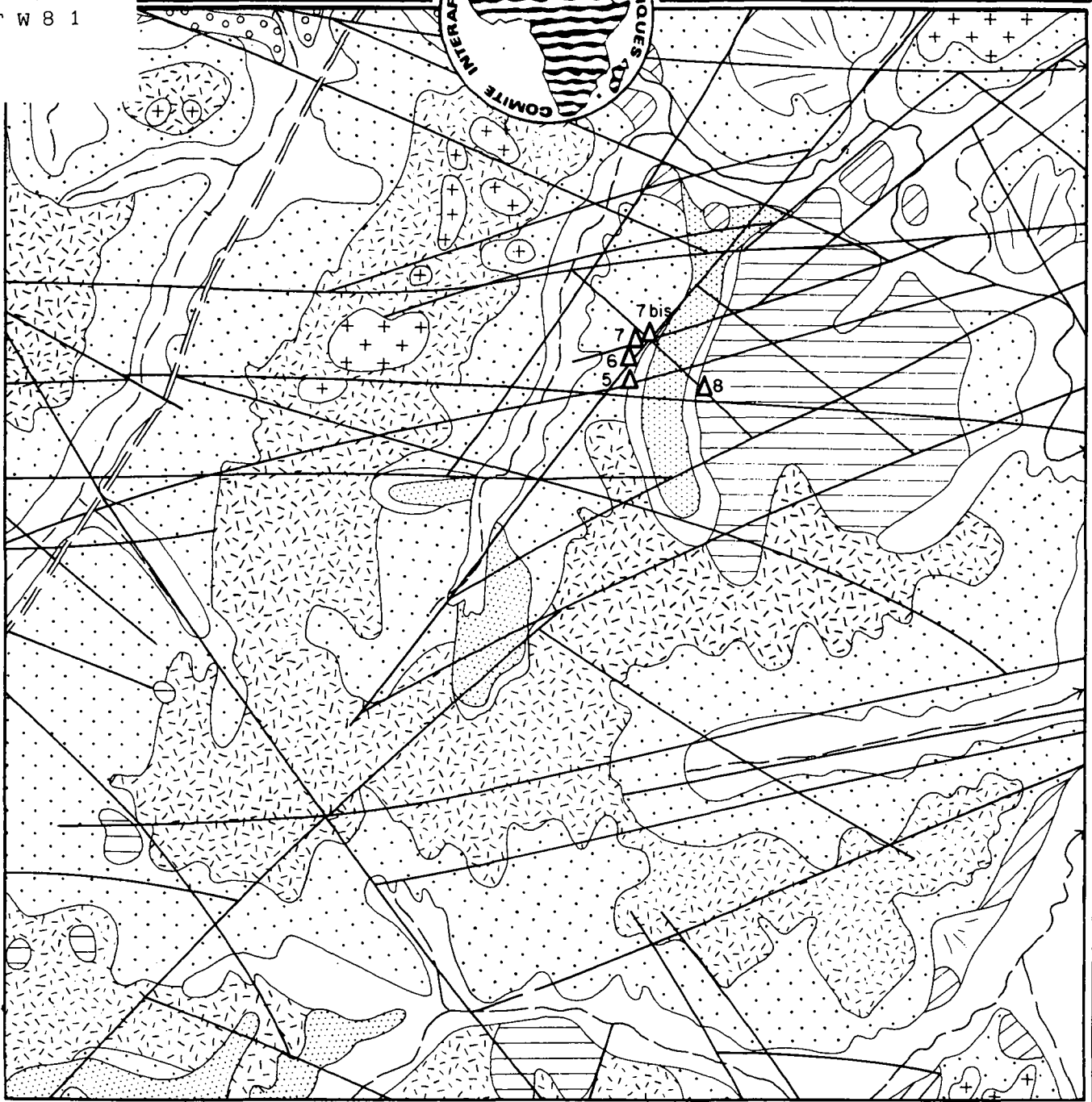




24
FW 8 1



METHODE D'ETUDE ET DE RECHERCHES DE

L'EAU SOUTERRAINE DES ROCHES CRISTALLINES

DE L'AFRIQUE DE L'OUEST (VOLUME 3)

ATLAS DE PHOTO-INTERPRETATION



GEOHYDRAULIQUE

DECEMBRE 1981

824 AFW01-
3852

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES (C.I.E.H.)

BP 369 OUAGADOUGOU

HAUTE VOLTA

MÉTHODE D'ÉTUDE ET DE RECHERCHES DE L'EAU
SOUTERRAINE DES ROCHES CRISTALLINES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

ATLAS DE PHOTO-INTERPRETATION

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC)
P.O. Box 93190, 2509 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

RN: 3852

LO: 824 AFW81

Avec le concours financier du

FONDS D'AIDE ET DE COOPÉRATION

GÉOHYDRAULIQUE
10, RUE EUGÈNE RENAULT - 94700 MAISONS-ALFORT FRANCE

DECEMBRE 1981

S O M M A I R E

	<u>pages</u>
INTRODUCTION	3
<u>1ERE PARTIE - LA RECHERCHE D'EAU DANS LES FRACTURES DU SOCLE</u>	
1. - LE SYSTEME AQUIFERE EN REGION DE SOCLE	8
2. - ANALYSE DE LA MORPHOLOGIE	8
3. - INFLUENCE DE LA GEOLOGIE SUR LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES ..	15
4. - INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE L'ALTERATION SUR LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES	16
5. - FREQUENCE DES FRACTURES	16
6. - RELATION ENTRE LE DEBIT ET LA DIRECTION DES FRACTURES	17
7. - RELATION ENTRE LE DEBIT PRODUIT ET LA LONGUEUR DES FRACTURES	21
8. - PRODUCTIVITE DES FORAGES IMPLANTES SUR LES NOEUDS DE FRACTURES	22
9. - RELATION ENTRE L'OUVERTURE ET LE DEBIT DES FRACTURES	23
10. - LA PROFONDEUR DES VENUES D'EAU	24
11. - PROFONDEUR DES FORAGES	25
12. - IMPLANTATION DES OUVRAGES DE CAPTAGE	28
RESUME	29
<u>2EME PARTIE - ATLAS DE PHOTO-INTERPRETATION APPLIQUE A LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE DANS LE SOCLE.</u>	

INTRODUCTION

Les roches cristallines et métamorphiques, ainsi que les quartzites, les grès massifs et les schistes sont quasi imperméables, s'ils ne sont pas altérés ou fissurés. Les formations altérées contiennent localement un aquifère qui est exploité essentiellement par des puits.

L'exploitation optimale des ressources hydrauliques du socle ne peut se faire qu'avec des forages pénétrant la roche fissurée. Comme les formations altérées se développent à partir de la fissuration des roches, la recherche hydrogéologique dans les régions de socle est axée avant tout sur l'étude des fractures.

La recherche des fractures sur le terrain est aléatoire et le plus souvent impossible en raison de l'absence d'affleurements significatifs, de la morphologie plate et monotone et de la couverture herbacée (savane), arborée (forêt) ou sableuse (Sahel). La géomorphologie aide à retrouver sur le terrain la trace d'un accident quand on sait qu'il existe.

La géophysique a pendant longtemps souffert d'un transfert de responsabilités de la part des hydrogéologues impuissants devant une nature géologiquement muette. Guidée par une étude préalable de la fracturation, la géophysique est une technique précieuse.

La photo-interprétation, la géomorphologie, et la géophysique ont le même but : trouver une fracture productrice ou la poche altérée située au droit de cette fracture.

La méthode la plus précise, la plus rapide et donc la moins coûteuse pour détecter et localiser les fractures est la photo-interprétation.

La photographie aérienne est l'oeil de l'hydrogéologue.

La première partie de cet ouvrage analyse les facteurs qui influencent la productivité des fractures et par suite celle des ouvrages de captage.

Cette analyse permet la sélection des fractures productrices parmi les nombreux accidents relevés par photo-interprétation.

La deuxième partie est un recueil d'exemples de photo-interprétation choisis pour la plupart dans des projets d'alimentation en eau suivis de réalisations. Les hydrogéologues nationaux se familiariseront avec la lecture des photographies aériennes et la recherche des fractures.

L'interprétation sert de support au rappel de la méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches du socle.

L'Atlas de photo-interprétation réunit cinquante exemples pratiques commentés ; il contribue à réduire la marge qui existe entre ce que l'on sait et ce que l'on fait, marge qui a tendance à s'accroître avec l'évolution rapide des idées dans ce domaine.

1ère PARTIE

LA RECHERCHE D'EAU DANS LES FRACTURES DU SOCLE CRISTALLIN

INTRODUCTION

Les résultats exposés ci-après, sont issus de l'analyse de campagnes de puits et de forages réalisées ces dernières années en tenant compte, en particulier, de la fracturation.

Plus de 2.500 ouvrages ont été sélectionnés au Bénin, en Côte d'Ivoire, Haute Volta, au Mali, Niger, Sénégal et Togo.

Les statistiques s'appliquent à posteriori à des résultats de travaux qui ne sont pas nécessairement le fruit d'une bonne approche méthodologique. Il est toujours possible de calculer des pourcentages et d'élaborer une formulation mathématique à partir des données du terrain. Les nombres donnent une apparence de science exacte qui peut masquer un phénomène naturel mal observé ou mal interprété.

Une nouvelle analyse à caractère naturaliste permet l'explication d'un phénomène souligné par des statistiques établies sur des données fiables

Après un rappel du fonctionnement du système aquifère en région de socle, nous analysons les facteurs qui influencent la productivité des ouvrages de captage.

BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

1 - TRAVAUX PUBLIES :

- 1 - B.R.G.M. - 1966
Reconnaissance hydrogéologique en vue de l'alimentation en eau de 20 centres hospitaliers ou urbains en Haute-Volta. H.A.E.R. Ouagadougou.
- 2 - B.R.G.M. - 1974
Recherches hydrogéologiques dans les cercles de Kayes et Yelimané. Dir. Hyd. du Sénégal.
- 3 - B.R.G.M. - 1980
Hydraulique villageoise dans l'O.R.D. du Sahel Haute-Volta. D.H.E.R. Ouagadougou.
- 4 - B.U.R.G.E.A.P. - 1978
Construction de puits FED au Togo. (1036/T0) R 292-E519.
- 5 - B.U.R.G.E.A.P. - RENARDET
1980
Projet de développement des régions cotonnières. (DCH-RCI) et Méthodologie et Résultats (CIEH - 10° Réunion).
- 6 - GEOHYDRAULIQUE
(1973-1974-1975-1976)
Etudes Hydrogéologiques et rapports de fin des travaux. A.V.V. Haute-Volta.
- 7 - GEOHYDRAULIQUE - 1978
Méthode d'études et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines. CIEH - Ouagadougou (Tome I).
- 8 - GEOHYDRAULIQUE - 1979
Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines (Tome II) Travaux complémentaires. CIEH - Ouagadougou Haute-Volta.
- 9 - GEOHYDRAULIQUE - 1980
Enquête Hydrogéologique. Puits 2° FED - Bénin. Dir. Hydraulique C.C.E. - Cotonou - Bénin.
- 10 - HUBERT C. - 1980
Prospection géophysique par méthode électrique sismique et magnétique dans l'arrondissement de Massantola (Cercle de Kolokani) D.H. Mali et PNUD.
- 11 - KRUGER I. A/S - 1975
Etude hydrogéologique préliminaire du Damagaram Mounio et du Sud Maradi - Ministère des Mines et de l'Hydr. - Niger.

2. - TRAVAUX NON PUBLIES :

- 12 - D.C.H. (RCI) et GEOHYDRAULIQUE Projet Boucle du Cacao - Côte d'Ivoire
Diverses notes internes et compte-rendus
de travaux
- 13 - D.H. MALI et HELVETAS -
1978 - 1980 Campagne de forages au Mali (Bougouni)
- 14 - D.H. TOGO et B.R.G.M. - 1980 Forages du IV° FED du Togo.
- 15 - SOLAGES S. - 1979 Résultats de la 1ère campagne de forages
exécutée au marteau fond de trou au Sénégal.
DHUR-DEP Dakar Sénégal.

1. - LE SYSTEME AQUIFERE EN REGION DE SOCLE [8]

Les formations altérées ou sableuses sont plus poreuses mais moins perméables que les roches fissurées.

Il faut un volume de roche fissurée 10 à 50 fois plus grand qu'un volume altéré pour avoir la même réserve utile.

Un km² d'aquifère altéré renferme 20.000 à 50.000 m³ d'eau par mètre saturé, alors qu'un massif fissuré de même surface n'en recèle que 1.000 à 2.000 m³/m.

Un à deux mètres d'aquifère poreux peut contenir autant d'eau disponible qu'un massif fissuré de 40 m d'épaisseur.

La réserve d'eau, dans les régions de socle se trouve essentiellement dans les altérites. La faible perméabilité du milieu poreux limite le débit des puits.

L'exploitation optimale des réserves ne peut se faire que s'il existe un drain naturel suffisant pour induire le plus grand volume d'altération saturée. Le système drainant peut être les arènes sableuses de la base des altérites, ou la zone fissurée au sommet de la roche, ou une fracture. Un forage implanté sur une fracture très conductrice est l'ouvrage de captage le plus recommandé.

Des essais réalisés sur des stations de pompage expérimentales montrent que le choix doit porter sur des fractures au moins kilométriques pour assurer un débit pérenne dans le cadre de l'hydraulique villageoise.

2. - ANALYSE DE LA MORPHOLOGIE

L'interprétation des documents aériens repose sur l'analyse des formes de relief perçues soit directement en vision stéréoscopique, soit indirectement par l'étude du réseau hydrographique et des variations de teintes des photographies.

La morphologie résulte de l'action, actuelle ou passée, de facteurs externes (météorologiques, anthropiques) sur un milieu structuré par des facteurs internes (pétrographie, structure géologique, fractures).

Les roches se désagrègent et s'altèrent en fonction de leur structure, de leur texture, de leur composition minéralogique, de leur état de fissuration et du climat. C'est au niveau des fissures que les phénomènes sont les plus actifs, si bien qu'un état morphologique évolué peut s'expliquer en fonction de la fracturation. Les zones altérées s'érodent plus facilement et le réseau

hydrographique s'inscrit volontiers sur les réseaux de fractures. Inversement, l'analyse du tracé des cours d'eau renseigne sur le type de fracturation, la nature et la structure de la roche (Tableau 1) [5]

- . Un chevelu hydrographique est d'autant plus dense que le terrain qui le supporte est imperméable, ce qui est le cas sur altération argileuse évoluée à partir des schistes, des dolérites et des roches foliées. Cet état est naturel sur les argilites.
- . Sur socle granitique (roches cristallines compétentes en général) un chevelu dense et bien ramifié est l'indice d'une forte épaisseur d'altération. Sur ce type de roche, un tracé orthogonal (tracé en baïonnette) traduit un réseau de diaclases ouvertes mais généralement courtes et superficielles. Tout tracé anguleux signifie une faible épaisseur d'altération. La roche affleure en interfluve. Lorsque les figures sont polygonales, c'est que la zone se situe en position d'interfluve ou sur un plateau limité par deux accidents majeurs. Le figuré polygonal s'ébauche dans un matériau encore plastique donc peu apte à se fissurer en dehors des grands accidents. Ce sont généralement des zones peu propices à l'implantation des puits. La localisation des forages demande une attention particulière.

A l'approche des grands accidents, les figures polygonales s'allongent et s'effacent. Donc les polygones sont les indices de zones anciennes plus ou moins stables, faiblement ou moyennement altérées. Il vaut mieux reporter la zone d'étude en bordure des grands accidents.

- . Dans les roches schisteuses ou foliées, les fractures reprennent les linéations existantes. Les marigots ont un allongement caractéristique avec des affluents principaux parallèles et les affluents secondaires courts et disposés en épis. Comme dans les roches grenues, tout tracé heurté traduit une faible épaisseur d'altération. Il existe tous les termes de passage entre un réseau en baïonnette et un chevelu dense et sinueux indiquant l'augmentation progressive de l'altération et de la pluviométrie.

Mais attention, dans presque tous les cas de figures il est fortement déconseillé de placer le forage dans le lit du marigot, car il est extrêmement rare que ce dernier se superpose directement à la fracture.


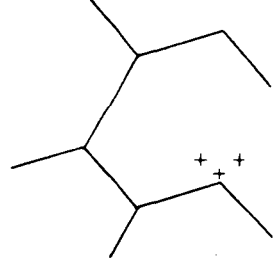
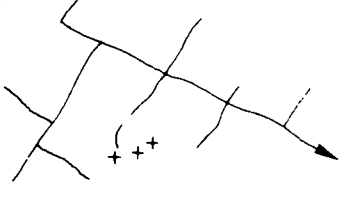
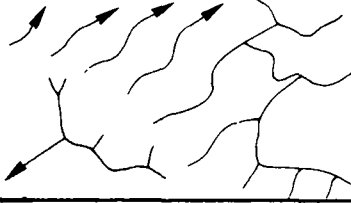

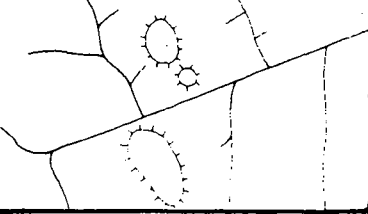
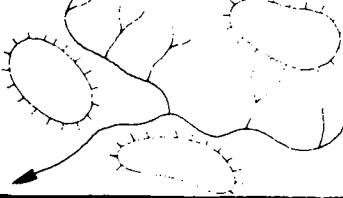
- . Une ébauche hydrographique donne la localisation, la taille et le type de maille de fracturation. La périphérie de la maille s'articule sur plusieurs familles directionnelles de fractures. Choisir, soit la direction reconnue comme étant ouverte, soit le point d'intersection de deux fractures. Ces zones correspondent au premier changement de pente en bordure du bas-fond.

Le centre de la maille est assurément moins productif sauf si l'on choisit une grande fracture sécante qui dépasse les limites de la maille.

Au cours du Quaternaire, la résultante des actions morpho-climatiques étant un creusement, les différents glacis se sont emboîtés dans les altérites des plateaux, si bien que l'épaisseur de l'altération décroît vers l'aval et les grands marigots coulent sur la roche. A l'amont de l'action de l'érosion régressive, l'altération est conservée sur une forte épaisseur plus ou moins fossilisée par une cuirasse.

Dans les régions à morphologie accusée (montagnes) l'érosion a enlevé la couverture altérée et on observe une vidange généralisée de la zone décomprimée ; les fractures sont ouvertes mais vides et les forages de 40 m sont stériles. Il faut implanter des forages de 80 à 120 m de profondeur sur des accidents multikilométriques ou majeurs, les seuls qui puissent encore être ouverts à ces profondeurs et capables de drainer un volume important de roche. Il est difficile d'alimenter ponctuellement les villages.

TABLEAU 1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES (PLUIE : 1.300 mm environ)

FIGURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	TYPE	OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES CRITERES D'IMPLANTATION	Epaisseur altération (m)	% échec forages	% échec puits
	1	Réseau arrondi, en "choux-fleur". Plateau cuirassé. Zones inondables. Faible pente du réseau hydrographique. Critères d'implantation : absence d'indices géologiques, zone inondable, filon, linéament dénivellation par rapport au marigot <15 m. Puits traditionnels nombreux.	20-25	16	36
	2	Réseau polygonal, en "nid d'abeille". Interfluves érodés. Affleurements fréquents Réseau forte pente. Marigots étroits. Forêt galerie. Cas difficile. Critères d'implantation : linéaments sécants larges, noeuds de fractures, replats. Rupture de pente avec changement de végétation. Pas de puits traditionnels.	10-15	64	Puits déconseillés
	3	Réseau orthogonal ou oblique. Interfluves érodés. Forte pente du réseau. Marigots temporaires étroits. Forêt galerie. Inselberg, affleurement. Cas peu favorable. Rechercher : site bas (alt.<5 m) noeud de fractures, filons, petits talwegs.	15-20	33	52
	4	Sur gneiss. Réseau pente faible. Cuirasse. Forêt galerie. Nombreux puits traditionnels. Rechercher : linéaments, replats la présence de granites (pour les puits). Pour les forages rechercher interfluves érodés, replats, linéaments.	15-24	43	42
	5	Zone forestière. On ne perçoit pas le réseau hydro. Zone granitique. Pente faible du réseau. Cuirasse. Nombreux puits. Grande largeur des zones de drainage. Aucun forage.	forte	?	26
	6	Schistes et granites. Zone indéterminée à secteurs variables. Epaisseur altération variable ; pas de puits. Chercher altération épaisse avec cuirasse, zone inondable absence d'éléments géologiques de surface, noeud de fractures	variable	26	pas de puits
	7	Schistes Birrimiens à linéation parallèle. Altération très épaisse. Pente du réseau faible. Grandes zones inondables.	>27	7	-
	8	Absence d'indices géologiques Pas de puits. Pas de difficulté d'implantation des forages.	>60	faible	-
	9	Réseau digité, autour des collines de roches vertes, dans schistes Birrimiens. Chercher : marigot étroit avec forêt galerie. Filons de quartz et fractures	15-35	50	-

3. - INFLUENCE DE LA GEOLOGIE SUR LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES

Dans les régions humides de l'Afrique de l'Ouest on a tendance à distinguer les roches d'origine sédimentaire, les schistes et les roches cristallines, ces dernières regroupant des variétés pétrographiques très diverses. Une différenciation plus détaillée ne s'avère pas nécessaire dans la mesure où :

- les résultats sont satisfaisants,
- il est difficile d'observer des affleurements enfouis sous une épaisse couverture d'altération saturée qui assure à la fois le débit et la pérennité du débit,
- la quasi totalité des forages est implantée dans les quarante premiers mètres de terrain dont les fractures sont ouvertes sous l'action de la décompression superficielle des roches et toujours pleines en raison d'un niveau statique peu profond.
- Les fractures secondaires pouvant fournir un débit suffisant, on ne s'est jamais bien occupé de l'influence de la nature de la roche. Ce qui n'est pas le cas dans les régions moins pourvues en eau en raison de la pluviosité plus faible, de l'absence d'altération saturée, de la profondeur de l'eau, ou de la morphologie accusée ([1] [2] [3] [9] [10] [11] [14]).

D'une façon générale, les roches plastiques qui se déforment mais ne se morcellent pas sous l'action des contraintes, sont faiblement aquifères (schistes purs, argilites de l'Oti du Togo, et de la Pendjari du Bénin ; pélites du Sénégal oriental, argilites de Kayes au Mali).

Les schistes Birrimiens sont productifs avec des pourcentages de réussites élevés parce qu'ils renferment des filons (quartz, quartzites, microdiorites) ou des bancs de grès. Les débits moyens y sont les plus élevés mais pas les débits maxima. Les roches cristallines sont généralement très fissurées en raison de leur aptitude à se briser ; mais chaque famille de roches a un comportement hydraulique spécifique, en liaison avec le débit, la texture, la structure et le grain de la roche qui font qu'elle est fissurable ou non, altérable ou non.

Il en résulte une grande variabilité dans le pourcentage des réussites et dans les débits. Le fait que l'on rencontre les plus forts débits en valeur absolue dans les granites, ne signifie pas que ces derniers soient régulièrement les plus productifs.

Les travaux récents (Togo, Bénin, Haute Volta, Mali) montrent l'influence de la nature de la roche sur la productivité des puits et des forages à conditions morphoclimatiques voisines. (Tableau 2).

Les granites bien circonscrits, tardi-tectoniques, non régénérés, jeunes ainsi que les dolérites massives sont les plus décevants. Les dykes de dolérites sont productifs uniquement sur leurs épontes [10].

Les roches foliées (gneiss, migmatites...) sont moins productives que les granites. La relation fissuration-altération fait que ce sont, le plus souvent, les roches les plus fissurées -donc productives- qui sont recouvertes par la plus grande épaisseur d'altération. Il y a cumul de facteurs favorables.

Les schistes s'altèrent sur de fortes épaisseurs (60 m) en donnant des résidus argileux peu productifs [12]. Les roches vertes et les dolérites se décomposent en argiles stériles privées d'arènes sableuses. Inversement, les quartzites et les grès durs se débitent en plaquettes ou blocs peu altérés qui ne se prêtent pas au creusement des puits [9]. Les grès tendres sont souvent recouverts d'argile stérile. Les roches cristallines s'altèrent sur une quarantaine de mètres en donnant des produits argileux sur tout le profil sauf à la base où des arènes sont productrices sur roches grenues.

Au Bénin [9] et au Togo [14], les puits creusés dans l'altération, sont plus productifs sur les orthogneiss basiques que sur les orthogneiss acides, ensuite que sur les migmatites acides ; les débits sont faibles et les puits tarissent sur les migmatites basiques et les granites (sauf ceux de Dapango au Togo).

TABLEAU 2 - INFLUENCE DE LA GÉOLOGIE SUR LA PRODUCTIVITÉ DES OUVRAGES

. Togo (Forages IV° FED - B.R.G.M. 1980) [14]

Nature des roches	Nombre forages	Forages dont le débit < 700 l/h	Forages dont le débit > 700 l/h	% forages dont le débit est > 700 l/h
Migmatites Dahomeyen	157	41	116	73,9 %
Gneiss de l'OFÉ	31	13	18	58,1 %
Quartzites ATACORA	6	4	2	33,3 %
Micaschistes ATACORA	39	10	29	74,4 %
Quartzites BUEM	1	0	1	100 %
Schistes BUEM	23	0	23	100 %
Gneiss basiques Kabré	3	0	3	100 %
Schistes de Kandé	13	0	13	100 %
Granites Dapaong	15	1	14	93,3 %
Argilites OTI	4	1	3	75 %
Grès Dapaong	3	0	3	100 %

. Togo (Puits 3° FED Togo - BURGEAP 1978) [4]

Nature des roches	Nombre puits	Q < 500 l/h	Q > 500 l/h	% puits Q > 500 l/h
Grès Pendjari	8	8	0	0 %
Argilites OTI	17	17	0	0 %
Schistes BUEM	7	4	3	43 %
Grès BUEM	7	5	2	28 %
Chlorito - Schistes Kandé	5	4	1	20 %
Schistes sériciteux Kandé	4	2	2	50 %
Micaschistes ATACORA	5	3	2	40 %
Granite	4	4	0	0 %
Orthogneiss acide	9	5	4	45 %
Orthogneiss basique	6	3	3	50 %
Migmatites acides	5	5	0	0 %
Granite Dapaong	14	3	11	78 %

. Haute Volta (O.R.D. Sahe1 - B.R.G.M. - D.H.E.R. 1980) [3]

Nature des roches	Nombre forages	Q < 500 l/h	Q > 500 l/h	% forages Q > 500 l/h
- Sédimentaire	5	1	4	80 %
- Schistes et Volcano-sedi. du Birrimien	11	1	10	91 %
- Granites tardi-tectoniques	13	10	3	23 %
- Granites régénérés	24	12	12	50 %
- Vieux socle anté-birrimien	27	8	19	71 %

TABLEAU 2 - INFLUENCE DE LA GEOLOGIE SUR LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES

. Haute Volta (Centres hospitaliers 1966) [1]

Nature des roches	débit max. absolu	Nombre forages	Forages Q < 600 l/h	Q > 600 l/h	% forages Q > 600 l/h
Gres	12 m ³ /h	2	1	1	50 (1)
Volcanø-sédimentaire	< 3	15	10	5	33
schistes	< 1,6	5	14	1	20
roches vertes	5	2	0	2	100 (1)
granites	6,6	33	12	21	64
		57 retenus			(1) non significatif

. Mali (Cercles de Kayes et Yelimané 1974) [2]

Granites-grès-schistes	15	18	7	11	66 %
Jaspe	50	2	-	-	
dolérite	5	1	-	1	

Les bons débits sont obtenus dans les filons ou les intercalations de grès, jaspe et dolomie dans les schistes ou les argilites stériles.

. Mali (Cercle de Kolokani- Arrondissement de Massantola 1980) [10]

Grès et schistes	20	9	4	5	55 %
Grès	12	24	10	14	58 %
Dolérites	5,6	11	9	2	18 %

. Mali (Bougouni - Helvétas 1979-1980) [13]

Diorite	4	5	1	4	80 %
Granite	18	36	16	20	55 %
Grano-diorite	10	12	4	8	66 %
Micaschistes	7	5	2	3	60 %
Schistes	10	5	0	5	100 %
paragneiss	4,5	4	1	3	75 %
Dolérite	20	7	1	6	86 %

. Niger (Zinder Krüger) 1975 [11]

schiste	-	6	0 (1)	6 (2)	100 % (3)
Granite	-	33	17	16	48 % (4)
Quartzite	-	6	4	2	33 % (3)
argile-grès	-	2	0	2	100 % (3)
Gneiss	-	3	1	2	66 % (3)

(1) débit "insuffisant" - (2) débit "suffisant" - (3) signification douteuse

(4) granite "jeune" en général

4. - INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DE L'ALTÉRATION SUR LA PRODUCTIVITÉ DES OUVRAGES [4] [8] [9]

De l'épaisseur totale de l'altération dépend la pénétration d'un puits, son débit d'exploitation et la pérennité de ce débit.

La réserve d'eau du système aquifère est fonction de l'épaisseur de la zone saturée de l'altération et donc de la profondeur du niveau de l'eau.

L'épaisseur de la zone non saturée intervient dans le régime de l'alimentation de l'aquifère, en immobilisant un important volume d'eau infiltrée destiné à compenser le déficit d'humidité lié à la porosité élevée des altérites. Dans les zones sèches, où le niveau de l'eau est profond, l'eau ainsi retenue ne peut parvenir à l'aquifère.

La hauteur de captage d'un puits dépend de la perméabilité des altérites, d'où l'intérêt de pousser le creusement jusqu'au substratum rocheux à la recherche des arènes sableuses ou de la zone fissurée.

A la profondeur du niveau statique à l'étiage, il faut ajouter une hauteur captée de 7 à 10 m dans la meilleure hypothèse de perméabilité afin d'assurer la pérennité d'un débit de 1 m³/h. Si la perméabilité des altérites est faible, la hauteur captée sera de 12 à 15 m.

Par suite, la profondeur d'un puits, c'est à dire l'épaisseur minimale de la poche altérée doit être de :

Niveau statique : (m)	5	10	15	> 15 m
Profondeur du puits : (m)	12 à 17	17 à 22	22 à 27	> 27

Ces valeurs montrent que le puits est un moyen de captage dont l'extension géographique est limitée aux zones où le niveau statique n'est pas trop bas et où l'altération est épaisse. (zone humide en général) D'où la nécessité de rechercher les poches les plus profondes au droit des fractures pour implanter les puits.

Dans les régions où il n'existe pas d'altération saturée, le creusement des puits est quasi impossible et les forages risquent d'avoir un débit limité et non pérenne en raison de la faible capacité d'emmagasinement des seules fractures.

5. - FREQUENCE DES FRACTURES : [8]

La fréquence des fractures est un facteur favorable à l'emmagasinement des réserves et au transit des débits. Mais la fréquence élevée d'une famille de fractures n'est pas nécessairement un critère de productivité : c'est un

facteur secondaire par rapport au degré d'ouverture des fractures.

