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre et minimale de Décembre à Mars.

Le tableau ci-dessous nous donne l'humidité relative moyenne mensuelle à la station de Nayiri et de la station synoptique de Ouahigouya.

Stations	mesures réalisées	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
N	A	22,3	17	19,6	25,3	31,4	45,8	62,8	69,4	66,3	47	30,1	28
O	B	21,4	19,8	17,8	23,65	33,5	52,2	64,4	73,8	70,4	46,9	27,2	25,4

* Tableau n° 4

* N - Station météorologique de Nayiri

* O - Station synoptique de Ouahigouya

* A - Mesures d'humidité relative enregistrées à Nayiri

* B - Mesures d'humidité relative enregistrées à Ouahigouya.

L'analyse des courbes de température et d'humidité relative à la station de Nayiri révèle les temps suivant dans la région de Bidi (Gourga).

- Un temps humide et frais de mi-juin à mi-septembre.
- Un temps relativement peu humide par rapport à la première et chaud de mi-septembre à mi-novembre.
- Un temps sec et frais de mi-novembre à mi-mars.
- Et enfin un temps peu humide et chaud de mi-mars à mi-juin.

Les valeurs de l'humidité relative enregistrées à la station de Ouahigouya sont présentées dans le tableau ci-dessus.

I.1.2.6 Vents

Il ressort de l'examen des vitesses moyennes du vent que c'est dans les mois de Février, Juin et Juillet que l'on enrégistre régulièrement à la station de Nayiri des vitesses supérieures à 2 m/s.

La province du Yatenga est soumise à un régime de vents d'Est chaud et sec de direction générale Est-Ouest, et à un régime de mousson soufflant du Sud-Ouest vers le Nord.

D'une manière générale les vents sont plus violents à Ouahigouya qu'à Bidi (cf. vitesses enrégistrées dans le tableau ci-dessus).

Stations	mesures réalisées	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
N	A	1,7	2,01	1,8	1,9	1,9	2,5	2,3	1,7	1,5	1,05	1,2	1,6
O	B	-	-	-	3,03	3,4	4,2	3,03	2,3	1,9	1,2	-	-

* Tableau n° 5

* N - Station météorologique de Nayiri

* O - Station synoptique de Ouahigouya

* A - Mesures de la vitesse du vent à Nayiri

* B - Mesures de la vitesse du vent à Ouahigouya.

Figure N°1 Données météorologiques de la station de OUAHIGOUYA

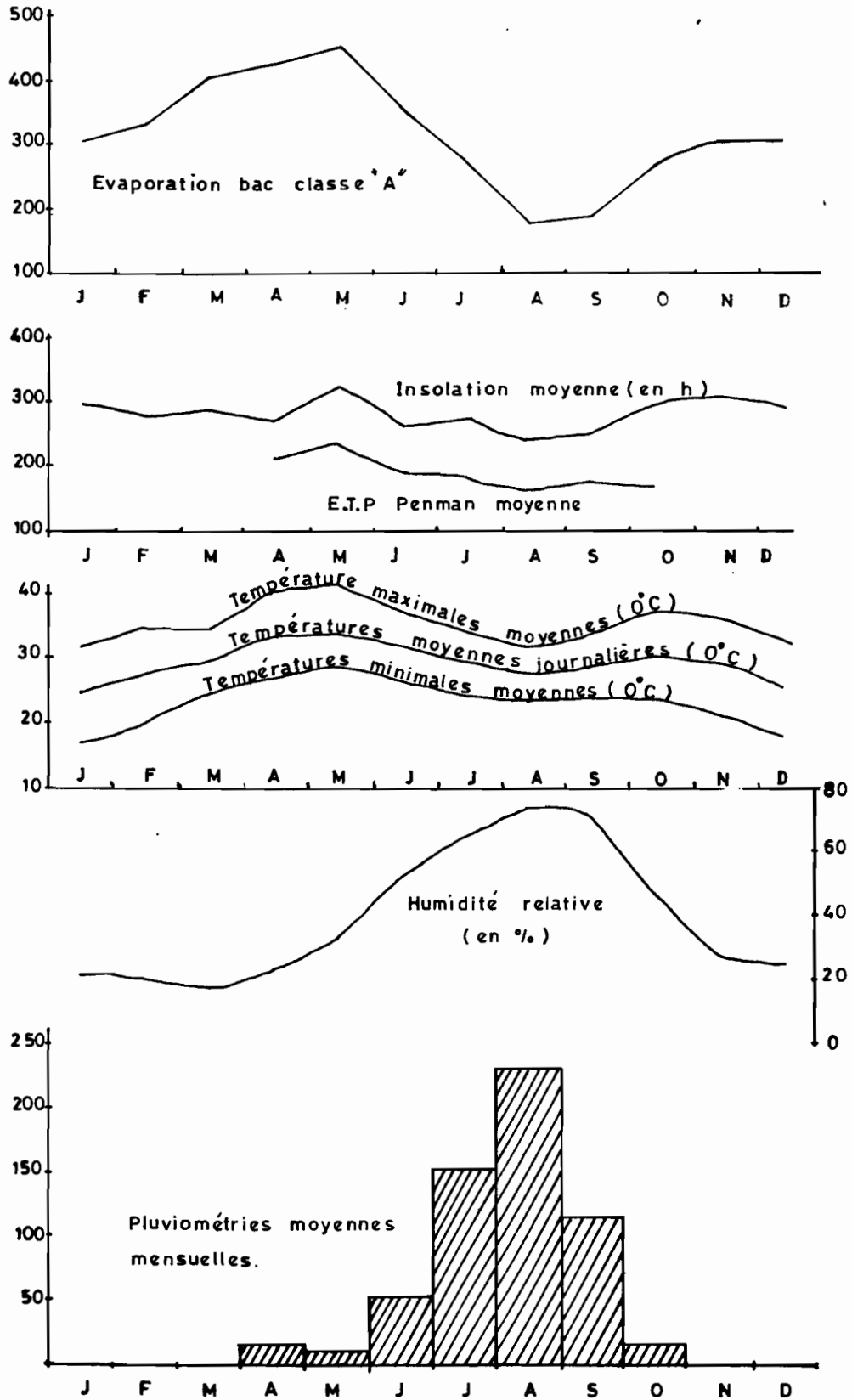


Figure N° 1 Données météorologique de la station de NAYIRI

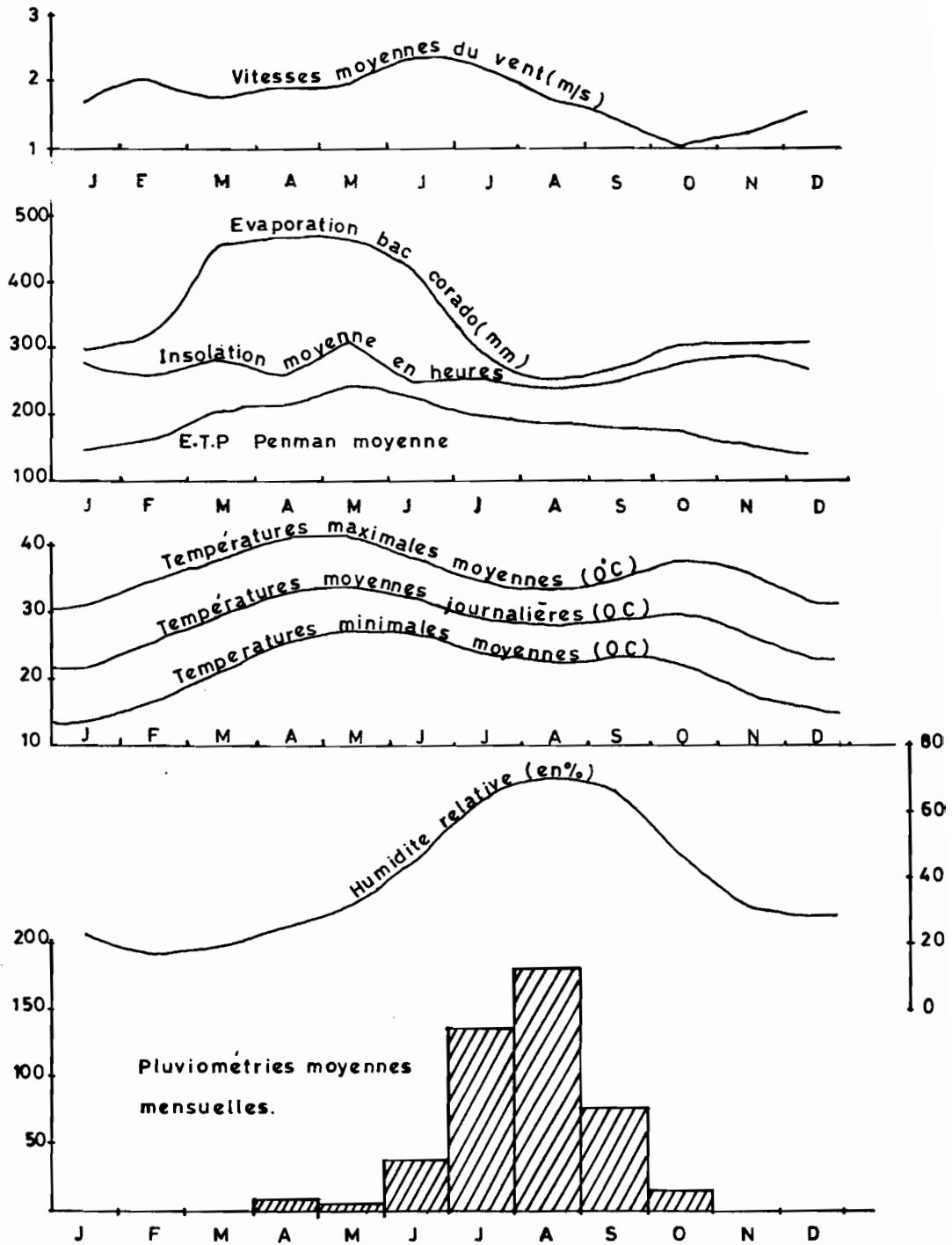
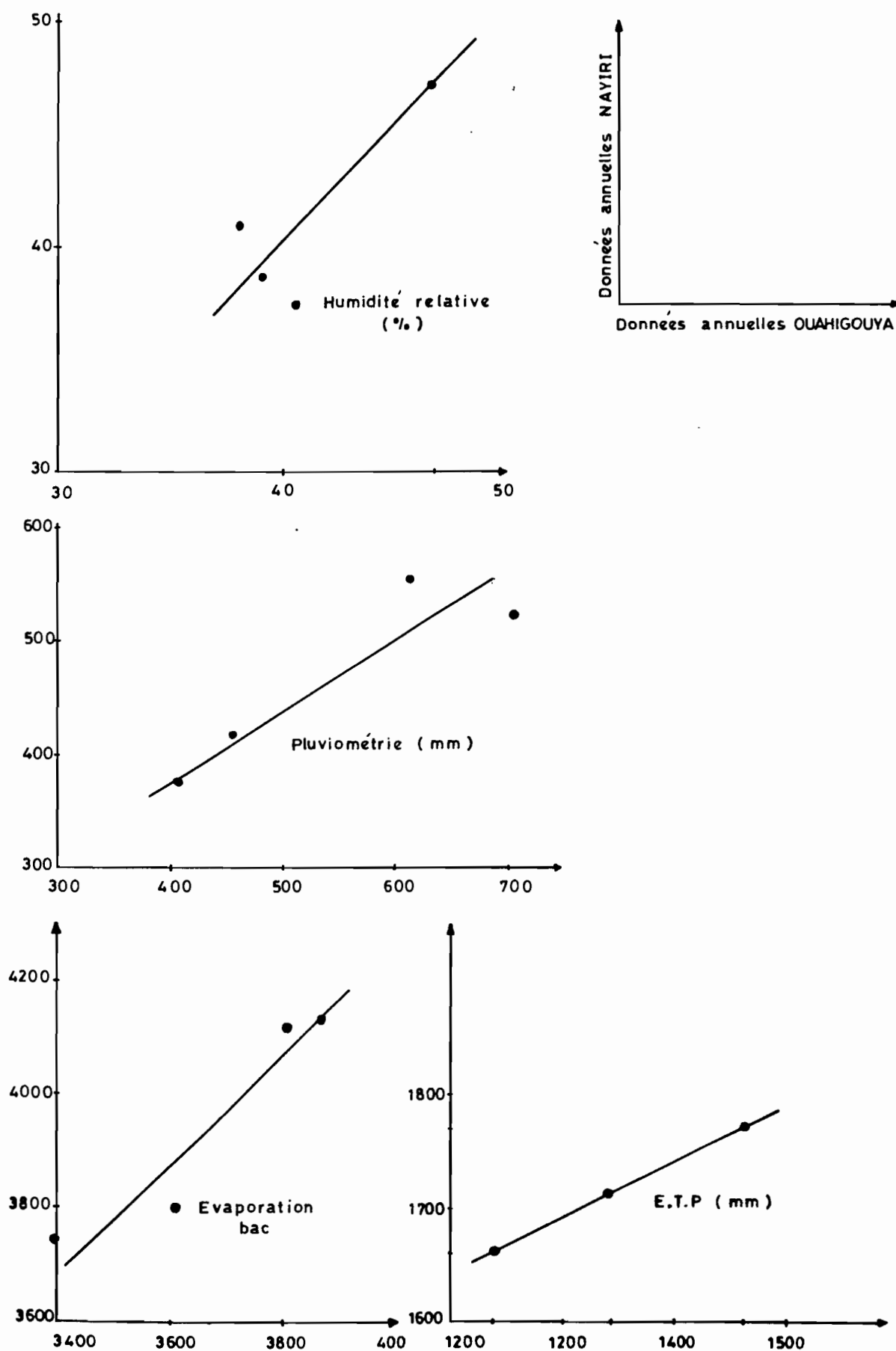


Figure N°2 Relation entre les données météorologiques annuelles
 NAYIRI et de OUAHIGOUYA



I.2 Aperçu Géologique

Le substratum du Yatenga est composé en majorité de roches précambriennes, exceptée une bande sédimentaire primaire de couverture du continental terminal au Nord-Ouest.

Dans la région de Bidi, ce substratum est constitué de granites à biotite syn-tectonique à tardi-tectonique datés à un âge de 1981 ± 18 millions d'années. Cet important massif granitique de Bidi, large de 25 kilomètres, long de 60 kilomètres, s'étend dans la partie septentrionale du Yatenga entre Koumbri et Banh. Le bas-fond de Bidi et son bassin versant s'inscrivent complètement dans ce massif granitique (Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel ; janvier 1991).

Le granite de Bidi présente un faciès gris blanchâtre. C'est une roche à grains moyens formée d'environ 7 % de biotite, plus de 30 % de plagioclase, 20 à 25% de microcline, près de 35 % de quartz et 3 à 4 % de minéraux accessoires et de minéraux d'altération (Iwaco ; 1987). (Voir carte, géologie de la province en annexe).

I.3 Aperçu géomorphologique

La région de Bidi s'inscrit dans l'un des principaux modèles morphologiques de la province du Yatenga. Il s'agit d'une pénéplaine granitique de pente Nord-Ouest en direction de la plaine de Gondo où se trouvent dissimulés des bas-fonds à dynamique accumulative dont celui de Bidi.

Dans cette dépression, les zones situées de part et d'autre du thalweg sont couronnées par des affleurements de cuirasse latéritique surmontée en certains endroits de sables fins. Les affleurements cuirassés sont absents dans les bas-fonds où l'on rencontre une structure type alluviale avec alternance des dépôts de sables grossiers (phase sèche) et une présence importante d'argiles et de sables fins mélangés, en lentilles alluviales (phase humide).

(Voir carte géomorphologique de la province en annexe).

I.4 Hydrologie et hydrogéologie

La province du Yatenga est caractérisée par l'absence de cours d'eau pérennes. Le bassin hydrologique du Nakambé, le plus important de la province, s'étend au Sud-Est et au Centre-Nord du Yatenga, occupant environ les 2/3 de la superficie de la province.

A partir des lignes de crêtes, délimitées par des roches vertes situées au Nord-Ouest de Ouahigouya dans la région de Koumbri, partent une série de marigots en direction du Nord-Ouest. Il s'agit de marigot de Bidi (AOTO), du marigot de Thiou et du Nanibarou dans la région de Banh.

Les marigots de Bidi et de Banh suivent un tracé en bafonnette (tracé orthogonal) correspondant certainement à des failles dans le massif granitique sous-jacent.

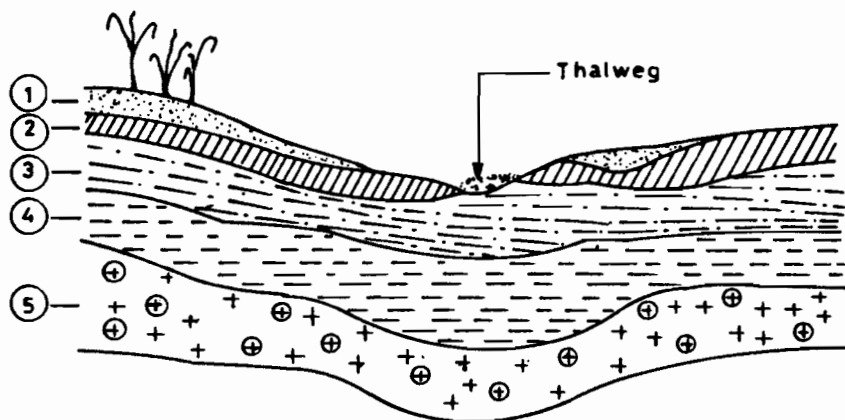
Nous nous intéresserons plus particulièrement à celui de Bidi sur substratum granitique en vue d'étudier la réalimentation de la nappe aquifère sur un bief de longueur deux (2) kilomètres entre les quartiers de Gourga et de Tilli où les crues se localisent entre Juin et Septembre.

La carte hydrogéologique synthétique établie par l'Iwaco en annexe nous positionne sur les différents modes de gisement d'eau dans la province.

Chapitre II

Hydrogéologie du bas-fond de GourgaII. 1 Géologie du siteCOUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE
DANS LE BAS-FOND DE GOURGA

Figure N° 3



- ① — Sables fins (2m)
- ② — Carapace ferrugineuse (6.60m)
- ③ — Argile latéritique (12 m)
- ④ — Arènes argileuses (16.4 m)
- ⑤ — Granite à feldspath rose altéré (20.80 m)

Il ressort de l'examen de la coupe du forage réalisée dans le quartier Gourga en rive gauche du marigot AOTO, le profil d'altération suivant de haut en bas :

- cuirasse
- argile latéritique
- arènes argileuses
- granite à feldspath rose altéré
- la roche saine.

Notons que la carapace ferrugineuse est souvent absente dans le bas-fond où elle est remplacée par des dépôts alluviaux (particulièrement au niveau de la retenue).

Le bas-fond de Bidi renferme deux (2) nappes superposées au-dessus du substratum. Une nappe supérieure (phréatique) et une nappe inférieure plus profonde.

L'examen des coupes de forages et puits réalisées dans la zone révèle que la nappe supérieure se trouve logée dans la couche d'argiles latéritiques et au-dessus tandis que la nappe inférieure est contenue dans les arènes d'altération granitique. Les nappes sont séparées par une couche d'argile peu compacte située à une dizaine de mètres de profondeur.

La présente étude s'intéresse à la nappe supérieure qui fluctue sous l'effet de l'alternance d'une saison des pluies et d'une saison sèche bien distinctes. Les travaux de géophysique de Sama (1989) fig.4 ont permis de dessiner une carte de l'épaisseur d'altération. Dans la zone de Gourga, cette épaisseur varie en fonction de la position du toit du substratum par rapport à la surface du sol.

On y distingue ainsi trois (3) compartiments :

- un compartiment amont (secteur de la digue filtrante) dont la profondeur du substratum est supérieure ou égale à 25 m,
- un compartiment localisé dans le quartier Tilli, en rive droite et aval du barrage, où la profondeur du substratum est comprise entre 10 et 25 m,
- un compartiment en rive gauche dans les environs de la digue du barrage où la profondeur du substratum est inférieure ou égale à 10 m. (cf. carte topographique du substratum).

II.2 Historique et inventaire des points d'eau et des piézomètres

Autrefois les habitants de Gourga se ravitaillaient en eau dans les quartiers Nayiri et Tilli à partir de puits traditionnels dont plusieurs sont abandonnés de nos jours.

Des puisards creusés dans le bas-fond permettent à la population de satisfaire en partie ses besoins. Le puits de Dabéré (P2) situé près du marché, encore appelé puits Banfora a été réalisé par la direction de l'hydraulique et de l'équipement rural en 1983 lors du projet d'hydraulique villageoise Yatenga-Comoé. C'est un puits busé de 17,5 m de profondeur qui n'a jamais tari. Il est devenu le point d'attraction de la population qui, à l'aide de charrettes et de vélos, s'y rendent pour s'approvisionner en eau. En 1986, dans le cadre du projet hydraulique villageoise Yatenga-2^{ème} phase, fut implanté le forage F2 situé à Gourga (4/2/86).

Cette réalisation fut l'oeuvre de l'ONPF (Office Nationale des Puits et Forages). Le forage a 55,80 m de profondeur et capte la nappe du socle fissuré. Le grand puits aval barrage fut construit par l'ORD et les deux (2) puits au niveau de la ligne piézométrique N° 4 par l'ORSTOM (1988-1990). Le bas-fond de Gourga est équipé de cinq (5) lignes piézométriques comportant des piézomètres dont les profondeurs varient entre 8 et 10 m.

En tout 29 piézomètres sont répartis de la façon suivante :

- ligne n° 1 : 5 piézomètres
- ligne n° 2 : 5 piézomètres
- ligne n° 3 : 7 piézomètres
- ligne n° 4 : 5 piézomètres
- ligne n° 5 : 7 piézomètres

Ces piézomètres permettent de suivre l'évolution du niveau de la nappe dans l'aquifère du bas-fond. Au niveau de la ligne n° 4, les piézomètres 4.3 et 4.4 sont des puits exploités par la population. Les mesures du niveau piézométrique sont effectuées sur les puits des quartiers de Gourga et Tilli.

HISTORIQUE DE L'INSTALLATION DES PIEZOMETRES ET PIEZOGRAPHES (Programme de mise en valeur des bas-fonds au sahel (1991).

Ligne n° 1

- Juin 1987 : installation des piézomètres 1.0 et 1.1
 Août 1988 : creusement d'un puits en rive droite (piézomètre provisoire 1.2)
 Avril 1989 : installation des piézomètres 1.2, 1.3 et 1.4.

Ligne n° 2

- Juin 1987 : installation des piézomètres 2.0, 2.1 et 2.2.
 Juillet 1989 : installation des piézomètres 2.3 et 2.4.
 Le 19 Juillet 1989 : installation d'un limnigraphe sur le piézomètre 2.1.

Ligne n° 3

- Juin 1987 : installation des piézomètres 3.0, 3.1 et 3.2.
 Mai 1989 : installation des piézomètres 3.3, 3.4, 3.5 et 3.6.

Ligne n° 4

- Juin 1987 : installation des piézomètres 4.0, 4.1 et 4.2.
 30 Juillet 1988 : rehausse des têtes des piézomètres 4.0 et 4.2.
 Août 1988 : creusement des puits en rive gauche (piézomètre 4.3) et en rive droite (piézomètre 4.4).
 19 Juillet 1989 : installation d'un limnigraphe sur le piézomètre 4.1 avec rehausse de la tête du piézomètre d'environ 1,12 mètre.
 Mai 1990 : surcreusement des puits 4.3 et 4.4, pose des buses et construction des margelles avec surélévation des repères de profondeur :
 + 1.87 pour le puits 4.4.
 30 Septembre 1990 : pose d'un limnigraphe sur le puits 4.3.

Ligne n° 5

- Juin 1987 : installation du piézomètre 5.0
 Août 1988 : creusement d'un puisard en rive gauche (piézomètre 5.1 jusqu'en avril 1989).
 Avril 1989 : installation des piézomètres 5.1 et 5.2.
 Octobre 1989 : installation des piézomètres 5.5 et 5.7.
 Le piézomètre 5.3 correspond au puisard creusé en rive gauche. Le piézomètre 5.4 correspond au puits situé en rive droite entre T 8 et le bas-fond.

Puits busé de Gourga

Installation d'un limnigraphe le 6/10/90

Puits busé aval barrage

Cuvelage du puits en mai 1989. Installation d'un limnigraphe le 15/07/1989.

