

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT
DES SCIENCES DE LA NATURE

INSTITUT
DU DEVELOPPEMENT RURAL

BURKINA FASO

DIRECTION REGIONALE
DE L'EAU DU MOUHOUN

PROJET HYDRAULIQUE
VILLAGEOISE DE LA BOUCLE
DU MOUHOUN

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

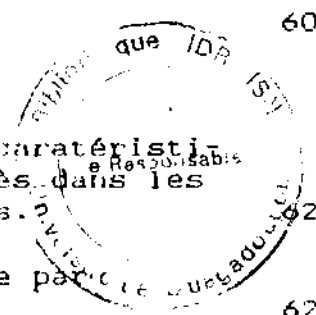
Présenté et soutenu en vue de l'obtention du
DIPLOME D'INGENIEUR DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU

Thème :

***HYDROGEOLOGIE STATISTIQUE DES FORMATIONS
SEDIMENTAIRES ET CRISTALLINES DE LA BOUCLE
DU MOUHOUN***

2-1-2.	Exécution du forage: technique de foration	32
2-1-3.	Equipement du forage	34
2-1-4.	Essais de pompage.	34
2-2.	<u>Méthologie d'implantation des puits</u>	
2-2-1.	La photo-interprétation	35
2-2-2.	Le sondage électrique	35
2-2-3.	L'exécution du puits.	35
2-3.	<u>Hydrochimie</u>	
2-3-1.	La conductivité	42
2-3-2.	Le P.H.	42
2-3-3.	Les types d'eau.	43
Chapitre III. <u>Hydrogéologie statistique</u>		
3-1.	Introduction	44
3-2.	Données techniques retenues pour l'analyse statistique	44
3-3.	Principe de l'analyse statistique	44
3-4.	Résultats de l'analyse statistique.	45
3-4-1.	<u>Les forages positifs</u>	
3-4-1-1.	<u>Analyse statistique élémentaire</u>	
3-4-1-1-1.	Les formations sédimentaires	45
3-4-1-1-2.	Les formations cristallines	50
3-4-1-1-3.	Comparaison entre les résultat statistiques obtenus dans les différentes formations.	54
3-4-1-2.	<u>Etude des venues d'eau</u>	
3-4-1-2-1.	Méthodologie	55
3-4-1-2-2.	Résultats	55
	- Socle cristallin	55
	Formations sédimentaires	58
3-4-2.	<u>Les forages négatifs</u>	60
3-4-3.	<u>Les puits</u>	
3-4-3-1.	Tableau des valeurs moyennes des caractéristiques des puits et du taux de succès dans les différentes formations géologiques.	62
3-4-3-1.	Histogrammes des taux de réussite par formations géologiques	62
3-4-4.	<u>Représentativité des résultats</u>	
	CONCLUSION GENERALE	68

2-1-2.	Exécution du forage: technique de foration	32
2-1-3.	Equipement du forage	34
2-1-4.	Essais de pompage.	34
2-2.	<u>Méthologie d'implantation des puits</u>	
2-2-1.	La photo-interprétation	35
2-2-2.	Le sondage électrique	35
2-2-3.	L'exécution du puits.	35
2-3.	<u>Hydrochimie</u>	
2-3-1.	La conductivité	42
2-3-2.	Le P.H.	42
2-3-3.	Les types d'eau.	43
Chapitre III. <u>Hydrogéologie statistique</u>		
3-1.	Introduction	44
3-2.	Données techniques retenues pour l'analyse statistique	44
3-3.	Principe de l'analyse statistique	44
3-4.	Résultats de l'analyse statistique.	45
3-4-1.	<u>Les forages positifs</u>	
3-4-1-1.	<u>Analyse statistique élémentaire</u>	
3-4-1-1-1.	Les formations sédimentaires	45
3-4-1-1-2.	Les formations cristallines	50
3-4-1-1-3.	Comparaison entre les résultat statistiques obtenus dans les différentes formations.	54
3-4-1-2.	<u>Etude des venues d'eau</u>	
3-4-1-2-1.	Méthodologie	55
3-4-1-2-2.	Résultats	55
	- Socle cristallin	55
	- Formations sédimentaires	58
3-4-2.	<u>Les forages négatifs</u>	60
3-4-3.	<u>Les puits</u>	
3-4-3-1.	Tableau des valeurs moyennes des caractéristiques des puits et du taux de succès dans les différentes formations géologiques.	62
3-4-3-1.	Histogrammes des taux de réussite par les formations géologiques	62
3-4-4.	<u>Représentativité des résultats</u>	
	CONCLUSION GENERALE	60



R E M E R C I E M E N T S

=====
=

Le présent mémoire est le fruit d'un stage de 6 mois effectué au projet d'hydraulique villageoise de la boucle du Mouhoun (Direction Régionale de l'Eau du Mouhoun).

Je tiens, à adresser, à travers ces lignes, mes remerciements à tous ceux qui ont contribué à son élaboration.

J'exprime tout d'abord ma profonde gratitude aux responsables du projet (notamment le Directeur, le Coordonnateur, le responsable du service Administratif) pour leur soutien (tant matériel que technique) et leur bienveillance.

J'adresse mes vives remerciements au Camarade Sèni FAFADNAM, Directeur régional de l'Eau, Directeur du projet, pour sa constante disponibilité, ses critiques et remarques constructives qu'il m'a prodiguées pour l'amélioration de ce travail.

Une mention spéciale va à l'endroit du Camarade KONATE Moussa, Chef du service Etude, pour son accueil fraternel, pour m'avoir encadré et assuré un suivi régulier de notre travail tout au long du stage.

Mes remerciements vont également au sein du projet, à tous ceux qui ont œuvré pour le bon déroulement de ce stage et qui ont eu à mon égard un contact franc.

Je tiens à adresser enfin, mes remerciements à la Camarade QUATTARA née DIALLO Kotimy, pour avoir assuré, malgré ses multiples tâches, la dactylographie de ce mémoire.

INTRODUCTION

L'alimentation en eau des communautés villageoises reste un problème crucial au Burkina Faso.

Elle est assurée par l'exploitation de forages et de puits qui captent les aquifères du socle ou des altérites le surplombant.

Des projets d'hydraulique villageoise ont été mis en oeuvre avec succès, mais en raison de l'ampleur des besoins non encore satisfaits et sans cesse croissants, beaucoup restent encore à faire dans ce domaine (le taux de desserte dans la zone est de 55% pour le Mouhoun, 40% pour la Kossi et 57% pour le Sourou; source : situation des points d'eau au Burkina Faso au 30 Septembre 1982 DEP, Ministère de l'eau).

C'est pourquoi pour atteindre les objectifs fixés dans le cadre de la politique nationale de l'eau, une maîtrise des ressources en eau s'impose. Celle-ci passe par :

- une meilleure connaissance et contrôle des ressources (notamment la structure des milieux captés et leurs comportements hydrodynamiques).

- une exploitation et une gestion rationnelles de ces ressources.

Les nombreuses campagnes d'hydraulique villageoise ont permis d'acquérir un très grand nombre de données.

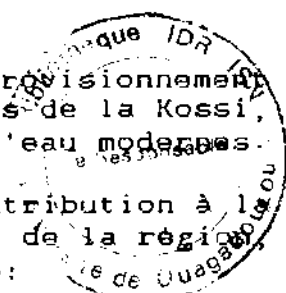
Afin de mieux concevoir les programmes futurs, il apparaît nécessaire de procéder à une analyse de ces données, analyse qui aboutira à une meilleure compréhension des mécanismes hydrogéologiques et à une optimisation de la méthodologie d'implantation des points d'eau.

C'est dans cet esprit que notre travail, effectué dans le cadre du projet d'hydraulique villageoise de la boucle du Mouhoun, a porté sur l'analyse statistique des données de forages et de puits réalisées dans la zone.

Ce projet financé par les Pays-Bas vise à l'approvisionnement en eau potable des populations rurales des provinces de la Kossi, du Mouhoun et du Sourou par la création de points d'eau modernes.

Le présent mémoire qui se veut être une contribution à la connaissance des caractéristiques hydrogéologiques de la région abordera dans son développement les points suivants:

- 1) Un aperçu des conditions naturelles de la zone d'étude : climat, végétation, hydrographie, géologie, hydrogéologie,



tectonique.

2) Un bilan de l'utilisation des méthodes d'implantations et des techniques des travaux réalisés en hydraulique villageoise : photo interprétation, géophysique, foration, sondage de reconnaissance etc...

3) Une analyse des données de base de forages et de puits réalisés dans le cadre du projet ; il s'agira notamment d'une analyse statistique élémentaire qui permettra de définir les grandes tendances hydrogéologiques à l'échelle de la région.



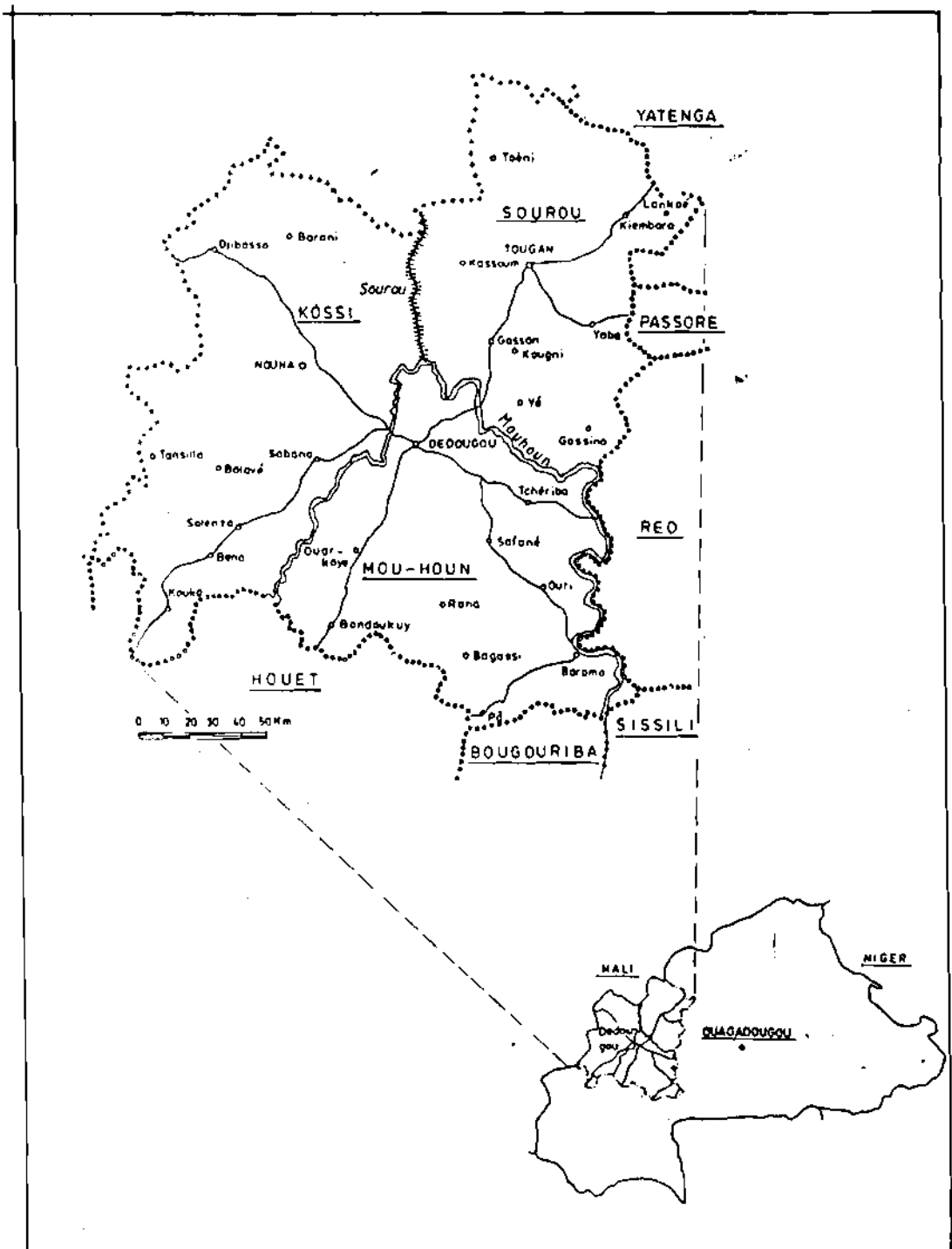
Chapitre I

GENERALITES

I-1. Description géographique.

I-1.1. Situation de la région d'étude.

Fig 1-1



La région du projet d'hydraulique villageoise de la boucle du Mouhoun est située dans la partie Nord-Ouest du Burkina (cf. fig. 1-1).

Elle s'étend sur les méridiens 2° 27' Ouest et 4° 38' Ouest et les parallèles 11° 27' Nord et 13° 41' Nord.

Elle couvre une superficie de 36.000 km² environ et regroupe les provinces de la Kossi, du Mouhoun et du Sourou.

Elle est desservie par les grandes axes routiers suivants :

Koudougou-Dédougou-Nouna-San (Mali)

Bobo-Dédougou-Tougan-Ouahigouya.

1-1-2. Climat

La région du projet fait partie de la zone Nord-Soudanienne, caractérisée à l'instar du reste du pays par l'alternance de deux saisons très contrastées: - une saison sèche de Novembre à Mai.

- une saison pluvieuse de Juin à Octobre.

Le rythme saisonnier est commandé par une influence alternée des vents sahariens et des moussons océaniques.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 500 mm au Nord et 900 mm au Sud (cf. fig. 1-2). Toutefois, les hauteurs de pluie peuvent varier considérablement d'une année à l'autre.

Les températures maximales moyennes varient entre 34°c et 40°c en saison sèche et entre 30°c et 34°c en saison pluvieuse. Les températures minimales moyennes varient entre 16°c et 26°c et entre 20°c et 23°5c respectivement.

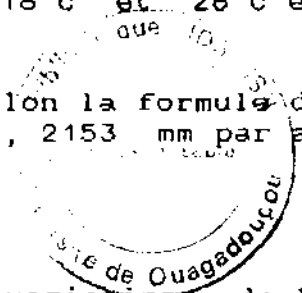
L'évapotranspiration potentielle, calculée selon la formule de Penman est de l'ordre de 1908 mm par an à Boromo, 2153 mm par an à Dédougou et 2030 mm par an à Tougan.

1-1-3. Végétation

La zonation de la végétation avec les variations de la pluviométrie est remarquable. Cependant, sous l'action combinée de la sécheresse et de l'homme (feux de brousse, agriculture, sur-pâturage), le milieu naturel a été fortement perturbé et on assiste aujourd'hui à une descente vers le sud des groupements végétaux plus septentrionaux.

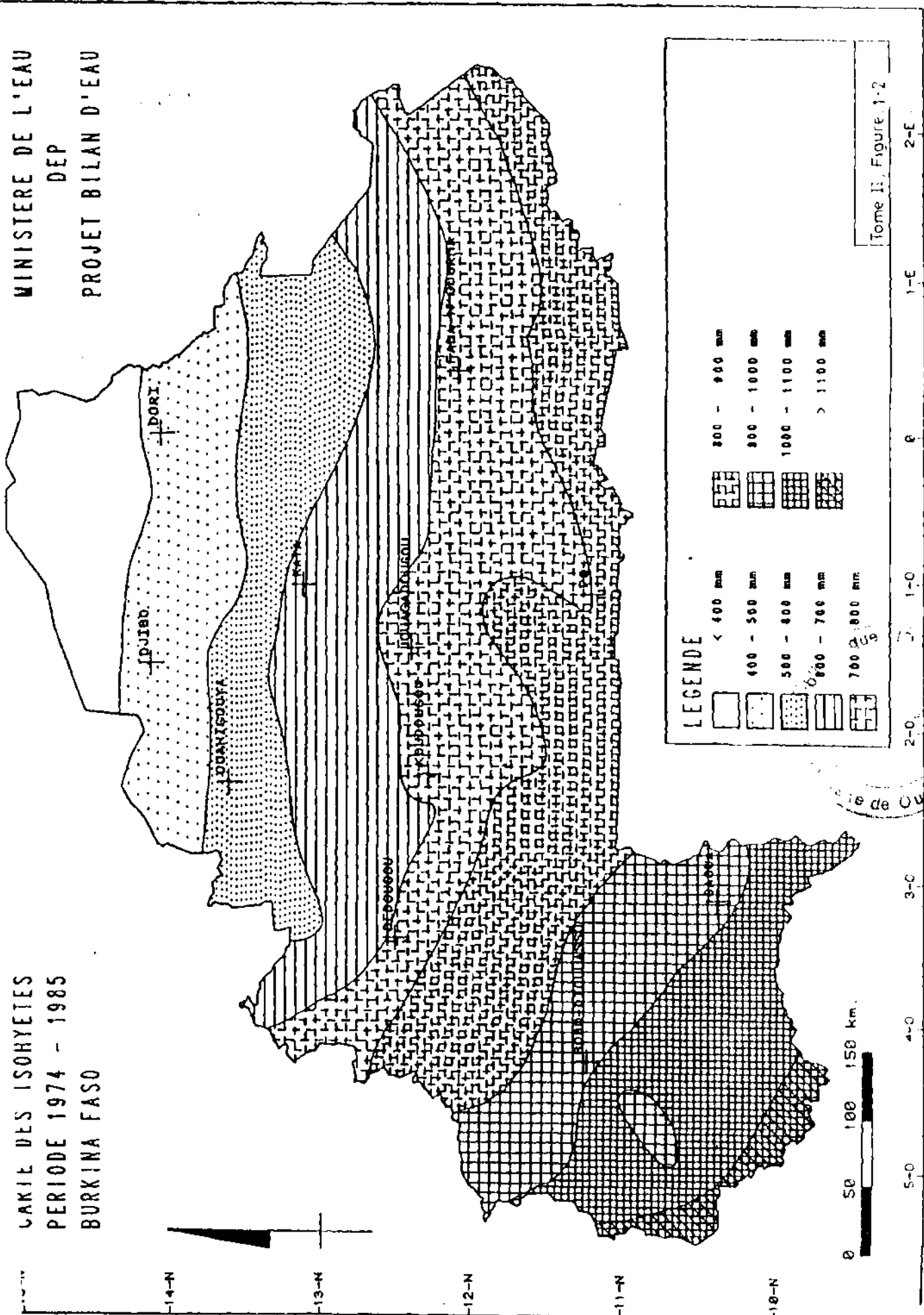
Du nord au sud se succèdent les deux formations principales suivantes :

les savanes et steppes arbustives composées essentiellement des espèces : *Sclerocarya birrea*, *Adansonia digitata*, *Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca* ... et de divers *Combretum* dont principalement *Combretum micranthum*.

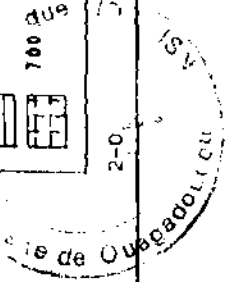


MINISTRE DE L'EAU
DEP
PROJET BILAN D'EAU

CARTE DES ISOHYETES
PERIODE 1974 - 1985
BURKINA FASO



Tome II, Figure 1-2



- les savanes boisées : ce domaine comprend des espèces telles que *Pterocarpus lucens*, *Sclerocarya birrea*, *Lannea microcarpa*, *Butyrospermum paradoxum*, de nombreux *Acacias* (*seyal*, *senegal*) etc...

1-1-4. Géomorphologie

L'armature du relief de la région d'étude est constituée de de la façon suivante :

- à l'Ouest, on a les plateaux gréseux de Bandiagara; qui d'un front abrupt, domine le paysage.

- au centre, au-dessus de la latitude de Dédougou, on a la plaine du Gondo qui forme une dépression s'étendant vers le Nord-Est.

- à l'Est, le relief s'accroît de nouveau avec les buttes tabulaires cuirassées de la zone cristalline.

Outre, la falaise de Bandiagara, les zones les plus élevées (altitude supérieure à 400 m) se limitent à un alignement de collines entre Toma et Bagassi et de quelques collines près de Samba et Ouarkoye.

Ailleurs, les altitudes varient entre 260 m et 320 m. Dans toute la région, le recouvrement latéritique est un caractère dominant du paysage, exception faite des affleurements gréseux occidentaux et des formations sableuses de la plaine du Gondo.

1-1-5. Le réseau hydrographique

La région d'étude est entièrement drainée par le fleuve Mouhoun et ses principaux affluents le Voun-hou et le Sourou.

Le Mouhoun prend sa source dans l'étage des grès à galets de quartz dans la région de Orodara et coule d'abord vers le Nord-Est. Après la confluence du Voun-hou, son cours s'infléchit vers l'Est en une courbe assez resserrée au sommet de laquelle aboutit le Sourou. Le cours aval prend alors une direction sud-est.

Le régime du Mouhoun qui reflète le rythme des précipitations a vu son module annuel diminué au cours du temps (cf. tableau 1-1).

Quant au Sourou, il a un régime très particulier; il fonctionne en affluent ou en défluent suivant la période de l'année. IL est affluent de décembre à avril pendant la saison sèche et défluent de juillet à novembre au moment des crues du Mouhoun.

Le réseau hydrographique (cf. fig.1-3), dans son ensemble, forme un système bien développé et dense au sud et à l'ouest. Cette densité diminue considérablement vers le nord, lorsqu'apparaissent les formations perméables du Continental Terminal. Un certain nombre de marigots deviennent alors endoréiques.

Ministère de l'Eau / DEP / Projet Bilan d'Eau
BEWACO : Base de données , secteur eau

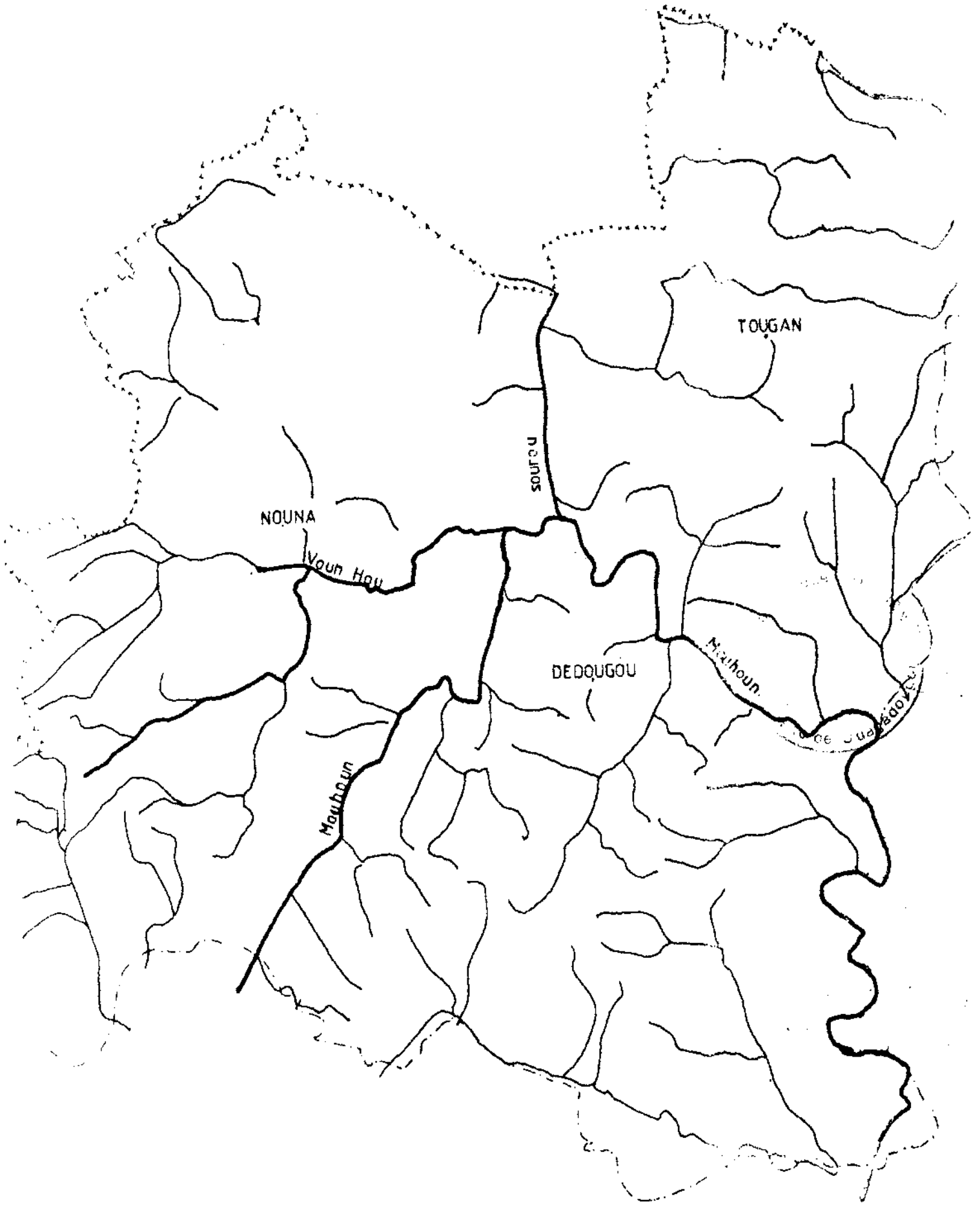
Tableau 1-1

Observations: Débits de cours d'eau

Code de la station : 1931100 - 140H
 Nom du bassin versant : Mouhoun Supér.
 Nom du cours d'eau : Mou-Houn
 Nom de la station : Nwokuy
 Coordonnées X,Y (degrés) : X = 03/33/00-O Y = 12/31/00-N
 Altitude : Z = (m)

Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne
1958	17.60	12.00	9.35	8.00	11.00	130.00	18.20	42.20	91.20	117.90	124.00	46.20	52.32
1959	25.40	14.60	10.20	8.20	10.00	12.60	13.40	33.50	72.00	89.00	89.00	27.80	33.80
1960	16.00	10.70	8.40	7.40	10.00	10.90	18.40	42.20	58.30	91.20	89.00	30.00	32.70
1961	12.80	9.20	7.41	10.22	10.12	10.51	13.50	57.70	115.00	149.92	117.93	41.97	46.53
1962	20.70	10.20	11.49	10.54	10.37	10.49	13.90	26.40	66.40	77.20	67.90	24.20	29.29
1963	12.80	9.20	10.42	10.65	11.30	10.24	12.40	22.95	63.27	108.00	89.77	55.95	33.86
1964	16.00	10.20	10.00	10.20	8.38	9.24	12.70	46.02	74.05	103.30	103.30	54.02	38.20
1965	23.50	13.70	10.20	8.60	8.54	11.50	17.20	24.20	67.40	98.10	98.80	38.40	35.80
1966	16.20	12.00	9.60	8.41	9.42	10.80	13.10	28.50	46.00	55.80	53.00	20.00	23.70
1967	10.50	8.90	6.75	6.41	6.20	10.38	10.90	26.10	58.40	72.40	77.10	27.80	26.73
1968	11.70	8.31	7.24	6.95	12.92	12.10	21.60	44.10	64.40	92.60	89.40	24.20	32.84
1969	14.00	10.20	7.44	7.72	5.85	7.36	10.40	49.10	77.20	90.00	87.10	24.50	32.70
1970	14.60	10.50	8.72	8.12	7.89	11.20	16.40	68.20	131.00	181.00	120.00	38.10	51.56
1971	18.60	12.20	9.75	8.31	8.31	12.30	13.90	33.60	74.90	88.70	46.60	15.20	29.15
1972	11.20	8.72	7.54	7.44	9.97	17.70	14.20	27.80	44.00	27.40	13.80	7.15	16.41
1973	5.40	4.22	3.64	2.25	3.27	3.30	5.32	32.20	39.70	17.10	5.11	4.16	10.66
1974	2.78	2.15	3.14	2.31	2.90	6.28	15.60	49.40	78.10	104.00	61.40	12.80	28.67
1975	7.30	5.30	4.00	3.92	5.48	8.12	18.20	32.60	53.50	68.70	52.10	14.10	23.27
1976	7.90	5.34	3.90	4.18	7.94	12.20	14.70	24.80	40.10	46.70	40.90	18.90	18.97
1977	8.78	5.62	3.98	3.10	4.17	7.48	11.70	20.20	55.00	61.20	24.90	7.75	17.83
1978	4.96	3.92	3.42	3.54	5.10	5.34	12.80	25.20	40.50	53.50	52.90	14.60	18.92
1979	6.50	4.20	3.52	2.86	3.70	22.50	29.10	43.10	65.20	88.10	75.90	13.90	30.30
1980	8.40	5.20	3.90	2.93	3.47	12.60	14.90	34.70	49.20	53.60	31.90	9.97	19.22
1981	6.11	3.96	3.20	2.85	4.26	9.80	14.10	30.00	40.80	43.90	22.80	7.23	15.75
1982	4.40	3.55	3.15	3.41	4.76	9.97	12.90	22.00	37.80	45.00	28.30	9.24	15.28
1983	5.10	3.48	2.42	2.28	3.49	7.27	9.11	17.00	22.20	19.40	4.40	3.20	8.23
1984	2.40	1.60	1.20	0.80	2.90	5.00	6.00	7.50	15.50	16.00	5.45	3.24	5.55
1985	1.41	1.11	0.89	0.72	2.04	8.40	33.30	52.70	83.60	92.50	33.20	8.84	26.63
1986	6.01	3.90	1.65	0.95	0.92	4.95	8.80	20.20	34.60	43.40	43.40	11.20	14.96
1987	5.25	3.21	2.31	1.53	0.70	10.80	6.60	14.20	33.10	41.20	22.30		
Moy.	10.00	7.22	6.08	5.55	6.54	14.09	14.84	32.71	59.77	74.52	59.26	21.76	26.61

Fig. 1-3 Réseau hydrographique



1-1-6. Contexte socio-économique

Les trois provinces de la zone du projet comptent environ 870.000 habitants avec une densité moyenne de 20 habitants au km².