Il ne faut pas confondre la fréquence relevée sur les documents aériens avec celle, réelle, qui affecte le socle.

En tous lieux, toutes les roches sont intensément fissurées; certains facteurs de surface (couverture sableuse, végétation, façons culturales, urbanisation ...) rendent le relevé des fractures peu aisé mais pas impossible.

Aux échelles usuelles, les variations de fréquence suivant une direction sont peu sensibles au sein d'une même zone ; certaines plages de faible densité de fractures sont le plus souvent liées à une insuffisance d'interprétation due aux difficultés d'observation.

Ouverture, fréquence et pénétration sont fonction de l'orientation de la direction d'allongement des fractures.

6. - RELATIONS ENTRE LE DEBIT ET LA DIRECTION DES FRACTURES [8]

L'ouverture ou la fermeture d'une fracture dépend de sa direction par rapport au champ des contraintes. Ce dernier est généralement mis en évidence par les études tectoniques ; mais le plus souvent on est réduit à des hypothèses générales ou à des statistiques à posteriori.

L'allongement des structures est généralement visible sur les photos ou sur les cartes géologiques ; la direction Birrimienne est la plus connue (SO.NE). Une structure géologique est généralement orthogonale à la contrainte principale. Les fractures parallèles à la structure sont à priori en compression, donc fermées. Elles sont généralement longues et pénétrantes et elles peuvent être affectées d'un pendage parfois faible (failles inverses). Leur fréquence est moins élevée dans les roches massives que dans les roches feuilletées où elles reprennent la foliation et la schistosité.

Les fractures perpendiculaires aux précédentes sont généralement courtes, pénétrantes et largement ouvertes. Elles sont plus nombreuses dans les roches massives, compétentes, que dans les roches foliées.

Les fractures diagonales aux précédentes, présentent souvent des cisaillements dus à des décrochements. Elles sont assez souvent ouvertes, pénétrantes, longues, avec la même fréquence dans tous les types de roches.

Les fractures de tension, équivalentes aux diaclases peu perceptibles au 1/50.000 (fractures secondaires) sont courtes, superficielles, et largement ouvertes. Leur fréquence diminue rapidement avec la profondeur. Elles sont plus fréquentes dans les roches massives et dans la direction perpendiculaire aux structures.

. Structuralement, il est donc important de choisir la direction qui garantira la longueur, la pénétration et l'ouverture des fractures.

Fort peu d'études sont guidées par ces considérations de base et les directions préférentielles énoncées ci-après ne répondent pas nécessairement aux directions potentiellement les plus productrices.

Par exemple [5] la direction Birrimienne qui est la plus visible sur les clichés aériens avec des "fractures" longues et nombreuses (foliations-schistosité) est celle qui est la plus exploitée; si elle donne des résultats satisfaisants dans les schistes (27% d'échecs) en raison de l'intercalation de filons de roches dures fissurées, elle est à la limite de l'acceptable dans les granites car les fissures sont en compression (37 % d'échecs). Il est préférable de rechercher des fractures ouvertes, dans les directions où le taux d'échecs est faible ou nul. Mais ces fractures échappent à l'observation première lorsqu'elles ne sont pas systématiquement recherchées.

Direction des fractures	Fréquence sélection pour forages	Taux d'échec en forages	Observations
0 - 30°	7%	18%	direction Birrimienne
30 - 60°	16%	34%	
60 - 90°	21%	37%	
90 - 120°	20%	26%	
120 - 150°	21%	43%	
150 - 180°	16%	38%	

TABLEAU 3 - PROJET COTON - COTE D'IVOIRE
SOCLE GRANITIQUE ([5])

Le découpage en secteurs de 30° masque la sensible influence de la direction qui apparaît mieux dans le tableau 5.:

- . Les schistes offrent une plus grande possibilité directionnelle que les granites, ce qui se traduit par un taux de réussites plus élevé observé d'une façon générale dans tous les projets.
- . Les granites n'offrent des garanties de réussites élevées que dans des directions de fracture bien définies : la direction méridienne et ses conjuguées (NS + 100° à 110°). Si la direction 100-110° a été bien utilisée dans le projet Coton, la direction méridienne, difficile à décèler sur les photos, n'a pas été exploitée.

		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Granites	A	100	83	71	71	87	79	56	37	37	75	75	92	89	71	83	83	91	67
	B	4,7	8	4,7	4,7	5,3	9,3	6	5,3	5,3	5,3	5,3	8,7	6	4,7	4	8	7,3	2
Schistes	A	100	87	81	78	85	92	89	90	90	78	84	90	93	100	77	81	78	90
	B	4	4,4	4,7	8,2	5,8	7,6	5,3	6,1	6,1	2,6	5,6	9	9,4	6	3,8	4,7	4	2,9

A = % de réussite dans une direction donnée

B = % d'utilisation des fractures dans une direction donnée.

TABLEAU 4 - [12] BOUCLE DU CACAO (RCI) SUR LA BONNE UTILISATION DES FRACTURES (520 forages)

Dans la boucle du Cacao [12] à part les directions 80-90° et 60-70° les pourcentages de réussite sont acceptables dans toutes les directions dans les granites, car en plus de la direction, le choix a porté sur les fractures kilométriques (57% des fractures) ou multikilométriques et majeures (18% des fractures).

Direction des fractures	Pourcentage de réussites				Remarques	
	granites		Schistes		Coton	Cacao
	Coton ^①	Cacao	Coton ^①	Cacao		
0 - 10°	100	100	-	100		
10 - 20°	50	83	100	87		
20 - 30°	90	71	100	81		
30 - 40°	61	71	100	78		
40 - 50°	54	87	33	85	Inacceptable	
50 - 60°	58	79	58	92	inacceptable	
60 - 70°	51	56	63	89	inacceptable	inacceptable dans granites
70 - 80°	67	100	86	94		
80 - 90°	58	37	57	90	inacceptable	inacceptable dans granites
90 - 100°	60	75	100	78		
100 - 110°	79	75	100	84		
110 - 120°	67	92	100	90		
120 - 130°	54	89	46	93	inacceptable	
130 - 140°	48	71	100	100	inacceptable	
140 - 150°	48	83	100	77	dans granites	
150 - 160°	59	83	52	81	inacceptable	
160 - 170°	37	91	56	78	inacceptable	
170 - 180°	67	67	-	90		

① (valeurs approximatives issues de la lecture de diagrammes en étoiles)

TABLEAU 5 - VARIATION DU % DE REUSSITE EN FONCTION DE LA DIRECTION DES FRACTURES [5] [12]

Dans la même région, la même direction d'allongement des fractures a des comportements différents en fonction de la géologie.

En Haute Volta, des études de micro-tectonique ont montré que la même direction d'allongement, dans le même type de roche, pouvait avoir des comportements hydrauliques inverses et ce, dans des zones voisines [8]. La direction du champ des contraintes tectoniques n'est pas uniforme ; elle varie fortement. Il suffit de regarder les structures allongées suivant la direction méridienne au Bénin-Togo (Atacora), Est-Ouest en Haute Volta (Po-Léo), NE - SO en général, pour pouvoir affirmer qu'il est impossible de dégager des directions hydrauliquement préférentielles à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest.

Le tableau 6 montre qu'il n'est pas aisé de sélectionner des directions types, les plus communes étant certainement les directions Nord 0 à 10° Est et 20 à 30°.

La seule façon d'orienter le choix vers des fractures ouvertes est d'effectuer une analyse microtectonique sur des affleurements.

PAYS	DIRECTIONS FAVORABLES	DIRECTIONS DEFAVORABLES
<u>Côte d'Ivoire</u>		
"Coton" - (granite) [5]	(0-10)(20-30)(110-120)	(160-170)
"Coton" - (schiste) [5]	(10-40)(70-80)(90-120)(130-150)	(40-50) (120-130)
"Cacao" - (granite) [12]	(0-20)(40-50)(70-80)(110-120)(160-170)	(60-70)(80-90)(170-180)
"Cacao" - (schiste) [12]	Toutes acceptables (0-10)(50-60)(70-90)(110-130)	Néant moins bonnes : (30-40)(90-100) (140-150)(160-170)
<u>Sénégal Oriental</u> [15]	Presque toutes sauf →	(0-10)
<u>Mali - Kayes</u> [2]	(0-10)(40-60)(70-80)(130-140)(160-180)	toutes les autres
<u>Haute Volta Sahel</u> [3]	(0-10)(20-40)(50-80)(120-140)(160-170)	Toutes les autres
Mogtedo [8]	105 (20-30)(150-170)	(60-80) (110-120)
Zigla [8]	(20-30)(60-80)	(80-95) (150-170) (110-120)

TABLEAU 6 - TABLEAU GROUPEANT LES DIRECTIONS DES FRACTURES LES PLUS FAVORABLES OU DEFAVORABLES A L'OBTENTION D'UN % DE REUSSITE SATISFAISANT (Débit ≥ 0,600 m³/h)

7. - RELATIONS ENTRE LE DEBIT PRODUIT ET LA LONGUEUR DES FRACTURES

La fracturation affecte la roche à toutes les échelles, du microscopique au multikilométrique.

D'une façon générale, qui admet beaucoup d'exceptions, il existe une relation entre la longueur, la largeur et la profondeur d'une fracture.

Les joints secondaires, englobent toutes les fractures d'ordre inférieur au kilomètre. Leur grand nombre et leur présence superficielle, contribuent à l'emmagasinement des réserves mais leur rôle conducteur est faible et le débit des ouvrages se réduit à quelques centaines de litres/heure (0,2 à 0,3 m³/h en moyenne). Certains joints secondaires peuvent fournir un débit plus élevé, mais toujours modeste, s'ils sont en liaison directe avec une fracture plus conductrice (jusqu'à 2 à 4 m³/h en zone humide).

Les joints principaux, kilométriques (1 à 4 km en général) sont ceux que l'on relève sur les documents aériens les plus courants (1/20.000 au 1/60.000). Leur fréquence est élevée mais ils sont moins nombreux que les précédents.

La quasi totalité des joints secondaires et principaux se referme vers 40 m de profondeur, à la limite du front de décompression superficielle des roches. Ce phénomène généralisé, apporte une limite à la relation longueur/profondeur des fractures quand on ne s'intéresse qu'à l'ouverture des fractures [7].

L'exploitation avec une pompe manuelle (0,6 à 1,2 m³/h) est presque toujours assurée par une fracture kilométrique et des débits de 5 à 9 m³/h sont courants avec ce type de fracture dans les zones bien alimentées.

Dans les zones défavorisées (région sèche) ou lorsqu'on recherche des débits plus importants (5 à 30 m³/h) en zone humide, il faut sélectionner des fractures majeures, multikilométriques (5 km à plusieurs dizaines de km) qui sont susceptibles d'être ouvertes au delà du front de décompression (60-80-120 m).

Ces fractures sont naturellement moins fréquentes aux échelles courantes (1/50.000) mais peuvent être décelées sur les photo-satellites au 1/200.000 par exemple.

L'analyse des résultats des travaux effectués en terrain schisteux en Côte d'Ivoire ("Boucle du Cacao" [12]) montre (Tableau 7) que le pourcentage des ouvrages secs chute avec la longueur des fractures jusqu'à devenir nul pour les fractures multikilométriques et majeures.

Le pourcentage des ouvrages inexploitable (débit inférieur à 500 l/h) est nul pour les grandes fractures, faible pour les fractures multikilométriques et kilométriques et s'élève à plus de 28% pour les fractures secondaires.

Seuls les accidents majeurs (> 10 km) produisent des débits supérieurs à 15 m³/h.

Près de 50% des débits se situent entre 1 et 4 m³/h pour toutes les classes de fractures, sauf les majeures ; cette homogénéité est due à l'existence d'une épaisse couche d'altération saturée surmontant la zone décomprimée (55 m dans les schistes) qui recèle la quasi totalité des fractures. Pour les accidents majeurs, 94% des débits sont supérieurs à 4 m³/h : ce sont des drains puissants capables d'induire un grand nombre de fractures d'ordre inférieur.

débit \ Longueur	0	< 500 l/h	< 1m ³ /h	1 à 4	4 à 7	7 à 15	>15	classes des fractures
< 500 m	10%	13,7	37,7	51,7	10,1	0	0	secondaires
0,500 - 1 km	8	14,8	29,6	46,9	10,8	5,4	0	
1 à 2	4,3	6	14,5	61,2	13,7	10,3	0	kilométriques
2 à 5	3,6	3,6	8,4	49,9	32,9	7,2	1,2	
5 à 10	0	2,4	4,8	47,8	33,8	12	0	multikilométriques
10 km	0	0	0	5,5	27,7	33,2	33	Majeures

TABLEAU 7 : DEBIT DES FORAGES EN FONCTION DE LA LONGUEUR DES FRACTURES
(exprimé en %) (378 relevés de débits) (R.C.I. Boucle de Cacao [12])

8. - PRODUCTIVITE DES FORAGES IMPLANTES SUR LES NOEUDS DE FRACTURES

Débit →	0	< 0,5 m ³ /h	< 1 m ³ /h	1 à 5 m ³	> 5 m ³ /
Granites	0	0	5%	35%	60%
Schistes	0	0	0	51,8%	48,2%

TABLEAU 8 - FORAGES SITUES SUR DES NOEUDS DE FRACTURE
(74 noeuds - Boucle du Cacao R.C.I.) [12]

Dans le cadre de l'alimentation en eau des villages, on n'observe pas d'échec ni sur schistes, ni sur granites, lorsqu'on implante les forages à l'intersection de plusieurs fractures.

Sur schistes, 100% des débits sont supérieurs à 1 m³/h et 48% d'entr'eux sont supérieurs à 5 m³/h alors que l'on observe, sur fracture seule, que 15,6% des débits sont < 1 m³/h et que 24% seulement sont supérieurs à 5 m³/h.

Sur granite, 95 % des débits sont supérieurs à 1 m³/h et 60 % à 5 m³/h. On vérifie à nouveau que le pourcentage de réussite est plus faible sur granite mais que les débits absolus sont supérieurs à ceux des schistes.

9. - RELATION ENTRE L'OUVERTURE ET LE DEBIT DES FRACTURES

La porosité, comme la perméabilité d'une roche fissurée, est fonction non seulement de la densité mais aussi de l'ouverture des fissures. Dans la zone des 40 m de roche décomprimée, globalement, le maximum d'ouverture des fissures est à la surface du massif. Les fissures se referment avec la profondeur.

La répartition des réserves est théoriquement de :

- 50% dans les 10 premiers mètres du massif fissuré,
- 30 % entre 10 et 20 m,
- 15 % entre 20 et 30 m,
- 5 % les 10 derniers mètres.

Le débit transitant dans une fracture étant proportionnel au cube de la largeur de la fracture, il varie dans le même sens que les réserves.

D'où l'importance de la profondeur du niveau statique dans un massif fissuré. Si le niveau de l'eau est à 10 m de profondeur, le réservoir fissuré est à moitié vide.

Le débit disponible chute rapidement avec la profondeur du niveau de l'eau, comme le montre le calcul théorique ci-après :

Profondeur de l'eau	40 m	30 m	20 m	10 m	0
Débit disponible m ³ /h/km ²	0	0,25 à 0,5	1 à 2	2,5 à 5	5 à 10

10 - PROFONDEUR DES VENUES D'EAU

Elle conditionne la profondeur des forages et le choix des fractures.

TABLEAU 9 - PROFONDEUR DES VENUES D'EAU

Etude	Géologie	Nombre de venues ou de forages	Profondeur des venues d'eau
Cacao (R.I.C.) [12]	Schistes	1532 venues	63 % entre 30 et 55 m ; 74 % avant 55 m ; 4,3 % > 75 m MAX. entre 40 et 55 m
	Granites	415 venues	61,4% entre 20 et 50 m ; 77% avant 50 m ; 6% >75 m MAX. = 20 à 50 m
Coton (R.C.I.) [5]	Schistes	64 venues	Pour $Q > 1 \text{ m}^3/\text{h}$, 39% dans les vingt 1 ^{er} mètres de la roche saine.
	Granites	209 venues	Pour $Q > 1 \text{ m}^3/\text{h}$, 70% dans les vingt 1 ^{er} mètres de la roche saine
Sahel (R.H.V.) [3]	Schistes et granites	80 forages	82% avant 50 m toutes roches confondues Schistes avant 60 à 80 m. Granites avant 40 à 50 m
IV ^o FED (Togo) [14]	Dahomeyen (granito-gneiss)	116 forages positifs	8,6% des forages ont des venues d'eau au delà de 50 m
Helvetas (Mali) [13]	Granites	88 venues	52% entre 20 et 40 m ; 29% entre 40 et 60 m ; 11 % entre 60 et 80 m ; 2,2% > 80 m
PNUD (Mali) [10]	Grès Schistes dolérites	53 venues	47% entre 30 à 50 m ; 35,8% entre 50 et 80 m ; 0% après 80 m
Sénégal oriental [15]	divers	63 venues	73% entre 0 et 40 m ; 24% entre 40 et 60 m ; 3% de 60 m à 80 m et 0 % > 80 m

Les études récentes axées sur la recherche des fractures confirment les observations antérieures.

Dans les roches cristallines, groupées sous le terme de granito-gneiss il existe vers 45 m de profondeur (40 à 50 m), une limite au delà de laquelle la fréquence des venues d'eau est faible.

Cette limite se situe vers 55-60 m pour les schistes.

Ces valeurs s'accordent avec les réseaux des fractures secondaires et kilométriques, ouvertes dans la zone de décompression des roches ; ces fractures sont les plus nombreuses et le plus fréquemment recoupées par les forages.

On note encore des venues d'eau jusqu'à 75-80 m mais lorsqu'elles sont recherchées sur des fractures multikilométriques ou majeures.

Au delà de 80 m, la quasi totalité des fractures sont fermées mais il est possible de trouver de l'eau jusqu'à 120 m de profondeur sur un accident majeur (plus de 10 km de long) soigneusement étudié.

TABEAU 10 - POURCENTAGE DES PROFONDEURS DES VENUES D'EAU

Etude	Géologie	Nombre venues ou forages	Profondeur des venues d'eau/sol (%)										
			0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	
CACAO (R.C.I.)	Schistes	1532	0,2	1,8	8,8	21,6	26,9	22,1	11,3	4,6	1,5	1,2	
	Granites	415	3,4	11,9	23,6	18	19,8	8,4	6,5	4,5	3,5	0,4	
PNUD (Mali)	grès-schistes Dolérites	53	0	1,8	15	24,5	22,6	11,3	13,2	11,3	0	0	
HELVETAS (Mali)	Granites	88	0	4,5	21,5	30,6	18	11,3	6,8	4,5	1,1	1,1	
SENEGAL ORIENTAL	divers	63	5	26,4	23,8	17,5	19	4,8	1,6	3,2	0	0	
A.V.V. (RHV)	Schistes et granites	100	5,4	18,9	44,7	28,3	2,7	-	-	-	-	-	
IV° FED (Togo)	Dahomeyen	116 forages	← 91,4 →										
SAHEL (R.H.V.)	Schistes et granites	80 forages	← 82 →										

11. - PROFONDEUR DES FORAGES

Au stade de la photo-interprétation, il est possible d'estimer la profondeur moyenne des ouvrages que l'on a implantés sur les fractures.

Une forte épaisseur d'altération saturée, ce qui est fréquent en zone humide, ou à la verticale d'une grande fracture, assure un débit pérenne à un ouvrage implanté dans le domaine de la zone décomprimée.

La profondeur des forages est de 40 m pour un débit de 1 m³/h, mais n'excède pas 50 m. Il est déconseillé de forer plus de 20 m dans la roche dure.

Sur granito-gneiss, si l'épaisseur de l'altération dépasse 35 m, la fracture risque d'être partiellement ou totalement colmatée.

Sur schiste, cette limite peut être de 60 mètres.

L'observation de la profondeur des venues d'eau montre (tableau 10) :

- qu'on ne peut guère avoir un débit si le forage a moins de 15 à 20 m,
- que les venues d'eau sont concentrées entre 20 et 50 m de profondeur dans les granito-gneiss,
- que dans les schistes il existe des venues d'eau satisfaisantes au-delà de 50 m,
- qu'au-delà de 80 m de profondeur la recherche devient aléatoire et le plus souvent inutile,
- que par rapport aux dernières venues d'eau observées, la plupart des forages sont trop profonds (Fig. 1). En acceptant une marge de 10 m au-delà des dernières venues d'eau, 40 à 55% des forages positifs sont trop profonds de 10 à 30 m, 15 à 25 % des forages positifs sont trop profonds de 30 à 70 m. sans parler des forages non productifs qui sont souvent les plus profonds.

Non seulement l'approfondissement des ouvrages, en espérant augmenter le taux de succès, n'est pas économiquement justifié [5] mais il est hydrogéologiquement inutile pour 50 à 75% des cas. On ne peut raisonnablement envisager des forages profonds (80 m) que lorsque les ouvrages sont implantés sur des accidents majeurs ou multikilométriques. Pour les accidents kilométriques, ceux qui sont les plus fréquents, il est préférable de s'en tenir dans les limites de la frange décomprimée soit 40 à 50 m dans les granito-gneiss et 60 m dans les schistes.

Fractures	Schistes	Granites
Secondaires kilométriques	60 m	45
multikilométriques	80 m	80
Majeures	120 m	120

TABLEAU 11 - PROFONDEUR DE FORAGE MAXIMUM CONSEILLEE EN FONCTION DU TYPE DE FRACTURE

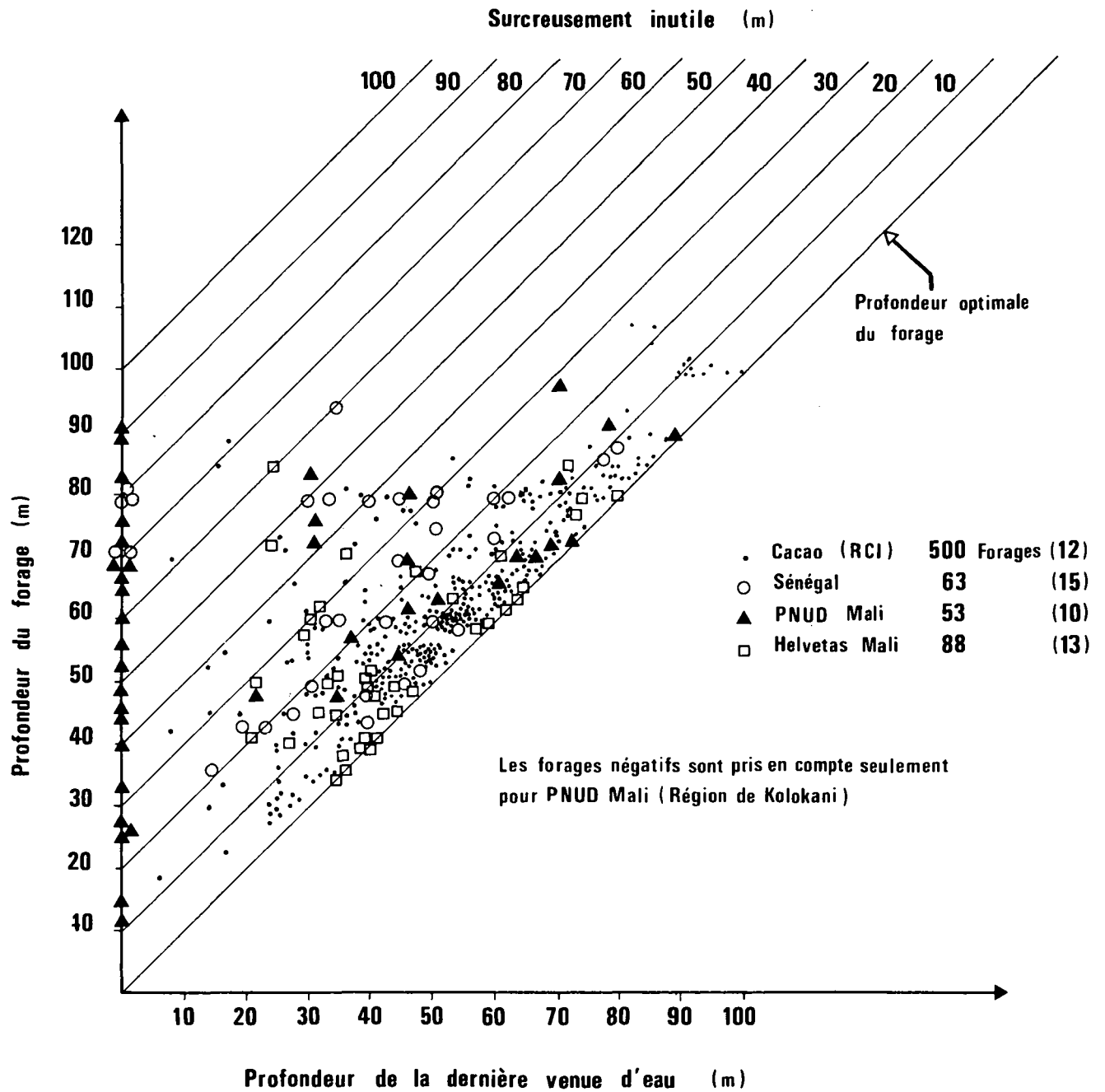


FIG. 1 SURCREUSEMENT INUTILE DES FORAGES

12. - IMPLANTATION DES OUVRAGES DE CAPTAGE [7]

Dans les régions humides, et plus généralement lorsqu'il existe une forte épaisseur d'altération (ou de sable-alluvion) saturée, un forage exploité avec une pompe manuelle donne de bons résultats s'il est implanté sur une fracture kilométrique (1 à 4 km).

Dans les régions sèches, ou si l'on recherche des débits plus importants en toutes régions, il est nécessaire d'implanter l'ouvrage sur une fracture multikilométrique (5 à \geq 10 km).

L'orientation de la fracture, si elle peut paraître secondaire dans les régions favorisées, doit être prise en compte en particulier pour les fractures multikilométriques et majeures.

Les intersections de fractures sont à rechercher en priorité, pour les puits en particulier car l'altération s'y développe.

On retiendra les couloirs de fractures, les fractures en échelons, les contacts géologiques par faille, les filons de quartz, de quartzites, de diorite, de microgranite, d'aplite. Les filons de dolérites sont à éviter ; il faut choisir un site légèrement à l'extérieur du filon.

Sont à éviter, les dolérites massives, les roches plastiques (argilites, schistes purs, pélites), le centre des mailles de fracturation.

Dans les roches schisteuses et foliées, la recherche de filons ou de bancs de roche dure (grès-quartz) assure de bons résultats.

Lorsque l'altération donne des produits argileux comme dans les schistes ou sur roches vertes, le forage est placé légèrement à l'extérieur de la zone fracturée afin d'éviter une trop forte épaisseur altérée.

Il est fortement conseillé de ne pas implanter un forage dans le bas-fond des marigots, mais de le situer en bordure au tiers inférieur du versant dans les zones accidentées, ou au bord du premier glacis.

RESUME DE LA PREMIERE PARTIE

- 1 - La faible perméabilité du milieu altéré limite le débit des ouvrages de captage. L'exploitation optimale des ressources hydrauliques ne peut se faire que s'il existe un drain naturel capable d'induire le plus grand volume d'altération saturée. Un forage implanté sur une fracture conductrice est l'ouvrage de captage le plus recommandé.

De nombreux facteurs influencent la productivité d'une fracture. Il faut tout d'abord relever les fractures ; c'est le rôle de la photo-interprétation. Il faut ensuite sélectionner les fractures les plus productrices ; cela implique une bonne connaissance du milieu naturel.

- 2 - Les fractures relevées sur les documents aériens sont avant tout des "alignements morpho-structuraux", terme à la fois général et précis car il traduit que des accidents d'origine structurale ont une incidence sur la morphologie. L'analyse des photographies aériennes repose essentiellement sur l'observation géomorphologique.

Une fracture est le siège d'une zone altérée qui supporte une certaine densité de végétation qui profite de l'humidité. Le réseau hydrographique s'inscrit volontiers sur les réseaux de fractures et souligne un figuré qui caractérise le comportement hydraulique des fractures.

- 3 - Le nombre, la longueur, la largeur et la profondeur des fractures sont fonction de la nature de la roche. Les roches dures se fissurent plus volontiers que les roches tendres, plastiques, schisteuses ou foliées. Le débit, la texture, la structure et le grain de la roche font qu'elle est fissurable ou non, altérable ou non.

Au stade de la photo-interprétation il est donc utile de tracer une esquisse géologique.

- 4 - En zone de socle cristallin, la réserve d'eau est localisée dans l'altération, bien plus que dans le milieu fissuré. La réserve est fonction de l'épaisseur de la zone saturée de l'altération et par suite, de la profondeur du niveau de l'eau. De cette épaisseur dépendent la productivité d'un forage et la profondeur d'un puits.

L'épaisseur de la zone saturée est fonction du climat, de la morphologie, de la proximité du niveau de base régional et de la fracturation.

- 5 - La fréquence des fractures est toujours élevée quelle que soit l'échelle d'observation. Ce n'est pas un critère de productivité. La fréquence varie avec la nature de la roche et la direction des fractures par rapport à l'allongement des structures ou par rapport à la direction de la compression d'origine tectonique.

- 6 - Le débit d'une fracture dépend de son orientation car l'ouverture ou la fermeture d'une fracture varie en fonction de sa position par rapport au champ des contraintes.

L'allongement des fractures est très visible sur les photos. Les accidents parallèles à la contrainte principale, et généralement perpendiculaires aux structures, sont souvent ouverts. Les fractures longitudinales (allongées suivant les structures) sont plus fréquemment fermées.

Le fond géologique sera complété par une esquisse structurale ou un simple relevé des directions des structures.

- 7 - Il existe une relation, qui admet des exceptions, entre la longueur, la largeur et la profondeur d'une fracture.

Dans le cadre de l'hydraulique villageoise, on ne retiendra que des fractures kilométriques. En zone sèche, où si l'on recherche des débits élevés en toute région, il faut sélectionner des fractures multikilométriques.

- 8 - Les forages implantés sur les noeuds de fractures ont une productivité et un taux de réussite plus élevés.

- 9 - Le débit est fonction de l'ouverture des fractures. L'ouverture généralisée dépend de l'orientation de la fracture, mais les fractures se referment avec la profondeur.

Les fissures secondaires, d'une longueur inférieure au km, sont fermées presque assurément vers 40 m de profondeur. Le débit chute rapidement avec la profondeur du niveau de l'eau.

En zone sèche ou à morphologie accusée, le niveau statique étant profond, il faut éviter d'implanter un forage sur une fracture secondaire.

- 10 - Les profondeurs des venues d'eau sont liées à la longueur des fractures et à la nature de la roche.

Dans les roches dures (granite), au-delà de 45 m de profondeur, la fréquence des venues d'eau est faible pour les fractures secondaires et kilométriques. Cette limite se situe vers 55-60 m pour les schistes.

On note des venues d'eau plus profondes mais uniquement sur les accidents très longs.