TOPOGRAPHIE DU

SUBSTRATUM

Sama.M.B

FIG 4

16

L5

Barrage

L4

TILLI

10.00

L3

Digue filtrante

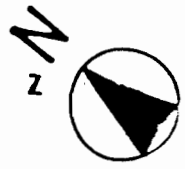
GOURGA

L2




25.00

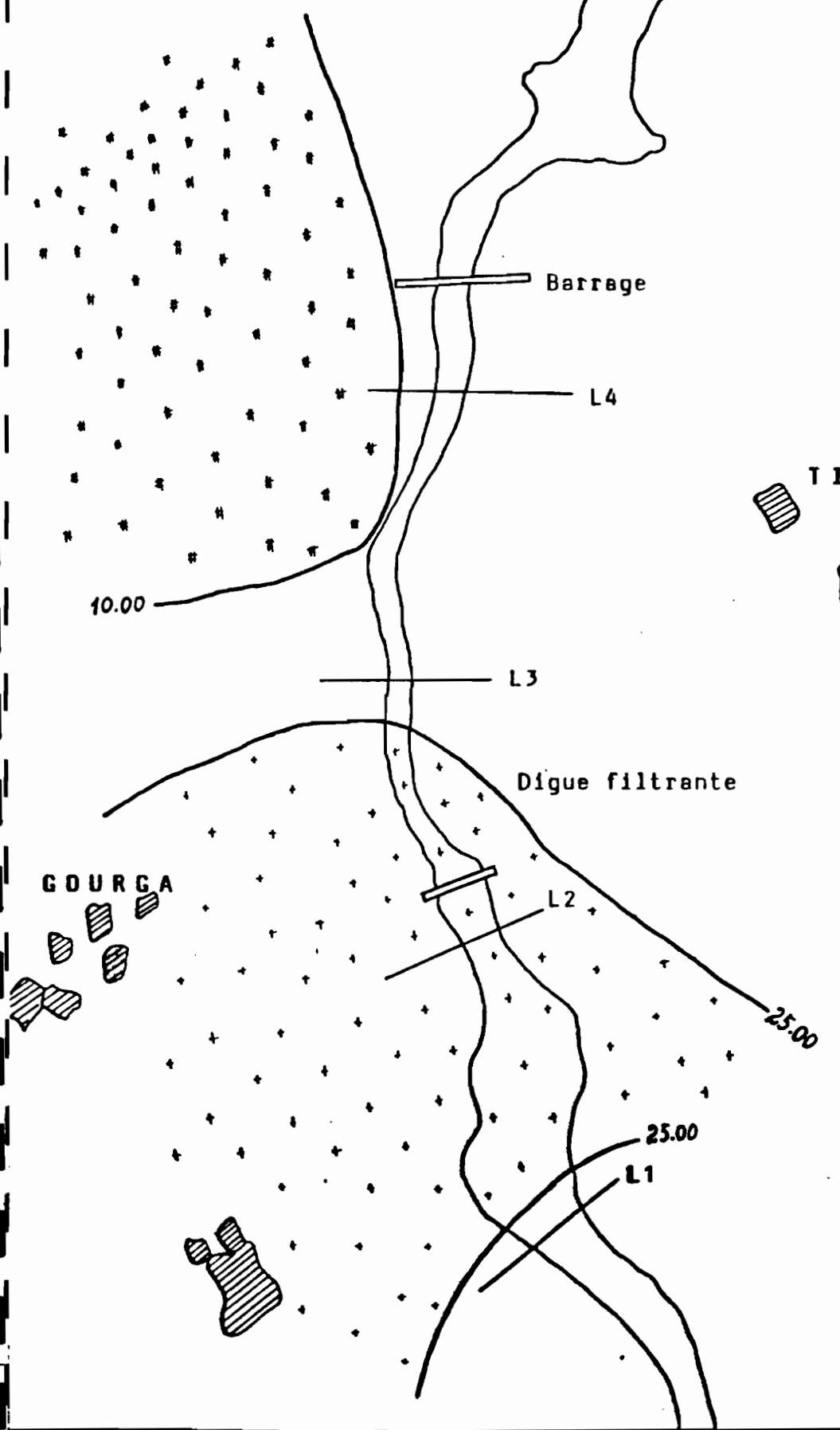
25.00

L1



LEGENDE

-  Prof ≤ 10 m
-  10 < prof < 25 m
-  Prof ≥ 25 m



INVENTAIRE DES POINTS D'EAU A GOURGA ET TILLI

<u>Quartiers</u>	<u>N° d'ordre</u>	<u>Nom du puits</u>	<u>Type de puits</u>
Gourga	1	Puits busé (PG)	Puits busé
Gourga	2	Gourga (G2)	Puisards traditionnel avec troncs d'arbres
Gourga	3	Tasseré Belem (G4)	" "
Tilli	4	Harouna Tido (T2)	" "
Tilli	5	Rasmané Belem (T4)	Puits partiellement cuvelé avec des pierres
Tilli	6	Tilli (T6)	Puits traditionnel avec troncs d'arbres
Tilli	7	Tilli jardin (T8)	" "
Gourga	8	Forage (F2)	Forage
Gourga	9	Puits rive gauche	Puits busé en acier
Gourga	10	Puits rive droite	Puits busé en acier

II.3 Etude de l'évolution des niveaux piézométriques

Le bas-fond de Gourga se situe en aval d'un bassin hydrologique à écoulement intermittent provoqué par des pluies assez fortes se localisant entre Juin et Septembre.

Les mesures limnimétriques montrent qu'il existe d'une part une zone à présence d'eau éphémère en surface correspondant à la durée de la crue (4 à 12h) et d'autre part une zone où l'eau séjourne longtemps à la surface du bas-fond correspondant à la retenue du barrage de Tilli. On peut ainsi distinguer deux zones de recharges distinctes :

- une zone d'inondation située en amont du barrage de Tilli où la surface du sol est inondée pendant 2 ou 3 mois
- une zone de recharge par infiltration des eaux du marigot pendant les crues, c'est à dire une dizaine de jours par an.

Les crues fortes ont une durée de 10 à 12 h. Les crues moyennes 5 à 6 h et les crues faibles 2 à 4 h. La largeur de la surface d'infiltration est d'environ 100 m (ligne n° 1 et n° 2) tandis qu'au niveau de la zone d'inondation elle est de 150 m environ. L'amont de la digue filtrante, contrairement à la zone du barrage, est caractérisée par une simple submersion de nature éphémère dont la durée équivaut à celle de la crue. Le rôle de la digue filtrante étant d'étaler les crues au-delà du lit mineur et d'accroître le front d'infiltration.

II3.1 Variation piézométrique en fonction du temps

II3.1.1 Choix de l'origine des temps

Les relevés pluviométriques faits sur la station de Nayiri (non loin de Gourga) attestent bien que les événements pluvieux, bien qu'épars, ont bien lieu avant le mois de Juillet. Cependant les pluies sont plus abondantes à partir du mois de Juillet. A travers les observations de fluctuation des niveaux piézométriques, il ressort que les pluies précédant le mois de Juillet ont peu d'influence sur la remontée de la nappe à quelques exceptions près.

II3.1.2 Choix du niveau de base et détermination des charges

Dans le but d'éviter les valeurs négatives qui résulteraient du calcul des charges, toutes les cotes des différents points de nivellement local ont été haussées de 20,00 m.

Les observations faites sur le terrain fournissent des profondeurs (P) sous un repère (tête de piézomètre par exemple) à l'altitude (Z) du nivellement général. La charge par rapport à l'altitude de référence (Z) s'obtient par la formule suivante :

$$h = Z - P$$

II3.1.3 Fluctuations piézométriques en fonction du temps

L'analyse des différentes courbes piézométriques sur les deux (2) années de mesures (1989-1990) permet de dégager les remarques suivantes :

D'entrée de jeu nous constatons que les piézomètres d'observation des niveaux piézométriques ne repondent pas à la remontée du niveau de la nappe de manière simultanée tant à l'intérieur d'une même ligne piézométrique que d'une ligne à l'autre.

Au niveau de la ligne n° 4 le piézomètre central 4.0 marque la remontée du niveau de la nappe 14 jours avant le 4.1 et 34 jours avant le 4.2. Les piézomètres latéraux (4.3 et 4.4) situés sur les rives réagissent presque au même moment que le 4.2.

Cependant la campagne de relevés de 1990 révèle, à travers les courbes des fluctuations piézométriques, une remontée du niveau de la nappe presque au même moment (24 Juin pour le 4.2 et 26 Juin pour les autres piézomètres). Durant cette même année (1990) la pente de la remontée est très raide tandis qu'à l'exception du piézomètre 4.2 elle est plus douce en 1989. La charge maximale enregistrée est de 27,4 m au niveau du piézomètre 4.0 (1989). Les eaux souterraines se maintiennent autour de cette charge maximale avec des variations sensibles durant une période de trois mois (Juillet, Août, Septembre). Nous assistons ensuite à la vidange de la nappe qui se prolongera jusqu'à la saison pluvieuse suivante.

Au droit de la ligne n° 3 le piézomètre 3.0 répond à la remontée du niveau piézométrique 74 jours avant le piézomètre 3.6. Ceci peut se comprendre par la situation un peu éloigné du 3.6 par rapport à l'axe du thalweg (100 m environ). En 1989 ce décalage de temps entre ces deux piézomètres est de 26 jours. C'est dire donc que ce décalage varie d'une année à l'autre. La charge maximale observée au niveau du piézomètre 3.0 est de 26,95 m. Comparativement à la ligne n° 4 on observe une baisse rapide du niveau piézométrique au niveau de la ligne n° 3. Le niveau piézométrique fluctue autour de la charge maximale durant une période de deux mois au niveau du piézomètre 3.0 et moindre au niveau des autres.

Le piézomètre 3.3 a le plus faible amplitude de fluctuation. L'amplitude varie entre 19 et 21 m ; la charge maximale étant de 20,6 m. A l'exception de ce dernier (piézomètre 3.3) la remontée piézométrique se fait avec une pente très raide tant en 1989 qu'en 1990. La charge maximale obtenue au niveau de la ligne n° 2 est de 27,5 m et de 23,80 m au niveau de la ligne n° 5. La remontée du niveau piézométrique est observée au niveau de la ligne n° 5 début Août pour tous les piézomètres, avec une pente assez forte en 1989 tandis qu'en 1990 elle est relativement moindre. Au niveau de ces trois lignes (lignes n° 1, n° 2, n° 5) le vidange des piézomètres est observé aussitôt après les pluies. La phase descendante sur les courbes de fluctuations piézométriques correspond au tarissement.

Au niveau de la ligne n° 4 le tarissement est quasi-uniforme en égard aux pentes de descente observées au niveau des différents piézomètres. Au droit de cette ligne le tarissement est lent. La ligne n° 5 présente également un tarissement quasi-uniforme. Comparativement à la ligne n° 4 la pente de descente est un peu plus importante au niveau de la ligne n° 5 (3,56 cm/j). A ce niveau on peut distinguer une phase de descente rapide (tarissement rapide) et une phase de descente lente (tarissement lent). La ligne piézométrique n° 3 présente une phase de tarissement très variable d'un piézomètre à l'autre. La pente de descente est moyenne au niveau des piézomètres 3.0 et 3.2 (4,82 cm/j), un peu plus forte au niveau du piézomètre 3.4 (5,05 cm/j). La pente de tarissement est plus grande au niveau du piézomètre 3.1 (5,75 cm/j) et un peu moindre au niveau du 3.6. Le tarissement se fait au niveau du piézomètre 3.3 avec une pente très faible. Sur chaque ligne, la recharge est plus importante au niveau des piézomètres situés dans le lit mineur de la rivière.

- Deux grandes phases peuvent être également distinguées à partir des courbes des observations piézométriques en fonction du temps. Une phase ascendante correspondant à la recharge et une phase descendante correspondant au tarissement. La partie médiane présente des fluctuations mineures qui marquent une

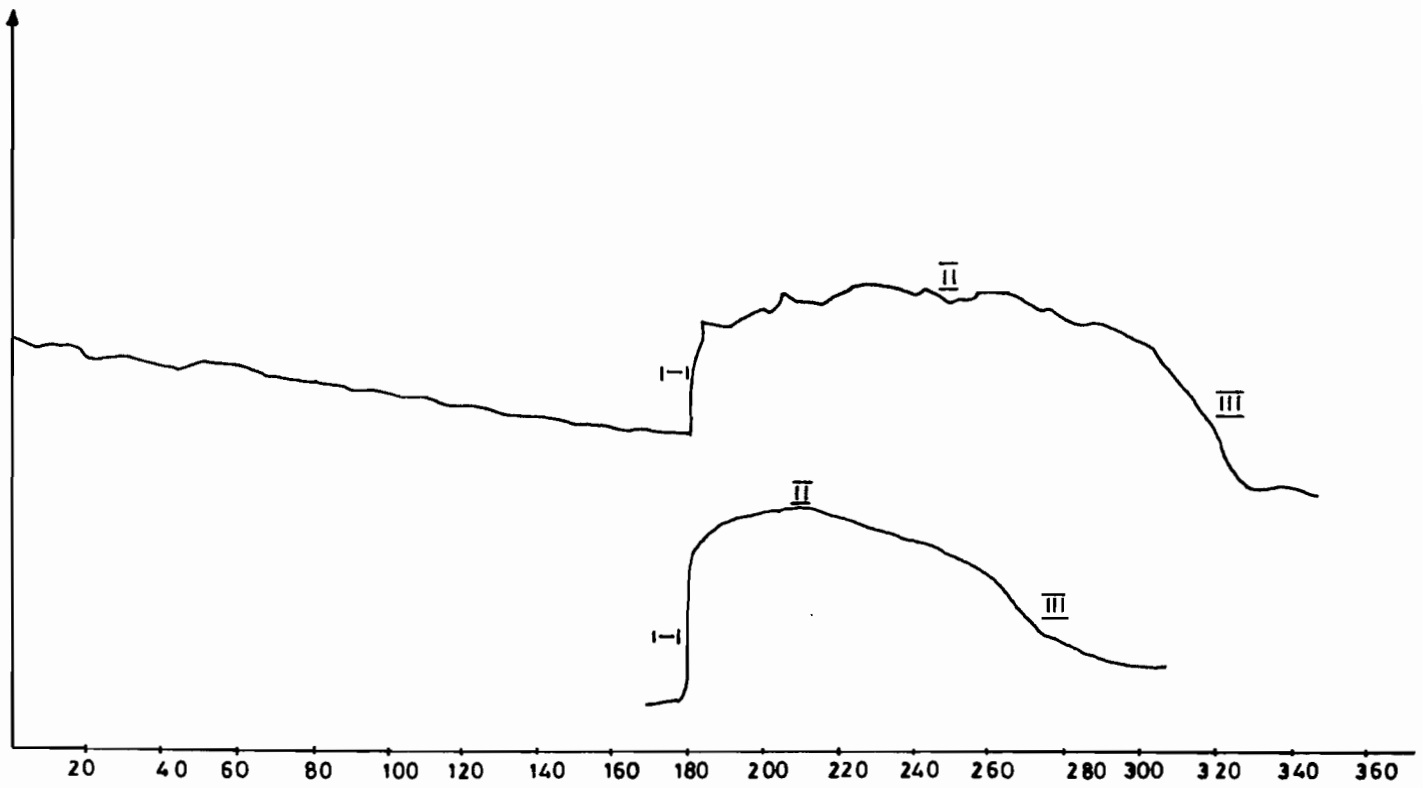


Figure N° 5

I = PHASE ASCENDANTE

II = PHASE QUASI - PERMANENT

III = PHASE DESCENDANTE

inversion des tendances à la recharge et au tarissement. Ce dernier constat montre de toute évidence que la recharge et le tarissement sont deux phénomènes concomitants pendant les épisodes pluvieux. Lorsque le volume des apports l'emporte sur les pertes, la recharge est perceptible (branche ascendante de la courbe), dans le cas contraire on assiste à la vidange de l'aquifère.

Les phases de tarissement rapide et de tarissement lent sont distinguables surtout au niveau du piézomètre 3.1. La vitesse de chute du niveau piézométrique lors du tarissement est grande au niveau de la ligne n° 2 et n° 1 les deux phases (tarissement rapide et tarissement lent) sont nettement observables. En somme l'examen de la phase descendante sur les courbes de fluctuations piézométriques, correspondant au tarissement révèle deux phases distinctes lors du phénomène.

- * Une phase de tarissement rapide où la courbe présente une pente forte.
- * Une phase de tarissement lent où la courbe présente une pente faible.

Ces deux phases sont nettement observables au niveau des lignes n° 1 et n° 2 où la première (tarissement rapide) dure deux (2) mois environ. L'analyse simultanée de toutes les courbes de fluctuations piézométriques sur les deux années de mesures nous permet de nous résumer comme ceci :

- L'amplitude de la recharge varie d'une ligne piézométrique à l'autre.
- La recharge est maximale au mois d'Août. La courbe représentative de la recharge présente dans cet intervalle de temps une pente très raide, conséquence d'une succession très rapprochée des épisodes pluvieux.
- Au niveau des zones de recharge par infiltration des eaux du marigot (ligne n° 1 et n° 5) les chutes du niveau piézométrique deviennent immédiatement perceptibles dès la fin des crues. Cette affirmation est justifiée par l'existence d'un pic très marqué sur les courbes de fluctuations du niveau piézométrique.
- En amont de la digue filtrante (ligne n° 2) la submersion des terres ne dure que le temps de la crue (4 à 12 heures). A ce niveau les courbes présentent les mêmes caractéristiques que celles de la zone précédente. Leur évolution en dents de scie est une preuve que la recharge dépend directement des crues.

II3.2 Facteurs explicatifs des variations piézométriques

Les facteurs qui interviennent pour expliquer les fluctuations de niveaux piézométriques, développées aux paragraphes précédents (II3.1 en II3.1.3), sont divers :

- Les crues qui se succèdent durant l'hivernage ont toutes une incidence sur la recharge (petites ou grandes). Cette incidence est observée sur les courbes de fluctuations piézométriques (les piézomètres n'indiquant aucune incidence notable sur la recharge lors des premières crues) et trouve son explication dans l'assèchement du sol lorsque surviennent les premières crues.

Lors des premières crues, le sol est très peu perméable parce que les vides se trouvant entre les particules constitutives du sol sont occupés par de l'air. Ainsi l'eau qui s'infiltrer rencontre une résistance vis à vis de sa percolation qui est due à la présence de l'air. Pour que l'eau puisse s'infiltrer avec facilité il faudra le temps nécessaire pour que le sol se dégazéifie (observée lors du jaugeage au moulinet). Il faut ajouter à cela la capacité de rétention propre à chaque type de sol que les premières crues doivent restituer.

Les crues localisées dans les mois de Juillet et Août ont une incidence plus directe sur la recharge de l'aquifère parce que pendant ce temps le sol s'est dégazéifié permettant une percolation rapide. Pendant cette période également les eaux qui percolent ne restituent plus ou restituent très peu d'eau au sol lors de leur parcours.

- D'autre part la vitesse de tarissement moyenne observée sur les courbes des fluctuations piézométriques est variable d'un piézomètre à l'autre de même que d'une ligne piézométrique à l'autre. Ceci nous permet de distinguer deux zones de perméabilité distinctes dans le bas-fond.

* Une zone perméable située au niveau des lignes n° 1 et n° 2.

* Une zone peu perméable qui se localise au droit des lignes n° 4 et n° 5.

Entre les deux zones on a une zone composite des deux zones précédentes. Les courbes de fluctuations piézométriques de la ligne n° 4 et n° 5 présentent sensiblement la même pente de tarissement. Les chutes observées aux droits des piézomètres 4.3 et 4.4 sont dues à une surexploitation de ces puits durant la saison 1990 (forage Gourga en panne). De même au niveau des lignes n° 1 et n° 2 on note une quasi-égalité des pentes des différentes courbes pendant le tarissement.

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs moyennes de la vitesse du tarissement dans les différentes zones.

Zones	lignes n° 1 et n° 2	ligne n° 3	lignes n° 4 et n° 5
Vitesse (cm/j)	7,72	5,12	3,16

Tableau n° 6

- Un autre facteur explicatif des variations des niveaux piézométriques est le drainage vers les horizons sous-jacentes (nappe profonde). En effet l'évolution du niveau piézométrique du puits Gourga (figure n° 6) révèle que la remontée du niveau de la nappe est effective à partir du mois de Juillet, maximale au mois de Novembre et ne redescend qu'en Décembre.

La phase ascendante au niveau du puits Gourga commence au mois de Juillet et Août. Pendant cette période on a atteint les niveaux piézométriques maximaux dans les autres points de relevés piézométriques (les 5 lignes piézométriques). Les niveaux piézométriques maximaux sont observés aux mois d'Octobre et Novembre tandis que pendant ce temps on assiste à une descente du niveau au droit des 5 lignes piézométriques. Ces observations nous permettent de constater que les fluctuations de la nappe au niveau du puits Gourga sont inverses de celles observées au niveau des piézomètres et puits de faible profondeur. Cette analyse nous permet d'affirmer que la nappe profonde est alimentée par percolation de la nappe phréatique.

Du point de vue application pratique de l'étude de l'évolution des niveaux piézométriques le tableau ci-dessous nous donne les profondeurs auxquelles on peut capter la nappe par des ouvrages traditionnels (puits) pour les besoins d'irrigation d'appoint pendant la saison sèche. Ces profondeurs sont valables pour les zones d'influence de chaque piézomètre.

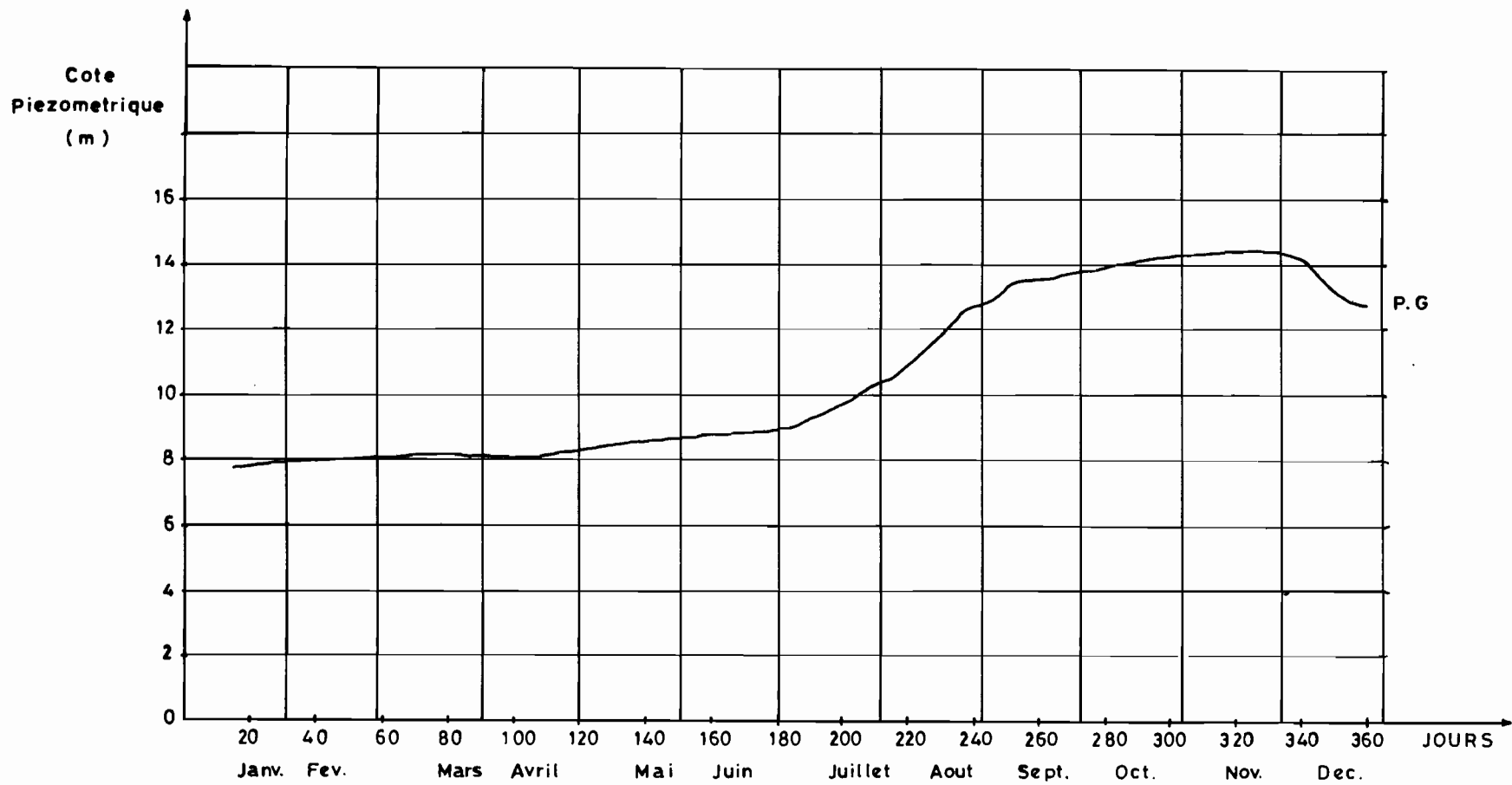


Figure N°6 Relevés piézométrique du puits de GOURGA (1990)