Les zones les moins peuplées sont :

les falaises de Bandiagara, qui, avec les affleurements de grès sont impropres à l'agriculture.

- certaines zones le long du fleuve Mouhoun à cause de l'onchocercose.

- le centre de la plaine du Gondo, à cause du manque d'eau.

La population se répartie en six groupes ethniques principaux

les Bobo à l'Ouest de la ligne Djibasso-Nouna-Dédougou-Bagassi.

- les Marka à l'est de cette ligne.

- les Samo au nord-est des Marka dans la région de Tougan.

- les Gourounsi à l'est de Safané.

- Les Peulh au centre de la plaine du Gondo dans la région de Barani et dispersés dans toute la région.

- les Mossi, dispersés également dans toute la région.

La région connaît un flux migratoire important venant du nord et du plateau Mossi à cause de la clémence de son climat et de la fertilité de ses sols.

L'activité économique est surtout basée sur une agriculture de subsistance (notamment de céréales) et un élevage extensif.

La principale culture commerciale est le coton. Celle-ci, bien développée, se pratique surtout dans la partie sud (une usine d'égrainage est installée à Dédougou).

L'aménagement progressif de la vallée du Sourou, zone agro-pastorale importante, sera d'un grand apport pour l'économie de la région.

Les potentialités minières de la zone se résument à l'or de Foua (en exploitation), à l'indice de galène de Gan (à 45 km au Nord Est de Tougan) et aux indices de bauxites de Kosso (à 60 km environ au S.SW de Dédougou).

1-2. Contexte géologique de la zone d'étude

Les caractéristiques géologiques de la région d'étude s'intègrent dans celles de l'ensemble du socle précambrien Ouest-africain.

Celle-ci s'étend sur deux grands ensembles (cf. fig. 1-4).

Le socle cristallin à l'est, occupe environ 1/3 de la superficie.

une séquence sédimentaire à l'Ouest.

Le socle cristallin est constitué principalement de roches d'âges antebirrimien et de roches vertes et schistes épimétamorphiques appartenant aux sillons birrimiens de Houndé. Sur cet ensemble, reposent, en discordance, les formations sédimentaires précambriennes qui sont à leur tour recouvertes au nord, dans la plaine du Gondo, par les sédiments néogène du continental terminal.

1-2-1. Le socle cristallin

- Les roches granitoïdes

On distingue deux groupes:

Les roches granitoïdes concordantes et syntectoniques constituées de granites et migmatites indifférenciés, de migmatites gneissiques (âge = antebirrimien).

Les roches granitoïdes discordantes et intrusives dans les formations volcano-sédimentaires du Birrimien ; constituées par des granodiorites et des tonalites.

- Les formations métavolcano-sédimentaires

Celles-ci sont constituées principalement de roches vertes de nature neutre à basique (andesites, diabases, tufs etc) et de schistes épimétamorphiques (certains riches en micas, d'autres gréseux ou argileux). Ces formations se localisent pour la majorité dans le sud de la partie cristalline.

1-2-2. Les formations sédimentaires

1-2-2-1. La séquence sédimentaire

Ces formations, d'une épaisseur d'environ 1500 m, proviennent d'une transgression marine venant du nord et du nord-ouest entre 1300 et 1000 M.A (Précambrien A). Elles sont à prédominance schisteuse et gréseuse contenant des intercalations schisteuses et calcaire-dolomitiques. Ces sédiments sont tabulaires et à pendage généralement très faible vers l'Ouest et le Nord-Ouest. On y note la présence d'intrusions de dolérites (sills).

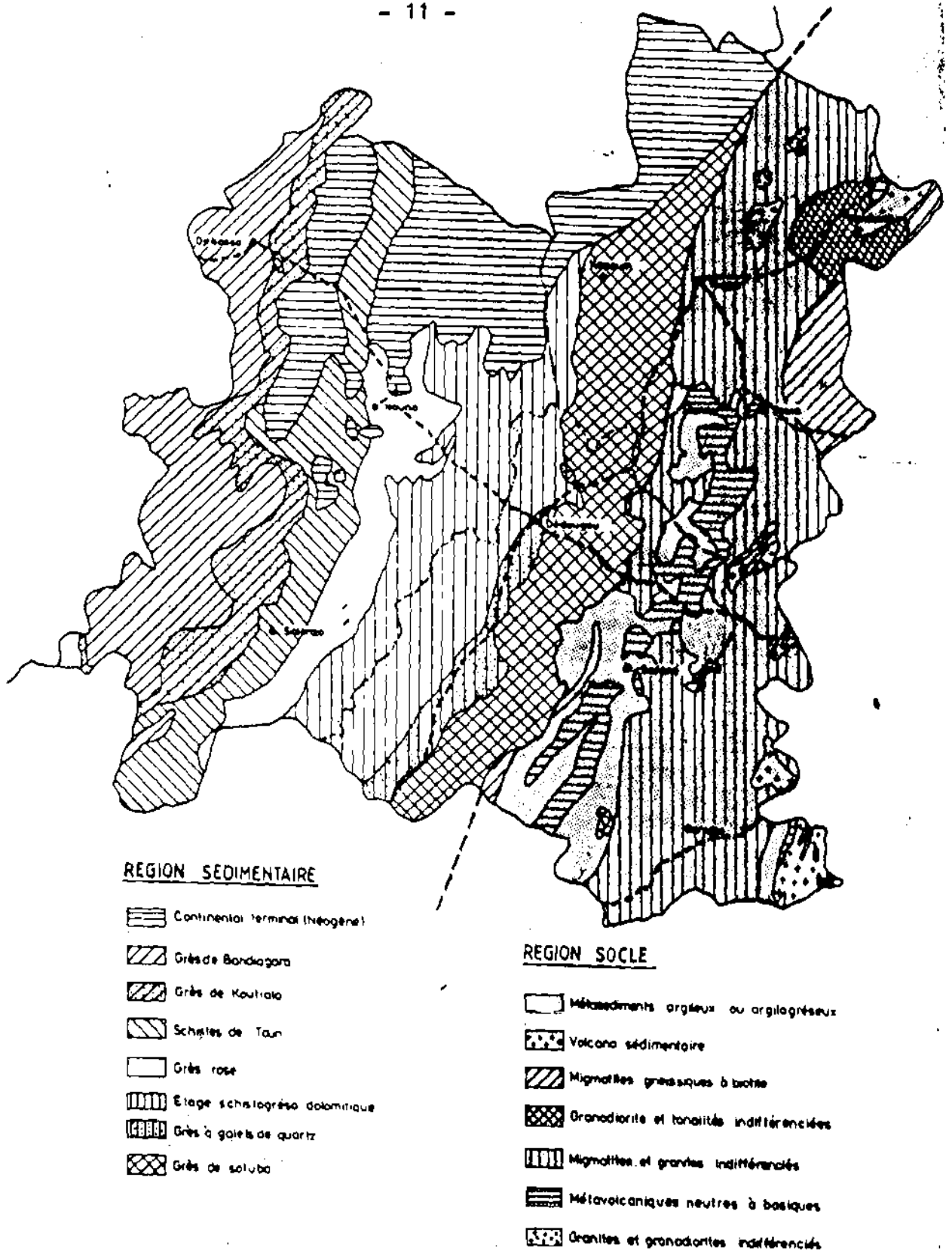


Fig 1-4 CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DU PROJET

La séquence se présente de bas en haut de la façon suivante; (S. Elgueta, 1983, fig.1-5).

- Le plus souvent et directement sur le socle cristallin, reposent les grès de Sotuba ; uniquement à l'extrémité sud de la zone d'étude, on observe les niveaux gréseux des grès de base.

Les grès de Sotuba sont principalement des grès fins et glauconieux parfois à débit schisteux. On y note également une variation de faciès exprimée par un grossissement de la taille des grains en allant de l'Est vers l'Ouest.

Les grès à galets de quartz: Ces derniers mieux représentés au sud tendent à disparaître vers le nord. Il s'agit de faciès gréseux à ciment kaoliniteux, parfois micro-conglomératiques, à galets de quartz, roulés.

Ils présentent des stratifications entrecroisées et, leur cohésion, variable, est généralement faible.

L'étage Schistogrésodolomitique: il s'agit d'une alternance de grès fins kaoliniteux, grès dolomitiques à débit schisteux, Schistes et schistes argileux. Il a été observé, dans ce domaine, trois niveaux lenticulaires de calcaires dolomitiques dont certains horizons peuvent contenir des structures stromatolitiques.

- Les grès roses: sont essentiellement des grès fins quartzitiques, homogènes, de couleur rose. Ils fournissent des matériaux d'altération très sableux.

- Les schistes de Toum: il s'agit d'une séquence à prédominance de schistes et schistes argileux renfermant des intercalations gréseuses micacées

- Les grès de Koutiala: ce sont des grès fins, bien lités, se présentant en affleurements discontinus du nord au sud. Ils sont micacés à la base, légèrement kaoliniteux et friables au sommet.

- Les grès de Bandiagara: ils représentent l'étage terminal de cette séquence précambrienne et affleurent tout au long de la marge occidentale. Ce sont des grès grossiers, quartzitiques à ciment siliceux ou kaoliniteux et sont le plus souvent conglomératiques.

1.2.2.2. Le Continental Terminal (Tertiaire)

S'étendant plus largement sur le territoire du Mali, le Continental Terminal couvre la plus grande partie du nord de la région d'étude (plaine du Gondo).

Il se compose de sédiments argileux ou argilo-sableux et d'argilles essentiellement kaoliniques, qui en certains endroits dépassent 60 m de puissance sur les séries gréseuses, schisteuses et dolomitiques.

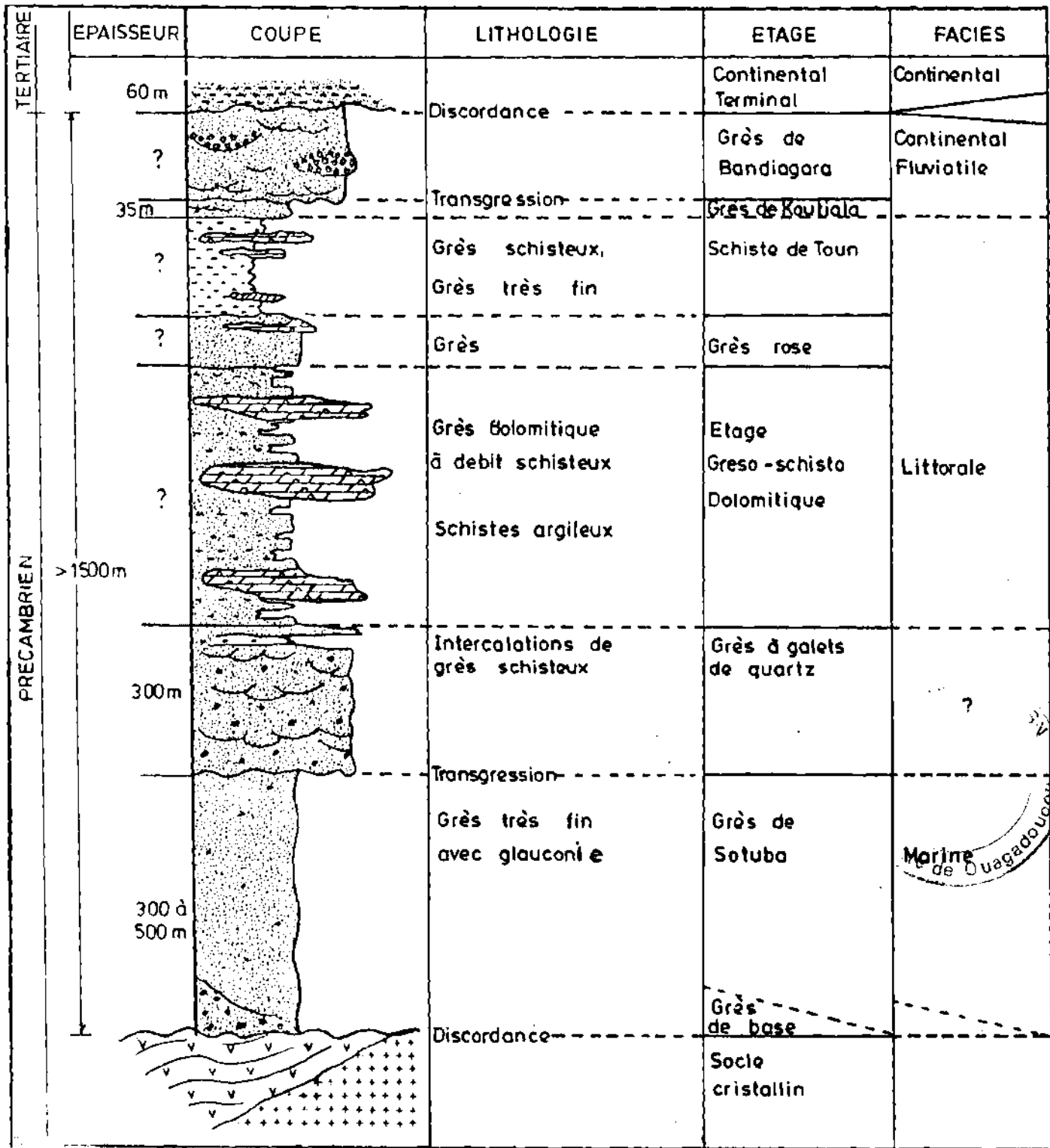


Fig 1-5 SEQUENCE SEDIMENTAIRE

Selon M. Defossez (1962), ces formations représenteraient un complexe fluvio-lacustre de piedmont dû au lessivage acide des reliefs avoisinants.

Discordants et transgressifs sur le socle et le précambrien A, ces sédiments sont surtout gréseux en bordure du premier et kaoliniques au droit du second.

1-2 2 3. Les formations récentes

- Les dépôts éoliens: le manteau éolien n'est bien représenté que dans la plaine du Gondo. Bien reconnaissable sur photo-aériennes par la localisation de la végétation en chapelet le long des interdunes, il devient difficile à identifier sur le terrain. En effet, les formes sont adoucies, les sommets sont fortement émoussés et les interdunes comblés de matériaux issues des parties hautes.

- Les formations alluviales

La surface couverte par ces formations n'est pas considérable. Elles correspondent aux dépôts et remplissages alluviaux de nature argilo-limoneuse ou sableuse du Mouhoun, Sourou et Voun-hou. Leur extension déborde les lits majeurs.

1-3. Contexte hydrogéologique

Dans la région du projet, on distingue deux unités hydrogéologiques principales correspondant aux deux familles lithologiques déjà citées, à savoir :

- le socle cristallin composé de roches acides et de roches neutres à basiques.
- les formations sédimentaires composées essentiellement de grès, de schistes et de formations argilo-sableuses.

Du point de vue hydrogéologique, il convient de noter:

- tout d'abord, que la caractéristique principale des différentes formations (exception faite des sables du continental terminal) c'est que, ce sont des roches dures, compactes, imperméables

(la porosité primaire étant négligeable (< 1%) sauf dans les grès purs comme les grès de Koutiala, les grès de sotuba, où selon Palaussi, elle peut atteindre 20%).

Ces formations sont donc stériles à l'état sain et l'eau ne peut s'y accumuler que si elles sont altérées, fissurées ou fracturées.

Les deux unités ont des comportements différents ; mais le comportement peut varier également dans une même unité en fonction du degré d'altération, de la nature du substratum et de la couverture latéritique.

En général, les ressources en eaux souterraines sont emmagasinées pour l'essentiel dans la partie supérieure altérée. Mais elles sont drainées préférentiellement par les fissures et les fractures sous-jacentes ouvertes parfois sur de grandes profondeurs.

Dans certains cas, la circulation d'eau souterraine se fera plutôt au niveau des épontes de dykes volcaniques tardifs ; et lorsque ceux-ci ont subi une altération suffisamment avancée, ils peuvent alors constituer d'excellents drains.

En principe, dans l'une ou l'autre des deux unités hydrogéologiques, on distingue une même superposition des principaux niveaux aquifères que sont :
- les aquifères du milieu fissuré
- les aquifères de la zone altérée
- les aquifères de latérites.

Cependant, les systèmes aquifères caractéristiques de la région peuvent se subdiviser en 5 groupes:

1-3-1. Les aquifères du milieu fissuré

Ce milieu correspond à une zone située au dessus de la roche saine, plus ou moins intensément fissurée et partiellement altérée vers le haut (cf. fig. 1-6).

Dans ce milieu, l'eau est stockée et drainée par le système de fissures et de fractures qui confèrent à la roche de départ, une porosité secondaire élevée et une bonne perméabilité.

La géométrie et l'étendue de ce milieu sont très variables. Les meilleurs débits et leur pérennité sont assurés par des forages qui captent ces types d'aquifères.

1-3-2. Les aquifères des altérites au-dessus de la roche dure

L'altération de la roche mère par des phénomènes physico-chimiques crée du matériel argileux et sableux de porosité plus grande. C'est surtout dans ces altérites que les ressources en eau souterraine sont contenues d'où leur importance hydrogéologique de par leur rôle capacitif.

Les aquifères des altérites dans la région sédimentaire sont plus uniformes et continues que ceux du socle cristallin. A cause de la stratification horizontale, le processus d'altération se développe principalement dans la même direction contrairement au socle où cette action se concentre dans les zones fracturées.

Le captage de ces aquifères, pour l'essentiel, se fait au moyen de puits traditionnels ou modernes ou de forages.

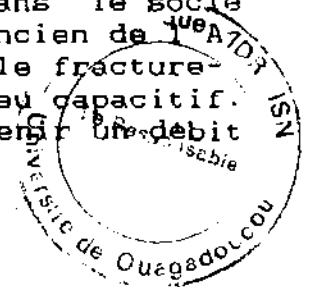
De nombreuses observations hydrogéologiques ont montré que les aquifères des altérites sont en contact hydraulique avec ceux du milieu fissuré. C'est pourquoi, la recherche d'eau dans le socle cristallin et cristallophyllien et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest, est axée sur la recherche du couple fracture-altération qui associe un milieu drainant à un milieu capacitif. Ce n'est que dans ces conditions que l'on peut obtenir un débit exploitable et pérenne.

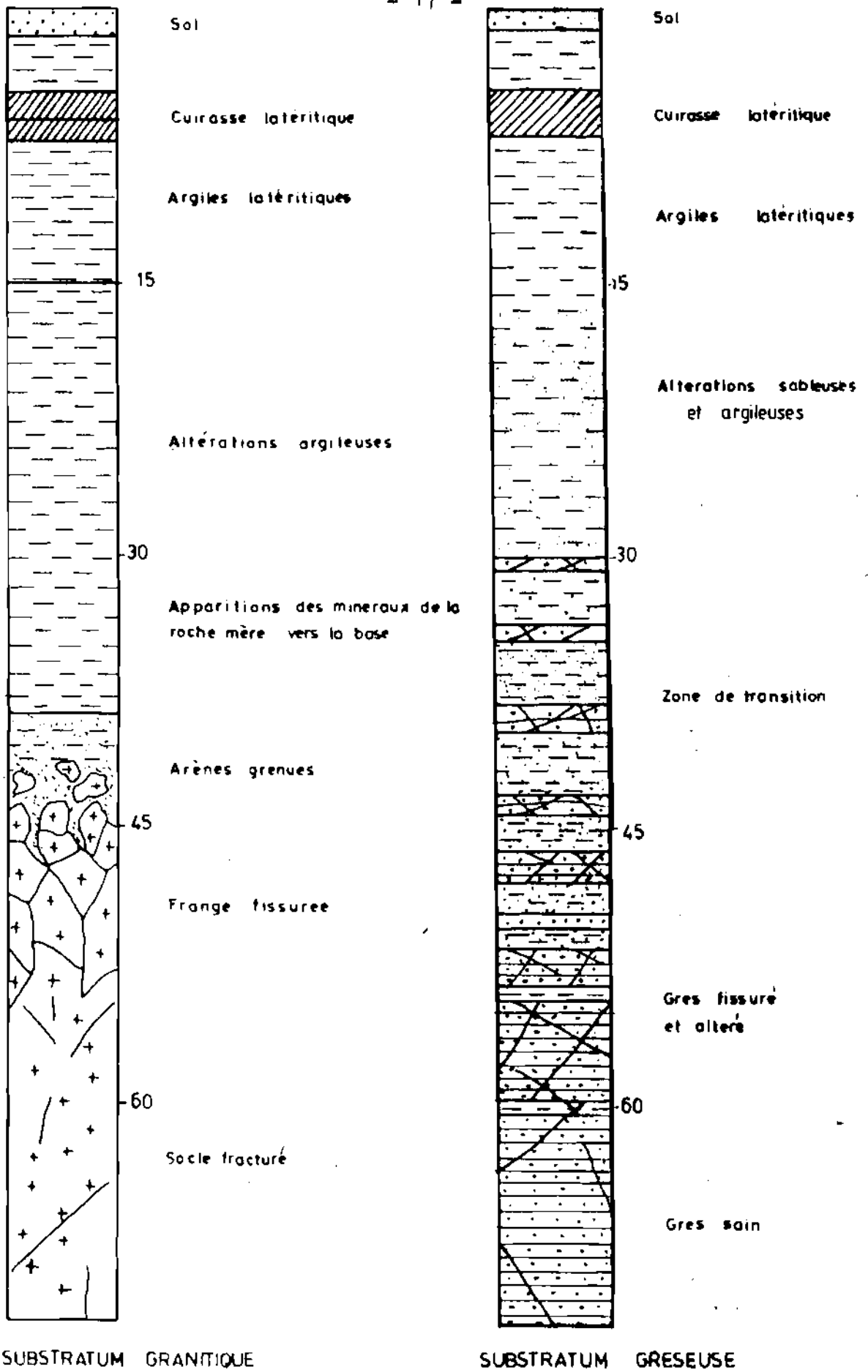
1-3-3. Les aquifères de latérites

Ils correspondent aux aquifères superficiels perchés qui se développent au niveau des cuirasses. Ils se trouvent dans les plateaux cuirassés qui se sont développés sur un substratum de roches vertes, de schistes (dont les altérites sont très argileuses) ou d'argilites.

La faible profondeur du niveau piézométrique de ces nappes les expose à une reprise évapotranspiratoire importante, les amenant à être trop tributaire du régime interannuel des précipitations

Ces aquifères sont exploités au moyen de puits, et ils peuvent avoir une importance locale, par exemple dans la région de





SUBSTRATUM GRANITIQUE

SUBSTRATUM GRESEUSE

Fig 1-6 COUPES TYPES

Nouna où ils sont productifs pendant toute l'année.

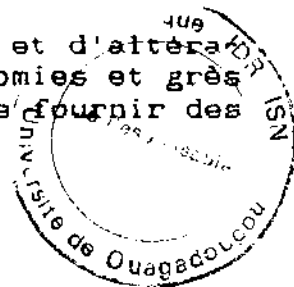
1-3-4. Les aquifères des sédiments alluviaux des marigots.

Ces aquifères, d'extension réduite, sont liés aux dépôts argilo-sableux des cours d'eau dans les bas fonds. Ils constituent des nappes superficielles temporaires perchées. On les exploite au moyen des puisards (1 à 5 m de profondeur) qui tarissent généralement après l'hivernage à cause de l'évapotranspiration et du drainage profond.

1-3-5. Les aquifères du continental terminal.

Vue la nature argileuse, argilo-sableuse des sédiments du continental terminal et où les niveaux statiques sont très bas, l'importance de ce dernier est restreinte.