- 11 - Par suite, la profondeur des forages doit obéir à ces impératifs hydrogéologiques sous peine de surcreusement inutile des ouvrages.

On ne peut approfondir un ouvrage que s'il est implanté sur une fracture multikilométrique (80 m) ou majeure (120 m).

12 - Finalement, on peut définir un cadre simple de la recherche en région de socle :

- En zone humide il est aisé de trouver un débit de l'ordre de 1 m³/h en implantant un forage de 45 m (granite) ou de 55 m (schiste) sur une fracture secondaire ou kilométrique généralement ouverte par le phénomène de la décompression superficielle des roches.
- En zone sèche ainsi que dans les régions à fort relief, ou si on recherche des débits plus élevés en toutes régions, planter un forage de 40 à 80 m sur une fracture multikilométrique ou mieux sur un noeud de fractures multikilométriques qui sont ouvertes au-delà du front de décompression. Pour cela, il est nécessaire de chercher la direction d'allongement des fractures qui a le plus de chance d'être ouverte.

Les variations régionales dans les valeurs des débits ou des pourcentages de réussite sont fonction de la nature géologique des roches, de la présence d'altération saturée ou non, de la pluviométrie, de la profondeur du niveau de l'eau qui détermine l'épaisseur de la zone non saturée, de la profondeur de l'eau dans les fissures et de la position morphologique de l'ouvrage.

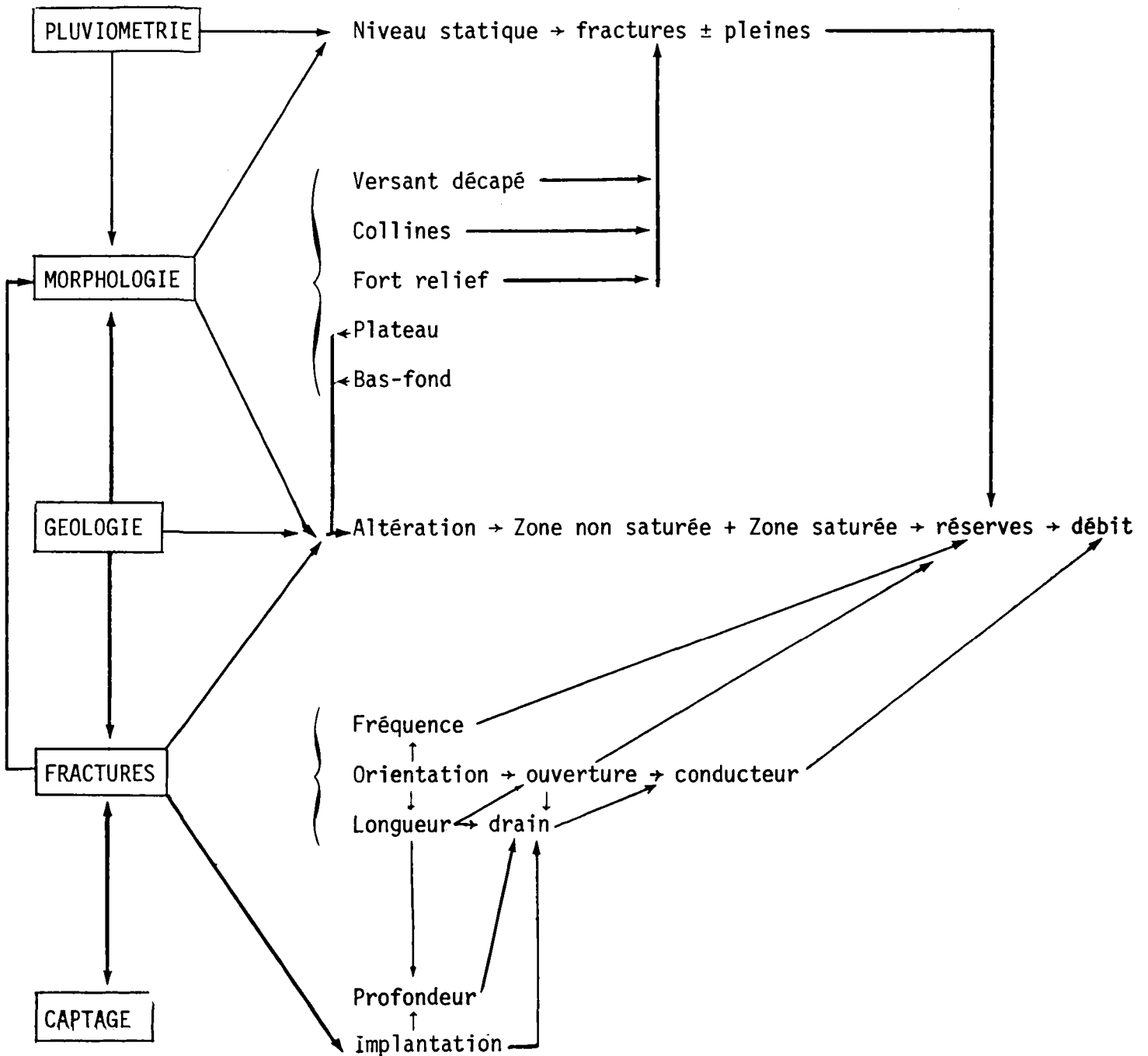


FIGURE 2 - FACTEURS INTERVENANT DANS LA PRODUCTIVITE DES
OUVRAGES CAPTANT L'EAU SOUTERRAINE DU SOCLE

2ème PARTIE

ATLAS DE PHOTO-INTERPRETATION
APPLIQUE A LA RECHERCHE
D'EAU SOUTERRAINE DANS LE SOCLE

TABLE DE L'ATLAS

Bénin	: exemples 1 à 8
Côte d'Ivoire	: exemples 9 à 16
Haute Volta	: exemples 17 à 26
Mali	: exemples 27 à 34
Niger	: exemples 35 à 40
Sénégal	: exemples 41 à 45
Togo	: exemples 46 à 50

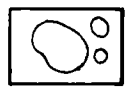
Comment observer les fractures sur les photographies aériennes ?

Pour les résultats recherchés, les documents au 1/50 000^e ou 1/20 000^e sont les plus utiles et les plus répandus. Ils permettent la vision des fractures kilométriques et multikilométriques. Le 1/20 000 est déjà une grande échelle qui ne permet pas la reconnaissance des accidents supérieurs à 5 km de long. Les fractures sont généralement plus visibles avec une plus grande fréquence en noir et blanc qu'en couleur.

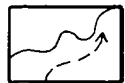
La vision stéréoscopique facilite le lever des fractures secondaires, mais la réduction du champ nuit à l'observation des fractures kilométriques qui sont nettement mieux décelées en vision directe. L'emploi d'une loupe de bureau est vivement conseillé ; montée sur un support, elle libère les deux mains (ϕ 100 mm non déformante grossissement x 2). Il est recommandé de faire tourner la photo de temps en temps afin d'éviter la polarisation de l'oeil suivant une seule direction. Les erreurs des débutants consistent :

- . à placer systématiquement des fractures dans les lits des marigots : c'est une approximation que l'on peut éviter en observant les zones latérales du marigot.
- . à dessiner de courts tronçons de fractures. La carte manque alors de cohésion et on ne peut classer les fractures par ordre de longueur. Ce phénomène est accentué par l'emploi trop systématique du stéréoscope de poche.
- . inversement à dessiner d'un grand coup de main des "failles" qui traversent toute la photo. Les grands accidents existent mais souvent en relais décalés les uns par rapport aux autres.
- . à hésiter de tracer les innombrables alignements morpho-structuraux. Les cartes présentent une fausse répartition des fréquences de fracturation.

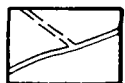
LEGENDE COMMUNE A TOUTES LES INTERPRETATIONS



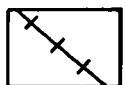
Villages



Marigot



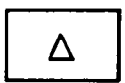
Route-piste



Voie ferrée



Puits



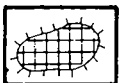
Forage créé



Forage proposé



Inselberg



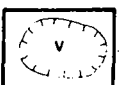
Cuirasse



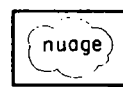
Mare



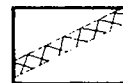
Plateau - Colline



Flat



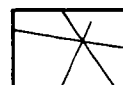
Zone cachée



Filon



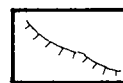
Fractures (projet)



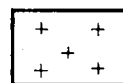
Fractures (complément d'interprétation)



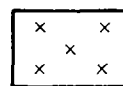
Linéation - foliation - schistosité



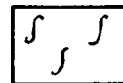
Falaise - Escarpement



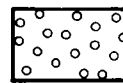
Granite



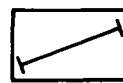
Gneiss - Granito-gneiss



Migmatites



Quartzites



Géophysique (profil de résistivité)



Bas-fond

Exemple 1

BENIN : Enquête Hydrogéologique sur les puits II° F.E.D (1981)

PHOTO : AOF 028 1950 NC 31 XXI N° 238

CARTE 1/200.000 : KANDI - District de Banikoara, Nord du Bénin

ECHELLE : 1/63.000°

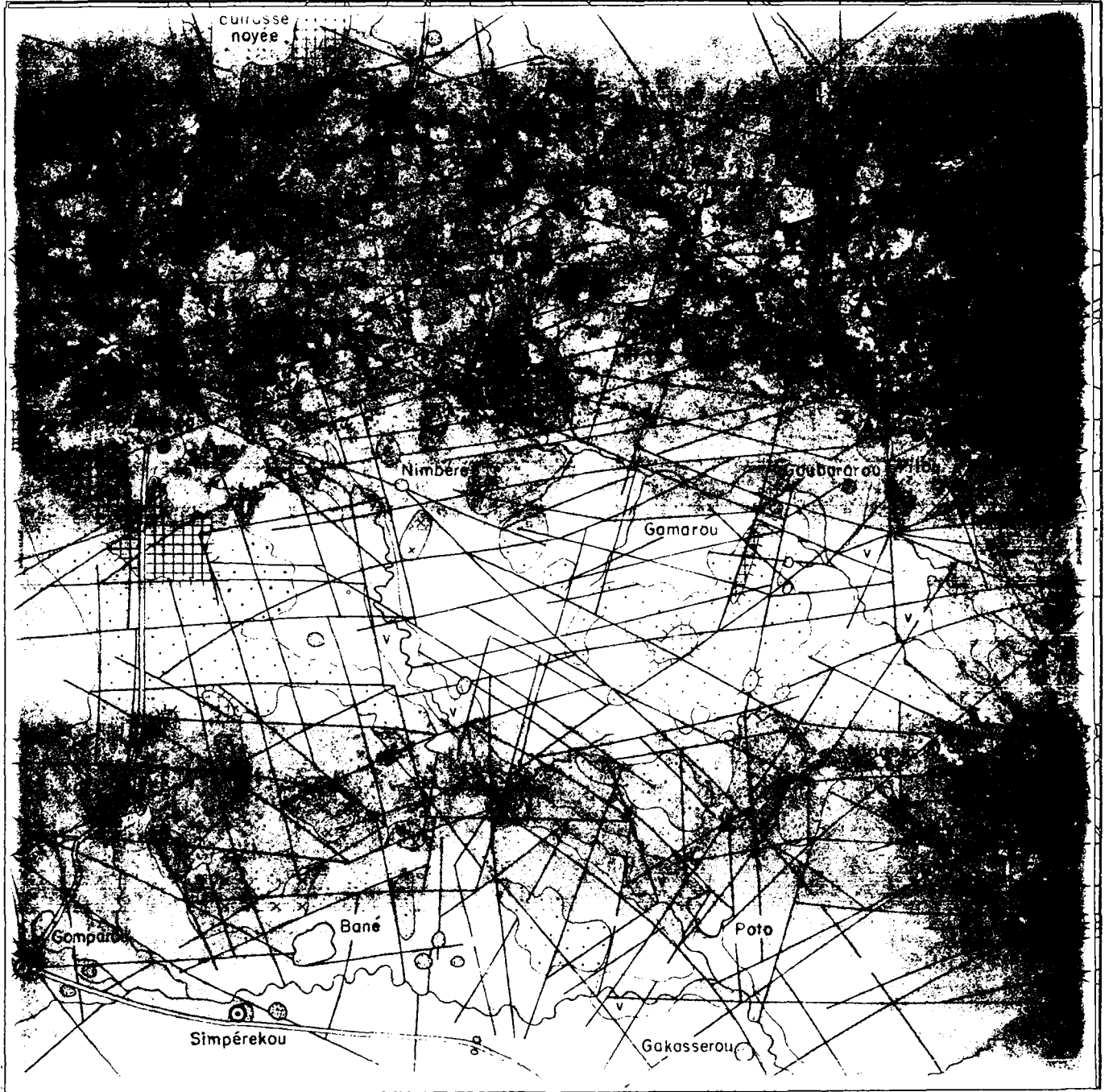
GEOLOGIE : Gneiss du Dahoméyen

PLUIE : 1 000 mm.

Cet exemple est destiné à montrer qu'il existe pratiquement toujours une fracture à proximité d'un village à alimenter en eau. Les fractures ont été dessinées indépendamment des villages ; puis ces derniers ont été reportés sur la carte.

Sur 27 villages, deux seulement ne sont pas sur une fracture, et encore ils n'en sont éloignés que de 130 mètres. Il est rare que dans un projet, il faille alimenter systématiquement tous les villages, sinon on pourrait placer très rapidement une vingtaine d'ouvrages sur une carte de fractures dessinée, pour cet exemple, en deux heures.

Dans la pratique, on ne lève que les fractures situées autour du village à alimenter. Cette méthode ne permet pas la classification et par suite le choix des familles de fractures (secondaires - kilo - multi - kilométriques...).



Exemple 2

BENIN : Enquête Hydrogéologique sur les puits II° F.E.D (1980)

PHOTO : AOF 1963-64 NC 31 VIII N° 096

ECHELLE : 1/65.000°

CARTE 1/200.000 : DJOUGOU

PLUIE MOYENNE : \geq 1 400 mm

GEOLOGIE : Dahoméyen.

Les faciès du Dahoméyen sont variés : orthogneiss acides, basiques, migmatites, gneiss acides à deux micas, pegmatites... De par leur texture et leur structure ces roches se fracturent et s'altèrent différenciellement. Par suite les débits des ouvrages de captage ainsi que les taux de succès sont variables sur de courtes distances.

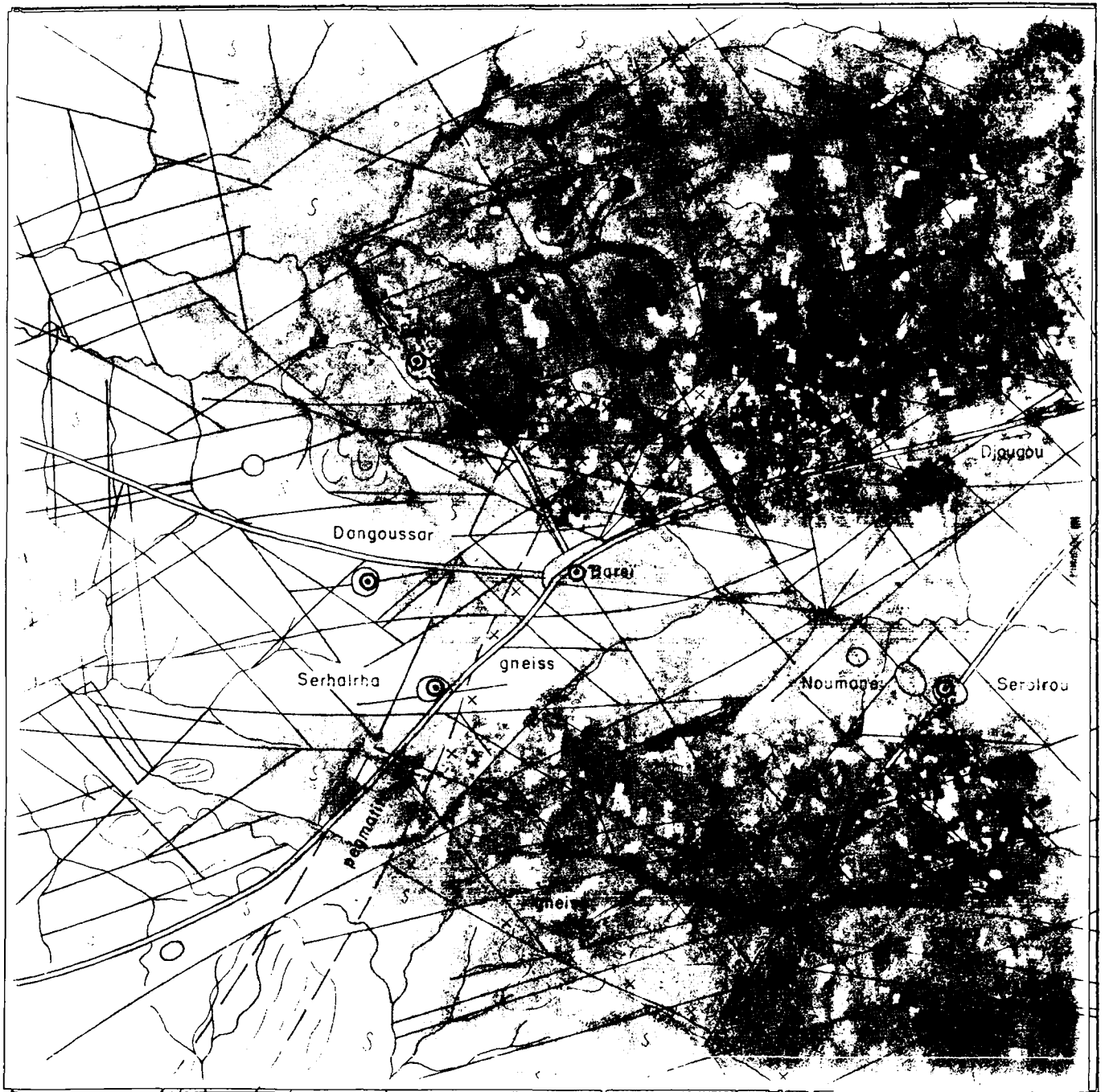
La forte pluviométrie entretient une couverture altérée (épaisseur > 15 m) qui est toujours saturée. C'est une des rares régions du Bénin où il est possible de créer des puits pérennes. L'humidité permanente se traduit par un chevelu hydrographique dense, et par un niveau statique à l'étiage situé à moins de 10 m de profondeur.

On constate, à nouveau, qu'il existe une fracture kilométrique très près de chaque village.

Le large filon de pegmatite - roche très compétente- est à exploiter sur le plan hydrogéologique, en choisissant des sites sur des noeuds de fractures transverses, en particulier sur les limites du filon.

Les structures sont allongées N-S à N 20°.

Le réseau hydrographique dessine des mailles polygonales sur les Migmatites (N et O de la photo).



AO 1963-64 NC 31 VIII n°096 1/65000 e

Cliché IGN France

Exemple 3

BENIN : Enquête Hydrogéologique sur les puits II° F.E.D (1980)

PHOTO : AOF 1950 Mission 028 NC 31 XXI N° 155 1/65 000°

CARTE 1/200.000 : KANDI - Région de Banikoara, au Nord du Bénin

PLUIE MOYENNE : 1 000 mm

GEOLOGIE : Gneiss du Dahoméyen

Le réseau hydrographique délimite des mailles polygonales ou des panneaux allongés. Le socle affleure ou sub-affleure largement à l'intérieur des mailles.

L'épaisseur de l'altération est faible sauf au droit des fractures où elle atteint 15 à 20 m. (altération en poches).

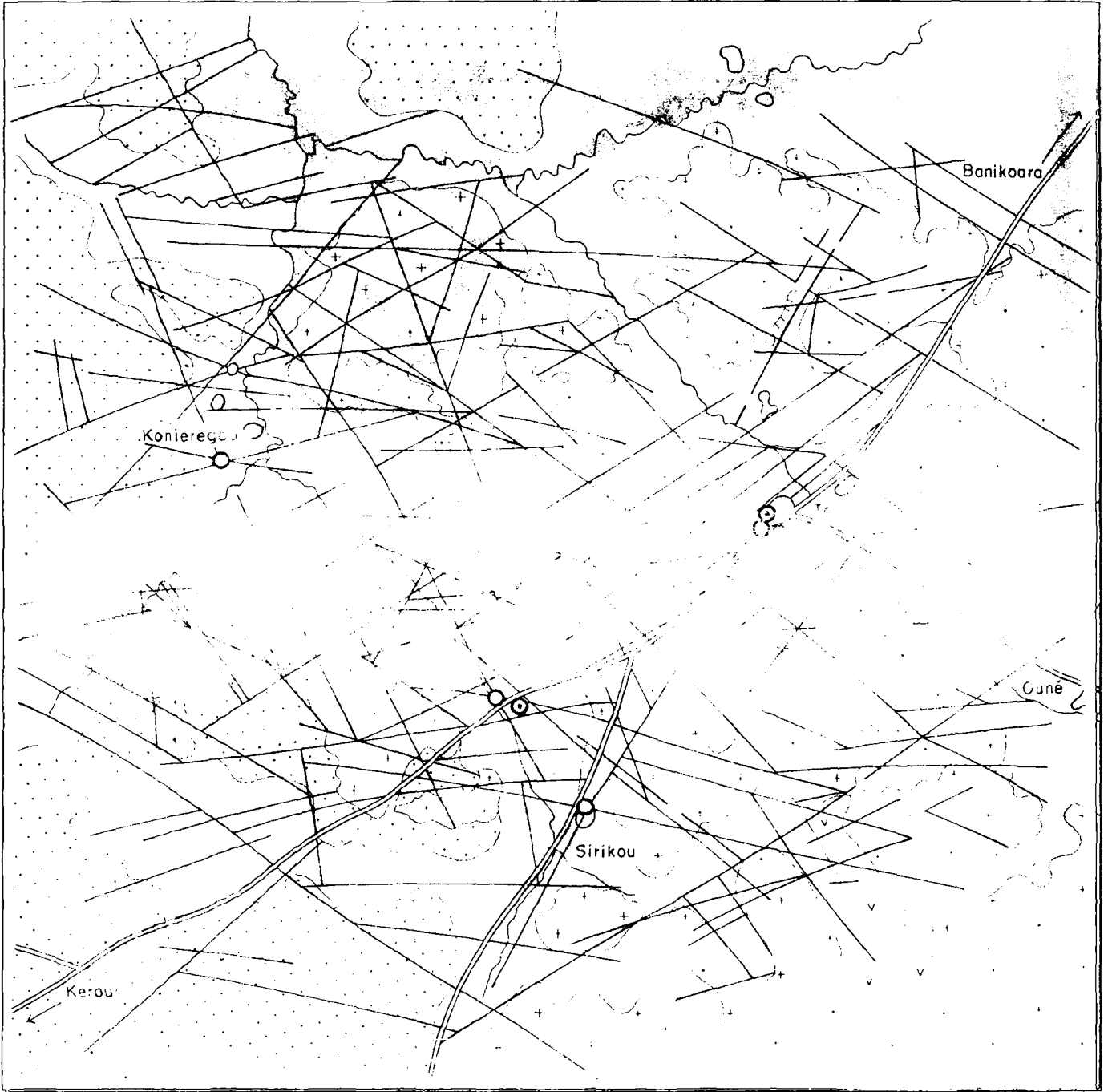
La chaîne de l'ATACORA est à 30 km au NO. Sa direction d'allongement N 45° E, se retrouve dans les fractures longues qui sont considérées à priori fermées car en compression. Il existe une linéation N 20° E à pendage de 80° vers l'Est. Elle apparaît peu sur la photo.

On attachera de l'intérêt pour les fractures transverses NO - SE, plus courtes mais parallèles à la direction de la compression, donc certainement ouvertes.

Les puits de Toura et de Sirikou, comme tous les autres points d'eau de la région, tarissent en saison sèche.

Villages	Profondeur (m)	Socle à (m)	Niveau statique	Débit (m ³ /h)
TOURA	17,50	17	7,4	0,3
SIRIKOU	17,20	15,5	7,2	0,3
OUNE	18,30	18,50	4	0,2

Il est conseillé de créer des forages de 40 m placés sur des fractures transverses kilo ou multi-kilométriques.



AOF 1950 028 NC 3I XXI n° 155

Cliché IGN France

Exemple 4

BENIN

PHOTO : AO 1964 NC 31 III N° 222

CARTE 1/200.000 : SAVE

ECHELLE : 1/65.000° environ

PLUIE MOYENNE : 1 100 à 1 200 mm

GEOLOGIE : Granite du Dahoméyen

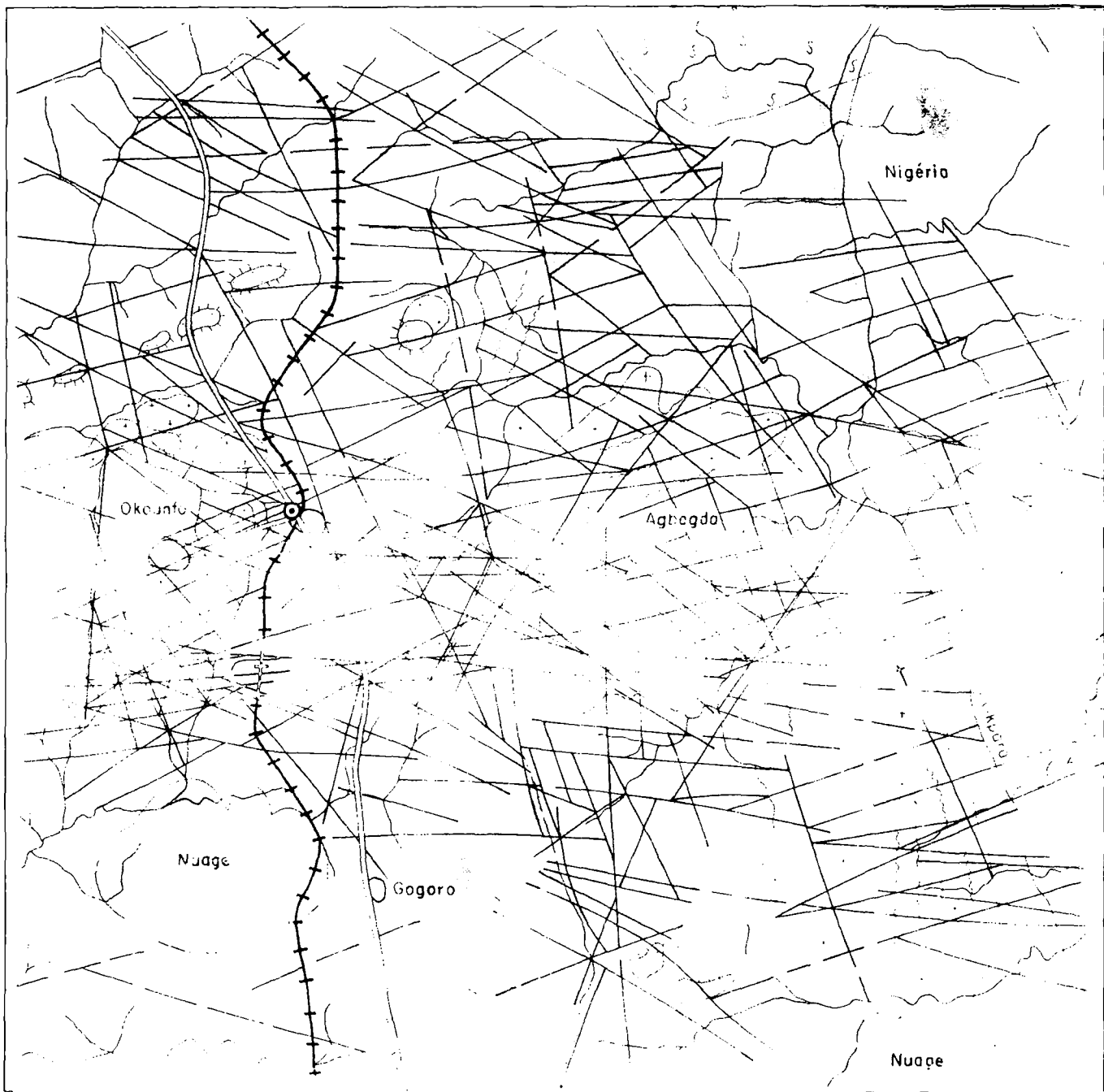
Le socle affleure largement dans le massif de l'Agbagda le long de la frontière avec le Nigéria, et sous forme d'inselbergs nombreux autour d'Okounfo. Des lambeaux de cuirasse localisés sur les interfluves, témoignent d'un ancien plateau aujourd'hui démantelé. L'altération a été éliminée par l'érosion favorisée par un réseau hydrographique plutôt dense sur ce type de roche : l'eau ruisselle activement sur la roche affleurante ou sub-affleurante. L'altération se réduit à des poches localisées au droit des fractures.

C'est une région fortement déconseillée pour la création de puits qui tarissent à 75 % aux basses eaux.

L'allongement des structures est méridien (NS à N 20°). Localement, les linéations de la roche indiquent des variations dans la direction des contraintes (NS ; N 20° E ; N 70° E).

Il faut choisir des fractures multi-kilométriques, pour implanter les forages, car le niveau de l'eau est bas (15 m) et il n'existe pratiquement pas de réserve dans l'altération. Sur ce type de fracture, il est possible de créer des forages de 40 à 80 m.

Remarquer le figuré du réseau hydrographique avec les confluences à 120° typiques sur granite (ouest de la photo).