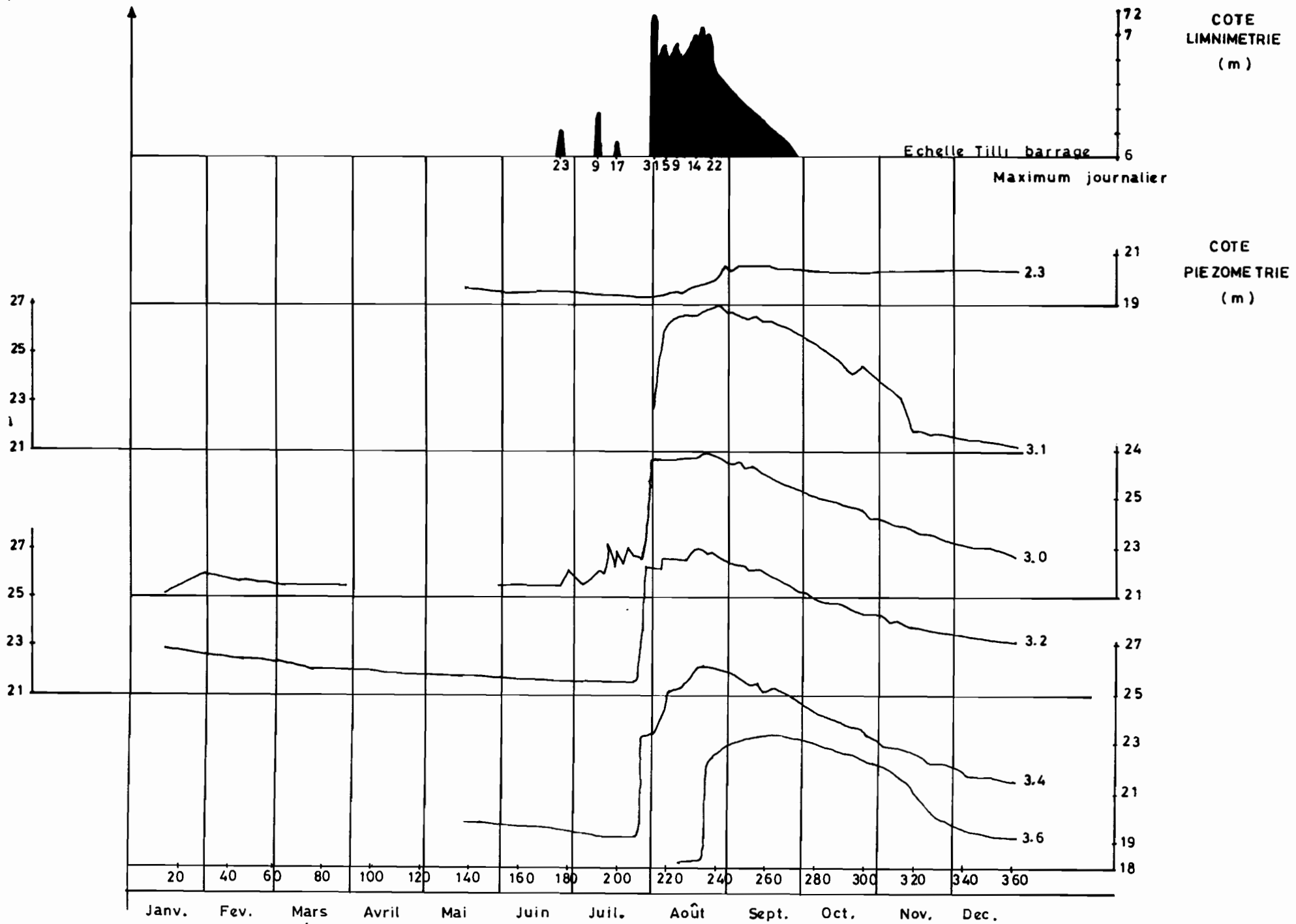


Figure N° 7 Relevés piézométriques de la ligne N° 3 à GOURGA (année 1989)

5.0	5.1	5.2	T8	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	2.0	2.1	1.0	Piézo
8,14	9,01	9,18	9,59	4,34	4,67	5,14	8,36	8,2	5,492	6,8	5,32	7,77	8,08	9,658	5,432	7,248	6,273	P(m)

Tableau n° 7

Au niveau de chaque ligne les profondeurs auxquelles il faut atteindre pour capter la nappe sont faibles dans l'axe du thalweg (piézomètre 4.0, 3.0, 2.0, 1.0 et 5.0) et relativement plus importantes au niveau des rives.

ligne n° 5		ligne n° 4		ligne n° 3		lignes n° 2 et n° 1	
axe	marge	axe	marge	axe	marge	axe	marge
8 m	10 m	4 m	9 m	5 m	10 m	5 m	8 m

Tableau n° 8

II.4 Etude de l'aquifère

II.4.1 Analyse morphologique de la surface piézométrique

Deux cartes piézométriques ont été établies pour l'année 1990 (fig. n° 9 et 10).

- la première à la recharge maximale,
- la seconde à l'étiage.

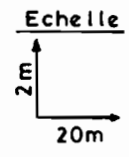
Ces cartes ont été établies exactement comme les cartes de courbes de niveau dont l'équidistance a été fixée à 1,00 m compte tenu de la faible densité des points de mesure et de la recherche de la lisibilité dans certaines zones à fort gradient hydraulique. L'obtention de courbes quasi-régulières procède du lissage. Dans les zones où les informations sont insuffisantes les courbes sont représentées en tirets. L'aquifère a une forme allongée. Il s'étend le long de la rivière et présente une particularité qui se traduit par un élargissement brusque au droit de la retenue. Ceci est la conséquence de l'augmentation de la surface d'infiltration dans la retenue.

Les formes similaires de la nappe à la recharge maximale et à l'étiage sont remarquables. Durant l'hivernage, la surface piézométrique est à faible profondeur et affleure au niveau du sol en certains points notamment dans l'axe du lit du marigot. La surface piézométrique présente un dôme centré dans l'axe du thalweg.

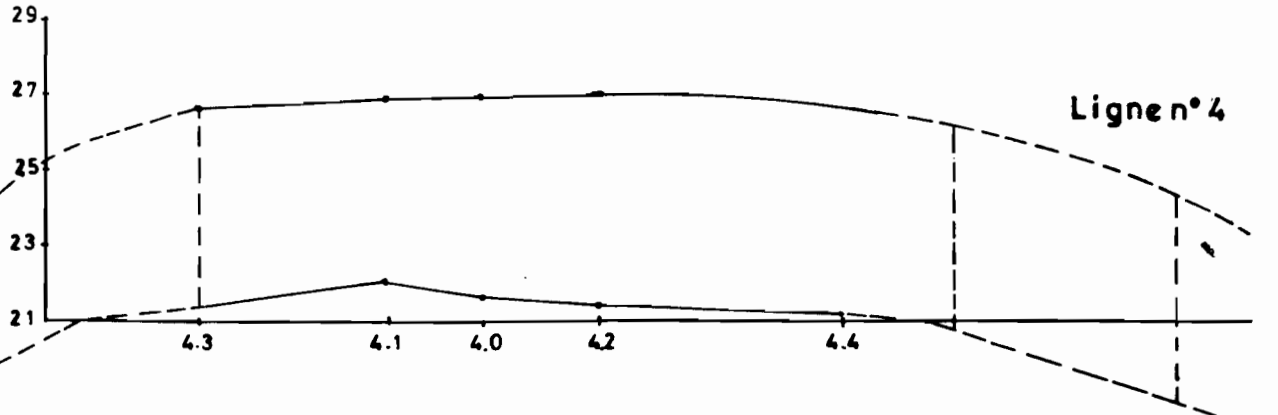
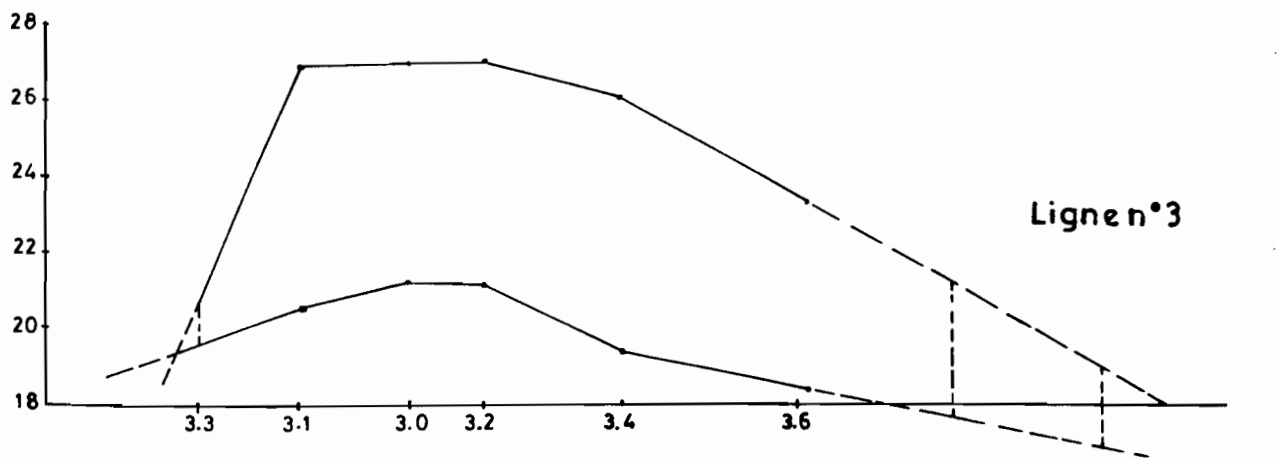
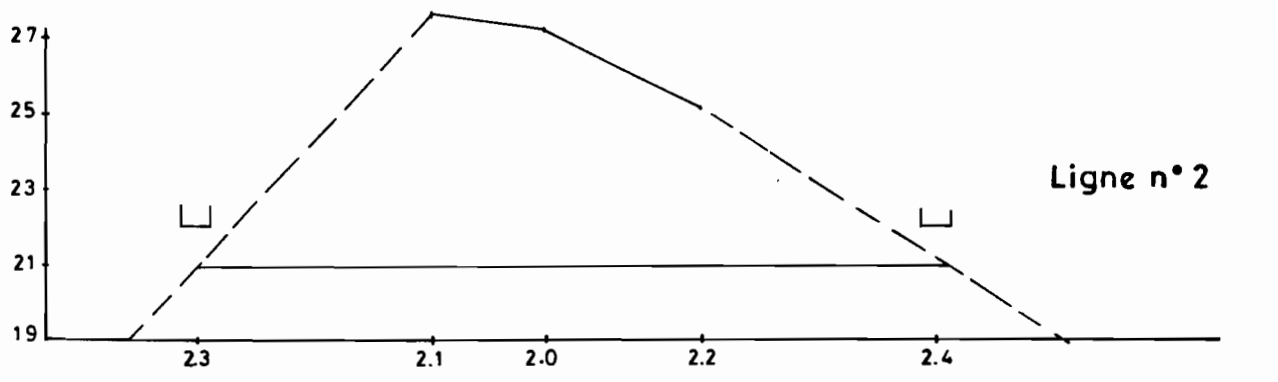
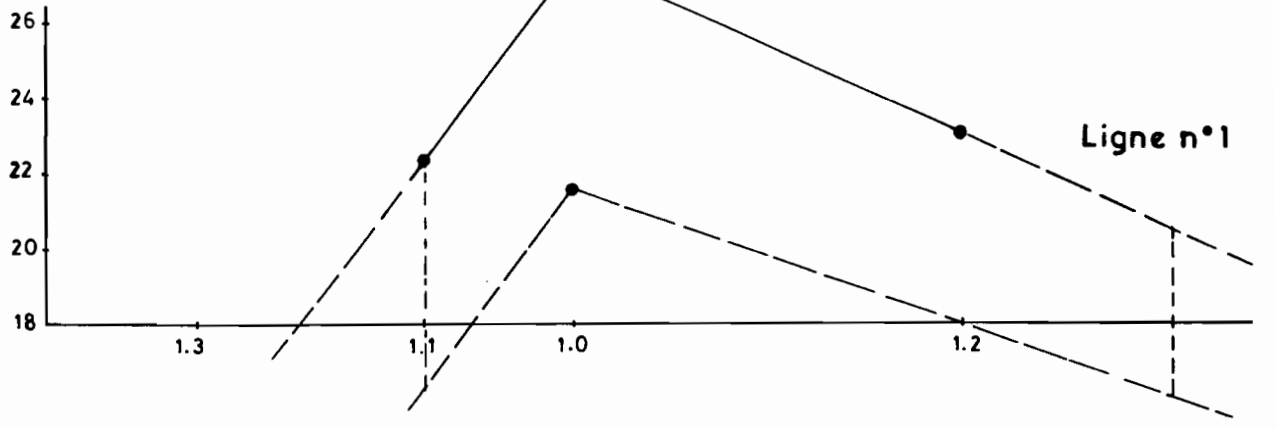
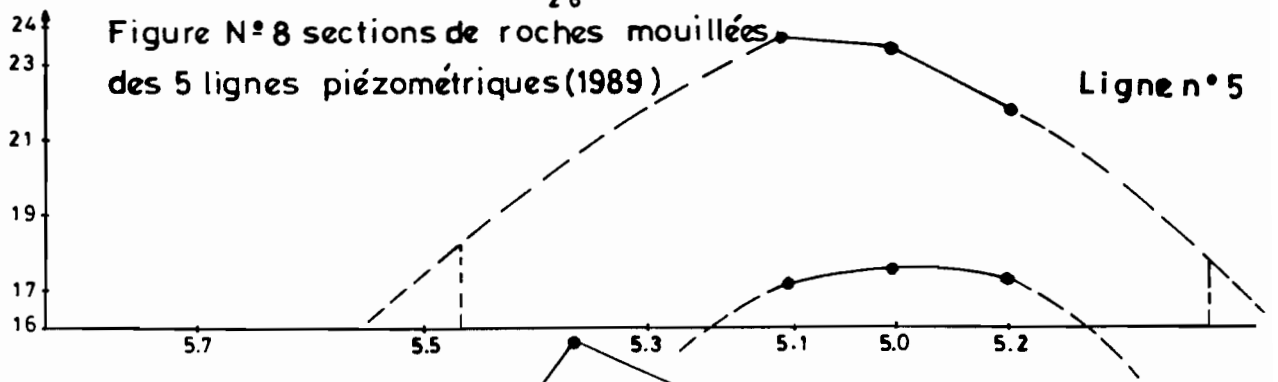
Ce dôme est la conséquence d'une alimentation directe de la nappe superficielle par les eaux de remplissage du thalweg. On observe dans les autres secteurs du bas-fond un dôme allongé dans l'axe du thalweg ; c'est dire donc que l'infiltration se fait préférentiellement à partir des zones inondées du bas-fond.

Le dôme piézométrique est large au niveau de la retenue contrairement à la zone située au niveau de la digue filtrante (ligne n° 1 et n° 2). A partir de ce dôme un écoulement se produit vers l'aval du barrage. L'examen de la disposition des lignes de courant montre que l'écoulement transversal dans l'aquifère se fait à partir de l'axe du thalweg (ligne de partage des eaux). L'analyse simultanée des cartes piézométriques et des coupes schématiques des sections comprises entre les hautes eaux et les basses eaux (fig. n° 8) de la nappe superficielle révèle une diffusion préférentielle de l'eau vers la rive droite en direction du quartier Tilly. Les niveaux piézométriques connaissent une chute brutale en rive gauche notamment au niveau de la ligne n° 3.

Figure N° 8 sections de roches mouillées
des 5 lignes piézométriques (1989)



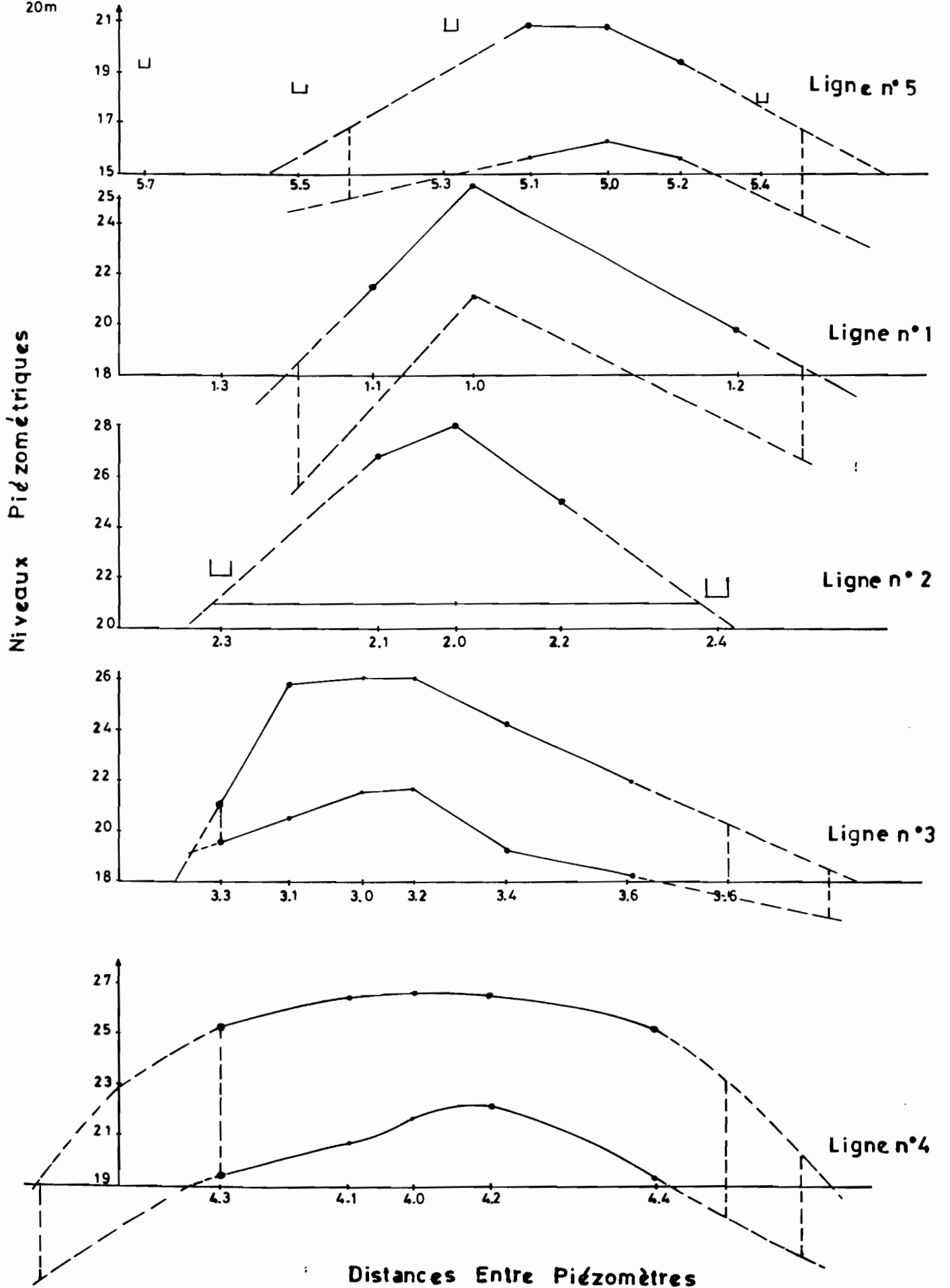
Niveaux Piézométriques



Distances Entre Piézomètres

Figure N° 8 Sections de roches mouillées des 5 lignes piézométriques (1990)

Echelle



A l'exception de la ligne n° 4 on note une manifeste dissymétrie au niveau des coupes de sections des différentes lignes piézométriques. La rive droite serait favorable à la circulation des eaux souterraines (roches perméables). La rive gauche constituerait un obstacle à la circulation latérale des eaux souterraines (roches très peu perméables). L'analyse conjointe de la géologie du site et de la carte piézométrique permet d'expliquer cette différence.

En effet la géologie du site révèle qu'au-dessus de la couche d'argile latéritique où est logée la nappe phréatique se trouve la cuirasse qui est une couche géologique plus perméable que la couche sous-jacente. En rive droite de la rivière AOTO la cuirasse n'affleure pas en surface et se trouve à une profondeur de 3 à 5 m environ. La cuirasse est noyée au droit de la ligne piézométrique n° 4. Nous assistons par conséquent à une propagation de l'eau en rive droite suivant l'étendue de la cuirasse. En rive gauche la cuirasse est noyée au niveau de la ligne n° 4. L'absence des puits et des piézomètres à gauche du piézomètre 4.3 n'a pas permis une extrapolation des courbes piézométriques en rive gauche au droit de la ligne n° 4.

La cuirasse affleure au niveau de la ligne n° 3 en rive gauche se traduisant par une couverture graveleuse de concrétions ferrugineuses. La cuirasse à ce niveau n'est pas noyée par la nappe phréatique. Par conséquent seule la couche sous-jacente (argile latéritique) de faible perméabilité est noyée par la nappe. La faible couverture en rive gauche (au niveau de la ligne n° 3) par les courbes piézométriques s'explique par ce positionnement de la cuirasse. Au niveau de la ligne n° 3, en rive droite la cuirasse est noyée au voisinage du thalweg mais remonte un peu plus loin. En somme, la circulation préférentielle en rive droite s'explique par le fait que la cuirasse est noyée dans ce compartiment. En rive gauche la cuirasse n'est pas noyée (ligne piézométrique n° 3). Par conséquent la nappe phréatique est logée dans la couche d'argile latéritique. La faible perméabilité de ce dernier explique la faible propagation de la nappe en rive gauche (au niveau de la ligne n° 3).

II.4.2 Caractéristique de l'écoulement

L'allure des courbes piézométriques et des courbes de fluctuation des niveaux aquifères montre une variabilité dans la distribution spatiale de la perméabilité.

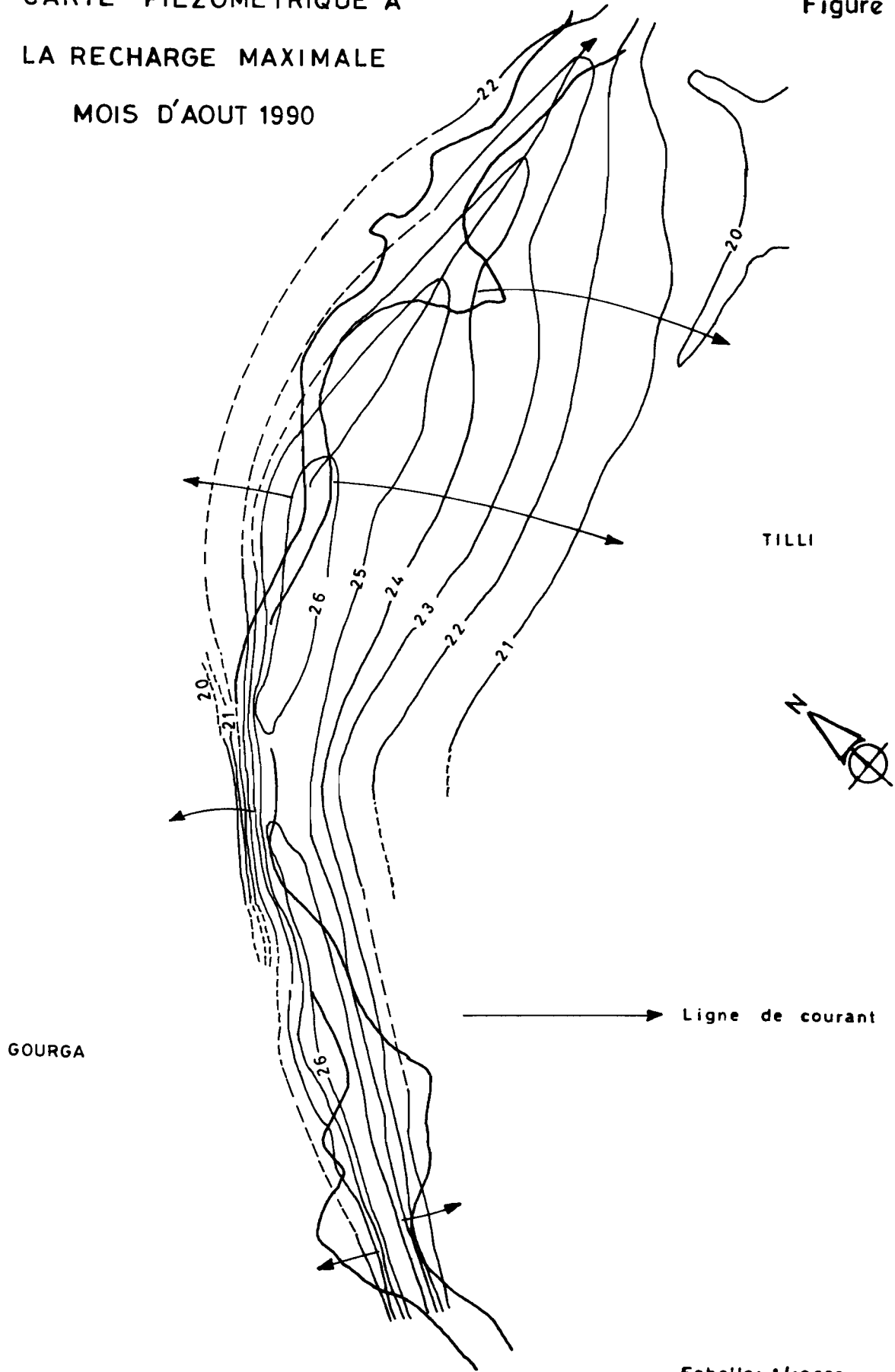
- Les courbes de fluctuations piézométriques révèlent une variabilité de perméabilité verticale. Au niveau de la retenue les dépôts limoneux et argileux font de cette zone un environnement peu perméable, alors qu'au niveau de la digue filtrante (ligne n° 1 et n° 2) on assiste à une prédominance des dépôts sableux. Cette dernière zone est relativement plus perméable et peut être considérée comme "une passoire" (y témoigne la chute des niveaux piézométriques immédiatement après les crues).