Néanmoins, le captage de la zone de fissuration et d'altération plus ou moins développée des schistes, dolomies et grès constituant le substratum de la région est à même de fournir des débits exploitables.



1-4. Tectonique.

- Le socle cristallin: l'architecture profonde du socle cristallin de la région du projet à l'instar du reste du pays résulte des effets conjugués de deux orogénèses: libérienne (2660-2350 MA) et éburnéenne (2300-1500 MA).

La tectonique d'ensemble, des roches granito gneissiques et migmatitiques datant du libérien, est difficile à préciser car les structures originelles ont rarement été conservées. Elles ont été reprises par l'orogénèse éburnéenne, limitant de ce fait une reconstitution structurale.

Les formations volcano-sédimentaires de la région sont liés à l'orogénèse éburnéenne qui a débuté par un stade précoce de fracturation du bâti libérien suivant la direction NNE à NE. Les sillons ont été ensuite envahis par la mer et remplis de formations d'origine sédimentaire et volcanique. Pendant les phases tectoniques majeures de cette orogénèse, ces formations ont été métamorphosées dans l'épizone, puis fortement plissées.

La direction dominante des structures comme les failles, diaclases et les intrusions doléritiques varie de Nord 0° Est à Nord 50° Est.

Les formations sédimentaires du précambrien sont tabulaires avec un pendage faible des couches (2° à 6° vers le Nord-Ouest)

Selon J. Marcelin, le style de déformation qui les affecte serait de faibles ondulations peu accusées.

- Le Continental Terminal (Plaine du Gondo): forme un phénomène particulier.

Selon Defossez (1962), la dépression du Gondo, résulte à l'éocène supérieure et oligocène d'un brusque contre-coup du plissement alpin. La plaine ne serait pas un fossé d'effondrement, mais plutôt le flanc Est d'un grand synclinal dont l'axe pourrait se trouver très grossièrement sous le cours actuel du fleuve Niger.

Mais, à la suite d'une étude de la région par images Landsat, l'hypothèse selon laquelle l'origine de la plaine du Gondo serait tectonique a été émise.

En effet, l'interprétation de ces images en complément aux photo-aériennes a montré que les linéaments de grande importance suivent les limites de la plaine.

- Etude des linéaments

Cette étude, réalisée à partir de photo aériennes et de l'imagerie satellite, a permis de dresser une carte de synthèse

des linéaments de la région du projet (cf. fig.1-7).

L'ensemble des interprétations a abouti aux résultats suivants

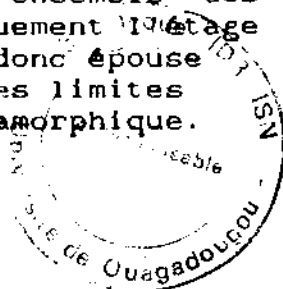
.le sédimentaire est aussi fracturé (ou tout au moins comporte de très nombreux linéaments) que le socle cristallin.

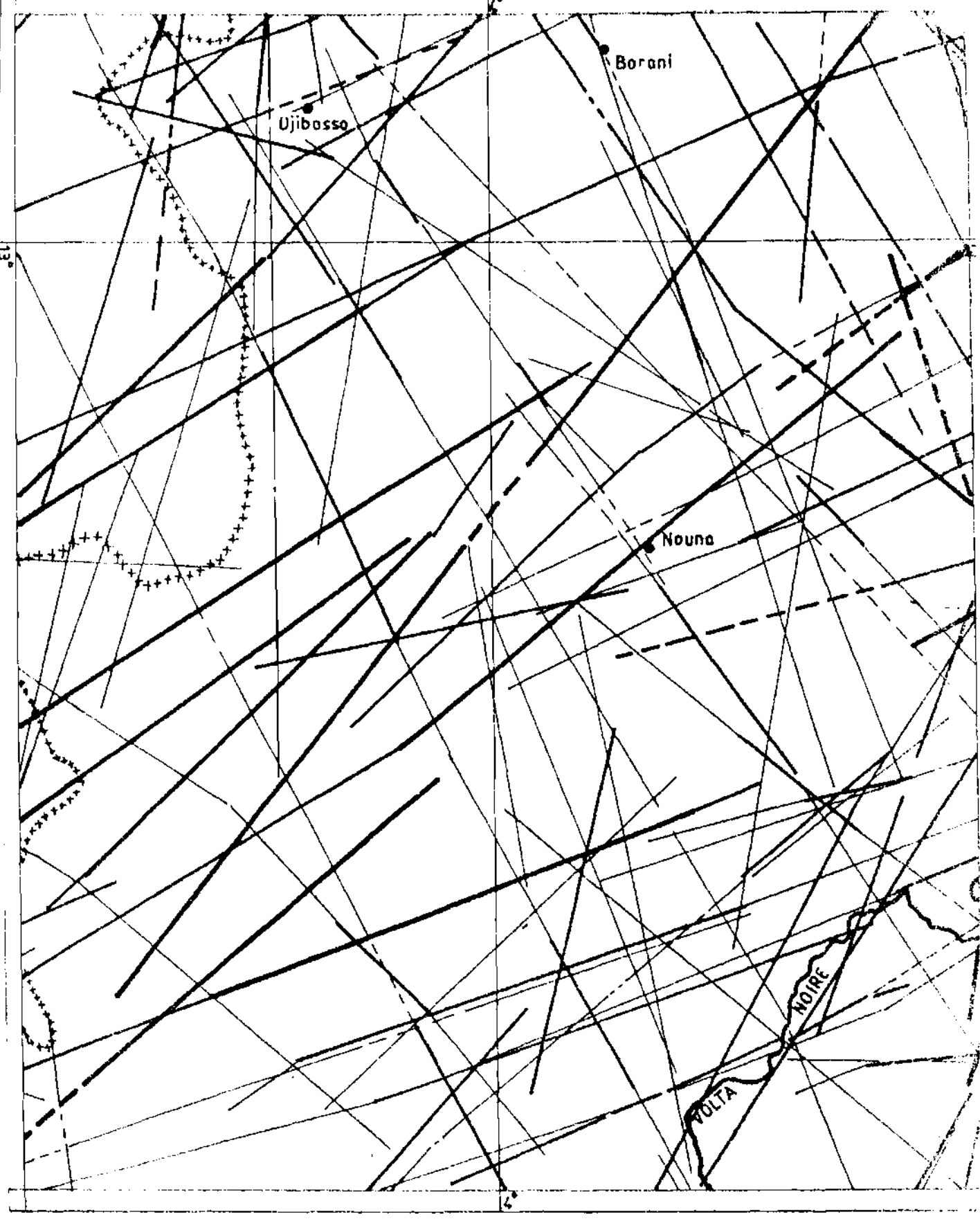
les linéaments principaux affectent l'ensemble des séries géologiques mais avec une concentration dans certaines zones. Ils marquent surtout le socle cristallin, les grès de Sotuba, de Koutiala et de Bandiagara. Une grande concentration de linéaments principaux se situe au niveau du coude du Mou-houn dans une bande triangulaire. Cette zone de faible résistance matérialise le changement de direction du dit fleuve et la confluence du Sourou.

les linéaments secondaires et tertiaires, ont une répartition variable, mais ont tendance à se concentrer sur les grès roses, l'étage schisto-grésodolomitique, le volcano-sédimentaire et la bordure sud du continental terminal.

le diagramme de rose des linéaments fait ressortir deux grandes directions principales se recoupant presque à angle droit. Ce sont l'orientation NE-SW centrée sur 40° , 50° E et l'orientation NW-SE centrée sur 70° W. Un nombre réduit de linéaments prend la direction N-S.

Les deux directions principales affectent l'ensemble des séries; Cependant, l'orientation N-S marque uniquement l'étage schisto grésodolomitique et les grès de Sotuba et donc épouse probablement la direction des schistosités et même les limites entre le sédimentaire et le socle cristallin et métamorphique.





Echelle 1/500.000

- | | | | |
|---|------------------------|---------|----------------------|
| — | Linéaments principaux | - - - | Linéaments probables |
| — | Linéaments secondaires | - - - | |
| — | Linéaments tertiaires | + + + + | Frontiere |

Fig. 1-7 extrait de la carte de synthèse des linéaments

Chapitre II METHODOLOGIE ET TECHNIQUE DES TRAVAUX REALISES

2-1. Présentation sommaire des différentes étapes menant à la réalisation d'un forage équipé d'une pompe.

Ces étapes sont les suivantes :

- l'enquête des ressources en eau et l'animation des villages.
- les études d'implantation des sites.
- l'exécution du forage.
- l'essai de pompage si le forage est positif.
- l'analyse chimique d'un échantillon d'eau.
- la construction des superstructures et l'installation de la pompe Volanta.
- l'animation finale.

Dans la suite du développement de ce chapitre, nous procéderons essentiellement à la description des étapes auxquelles nous avons participé plus ou moins activement.

2-1-1. Methodologie des études d'implantation des forages

L'objectif d'une étude d'implantation est de désigner le site du futur forage. La méthode, classiquement employée, dans le cadre des programmes d'hydraulique villageoise, peut se décomposer en quatre phases complémentaires:

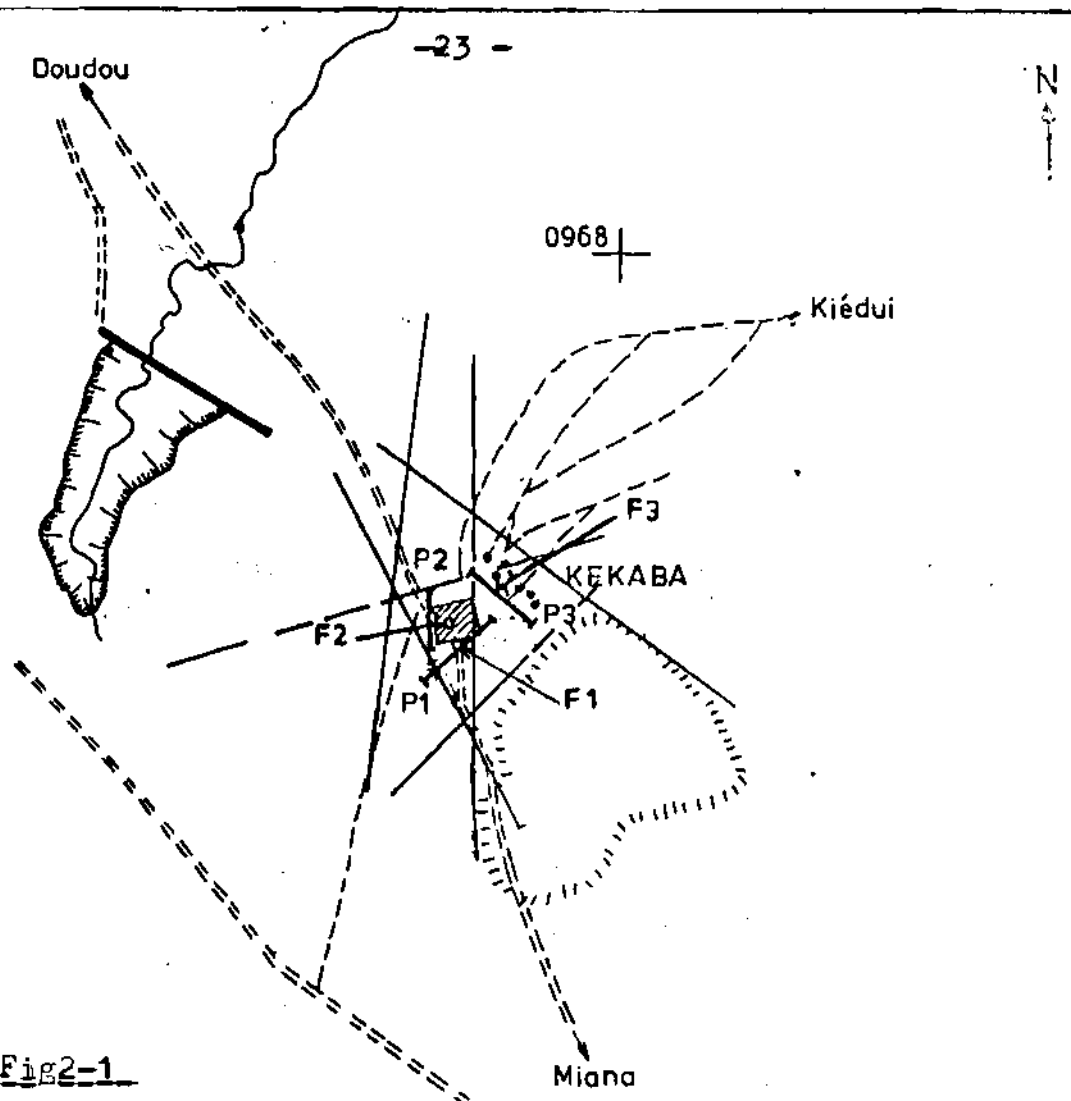
2-1-1-1. Les études de base

Elles consistent à la localisation des villages sur les cartes, à l'étude des documents disponibles sur la zone et à une première approche de l'environnement géologique, climatologique, hydrogéologique, géomorphologiques.

2-1-1-2. La photo-interprétation (fig.2-1).

La photographie aérienne est le document le plus précieux en hydrogéologie du socle cristallin et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest. Son interprétation permet, en plus de la définition d'éléments d'ordre morphologique (tels que les plateaux, versants, bas-fonds, allure du réseau hydrographique) et géologique (localisation des affleurements), le levé rapide et précis, donc peu coûteux des réseaux de fractures utilisées pour le positionnement des forages.

Ce levé concerne à priori tous les alignements morpho-structuraux décelés sur les documents aériens par la végétation,



LEGENDE Fig2-1

- | | | | | | |
|----|--------------------|--|--------------|--|---|
| F1 | Forage N° 321 | | Marigot | | Route principale |
| F2 | Forage N° 322 | | Bas-fonds | | Route secondaire |
| F3 | Forage N° 328 | | Barrage | | Habitation groupées |
| | Forage positif | | Colline | | Habitation dispersées |
| | Forage négatif | | Escarpement | | Centre photo
aérienne avec
N° d'ordre |
| O | Puits inventorié | | Affleurement | | UNIVERSITÉ de Ouagadougou |
| | Photo-linéament | | Cuirasse | | |
| P1 | Profil géophysique | | | | |

Client **Projet hydraulique villageoise
- Boucle du Mouhoun -**

Objet **MOUHOUN PHASE III**

Description **CARTE DE PHOTO INTERPRETATION- KEKABA**

Dessiné Vu
Figure numéro Date
Dessin numéro

IWACO
Bureau d'Etudes
en Eau et Environnement
BP 2523, Ouagadougou Burkina Faso
Siège
BP 183 3000 AD Rotterdam
Pays Bas

les variations de teinte du sol et le tracé des marigots. Les pourcentages de succès basés sur la fracturation seule, rejettent au second plan l'intérêt de la géophysique.

2-1-1-3. Les études de terrains

Elles permettent à l'hydrogéologue de faire le maximum d'observations possibles d'ordre géologique, géomorphologique, hydrogéologique, hydrographique et de compléter ainsi les données déjà acquises. Cette étape permet de réaliser l'inventaire des points d'eau. Un entretien consécutif avec les autorités villageoises l'autorise à prendre en considération les contraintes socio-économiques du village et les desiderata des villageois.

Au terme de la visite du terrain, l'hydrogéologue, tenant compte des observations de l'environnement géologique (épaisseur de la frange altérée, niveau piézométrique, nature du substratum...) des contraintes socio-économiques, des moyens d'accès, pourra :

- soit réaliser une implantation si les données sont suffisantes;
- soit définir un périmètre dans lequel il sera nécessaire de mener des investigations complémentaires.

Ces investigations complémentaires font le plus souvent appel aux méthodes de prospection géophysique.

2-1-1-4. Les études géophysiques

Celles-ci, fréquemment employées pour confirmer ou infirmer les hypothèses de l'hydrogéologue, sont généralement utilisées dans des régions difficiles où lorsqu'on recherche de gros débits.

La prospection géophysique permet :

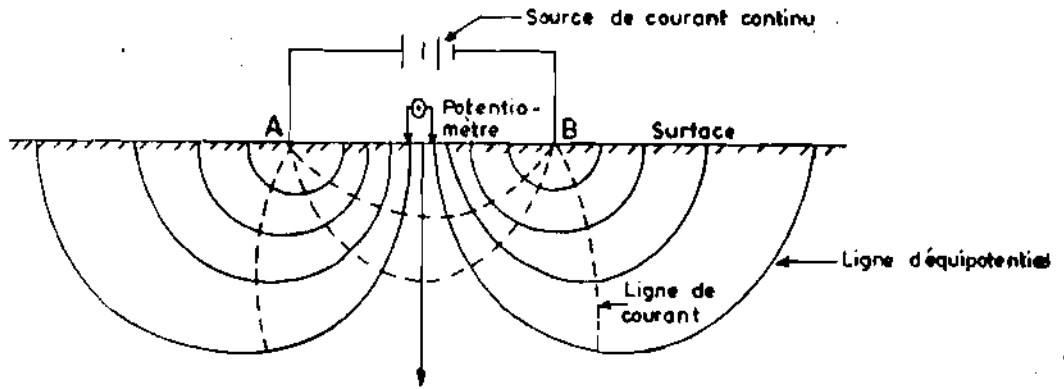
- la localisation précise des fractures lorsqu'elles existent.
- d'appréhender la nature du sous-sol et l'épaisseur de l'altération.

Au cours des travaux de géophysique des campagnes de forages, deux méthodes ont été utilisées. Il s'agit de :

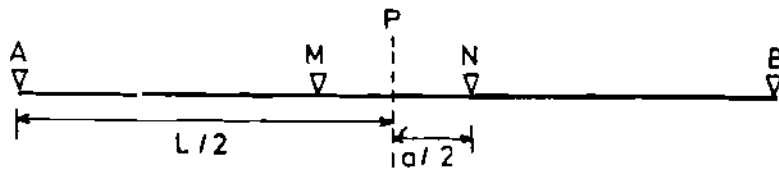
- la méthode géo-électrique.
- la méthode électro-magnétique.
- La méthode géo-électrique par courant continu

La méthode utilise un quadripôle comportant un circuit d'injection AB et un circuit de réception MN qui permet de mesurer la différence de potentiel. Le but est de déterminer les caractéristiques électriques du sous-sol en mesurant les

METHODE GEO-ELECTRIQUE : SECTION VERTICALE



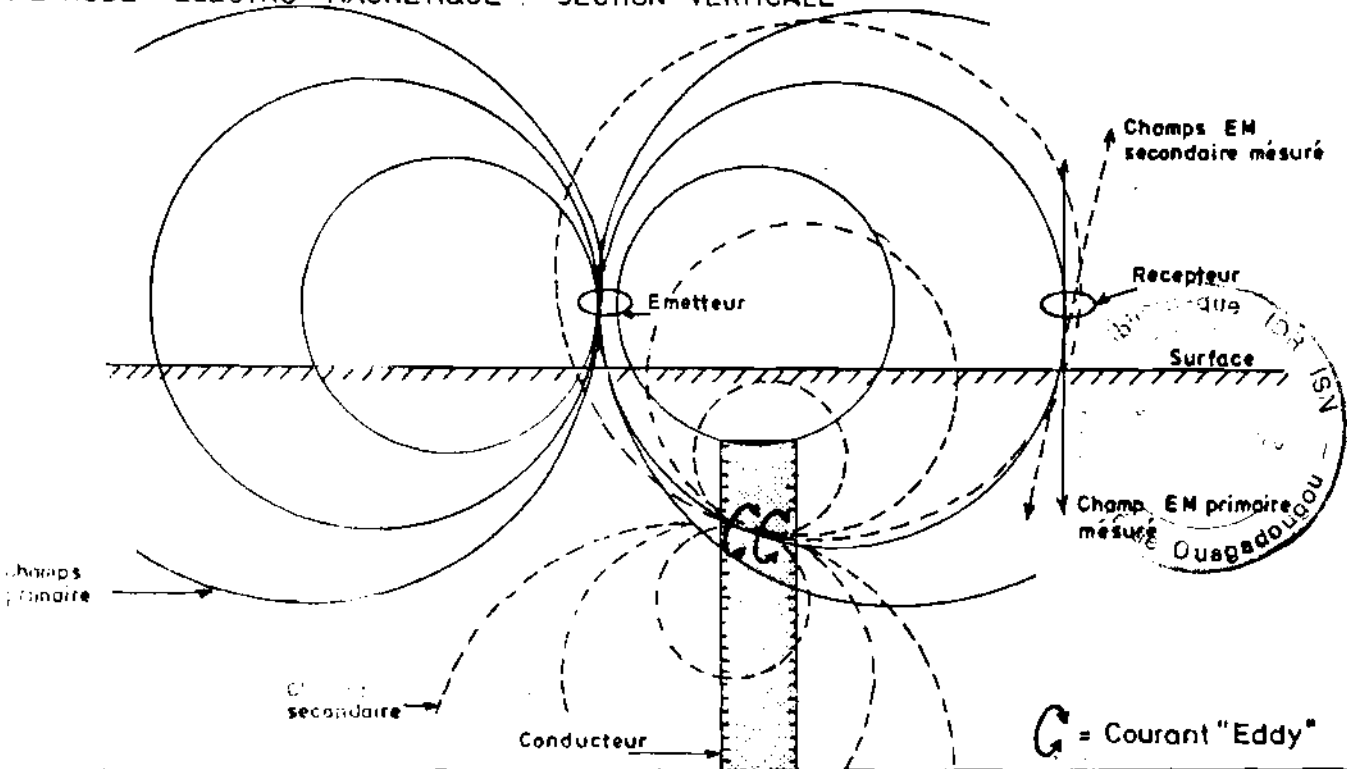
DISPOSITIF APPLIQUÉS : SCHLUMBERGER : $a \leq L/3$



A, B : électrodes de courant
 MN : électrodes de potentiel
 P : point de mesure

Fig. 2-2

METHODE ELECTRO - MAGNETIQUE : SECTION VERTICALE



Projet hydraulique villageoise
 - Boucle du Mouhoun -

MOUHOUN PHASE III

Dessine Vu

U.T

Figure numero

Date

Dessin numero

IWACO

Bureau d'Etudes
 en Eau et Environnement
 B.P. 2523, Ouagadougou, Burkina Faso
 Siège
 B.P. 184, 3000 AD Rotterdam
 Pays Bas

METHODE GEO-ELECTRIQUE ET
 ELECTRO - MAGNETIQUE

Fig 2.3

résistivités apparentes des terrains.

L'application de la méthode a consisté a l'exécution selon le dispositif Schlumberger (MN reste petit devant AB) (cf: fig. 2-2).

- de profils de résistivité (fig.2-4 et fig.2-5) qui permettent de mesurer les variations latérales de faciès et de structures. Le quadripôle est trainé le long d'un profil en gardant des distances fixes entre les électrodes. Les mesures ont été effectuées avec des longueurs de ligne MN=40m et AB=200m.

- des sondages électriques (fig.2-6 et fig.2-7) qui permettent de mesurer les variations verticales de la résistivité apparente du sous sol par un allongement progressif de la ligne AB. Contrairement au profil de résistivité, le point de mesure reste fixe au cours d'un sondage.

- La méthode électro-magnétique

L'application de cette méthode a consisté à l'exécution de profils électromagnétiques (fig.2-3) avec des appareils APEX MAX-MIN. II et S.G.U.

Le principe de la méthode est la suivante (cf. fig.2-3), un champ électromagnétique est créé par une bobine portative; l'émetteur; les ondes émises pénètrent dans le sol et en présence d'un corps conducteur, il apparaît un champ secondaire induit qui perturbe le champ primaire. Ce sont ces perturbations qui sont mesurées au niveau d'une seconde bobine, le récepteur, placé à une distance fixe de l'émetteur.

Dans le récepteur, le champ secondaire est séparé du champ totale qui est mesuré et décomposé en mesures "in phase" et "quadrature".

La variation de ces deux mesures reflète la variation de la conductivité du sous-sol.

La méthode a été surtout et beaucoup utilisée sur le socle cristallin (dans les schistes et roches vertes notamment), toujours en combinaison avec la méthode électrique.

Remarques

- Les profils géophysiques: en général les profils géophysiques exécutés sur le sédimentaire présentent moins d'anomalies significatives que ceux exécutés sur le socle cristallin. En outre, la correspondance entre les anomalies géophysiques et les linéaments est faible au contraire du socle cristallin.

- Les sondages électriques: les résistivités spécifiques des argiles provenant des roches basiques sont souvent faibles. Les altérations des roches acides et des grès sont plus sableuses et donnent des résistivités spécifiques plus élevées.