AO 1964 SAVE NC 31 III n°222

Cliché IGN France

Exemple 5

BENIN

PHOTO : NC 31 XIV - 1963 - 64 - N° 201

CARTE : NATITINGOU

ECHELLE : 1/65.000°

PLUIE MOYENNE : 1 300 mm

GEOLOGIE : Atacorien (Voltaïen inférieur)

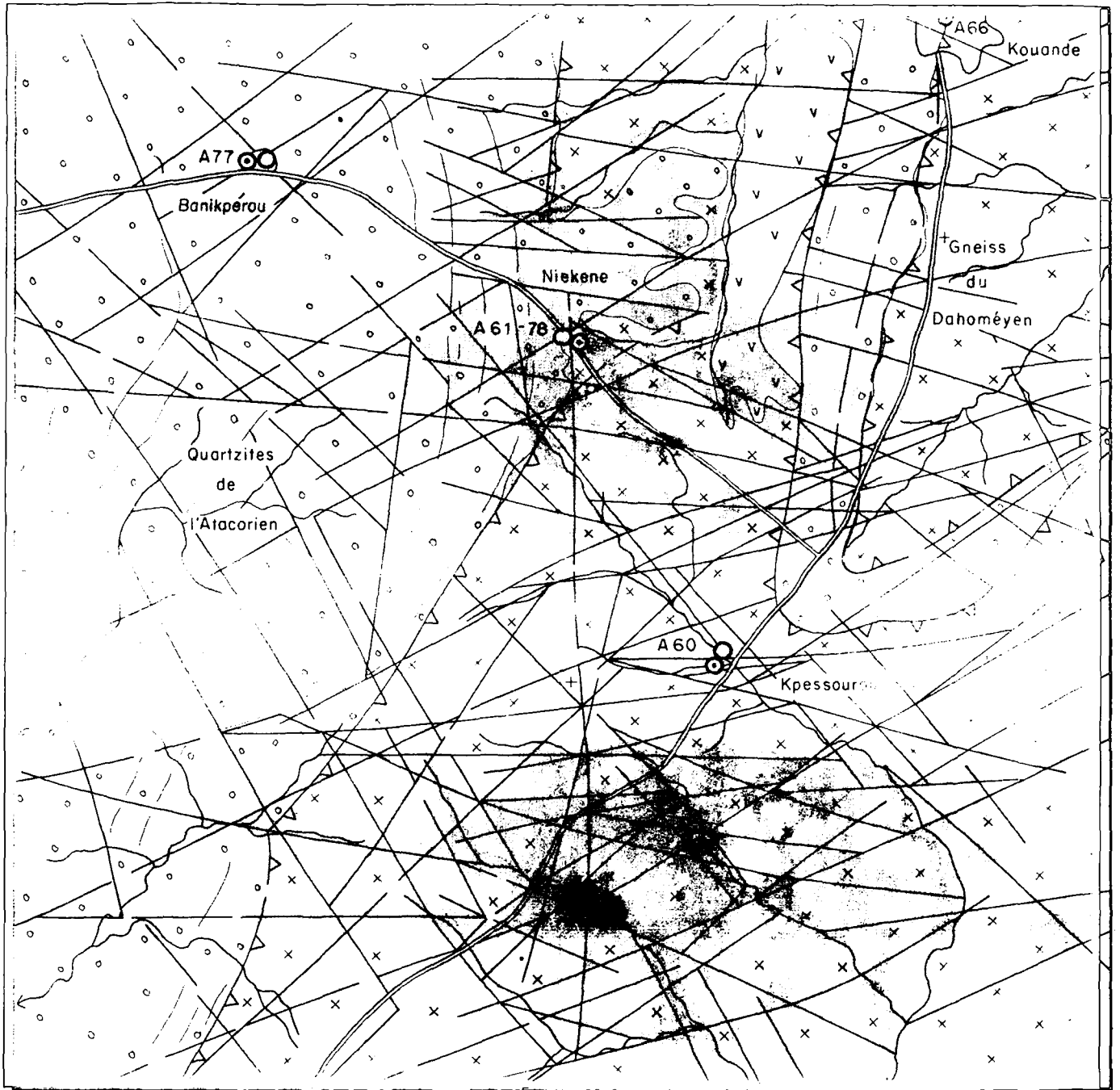
Coeur de la chaîne de l'Atacora. Les gneiss du Dahoméyen sont charriés sur les quartzites de l'Atacorien qui apparaissent en boutonnière à Kouandé. Les quartzites forment les reliefs et occupent les lignes de crêtes : ils sont mal alimentés. Les gneiss, plus altérables, occupent les dépressions.

Les fractures sont particulièrement longues et recourent indifféremment toutes les unités géologiques.

La pluviométrie, relativement élevée, permet l'alimentation de quelques puits dont la pérennité est précaire en raison de la faible épaisseur de la tranche d'eau captée. En effet, les puits atteignent rarement 20 m de profondeur alors que le niveau de l'eau se trouve entre 11 et 16 m. La solution réside dans les forages de 40 m environ implantés sur les fractures transverses et diagonales.

Dans les zones de fort relief, il faut opter pour des forages plus profonds placés obligatoirement sur des fractures multi-kilométriques (plus de 5 km de long) qui sont nombreuses dans cette région.

A 77 ; A 61-78 et A 60 = Puits F.E.D existants.



1963-64 NC 31 XIV IR n°201

Cliché IGN France

Exemple 6

BENIN

PHOTO : NC 31 XIV 1963 - 64 N° 128

CARTE 1/200.000 : NATITINGOU

ECHELLE : 1/65.000

PLUIE MOYENNE : 1 100 mm

GEOLOGIE : Voltaïen inférieur (Kandé et Atacorien)

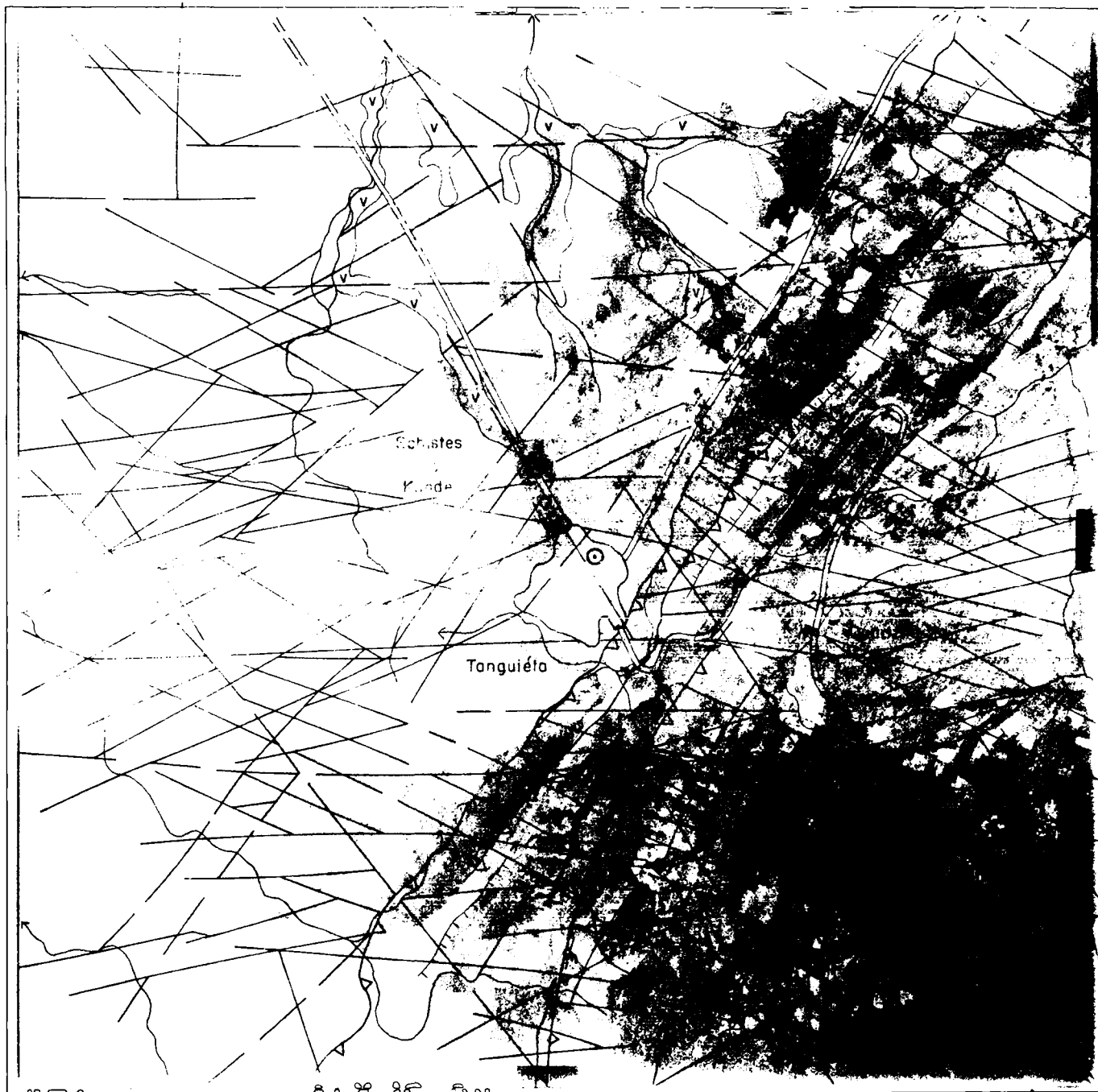
La moitié Sud Est de la photo représente la bordure Occidentale de la chaîne de l'Atacora dans la région de Tanguiéta. Les reliefs sont structurés par des quartzites qui sont écaillés. L'ensemble chevauche vers le Nord Ouest, la dépression des schistes de Kandé qui se composent de faciès variés (schistes chloriteux, sériciteux, grès, quartzites, siltstones) entraînant des conditions hydrogéologiques différentes.

Les quartzites et les grès ne s'altèrent pratiquement pas ; l'érosion aboutit à la formation d'amas de cailloux perméables mais stériles, ne se prêtant pas au creusement des puits. Les points d'eau sont localisés dans les dépressions qui se créent dans les micaschistes (Atacora) qui se décomposent en sable argileux sur 15 m d'épaisseur.

Dans le Kandé, les schistes sériciteux entretiennent des puits pérennes, car l'altération (jusqu'à 20 m) est plus épaisse que sur les schistes chloriteux. La direction d'allongement des structures est très nette. (N 30 - 40°). Les quartzites sont des roches très compétentes. Les fractures transverses (N 120°) sont nombreuses, courtes et parallèles entre-elles.

Dans le Kandé, la densité des fractures diminue.

L'alimentation en eau de Tanguiéta devrait être assurée par un forage de 40 à 60 m implanté sur un noeud de fractures multikilométriques.



MSL 20 22 24 26

AO 1963-64 NC 31 XIV n°128

Cliché IGN France

Exemple 7

BENIN : Hydraulique villageoise dans la Province du ZOU

PHOTO : AO 1963 - 64 NC 31 II N° 265 1/50 000° (?)

PLUIE MOYENNE : 1 100 mm environ

x = 1° 59'

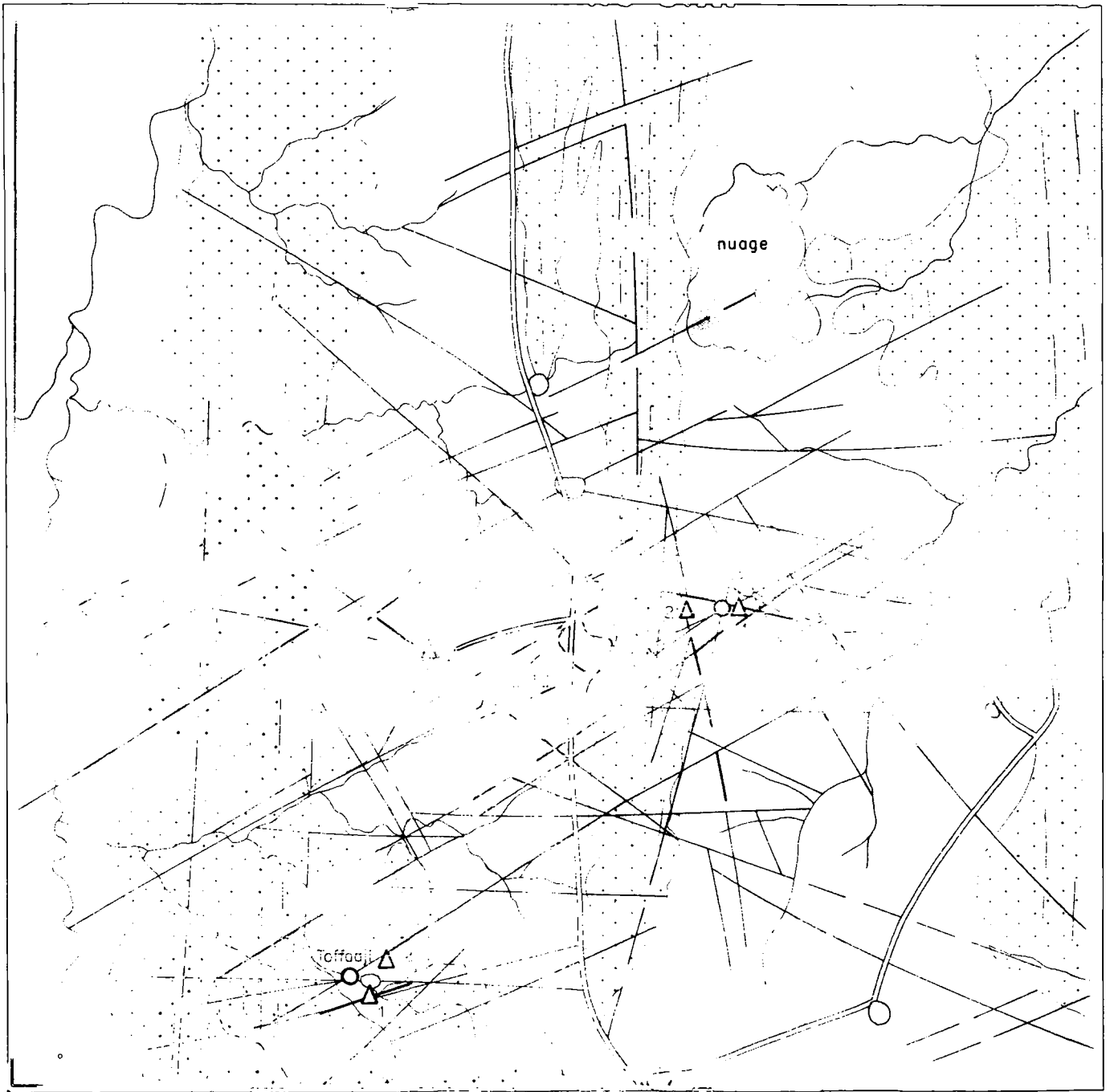
y = 8° 03'

	MINIKI			TOFFADJI	
	1	2	3	1	2
N° du forage	1	2	3	1	2
Profondeur (m)	47,5	47,5	38,5	50	40
Epaisseur altération (m)	5	29	9,84	8,2	6,1
Débit (m ³ /h)	< 0,2	< 0,2	1,3	-	0,6
Venues d'eau (m)	36-43	24-35	17-31-33	-	-
Géologie	Migmatites	Migmatites	Migmatites	Migmatites	Migmatites

Les migmatites du Dahoméyen présentent des structures et une foliation d'allongement N-S qui est repris par des fractures méridiennes longues. Le cours d'eau principal emprunte cette direction alors que les affluents sont guidés par les fractures diagonales (N 50° et 140°). Les fractures NE-SO sont longues et traversent toutes les structures. Les fractures transversales E-O sont plus courtes mais certainement ouvertes. La roche affleure largement. L'altération n'est épaisse qu'au droit des fractures. Les forages Miniki 1 et 2 sont sur des fractures simples alors que le N° 3 est sur un noeud de quatre fractures. Le village à alimenter est sur un interfluve rocheux.

A Toffadji, on peut tenter un forage juste à l'Ouest du village sur un noeud de fractures dont une est transversale.

Cet exemple montre qu'une interprétation locale n'est pas suffisante car une fracture détectée plus loin peut de proche en proche, recouper le site étudié.



Exemple 8

BENIN : hydraulique villageoise dans la Province du ZOU

PHOTO : 2 - Togo 49 006 N° 228

ECHELLE : 1/25.000°

Région de Dassa-Zoumé

PLUIE : 1 100 mm

x = 2° 13' 28"
y = 7° 52' 10" (SOKPONTA)

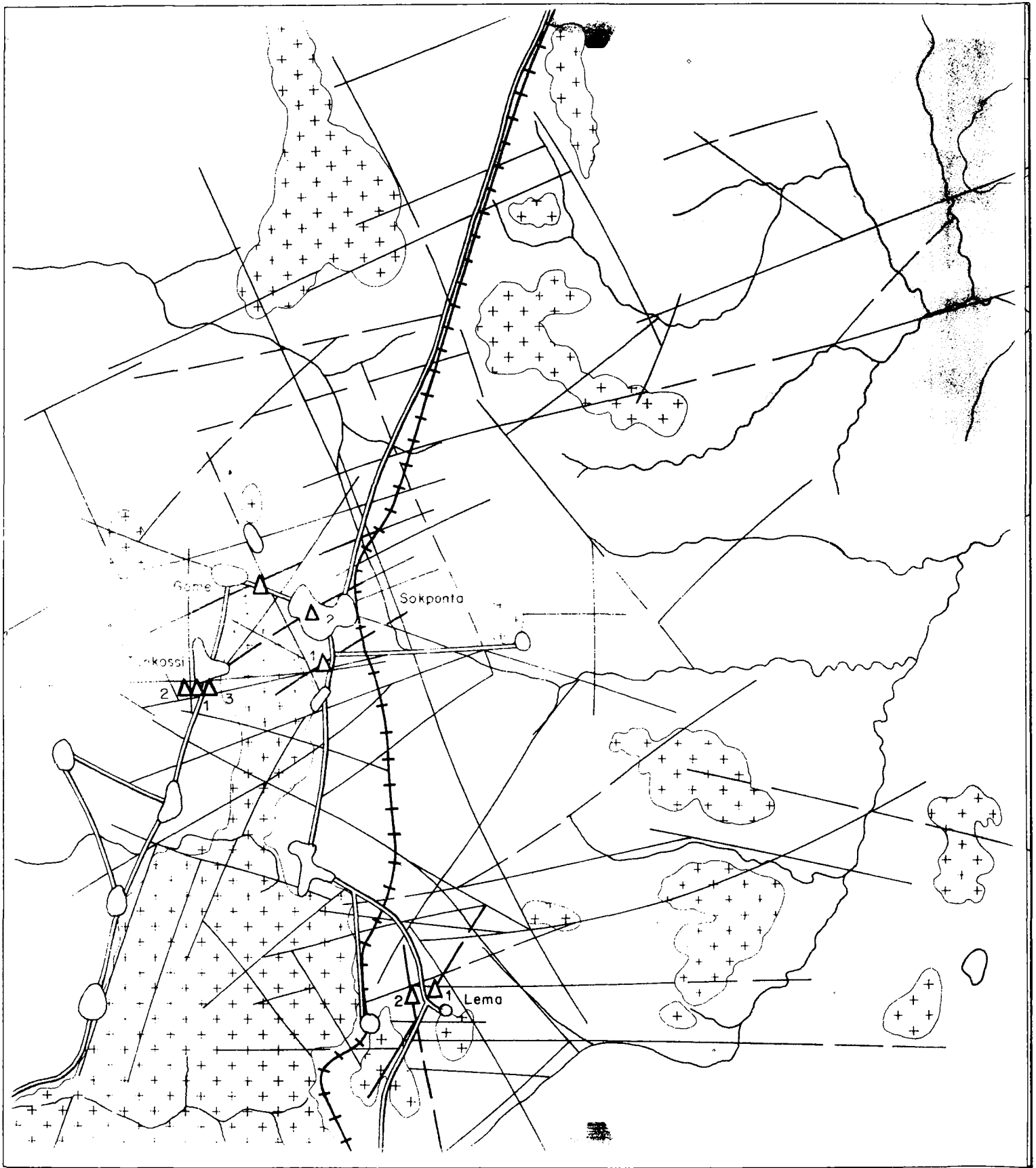
GEOLOGIE : Granito-Gneiss du Dahoméyen

	GOMÉ	TANKOSSI			SOKPONTA		LEMA	
N° du forage	1	1	2	3	1	2	1	2
Profondeur (m)	71,5	65,5	74,5	35,5	86,5	101,5	56,5	68,5
Débit(m³/h)	16	1	0,2	1	0,6	3	0,1	-
Niveau Statique	4,1	4,55	4,4	-	11,9	7,55	12,91	-
Epaisseur altération (m)	4	4	4	4	40	23	2	11
Venues d'eau	44-66	18	18	18	13-48	37-39-42 46-62-66	-	-
Géologie	Granito-Gneiss						Granite	
Direction-fractures	N 60°	N 60°	N 60°	N 60°	N 60°	N 60°	N 30°	N 170°

Tous les forages ont été créés sur le pourtour d'un massif granitique qui affleure largement au centre des mailles dessinées par le réseau hydrographique. Les résultats sont très variables. Les débits obtenus ne sont pas fonction de l'épaisseur de l'altération qui généralement confirme la présence d'une fracture, mais de la profondeur des venues d'eau liées à une fracture transverse multikilométrique. Les forages Gomé 1 et Sokponta 2 sont pratiquement sur cette même fracture. Gomé 1 très productif, est sur un noeud de 3 fractures. Les forages de Lema et de Tankossi auraient pu être déplacés sur des noeuds de fractures très proches.

Remarquer les variations de la profondeur du niveau statistique d'un site à l'autre, liées à la discontinuité de l'aquifère.

A Gomé, l'altération est dessaturée, ce qui peut nuire dans le temps, à la maintenance des réserves.



Exemple 9

COTE D'IVOIRE : Hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao
(1975-80)

PHOTO : U.N.D.P 40-63 1/50.000°

Villages	Adahou	Trianikro	Faafoué Etienkro
N° du forage	D 52	D 58	D 75
Profondeur (m)	100	100	68
Débit (m ³ /h)	0,6	0,3	12
Venues d'eau (m)	15-40	25-37	18-61
Niveau statique (m)	3,67	11,64	7,35
Epaisseur altération	4	18	11
Géologie	granite	granite	granite

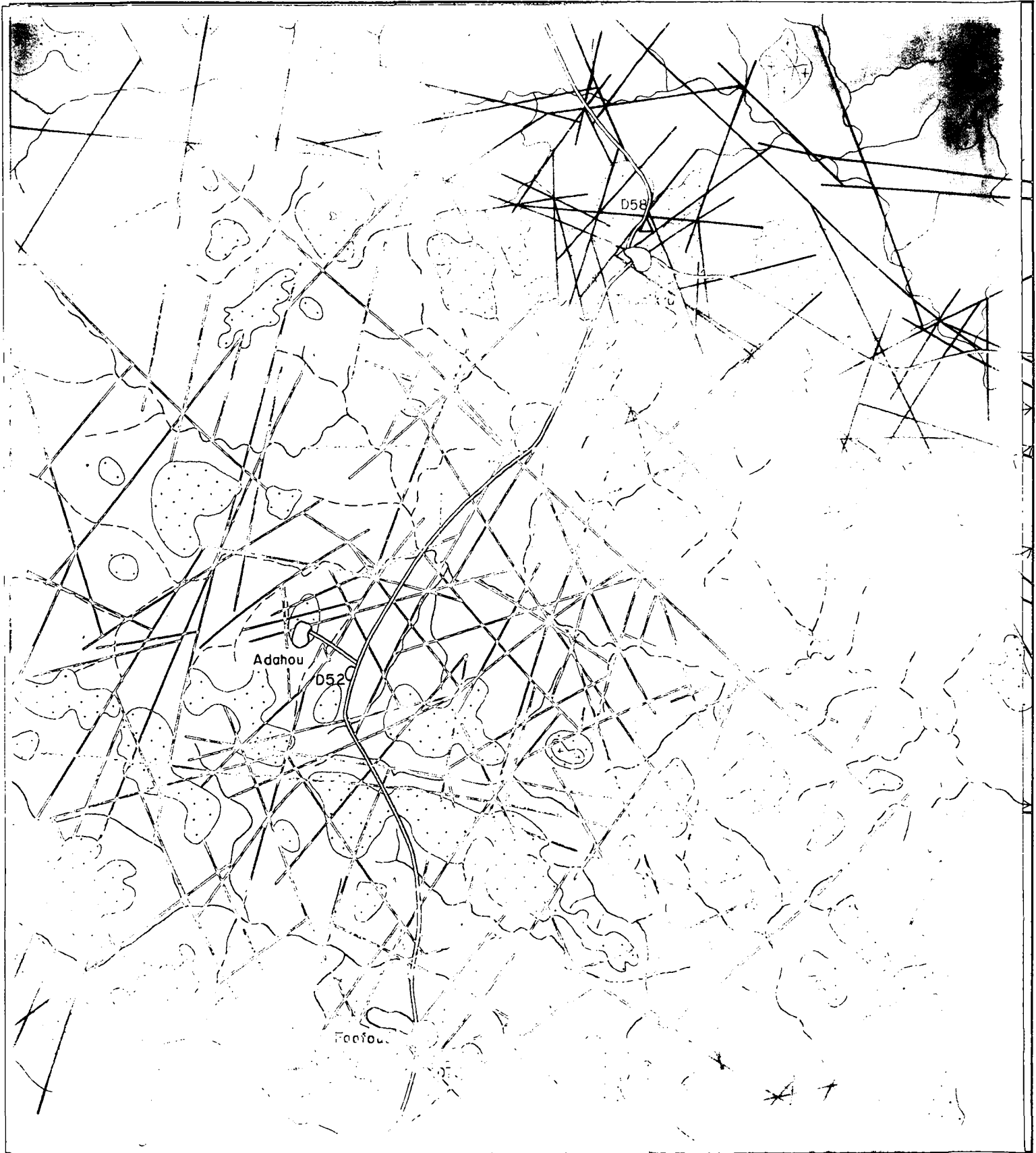
Morphologie assez particulière sur roche granitique. La densité du réseau hydrographique est élevée pour ce type de roche ce qui suggère que l'altération est argileuse. Le plateau arboré est fortement érodé et n'existe plus que sous forme de tâches circulaires sur les interfluves. L'altération est enlevée par l'enfoncement des marigots ; la zone n'est pas favorable au creusement des puits.

Les villages sont situés sur les interfluves, au centre de maille. Le forage D 58 de part sa situation en interfluve a un débit faible.

Le forage D 52 implanté sur une seule fracture longitudinale (N 30°) a un débit modeste par rapport au D 75 placé à l'intersection de nombreuses fractures transverses (N 110°) et diagonales (N 140° et N 65°) et dans un point bas en bordure de maille.

Les profondeurs des forages D 52 et 58 sont nettement trop grandes par rapport aux dernières venues d'eau (40 m) et par rapport à la longueur des fractures kilométriques (2,5 et 3 km).

Des forages aussi profonds doivent être implantés sur des fractures majeures (≥ 10 km).



Exemple 10

COTE D'IVOIRE : Hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao (1975-80)

PHOTO : I.G.N. 70 N.B. 30 XXI - XXII/600 N° 384 1/60.000

SOUS-PREFECTURE : Prikro

Villages	Bognankro		Famienkro		Groumania	Kofesso
N° du forage	P 62	P 13	P 75	Sodésucre	P 93	P 96
Profondeur (m)	60	60	58	92	80	50
Débit (m ³ /h)	10,8	2	6	4	1,8	4
Venues d'eau (m)	36-44-50	35	27-47	-	30-40-51	25-36
Niveau statique (m)	30	27	18,75	4,10	20,60	16
Epaisseur altération	52	42	16	-	18	12
Géologie	Sch. verts	Sch. verts	Sch. grès	-	Grès	Sch. gréseux

Région semi-humide (1 200 mm) sur roche grés-schisteuse. Les affluents de la Comoé ont fortement décapé l'altération ; les versants (en blanc ou gris) sont plus développés que les plateaux, réduits sur les interfluves à des îlots forestiers.

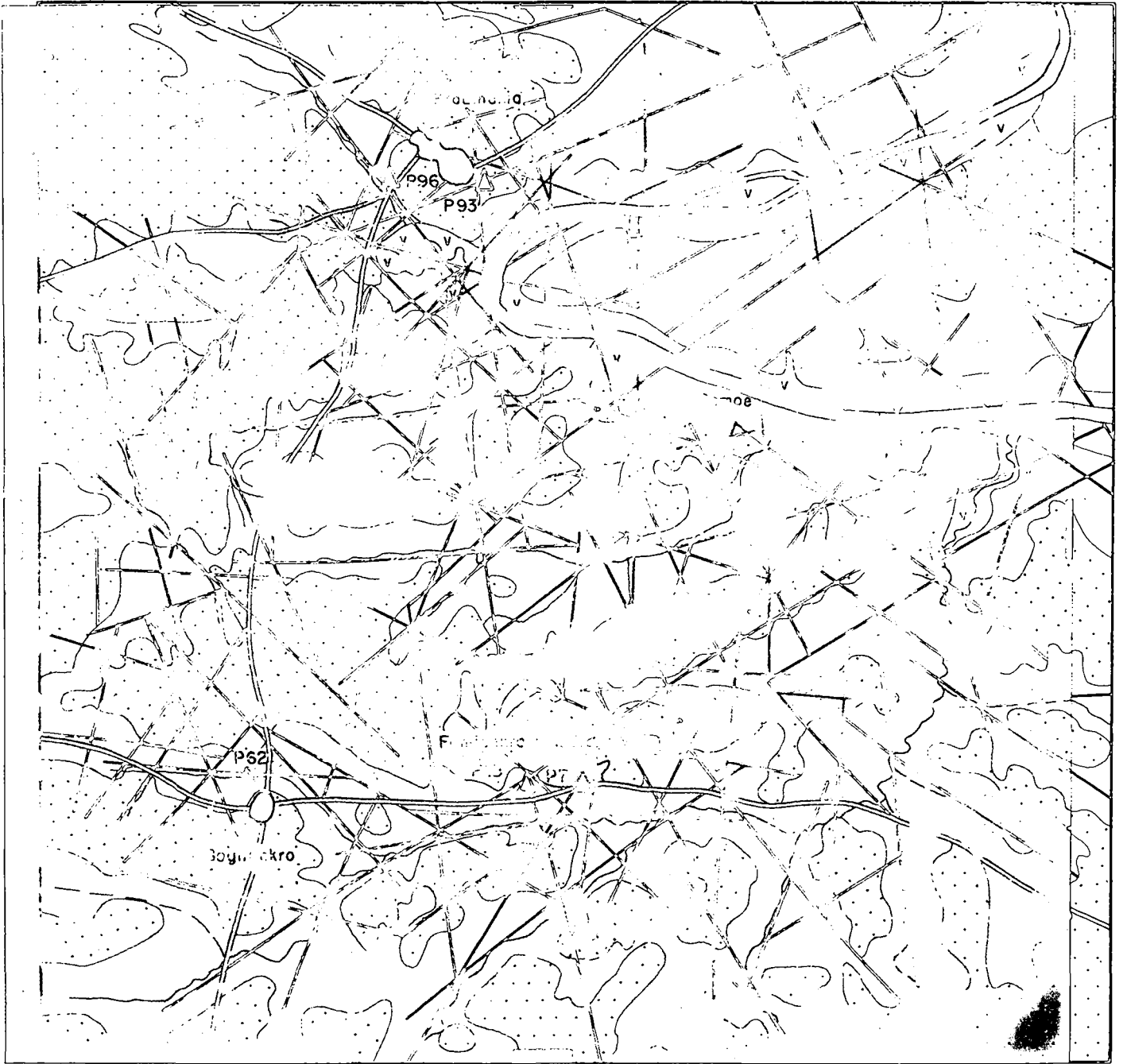
L'épaisseur de l'altération recoupée par forage, dépend plus de la fracturation que de la morphologie. L'altération est plus développée sur les faciès schisteux que sur les grès.

Le réseau hydrographique s'organise en fonction des fractures de direction Est-Ouest qui sont longues ou qui se relaient : les forages P 62 et 75 implantés sur ces fractures fournissent de bons débits.

Le forage P 13 n'a pas du être placé exactement sur le noeud de fractures car son débit est moyen pour ce type de fracture multikilométrique. La proximité du chemin en est peut être la cause (facilité d'installation de la foreuse).