- L'observation de la carte piézométrique révèle que la perméabilité horizontale varie en fonction de la position de la cuirasse et si elle est noyée ou pas. La cuirasse affleure en surface et n'est pas noyée en rive gauche (au droit de la ligne n° 3), d'où un écoulement latéral relativement faible en direction du quartier Gourga. La cuirasse est par compte noyée en rive droite d'où l'écoulement préférentiel observé sur la carte piézométrique en direction du quartier Tili. Les lignes de courants (lignes de plus grande pente) sont déduites des niveaux piézométriques. Elles sont perpendiculaires aux courbes piézométriques.

La tendance générale qui se dégage concernant l'écoulement moyen est qu'il s'effectue latéralement par rapport au dôme piézométrique. Cette affirmation est attestée par l'allure elliptique des courbes piézométriques qui traduisent un gradient latéral beaucoup plus fort que le gradient longitudinal. En supposant que les terrains sont isotropes on peut alors penser que l'écoulement latéral est beaucoup plus important que l'écoulement longitudinal.

CARTE PIEZOMETRIQUE A
LA RECHARGE MAXIMALE
MOIS D'AOUT 1990

Figure N° 9



GOURGA

TILLI

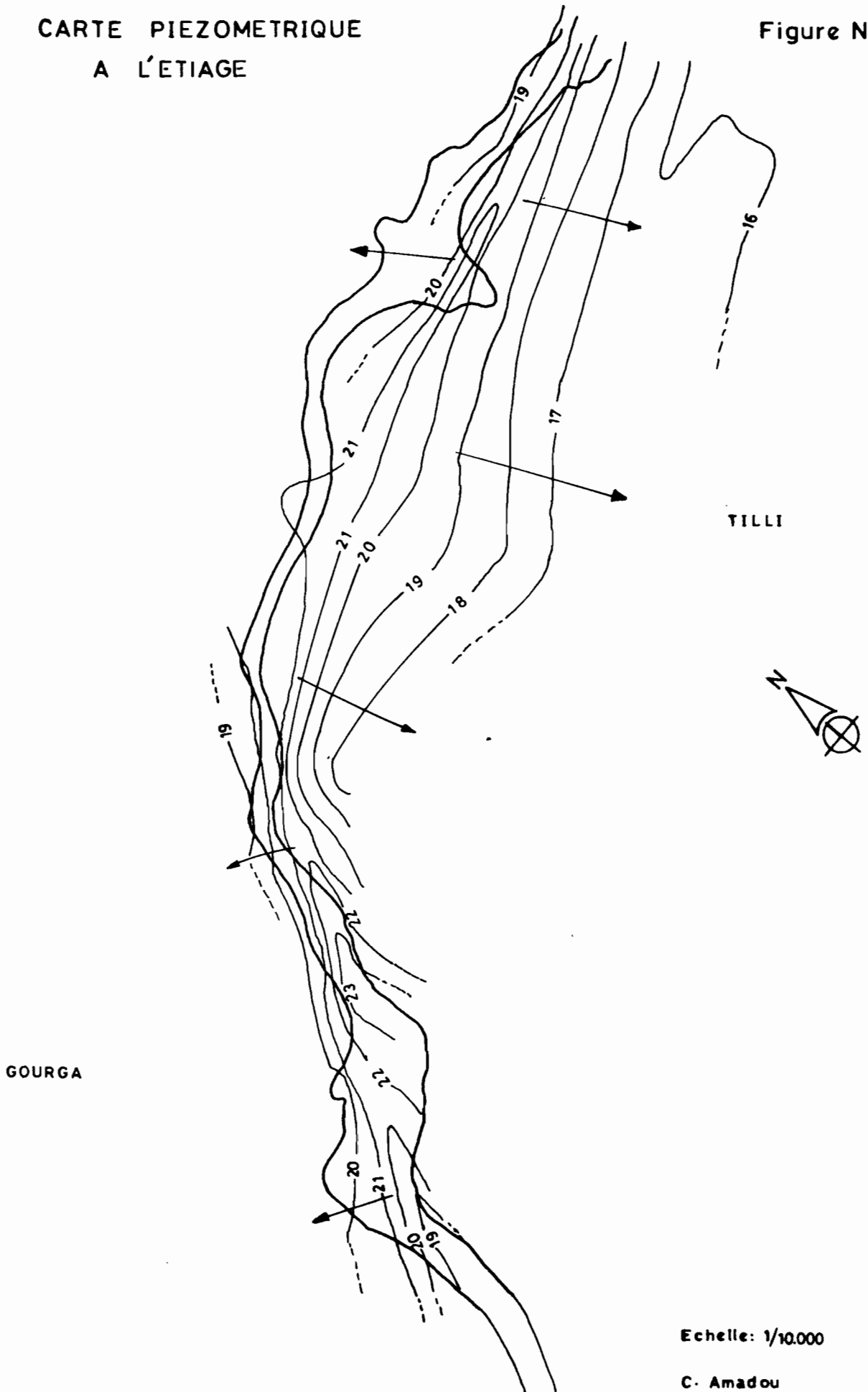
→ Ligne de courant

Echelle: 1/10.000

C. Amadou

CARTE PIEZOMETRIQUE
A L'ETIAGE

Figure N° 10



Echelle: 1/10.000

C. Amadou

Il se dessine ainsi une ligne de partage des eaux le long du dôme piézométrique délimitant deux (2) parties :

- la première longeant la rive droite
- la seconde longeant la rive gauche.

Les écoulements (latéraux et verticaux) sont concomittants avec l'écoulement longitudinal s'effectuant dans le sens de celui de la rivière. L'écoulement en aval du barrage s'explique par une suralimentation au niveau de la retenue, constituant un dôme d'où l'écoulement.

Gradients hydrauliques -

* Loi de Darcy

La loi de circulation de l'eau dans le sol établie pour un écoulement unidimensionnel dans un milieu homogène, isotrope et saturé :

$$q = -K \frac{\partial H}{\partial x}$$

\vec{q} = la densité de flux (volume d'eau écoulé par unité de surface et par unité de temps).

K = coefficient de proportionnalité (dépend à la fois de la nature du milieu poreux et du fluide).

H = charge hydraulique. $\frac{\partial H}{\partial x}$ gradient hydraulique

Le gradient hydraulique représente la perte de charge par unité de longueur dans la direction de l'écoulement. Il est aussi assimilable à la pente moyenne de la surface piézométrique. Les ordres de grandeur obtenus pour chaque principal axe d'écoulement sont :

- écoulement latéral
 - * rive gauche : 7,5 %
 - * rive droite : 5,0 %
- écoulement longitudinal : 3,8 %.
- écoulement vertical : 100 %.

II.4.3 Caractéristiques des réservoirs (Estimation de la tranche annuelle résaturée du réservoir superficiel)

Deux zones distinctes ont été déterminées pour le calcul de la tranche annuelle résaturée.

- Une zone influencée par le barrage (ligne n° 3, n° 4, n° 5)
- Une zone non influencée par le barrage (ligne n° 1 et n° 2 sous influence de la digue filtrante).

La carte piézométrique à la recharge maximale a été quadrillée en carreaux de 1 cm de côte soit 100 m sur le terrain. Dans la zone influencée par le barrage la réserve régulatrice a été calculée en estimant la hauteur de terrain monillé à partir des cartes piézométriques à l'étiage et à la recharge maximale. En dénombrant le nombre de carreaux dans la zone d'influence du barrage on déduit la tranche régulatrice dans la zone. Dans la zone non influencée par le barrage la tranche régulatrice a été calculée par la même méthode.

- Détermination de la porosité efficace -

Dans le but d'obtenir la valeur de la porosité un essai de pompage a été effectué en rive gauche au niveau de la ligne n° 4 (puits 4.3). Le dépouillement de cet essai nous a donné une transmissivité $T = 1,8 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$. Elle caractérise la fonction conduite de l'aquifère. Nous allons déterminer la porosité efficace (m_e) par la méthode de diffusivité de Rorabaugh en régime d'équilibre (période de tarissement). Dans cette méthode trois piézomètres ou puits alignés sur une même ligne de courant est nécessaire.

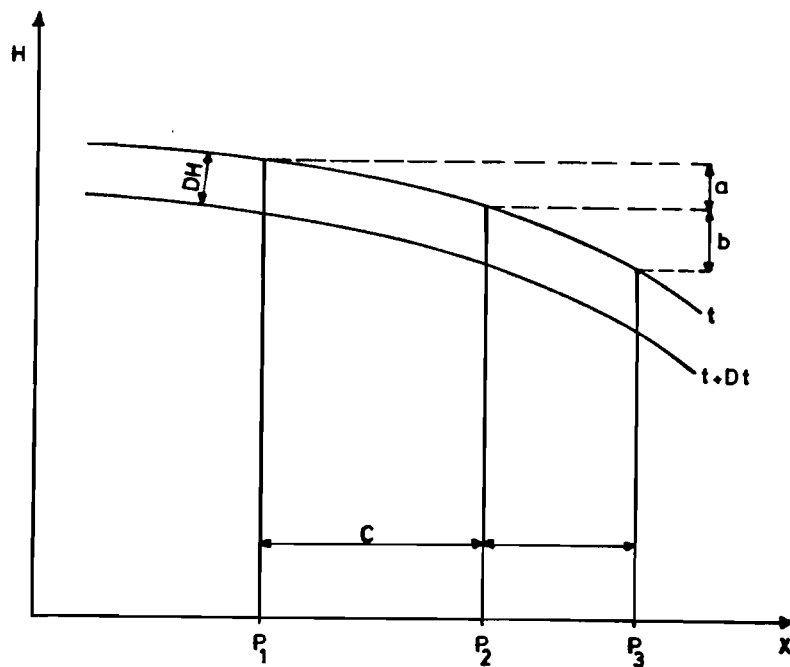


Figure n° 11

Si W est la recharge unitaire (en m^3/s par m^2) on aura pour une largeur unité et une longueur x

$$W \cdot x = T \cdot dy/dx \quad \text{d'où } dy/dx = (w/T) \cdot x$$

$$= \frac{W}{T} \cdot x$$

en intégrant, on a $y/x = (w \cdot x)/2 \cdot T$

$$\text{d'où } T \cdot y/x = w \cdot x/2$$

Les expressions des gradients hydrauliques entre les piézomètres sont :

$$\text{entre P1 et P2 } i_1 = a/c$$

$$\text{entre P2 et P3 } i_2 = b/d \quad \text{avec } x = c + d$$

$$\text{on a donc } T \cdot b/d = T \cdot a/c = (H/t) \cdot S(c + d) \cdot 1/2$$

$$\text{car } w = \frac{\Delta H}{\Delta t} \cdot S$$

H = variation moyenne entre nappe haute et nappe basse.

$$\text{donc } T/S = \frac{\Delta H}{\Delta t} \cdot \frac{c \cdot x \cdot d (c + d)}{2 (b \cdot x \cdot c - a \cdot x \cdot d)}$$

$$S = \frac{\Delta t}{\Delta H} \cdot \frac{2 (b \cdot x \cdot c - a \cdot x \cdot d)}{c \cdot x \cdot d (c + d)} \cdot T$$

$$S = 1,75 \%$$

La valeur de S est une valeur moyenne prise sur 3 lignes de courant. Dans une nappe libre le coefficient d'emmagasinement est sensiblement égal à la porosité efficace.

$$\text{donc } S \approx me = 1,75 \%$$

- La tranche de volume d'eau entre les basses eaux et les hautes eaux (w_e) est :

* zone sous influence du barrage -

$$V = 3.640.000 \text{ m}^3 \text{ de roches mouillées} \quad (\text{sur une distance de } 1,5 \text{ km})$$

$$w_e = 63.700 \text{ m}^3$$

* zone non influencée par le barrage

$$V = 630.000 \text{ m}^3 \text{ de roches mouillées} \quad (\text{sur une distance de } 800 \text{ m})$$

$$w_e = 11.025 \text{ m}^3$$

$$w_e T = 74.725 \text{ m}^3.$$

Il est nécessaire de préciser que ce volume d'eau gravitaire ne représente que la tranche entre la nappe basse (étiage) et la nappe haute (recharge maximale). La réserve d'eau gravitaire de la nappe phréatique est supérieure à 74.725 m^3 . $w_e T > 74.725 \text{ m}^3$. Ce volume d'eau estimé est soumis aux migrations latérales (rive gauche et rive droite), au déplacement longitudinal (vers l'aval du barrage) et à la percolation verticale.

Le gradient hydraulique vertical ($j = 1$) est 13 fois plus important que celui de la rive gauche, 20 fois que celui de la rive droite et 266 fois plus important que le gradient longitudinal. Cette observation nous permet de dire que la percolation verticale vers la nappe profonde est le phénomène prépondérant dans ce type de bas-fond. Cette observation nous permet d'aboutir également à la conclusion suivante :

La construction des digues filtrantes dans les régions granitiques du sahel ne permet pas l'accroissement du volume d'eau infiltré dans le sol ($w_e = 11025 \text{ m}^3$ sur une distance de 800 m).

La construction des retenues d'eau s'avère nécessaire pour accroître les réserves d'eau souterraine ($w_e = 63.700 \text{ m}^3$ sur une distance de 1 500 m) soit environ 6 fois w_e dans la zone sous influence de la digue filtrante.

Chapitre III

Chimie et utilisation de l'eau

Les eaux naturelles sont des eaux issues d'une précipitation, Elles ruissellent et s'infiltrent. Il y a finalement deux catégories d'eau naturelle : les eaux de surface et les eaux souterraines.

Nous nous intéresserons aux eaux souterraines en interprétant leurs analyses chimiques et micro-biologiques. La qualité des eaux souterraines est fonction de l'environnement qu'elle a traversé (atmosphère, surface sol et le sous-sol) et de son environnement immédiat. Les cations et les anions proviennent de la dissociation des sels dissous. Nous traiterons ensuite de l'utilisation de l'eau et les problèmes de l'accessibilité à la ressource en eau.

Les analyses ont été faites sur cinq (5) points d'eau. A cet effet, préférence a été donnée aux points d'eau intarissables et les plus exploités dans la région à savoir :

- le puits de Harouna Tido (4)
- le puits de Dabéré (Banfora) (8)
- le forage F1 à silmimossé
- le puits ORSTOM en rive gauche (puits 4.3) (9)
- le forage F2 situé à Gourga.

Nous avons effectué deux campagnes de prélèvements et d'analyses des échantillons d'eau.

- Une première campagne effectuée le 14/07/91 au début de la saison des pluies.
- La seconde campagne a été effectuée le 06/10/91 en fin de saison des pluies.

Les analyses ont été effectuées à l'EIER. Les analyses chimiques ont porté sur le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le fer total (FeT), l'ammonium (NH_4^+), les bicarbonates (HCO_3^-), les carbonates (CO_3^{2-}), le chlore (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), les phosphates (PO_4^{3-}), le fluor (F^-), la silice (SiO_2) le PH et la conductivité. Ces analyses chimiques ont été effectuées sur le forage F2 et le puits de Dabéré.

Tous les points d'eau sont concernés par l'analyse micro-biologique. Au niveau de trois (3) points d'eau à savoir le puits ORSTOM, le forage F1 et le puits Harouna Tido nous avons attesté la présence des éléments chimiques de pollution azotés (NO_2^- , NO_3^-) et l'ion ammonium (NH_4^+).

Points d'eau	Date prélèvement	Analyse microbiologique			Paramètres physico-chimiques (mg/l)																			
		coliformes totaux 0/100 ml	coliformes fécaux 0/100 ml	streptoco- ques fécaux 0/100 ml	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	FeT mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	TA o f	TAC o f	PH (H ⁺)	dT o f	Tur NTU
Puits Dabéré	14/07/91	1 520	1 100	300	3,2	1,01	9,47	2,22	0,39	0,62	41,48	0	9,48	8,0	11,44	0,23	0,41	1,09	0,53	0	3,4	6,93	1,22	-
	06/10/91	41	24	146	4,8	2,86	5,90	4,76	0,23	1,62	51,24	0	6,40	8,0	8,50	0,03	0,38	0	-	0	4,2	6,35	8,76	117
Forage F2	14/07/91	2	2	0	16,68	10,0	5,81	1,12	0,02	0	103,82	0	16,65	5,0	18,04	0	0,38	0,09	0,57	0	8,51	6,73	8,30	-
	06/10/91	48	34	78	18,04	5,68	8,86	6,19	0	0	76,86	0	12,21	7,0	16,02	0,016	0,50	0,64	-	0	6,30	6,26	6,87	0,28

Tableau n° 9 :

36

Points d'eau	Date prélèvement	Analyse micro-biologique			Paramètres physico-chimiques			
		coliformes totaux 0/100 ml	coliformes fécaux 0/100 ml	streptocoques fécaux 0/100 ml	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PH (H ⁺)
Puits ORSTOM	14/07/91	380	360	100	0,01	10,12	0	6,85
	06/10/91	36	25	115	0,53	13,64	0,03	-
Forage F1	14/07/91	258	4	0	0,66	22,44	0,40	6,67
	06/10/91	28	06	> 1 000	0,02	10,56	0,013	-
Puits Arouna Tido	14/07/91	2 980	2 360	1 660	0,70	20,24	0,20	7,25
	06/10/91	> 1 000	> 1 000	> 1 000	0,10	62,4	0,05	-

Tableau n° 10 :

III.1 Commentaire des données chimiques et bactériologiques

a) Le PH

L'observation des analyses effectuées sur l'ensemble des points d'eau révèle que le PH est inférieur à 7. C'est dire donc que les eaux sont acides dans la région de Bidi. Cette acidité manifeste de l'eau a pour conséquence son agressivité sur les matériaux qu'elle traverse ou qu'elle cotoye permanentement. Les PH enregistrés au niveau du forage F2 et du puits de Dabéré satisfont aux normes de l'O.M.S. ($6,5 < \text{PH} < 8,5$).

b) Conductivité

Les valeurs de conductivité obtenues sont les suivantes :

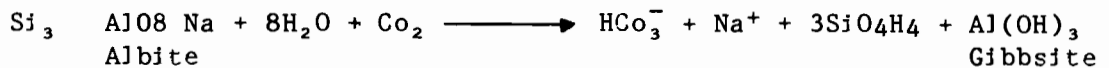
- 216 u/cm pour le puits de Harouna Tido
- 191 u/cm pour le forage F2
- 147 u/cm pour le puits ORSTOM
- 79u/cm pour le puits de Dabéré.

Les résultats obtenus montrent d'une manière générale que les eaux sont peu chargées.

c) Bilan ionique

Les éléments majeurs sont constitués essentiellement de cations et d'anions. Au niveau des cations on note une prédominance du calcium (Ca^{2+}) dans le forage F2 que dans le puits de Dabéré. De même que le calcium, la concentration en magnésium (Mg^{2+}) est plus importante dans le forage F2 comparativement au puits de Dabéré. La concentration en sodium (Na^+) est sensiblement la même au niveau de ces deux (2) points d'eau. On note dans l'ensemble une faible concentration en potassium. Cette concentration est légèrement plus élevée au niveau du forage F2 (6,19 mg/l). Les ions ammonium sont absentes dans le forage F2 et sont présentes dans le puits de Dabéré (0,62 mg/l à la date du 14/07/91 et 1,62 mg/l à la date du 06/10/91).

Au niveau des anions ; le puits de Dabéré et le forage F2 sont caractérisés par une absence totale du carbonate (CO_3^{2-}). La concentration par compte de bicarbonate (HCO_3^-) est assez importante. Cette absence des carbonates découle de certaines conditions dont le PH (PH inférieur à 8,3). Il y a eu donc évolution des carbonates en bicarbonates ($\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$). Les bicarbonates proviennent des échanges avec les plantes et c'est ce qui fait dire que les infiltrations se font quand la couverture herbeuse est importante (Juillet, Août, Septembre). Les bicarbonates peuvent provenir aussi de l'altération de feldspaths tel que l'Albite.



La concentration des bicarbonates est plus élevée au niveau du forage F2 (103,82 mg/l) et relativement plus faible au niveau du puits de Dabéré (41,48 mg/l). Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des composés de l'azote. Ils sont nocifs. Leur teneur maximale dans l'eau potable est de 44 mg/l. Cette concentration est dépassée au niveau du puits Harouna Tido où la concentration en nitrates est de 62,4 mg/l. Sur les autres points d'eau elle varie entre 10 et 22 mg/l. La concentration des nitrites est élevée au niveau du forage F1 (0,4 mg/l), légèrement moins au niveau du puits de Dabéré (0,23 mg/l).

La situation du puits de Harouna Tido (dans un champ de ml) est sans doute sa source de pollution par l'utilisation des engrais. C'est un puits ouvert, busé par des troncs d'arbres. La présence des nitrates (quelque fois à forte dose) est indicatrice de pollution provenant surtout des organismes végétaux ou animaux. Les nitrates et les nitrites provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang et production du méthamoglobine toxique (méthaémoglobinaemie des nourrissons). Ils peuvent provoquer l'hypertension et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes. Non présent dans les formations géologiques ou très rares, les nitrates sont essentiellement d'origine agricole.

Les sulfates et les chlorures sont naturellement présents dans l'eau souterraine (dissolution des sels minéraux des roches réservoirs). Les chlorures sont introduits par l'eau des précipitations, les engrais chimiques. La teneur maximum des chlorures dans l'eau potable est de 250 mg/l. Les concentrations en chlore dans le puits de Dabéré sont :

- 9,48 mg/l pour la campagne du 14/07/91
- 6,40 mg/l pour la campagne du 06/10/91.

Ces concentrations sont faibles par rapport à celles du forage F2 qui sont les suivantes :

- 16,65 mg/l pour la campagne du 14/07/91
- 12,21 mg/l pour la campagne du 06/10/91.

Au niveau des sulfates on note une concentration légèrement supérieure au niveau du puits de Dabéré (8 mg/l) et relativement faible dans le forage F2 (5 mg/l). La concentration du fluor (F^-) est faible. Elle est assez appréciable à la campagne du 14/07/91 au niveau du puits de Dabéré (1,09 mg/l).

L'observation d'ensemble sur les résultats des analyses révèlent :

- les cations dominant sont représentés par les ions calcium au niveau du forage F2 et par les ions sodium dans le puits de Dabéré.
- les anions dominants sont représentés par les bicarbonates au niveau du forage et au niveau des puits.
- L'évolution des éléments en fonction de la profondeur de la nappe révèle que la nappe profonde est fortement minéralisée que la nappe phréatique.
- * 92,145 mg/l pour le puits de Dabéré.
- * 165,09 mg/l pour le forage F2.

Les eaux sont chargées dans le forage parce que l'eau reste longtemps en contact avec la roche réservoir ce qui développe des réactions de dissolution d'autant plus que les eaux sont agressives.

- L'évolution des éléments dans le temps révèle que les puits sont chargés pendant la saison des pluies que durant la saison sèche. Le calcium en fin de saison des pluies est plus important que le magnésium (Mg^{2+}). Il en est de même en début de saison.

- L'eau du forage F2 est de type bicarbonaté calcique et celle du puits de Dabéré est bicarbonaté sodique.

d) Bactériologie

Les résultats des analyses micro-biologiques montrent que d'une manière générale tous les points d'eau de prélèvement contiennent des coliformes fécaux ; des coliformes totaux et des streptocoques fécaux. Nous déduisons de ce constat que tous les cinq (5) points d'eaux prélevés sont pollués. A travers les deux (2)

campagnes d'analyses on note que les forages F1 et F2 sont moins souillés que les puits à grands diamètres (puits Dabéré, puits Harouna Tido et puits 4.3).

Cette différence dans la pollution s'explique par le fait que les puits à grands diamètres sont ouverts et par conséquent sont voués à la pollution extérieure (pollution par les vents, pollution par les puisettes sales). La présence des coliformes fécaux indiquent que la pollution est récente. Les colonies de coliformes sont très nombreuses lors de la première campagne d'analyse (14/07/91) et relativement plus faible à la seconde campagne (06/10/91). La pollution des eaux de ces différents points d'eau serait dû à une alimentation de la nappe par des eaux usées à partir de la surface. Il a été remarqué autour du puits de Dabéré des excréments d'animaux déposés lorsque ces derniers viennent s'abreuver en eau. Il en est de même pour le puits de Harouna Tido qui est situé dans un champ. Les renseignements que nous avons obtenus sur place à Bidi révèlent qu'il existerait des fosses de compostage du fumier non loin du puits de Dabéré, de Harouna Tido et du forage F2. Cet état de fait expliquerait la pollution des nappes souterraines de la région de Bidi.

e) Conclusion

L'ensemble des analyses effectuées sur les cinq (5) points d'eau nous amènent aux conclusions suivantes :

- L'analyse chimique révèle que dans la région de Bidi les eaux sont peu chargées et ne posent pas de gros problèmes de santé à part le forage F2 et le puits de Harouna Tido.

- L'analyse bactériologique révèle que les eaux sont polluées. Cette pollution est due au fait que les puits sont ouverts et par conséquent voués à la pollution extérieure. L'observation bactériologique sur les forages est anormale et serait dû au retour des eaux usées dans la nappe.

Proposition : Nous proposons de suivre l'évolution de la composition chimique et bactériologique de l'eau pendant la saison sèche. De ces résultats si les coliformes ne disparaissent pas (ou sont très peu) à l'étiage maximale (puisque'il y a prélèvement) cela voudra dire que la nappe souterraine est polluée. Dans le cas contraire l'hypothèse sur un retour des eaux usées dans la nappe souterraine pendant les épisodes pluvieux serait plausible.