Fig 2.4 Exemple de profils électriques dans le sédimentaire

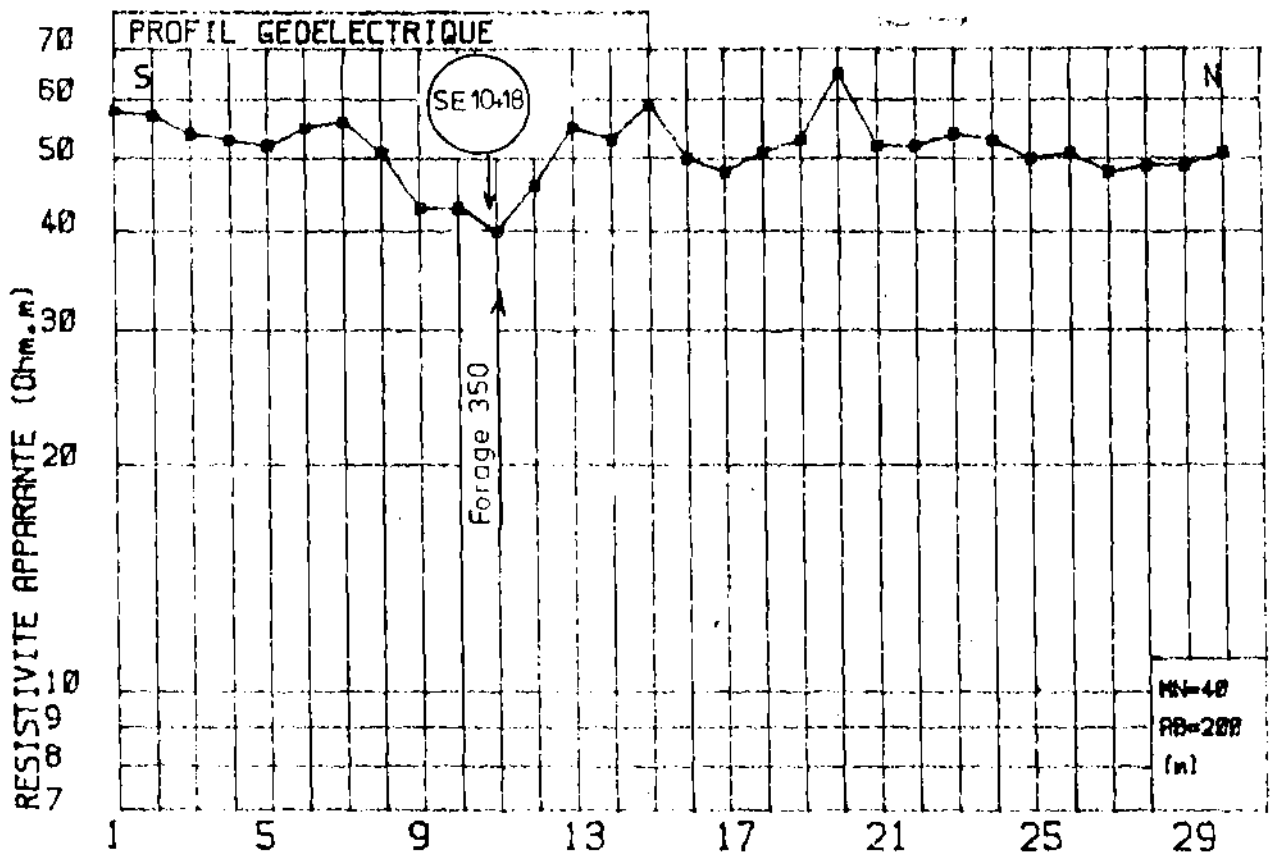
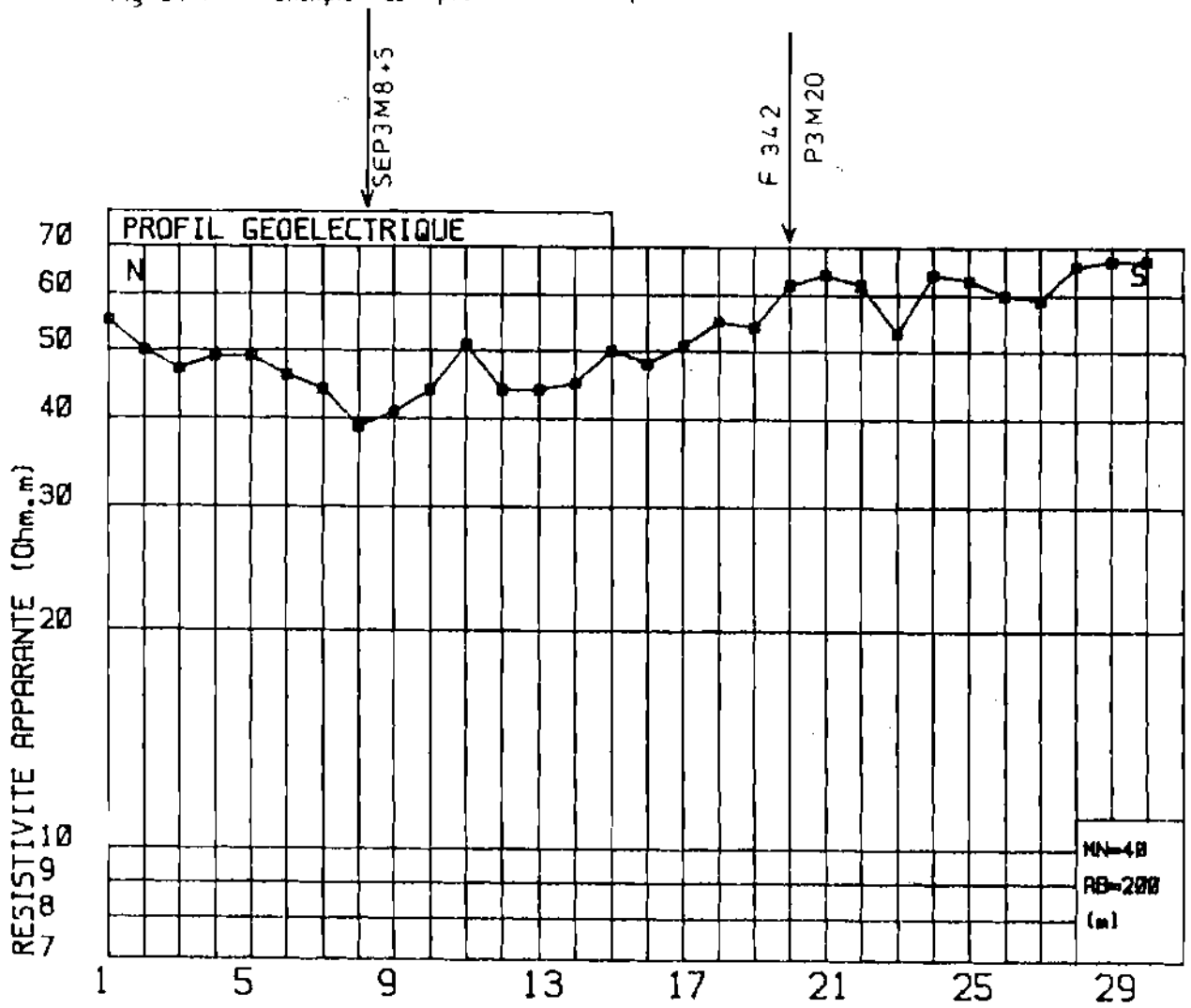
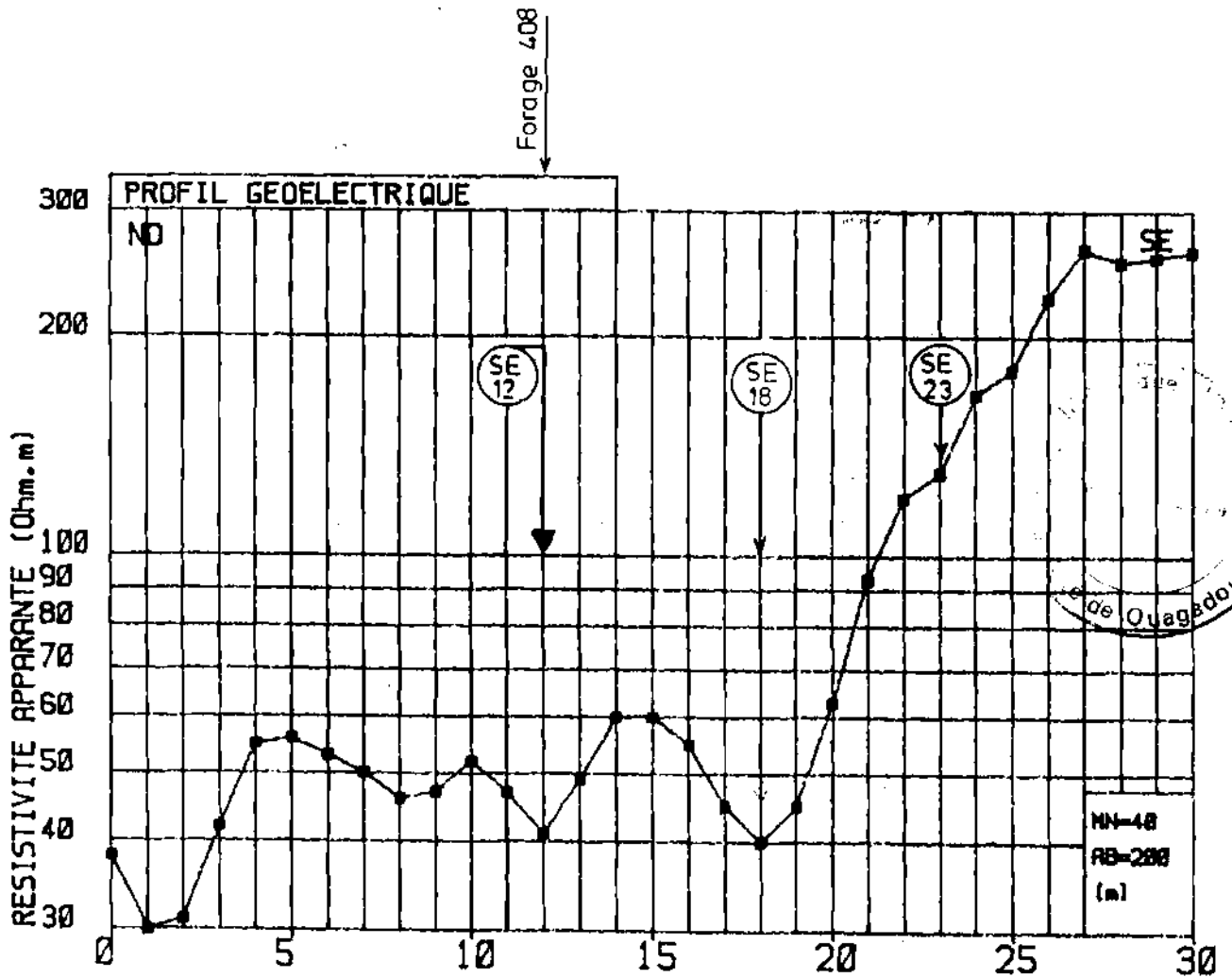
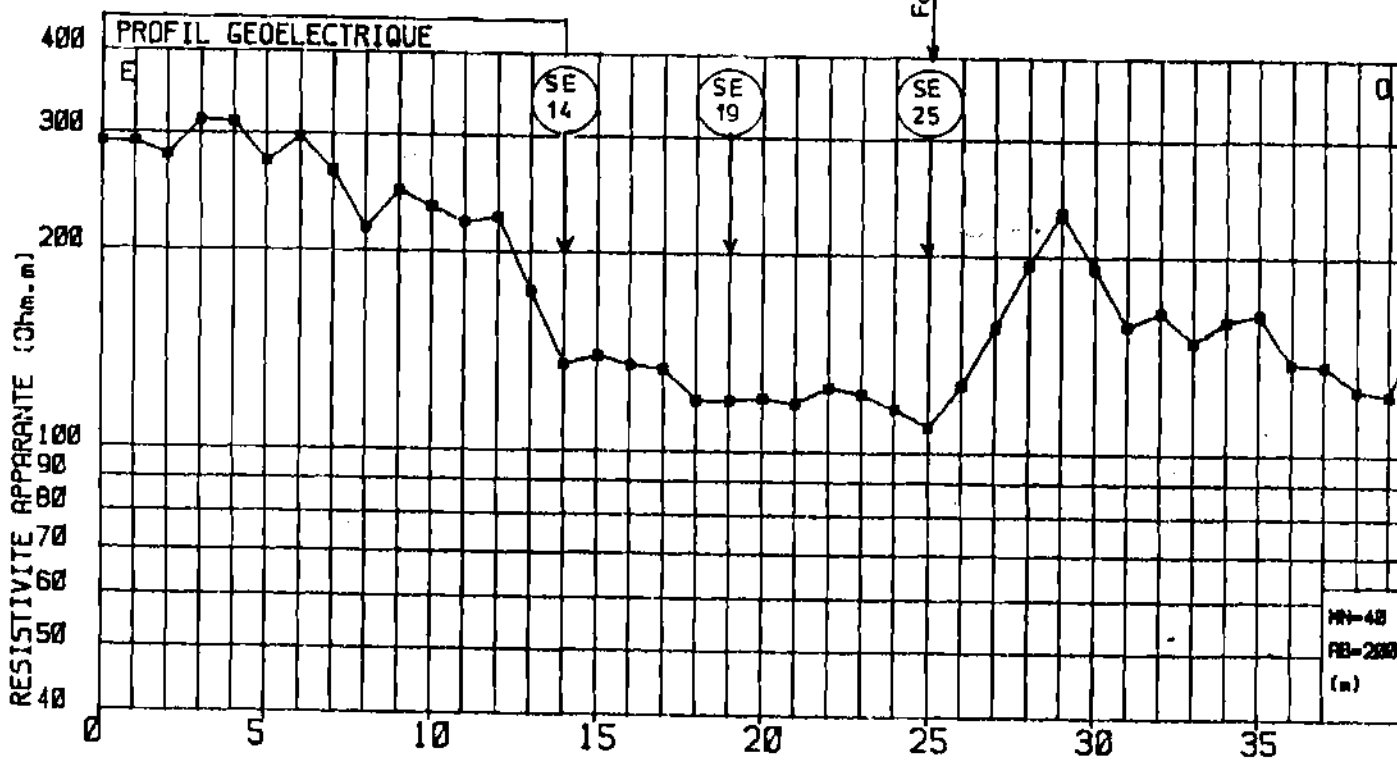


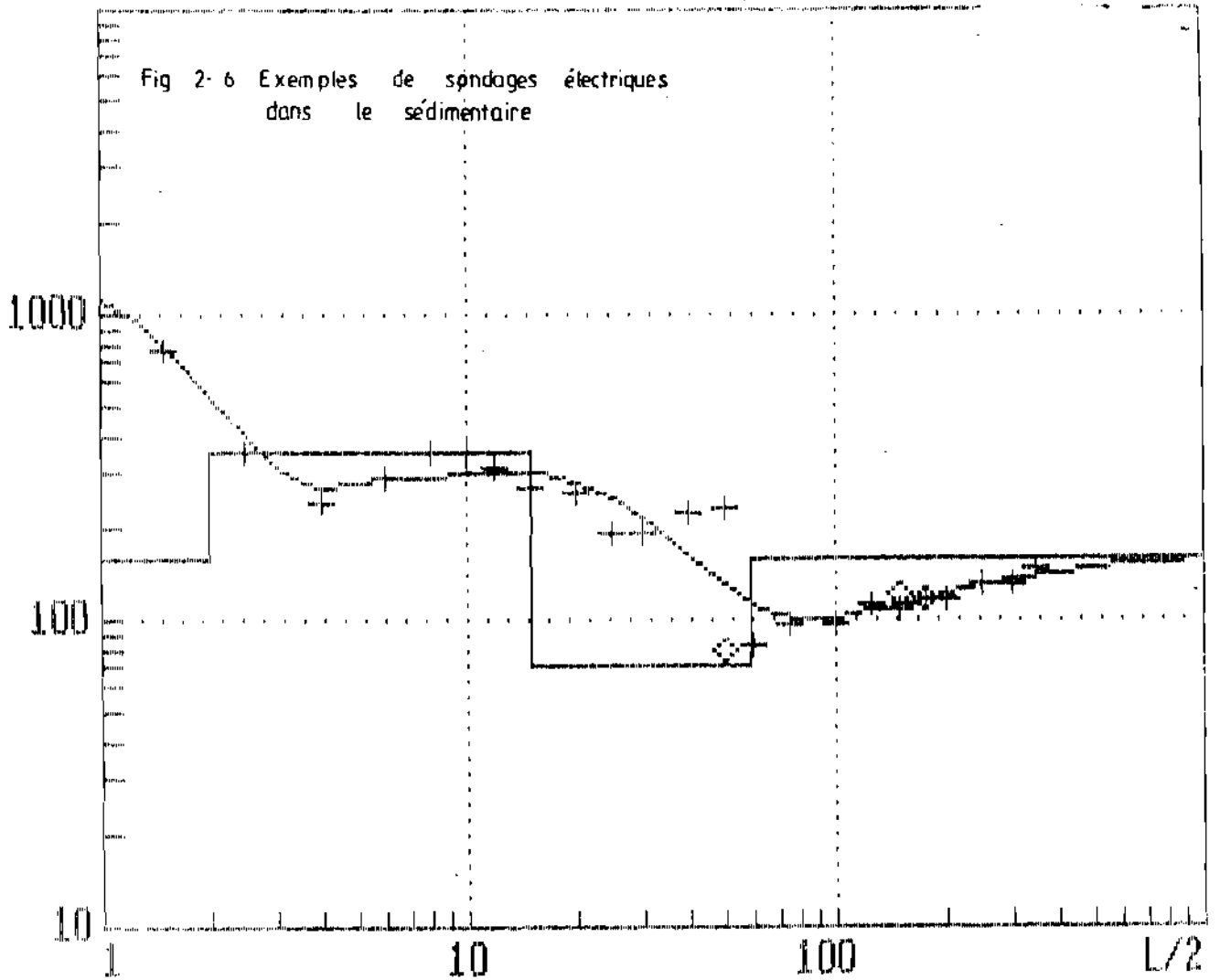
Fig 2-5 Exemples de profils géoélectriques dans le sode



de Ouagadougou

Fig 2-6 Exemples de sondages électriques dans le sédimentaire

RESISTIVITE (ohm-cm)



RESISTIVITE (ohm-cm)

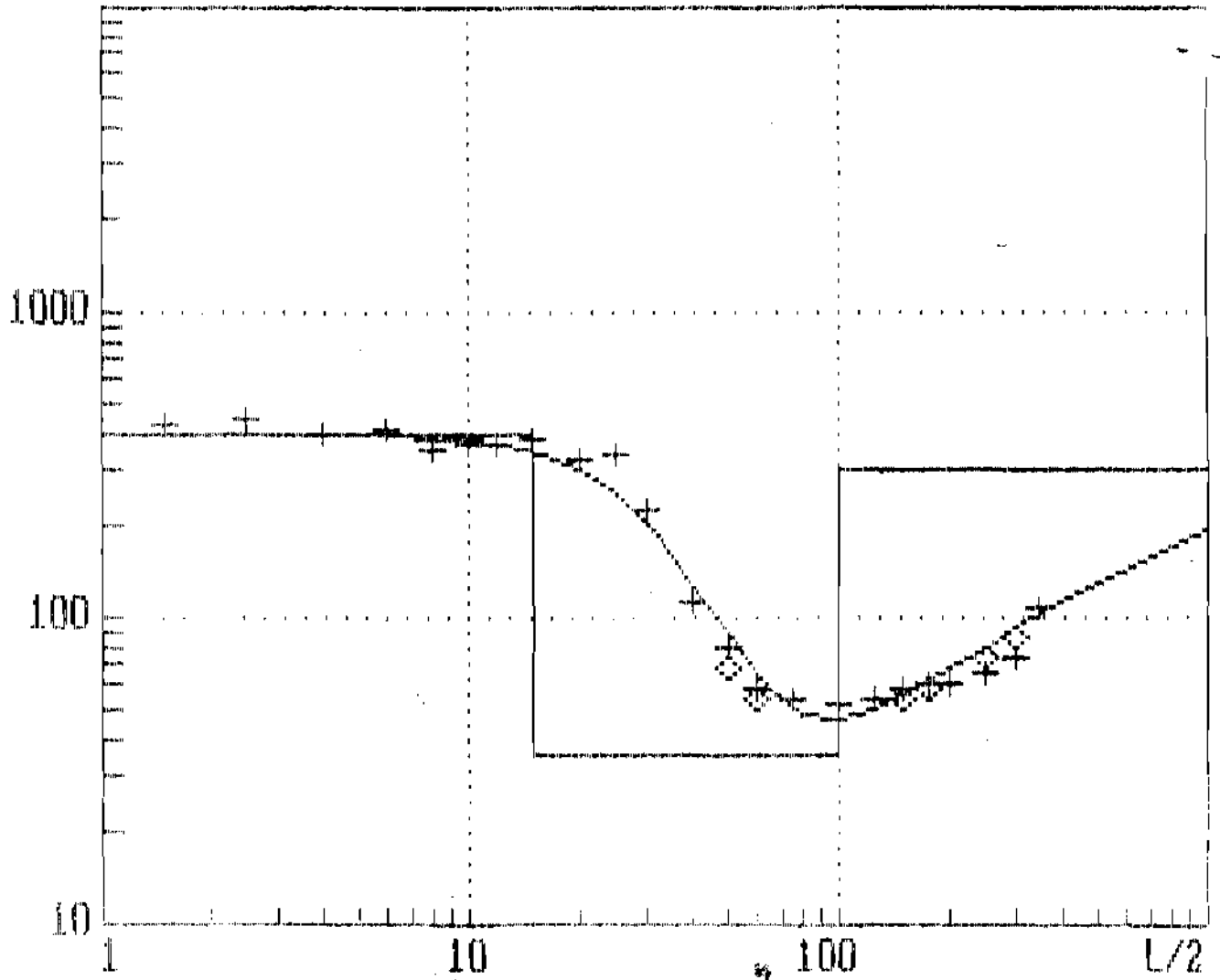
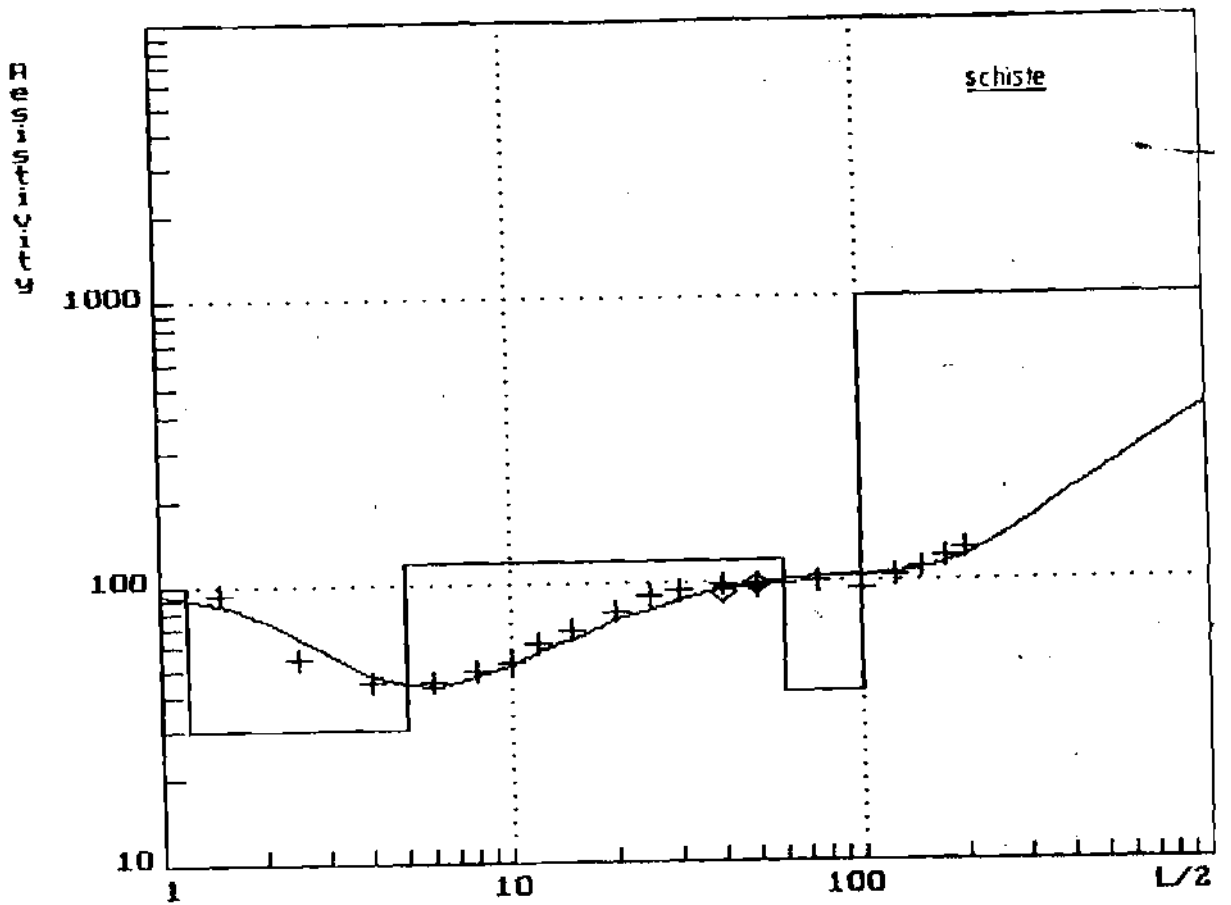
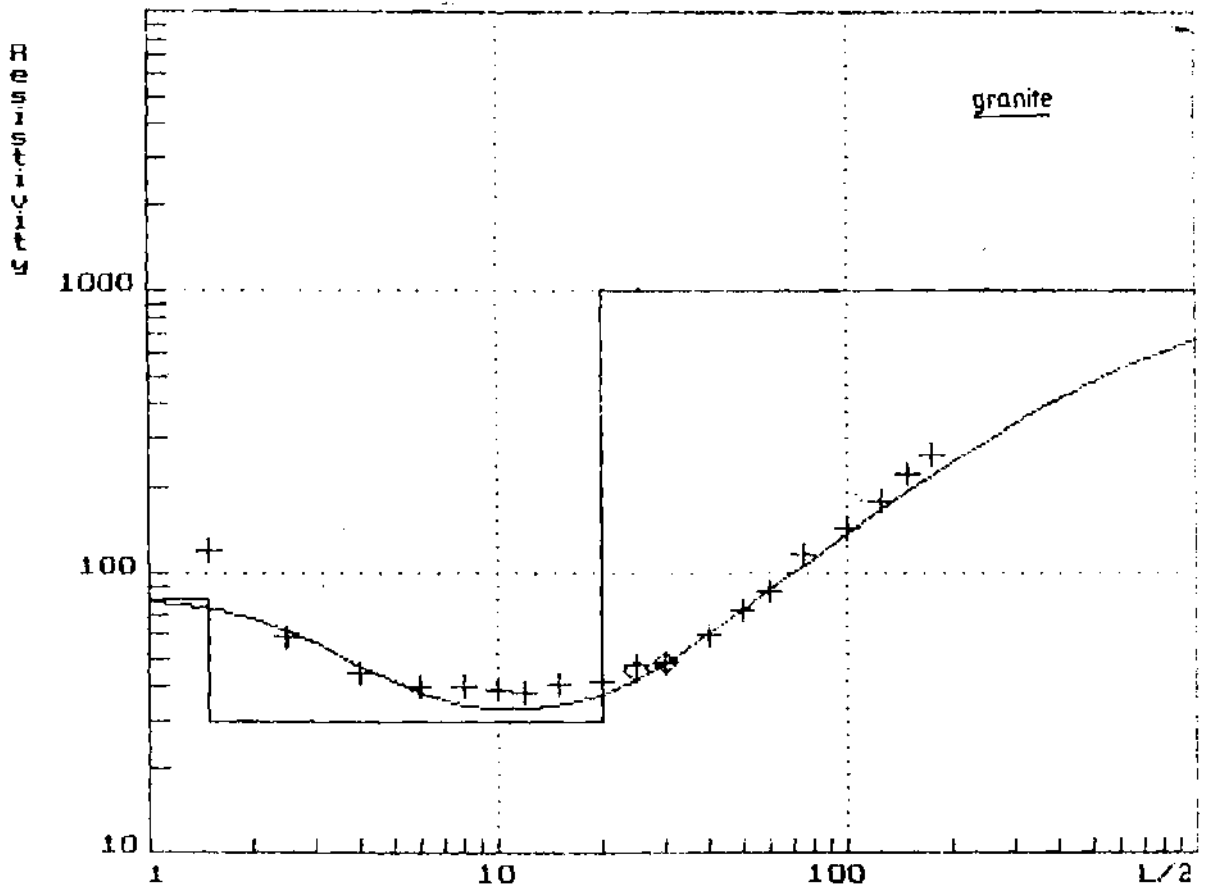