La profondeur du P 93 (80 m) trop grande par rapport à la dernière venue d'eau (51 m), s'explique par la recherche d'un débit plus élevé sur une fracture multikilométrique (6 km).

La profondeur des niveaux statiques souligne la fonction drainante des fractures choisies ; elle est fonction de l'éloignement du forage par rapport à la Comoé qui est le niveau de base régional. Localement, la morphologie peut accentuer la profondeur de l'eau.



Exemple 11

COTE D'IVOIRE : hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao
(1975-80)

PHOTO : I.G.N. 70 NB XXI-XXII/600 N° 315 1/60.000

SOUS-PREFECTURE : Prikro

Villages	KAMAYA	TOUMBO		AKANGUISSAKRO
N° du forage	P 75	P 20	P 20 b	P 59
Profondeur (m)	82	75	50	60
Débit (m ³ /h)	1	0,4	3,6	0,165
Venues d'eau (m)	27	-	27-30	31
Niveau statique (m)	14,85	-	8	24
Epaisseur altération	14	5	11	12
Géologie	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes

Morphologie typique des versants érodés de la Comoé (teintes claires). Les plateaux boisés ne gardent de l'importance que sur les interfluves éloignés de la rivière.

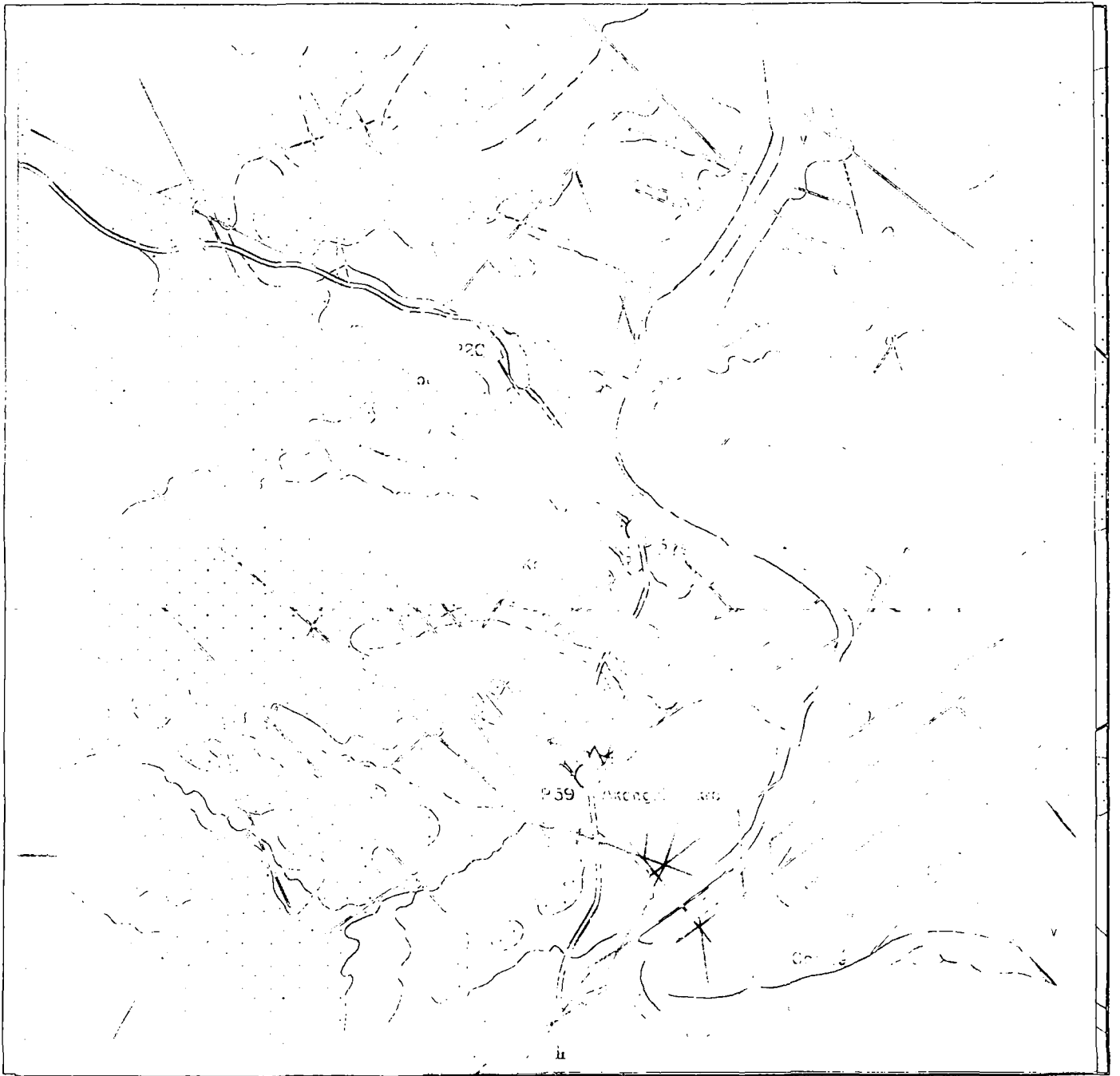
Les affluents de 1^{er} ordre s'alignent suivant le réseau des fractures (direction dominante N° 105°) ; ceux de deuxième ordre, situés en amont dans les zones de plateau où l'altération est conservée, ont un cours curviligne.

Les villages à alimenter en eau sont situés en bordure des versants érodés de la Comoé. L'épaisseur de l'altération est réduite et stérile (le N.S est plus profond que la base de l'altération) : le creusement des puits est donc déconseillé.

L'absence d'altération saturée peut expliquer la faiblesse des débits. Ce qui est confirmé par le P 20 b qui fournit le meilleur débit car l'altération est saturée sur 3 m.

La carte des fractures est différente de celle de la photo 384 malgré le voisinage immédiat. Les directions méridiennes et E-O (photo 384) s'effacent devant les directions 100-110 et leurs conjugués N 20 (photo 315).

La recherche de directions favorables constantes pour une grande région est aléatoire.



IGN RCI 70NB XXI-XXII-/600 n°315

Cliché IGN France

Exemple 12

COTE D'IVOIRE : Hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao
(1975-80)

PHOTO : U.N.D.P. 40-36 1/50.000

SOUS-PREFECTURE : DIMBOKRO

Villages	KANGRASSOU ALUIBO			KOLIBO	AHOUNIASSOU	KROKOKRO	EDIAKRO
	D 6	D 6 b	D 7				
N° du forage	D 6	D 6 b	D 7	D 51	D 64	D 17	D 62
Profondeur (m)	36,50	47	52	52	46,50	63	48
Débit (m ³ /h)	0,3	4,2	0,7	3,2	1,8	0,6	22,5
Venues d'eau (m)	35	45	14	25-43	31	27-45	35-48
Niveau statique (m)	-	11	8	9,10	10,30	8,50	12,7
Epaisseur altération	14,50	0	10	20	19	6	3
Géologie	Granite	Granite	Granite	Granite	Quartzite	Schistes	Granite

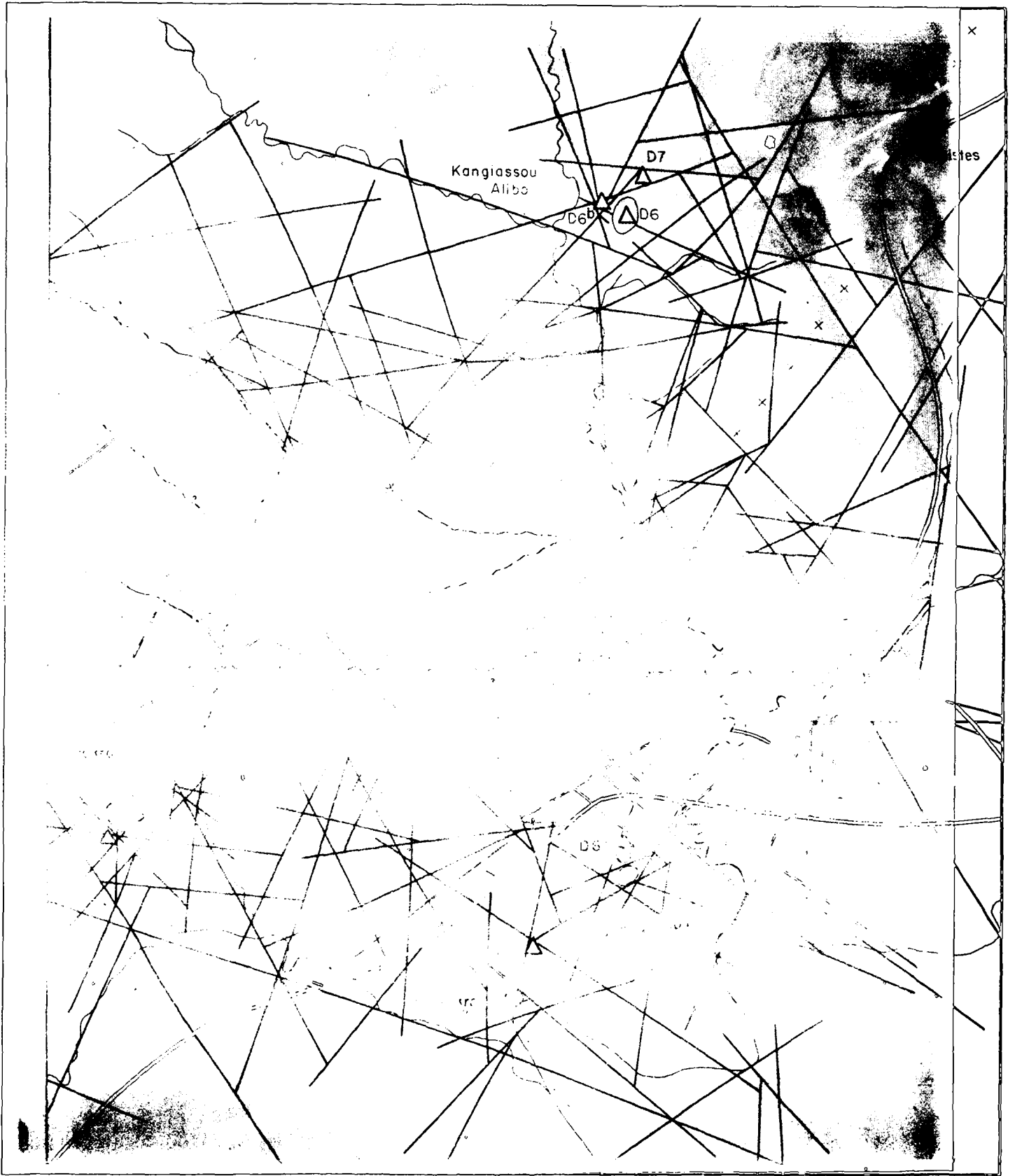
A droite du cliché, la couverture arborée est conservée et le réseau hydrographique, en épi, est plus dense que sur le reste de la photo : le substratum est schisteux.

La zone granitique est caractérisée par la rareté des affluents secondaires, par une couverture arborée plus claire, par une maille polygonale et par des interfluves massifs. La surface est moins humide que sur les schistes.

La direction des écoulements est de N 110° sur le granite et N 140-150° sur les schistes. La direction N 30-40 avec des fractures longues et sinueuses, indique l'allongement des structures. C'est celle du contact granite-schiste (direction en compression).

La région n'est pas favorable à l'implantation de puits : l'altération saturée est faible ou inexistante (sauf D 51).

Les forages sont situés sur des fractures transverses (110° à 120°) ou diagonales (75°) qui sont susceptibles d'être ouvertes. Le plus souvent le site choisi est un noeud de fractures. Le forage D 6 placé sur une fracture courte donne un faible débit.



Exemple 13

COTE D'IVOIRE : Projet de Développement des régions Cotonnières
D.C.H. Abidjan

PHOTO : I.G.N. NB 29 XXIV - AOF 54-55 1/50.000 N° 231

VILLAGE : Kaloufla (1 058 habitants), sous-préfecture de Zuénoula,
département de Bouaflé.

CARTE 1/200.000 : Séguéla $x = 6, 2, 40$; $y = 7, 31, 40$; $z = 230$ m

GEOLOGIE : Schistes indifférenciés

MORPHOLOGIE : Thalweg peu marqué sur versant. Affleurements sur interfluves,
visibles dans le village.

CRITERES D'IMPLANTATION DES FORAGES : F_1 = sur noeud de fractures N 30 et
N 140° allongées comme le marigot.
 F_2 = pas de fracture visible.

GEOPHYSIQUE : NEANT

Puits villageois avec niveau statique de 4 à 6 m.

Deux forages de reconnaissance transformés en forage d'exploitation

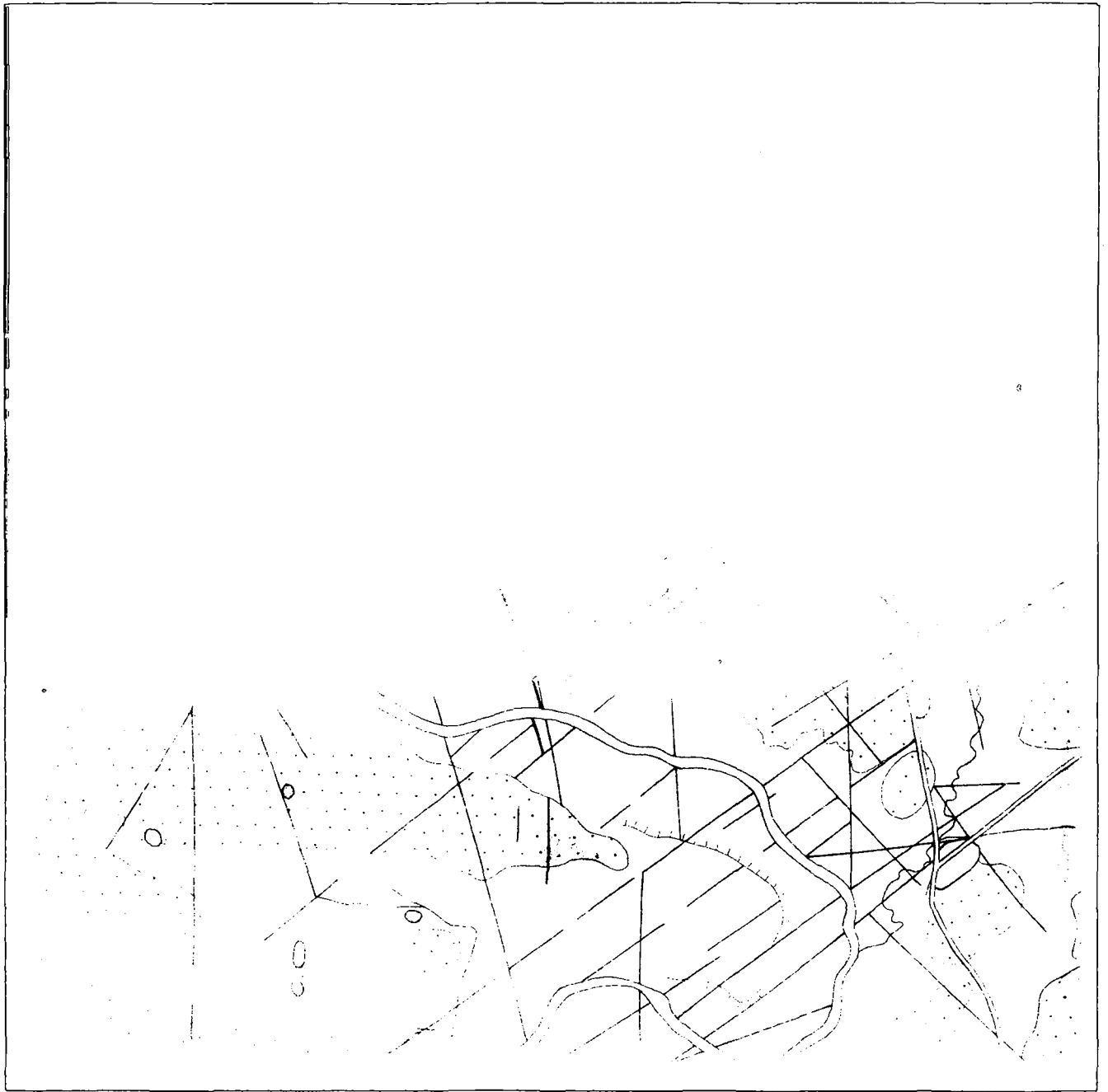
	F ₁	F ₂
Profondeur du forage	40,6	60,35
Socle à	27,4	20,75
N-S	11,1	2,2
Débit instantané	18 m ³ /h	6,6 m ³ /h

Le forage F_1 situé à proximité d'un noeud de fractures produit un fort débit. L'altération y est plus épaisse qu'en F_2 . La profondeur du N.S au F_1 indique que la fracture fonctionne en drainage par rapport au volume rocheux environnant : c'est un signe de plus grande conductivité hydraulique qui permet un débit élevé pour une profondeur de forage plus faible que pour F_2 .

Les fractures sont en réalité à 45 m du fond du marigot et pas dans le marigot.

La présence de quartz dans les schistes favorise la fonction drainante. Un complément de lever des fractures montre que le forage F_1 est bien situé sur des fractures importantes alors que le F_2 est sur une fracture kilométrique d'où la différence des débits.

Les fractures ne sont pas très visibles. Une observation prolongée avec une loupe est nécessaire.



AOF 54-55 NB29 XXIV - n°231 1/50 000e

Cliché IGN France

Exemple 14

COTE D'IVOIRE : Projet de développement des régions Cotonnières
D.C.H. Abidjan

PHOTO : I.G.N. AOF 54-55 NB 29 XXIV N° 518 1/50.000

VILLAGE : Tiénigbaoué (276 habitants), sous-préfecture de Kongasso,
département de Séguéla

CARTE 1/200.000 : Séguéla x = 6, 6, 20 ; y = 7, 48, 40 ; z = 300

GEOLOGIE : Granite

MORPHOLOGIE : Fond de vallée et replat sur le versant. La granite affleure ;
inselbergs sur interfluve ; plateau avec cuirasse ; filon de
quartz.

CRITERES D'IMPLANTATION DES FORAGES : Noeud de fractures 100° et 170°. La
lère a 600 m de long ; la seconde
est multikilométrique.

GEOPHYSIQUE : 8 sondages électriques - 2 trainés de résistivités.

TRAVAUX : 2 forages de reconnaissance. 1 forage d'exploitation.

	F ₁	F ₂
Géologie	Granito-gneiss	Roches vertes quartz
Profondeur du forage	46,15	61,60
Socle à	6,15	29,15
Niveau de l'eau	-	19,50
Débit instantané	0	10 m ³ /h

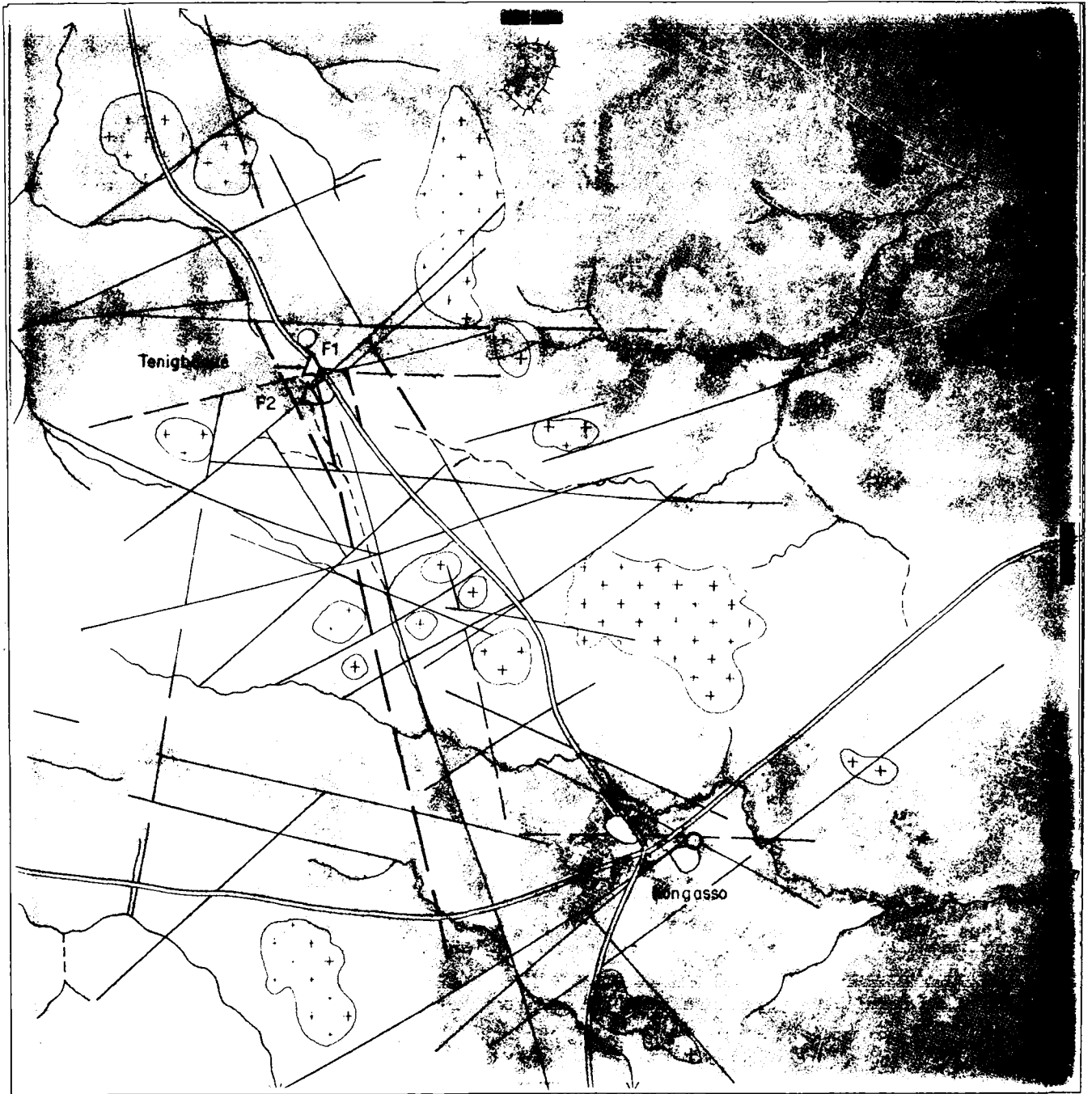
Le premier forage n' est pas sur le noeud de fractures ; soit il n'a pas recoupé la fracture N 100°, soit cette dernière de longueur insuffisante, n'est pas productrice (mais il y aurait eu un niveau d'eau).

Par contre, F₂ recoupe la fracture multikilométrique : le débit est élevé, l'altération forme une poche profonde et l'altération est saturée sur une dizaine de mètres. Les profondeurs des forages sont adaptées à la taille des fractures :

F₁ : 46 m sur fracture secondaire

F₂ : 61,60 m sur fracture multikilométrique.

Un relevé plus complet des fractures aurait sans doute permis d'alléger la géophysique.



AOF 54-55 NB29 XXIV-n°518 1/50000e

Cliché IGN France

Exemple 15

COTE D'IVOIRE : Hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao
(1975-80)

PHOTO : U.N.D.P. 40-29 1/50.000

PLUIE MOYENNE : 1 200 mm

SOUS-PREFECTURE : Dimbokro

Villages	Andierou	Dadie Kofissikro	Niamassou	Diangokro	Fano akakro			
N° du forage	D 10	D 23	D 21	D 44	D 38	D 39	D 39 b	D 40
Profondeur (m)	53	78	48	60	48	54	60	72
Débit (m ³ /h)	1	2,8	1,8	1	1,2	0	3,5	2,2
N-S (m)	20,304	31,30	25,50	20	31	-	29	33
Épaisseur altération	41	71	11	18	6	28	25	30
Geologie	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes
Taille fracture (km)	3-4	2-3	9-5	4- 10	2-3	2-3	2-3	2-3
Direction fracture	110-160	10-60-150	20-65-75	20-110	10-100	neant	10-80-150	10-80
Venues d'eau (m)	25-44	40-46	38-40-41	18-51	42-44	-	38-42-49-55	39-48-58-66

Zone semi-humide, arborée, à morphologie monotone, sur schistes. La forêt est dégradée par l'érosion régressive le long des marigots. Le réseau hydrographique est anormalement peu dense sur altération argileuse (N.S profond).

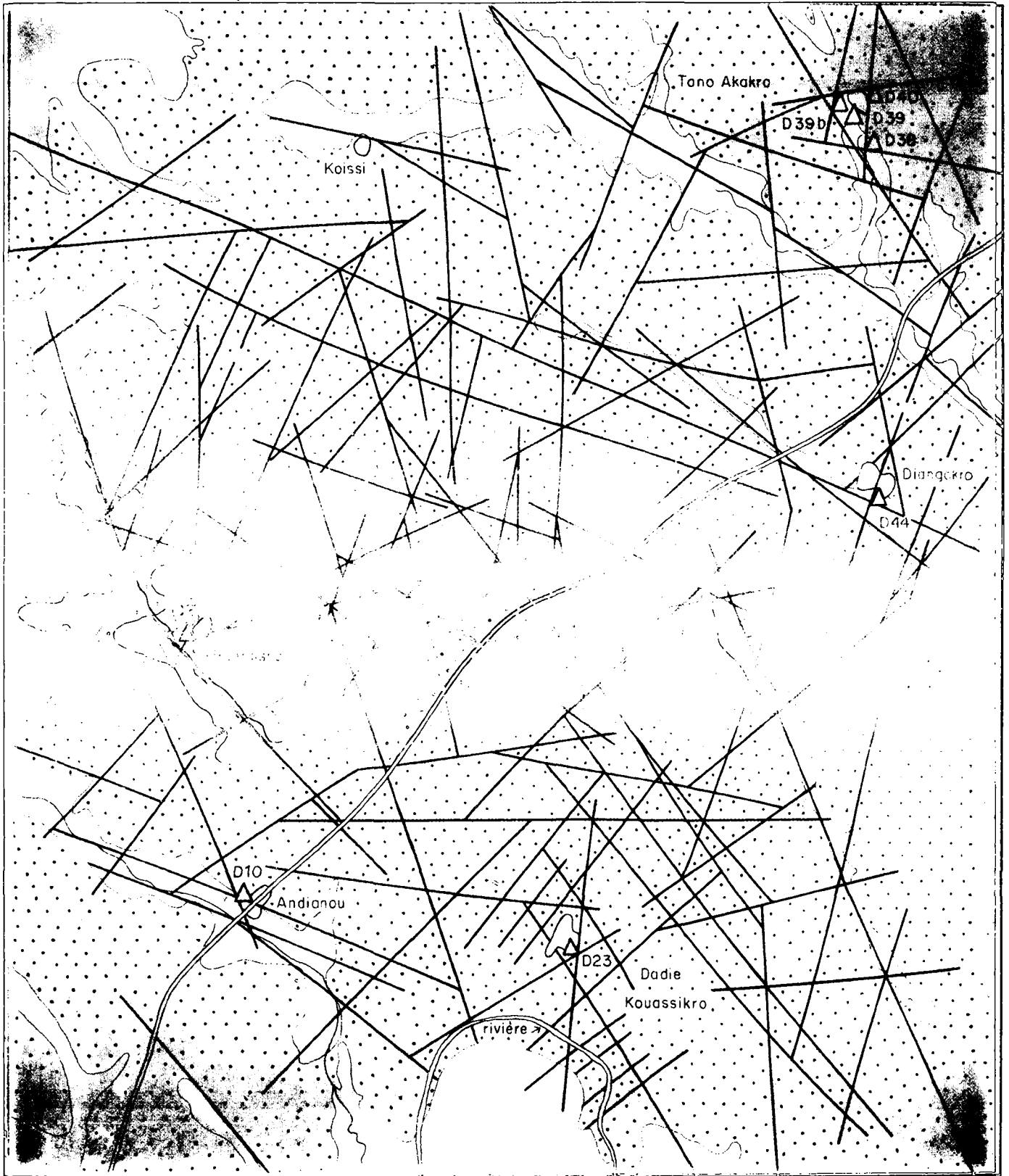
Les affluents gardent des trajectoires rectilignes malgré quelques courbes adoucies en tête de Thalweg : l'altération est conservée sur le plateau alors qu'elle est affouillée par les marigots ; les rivières principales ont tendance à s'aligner sur les fractures proches de la surface alors que les affluents secondaires s'incurvent sur l'altération des plateaux.

L'épaisseur de l'altération varie avec la morphologie et les fractures si bien que le forage D 39 qui n'est pas implanté sur une fracture est sec malgré 28 m d'altération.

La faiblesse relative des débits pour cette région, est liée à la profondeur du niveau statique qui est bien souvent situé dans la roche saine : l'altération n'est pas saturée ce qui diminue la réserve des eaux souterraines.

La profondeur des forages est adaptée au type de roches (schistes) et à la taille des fractures (kilométriques à multikilométriques) sauf le D₂₃ trop profond pour des fractures relativement courtes.

Il faut souligner que le seul forage négatif n'est pas sur une fracture.