III.2 Utilisation de l'eau et problèmes rencontrés

Le village de Bidi est bâti le long d'un bas-fond dont la nappe phréatique satisfaisait il y a seulement quelques années les besoins en eau en saison sèche ; depuis une décennie, plusieurs quartiers de Bidi rencontrent de graves problèmes d'eau dès le milieu de la saison sèche, suite à l'épuisement de cette réserve, ce qui est à relier au déficit pluviométrique qui persiste depuis 20 ans dans la région, ainsi qu'à une consommation d'eau accrue (jardins irrigués, vergers, animaux).

Une partie excentrée du village (quartiers de Gourga, Tilli, Torobé) est particulièrement concernée par cet épuisement. Aux problèmes habituels que pose l'absence d'eau pour usage domestique s'ajoute un autre : les puits intarissables où l'on s'approvisionne à partir de Mars jusqu'en Juillet sont situés à 3 kms environ. Il y a aussi l'impossibilité de pratiquer dans de bonnes conditions certaines activités agraires nécessitant de grandes quantités d'eau accessibles à faible coût, pendant la saison sèche : jardin maraîchers et pépinières, abreuvement du bétail de trait d'embouche et pastoral, fabrication de banco, arrosage du compost.

Le groupement des paysans des quartiers de Gourga et Tilli, dès sa création, a demandé aux différentes organismes qui interviennent dans la région leur aide technique pour donner une solution à cette pénurie. L'équipe de l'ORSTOM et les animateurs ORD et "six S", compte tenu de l'intérêt qu'ils portent au problème de la maîtrise de l'eau, se sont proposés pour participer au projet sur les plans technique et organisationnel.

Le sondage que nous avons eu à effectuer sur place à Bidi révèle que la consommation de l'eau pose certains problèmes. Unaniment les habitants connaissent des difficultés urinaires notamment en saison sèche et chaude niveau des forages F1, F2 et du puits de Dabéré.

Dans la région de Bidi les difficultés urinaires dont souffrent les habitants sont dues à la concentration des nitrates dans les différents points d'eaux. Les nitrites et les nitrates donnent des nitroamines qui peuvent se fixer sur les sites de l'hémoglobine du sang pour empêcher les échanges gazeux et on peut mourir par asphyxie. Ceci est surtout valable pour les femmes enceintes et les nourrissons. La présence de nitrates dans les eaux souterraines sont signe de pollution.

Malgré les efforts déjà effectués, le problème d'eau reste une préoccupation majeure pour les habitants de la région de Bidi. Les villageois (3 200 personnes) utilisent les puisards du bas-fond pour l'abreuvement de son bétail, dès que les dernières mares s'assèchent et ont besoin d'un accroissement de la durée de la nappe d'eau. De même que les autres quartiers concernés par la pénurie d'eau, les habitants du campement de Torobé veulent réaliser du maraîchage au niveau de l'aménagement. Le village dans son ensemble est prêt à participer à toute action collective concernant l'eau.

III.2.1 Nature des besoins en eau et utilisation du bas-fond

Le bas-fond peut permettre de résoudre le problème d'approvisionnement en eau, soit par des forages profonds dans les diaclases du granite, soit par une réhabilitation artificielle de la nappe phréatique, soit par création d'un réservoir dans le lit majeur d'un cours d'eau temporaire. Ce lit majeur est plus ou moins resserré : lorsqu'il est suffisamment large, la vitesse de l'eau des crues est faible, permettant des cultures de sorgho ou

du riz en hivernage, et des jardins en saison sèche, les clôtures ne pouvant être emportées par le flot. Dans le cas contraire, seuls des arbres utiles sont plantés dans le lit : manguiers, nérés, baobabs, goyaviers ; les jardins maraîchiers sont alors réalisés en bordure du bas-fond, à condition que la nappe phréatique permette l'arrosage jusqu'au mois de mars-avril (cas du quartier Monisaka, et des jardins en bordure du barrage d'Améné). Mais en amont de Dabéré la nappe est très fugace et ne permettrait un arrosage que pendant deux mois, ce qui est totalement insuffisant pour obtenir une production maraîchère de saison sèche. Il y a donc pas de jardins en amont du quartier Dabéré faute d'eau.

Lorsqu'ils sont bien menés, ces jardins sont d'un important rapport : la culture de Kumba (aubergine provenant du pays Dogon) a été introduite par les commerçants du village il y a une trentaine d'années. Cette culture est parfaitement maîtrisée et dans les conjonctures 1984 et 1985, son écoulement n'a pas rencontré d'obstacles. Ce produit a été l'objet d'une demande généralisée, même pendant la sécheresse 1985. Certains jardins familiaux des quartiers disposant de terrains et d'une nappe phréatique permanente, accessible par puisard traditionnel ont fourni des revenus pouvant dépasser 150 000 CFA pour un travail de deux actifs ; ce revenu concurrence dans une large mesure les migrations de bras valides vers la Côte d'Ivoire, dont le rapport moins important fait perdre au village une grande partie de ses ressources humaines de saison sèche, saison favorable à l'aménagement et à la formation. Suivant la température les besoins en eau varient entre 5 à 10 l par pied d'aubergine et par jour ; pour une planche moyenne de 200 pieds, il faut tirer 1 à 2 m³ chaque jour, le plus près possible de la planche, et à certaines heures : ces contraintes excluent l'emploi de pompes manuelles sur forages profond (10l/mj-minute).

Une autre activité de saison sèche est l'élevage, pastoral ou d'embouche. Le PPRA organise l'embouche d'ovins à partir de résidus de récolte et de sous produits industriels. Les résultats de 1985 semblent prometteurs : là encore, le problème d'eau facilement disponible oppose un blocage sachant qu'un petit ruminant demande 8l/j et un ovin 20 à 30l/jour. Une exploitation Mossi comportant une paire de boeufs de trait, 1 âne, 10 ovins d'embouche, 20 petits ruminants consomment environ 300l/j pour l'abreuvement de son bétail (en une ou deux fois). Ici encore les forages manuels semblent à première approximation impropres à la satisfaction des besoins des troupeaux à certaines heures de la journée. Il faut en outre prendre en compte l'abreuvement des troupeaux pastoraux du campement peul Torobé qui est plus proche du bas-fond de Gourga que des autres points d'eau (environ 150 bovins, 300 petits ruminants).

Un effort remarquable a été fait dans ce sens avec la construction du barrage de Tilli. Cette retenue bien qu'ayant besoin de travaux supplémentaires à savoir - reprofilage de la digue et réhaussement de la crête, - étanchéification de la digue du barrage joue un rôle important au niveau de la recharge des eaux souterraines du bas-fond. Dans la région de Bidi, non loin de Nayiri se situe une mare très importante pour la vie pastorale de la région. Il s'agit de la mare de Wéogo-Na-Kango. Cette mare reçoit des animaux venant de tous les horizons avoisinant le quartier Nayiri pendant la saison pluvieuse et des horizons plus éloignés pendant la saison sèche. La capacité de la mare Wéogo-Na-Kango lui permet d'exister jusqu'au environ du mois de Mars.

Dans le quartier Dabéré situé près du marché existe trois (3) mares artificielles entourant le dit quartier. Ces points d'eau artificiels de dimensions appréciables contribuent efficacement à la survie du quartier. Les eaux contenues par ces mares sont sollicitées par les femmes pour laver le linge, la vaisselle, les céramiques etc... Ces trois mares sont surtout sollicitées pendant la saison sèche pour la fabrication du banco et la confection des briques.

Des réalisations semblables moins importantes (mares) se trouvent dissimulé dans la région. Nous estimons qu'une fois l'étanchéification réalisée, la solution serait amorcée pour les habitants de la région. L'amélioration du fumier par compostage, la réalisation de pépinières et la construction demandent aussi des quantités d'eau suffisamment accessibles pour qu'elles soient facilitées. Les besoins domestiques sont de 5 à 10 l par résident et par jour. Le forage construit par l'HER/FED est saturé par la demande domestique des deux (2) quartiers, mais leur fournit une eau de bonne qualité (débit max 10l/min). Pour ses activités agraires de saison sèche, une famille moyenne demande environ 1,5 m³ par jour (beaucoup plus en cas de construction).

III2.2 Point de vue de la population sur les besoins du système de production

De nombreuses discussions avec les habitants de la région de Bidi apportent le point de vue des intéressés. La vision que nous avons des besoins du système de production est en partie celle des paysans. Mais la disponibilité en eau, facteur ou condition de production, est en fait ressentie comme le facteur d'indépendance à obtenir avant toute chose. Les habitants trouvent que tout aménagement hydraulique à haut niveau technologique (type pompe, forage, puits, citernes etc...) repousse à leurs yeux une indépendance technologique vis-à-vis de l'eau et réduit leur chance d'obtenir un véritable confort dans ce domaine.

Selon eux le confort optimal est représenté par la pérennité, en saison chaude (Avril) d'une réserve souterraine accessible par des puisards traditionnels (jusqu'à 15 m de profondeur). Cet objectif est pertinent car :

- les fortes températures gênent le jardinage dès le mois d'Avril,
- les nappes d'eau sont fonctionnelles en Juin après passage des premières crues,
- l'eau de boisson est assurée par la pompe sur forage ou en cas de panne par les puits intarissables de Dabéré (3 kms), de Harouna Tido à Tilli et le puits ORSTOM en rive gauche de la rivière AOTO (ligne piézométrique n° 4).

La prolongation d'un débit suffisant de la nappe phréatique jusqu'en Avril est donc, clairement, l'objectif des paysans. C'est aussi le seul objectif pour lequel ils reconnaissent vouloir se mobiliser en masse, et pouvoir obtenir de l'aide d'autres villages. S'ils ont la possibilité d'intéresser un bailleur de fonds ou disposer d'une aide technique, la réhabilitation de la nappe phréatique est le premier problème soulevé, en priorité. Tout autre aménagement (valorisation agricole de l'eau, freinage du ruissellement sur les pentes) vient pour eux dans un deuxième temps.

De notre point de vue comme de celui des paysans, la réhabilitation de la nappe d'eau est donc l'alternative qui répondra le mieux :

- aux besoins
- au potentiel de mobilisation de la population..

Nous rappelons que de gros efforts ont été faits par les différents organismes intervenant à Bidi (ORSTOM, 6"S", FEER etc...) aboutissant surtout à la construction du barrage de Tilli dont la présence permet la réalimentation de la nappe du bas-fond. Des efforts supplémentaires demeurent nécessaires.

Conclusion et recommandations

L'étude de la réalimentation de la nappe du bas-fond de Gourga est essentiellement fondée sur des variations naturelles des nappes.

- L'observation des fluctuations piézométriques et de la coupe géologique du bas-fond révèle l'existence de deux nappes superposées : une nappe phréatique localisée dans la couche d'argile latéritique et au-dessus. Une deuxième nappe plus profonde localisée dans le socle fissuré.

- L'interprétation des fluctuations de la nappe montre une relation étroite entre les crues et l'alimentation de la nappe ; d'où la réalimentation exclusive de la nappe du bas-fond par inondation.

L'étanchéité de la digue reste insuffisante entraînant un écoulement à travers la digue. Il est nécessaire de réfectionner la digue du barrage autrement dit le barrage n'existera pas très longtemps. Le réhaussement de la digue n'est pas possible à Gourga vu la topographie du terrain ; la cote maximale de la digue étant atteinte.

- La digue filtrante permet d'étaler de façon éphémère les crues au-delà du lit mineur de la rivière, augmentant ainsi la surface d'infiltration. Par contre son impact sur la recharge de la nappe souterraine est négligeable.

On en déduit que pour la recharge des nappes dans les régions granitiques sahéliennes la construction des barrages est plus efficace que celle des digues filtrantes. La digue filtrante joue un rôle secondaire à savoir la rétention sédimentaire en amont du barrage dans le cas d'un véritable charriage par la rivière ce qui diminue la sédimentation dans la retenue. Pour des investigations futures il serait nécessaire d'ajouter des piézomètres en rive droite au niveau de la ligne piézométrique n° 4 pour appréhender l'écoulement de la nappe sur cette rive.

- Les analyses chimiques et bactériologiques effectuées à l'EIER montre que toutes les eaux prélevées sont polluées. Les eaux sont peu chargées. Il est souhaitable qu'une action sanitaire en vue de traiter les différents points d'eau de la région soit entreprise.

- La formation des cadres nationaux est très importante pour contribuer au développement des terroirs et à la maîtrise de l'eau. Vu le nombre de projets intéressant l'aménagement des terroirs et la lutte antiérosive au Burkina Faso et vu la vitesse de circulation des agents qui sont affectés à ces projets, il nous paraît urgent non seulement de réunir des séminaires pour faire circuler les idées mais aussi d'organiser une formation de base qui valoriserait la bonne volonté et l'énergie déployée pour résoudre les problèmes de développement rural.

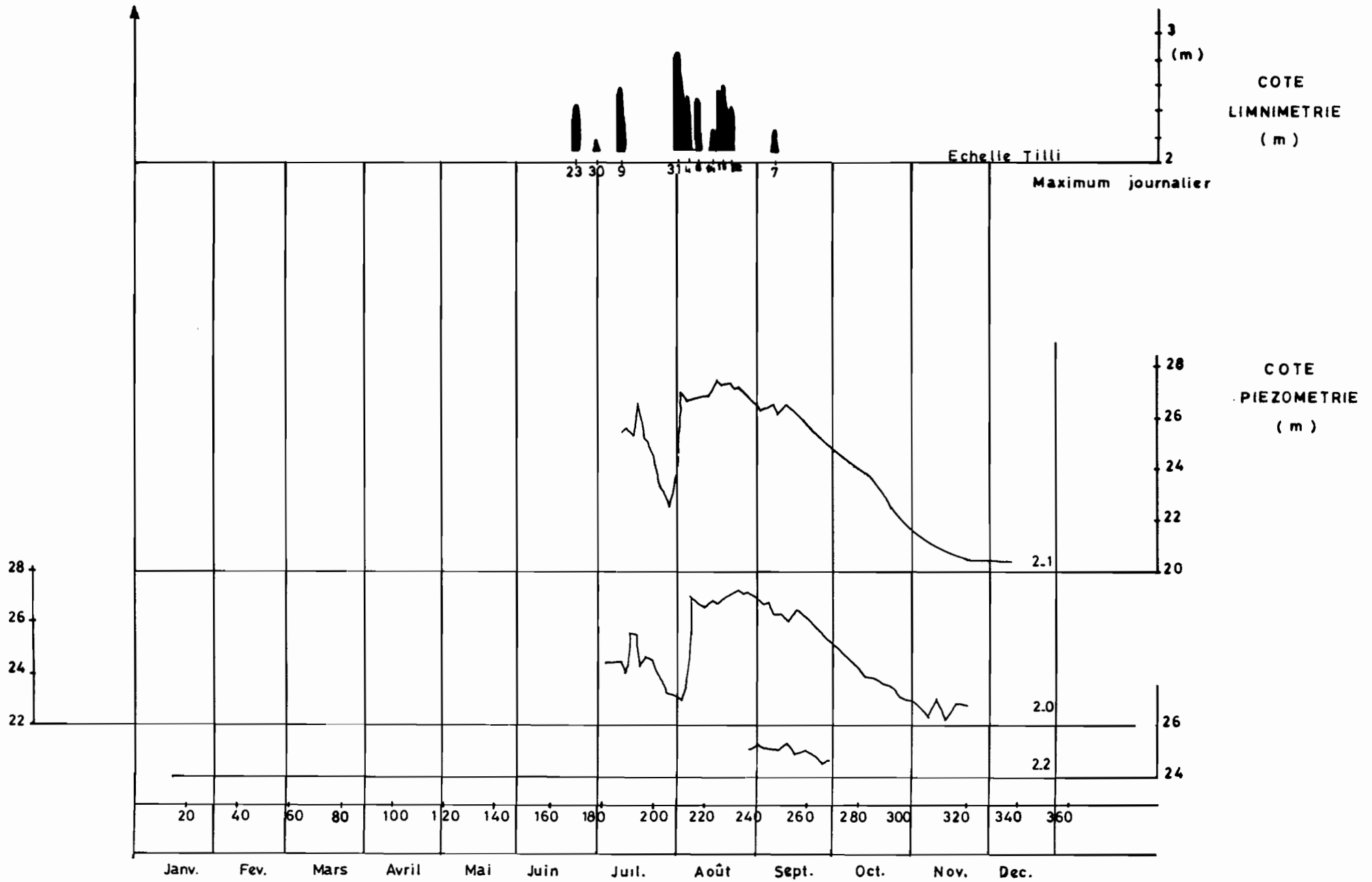
Un effort en ce sens a été tenté par l'ETSHER en Janvier 1990, en collaboration avec l'EIER, divers ONG, l'ORSTOM et le CIRAD. Le Yatenga est devenu depuis longtemps un véritable laboratoire de la gestion conservatrice de l'eau. Ce trésor d'expérience reste encore à valoriser.

Bibliographie

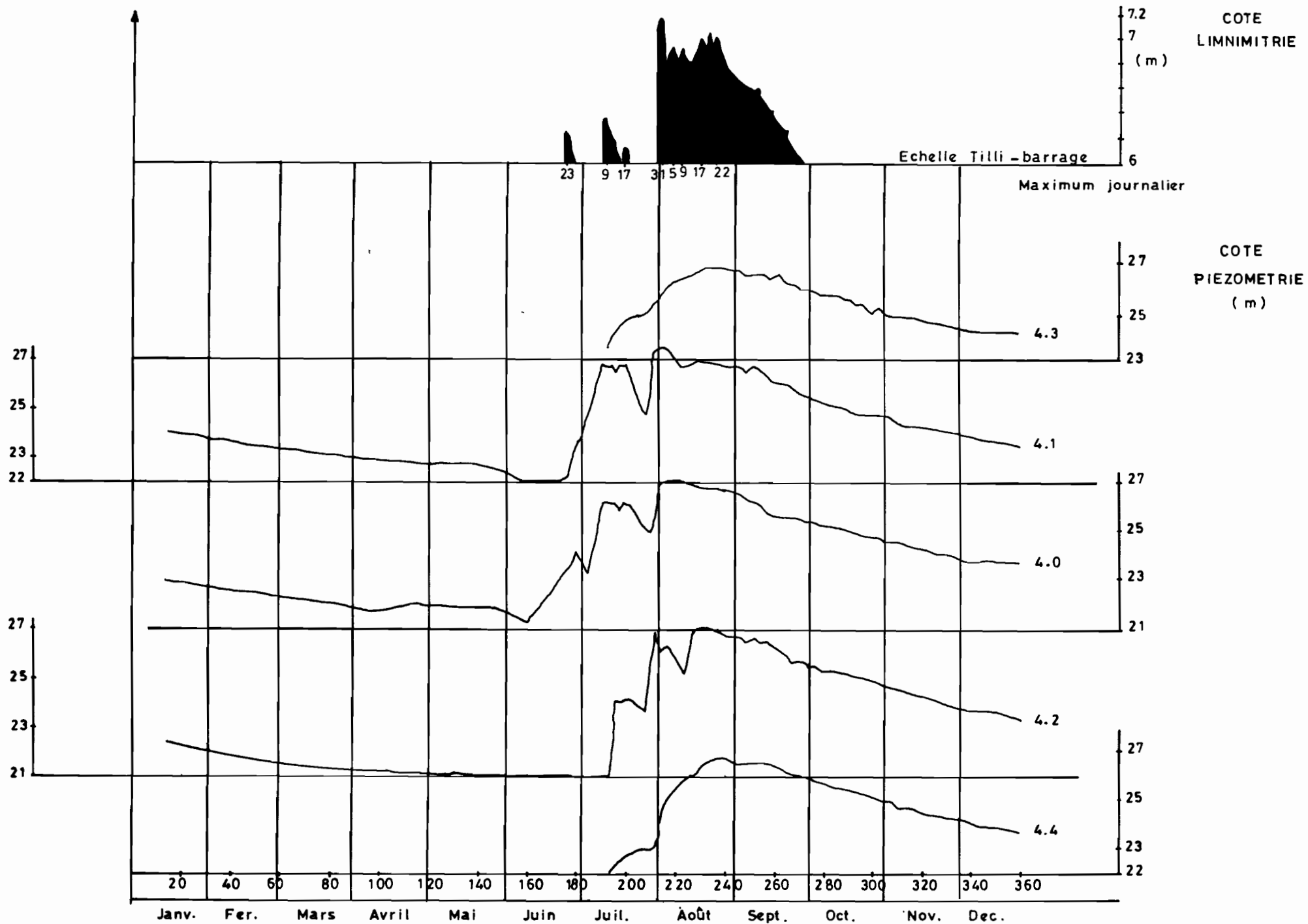
- 1 - ORSTOM (1991) : Programme pour la mise en valeur des bas-fonds du sahel (1991).
- 2 - IWACO (1987) : Etude de ressource en eau souterraine dans le Yatenga.
- 3 - J.P BIDJOCKA (1990) : Etude hydrodynamique de la nappe du bas-fond de Gourga (Bidi).
- 4 - SAMA M.B (1989) : Etude géologique et hydrogéologique du bas-fond de Gourga (Bidi)
- 5 - BURGEAP (1985) : Projet d'hydraulique villageoise Yatenga-Comoé-tome 2.
- 6 - BRGM (1969) : Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes aquifères en Mauritanie et au Sénégal. CIEH-Bris.
- 7 - BRGM (1962) : Méthodes d'études et de recherche des nappes aquifères Publi-da-Paris.
- 8 - BRGM (1986) : La recharge naturelle des aquifères du socle sous climat sahélien et soudanien (Etude expérimentale au Burkina Faso) 86 BFA 117 eau.
- 9 - CASTANY. G (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie Dunod-Paris.
- 10 - CASTANY. G. (1963) : Traité pratique des eaux souterraines Dunod-Paris.
- 11 - DEGALLIER. R (1965) : Influence de la profondeur d'une nappe sur les conditions de son alimentation Bull CIEH P4-10.
- 12 - PLOTMKOV N.A. : Ressources en eaux souterraines : classification et méthodes d'évaluation. Gauthier-Villars (Paris).
- 13 - Aménagement des terroirs au Yatenga (1990) ^{ROOSE E. ; RODRIGUEZ L. (1990)} par Eric Roose et Luc Rodriguez.
- 14 - Aménagement du bas-fond ?

A N N E X E S

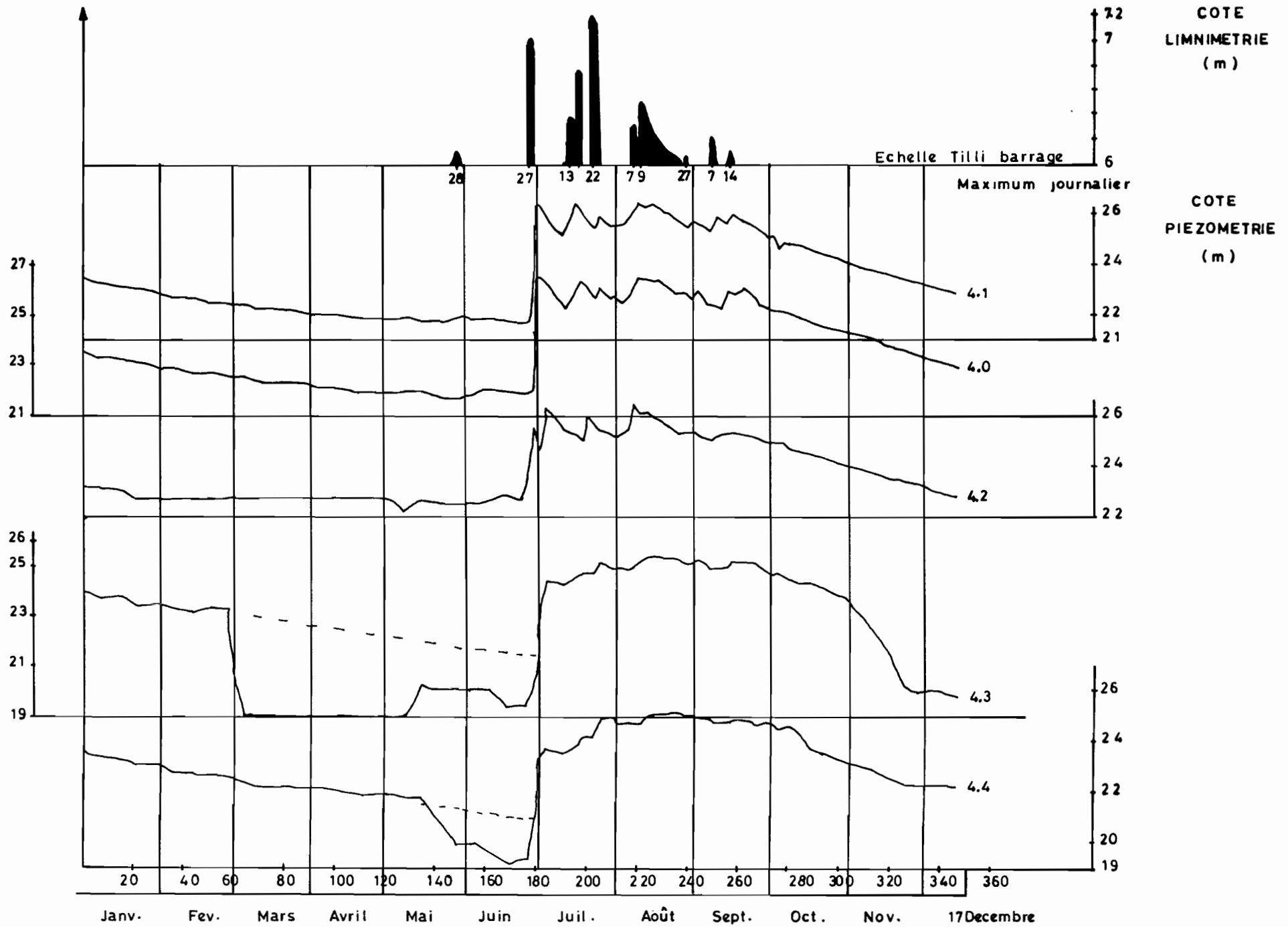
- Annexe 1 = courbes de fluctuations piézométriques
- Annexe 2 = carte du bassin de Bidi - équipement hydropluviométrique
- Annexe 3 = carte de variation positive
- Annexe 4 = carte d'Etude des ressources en eau dans le Yatenga.
(IWACO) (1987)
- Annexe 5 = carte géomorphologique de la province du Yatenga (IWACO)
(1987)
- Annexe 6 = carte géologique de la province du ^{Yatenga} (BURGEAP ; 1985)
- Annexe 7 = schéma du village de Bidi.
- Annexe 8 = carte du bas-fond de Gourga
- Annexe 9 = carte de localisation des puits et puisards dans les
quartiers
- Annexe 10 = coupe du forage de Gourga (F2)
- Annexe 11 = coupe du puits Banfora (P2)
- Annexe 12 = interprétation d'essais de pompage - Puits ORSTOM.