Fig 2-7 Exemple de sondages électriques dans le socle



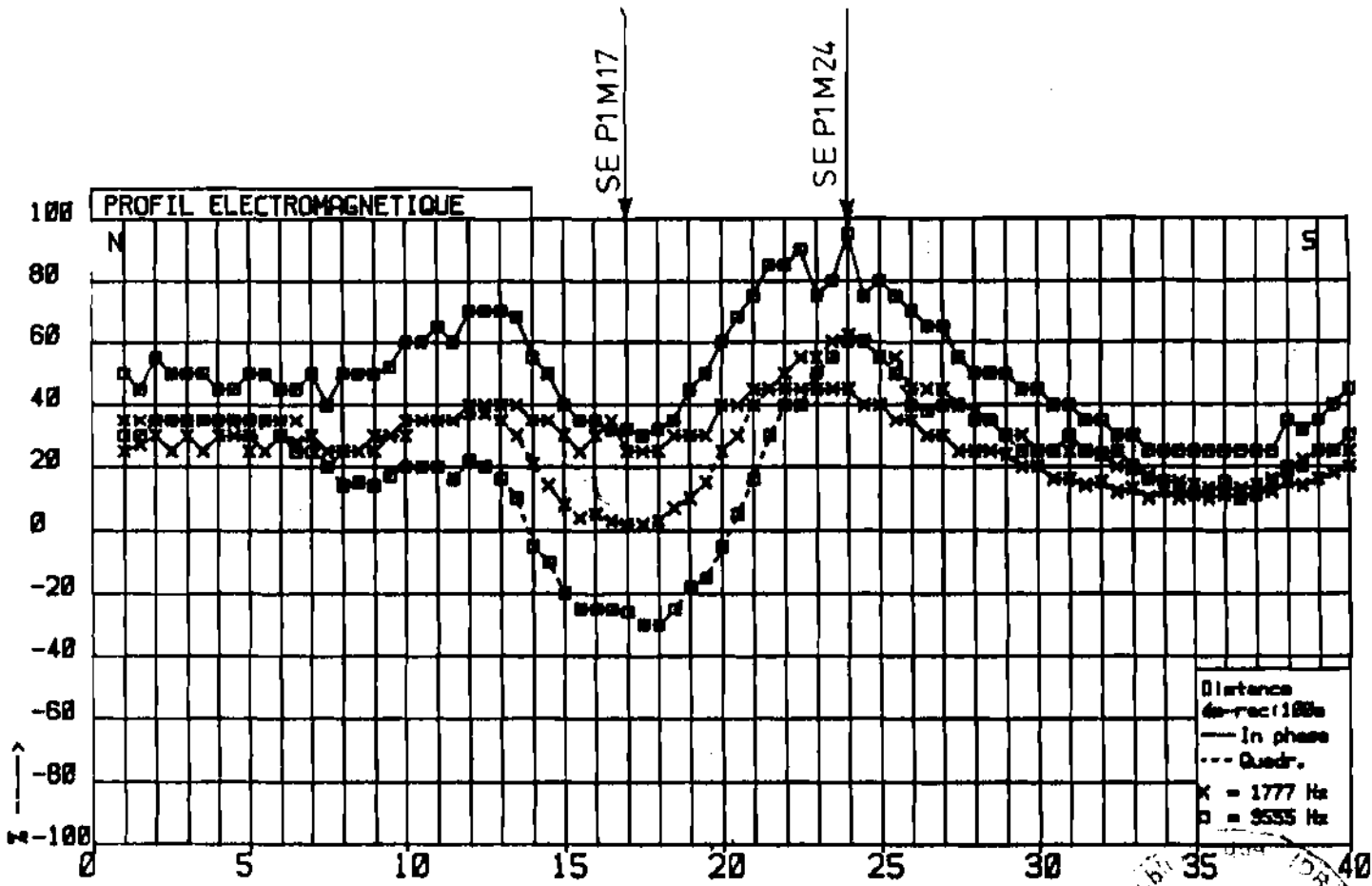


Fig 2-8

Village : Grand-bale N°1 Profil : P1
Département : Yaho Date d'exécution : 11/04/88
Province : MOUHOUN Direction : N200E
N° IRH : HN/06/25 Distance entre les stations (m) : 20
Projet : 60.397
IWACO B.V. B.P. 2523 OUGADOUGOU BURKINA FASO

Dans la plus part des cas, l'épaisseur de l'altération est surestimée avec le sondage électrique. C'est uniquement dans les roches acides que les profondeurs de la roche dure correspondent le mieux aux profondeurs déterminées par le sondage électrique.

2-1-1-5. Choix du site de forage

En général, le choix du site de forage est un compromis entre les données de l'interprétation de la photo aérienne, la reconnaissance sur le terrain, la géophysique et les conditions socio-économiques.

Au cours des différentes campagnes, comme l'application de la géophysique était systématique, presque tous les forages ont été implantés sur des anomalies géophysiques.

Après avoir exécuté des sondages électriques sur les anomalies significatives repérées sur les profils de résistivité, on procède à l'interprétation des courbes obtenues, interprétation qui aboutit au choix du site en fonction de la nature et de l'épaisseur de la zone altérée.

2-1-2. Exécution du forage: technique de foration

Une fois, le site choisi, on procède à la foration.

Deux techniques de foration ont été appliquées, toutes deux utilisent un tricône ou un trilame de 10 " et un marteau fond de trou de 6 1/2".

Il s'agit de :

- la technique Rotary à l'air.
- la technique Rotary à la boue dans les terrains où l'altération est épaisse, argileuse ou bouillante.

La foration des altérites jusqu'à la roche dure (socle ou grès dur ou parfois déjà les arènes grenues) se fait en diamètre 10". Les couches meubles traversées sont maintenues en place par un tubage provisoire en acier ou en P.V.C de 200 mm de diamètre.

Dans la roche dure, la foration se poursuit au moyen d'un marteau fond de trou par percussion et rotation à l'air.

Si l'ouvrage est positif, on procède à l'équipement du trou.

2-1-3. Equipement du forage

L'équipement du forage se fait avec une colonne de tubage en P.V.C (cf. fig. 2-9). On distingue de bas en haut;

- un tube de décantation obturé par un sabot en ciment;

Coupe technique d'un forage

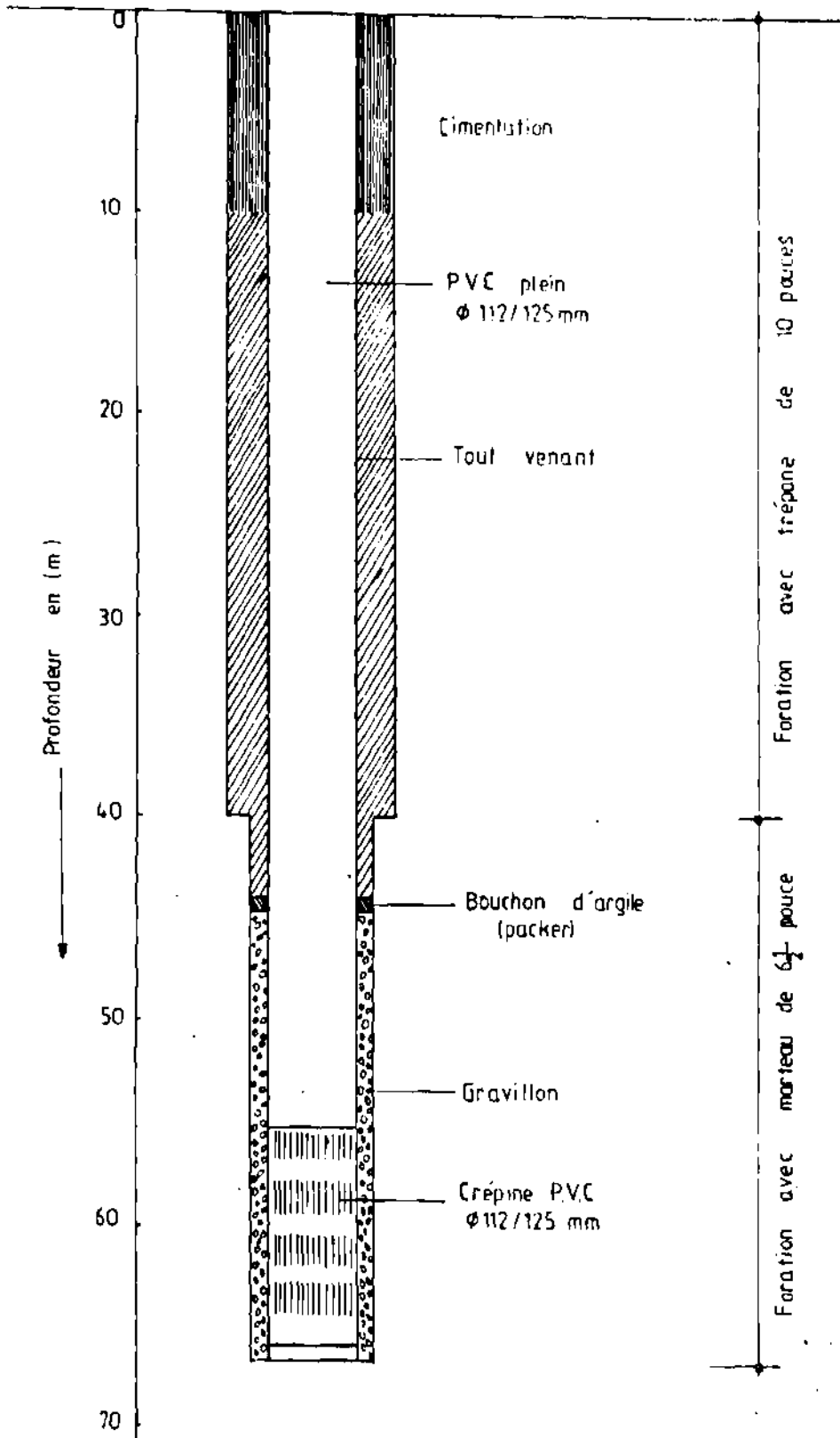


Fig. 2-9

- des crépines d'ouverture 1 mm placées en face des venues d'eau;
- un tubage d'extension plein.

Un massif de gravier constitué de quartz alluvial calibrés de 2 à 4 mm est mis en place dans l'espace annulaire entre la colonne de P.V.C et la paroi du trou.

Au-dessus du massif, on installe un packer (bouchon d'argile) qui isole l'aquifère des altérations sus-jacentes.

Le tubage provisoire est ensuite retiré et l'espace annulaire est remblayé par du tout venant.

Lorsque l'épaisseur de l'altération est épaisse, il arrive qu'on ne puisse pas retirer le tubage provisoire en P.V.C ; ce tubage est alors laissé en place (tubage perdu).

Après, le forage est nettoyé à l'air lift jusqu'à l'obtention de l'eau claire; c'est le développement.

2-1-4. Essais de pompage

Après le développement du forage, l'ouvrage est testé par un essai de pompage par paliers. L'essai est exécuté à l'aide d'une pompe électrique submergée. Son but est de :

- vérifier si le débit est suffisant pour la réception provisoire.
- s'assurer que le forage est capable de produire un débit continu d'eau claire.
- déterminer la profondeur d'immersion de la pompe.
- déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère.

Le forage est testé en général avec quatre paliers de cent minutes chacun et avec des débits croissants.

Les mesures à prendre sont les valeurs des débits avec les rabattements correspondants.

Après les 400 mn de pompage, on mesure la vitesse de remontée du niveau dynamique.

2-2. Methodologie d'implantation des puits

Les différentes étapes menant à la création d'un puits sont:

- la photo-interprétation
- le sondage de reconnaissance
- la construction du puits proprement dit.

2-2-1. La photo-interprétation

Comme dans l'implantation des forages, les photographies aériennes constituent ici aussi les documents de base.

Elles permettent le relevé d'une carte de fracturation qui servira au positionnement du site du futur puits. Le choix porte de préférence sur un noeud de fracture ou une fracture majeure.

2-2-2. Le sondage de reconnaissance

Après l'implantation par photo, on effectue un sondage de reconnaissance qui permet de confirmer si le site est bon ou pas.

Les sondages de reconnaissance (cf. fig. 2-10) se font à la tarière ou à la moto tarière. La tarière est une sorte de grande vis helicofidale qui s'enfonce dans le sol par le fait du mouvement de rotation qu'on lui donne par une tubulure en acier.

Ces sondages permettent la détermination des différents niveaux de la zone d'altération ainsi que la position du niveau statique.

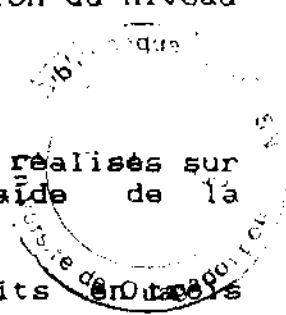
2-2-3. L'exécution du puits

Dans la zone du projet, tous les puits sont réalisés sur "investissement humain" c'est-à-dire avec l'aide de la population.

On peut diviser la construction d'un puits en quatre étapes:

- le fonçage
- la construction du captage
- la construction de la superstructure.
- Le fonçage

C'est la première opération à faire lors de la construction d'un puits. Il consiste à creuser le sol à l'emplacement du site choisi.



PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE VOLTA NOIRE.

Village Labourenou... N° I.R.H. 7146... x z.....
 Type de Forage Perforation à Financement Néerlandais...
 Type de machine : H. G. H. Sondeur T. M. Sankara... Superviseur. N. Zang...
 Equipement .. puits..... O.P.V.C..... Date. 18/2/86.....

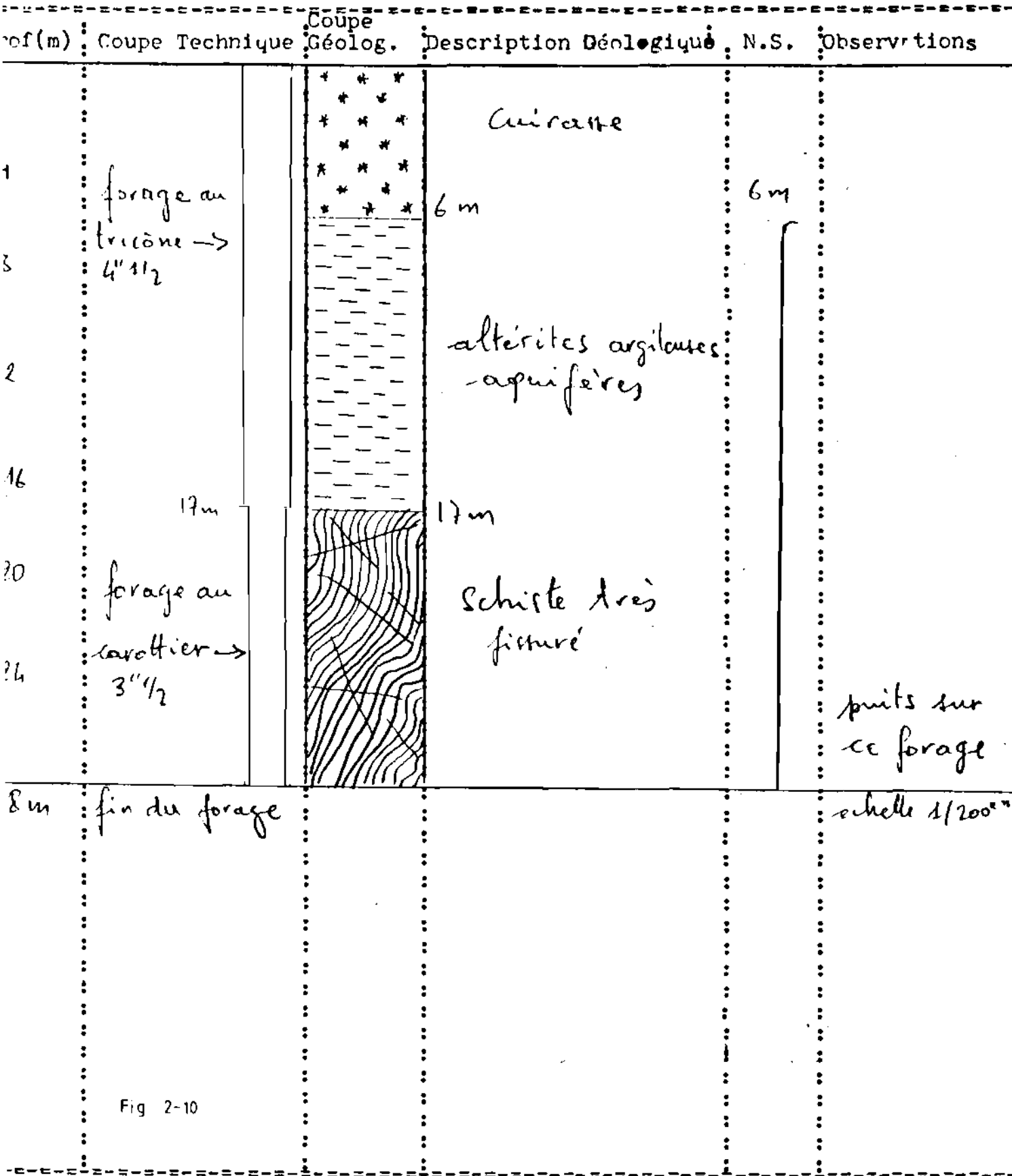


Fig 2-10

Ce travail est exécuté par les bénéficiaires du puits avec du matériel tel que les pioches pour le fonçage, poulie, cordes, seaux et pelles pour l'évacuation des déblais du fond du puits.

Les villageois sont tenus de poursuivre le travail jusqu'à un niveau où celui-ci devenant difficile et compliqué n'est plus possible par des moyens rudimentaires (cuirasse ou roche très dure, zone aquifère).

Le personnel qualifié du projet intervient alors avec du matériel adéquat pour la suite des travaux. Ce sont notamment :

- des pioches et des marteaux piqueurs pour le fonçage.

Le marteau piqueur est un outil muni d'une tête en aiguille dont le fonctionnement est causé par le déplacement d'un piston dans un cylindre, déplacement provoqué par une arrivée d'air comprimée.

- des compresseurs qui produisent l'air comprimée.
- Grue, cuffat (qui est l'équivalent du seau), pelles pour l'évacuation des déblais.
- pompe; pour l'évacuation de l'eau.

Avant de poursuivre le travail sous le niveau de la nappe, on procède d'abord à la construction de bas en haut du cuvelage qui correspond au revêtement en béton fait pour soutenir les parois du puits.

L'exécution de ce revêtement nécessite l'emploi de coffrages métalliques. Ceux-ci sont constitués par quatre éléments concentriques dont l'assemblage forme un cylindre de diamètre approprié à celui du puits.

La mise en place du béton se fait dans l'espace libre entre le terrain et le coffrage installé.

- La réalisation du captage

C'est l'élément qui pénètre dans l'aquifère et qui assure le captage de la ressource de ce dernier.

Le modèle de captage de la nappe permet de distinguer deux types de puits actuellement en construction dans le projet: il s'agit du puits simple et du puits avec captage mobile.

- le puits simple ou puits avec cuvelage captant; (cf. fig. 2-11). Dans ce puits, la colonne construite sous le niveau de la nappe comporte des trous horizontaux ou barbacanes par lesquels s'écoule l'eau.

- le puits avec captage mobile; dans ce cas, le captage de l'aquifère est assuré par une colonne qui comporte à sa base une trousse coupante (fig. 2-12).

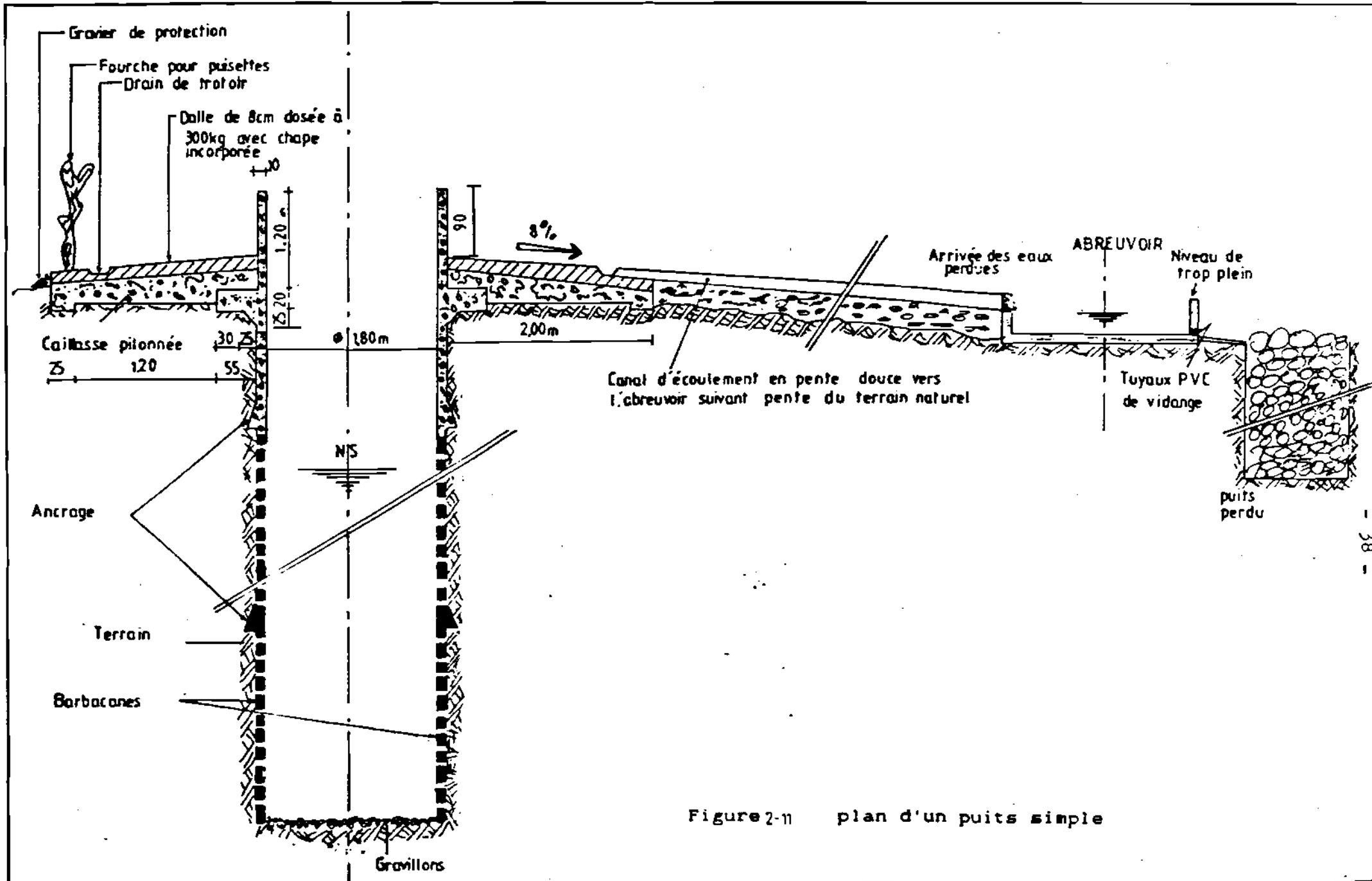


Figure 2-11 plan d'un puits simple

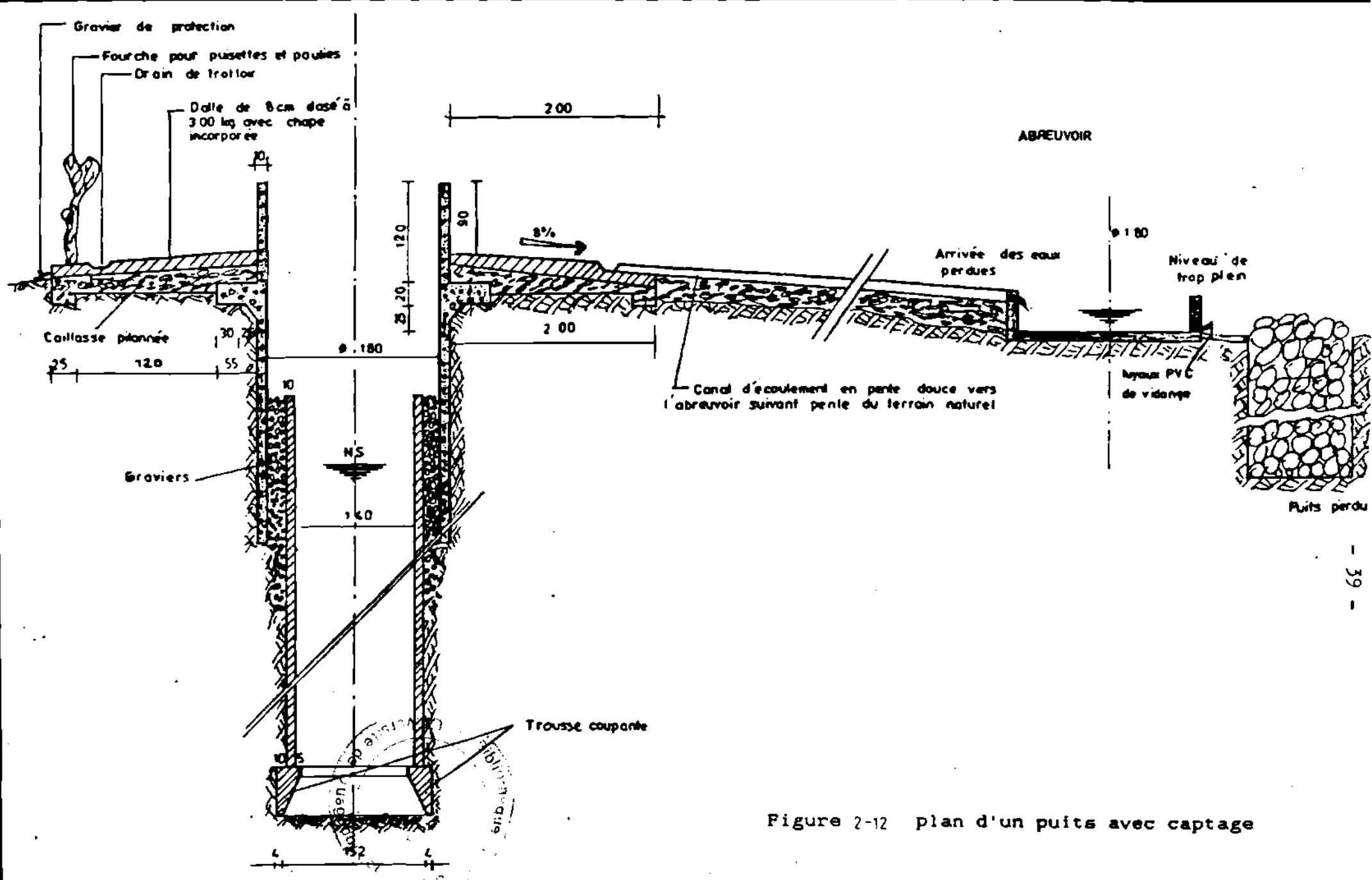


Figure 2-12 plan d'un puits avec captage

La trousse coupante est un anneau en béton armé posé au fond du captage et qui sert à le faire progresser lorsqu'on creuse à l'intérieur de celui-ci. L'intérêt de ce système, est que l'on peut redescendre dans le puits lorsque le niveau de la nappe a baissé et continuer à creuser le fond. La construction de ce type de puits est fonction de la nature du terrain. Il est généralement réalisé en contexte de terrains meubles, fluents, bouillants qui peuvent permettre à une trousse coupante d'avancer.