Exemple 16

COTE D'IVOIRE : Hydraulique villageoise dans la boucle du Cacao
(1975-80)

PHOTO : I.G.N. 70 NB 30 XXI-XXII/600 N°181 1/60.000

SOUS-PREFECTURE : Prikro

Villages	Adoukro		Bang ⁽¹⁾	Adika ⁽²⁾	Koffi amoukro			Ayzan kouamikro		Yaboua kikro
N° du forage	P 28	P 28 b	P 52	P 7	P 6 b	P 12	P 80 b	P 26	P 26 b	P 92
Profondeur	83	66	84	70	71	70	85	100	77	55
Débit (m³/h)	0	1,2	3,85	1	2,7	2,3	5	0	0,8	1,8
Venues d'eau (m)	-	53-60	60-72	65-68	-	52-56-58	-	-	46-58-72	40 à 49
Niveau Statique	-	35	37	42	37,00	30	31,60	-	41	31,50
Épaisseur altération	83	42	44	38	63	54	71	-	66	13
Géologie	Schistes argileux	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes	Schistes argileux	Schistes	Schistes

(1) Bangboundiakro

(2) Adikankourou

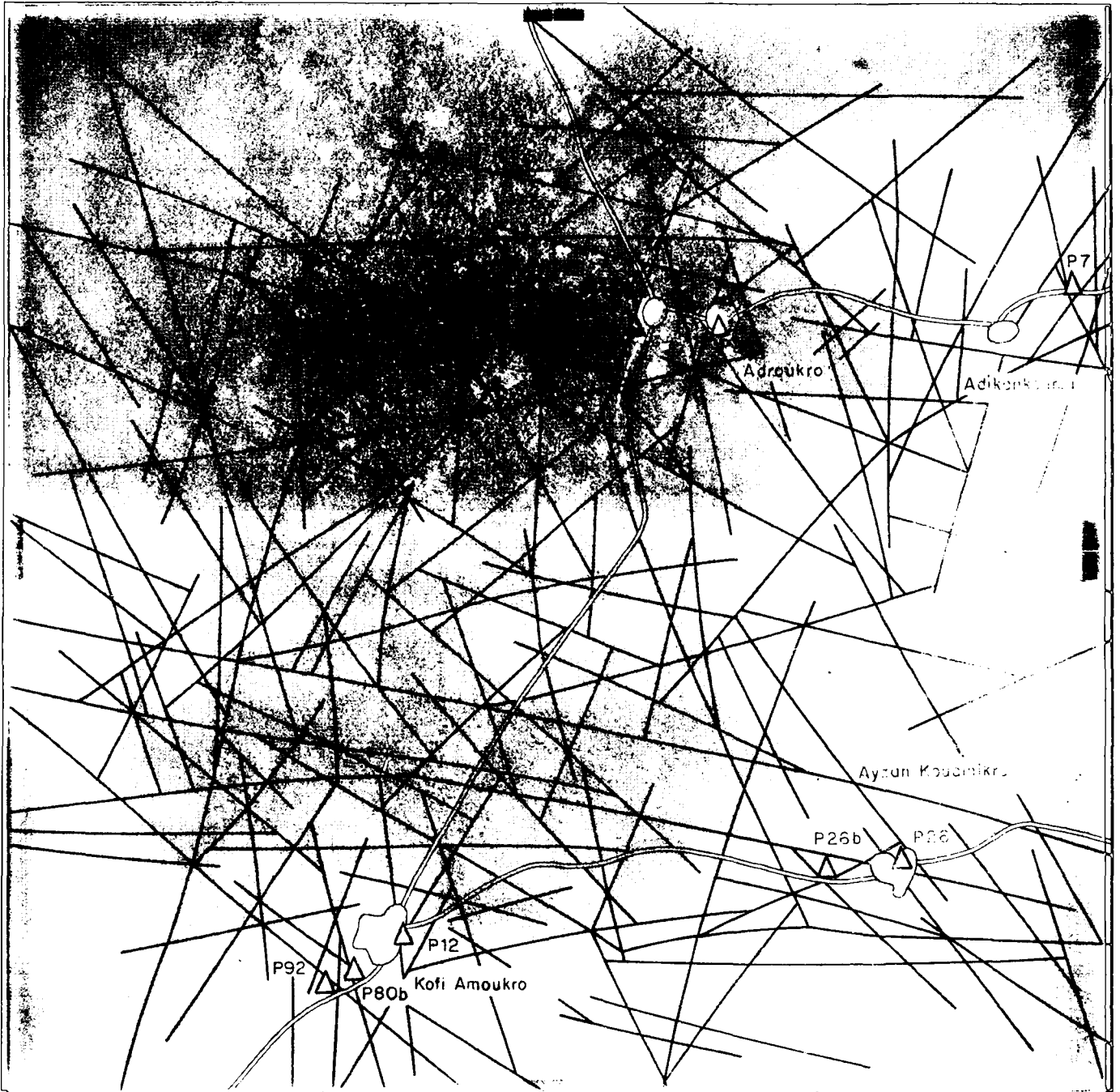
Morphologie monotone et muette sous couverture arborée continue, sans réseau hydrographique apparent (socle schisteux).

Le manteau altéré est très développé avec des épaisseurs fortes ; la zone est propice aux puits mais la profondeur du niveau de l'eau ne facilite pas l'exhaure manuelle.

Le forage P 28 est sec car l'altération a envahi toute la fracture ; même phénomène pour le P 26 situé en bordure, mais dans un couloir de fractures altérées (N 100°).

Les forages doivent être implantés légèrement en dehors de la fracture afin d'éviter une trop forte épaisseur d'argile.

Les dernières venues d'eau sont nettement plus profondes que dans les granites (comparer avec U.N.D.P. 40-36), ce qui motive des forages relativement profonds.



70 NB 30 XXI-XXII n°181 1/60000 e

Cliché IGN France

Exemple 17

HAUTE VOLTA : Etudes hydrogéologiques préalables à l'implantation d'un ranch d'embouche dans la région de Léo (D.H.A.E.R. Ouagadougou - Géohydraulique)

PHOTO : AOF 024-1950 N° 104 1/55.000 environ

CARTE TOPOGRAPHIQUE 1/200.000 : Feuille de Pô NC - 30 - XXIII

x = 1° 55

y = 11° 15

z = 230 m

PLUVIOMETRIE MOYENNE : 1 000 mm

Exemple réel de recherche d'eau pour alimenter du gros bétail, avant l'introduction des foreuses marteau-fond-de-trou en Haute Volta.

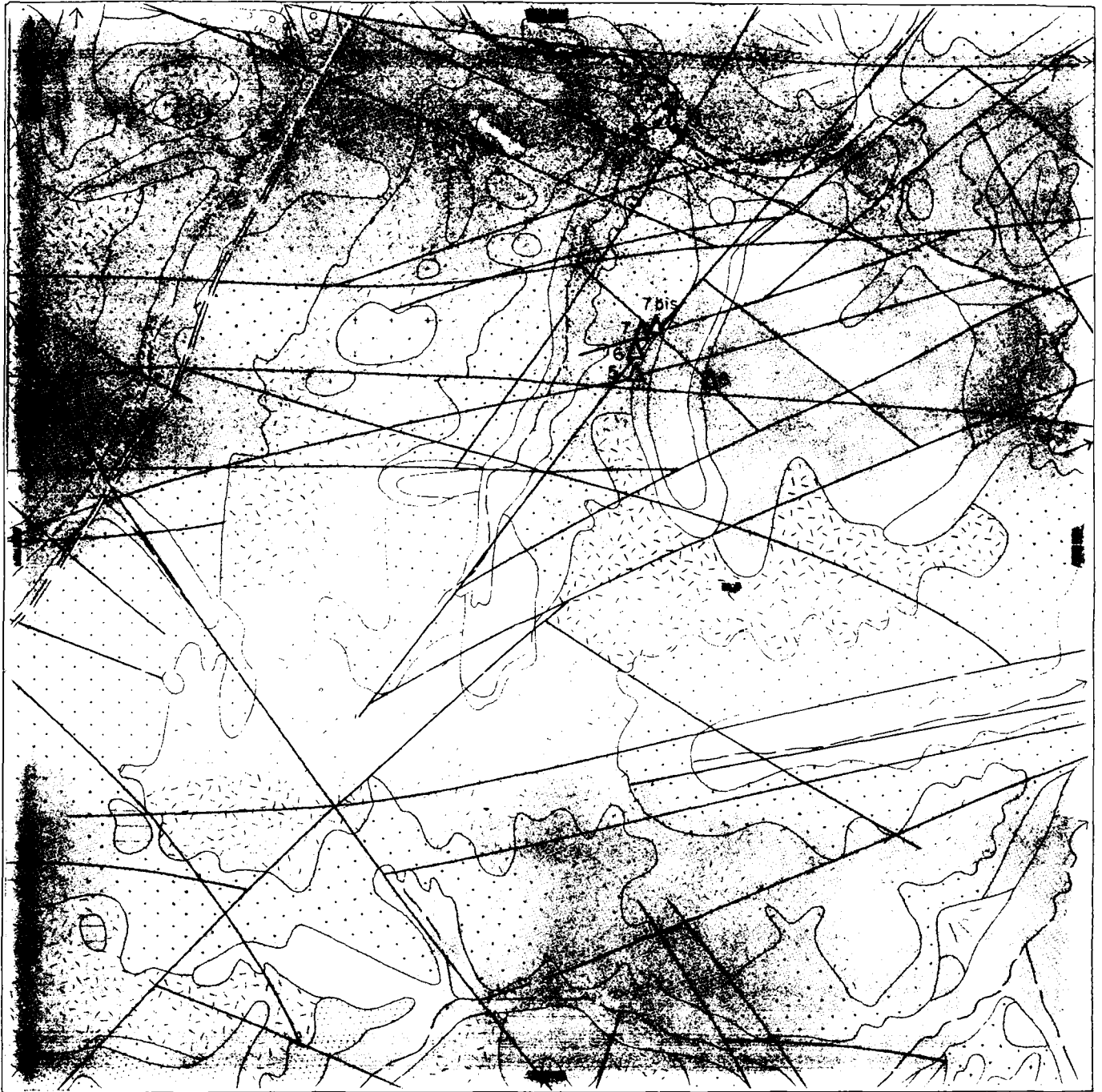
Les quatre sondages exécutés à la tarière mécanique ont été arrêtés prématurément sur des filons de roche dure ou par éboulement des arènes fluantes. Mais ils ont confirmé la présence d'une forte épaisseur d'altération (plus de 25 m) au droit des fractures. Un sondage au tricône a permis de vérifier que l'altération atteint 32,60 m au point 7 situé sur un noeud de fractures longitudinales, transverses et diagonales. Le débit de 4 m³/h provient uniquement des altérites car le forage a été arrêté sur les granito-gneiss sains.

Le site a été choisi sur un noeud de 3 fractures, en bordure d'un couloir de fractures NE-SO en bordure d'une maille polygonale soulignée par le réseau hydrographique, à la limite d'un flat (bas fond argileux toujours humide) au contact du glacis principal protégé par une forte cuirasse et du glacis versant peu emboîté dans le précédent. Cette convergence d'observations explique la forte épaisseur d'altération.

Le niveau statique assez profond, permet toutefois le maintien d'une tranche saturée sur 15 à 16 m d'épaisseur.

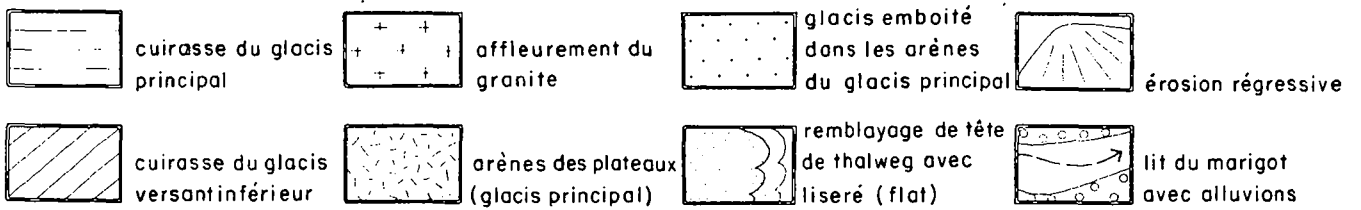
Il serait souhaitable de reprendre cet ouvrage par un forage pénétrant d'une vingtaine de mètres la roche fracturée.

L'association fracture - géomorphologie permet un choix précis de sites de forages.



AOF 024 1950 n°104 1/55000^e

Cliché IGN France



Exemple 18

HAUTE VOLTA : Etudes hydrogéologiques préalables à l'implantation d'un ranch d'embouche dans la région de Léo

CARTE TOPOGRAPHIQUE 1/200.000 : Feuille de Pô NC - 30 - XXIII

PLUVIOMETRIE MOYENNE : 1 000 mm

PHOTO : AOF 1950 024 N° 097 ECHELLE : 1/55 000°

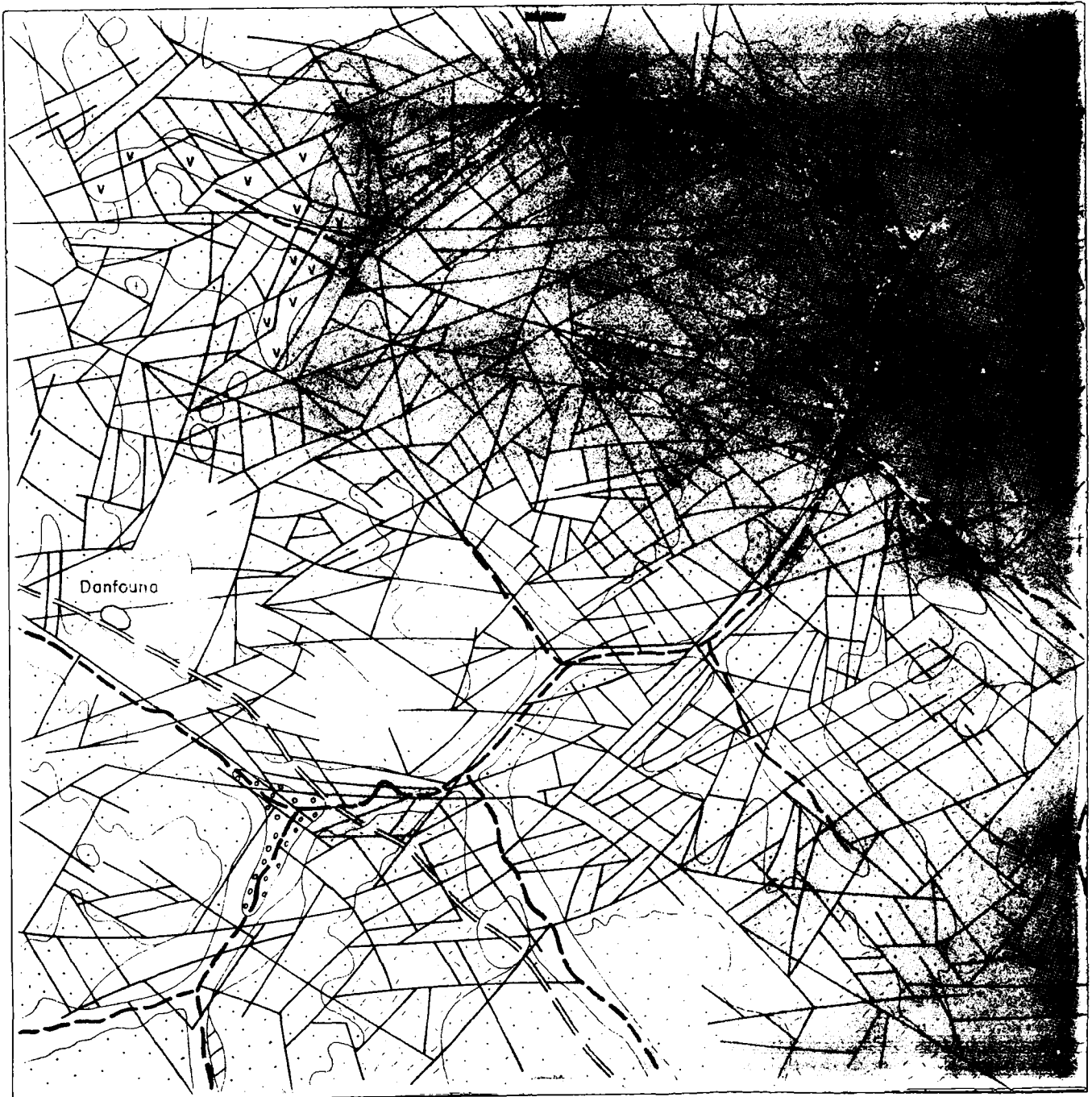
Exemple de relevé détaillé de la fracturation sur fond géomorphologique.

Le réseau hydrographique souligne des structures polygonales très nettes. Les affluents se rejoignent à 120°. Ces figures caractérisent les zones de plateaux dans les régions de socle granitique. L'épaisseur de l'altération est moyenne (15 m) à forte (> 30 m).

Les mailles polygonales sont intensément fracturées. La plus courte des fractures relevées à cette échelle a une longueur de 250 m, ce qui est généralement insuffisant pour assurer un débit égal ou supérieur à 1 m³/h avec un taux de réussite acceptable. Il est recommandé de choisir des fractures kilométriques (≥ 4 cm de long).

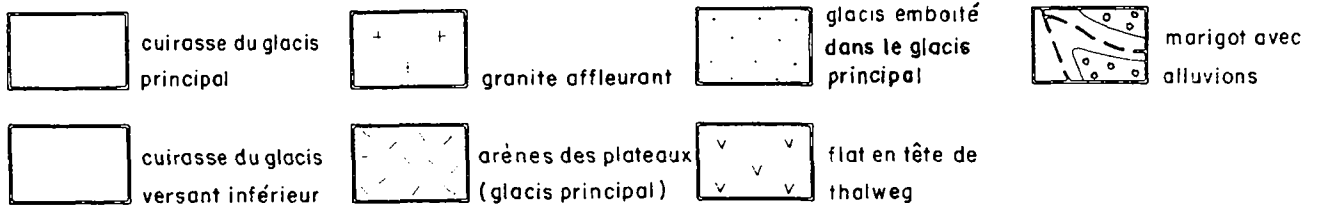
Avec cet exemple, situé immédiatement au Nord de la photo N° 104, on démontre qu'après un examen approfondi, il est possible de relever un nombre de fractures bien plus élevé que ce que l'on a coutume d'observer. Les fractures que l'on décèle en premier examen, sont généralement les longitudinales (direction Birrimienne NE-SO) qui sont fréquemment fermées en particulier dans les granites. Par la suite, apparaissent de nombreuses fractures transverses ou diagonales qui peuvent être nettement plus conductrices que les longitudinales. Ce type de relevé détaillé permet éventuellement d'implanter un ouvrage plus près du site à alimenter en eau.

Les fractures secondaires sont observées en vision stéréoscopique ou avec une loupe de bureau.



AOF 1950 024 n°097 1/55000^e

Cliché IGN France



Exemple 19

HAUTE VOLTA : Recherches hydrogéologiques dans les régions de Koupela et de Pilimpikou

PHOTOS SATELLITES : 209-51 du 29 Mai 1975 - Canal 5 - Echelle 1/200.000
210-51 du 25 Novembre 1975 - Canal 7 Echelle 1/200.00

Koupela : x = 12° 00' N y = 0° 15' W
Pilimpikou : x = 12° 42' N y = 2° 15' W

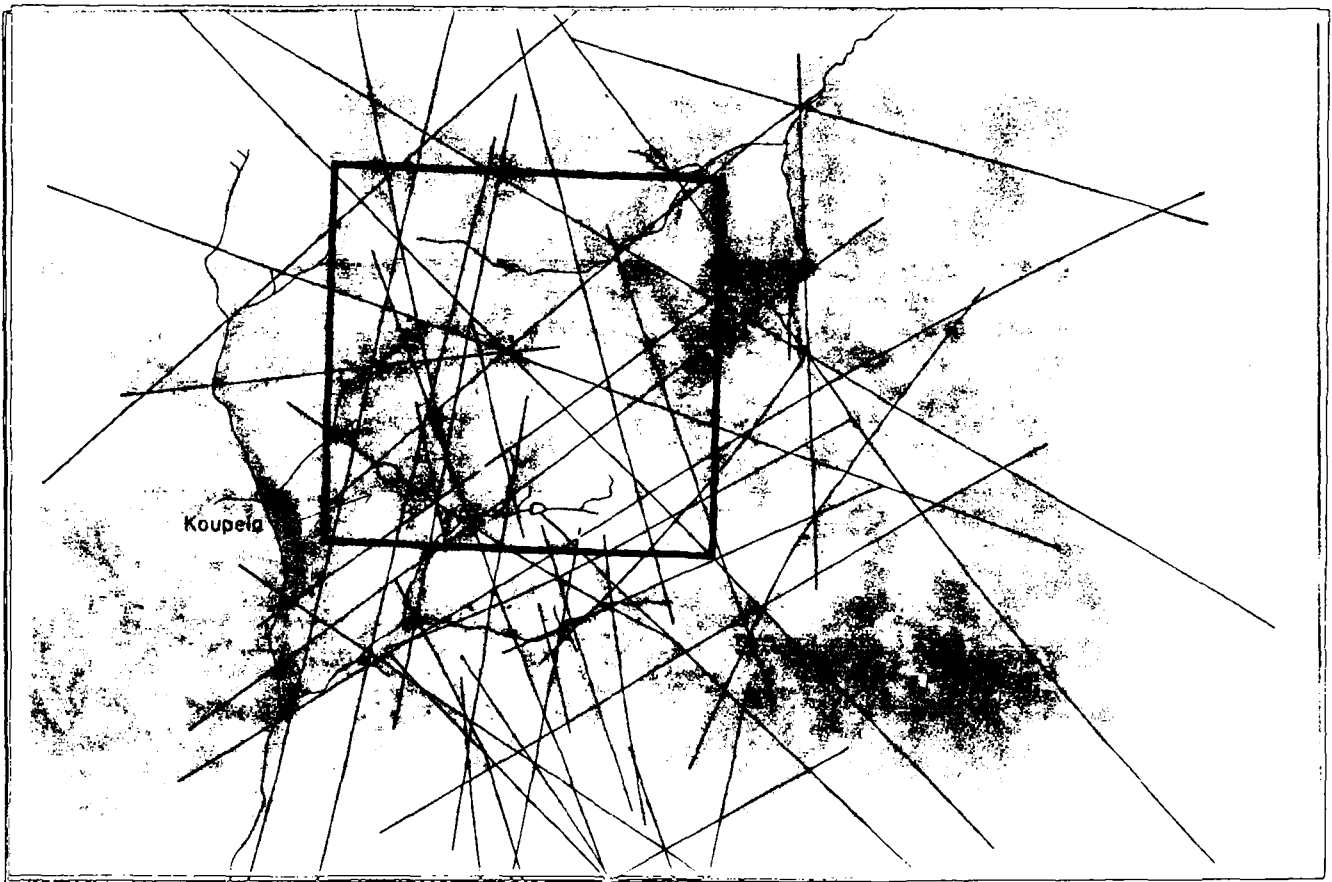
La méthode de recherche hydrogéologique utilisée par les chercheurs du Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou, consiste à comparer les interprétations de la fracturation sur photo aérienne et des linéaments sur les images satellites.

A l'échelle du 1/200.000 le plus petit linéament représente un accident morpho-structural de 4 km. Le relevé ne concerne que des fractures multikilométriques ou des accidents majeurs ; cette technique s'avère très utile dans les régions sèches, à morphologie accusée, ou si on recherche des débits élevés. Il faut que la profondeur des ouvrages de captage soit adaptée à ce type de fractures.

L'interprétation des images satellites ne peut être utilisée seule en raison du manque de précision lorsqu'il faut implanter le forage sur le terrain. Par ailleurs, un simple trait peut simuler des accidents complexes, qui peuvent être analysés sur les photos classiques du 1/20.000° ou 1/50.000°.

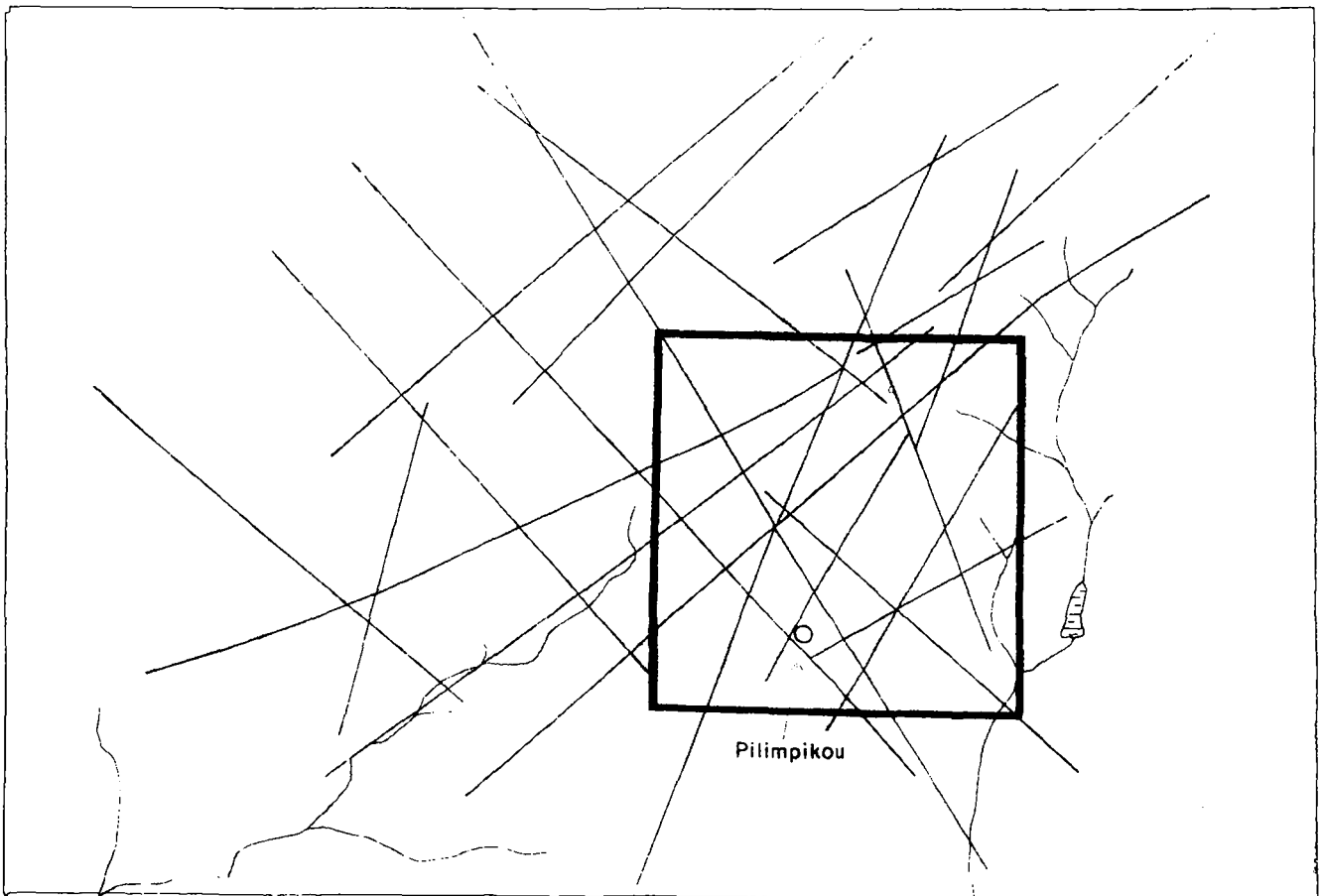
Suivant la date et le canal choisis, la vision des linéaments est plus ou moins nette.

Dans les zones humides, la brume permanente ne permet pas une étude satisfaisante car les images sont floues.



209 51 du 29 Mai 75 (canal 5) 1/200 000^e

Cliché IGHV



210 51 du 25 Novembre 75 (canal 7) 1/200 000^e

Cliché IGHV

Exemple 20

HAUTE VOLTA : Alimentation en eau des villages de la mission de Koupela

PHOTO : I.G.H.V. 79003 - HV ligne 4 N° 8018 Echelle 1/50.000

COORDONNEES : x = 12° 10' N y = 0° 21 W

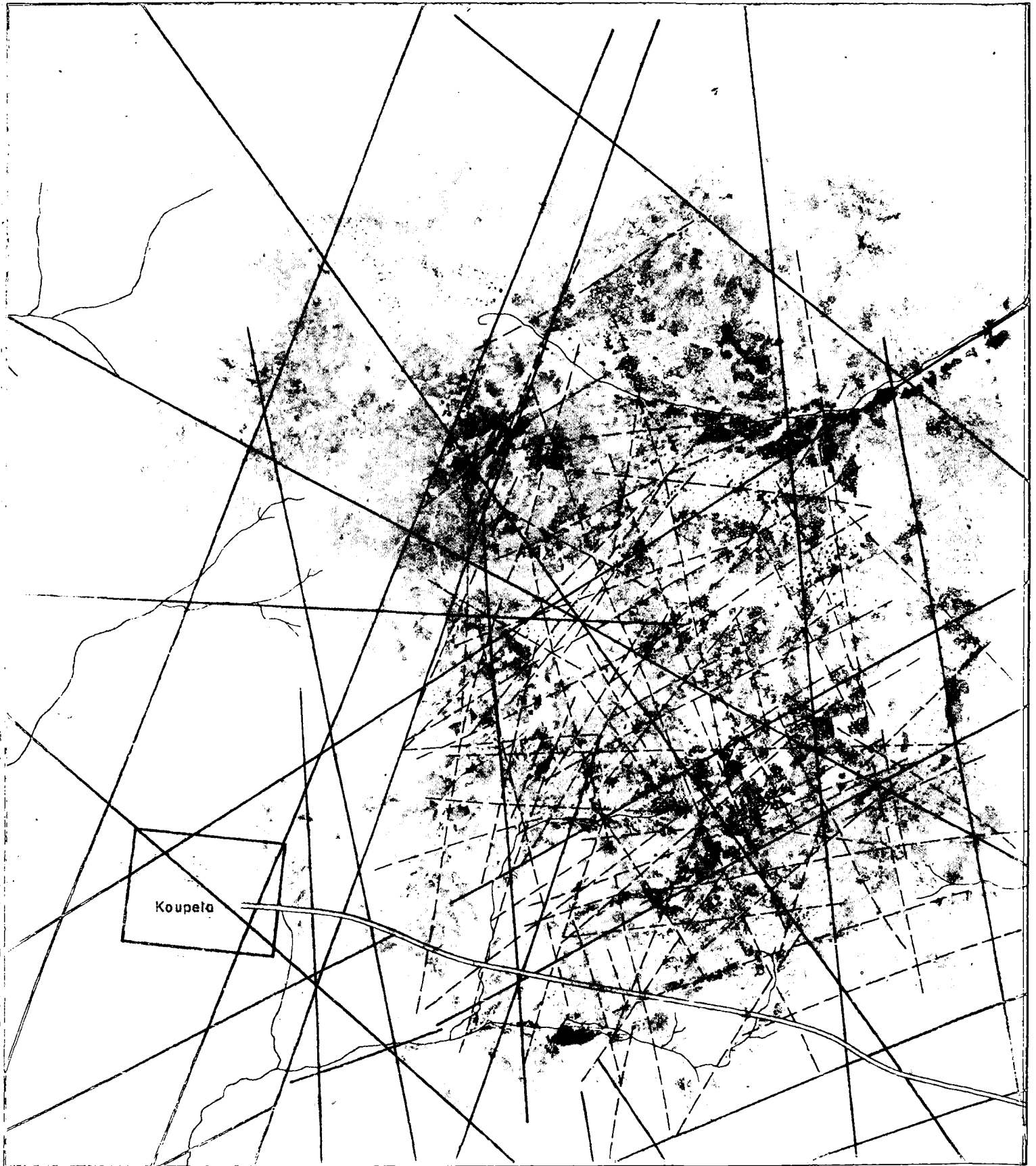
Le village de Koupela se situe à 140 km à l'Est de Ouagadougou sur les formations granitiques du plateau Mossi.

Le socle cristallin est constitué de granites et de migmatites indifférenciés. L'épaisseur de la couche altérée est faible. Le cuirassement est absent. La roche affleure fréquemment.

Le modelé est faiblement ondulé et la zone d'étude se situe sur un interfluve d'où partent de nombreux petits marigots. L'étude avait pour but de choisir entre la création de barrages collinaires ou de forages pour l'alimentation des petits villages proches de la mission de Koupela.

La méthode utilisée consiste à comparer la fracturation sur photo aérienne et les linéaments sur images satellites.

La faible taille des bassins versants et l'abondance des fractures visibles font opter pour la recherche d'eau souterraine dans cette zone. Le résultat de l'étude montre que le socle est très fortement fracturé et permet de proposer quelques sites à priori favorables pour l'implantation de forages (points de rencontre de plusieurs linéaments et des fractures).