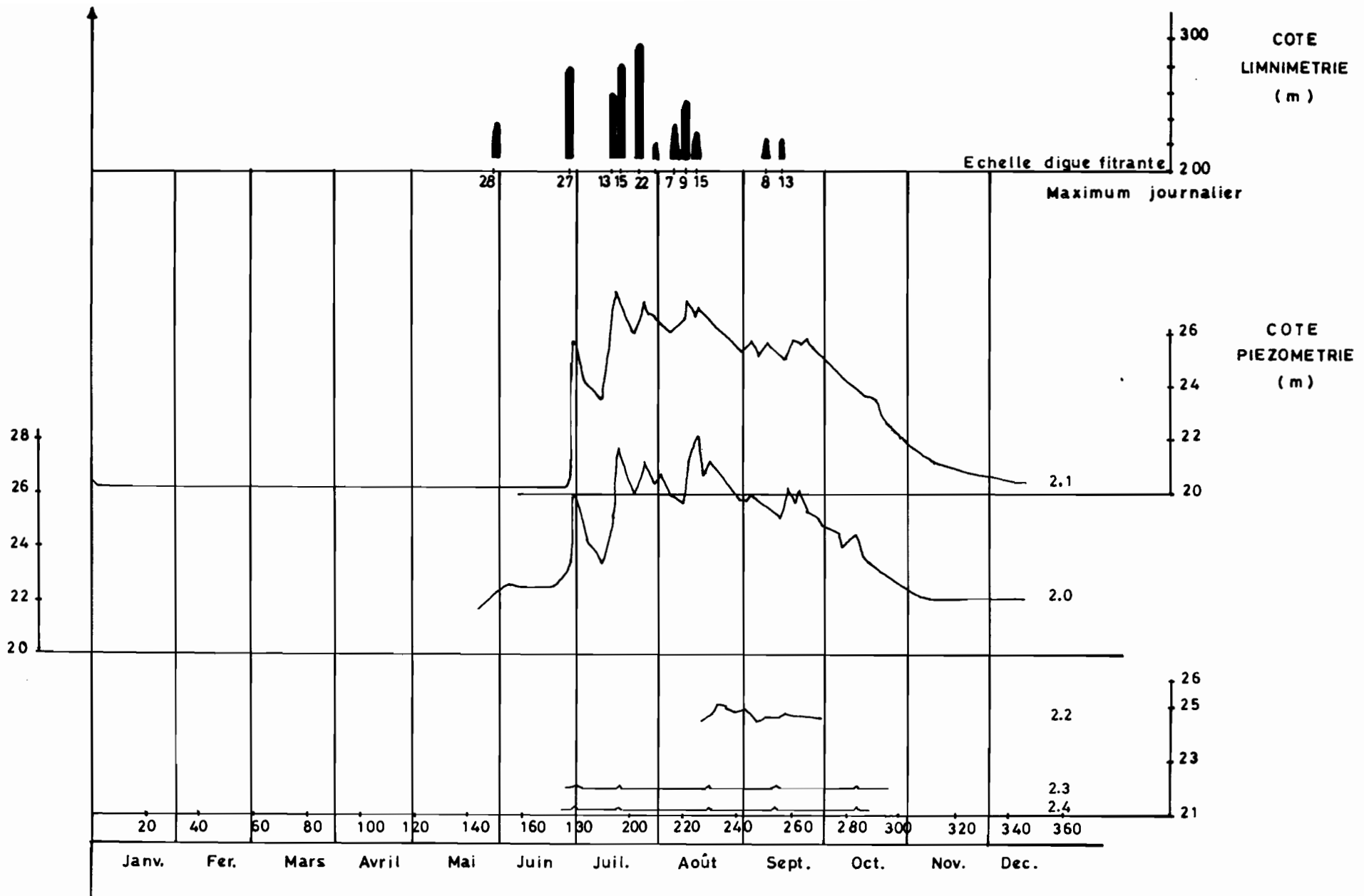


ANNEXE 1 Relevés piézométriques de la ligne N° 2 à GOURGA (année 1989)

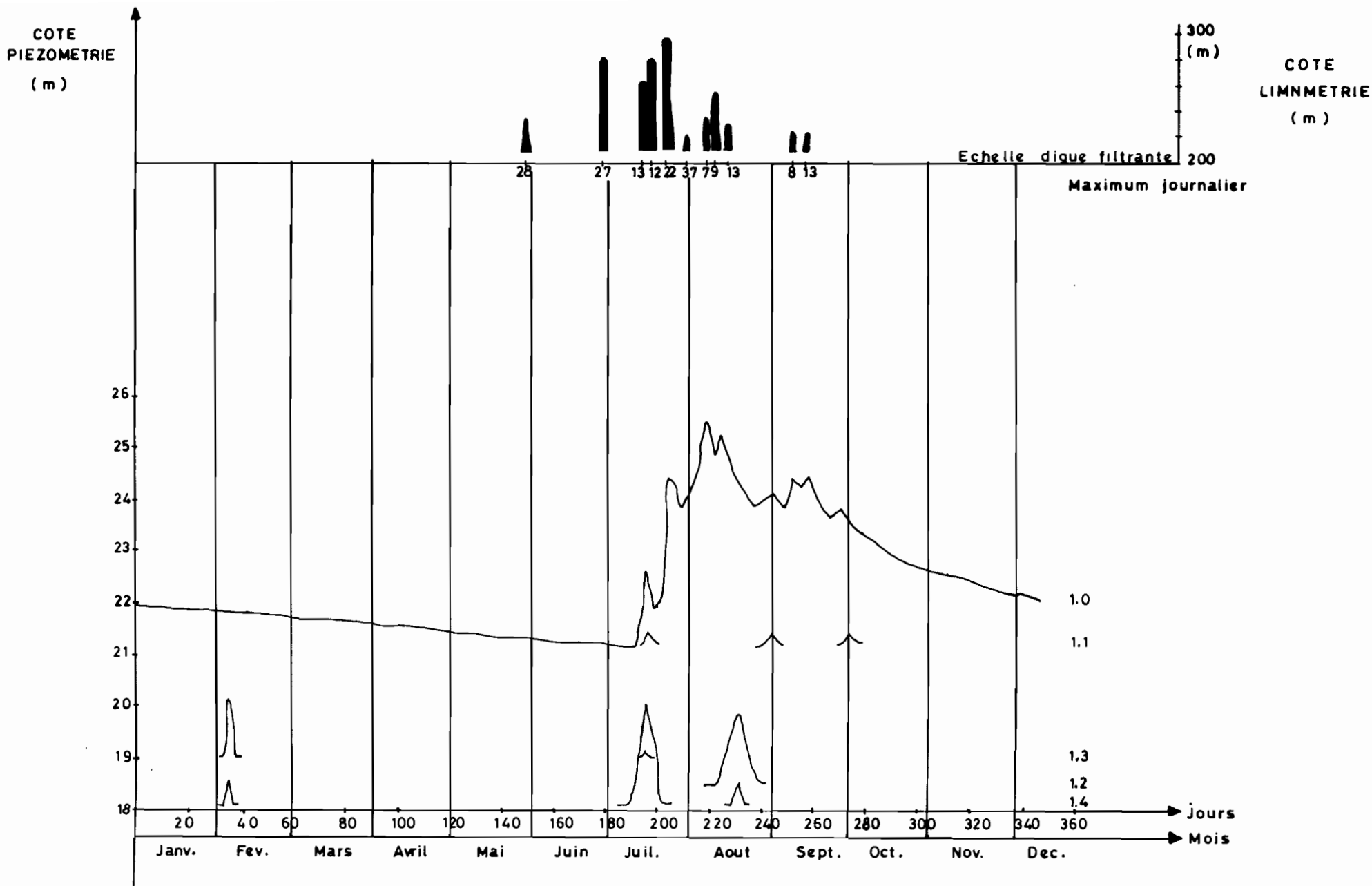


ANNEXE 1 Relevés piézométriques de la ligne N°4 à GOURGA (année 1989)

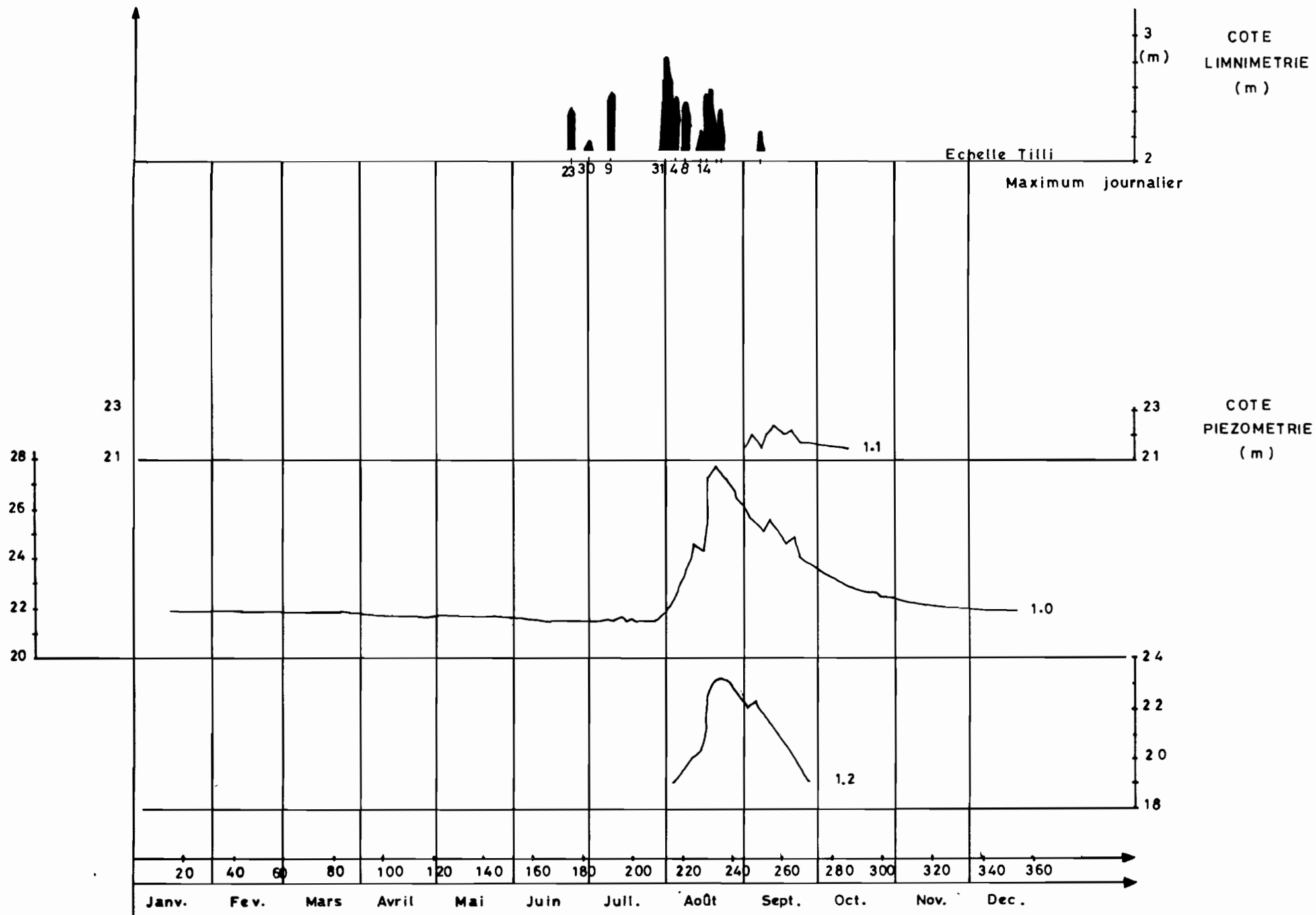




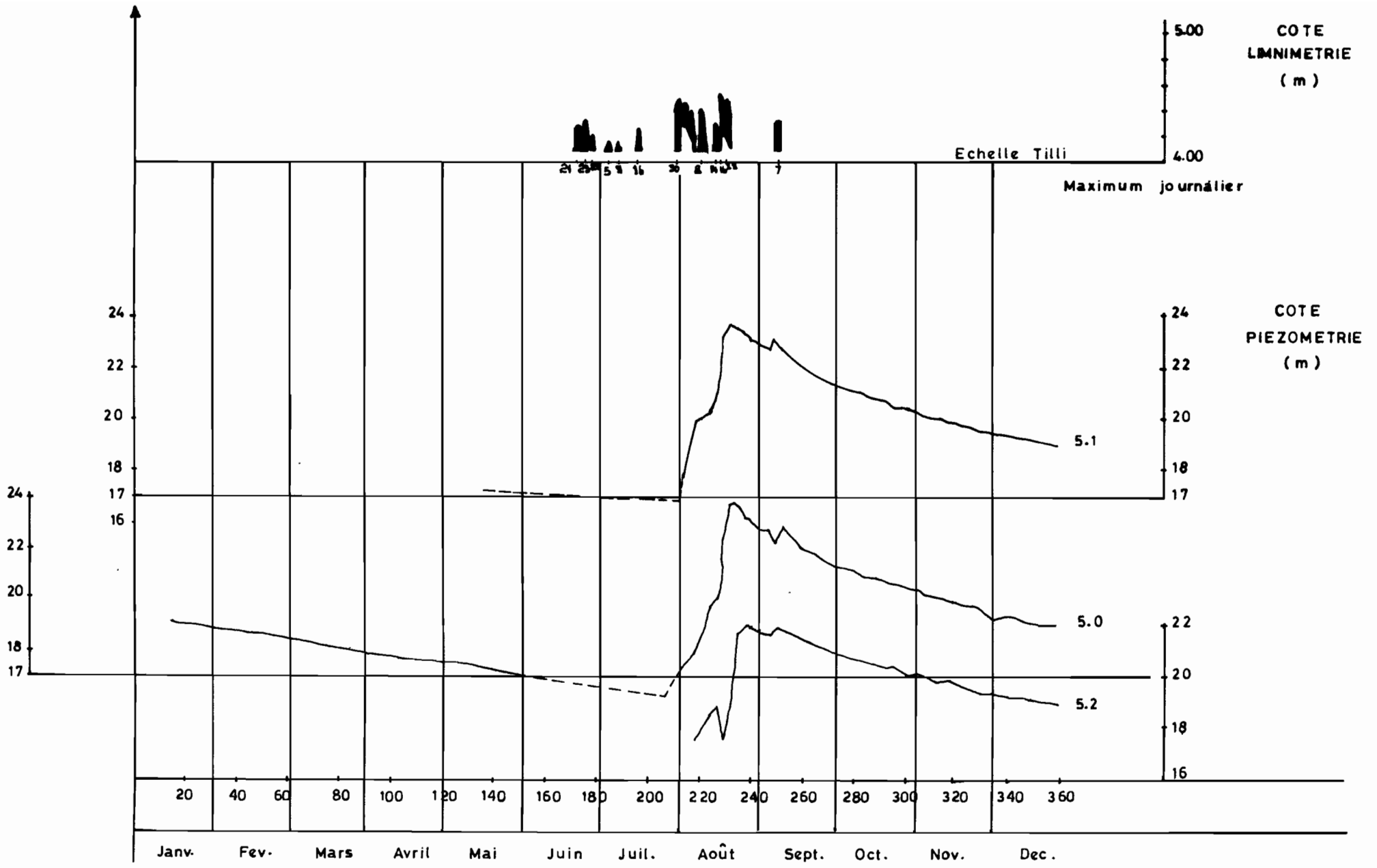
ANNEXE 1 Relevés piézométriques de la ligne N° 2 à GOURGA (année 1990)



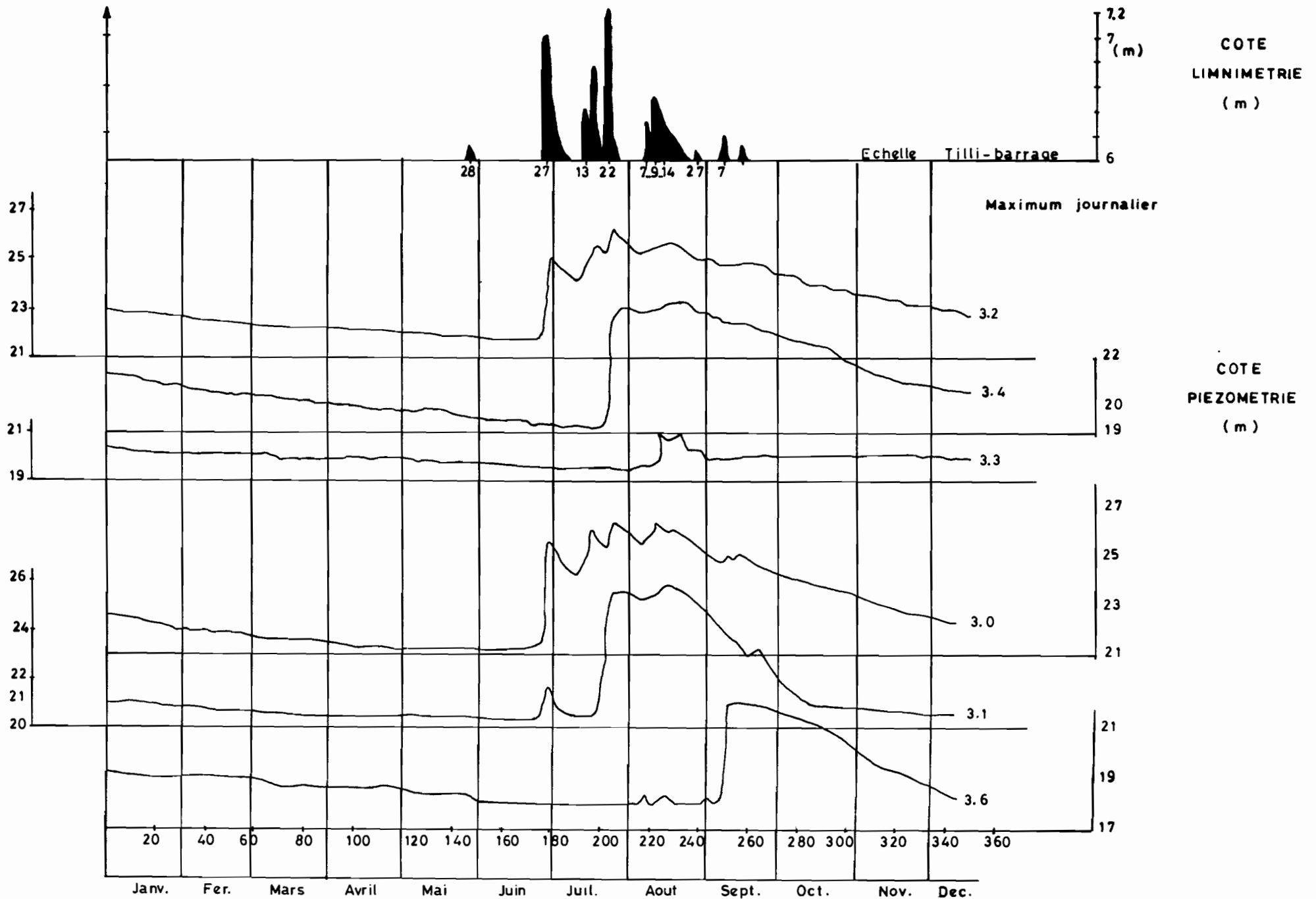
Annexe 1 Relevés piézométriques de la ligne N°1 à GOURGA (année 1990)



ANNEXE 1 Relevés piézométriques de la ligne N° 1 à GOURGA (année 1989)



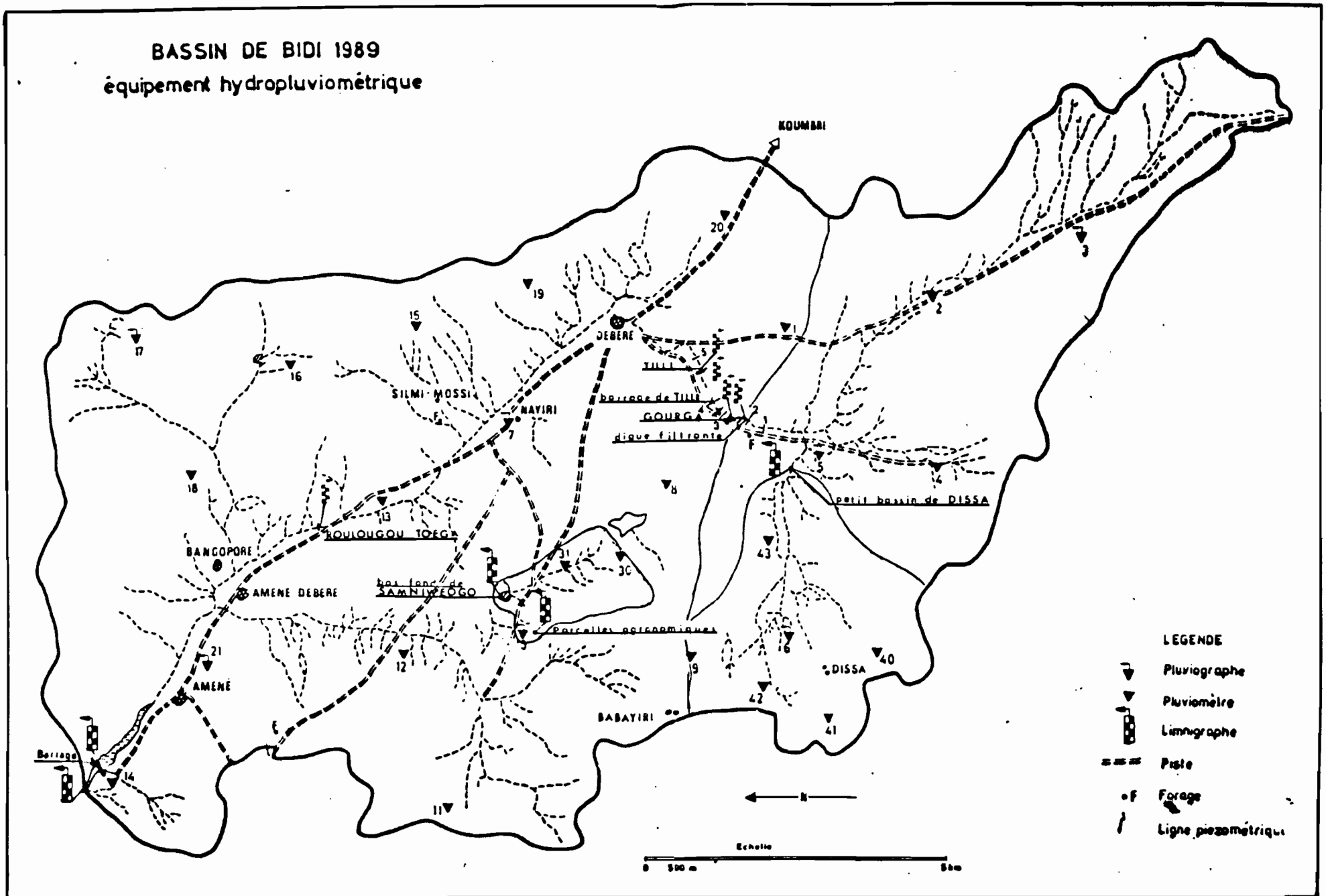
Annexe 1 Relevés piézométriques de la ligne N° 5 à GOURGA (année 1989)



ANNEXE 1

Relévés piézométriques de la ligne N°3 à GOURGA (année 1990)