Il faut noter aussi, lors de la construction des puits, des cas de dynamitage (peu nombreux) surtout dans les zones où l'aération est très faible.

- Construction de la superstructure (fig.2-13)

L'aménagement des bords du puits par des constructions appropriées répond à un souci de sécurité et d'hygiène.

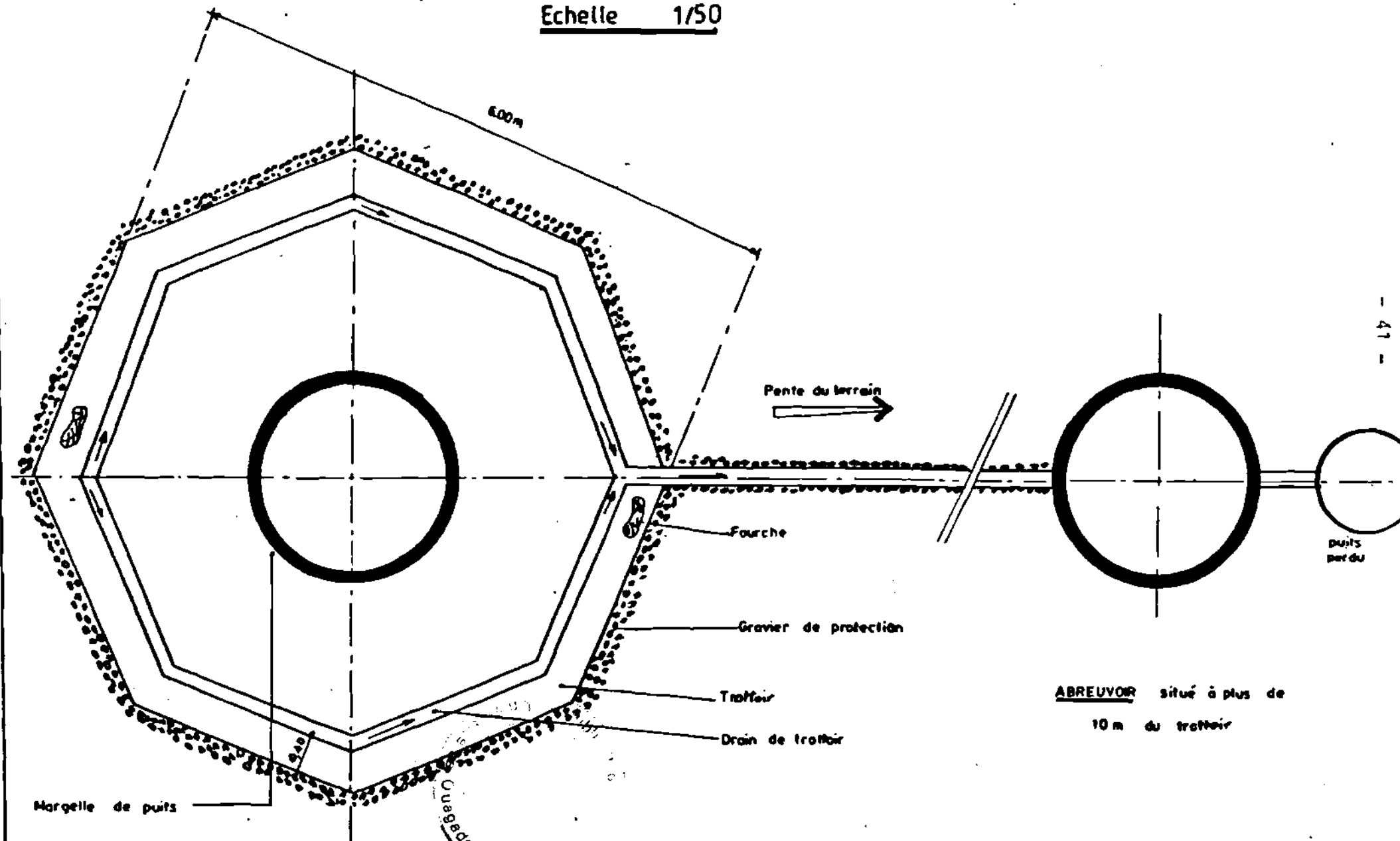
La construction de la margelle permet d'éviter que des personnes ou des animaux tombent dans le puits. Sa hauteur au-dessus de sol est d'environ 0,80 m.

Il est souvent nécessaire aussi d'assainir les abords des puits surtout quand ceux-ci servent à l'alimentation d'une importante population ou à l'abreuvement de nombreux troupeaux. Très rapidement, les alentours de l'ouvrage sont transformés en de véritables zones boueuses très sales.

On remédie à cette situation en construisant une aire assainie comme le montre le figure (2-13). Il s'agit d'un dallage en béton construit autour de la margelle, et comportant un drain qui évacue les eaux perdues vers une fosse.

VUE DE DESSUS

Echelle 1/50



ABREUVOIR situé à plus de
10 m du trottoir

Figure 2-13 plan de la superstructure d'un puits

2-3. Hydrochimie

Des analyses chimiques sont effectuées sur des échantillons d'eau de forages pour en déterminer la potabilité avant que celle-ci ne soit mise à la disposition de la population.

La qualité de l'eau est généralement jugée sur la base des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour les éléments chimiques analysés (Ca, Mg, Na, Fe, NO₃...).

2-3-1. La conductivité

Le degré de minéralisation de l'eau souterraine, exprimé par la conductivité, présente une grande variation: de 30 à plus de 2000 MS/cm.

Les valeurs de conductivité de moins de 200 MS/cm se trouvent surtout dans le sédimentaire notamment en bordure et dans les grès de Bandiagara, dans les Grès de Sotuba et les Grès à galets de quartz. Ces zones sont caractérisées par une grande infiltration.

Les valeurs supérieures à 200 MS/cm concernent en général les eaux du socle cristallin et en partie le sédimentaire (Schistes de Toum, Grès roses).

Les valeurs de conductivité supérieures à 1000 MS/cm caractérisent deux types d'eau très minéralisés:

- l'eau contaminée par l'influence humaine (eau à grande concentration de nitrates).
- l'eau des formations schisteuses, des argilites et du continental Terminal à cause d'une lente circulation dans un matériau argileux peu perméable.

2-3-2. Le P.H.

C'est un paramètre qui caractérise l'acidité (PH<7) ou la basicité (PH>7) d'une eau.

- Les eaux dans les Grès de Bandiagara, les Grès de Sotuba et les Grès à galet de Quartz sont en général acides (PH<7) à faiblement basiques (PH légèrement supérieur à 7).
- Le PH des eaux varie de 7,50 à 8,50 dans le continental Terminal, les roches vertes, les schistes.

Ailleurs, c'est-à-dire dans les granitofides et en partie dans le sédimentaire, le PH varie entre 7 et 8.

2-3. Les types d'eau

A partir de la composition des anions et des cations, on peut cerner les types d'eau suivants dans la zone de projet :

- Type Ca Mg Na HCO₃.

Ce type caractérise les roches du socle cristallin. Les anions dominants sont le bicarbonate puis le calcium.

- Types Ca Mg HCO₃

Ce type est caractéristique des roches sédimentaires. La concentration de sodium est toujours faible. Par conséquent, le sodium forme un bon paramètre de distinction entre les eaux du socle et celle du sédimentaire.

- Type Mg SO₄ Na SO₄ : ces types d'eau se présentent surtout dans les schistes, les argilites et les grès qui contiennent de l'anhydrite et du pyrite.

- Type NO₃: les grandes concentrations de nitrates sont d'origine humaine. On a remarqué que ce type d'eau se trouve dans les forages ou les puits des villages Bobo, Marka et Samo qui sont des villages à habitations groupées.

Au cours des campagnes réalisées, on a recensé 36 forages dans lesquels la concentration de nitrate dépassait plus ou moins largement la norme admise par l'OMS (45 mg/l).

Ce problème de contamination est inquiétant parce qu'elle provoque, chez les enfants et surtout chez les bébés, la méthémoglobinémie, affection caractérisée par la transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine qui est un pigment incapable de transporter l'oxygène.

La conséquence finale est l'anoxie (privation d'oxygène) quand plus de 30 à 40 % de l'hémoglobine est transformée en méthémoglobine.

Chapitre III. HYDROGEOLOGIE STATISTIQUE

3-1. Introduction

Dans le cadre de la présente étude, l'analyse statistique a porté sur les données de base des forages (environ 400) et des puits (220) exécutés dans le cadre du projet ainsi que sur certains forages recensés dans la zone.

Ces données sont issues des tableaux récapitulatifs des travaux d'exécution des différents ouvrages.

Au cours de l'étude, l'exploitation des données s'est heurtée à des problèmes d'hétérogénéité dans la qualité de ces dernières. Cette hétérogénéité est due au niveau variable des informations. Ces données sont fournies par les rapports d'exécution (rapports de chantier, rapports de travaux de surveillance). Le manque de certaines d'entre elles nuit à l'exécution d'études systématiques (par exemple; absences fréquente de valeurs des venues d'eau ; imprécision dans la détermination des faciès géologiques).

3-2. Données techniques retenues pour l'analyse statistique

- La profondeur et le niveau statique du forage donnés par le rapport technique de l'ouvrage à la date de sa réalisation.

Le critère de profondeur de l'ouvrage est fonction des caractéristiques hydrogéologiques mais aussi des limites contractuelles d'exécution.

- L'épaisseur d'altération: paramètre évalué d'après la coupe géologique des ouvrages et confirmé par les valeurs de vitesse d'avancement relevées lors de l'exécution de l'ouvrage.

- Le débit: obtenu par pompage à l'air lift.

- Les venues d'eau: données;
.soit sous forme d'une profondeur.
.soit déduites des valeurs de débits en cours de foration.

- Pénétration dans le socle: qui est la différence entre la profondeur totale de l'ouvrage et l'épaisseur d'altération.

- La géologie.

3-3. Principes de l'analyse statistique

L'analyse a porté sur l'examen des paramètres cités précédemment. On distingue deux stades suivant la valeur des résultats obtenus;

- le premier stade, le plus simple et purement descriptif, sert à caractériser les différents types de roches en fonction des données numériques principales et se traduit pratiquement par le calcul de moyennes.
- le second stade a porté sur l'étude des venues d'eau en vue de déterminer la tranche de profondeur la plus productive des différentes formations.

3-4. Résultats de l'analyse statistique

Nous avons subdivisé notre échantillonnage en grands sous-ensembles représentatifs des différents types de roches.

Les résultats sont présentés de façon simple et compréhensible sous forme de graphiques et de tableaux synthétiques.

En outre, pour permettre de pondérer l'information statistique présentée, les populations relatives de chacun des sous-ensembles sont reportées au-dessus des histogrammes correspondants. Les coefficients de variation qui rendent compte de l'homogénéité des données sont aussi mentionnés.

3-4-1. Les forages positifs

3-4-1-1. Analyse statistique élémentaire

3-4-1-1-1. Les formations sédimentaires

- Profondeur moyenne des forages et épaisseur moyenne d'altération.

Ces deux paramètres sont représentés sous forme d'histogrammes cumulés (fig.3-1).

- L'interprétation des variations de valeurs de la profondeur moyenne des ouvrages est délicate, mises à part les conditions naturelles (hydrogéologiques), ce paramètre est fortement influencé par les limites contractuelles d'exécution.

Néanmoins, on constate (fig.3-1) que les forages les plus profonds se trouvent au niveau du continental terminal et des grès de Bandiagara. Les moins profonds se limitent à l'étage des grès à galets de quartz.

Quant à l'épaisseur moyenne du recouvrement, il faut noter que dans la région sédimentaire, la transition zone altérée, roche dure n'est souvent pas claire pour la majorité des faciès.

28 % des forages dans les Grès de Sotuba, 41 % dans les Schistes de Toum, 57 % dans le Continental Terminal (substratum Schistes de Toum). 55 % dans les grès roses sont demeurés dans l'altération.

PROFONDEURS MOYENNES

FORMATIONS SEDIMENTAIRES

PROFONDEUR (m)

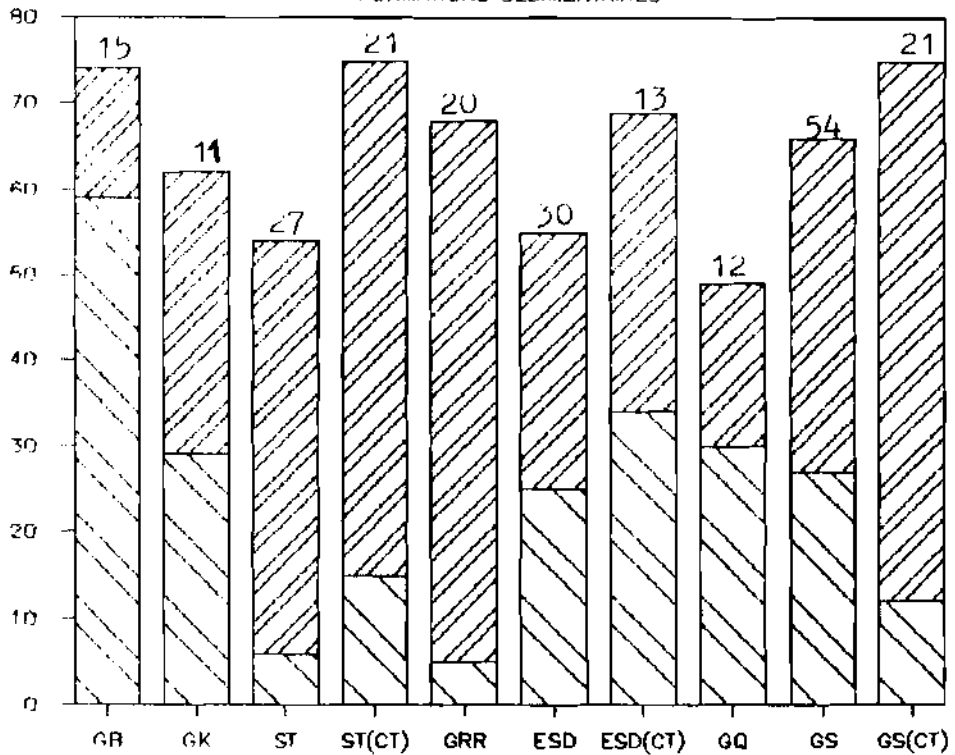


Fig 3-1

GEOLOGIE
 □ DURE ▨ ALTERATIONS

- legende
- GR = Grès de Bendiagara
 - GK = Grès de Koutiala
 - ST = Schistes de Toum.
 - ST(CT) = Schistes de Toum(recouvrement Continental Terminal).
 - GRR = Grès Roses
 - ESD = Etage Schistogrés-Dolomitique
 - GQ = Grès à galets de Quartz.
 - GS = Grès de Sotuba
 - GS(CT) = Grès de Sotuba(recouvrement Continental Terminal)

Les coefficients de variation correspondant aux valeurs numériques qui caractérisent ces deux paramètres se présentent de la façon suivante:

	G.B	G.K	S.T	ST (CT)	G.R.R
Profondeurs	0,269	0,239	0,093	0,110	0,123
Epaisseur d'altération	0,497	0,487	0,239	0,303	0,255

	ESD	ESD (CT)	G Q	G S	G S(CT)
Profondeurs	0,209	0,183	0,099	0,173	0,172
Epaisseurs d'altération	0,461	0,542	0,337	0,616	0,251

Tableau 3-1: Tableau des coefficients de variation par rapport aux valeurs des profondeurs et des épaisseurs d'altération dans le sédimentaire.

- Niveau statique moyen

Tableau 3-2: Valeurs moyennes du niveau statique dans les formations sédimentaires.

Unités géologiques	GB	GK	ST	ST(CT)	GRR
Niveau statique (m)	14,70	30	22	34,70	31,60

Unités géologiques	ESD	ESD(CT)	G Q	G S	GS(CT)
Niveau statique (m)	24,50	31,20	12,29	24,60	43,20

Le niveau statique observé dans un ouvrage représente l'état de pression du milieu qui est capté par celui-ci.

Cette répartition montre que le niveau se trouve, pour la majorité des formations sédimentaires, entre 0 et 30 m par rapport au sol. Les niveaux les plus profonds se trouvent dans la plaine du Gondo qui forme un cas spécial.

Il s'agit d'une "nappe en creux" sans exécutoire apparent au centre de laquelle la profondeur du niveau statique peut atteindre 80 m.

Débit moyen des forages

De la répartition des débits moyens dans le sédimentaire, (fig.3-2), il ressort que:

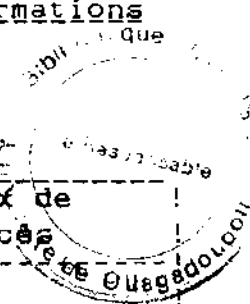
- .les Grès roses fournissent le débit moyen le plus faible;
- .le débit moyen au niveau du Continental Terminal est faible (excepté G.S) par rapport à celui fourni par les autres faciès.
- .les grès à galets de quartz et l'étage schisto-grésodolomitique sont les formations les plus intéressantes du point de vue aquifère. Elles donnent les débits moyen les plus élevés.

Fréquence des débits dans les différentes formations
(fig.3-3)

Taux de succès

Tableau 3-3: taux de succès en fonction de la lithologie (région sédimentaire).

Lithologie	Nombre total des forages	Forages négatifs	Taux de succès
G R	19	4	79 %
G K	11	-	100 %
S T	36	9	75 %
S T (CT)	30	9	70 %
G R R	22	2	91 %
E S D	35	5	86 %
E S D (CT)	18	6	67 %
G Q	13	1	92 %
G S	63	9	86 %
G S (CT)	26	5	81 %



FORMATIONS SEDIMENTAIRES

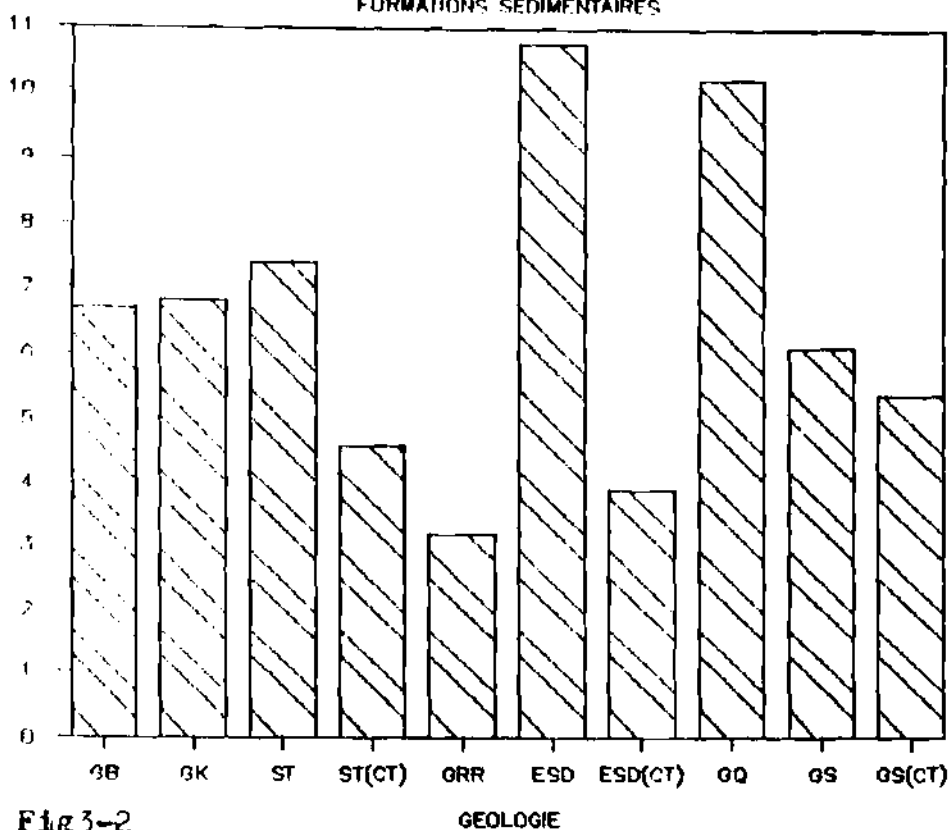


Fig 3-2

FREQUENCE DEBITS

FORMATIONS SEDIMENTAIRES

TAUX SUITES (M)

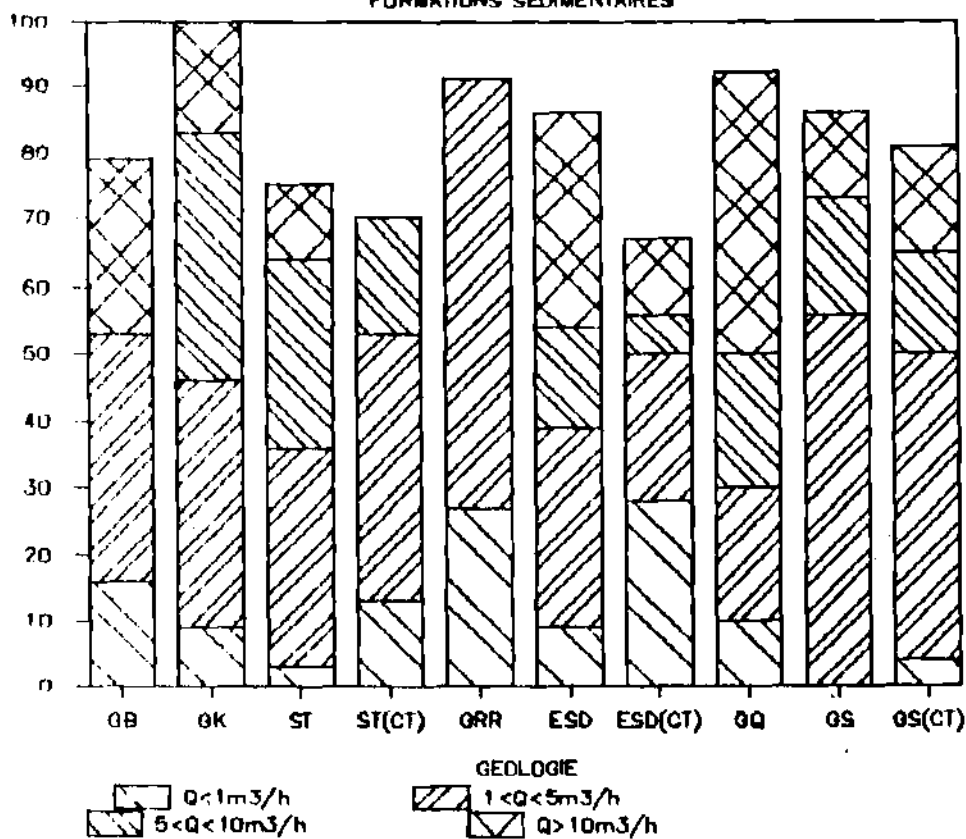


Fig 3-3

D'après la répartition des débits en fonction du taux de succès (fig.3-3):

- les grès à galets de quartz, les grès de Bandiagara et l'étage schisto-grésodolomitiques sont les formations qui enregistrent un pourcentage élevé de forages dont le débit est supérieur à 10 m³/h (respectivement 42 %, 26 % et 32 %).
- si au niveau des grès roses, les débits sont moyens ($Q \leq 5$ m³/h), le taux de succès γ est par contre très élevé.
- au niveau du continental terminal, 50 à 55 % des débits sont inférieurs ou égaux à 5 m³/h.
- les taux de succès les faibles sont enregistrés au niveau du continental terminal et des schistes de Toum.

3-4 1 1 2. Les formations cristallines

- Profondeur moyenne et épaisseur moyenne d'altération des forages

La figure 3-4 montre que:

- les roches vertes et les granitofides ont des comportements similaires par rapport à la profondeur et à l'altération moyennes des ouvrages.
- les forages les plus profonds se trouvent surtout au niveau des schistes ; de même qu'une forte épaisseur d'altération.

Les coefficients de variation qui caractérisent les séries de valeurs numériques correspondant à ces 2 paramètres se présentent de la façon suivante:

	Granitofides	Roches vertes	Schistes
Profondeurs	0,151	0,225	0,207
Epaisseurs d'altération	0,323	0,391	0,381

Tableau 3-4: coefficient de variations caractéristiques des séries des valeurs de profondeur et d'épaisseur d'altération des formations cristallines.