Exemple 21

HAUTE VOLTA : Reconnaissance Hydrogéologique de base du village de Pilimpikou

PHOTO : Vol I.G.N. AOF 1952 - 010 - ND 30 IV N° 356 Echelle 1/50.000

COORDONNEES : x = 12° 42' N y = 2° 15' w

Le village de Pilimpikou se situe à 110 km à l'Ouest de Ouagadougou sur des formations birrimiennes constituées de schistes et de roches vertes volcano-sédimentaires.

Le birrimien forme des alignements de collines qui s'élèvent de 100 à 200 m au dessus de la plaine. Les roches affleurent sur les flancs des collines érodées.

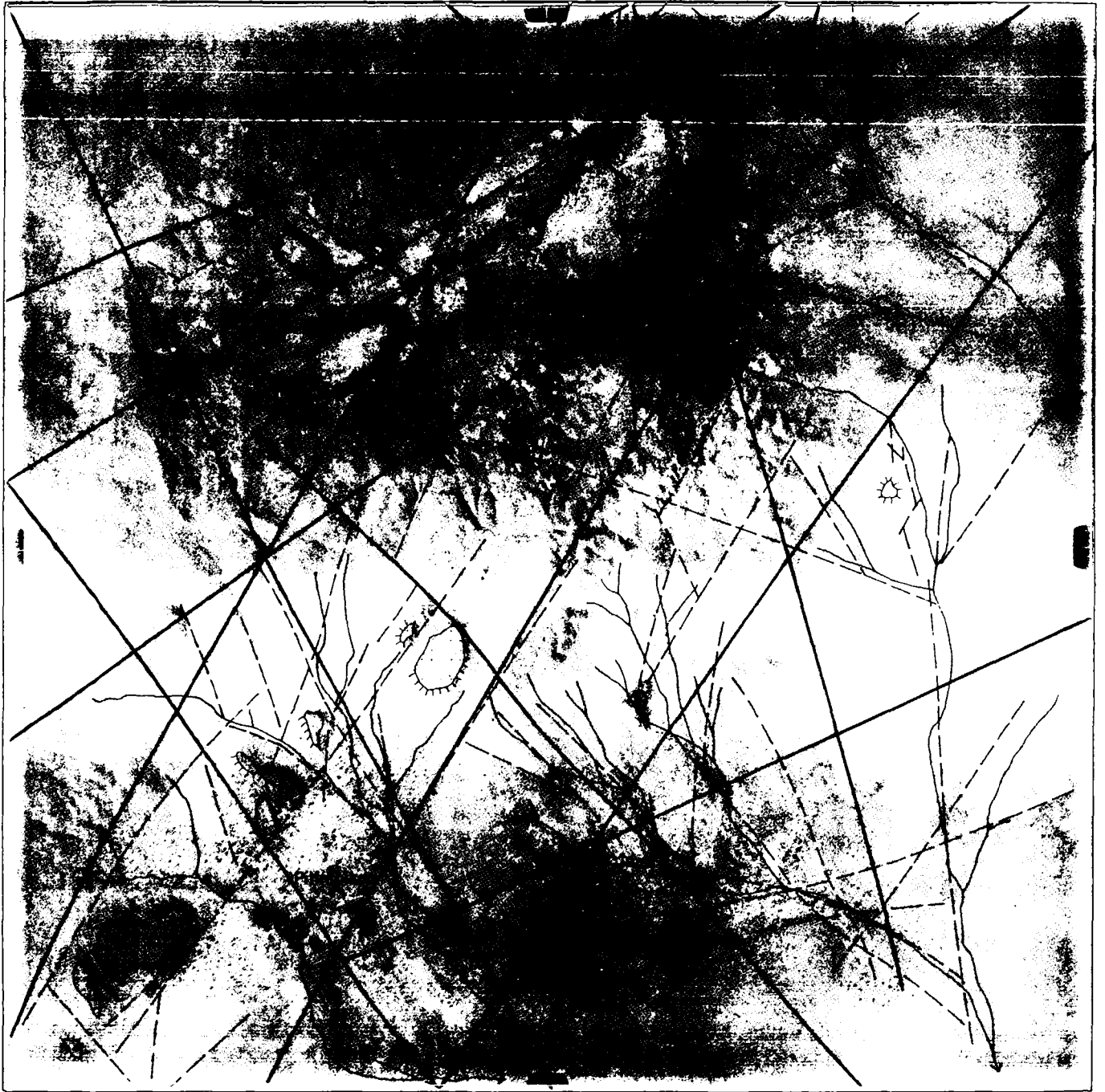
Des entablements cuirassés fossilisent de fortes épaisseurs d'altération.

Le réseau hydrographique est divisé et structuré, ce qui traduit un support peu perméable en surface.

L'interprétation de la photographie aérienne est complétée par le report à l'échelle, du lever des linéaments sur image satellite (traits épais).

Une campagne de prospection géophysique a été menée sur les sites définis par les interprétations. Les zones les plus favorables se situent aux noeuds des fractures et des linéaments les plus éloignés de la zone de collines.

Le résultat de l'étude, complétée par la géophysique a permis de retenir trois sites sur lesquels seront implantés prochainement trois forages.

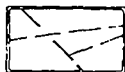


AOF 1952 O10 ND 30 IV n° 356 1/50 000 e

Cliché IGN France



Linéaments = images satellites



Fractures = photo aérienne

Exemple 22

HAUTE VOLTA : Aménagement des Vallées des Volta

PHOTO : 72 HVO 003/200 N° 1383 Echelle 1/20.000

COORDONNEES KILOMETRIQUES : x = 756 y = 1334

BLOC : Ouayalqui

Forage	Profondeur	Géologie	Altération m	Niveau statique m	Débit m ³ /h	Venues d'eau m
F 01	49	Sch. granite	22	28	1	35,50
S 02	53,70	Sch. quartz	43	-	0	41
F 02	48,80	Schistes	28	29	2	31
F 03	55	Sch. quartz	13	33	2	45

Les forages sont implantés sur fractures après une campagne de géophysique par profils de résistivités et sondages électriques. Un seul ouvrage est négatif, le S 02 qui est situé sur une anomalie électrique mais pas sur une fracture bien marquée.

Les forages les plus productifs sont situés sur une fracture allongée latéralement à un marigot (F 02 - F 03) et suivant la direction SO - NE. La productivité des ouvrages est liée à la présence de filons de quartz.

Le niveau statique est profond ; il se localise dans la roche non altérée.

Si on utilise la géophysique dans les zones schisteuses, il faut rechercher les anomalies résistantes bien marquées mais étroites, qui indiquent les filons. Le couloir de fractures méridiennes qui passe au centre de la photo traduit certainement un filon qui aurait pu faire l'objet d'une attention particulière.

Malgré une étude préalable de la fracturation, les noeuds de fractures n'ont pas été utilisés.



Exemple 23

HAUTE VOLTA : Aménagement des Vallées des Volta

PHOTO : 72 H.V.O. 003/200 N° 1372 Echelle 1/20.000

COORDONNEES KILOMETRIQUES : x = 736 y = 1335

BLOC : Mankarga

PLUIE : 850 à 900 mm

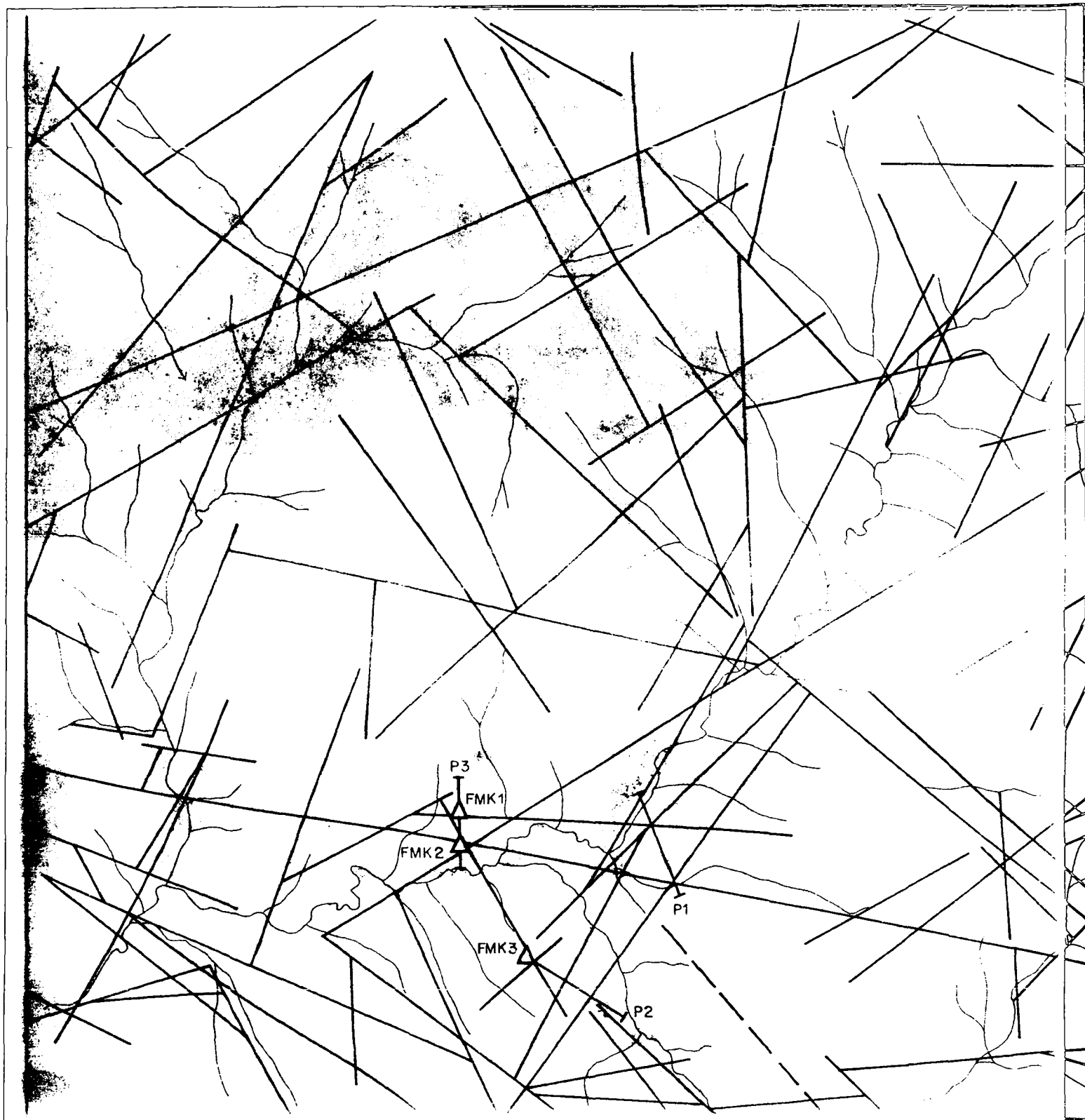
Forage	Profondeur m	Géologie	Altération m	Niveau statique	Débit m ³ /h	Venues d'eau m
F MK 1	39,90	Schiste	28	26,90	1	33,60
F MK 2	49,80	Schiste	41,50	29	2	36
F MK 3	45,40	Sch. quartz	27,50	29,60	2,5	36

Paysage de savane arbustive dégradée par la pratique des feux de brousse. Les arbres se concentrent dans les bas-fonds. Morphologie très plane troublée par de rares buttes cuirassées réduites à quelques témoins sur les interfluves. L'érosion décape les versants des marigots principaux (en blanc sur la photo).

Les marigots suivent la direction birrimienne NE - SO. Ils tarissent dès la fin de la saison des pluies. Il n'existe pas de sous-écoulement sous le lit des marigots et le niveau statique se trouve à plus de 20 m ; il atteint une trentaine de mètres dès que l'on s'éloigne des bas-fonds. Les puits sont inexistantes et les puisards impossibles.

Les seules ressources sont à rechercher avec des forages implantés sur des fractures dont la présence est confirmée par des profils de résistivités.

Les schistes sont productifs et en particulier les filons de quartz.



72 HVO 003/200 n°1372 1/20000^e

Cliché IGN France

Exemple 24

HAUTE VOLTA : Hydraulique villageoise dans l'ORD du Sahel 1980

PHOTO : 74 H.V.O. N° 837 10/500 Echelle 1/50.000

CARTE 1/200.000 : KAYA

VILLAGES : Gassembôle et Norakingal

SOUS-PREFECTURE : Djibo

COORDONNEES : x = 699 y = 1526 z = 315 m (Norakingal)

PLUVIOMETRIE : 500 à 600 mm

Villages	VILLAGE	
	Gassembôle	Norakingal
Profondeur du forage m	49	50
Niveau statique m	28	6,7
Débit m ³ /h et rabattement	0,857 pour 17 m	1,2 pour 27 m
Venues d'eau m	37 à 49	19-36-44
Géologie	Gabbro	Gabbro (?)
Epaisseur altération m	26,5	28

Les fractures sont nettement visibles sur cette photo, ce qui permet de tracer et de sélectionner avec précision les fractures productrices. Les deux forages sont implantés sur une même fracture multikilométrique transverse, la direction longitudinale birrimienne étant représentée par les fractures NE - SO.

On distingue une masse centrale blanchâtre, parcourue par un écoulement concentré, dont la roche est de la famille des granites. A l'Est et au Sud Ouest, les teintes plates grises indiquent des gabbros dont l'altération argileuse favorise un écoulement hiérarchisé plus dense. Les inselbergs sont nombreux dans les interfluves sur gabbro. Les contacts entre ces deux types de roches sont faillés.

Le forage de Gassembôle étant proche de la ligne de crêtes, le niveau statique est nettement plus profond qu'à Norakingal situé au bord du bas-fond.



Exemple 25

HAUTE VOLTA : hydraulique villageoise dans l'O.R.D du Sahel

PHOTO : 74 H.V.O 10/500 S.A.G. 464 N° 535 Echelle 1/50.000

CARTE 1/200.000 : DJIBO

VILLAGE : SÉ

SOUS-PREFECTURE : Djibo

COORDONNEES : x = 661,5 y = 1575 z = 279 m

PLUIE : 500 à 600 mm

PROFONDEUR DU FORAGE : 37 m GEOLOGIE : Granite

VENUES D'EAU : 19 à 35 m NIVEAU STATIQUE : 10 m

EPAISSEUR ALTERATION : 28 m DEBIT/RABATTEMENT : 8,5 m³/h/7,5 m

Le forage est situé sur un grand accident multikilométrique qui limite un couloir de fractures orienté N 70° qui canalise les divagations du marigot dont les sections sont inscrites sur des fractures N 20 et 130°. Ces grandes fractures sont des failles qui mettent en contact des schistes et des granites intrusifs post-tectoniques. Le cordon dunaire qui porte de nombreuses mares, les schistes qui ont une porosité assez bonne, et le large marigot avec des mares et la forte épaisseur d'altération saturée assurent une bonne réserve.

Le débit relativement élevé souligne le bon choix du site car les granites intrusifs sont généralement décevants en particulier sous climat Sahélien.

De nombreux sites de forage sont possibles de part et d'autre du bas-fond sur les noeuds de fractures.

Les nombreuses fractures orientées NE - SO évoquent la direction birrimienne.

Il est préférable de choisir des noeuds ayant au moins une fracture transverse (NO - SE).



Exemple 26

HAUTE VOLTA : Hydraulique villageoise dans l'O.R.D. du Sahel

PHOTO : 74 H.V.O 10/500 N° 197 Echelle 1/50.000

CARTE 1/200.000° : DJIBO

VILLAGE : BOGALENGA

SOUS-PREFECTURE : Djibo

COORDONNEES : x = 672 y = 1614 z = 270 m

PLUVIOMETRIE : 500 à 600 mm

PROFONDEUR DU FORAGE : 70 m

GEOLOGIE : Grès et schistes

VENUES D'EAU : 32-36-55-68 m

NIVEAU STATIQUE : 26,4

EPAISSEUR ALTERATION : -

DEBIT : 0,8 m³/h pour un rabattement de 33,80 m

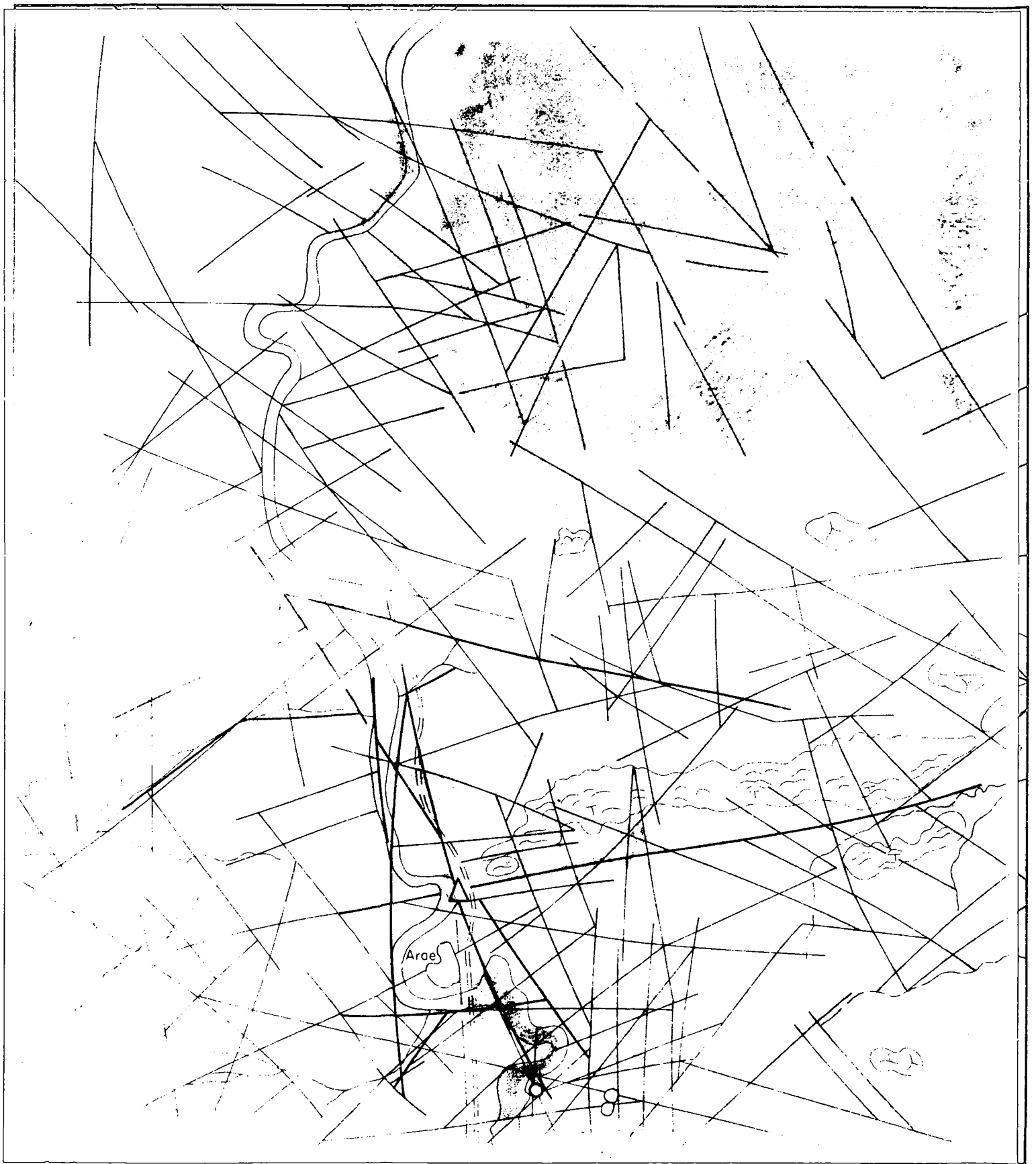
Le forage est implanté à Arae, en bordure du bas fond, entre deux affleurements de grès tectonisés, au croisement de trois fractures multikilométriques (N 80° = 6 km ; N 140° ; N 160°).

Les grès ont été traversés de 16 à 55 m, puis le forage s'est enfoncé dans les schistes. Le débit modeste est encore trop élevé si on considère le niveau rabattu qui atteint 60 m par rapport au sol : il se pose le problème de l'exhaure par pompe manuelle.

Pour des fractures aussi longues, et dans les schistes, la profondeur de l'ouvrage aurait pu être plus grande (80 m) d'autant plus qu'il y a encore des venues d'eau à 68 m.

Paysage typique de la savane tigrée avec effacement des affluents secondaires. Des barres de grès et des inselbergs de grès quartziteux émergent de cette morphologie monotone.

Les fractures sont bien visibles. Les grès sont allongés suivant la direction E - O ce qui suggère un choix de fractures transverses orientées NS. Le niveau de l'eau étant profond, il n'est pas conseillé de s'écarter du bas-fond.



74 HVO 10/500 SAG 464 n°197 1/50 000e

Cliché IGN France

Exemple 27

MALI : Travaux route Didièni - Goumbou

PHOTO : I.G.N. 77 MAL 47/200 N° 55 ECHELLE : 1/20 000°

CARTE 1/200 000 : FM Mourdiah 61 XVIII PLUIE : 600 mm

SITE : N° 4 bis Tikoura $x = 7^{\circ}47'30''$; $y = 14^{\circ}18'30''$; $z = 295$ m

GEOLOGIE : Grès de Mourdiah infracambriens

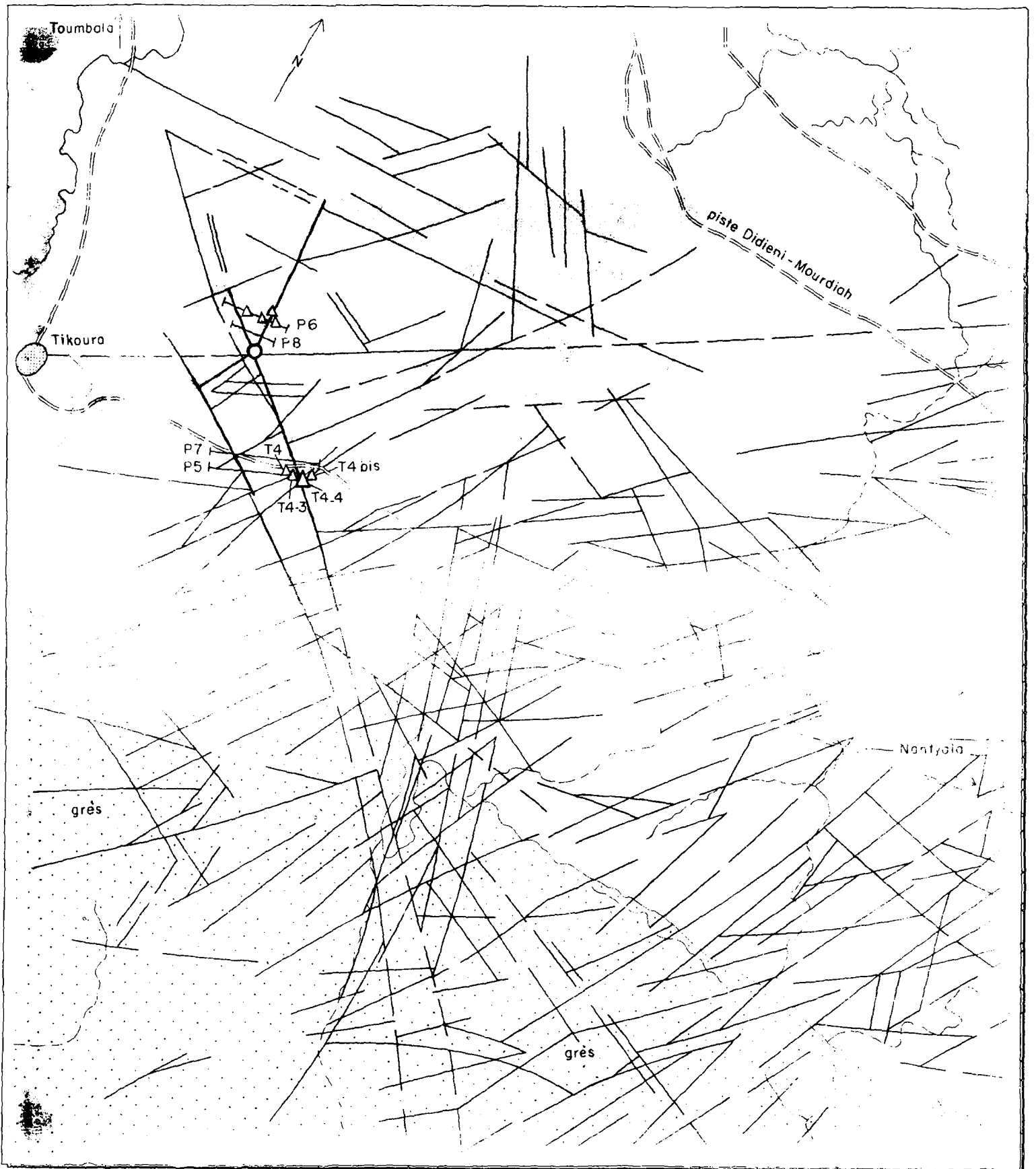
Bon exemple de l'utilisation positive de la géophysique sur une fracture décelée par la photo-interprétation (4 profils de résistivité et une base sismique). Huit forages ont été nécessaires avant de trouver le débit de mandé. Un complément de relevé de fractures exécuté à posteriori, montre que l'on aurait pu alléger l'ensemble des travaux en choisissant un noeud de fractures importantes (T 4.4). Les quatre forages exécutés sur le profil électrique P₆ sont secs, la fracture NS étant très peu altérée et sa longueur trop faible (600 m).

	T 4	T 4 bis	T 4-3	T 4-4
Profondeur (m)	66 m	64	34	47
Débit (m ³ /h)	0,8	0,8	1	5,9
Niveau statique (m)	-	15,47	-	15,67

Les quatre forages implantés sur le profil électrique P₅ sont à 10 m les uns des autres. T 4 et T 4 bis sont situés à côté de la fracture multikilométrique, les forages n'ont rencontré que peu d'altération argileuse. Par contre, T 4-4 est situé non seulement sur la fracture principale mais aussi sur une fracture kilométrique. L'ensemble est altéré de 11 à 31 m et fissuré de 31 à 40 m.

T 4-3 a été arrêté prématurément à 34 m dans de l'argile qui colmatait la fracture qui aurait été productrice plus bas à moins qu'elle ne soit complètement envahie par l'altération.

L'allongement des structures est SO-NE. La fracture choisie est multikilométrique, transverse, et ouverte comme l'indiquent des couloirs altérés de directions voisines. Site proposé au Sud du P₈, sur le noeud de fractures.



Exemple 28

MALI : Alimentation en eau du chantier de la route Didiéni - Gombou

PHOTO : 77 MAL 47/200 N° 26 ECHELLE : 1/20 000°

CARTE 1/200 000 : Mourdiel 61 XVII

SITE N° 3 bis Doubalougou PLUIE : 600 mm

GEOLOGIE : Grès de Mourdiah en placages sur les dolérites massives

MORPHOLOGIE : Plateaux gréseux découpés par l'érosion. Les grès protègent les lambeaux de plateaux. Les dolérites s'altèrent en matériaux argileux qui sont érodés. On les trouve dans les bas-fonds. Les plateaux Nord et Sud forment des reliefs par rapport au bas-fond central colmaté par des sédiments fins argilo-sableux ; des versants à pente douce avec des épandages de colluvions sableuses raccordent le bas-fond aux plateaux.

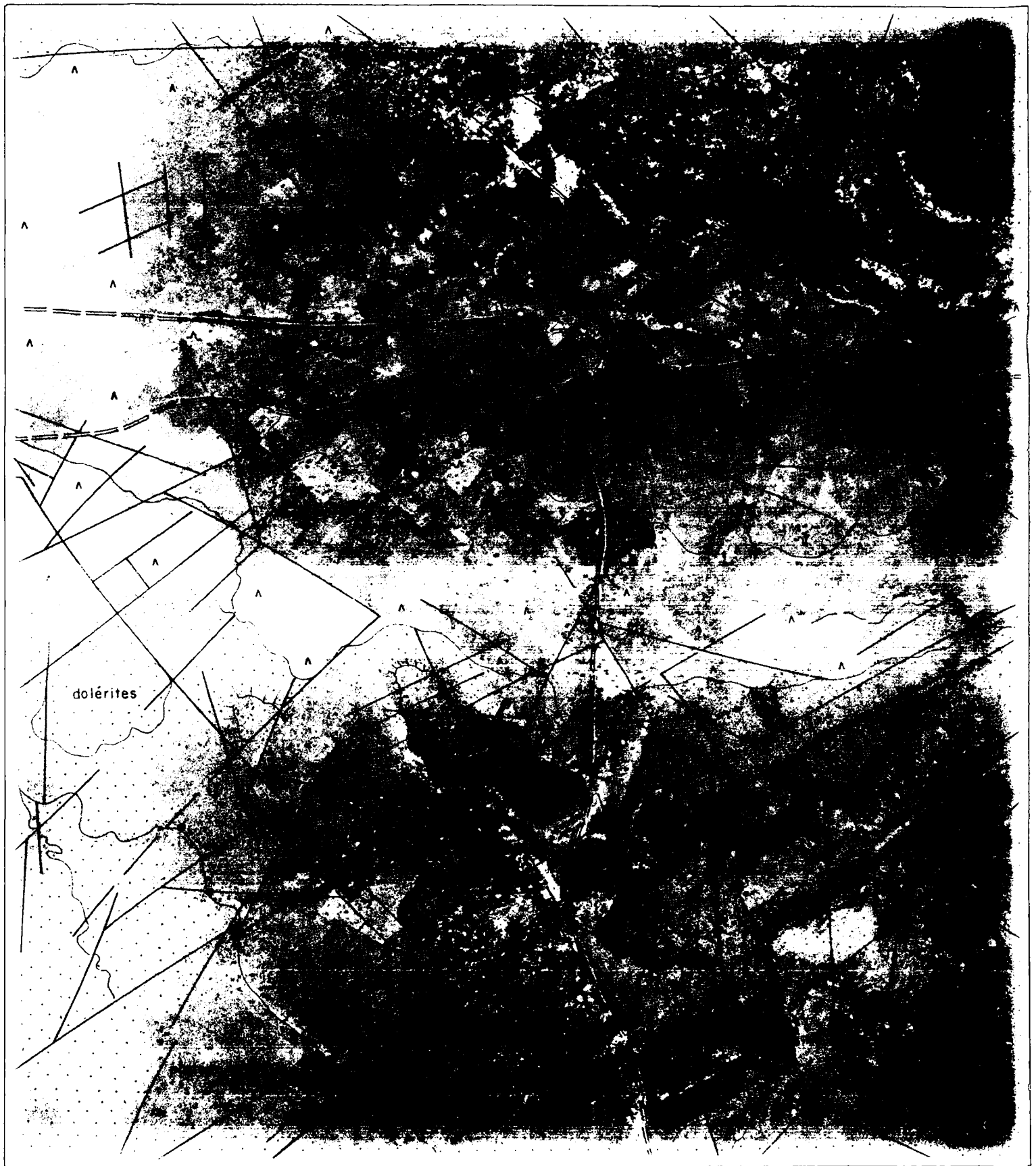
HYDROGEOLOGIE : Il serait vain d'implanter des puits dans le bas-fond argilo-sableux, l'altération des dolérites étant particulièrement argileuse. Tout forage tant soit peu profond, traversera les grès pour capter l'eau dans les dolérites sous-jacentes.