BASSIN DE BIDI 1989
équipement hydropluviométrique

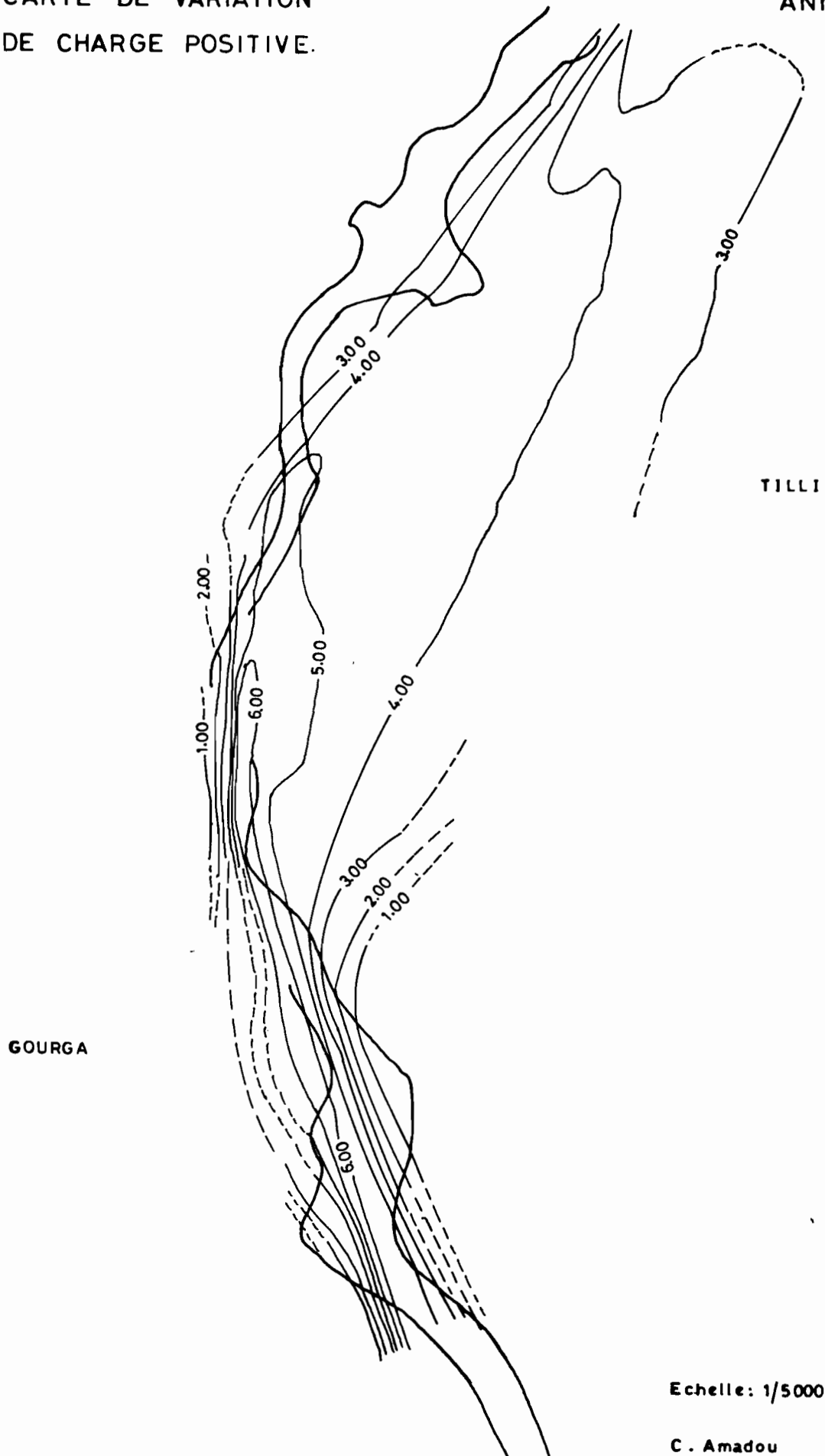


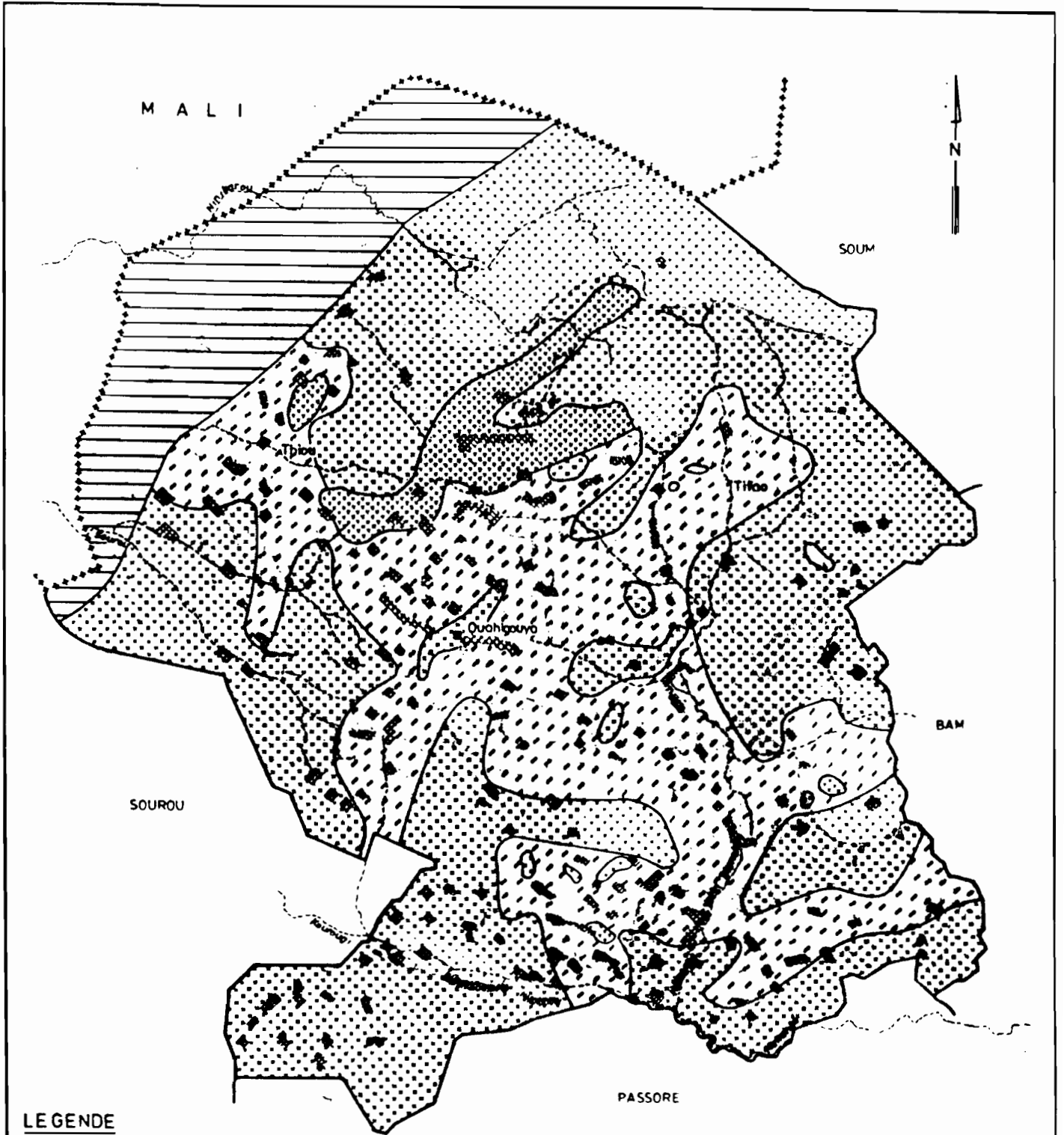
- LEGENDE**
- ▼ Pluviographe
 - ▼ Pluviomètre
 - 📏 Limnographe
 - == Piste
 - ⦿ Forage
 - Ligne piézométrique

Echelle
 0 500 m 500







CARTE DE VARIATION
DE CHARGE POSITIVE.

ANNEXE 3





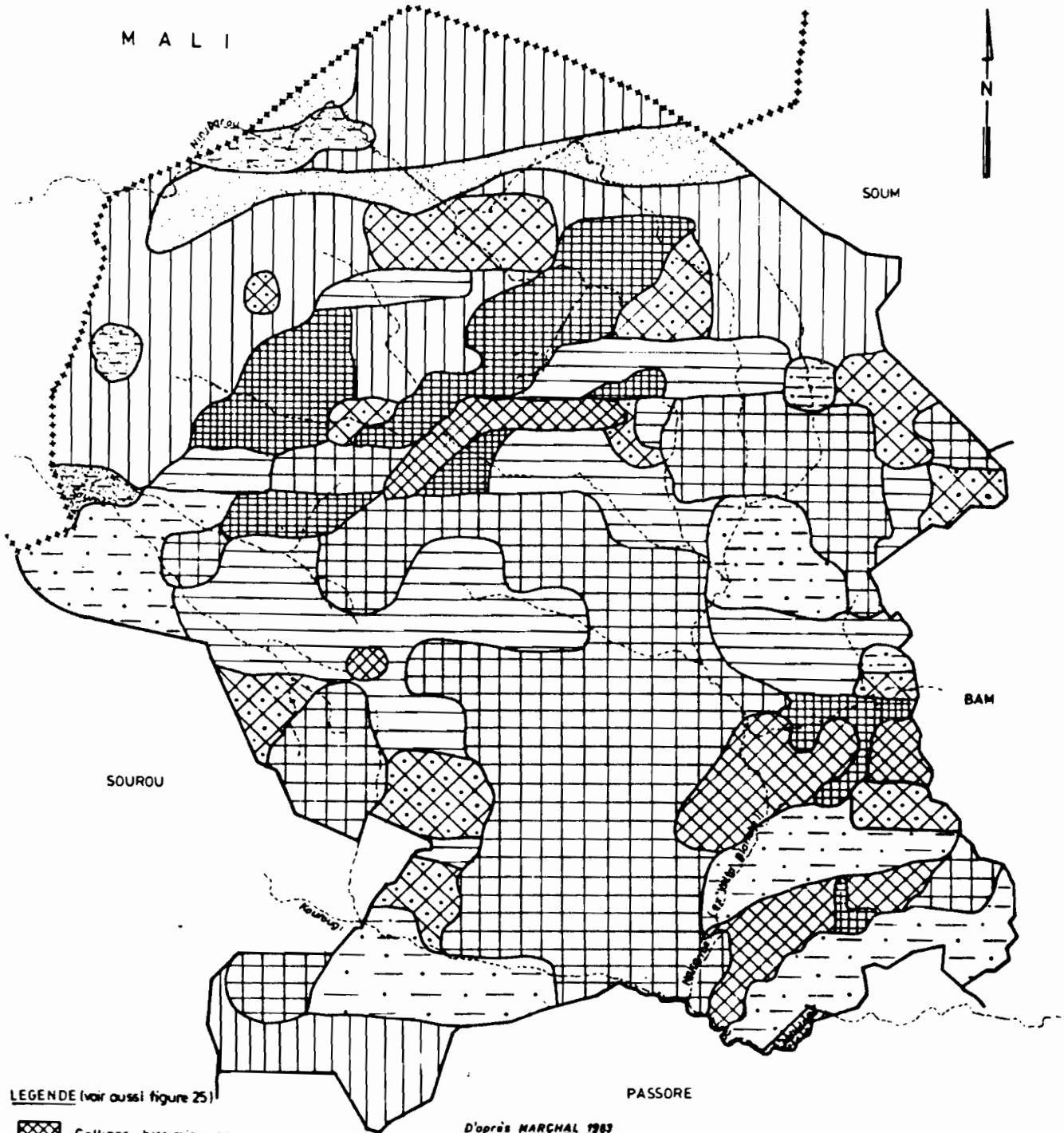
LEGENDE

-  Cuirasse noyée
-  Continental terminal
-  Roches vertes
-  Schistes
-  Granites
-  Altération généralement mouillée



Composé d'après Gansané 1975, Hottin et Ouedraogo 1975, Burgeap - ONPF 1975 et 1985, et les résultats des projets hydrauliques villageois : Yatenga-Comoe, Education III





Client Ministère de l'Eau - DEP-		IWACO	
Projet Etude de ressources en eau souterraine dans le Yatenga			
Devisé AS	Vu	Bureau d'Etude en Eau et Environnement N° 1027 Ouagadougou - Burkina Faso	
Figure number 16	Date 11 / 11 / 87	P. 181 1000 AF - Burkina Faso	
Dessiné par CARTE HYDROGÉOLOGIQUE Lithologie avec des zones d'altération mouillée		Dessiné par	



LEGENDE (voir aussi figure 25)

-  Collines birrimiennes
-  Tables cuirassées
-  Association de tables cuirassées et de dômes éventrés
-  Dômes éventrés
-  Pénéplaine surmontée de buttes à sommet tabulaire
-  Groupes de grande amplitude
-  Pénéplaine sans réseau hydrographique organisé

D'après MARCHAL 1982

-  Cuvette endoreique
-  Formation dunaire aptane



0 10 20 km

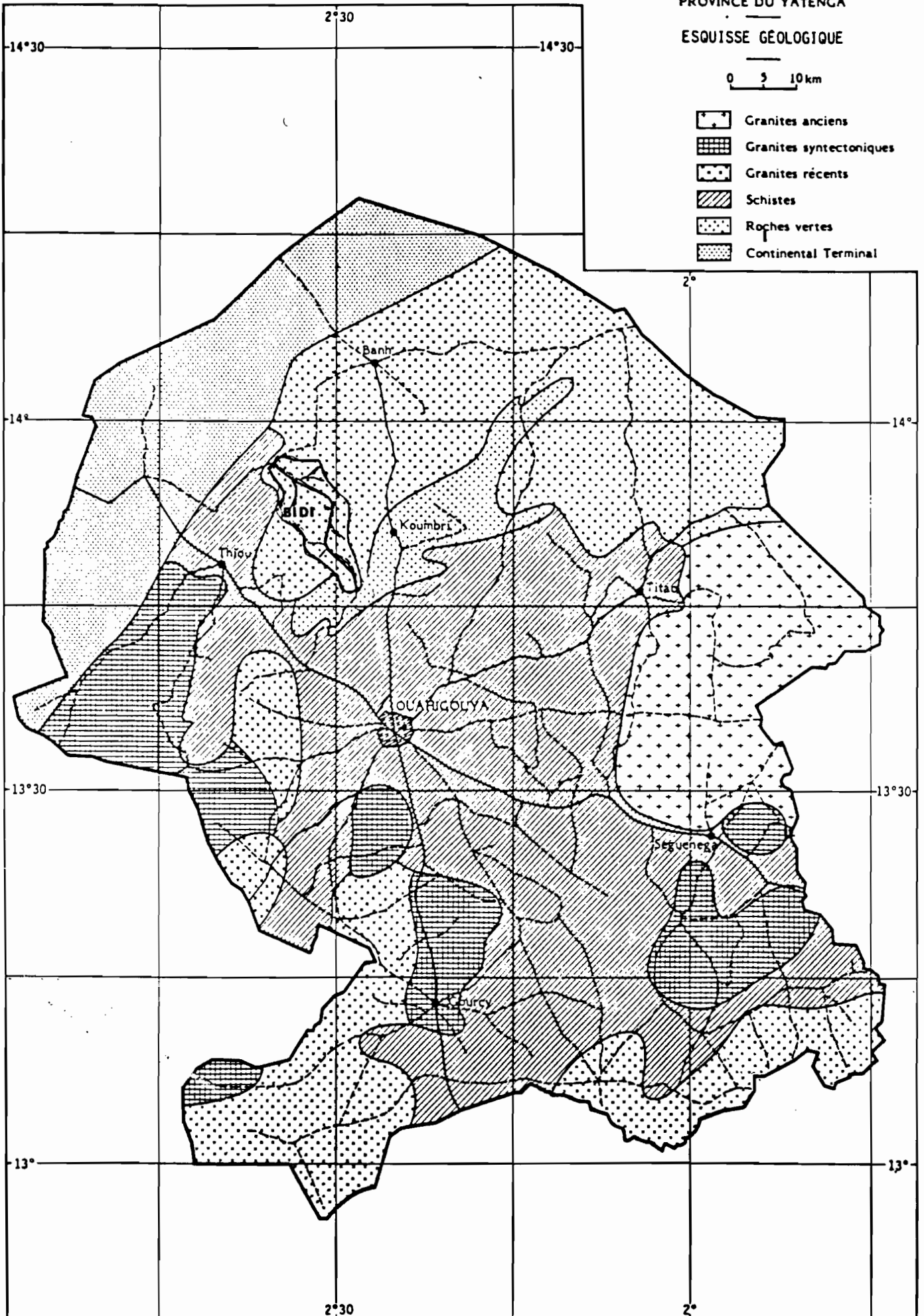
Client	Ministère de l'Eau - DEP -		
Projet	Etude des ressources en eau souterraine dans le Yatenga		
Diagramme	U.T	W	Bureau d'Etudes en Eau et Environnement S.P. 2573 Ouagadougou Burkina Faso
Figure numéro	24	Date	20/07/87
Description	CARTE GEOMORPHOLOGIQUE		Dossier numéro 60.289

PROVINCE DU YATENGA

ESQUISSE GÉOLOGIQUE

0 5 10 km

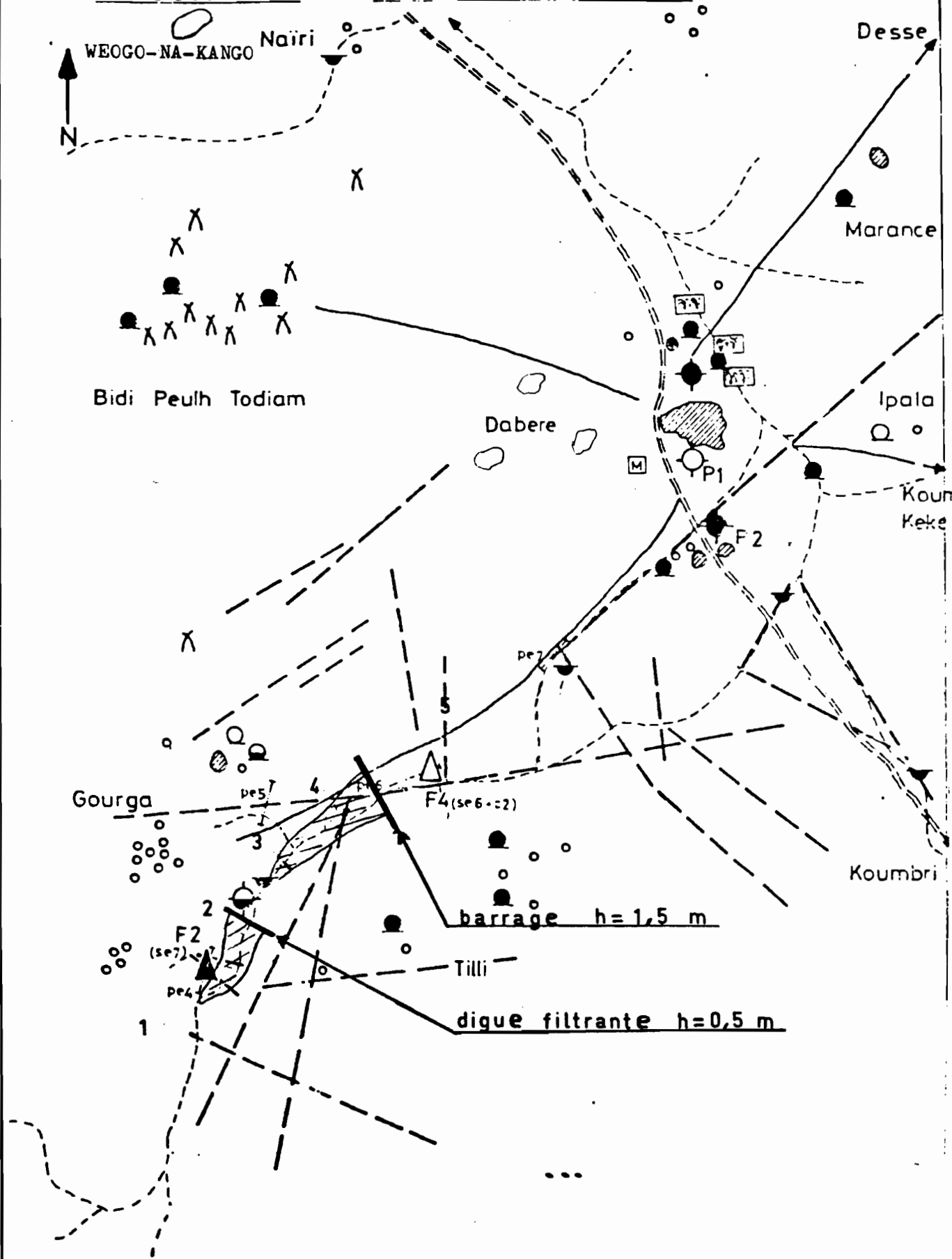
-  Granites anciens
-  Granites syntectoniques
-  Granites récents
-  Schistes
-  Roches vertes
-  Continental Terminal

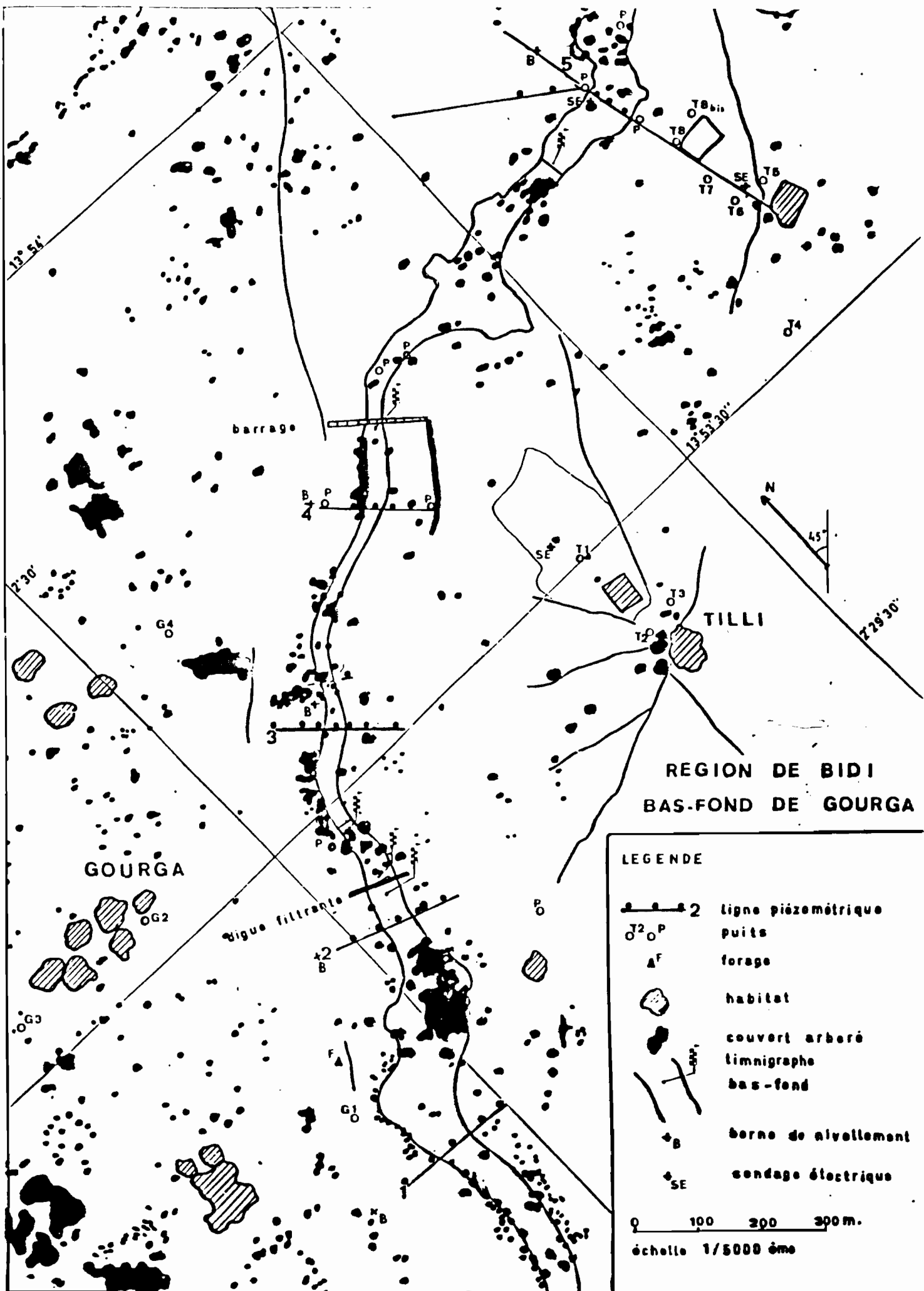


DIRECTION DES Puits FORAGES ET HYDROLOGIE	SCHEMA DE VILLAGE N° ordre	72
Projet hydraulique villageoise YATENGA 2° phase (5° FED)	Village <u>BIDI</u> N° IRH	3 OH 3