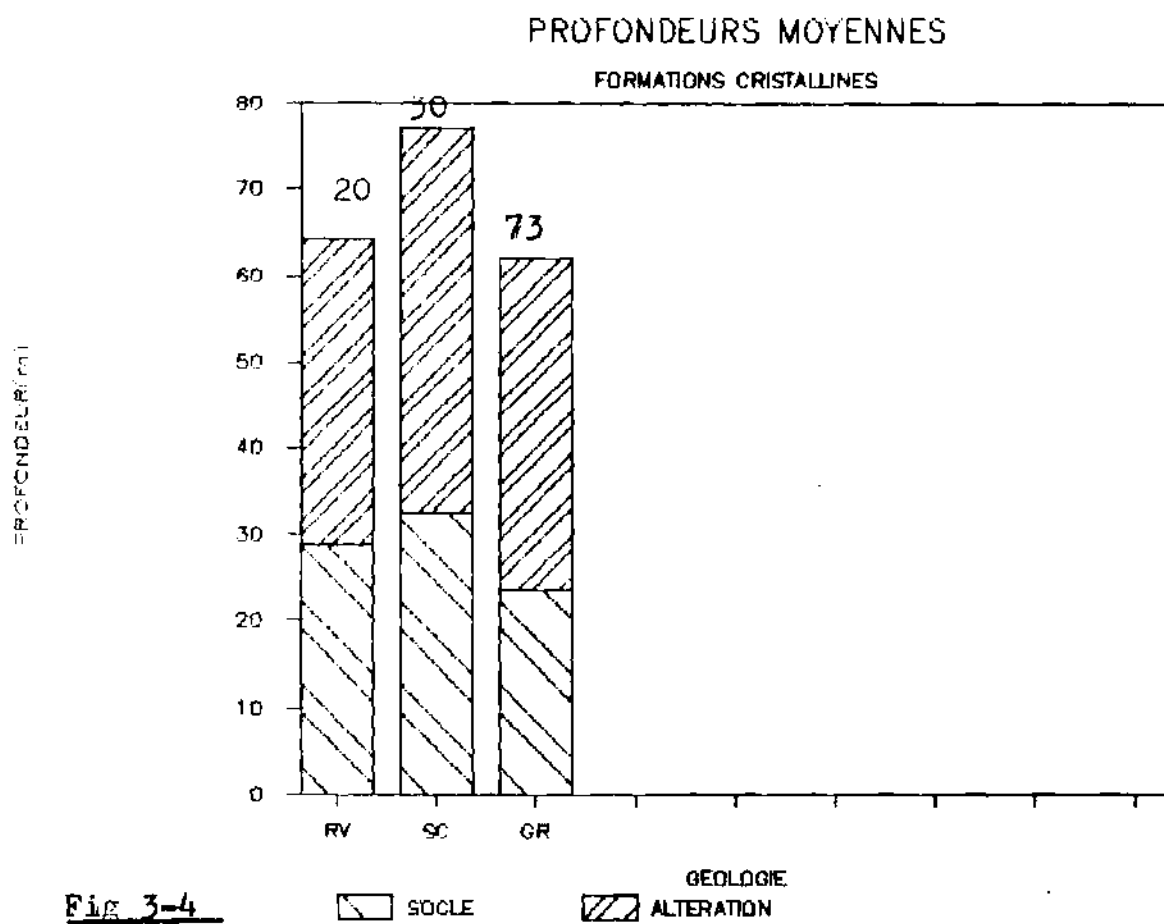


Fig 3-4

Legende

RV = Roches Vertes

SC = Schistes

GR = Granitoides

- Niveau statique moyen

Unités géologiques	G.R	R.V	S.C
Niveau statique	12,12	12,20	13,10

Tableau 3-5: Valeurs moyennes du niveau statique dans les formations du socle cristallin.

La profondeur du niveau statique moyen par rapport au sol dans le socle cristallin (tableau 3-5) ne varie presque pas selon la lithologie. Néanmoins les données sont dispersées au niveau des granitoïdes que du volcano-sédimentaire.

- Débit moyen

Le débit moyen des ouvrages est faible quelque soit l'unité considérée (fig 3-5)

- Histogrammes de la fréquence des débits (fig 3-6).

- la majorité des débits sont inférieurs ou égaux à 5 m³/h (74 % pour les roches vertes, 53 % pour les schistes, 68 % pour les granitoïdes).
- seuls les schistes fournissent des débits supérieurs à 10 m³/h.

- Taux de succès

Type de roche	Nombre total de forages	Forages négatifs	Taux de succès
R V	23	3	87 %
S C	36	6	83 %
G R	90	17	81 %

Tableau 3-6: Taux de succès en fonction de la lithologie dans le socle.

DEBITS MOYENS

FORMATIONS CRISTALLINES

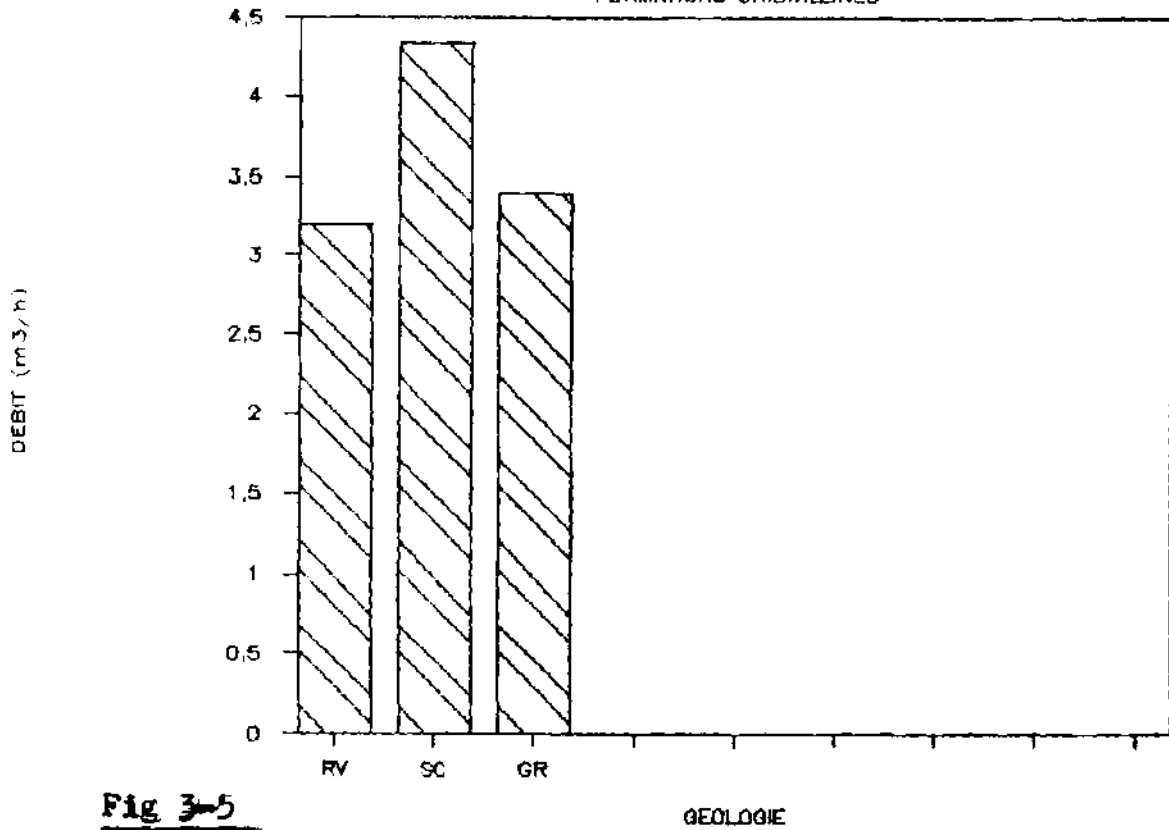


Fig 3-5

FREQUENCE DEBITS

FORMATIONS CRISTALLINES

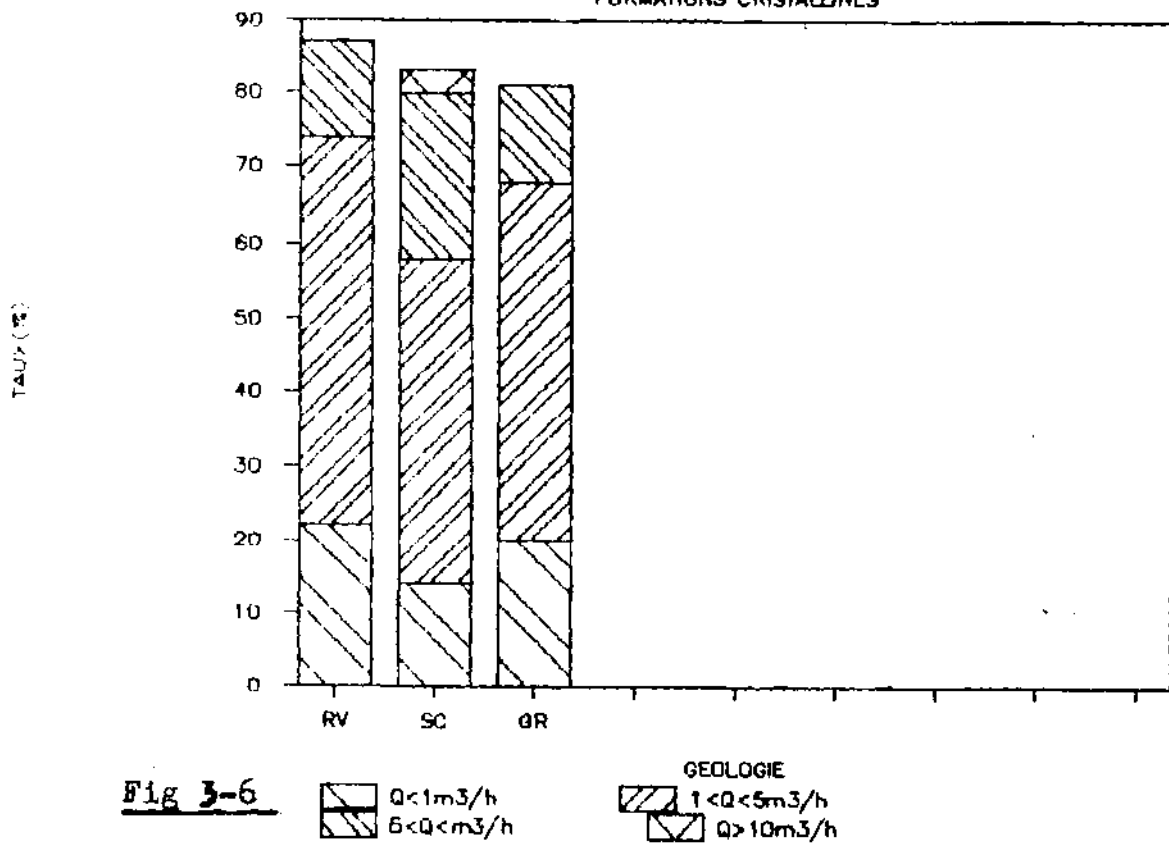

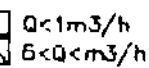

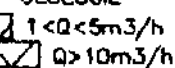


Fig 3-6

 Q < 1m³/h
 1 < Q < 5m³/h

GEOLOGIE
 1 < Q < 5m³/h
 Q > 10m³/h

3-4-1-1-3. Comparaison entre les résultats statistiques obtenus dans les différentes formations

L'analyse statistique des données de base des forages dans les différentes formations a montré que;

- la profondeur moyenne des forages dans le socle est de 67 m pour une épaisseur moyenne de recouvrement de 39,5 m. Les forages les plus profonds ainsi que de fortes épaisseurs d'altération sont observées dans les schistes.

- dans la partie sédimentaire, la profondeur moyenne des forages 65 m pour une épaisseur moyenne d'altération de 40,40 m. Dans cette zone, les forages les plus profonds sont observés dans le continental terminal.

En général, l'altération est beaucoup plus épaisse dans les formations sédimentaires que dans le socle cristallin, exception faite pour les grès de Bandiagara et les grès à galets de quartz où on observe une faible épaisseur moyenne de recouvrement (inférieure à 20 m).

- la profondeur moyenne du niveau statique par rapport au sol dans le sédimentaire est en général plus grande (supérieure à 20 m) que dans le socle (inférieure à 20 m); mais dans les grès de Bandiagara et les grès à galets de quartz le comportement des niveaux statiques est comparable à celui des formations cristallines.

- les débits obtenus dans le sédimentaire sont nettement supérieurs à ceux dans le socle.

Il faut cependant rappeler que souvent, un forage est arrêté quand un certain débit cible est atteint, c'est-à-dire que le site peut être plus productif que ne l'indique le débit fin foration. Dans la plus part des programmes d'hydraulique villageoise, un débit cible de 0,7 m³/h est adopté, dans les régions difficiles, la limite inférieure est souvent prise à 0,5 m³/h.

- le sédimentaire (en dehors du continental terminal (argillites)) offre un pourcentage de réussite de forages beaucoup plus élevé que dans le socle où les roches vertes et les schistes sont les formations qui donnent un meilleur taux de succès au contraire des granitofides.

- les grès à galet de quartz et l'étage schisto-grésodolomitique sont les formations les plus intéressantes du point de vue potentialités hydrogéologiques car elles sont d'une accessibilité et d'une exploitabilité faciles; l'accessibilité étant déterminée par la profondeur à forer et par le taux de succès des ouvrages alors que l'exploitabilité est liée au débit et à la hauteur de refoulement de l'eau jusqu'au sol.

3-4-1-2. Etude des venues d'eau

3-3-1-2-1. Methodologie

- Pour l'étude, nous n'avons considéré que les formations où la population de forages dépassait un minimum de 10 individus.

- Nous avons choisi de présenter les résultats sous forme de tableaux synthétiques dont seuls les principaux résultats sont commentés.

- Dans un premier temps, nous avons étudié le pourcentage des venues d'eau par importance et par tranche de profondeur lorsque les données disponibles le permettaient.

Les résultats obtenus mettent en évidence une zone de productivité maximale que l'on peut apprécier par tranche de débits ou de façon globale.

Dans un second temps, nous ramenons l'ensemble des venues d'eau au toit des formations saines, ceci permettant de s'affranchir de l'épaisseur des altérations qui est très variable.

Les résultats obtenus permettent d'estimer les chances de recouper des venues d'eau en fonction de la profondeur.

Dans tous les cas, la population statistique envisagée a été explicitée et permet de pondérer la valeur et la fiabilité des résultats obtenus.

3-4-1-2-2. Résultats

Socle cristallin

Les roches granitoides

Nombre de forages = 38

Total des venues d'eau: 71 dont: 7 faibles $Q < 1\text{m}^3/\text{h}$.

55 moyennes $1 < Q \leq 5\text{m}^3/\text{h}$.

9 importantes $Q > 5\text{m}^3/\text{h}$.

Pourcentage par tranche de profondeur et par importance des venues d'eau. (Tableau 3-7a).

Prof. (m)	0 - 20m	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
V.E (%)					
$Q < 1\text{m}^3/\text{h}$		28,5	43	28,5	
$1 < Q \leq 5\text{m}^3/\text{h}$		27	55	18	
$Q > 5\text{m}^3/\text{h}$		11	78	11	
Total V.E		25	57	18	

Pourcentage par gamme de l'ensemble des venues d'eau en fonction de la pénétration dans la roche saine (tableau 3-2 b).

Prof. (m)	10	20	30	40	50
V E (%)					
Total	39	37	16	5	3

Dans cette série granitique, l'étude de la répartition des venues d'eau en fonction de la profondeur fait ressortir que:

les premières venues d'eau apparaissent à partir de 20 m.

- la zone de productivité maximale se situe dans la gamme 40-60 m quelque soit la tranche de débits considérés. On y trouve 55% des débits moyens, 78 % des débits élevés. La zone 40-60 m correspond sans aucun doute à la zone de fracturation maximale.

Au delà de 80 m, on ne rencontre plus de venues d'eau.

Lorsque nous ramenons l'ensemble des venues d'eau au toit des formations saines (tableau 3-5b), nous constatons que 92 % des venues d'eau sont localisées dans les 30 premiers mètres de rocher sain, 98 % dans les 40 premiers mètres. Cela montre que la roche est décomprimée sur une épaisseur d'environ 30 à 40 m.

Ainsi, dans la série granitique au-delà d'une profondeur de 80 m pour le forage, ou après avoir foré 30m dans le rocher sain, tout approfondissement est souvent inutile.

Sur 90 forages qui ont recoupé cette série, 9 % ont largement dépassé une profondeur de 80 m. Leur caractéristique principale est qu'ils sont tous négatifs ou très peu productifs (débit $\leq 0,60$ m³/h.

58 % des forages sur les 38 forages qui ont fait l'objet de l'étude des venues d'eau ont enregistré une profondeur de pénétration dans le socle supérieure à 30 m, et 29 %, une profondeur supérieure à 40 m (ces derniers sont négatifs pour la majorité).

Les schistes

Nombre de forages = 17

Total des venues d'eau: 41 dont 23 moyennes $Q < = 5$ m³/h
18 importantes $Q > = 5$ m³/h.

Pourcentage par tranche de profondeur et par importance de venues d'eau (tableau 3-8 a).

PROF(m)	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100
V.E (%)					
Q<1m ³ /h			25	50	25
1<Q<5m ³ /h		4	61	22	13
Q>5m ³ /h		-	29	57	14
TOTAL VE		3	50	32	15

Pourcentage par gamme de l'ensemble des venues d'eau en fonction de la pénétration dans le socle. (Tableau 3-8b)

Prof. (m)	10	20	30	40	50	> 50
V.E (%)						
Total	12	47	12	9	9	11

Contrairement aux granitofides, dans les schistes on enregistre très peu de venues d'eau dans la tranche 20-40 (3 %). Celles-ci deviennent importantes seulement à partir de 40 m

La tranche de productivité maximale qui correspond à la zone de fracturation maximale se situe entre 40 et 80 m. On y recense 83 % des débits moyens et 86 % des débits importants.

On note toujours des venues d'eau dans la tranche 80-100m de profondeur.

La distribution des venues d'eau en fonction du degré de pénétration dans la roche saine montre que dans les 30 premiers mètres, on recoupe 71 % des venues d'eau et 80 % dans les 40 premiers mètres. Au-delà, il reste toujours 20 % de venues d'eau.

On peut fixer à 95 m les consignes d'arrêt de la profondeur des forages dans cette formation car, de l'analyse des profondeurs des venues d'eau, on note qu'elles ont toutes lieu avant 93 m (14 % des forages de cette unité ont dépassé plus ou moins largement 95 m de profondeur).

Les forages négatifs qui recoupent la série sont généralement caractérisés par une faible épaisseur d'altération.

- Formations sédimentaires

- Grès de Sotuba

Nombre de forages = 20.

Total des venues d'eau = 41 dont 23 moyennes $Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{h}$.
18 importantes $Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pourcentage par tranche de profondeur et par importance de venues d'eau. (tableau 3-9)

Prof. (m)	0 - 20	20-40	40-60	60-80	80-100
V E (%)					
$Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{h}$	9	52	30	9	
$Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$		28	50	17	5
Total V E	5	42	39	12	2

Le classement des venues d'eau (cf tableau 3-9) en fonction de la profondeur, montre que, dans les grès de Sotuba, la zone de productivité maximale est localisée dans la tranche 20-60 m. On y trouve 82 % des débits moyens et 68 % des débits importants.

En considérant l'ensemble des venues d'eau, 98 % sont enregistrés dans les 80 premiers mètres. Au-delà on n'a que 2% de chances de recouper une venue d'eau.

Pour cette unité, on pourra fixer les consignes d'arrêt à une profondeur de 85 m. 17 % des forages qui ont recoupé ces grès ont dépassé cette profondeur plus ou moins largement.

- Etage schisto-grésodolomitique

Nombre de forages = 14

Total des venues d'eau: 37 dont 14 moyennes $Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{h}$.
23 importantes $Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pourcentage par tranche de profondeur et par importance de venues d'eau (tableau 3-10)

Prof. (m)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
V E (%)					
$Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{h}$		57	22	21	
$Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$		61	39		
Total V E		60	32	8	

La repartition des venues d'eau, dans cette unité grésoschisto-dolomitique montre que la zone de productivité maximale est la tranche 20-40 m où on rencontre 57 % des débits moyens et 61 % des débits importants.

La tranche 20-60 m contient 92 % des venues d'eau.

- De l'analyse des profondeurs des venues d'eau, on note qu'au delà de 65 m, il n'y a presque plus de venues d'eau.

Les schistes de Toum

Nombre de forages : 23. Total des venues d'eau = 36 (dans cette unité, les venues d'eau sont données uniquement sous forme de profondeur).

Pourcentage par gamme de profondeur des venues d'eau
(Tableau 3-10).

Prof. (m)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
V E (%)					
Total		25	75		

Dans cette unité, la zone de productivité maximale se situe dans la tranche 40-60 m avec 75 % des venues d'eau.

La tranche 20-60m contient la totalité des venues d'eau.

Pour ces schistes, on peut fixer les consignes d'arrêt de la profondeur des forages à 60 m.

28 % des forages qui recoupent ces formations ont dépassé largement cette profondeur de 60 m.

Le Continental Terminal (substratum grès de Sotuba)

Nombre de forages = 20. Total des venues d'eau = 33 (comme les schistes de Toum, les venues d'eau sont données uniquement sous forme de profondeur).

Pourcentage par gamme de profondeur des venues d'eau
(Tableau 3-12)

Prof. (m)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
V E (%)					
Total		3	33	64	

Dans cette formation, la zone de productivité maximale correspond à la tranche 60-80 m, c'est-à-dire la zone de transition des formations argilo-sableuses avec le substratum gréseux sous-jacent.

La totalité des venues d'eau est comprises dans la gamme 20-80 m.

Les consignes d'arrêt pour cette unité peuvent être fixées à 80, un au-delà de cette limite, on n'a aucune chance de recouper une venue d'eau.

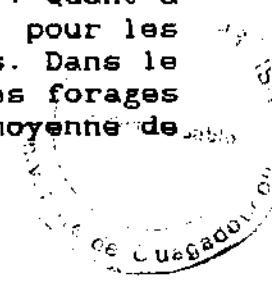
46 % des forages réalisés dans cette formation ont dépassé cette profondeur.

3-4-2. Les forages négatifs

- Profondeur moyenne et épaisseur moyenne d'altération des forages (fig 3-7)

De l'analyse des profondeurs et des épaisseurs d'altération des forages négatifs et des forages les moins productifs il ressort que ces derniers sont caractérisés par une grande profondeur et une faible épaisseur d'altération.

La profondeur moyenne des forages négatifs dans le sédimentaire (excepté le Continental Terminal) est de 79,5 m alors que celle des forages positifs est de 65 m. Quant à l'épaisseur moyenne d'altération, elle est de 19 m pour les forages négatifs contre 40,4 m pour les forages positifs. Dans le socle, la profondeur moyenne est de 74 m pour les forages négatifs contre 67 m pour les positifs ; l'épaisseur moyenne de l'altération est de 34,5 m contre 39 m.



PROFONDEURS MOYENNES

FORAGES NEGATIFS

PROFONDEUR (M)

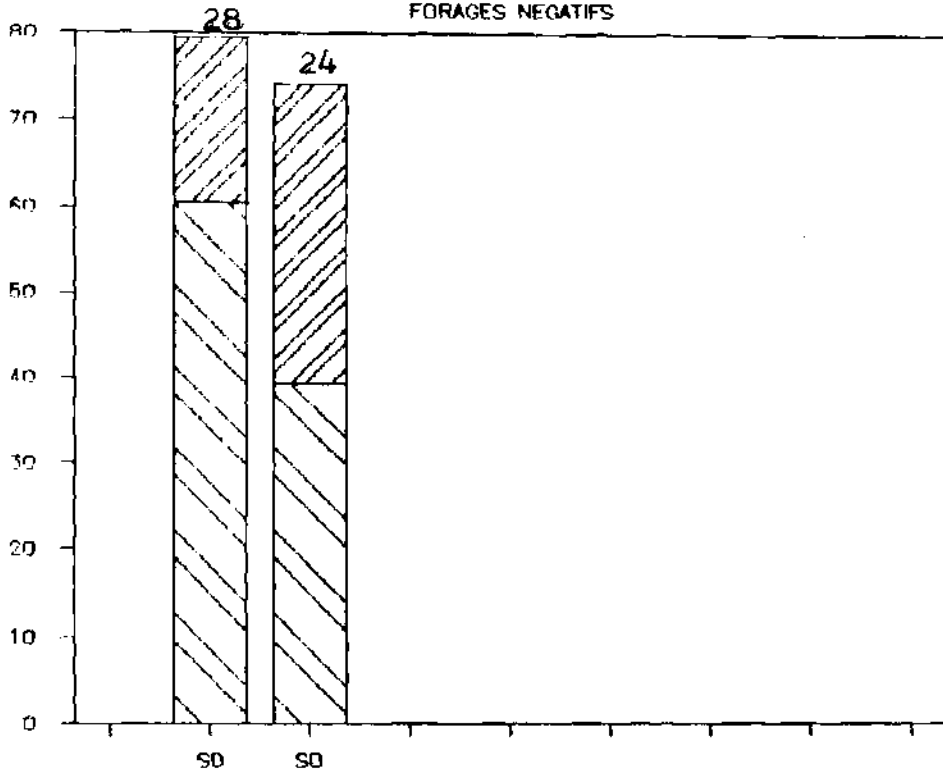



Fig 3-7

 SOCLE

GEOLOGIE
 ALTERATION

Legende

SD = Sédimentaire

S0 = Socle cristallin

3-4-3. Les puits

L'analyse statistique a porté sur une population d'environ 220 puits réalisés dans le cadre du projet.

L'étude a consisté aux calculs de moyennes à partir des données numériques des paramètres caractéristiques tels que les profondeurs, le débit et le niveau statique.

3-4-3-1. Tableau des valeurs moyennes des caractéristiques des puits des différentes formations géologiques et des taux de succès (tableau 3-13).

	Unités géologiques	Profondeur (m)	Débit (m ³ /h)	Niveau statique	Taux de réussite (*)
Région	Grès de Bandiagara	17,80	2,26	10,82	85 %
	Grès de Koutiala	25,63	1,93	20,44	97 %
Sédimentaire	Continental Terminal	33,25	1,53	30,03	82 %
	Schistes de Toum	24,60	2,63	14,75	100 %
Socle cristallin	Grès de Sotuba	20,90	0,84	16,48	100 %
	Roches granitoides	21,91	0,89	13,57	72 %
	Volcano-sédimentaire	29,79	0,98	16,21	93 %

(*) Les taux de réussite mentionnés sont les taux de réussite nouvelles constructions plus approfondissements. Le taux de succès des nouvelles constructions uniquement sont plus ou moins légèrement inférieurs.

3-4-3-1. Histogrammes des taux de réussite par formations géologiques

Un puits est considéré positif si le débit atteint 250l/h ainsi, la classification suivante a été faite pour déterminer le pourcentage de réussite par rapport à la productivité des ouvrages;

puits négatifs	Q < 250l/h
puits positifs	250 ≤ Q ≤ 800l/h
puits très positifs	800 ≤ Q ≤ 1600l/h
puits extrêmement positifs	Q > 1600l/h.