Echelle : 1 / 18 500

Photo : ND 30 X n° 341



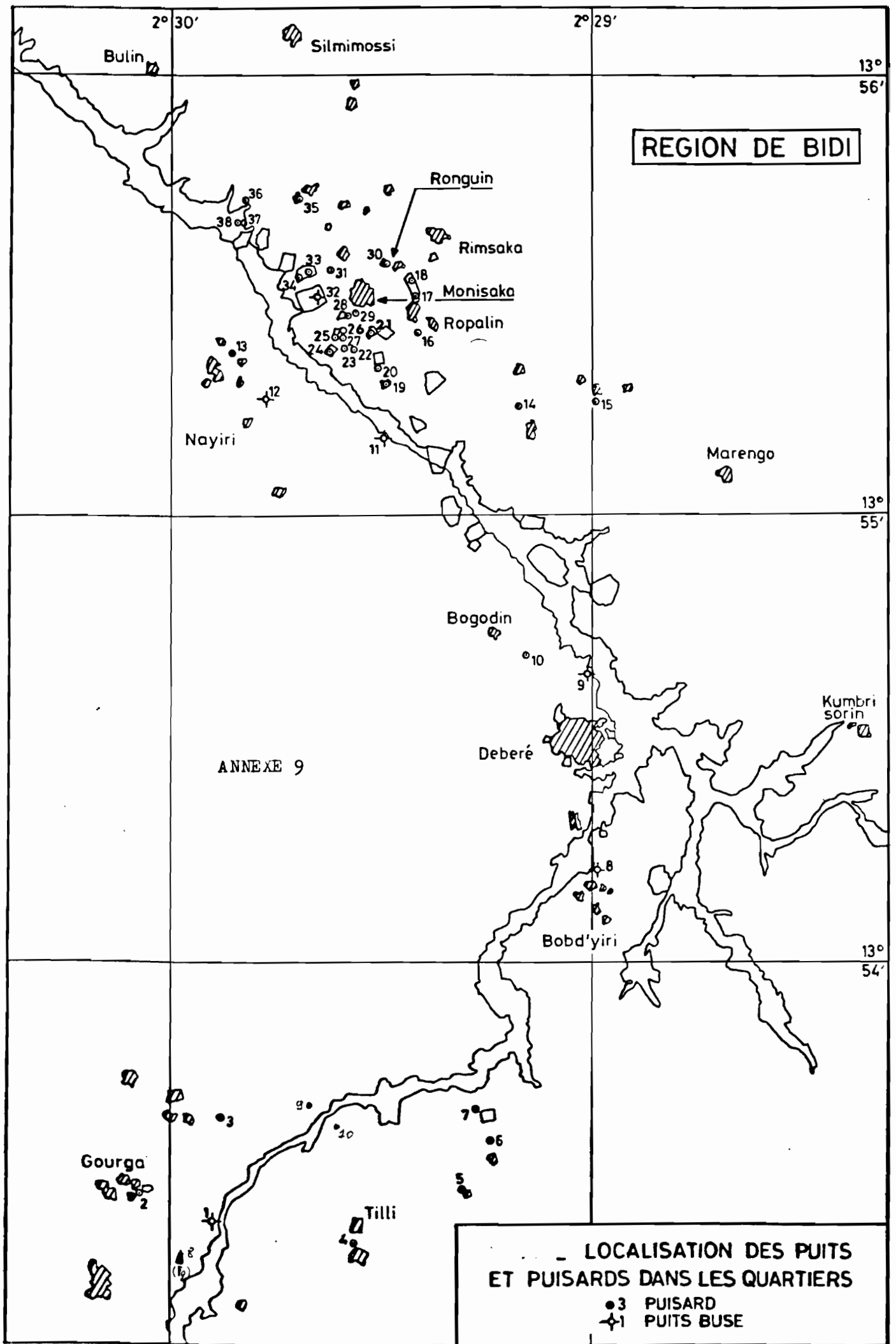


REGION DE BIDI
BAS-FOND DE GOURGA

LEGENDE

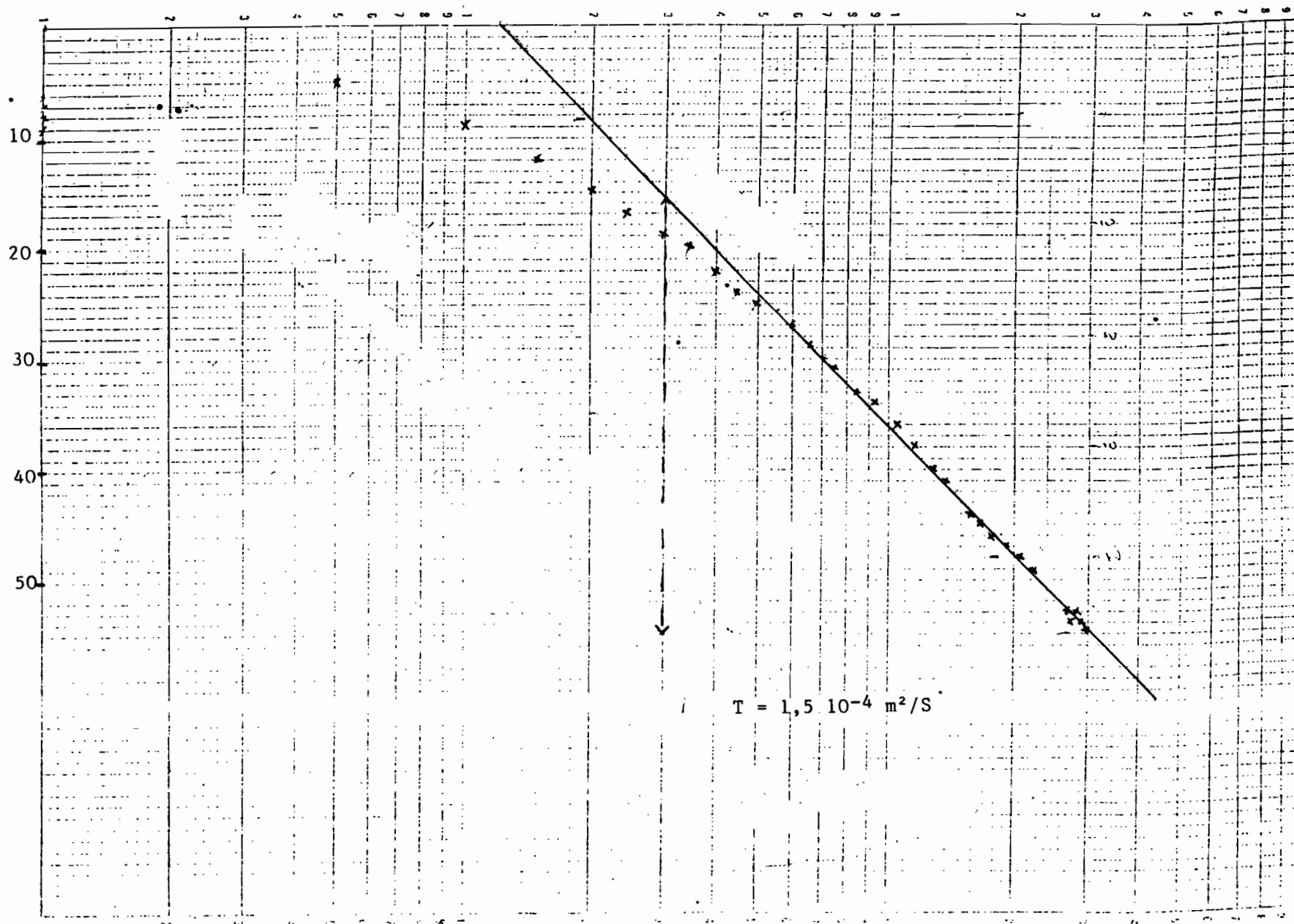
- 2 ligne piézométrique
- puits
- forage
- habitat
- couvert arboré
- limnigraphe
- bas-fond
- borne de nivellement
- sondage électrique

0 100 200 300m.
échelle 1/5000 ème



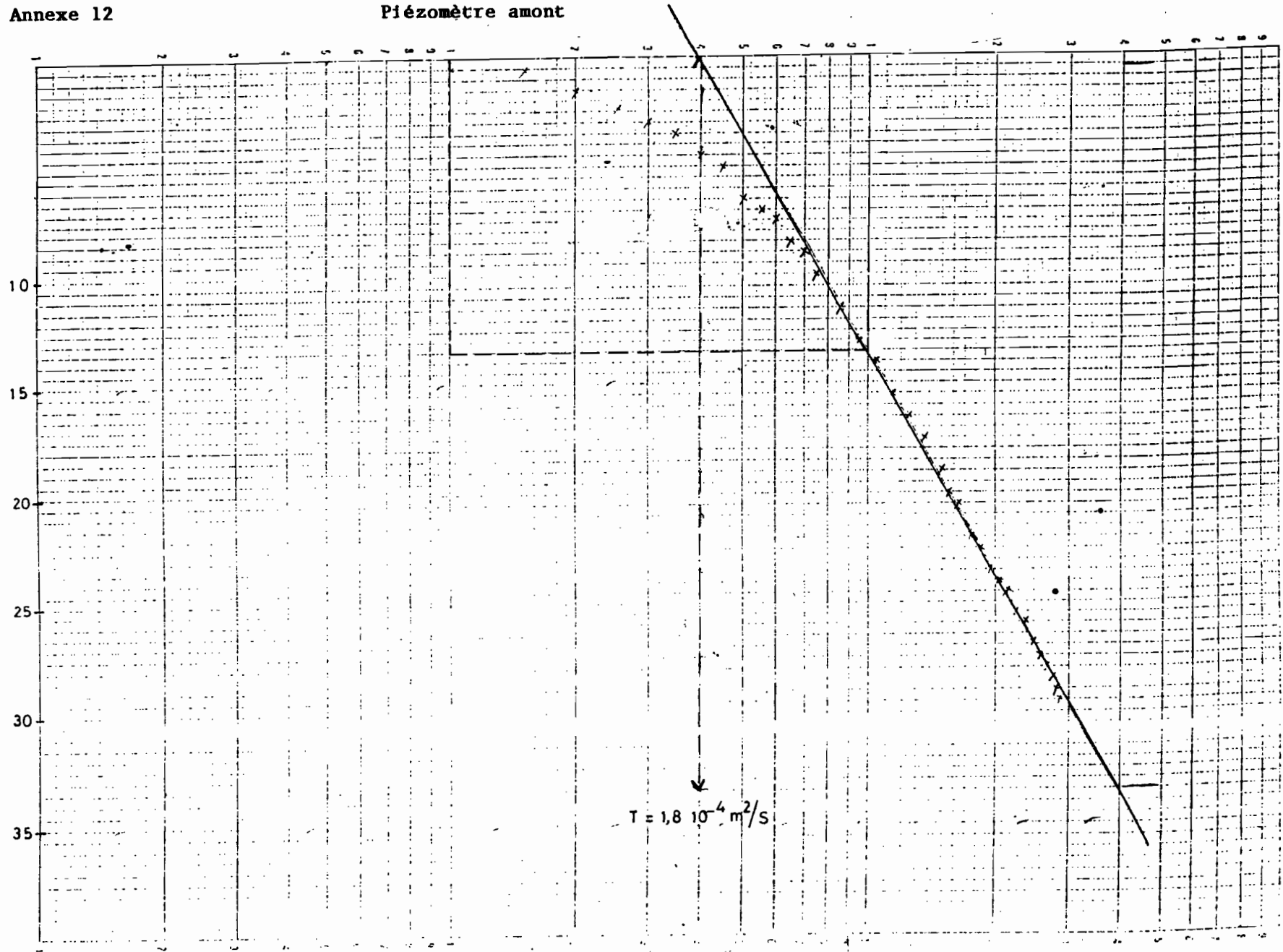
DIRECTION DES Puits FORAGES ET HYDROLOGIE		COUPE DE FORAGE		N° ordre	72				
Projet hydraulique villageoise YATENGA 2^e phase (5 ^e FED)		Village : <u>Bidi - Gourga</u>		N° IRH	30-0H3				
		<i>Pompe</i>		N° Y	F 2				
Entreprise : <u>ONPF</u>		Province : <u>Yatenga</u>		X : <u>2° 30' 02"</u>					
Atelier : <u>KoKen</u>		Département : <u>Koumbri</u>		Y : <u>13° 53' 14"</u>					
Foreur : <u>Dramé Yacouba</u>		Carte 1/200.000		Z : <u>318</u> m					
Date d'exécution : <u>04 - 02 - 1986</u>		PVC : <u>Vissé</u>		Développement Date : <u>04 / 02 / 1986</u>					
Profondeur forée : <u>55,80m</u>		Ø : <u>110 / 125 mm</u>		Durée : <u>2</u> h Observations :					
Profondeur finale : <u>55,80m</u>		L/tubes pleins : <u>16,80m</u>		Débit : <u>4,9</u> m ³ /h					
		L/crépines : <u>9,00m</u>		N.S : <u>22,42</u> m					
Gravier nature : <u>concassé</u> volume : <u>109</u> l				N.D : - m					
				Eau claire					
Diamètre mm	Profondeur m	Coupe technique	Débit m ³ /h			Vitesse m/h	Géologie		
			1	2	3		Prof.	Coupe	Description
TR Ø 8" 5/8	TP Ø 7"		1	2	3		6,60		Cuirasse
							10		Argile latéritique
MFT Ø 6"	55,80		1	2	3		19,60		Argiles argileuses
							20		Argiles argileuses
	43,50						40		Granite à feldspath rose alt.
	52,50						50		Granite à feldspath rose alt.
	55,80						55,80		Granite à feldspath rose alt.
	60						60		
	70						70		
	80						80		
FORAGE R - rotary M - marteau fond-de-trou		Observations :		établi par :					
TUBAGE e - eau b - boue m - mousse				Kinto S.					
Tp - provisoire T - tube plein C - crépine				DPFH/BURGEAF					
P - marker Ct - cimentation									

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT RURAL		COUPE DE PUIS			72
Projet hydraulique villageois YATENGA - COMOE (5° FED)		Village : <u>BIDI</u>	N° IRH : <u>3 OH3</u>		
		<i>Bajona</i>	N° YC : <u>P₂</u>		
Equipe : <u>VIII</u>	Préfecture : <u>NORD</u>		X : <u>2° 28' 58"</u>		
Chef d'équipe : <u>Tapsala Célestin</u>	Sous-préfecture : <u>KOUMBRI</u>		Y : <u>13° 54' 13"</u>		
		Carte 1/200.000	Z : <u>340</u>		
Reconnaisances : <u>Essai de débit</u>			Date début : <u>101 / 1983</u>		
			" fin : <u>105 / 1983</u>		
Développement : <u>Essai de débit</u>		Date : <u>26 / 05 / 1983</u>	Durée : <u>6 h 40</u>		Cuvelage 1 800 : <u>10,50 m</u>
Ve <u>3</u> m ³		Profondeur	Niveau d'eau	Remontée	Qi m ³ /h
Qp _____ m ³ /h	avant	<u>17,05</u>	<u>9,77</u>	<u>15,41</u>	
	après	<u>17,05</u>	<u>15,41</u>	<u>11,57</u>	<u>4,111</u>
					Cuvelage 1 200 : <u>7,25 m</u>
					Gravier volume : _____ m ³
					Nature : _____
Fonçage Ø	Profon- deur	Géologie		Aquifères Coupe Classe	0
Ø 2000 P	5	argiles grises de bas fond avec canalicules (racines)		TN	0
	10	arènes granitiques argileuses			9,95 10,50
Ø 1600 H	15	arènes grenues.			17,05 17,50
	20				
	25				
	30				
	35				
	40				
Fonçage P - pelle-pioche B - benne-preneuse M - marteau-piqueur E - explosif H - havage		Niveaux aquifères classe perméabilité e - médiocre A - bonne X		Observations :	
				Etabli par : SOUGUE-PRAT	
				HER-BURGEAP	



Annexe 12

Piézomètre amont



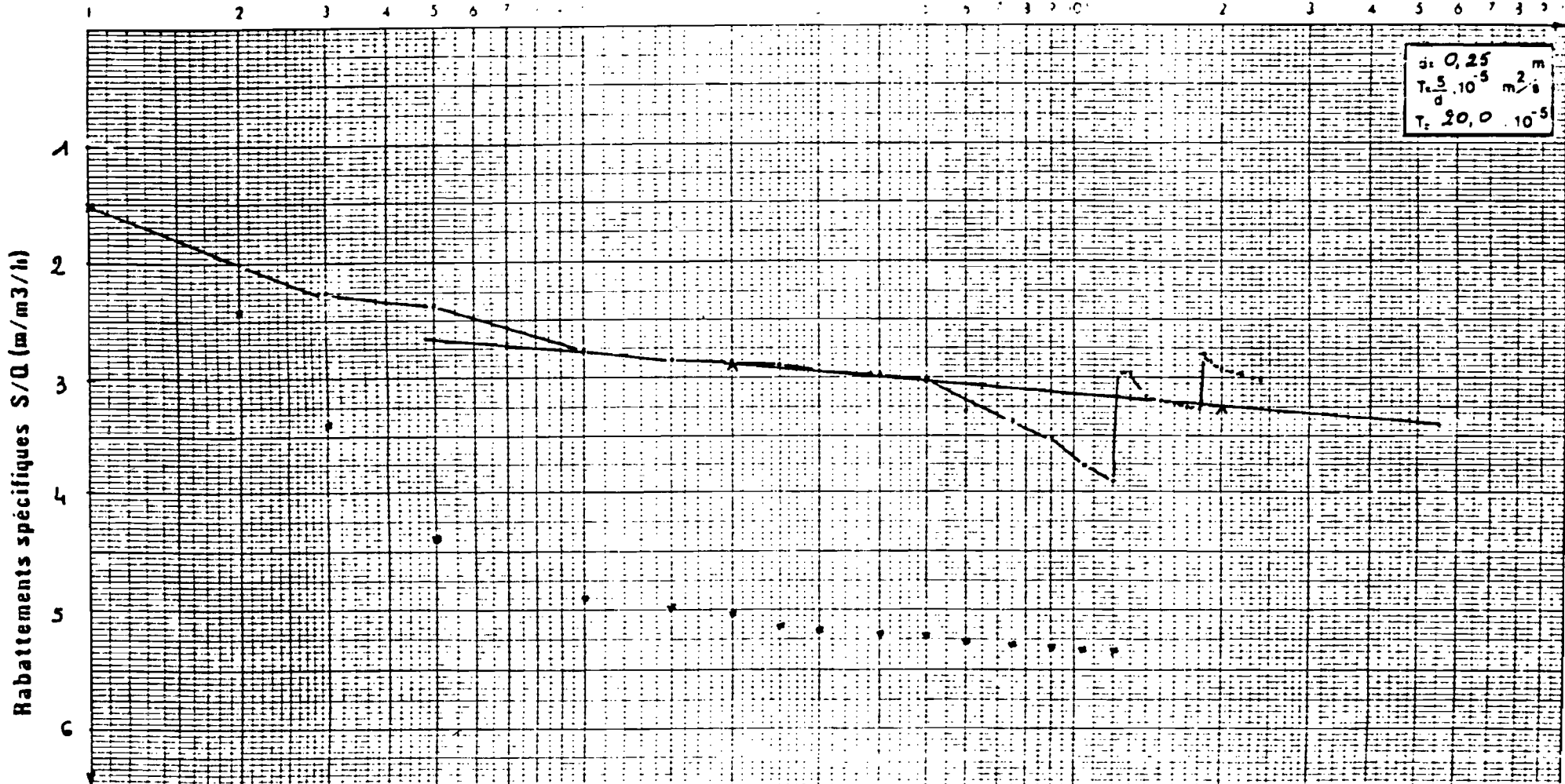
DIRECTION DES PUIITS
FORAGES ET HYDROLOGIE
Projet hydraulique villageoise
YATENGA 2^e phase
(5^e FED)

Date de l'essai : 25. 2 - 86
Niveau statique : 24,40
Fond. avant essai : 55,80
- après essai : 55,80

ESSAIS SUR FORAGES
Village : *Bidi. Gourga*
N^o ordre : 72
N^o RH :
N^o Y : F

Minuteur

16



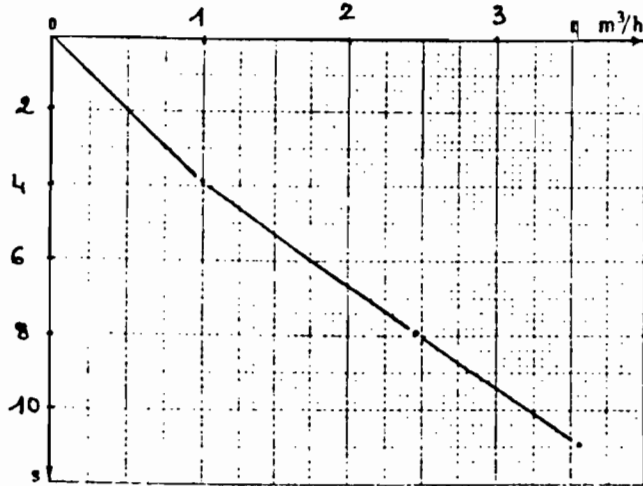
Paliers	Q(m³/h)	s (m)	Pompage
1	1	3,90	—
2	2,4	7,96	- - -
3	3,6	10,98	x

Différence entre 2 paliers	↔
----------------------------------	---

DIRECTION DES Puits FORAGES ET HYDROLOGE	EXPLOITATION DES ESSAIS SUR FORAGES		N° ordre 72
	Village : <i>Bidi-Gourga</i> N° IRH		30 OH 3
Projet hydraulique villageoise YATENGA 2^e phase (5° FED)	Province : <i>Yatenga</i> N° Y		F 2
		Département : <i>Koumbri</i>	

EQUIPEMENT (cotes/sol) Profondeur forage : 55,80 Profondeur crépine : 43,50 Hauteur FVC : 0,50 Hauteur socle : 35,60 Pompe type : Vergnet 4c posée le 12 / 5 / 1986 profondeur pompe 37,00 m	DATE : 25. / 02. 1986			EXPLOITATION	MAXIMUM	POMPE A MAIN
	NIVEAU STATIQUE			m ³ /h	3	1
	date	heure	NS °	heures / jour		12
	25/2/86	11 ^h 42	24,40	niveau dynamique °		30,42
				cote pompe °		35,42

CARACTERISTIQUE Date essai : 25/2/86



Niveau statique d'étiage NS₀

$\Delta NS = 2$

NS₀ = NS + ΔNS = 26,40

Niveau dynamique maximum ND max. limité par : Cote Crépine = 43,50

ND max = 42,50

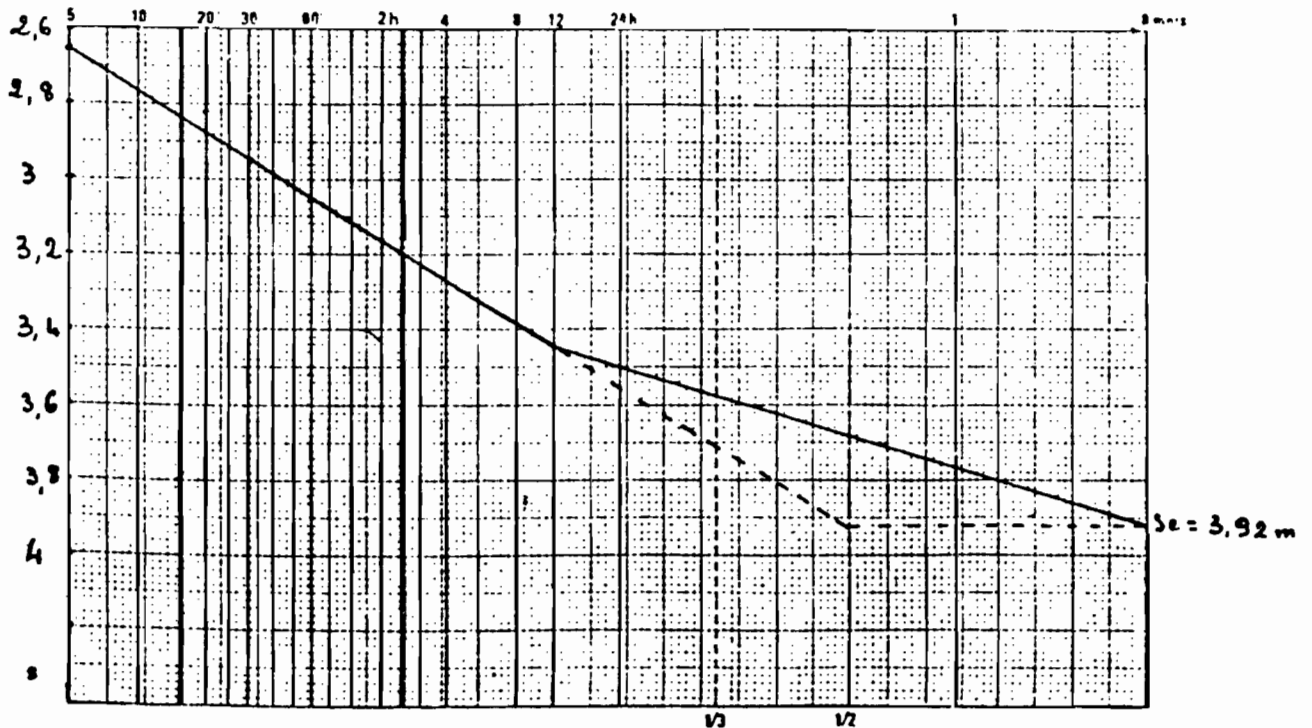
Rabatement maximum s max

s max = ND max - NS₀ = 16,10

Débit spécifique = 0,25 m³/h/m

Transmissivité = 20,010⁻⁵ m²/s

EXPLOITATION



OBSERVATIONS :

DPFH/BURGEAP

Etabli par : KINTO S