- Socle cristallin (fig 3-8)

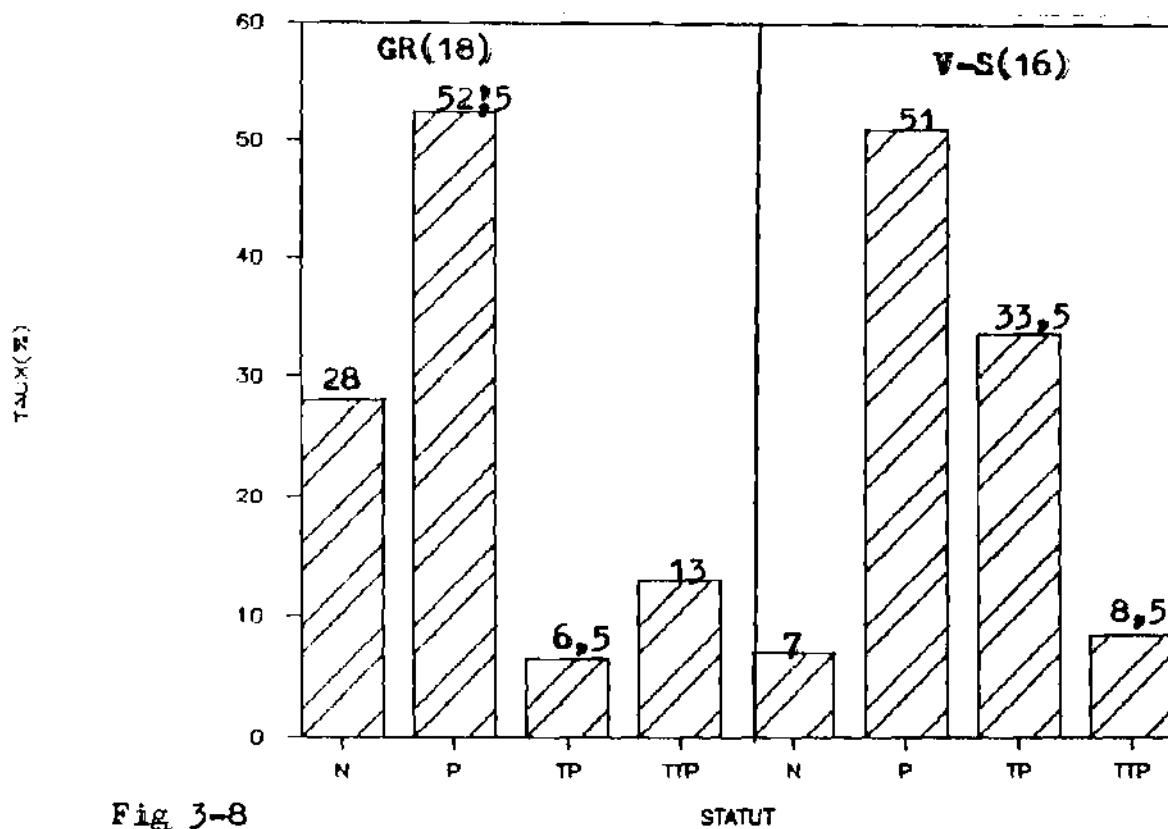
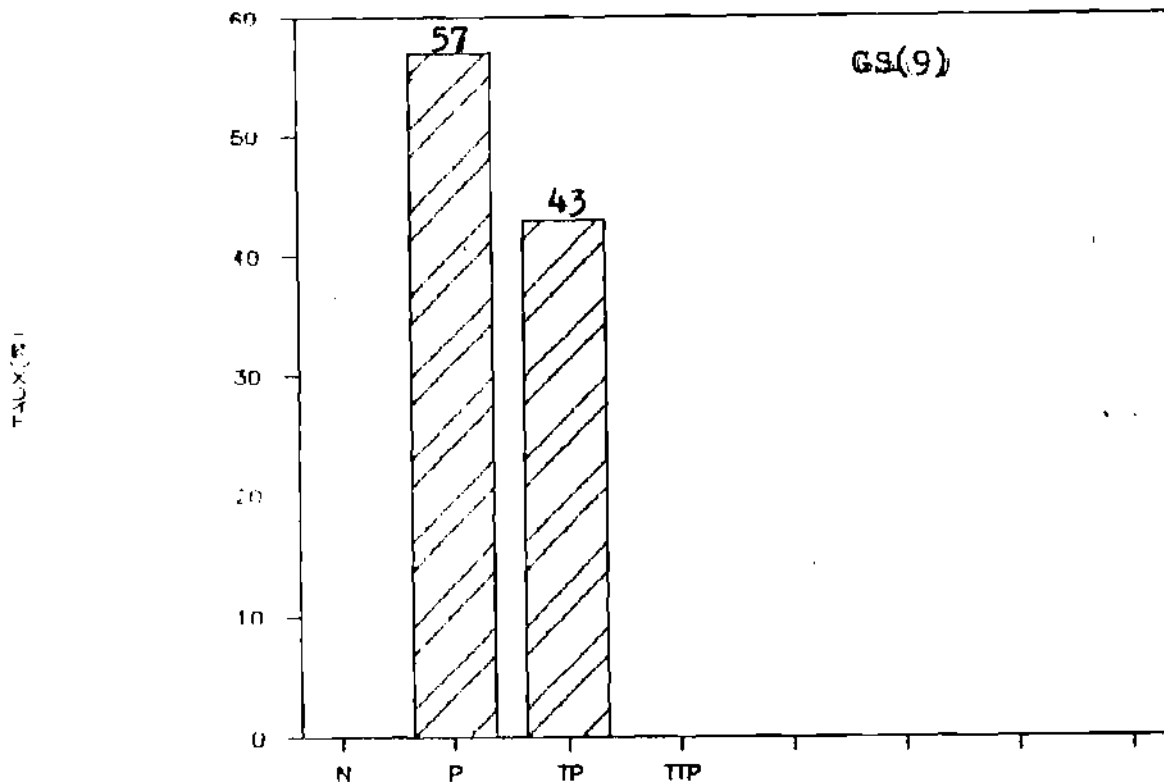


Fig 3-8

Legende N = Négatifs (18), = Nombre de puits
P = Positifs TTP = Très Très Positifs
TP = Très Positifs



- Formations sédimentaires (fig 3-9)

- Les grès de Bandiagara (GB)

Dans cette formation la profondeur des puits est la plus faible (17,78 m). Le problème majeur au niveau de cette unité est la faible épaisseur de l'altération qui dépasse rarement 15 m.

La valeur moyenne du débit des puits est de 2,26 m³/h. 41% des puits ont un débit supérieur à 1,6m³/h; les débits sont très hétérogènes et peuvent être remarquablement élevés (le plus fort débit observé est 9,99 m³/h).

La profondeur du niveau piézométrique est faible. Sa valeur moyenne est de 10,82 m par rapport au sol.

Le taux de succès élevé (85 %) dans cette formation est dû aux approfondissements, sinon c'est l'unité qui enregistre le taux de puits négatifs le plus élevé de toutes les autres unités géologiques.

Pendant la campagne 83-84, le taux de réussite des nouvelles constructions était de 32 % et en 84-85, il était de 68 % .

- Les Grès de Koutiala (GK)

Dans ces grès, la profondeur moyenne des puits est 25,63 m.

Le débit moyen est 1,93 m³/h. Sur les histogrammes des débits, on constate que 33 % des puits procurent un débit compris entre 0,8 et 1,6 m³/h et 49 % des puits, un débit supérieur à 1,6 m³/h.

C'est l'une des formations la plus favorable à la construction des puits.

Le niveau moyen de l'eau par rapport au sol est 20,4 m.

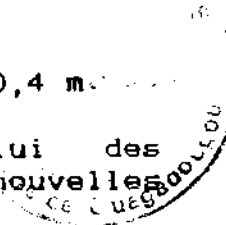
Le taux de réussite 97 % inclut celui des approfondissements. Le taux de réussite des nouvelles constructions était de 84 % pendant la campagne 84-85.

- Le Continental Terminal (CT)

C'est dans cette formation que la moyenne de la profondeur des puits est la plus grande: 33,25 m.

Le débit moyen est 1,53 m³/h. Les débits sont relativement forts 83 % des puits positifs ont un débit supérieur à 1m³/h.

Le niveau statique est plus profond que dans toutes les autres formations. Il est supérieur à 30 m.



TAUX (%)

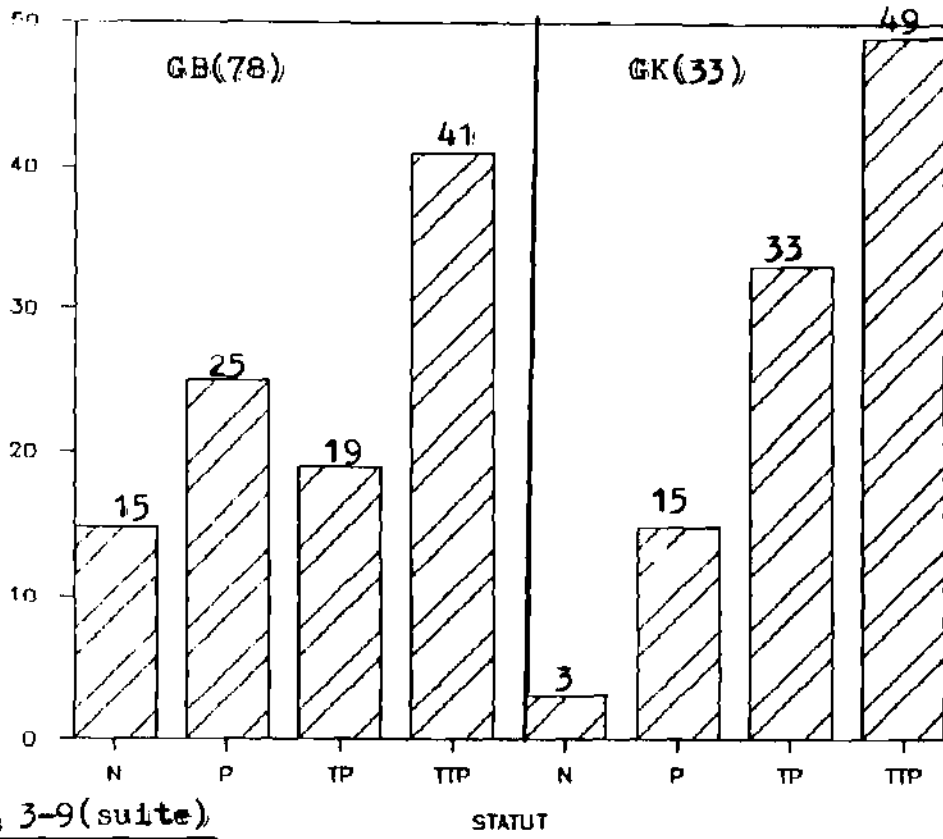
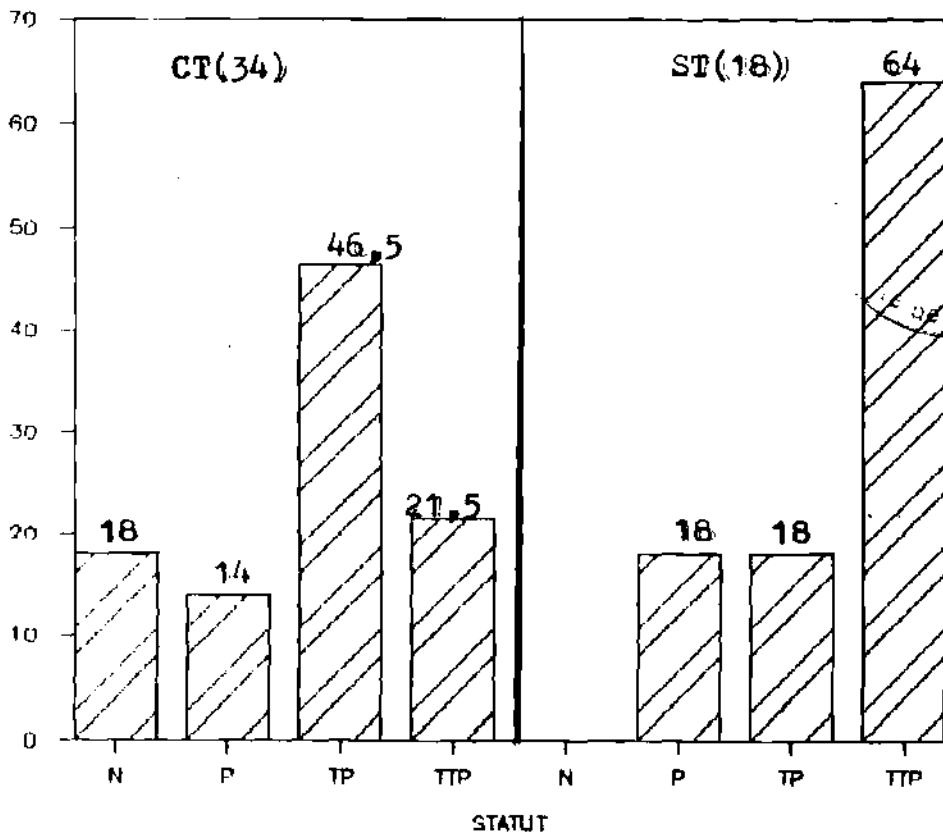


Fig. 3-9(suite)

TAUX (%)



C'est l'une des unités les plus favorables à la construction des puits; le taux de succès important est de 82 % .

- Les Schistes de Toum (ST)

C'est la formation la plus favorable de toutes. Lorsqu'on creuse jusqu'à une profondeur suffisante (en moyenne 24,60 m), on est presque sûr d'obtenir un ouvrage productif.

Le débit moyen est le plus élevé et les puits à gros débits sont très courants. 64 % des puits ont un débit supérieur à 1,6 m³/h.

Le taux de succès 100 % est dû sans doute aux approfondissements .

La profondeur moyenne des puits est 24,60 m pour un niveau statique moyen de 14,75 m.

- Les Grès de Sotuba (GS)

La profondeur moyenne des puits est 20,89 m.

La valeur moyenne des débits dans cette formation est la plus faible (0,84 m³/h par rapport aux autres formations sédimentaires.

Il n'y a pratiquement pas de débits supérieurs à 1,6 m³/h. Les débits sont faibles dans l'ensemble; 57 % des puits ont un débit compris entre 0,250 et 0,800 m³/h.

Cependant, le taux de succès dans cette formation est très élevé. Il est de 100 % .

- Les roches granitoïdes (GR)

Les puits dans cette unité sont peu profonds. La valeur moyenne de la profondeur est 21,90 m.

Le débit moyen est 0,89 m³/h. Les ouvrages sont peu productifs dans l'ensemble. 59 % des puits positifs ont un débit inférieur ou égal à 1,6 m³/h.

En outre, c'est l'unité qui enregistre le taux de puits négatifs le plus élevé (28 %) de toutes les autres formations géologiques.

- Les formations métavolcano-sédimentaires (VS)

La profondeur moyenne des puits de cette formation est assez importante. Sa valeur est 29,80 m. C'est la formation où les valeurs de profondeurs sont les plus homogènes.

Le débit moyen est 0,98 m³/h. Les débits sont en général peu importants , seuls 8,5 % des puits ont un débit supérieur à 1,6 m³/h.

Le niveau statique moyen (16,20 m) est plus bas que dans les granitoïdes.

Le taux de réussite, élevé (93 %) est très supérieur à celui des granitoïdes.

En conclusion :

- les ouvrages exécutés dans le sédimentaire sont plus productifs que ceux réalisés dans le socle cristallin.
- les formations les plus favorables à la construction des puits sont par ordre de croissance le Continental Terminal, les Grès de Koutiala, les Schistes de Toum.

celles qui enregistrent les taux de puits négatifs les plus élevés sont les Grès de Bandiagara et les roches granitoïdes.

si les Grès de Sotuba donnent un taux de réussite élevé, les débits procurés par les puits qui le captent sont par contre médiocres.

3-4 4. Représentativité des résultats

Les remarques suivantes s'imposent quant aux résultats qu'on est en droit d'attendre de l'étude statistique:

- Les résultats ne sont valables que globalement pour une population donnée.
- L'analyse statistique a porté, suivant les types de roches et les caractéristiques étudiées, sur des populations d'importance variable, donc les résultats sont de valeur inégale.

C'est ainsi que le degré de précision est important dans les granitoïdes, Schistes, Grès de Sotuba où le nombre de forages ayant fait l'objet de l'étude, est élevé.

Il diminue par contre dans les grès de Bandiagara, de Koutiala, les grès à galet de quartz, où la population considérée est faible.

CONCLUSION GENERALE

1°) Les forages

- Dans toutes les unités géologiques de la région d'étude, la profondeur moyenne des forages dépasse 60 m exception faite des Schistes de Toum, les Grès à galets de Quartz et de l'Etage schisto-grésodolomitique.

Les forages les plus profonds se trouvent dans le Continental Terminal, les Grès de Bandiagara et dans les schistes. Dans ces formations, la profondeur moyenne des forages dépasse 70 m.

- Quant à l'épaisseur d'altération, elle est en général très forte dans le sédimentaire (la moyenne dépasse largement 30 m sauf dans les Grès de Bandiagara et les Grès à galets de Quartz où l'épaisseur moyenne de l'altération n'atteint pas 20 m.

Comparativement à d'autres régions du pays, l'épaisseur moyenne de la zone altérée est relativement plus grande dans la partie cristalline de la zone d'étude. Elle dépasse 30 m.

- Les niveaux statiques sont partout compris entre 10 et 30 m de profondeur (par rapport à la surface du sol) sauf dans le Continental Terminal où ils dépassent plus ou moins largement 30 m.

De l'analyse des débits, il ressort que les ressources en eau sont variables suivant les unités intéressées.

En effet, les potentialités des ressources en eau souterraine sont beaucoup plus importantes dans le sédimentaire que dans le socle cristallin.

Dans le sédimentaire, les débits supérieures à 10 m³/h sont très courants surtout dans les grès à galets de quartz, l'Etage schisto grésodolomitique, les Grès de Bandiagara.

Par contre, dans le socle cristallin, les débits sont faibles à moyens. Les débits supérieurs à 10 m³/h sont exceptionnels.

- Aussi bien dans le sédimentaire que dans le socle, les taux de réussite sont élevés. Les plus faibles taux sont enregistrés au niveau du Continental Terminal: substratum Schistes de Toum (70 %) substratum étage schisto-grésodolomitique (67 %).

Le taux d'échec élevé dans le premier cas est dû à une bande d'argilites où sur 9 forages réalisés, 8 sont négatifs.

L'étude des venues d'eau a montré que dans les granitoïdes, il est généralement inutile de pénétrer dans la roche saine au plus d'une trentaine de mètres, épaisseur au-delà de laquelle on a très peu de chance de recouper une venue d'eau (8 %).

La règle n'est pas par contre applicable aux schistes où au-delà de 40 m, on enregistre encore 20 % des venues d'eau.

Dans le sédimentaire, l'étude des venues d'eau en fonction de la profondeur, montre qu'en général, à 60 m, on recoupe plus de 90% des venues d'eau sauf dans le Continental Terminal où la zone de productivité maximale est la tranche 60-80 m.

- Les forages négatifs et les forages les moins productifs sont très souvent les plus profonds.

3) Les puits

La profondeur moyenne des puits varie de 17 à 34 m suivant les unités géologiques.

Les puits les moins profonds se trouvent au niveau des Grès de Bandiagara, les plus profonds dans le Continental Terminal et les Schistes.

- En général, les débits sont plus importants dans le sédimentaire (le débit moyen varie de 1,53 à 2,63 m³/h) que dans le socle où ils sont faibles (le débit moyen est égal à 0,94 m³/h).

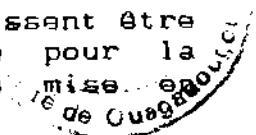
- Les taux de succès élevés sont dus sans doute aux approfondissements.

En général, ce sont les Grès de Bandiagara et les granitofides qui enregistrent les taux d'échec les plus élevés.

- Les formations les plus favorables à la construction des puits sont les Schistes de Toum, les Grès de Koutiala, le Continental Terminal.

L'analyse statistique qui a été faite, bien que portant sur un nombre réduit d'ouvrages, permet de mieux comprendre le cadre hydrogéologique des différentes formations recoupées.

Nous souhaitons que les résultats présentés puissent être utiles aux techniciens intervenant dans la zone pour la détermination d'une stratégie de recherche, de mise en exploitation et de foration dans la région.

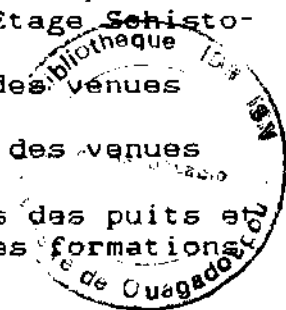


Liste des figures (fig.)

- Fig. 1-1 : Carte de situation de la zone d'étude
Fig. 1-2 : Carte des isohyètes Période 1974-1985
Burkina Faso.
Fig. 1-3 : Carte du réseau hydrographique
Fig. 1-4 : Carte géologique
Fig. 1-5 : Séquence sédimentaire
Fig. 1-6 : Coupes types du profils d'altération
Fig. 1-7 : Extrait de la carte de synthèse des linéaments.
- Fig. 2-1 : Exemple de photo-interprétation
Fig. 2-2 : Principe méthode géo-électrique
Fig. 2-3 : Principe méthode électromagnétique
Fig. 2-4 : Exemples de profils électriques dans le sédimentaire
Fig. 2-5 : Exemples de profils électriques dans le socle
Fig. 2-6 : Exemples de sondages électriques dans le
sédimentaire
Fig. 2-7 : Exemples de sondages électriques dans le socle
Fig. 2-8 : Exemple de profil électromagnétique
Fig. 2-9 : Coupe technique d'un forage
Fig. 2-10 : Sondage de reconnaissance.
Fig. 2-11 : Schéma d'un puits simple
Fig. 2-12 : Schéma d'un puits avec captage
Fig. 2-13 : Superstructures d'un puits
- Fig. 3-1 : Histogrammes des profondeurs moyennes des forages dans
le sédimentaire.
Fig. 3-2 : Valeurs moyennes du débit dans les formations sédimen-
taire.
Fig. 3-3 : Histogrammes de la fréquence des débits dans le sédi-
mentaire
Fig. 3-4 : Histogrammes des profondeurs moyennes des forages dans
le socle cristallin
Fig. 3-5 : Histogrammes des débits moyens des formations du socle
cristallin
Fig. 3-6 : Histogrammes de la fréquence des débits dans le socle
Fig. 3-7 : Histogrammes de la profondeur moyenne des forages
négatifs
Fig. 3-8 : Histogramme des taux de réussite par formations géolo-
giques (socle cristallin)
Fig. 3-9 : Histogrammes des taux de réussite pour les formations
sédimentaires.
-

Liste des tableaux (Tab.)

- Tableau 1-1 : Débits du Mouhoun
Tab. 3-1 : Coefficients de variation caractéristique des données de profondeurs et des épaisseurs d'altération dans le sédimentaire.
Tab. 3-2 : Valeurs moyennes du niveau statique dans le sédimentaire
Tab. 3-3 : Taux de succès en fonction de la lithologie dans le sédimentaire
Tab. 3-4 : Coefficients de variation caractéristiques des séries de valeurs de la profondeur et de l'épaisseur d'altération des formations cristallines.
Tab. 3-5 : Valeurs moyennes du niveau statique dans le socle.
Tab. 3-6 : Taux de succès en fonction de la lithologie dans le socle
Tab. 3-7a : Pourcentage par tranche de profondeur et par importance des venues d'eau dans les granitofides.
Tab. 3-7b : Pourcentage par gamme de l'ensemble des venues d'eau en fonction de la pénétration dans la roche saine.
Tab. 3-8a : Pourcentage par tranche de profondeur et par importance des venues d'eau dans les schistes.
Tab. 3-8b : Pourcentage par gamme de l'ensemble des venues d'eau en fonction de la pénétration dans le socle.
Tab. 3-9 : Pourcentage par tranche de profondeur et par importance des venues d'eau dans les grès de Sotuba.
Tab. 3-10 : Pourcentage par tranche de profondeur et par importance des venues d'eau dans l'Etage Schisto-grés-Dolomitique.
Tab. 3-11 : Pourcentage par gamme de profondeur des venues d'eau dans les Schistes de Toum.
Tab. 3-12 : Pourcentage par gamme de profondeur des venues d'eau dans le Continental Terminal.
Tab. 3-13 : Valeurs moyennes des caractéristiques des puits et du taux de succès dans les différentes formations géologiques.



BIBLIOGRAPHIE

- 1) Biscaldi R. 1967
Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique occidentale.
- 2) Bremond R. 1969
Construction des puits de captage d'eau
- 3) CIEH-BGR, Février 1985
Evaluation hydrogéologique des projets d'hydraulique en terrains cristallins du bouclier Ouest-africain.
- 4) CEFIGRE-CIEH, 1984.
Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest.
- 5) Defossez M. 1962
Contribution à l'étude hydrogéologique de la Boucle du Niger
- 6) Detay M. - Doutambaye C. 1989.
Hydrogéologie statistique du socle précambrien de la République Centrafricaine: principaux résultats du programme d'hydraulique villageoise en zone cotonnière. Bull. du CIEH n 76.
- 7) Detay M. 1985
Analyse statistique des paramètres hydrogéologiques de la première campagne de forages dans le Sud-Ouest gabonais. Bull. du CIEH n 60.
- 8) Elgueta S. 1983
Etude géologique régionale et des principaux aquifères de la zone du projet d'hydraulique villageoise Volta Noire.
- 9) Gnomou Yazon, Mai 1986
Evaluation de la campagne 1984-1985 de construction de puits (projet d'hydraulique villageoise boucle du Mouhoun).
- 10) IWACO, Mars 1985
Etude d'implantation et de suivi de l'exécution du programme de forages dans la région de la Volta Noire.
- 11) IWACO, Janvier 1987
Rapport final des travaux de forages 1ère et 2ème Phase (PHV-BMHN).
- 12) IWACO, Mai 1989
Inventaire des ressources en eau : Tome 2: Bilan d'eau.
- 13) IWACO, Octobre 1989
Rapport final des études d'implantation et du suivi technique et financier de 142 forages . 3ème Phase (PHV-BMHN).

14) Leprun J. C. 1969
Evolution géomorphologique de la vallée du Sourou et de ses bordures voltaïques.

15) Schuchmann J. B. Juillet 1985
Evaluation de la construction des puits, campagne 1983-1984. (PHV-BMHN).

16) Seni PAPADNAM, 1985
Recherche Hydrogéologie en zones cristalline et sédimentaire (Provinces Kossi, Mouhoun, Sourou).

17) ZEMBELONGO G. J. 1982
Hydraulique villageoise , région de la Volta Noire.
Interprétation de l'imagerie landsat et des photographies aériennes (rapport de stage).