Les dolérites massives sont généralement peu productrices.

L'auteur, après avoir décelé un alignement morfo-structural près de la route, a vérifié son existence avec un profil de résistivité et deux bases sismiques. Le site retenu correspond à un noeud de fractures trouvé après un complément d'interprétation.

Les nombreuses fractures SW-NE reprennent l'allongement des structures et il est préférable de placer le forage sur un accident transverse le plus long possible.

Toujours sur la route, on aurait pu choisir un site sur le noeud de fractures à 100 m au Nord du premier ; le niveau de l'eau y est sans doute moins profond.



Exemple 29

MALI : Office Malien du Bétail et de la viande

PHOTO : 75 ND 29 XVI-XVII/500 N° 229 ECHELLE : 1/50 000°

FEUILLE 1/200 000 : Murdiah PLUIE : 550 mm

Recherche d'eau sur des filons de dolérites, dans des schistes et des schistes gréseux. Morphologie monotone sous couverture sableuse épaisse et continue. Dans un paysage aussi muet, seuls les filons de dolérites apparaissent après un premier examen.

Les forages sont implantés par géophysique électrique et sismique sur les filons.

Sept forages au total ont été creusés sur trois sites différents.

Profils P₁₋₂ - Forage DT 4 : trop écarté du filon de 2,50 m - Stérile

Forage DT 4b : 10 m de sables, schistes fissurés de 10 à 45 m puis grès schisteux ; débit : 20 m³/h pour un rabattement de 1,80 m. N.S = 13,50 m

Profils P₃₋₄ - Forage DT 3 : trop loin du filon - 0,8 m³/h

DT 3a : dans le filon - 0,4 m³/h

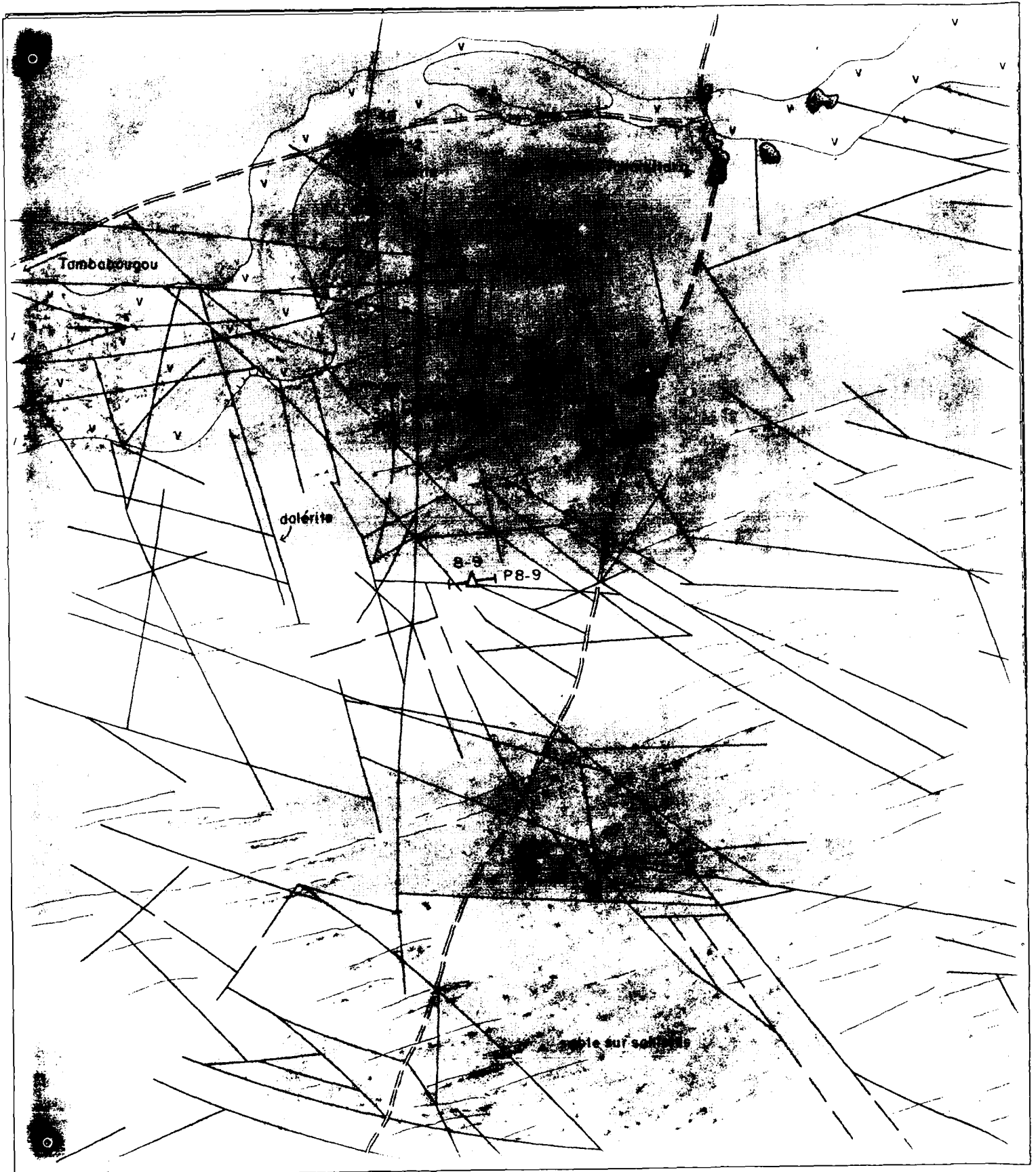
DT 3b : en limite du filon - 3,4 m³/h

Profils P₈₋₉ - Forage P₈ : 6,5 m³/h

P₉ : 9 m³/h

Ces deux forages ne sont pas sur le filon mais sur une anomalie géophysique, au contact d'un résistant et d'un conducteur (schistes/dolérites ?)

- Commentaires :
- 1) Placer les forages immédiatement à l'extérieur des dolérites après avoir vérifié le pendage du filon.
 - 2) La géophysique peut être utile pour localiser la limite du filon et éventuellement son pendage (faire des mesures serrées).
 - 3) Une couverture sableuse de 10 à 20 m d'épaisseur n'empêche pas la perception des fractures.



Exemple 30

MALI : Hydraulique villageoise - MALI SUD - BOUGOUMI

PHOTO : NC 29 XVII N° 349 AOF 56-57 ECHELLE : 1/50 000°

VILLAGE : Daouabéré

GEOLOGIE : Schistes

PLUIE : 1 300 mm

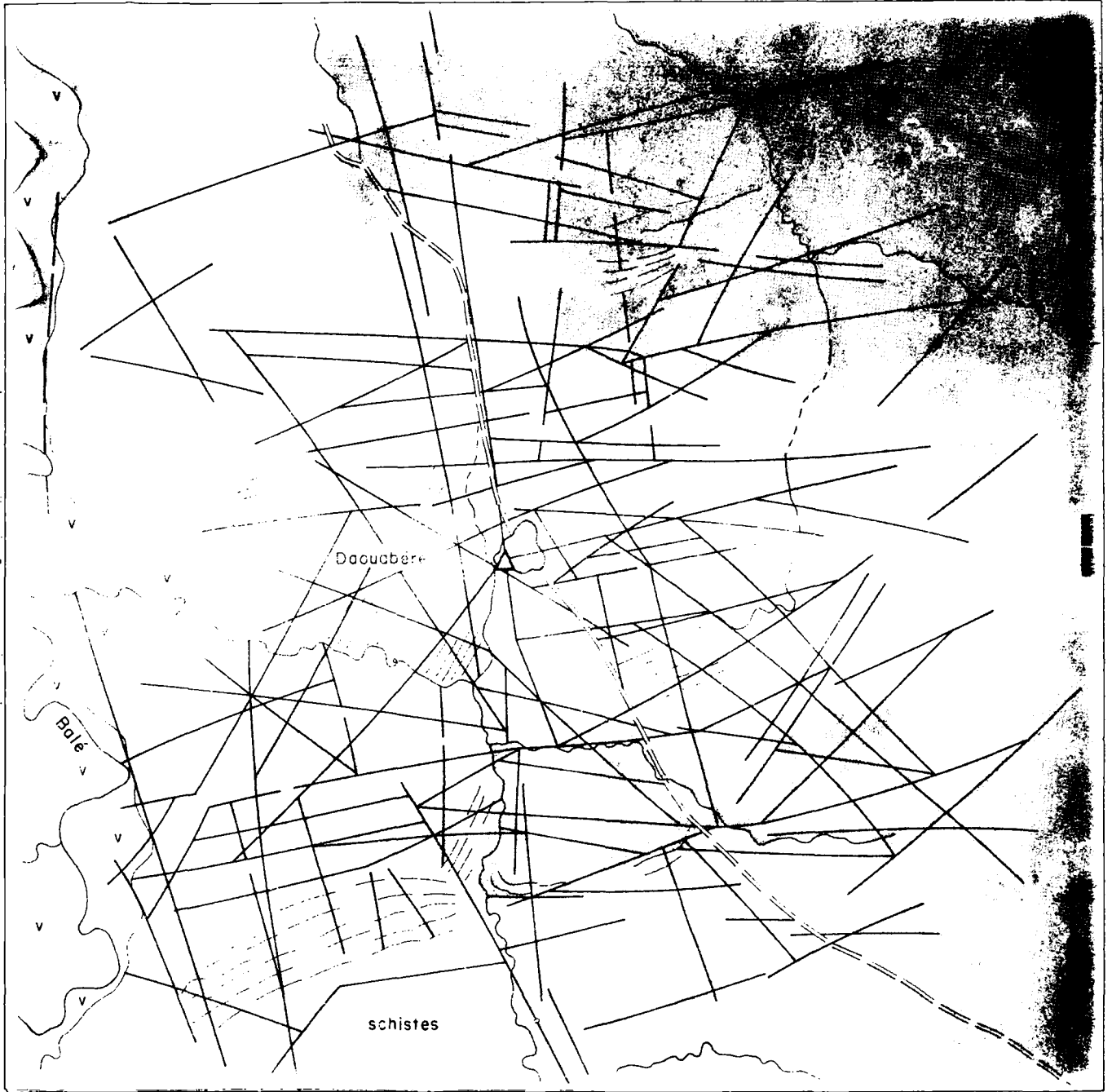
MORPHOLOGIE : Le niveau de base régional, le Balé est proche, l'érosion a découpé les versants et les schistes affleurent largement, c'est une zone où l'altération fait défaut sauf au niveau des fractures. Le réseau hydrographique anguleux, est structuré par les fractures. La faible densité du réseau confirme l'absence d'altération argileuse.

HYDROGEOLOGIE : La région n'est pas favorable à la création de puits sauf exceptionnellement dans les poches altérées au droit des grandes fractures. Les affleurements schisteux montrent des directions de foliation variables mais l'orientation générale est SO-NE.

Le forage de Daouabéré est implanté, sans géophysique, en bordure d'un couloir de fractures méridiennes multikilométriques ; le couloir est altéré, ce qui est bien visible sur la photo, et qui est confirmé par le forage (41 m d'argile). Au point d'implantation, se recoupent trois autres grandes fractures (N 75°, 120°, 220°). A part les directions N 75° et 220° plus ou moins longitudinales, les autres sont transverses ou obliques.

Le débit est supérieur à 20 m³/h. Les schistes sont productifs de 54 à 58 m.

Précisons que le forage n'est pas dans le couloir mais sur la limite, car dans les schistes, l'altération peut descendre très bas.



Exemple 31

MALI : Hydraulique villageoise - MALI-SUD

PHOTO : AOF 56-57 NC 29 XVII N° 065

ECHELLE : 1/50 000°

VILLAGES : Niémé et Kanjirila

Forage	Profondeur (m)	Roche à (m)	Niveau statique (m)	Débit m ³ /h
Niémé 1	66	14	-	0,5
Niémé 2	45	14	+0,5	6
Kanjirila 2	45	25	-	2,2
Kanjirila 1	-	-	-	0

GEOLOGIE : Granite

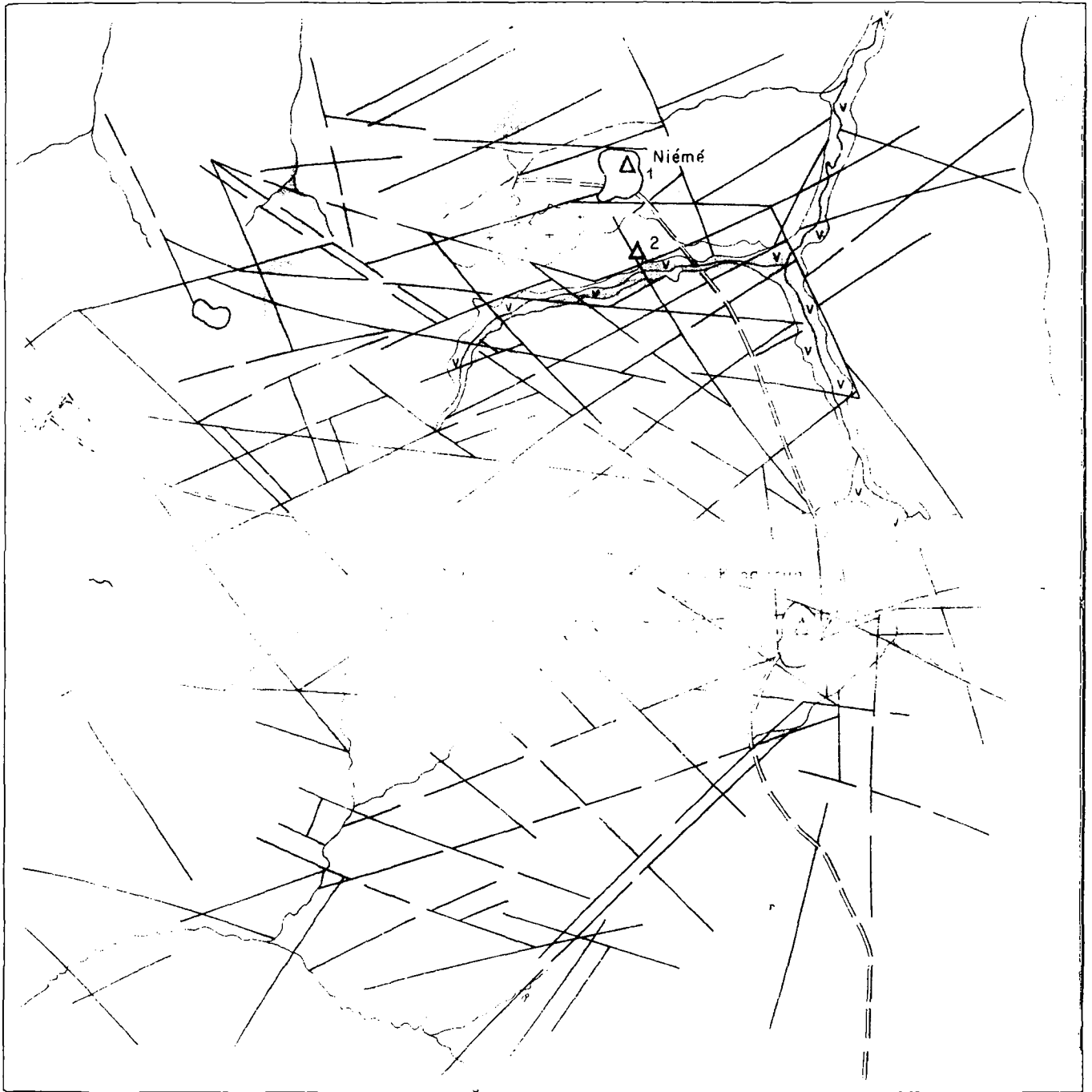
MORPHOLOGIE : Zone proche d'un interfluve important. Le réseau hydrographique dessine des polygones caractéristiques sur socle granitique à l'amont des bassins versants.

L'altération n'y est généralement pas épaisse sauf au niveau des grandes fractures.

Travaux effectués : Trois forages sur quatre ont été positionnés après étude par géophysique électrique sur "fracture géophysique" ; les résultats sont décevants ou moyens.

Le site du forage Niémé 2 a été choisi "par expérience" en bordure du marigot ; le site a été confirmé par un profil de résistivité : le forage est artésien avec un débit élevé. "L'expérience" du terrain n'est qu'une forme de la géomorphologie. C'est la même observation qui est utilisée pour retrouver une "photo-fracture" sur le terrain.

Commentaires : Deux heures de photo-interprétation aboutissant au relevé des fractures tel qu'il est représenté ci-contre, auraient permis de voir que Niémé 1 n'est pas sur une fracture importante (peut être sur une fracture secondaire non visible à l'échelle de la photo) que Niémé 2 est sur un noeud de fractures, que Kanjirila 2 bien placé dans un couloir aurait pu être déplacé sur des noeuds de fractures voisins.



AOF 1956-57 NC 29 XVII n°065 1/50000e

Cliché IGN France

Exemple 32

MALI : Hydraulique villageoise MALI SUD - BOUGOUMI

PHOTO : NC 29 XXIII N° 344 ECHELLE : 1/50 000° PLUIE : 1 300 mm

VILLAGE : Faragouaran FEUILLE 1/200 000 : Bougoumi NC 29 XXIII

x = 7°47'00" (Ouest) ; y = 11°18'30" (Nord) ; z = 362 m

GEOLOGIE : Granite. Affleure en interfluve.

MORPHOLOGIE : Réseau hydrographique typique sur roche granitique : peu dense, confluences et coudes voisins de 120° ou 60° sans toutefois des figures polygonales mais des panneaux allongés.

TRAVAUX : Station expérimentale avec quadrillage géophysique par de nombreux profils et 7 sondages électriques et 7 forages.

L'étude conclut que la fracturation utilisée seule est imprécise.

Forage	Profondeur (m)	Venues d'eau (m)	N.S (m)	Débit m ³ /h	Roche dure à (m)
F 1	45	28-36-45	4,9	4,3	41
2	-	-	-	-	8
3	46	26 à 46	2,6	10,8	45
4	-	-	-	-	9
5	45	36-42	-	0,5	> 45
6	36	32-34	3,2	6	32
7	58	17 à 27 35-43	-	3,5	43

Commentaires : L'imprécision existe quand il faut repérer sur le terrain la fracture choisie sur photo. La géophysique est alors d'un grand secours en confirmant l'existence de la fracture et surtout en précisant sa position. La géophysique utilisée seule devient vite lourde et coûteuse et l'interprétation reste confuse si on ne superpose pas le réseau de fractures.

En fait, dans cette étude expérimentale, la photo-interprétation n'a pas été exploitée. Le pourcentage de réussites avec la géophysique seule est semblable à celui que l'on aurait obtenu avec la fracturation seule. Mais le prix diffère.



AOF 1956-57 NC 29 XXIII n°344 1/50 000^e

Cliché IGN France

Exemple 33

MALI : Recherches hydrogéologiques dans les Cercles de Bafoulabé et de Kéniéba

PHOTO : AOF 52-53 044 N° 087 ECHELLE : 1/50 000° PLUIE : 1 100-1 200 mm

FEUILLE 1/200 000 : Kossanto ND 29 VII

VILLAGE : Djibrouya CERCLE : Kéniéba x = 11°14'20" ; y = 13°13'20"

GEOPHYSIQUE : 6 sondages électriques et 9 profils

GEOLOGIE : Grès de l'Infracambrien inférieur, série de Tambaoura
Schistes Birrimiens avec des filons de quartz.

MORPHOLOGIE : Le plateau gréseux, sans écoulement superficiel visible, surplombe par une falaise, la pénéplaine "précambrienne" établie sur des formations plus tendres (schistes). Le réseau hydrographique dense, dénote des terrains peu perméables.

FORAGE : Profondeur = 70 m ; Niveau de l'eau = 13 m ; Débit = 3 m /h

0-13 m = argile sableuse et latérite

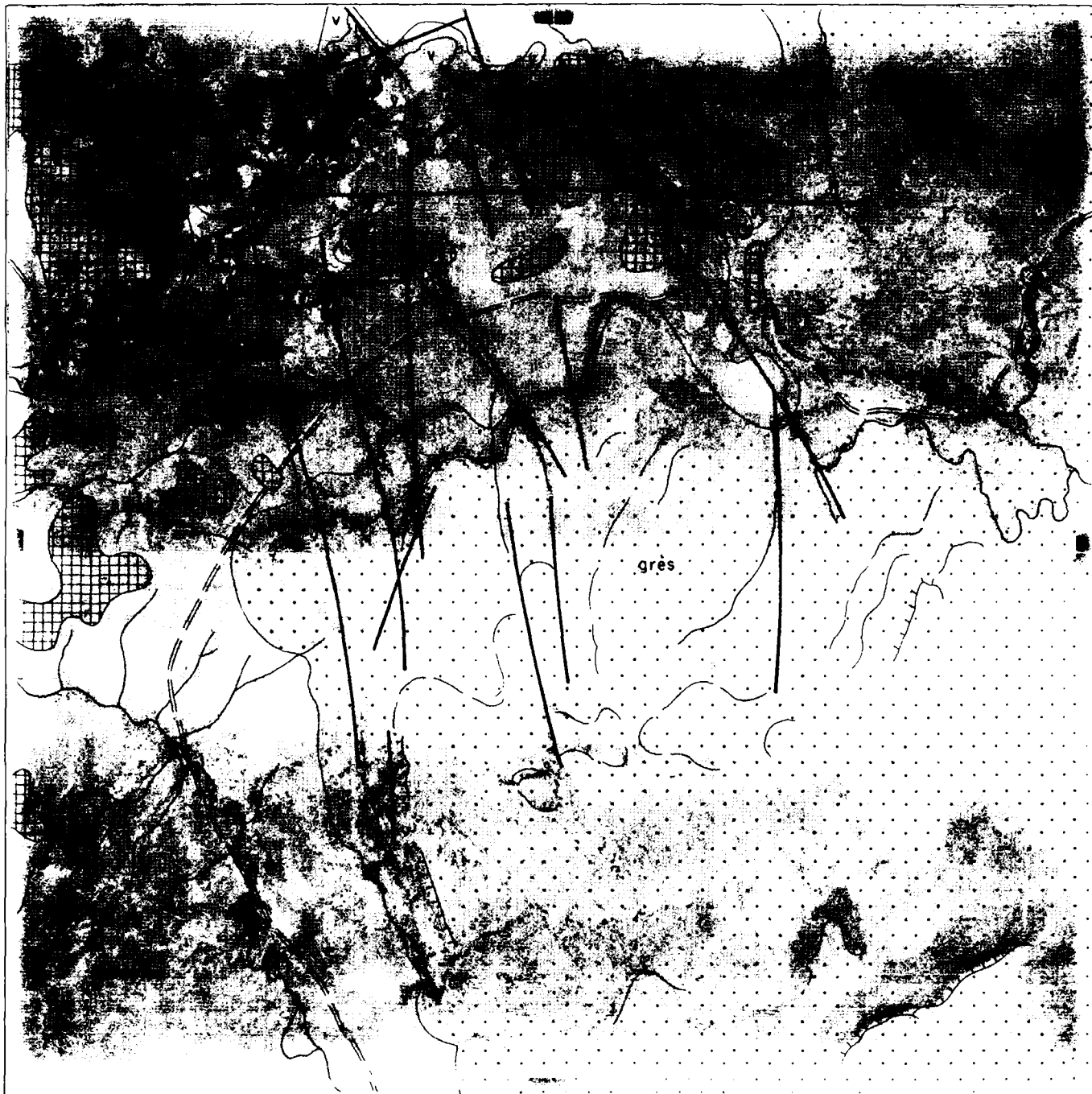
13-39 m = argile verte

39-70 m = schiste + quartz

Eau douce = Résidu sec = 208 mg/l

Venues d'eau : 25-39-51 m

Commentaires : Le choix d'une fracture multikilométrique (5 km) dont la présence est confirmée par la géophysique, peut expliquer à lui seul la réussite de ce forage. La forte épaisseur de l'altération (39 m) ne permet pas de dire si les résultats auraient été meilleurs sur le noeud de fractures proche sans doute envahi par l'argile.



AOF 1952-53 MO 44 n°087 1/50000e

Cliché IGN France

Exemple 34

MALI : Recherches hydrogéologiques dans les Cercles de Bafoulabé et de Kéniéba

PHOTO : AOF 52-53 048 N° 153 ECHELLE : 1/50 000° PLUIE : 1 100 à 1 200 mm

VILLAGES : Kersignane - Souroubiré - Oussoumbidiana

CERCLE de Bafoulabé

FEUILLE 1/200 000 : Sandaré ND 29 XIV

GÉOPHYSIQUE : 18 sondages électriques

GÉOLOGIE : Dolérite massive

MORPHOLOGIE : Les dolérites affleurent largement sur tous les interfluves avec des chaos de boules. Les thalwegs et les bas-fonds sont colmatés par de l'argile provenant de l'altération des dolérites. Le réseau hydrographique est dense ; il traduit d'une part le peu de perméabilité des roches affleurantes et des argiles et d'autre part, la pluviométrie non négligeable.

Villages	N° des forages	Débit m ³ /h	Niveau statique	Roche à	Remarques
KERSIGNANE x = 10°27'45" y = 14°16'40"	43	0,1	-	7 m	Pas de géophysique
	44	0,1	-	9 m	
	45	0,1	-	14 m	
	46	0	-	13 m	
SOUROUBIRE x = 10°28'35" y = 14°18'50"	47	0,3	10 m	13 m	2 S.E.
	48	0,1	9 m	14 m	
	49	0	-	10 m	
	50	0	-	12 m	
OUSSOUMBIDIANA x = 10°27'45" y = 14°15'00"	51	0,5	10 m	18 m	16 S.E. 0-16 = Sable + argile 16-22 = arène doléritique
	52	0,5	10 m	22 m	

Commentaires : Cet exemple confirme la mauvaise productivité des dolérites massives. Toutefois, un effort particulier devrait être fait dans la recherche des fractures car à part le 45, aucun forage ne semble situé sur une fracture.

Les débits les moins faibles correspondent aux plus fortes épaisseurs de l'altération ce qui pousse à rechercher les fractures les plus importantes.



AOF 1952-53 048 n°153 1/50000e

Cliché IGN France

Exemple 35

NIGER : Etude hydrogéologique préliminaire du Damagaram Munio et du Sud Maradi

PHOTO : AOF 57-58 N.D 32 X N° 036 Echelle : 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Zinder Est N.D 32 X

PLUIE : 400 mm

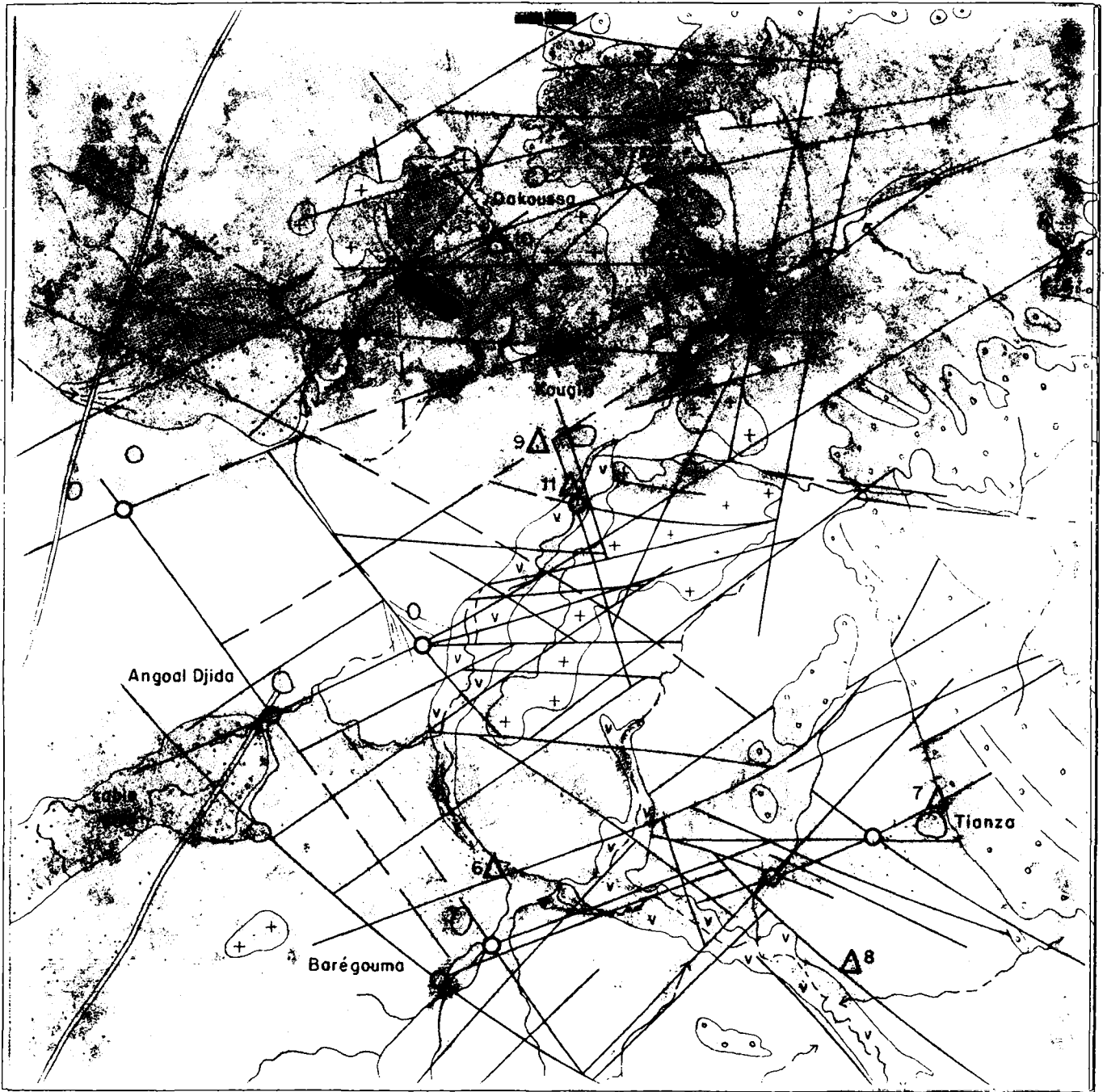
Village	N°	Longitude	Latitude	Altitude	Profondeur	Débit m ³ /h	N.S (m)	Sorte à (m)	Géologie	Géophysique	Fractures
Baréouma	6	9-04-52	13-56-17	435	46	< 0,3	15,2	19	granite ancien	8 SE	Néant
Dakoussa	10	9-04-58	13-59-02	445	58	> 0,3	22	31	granite	1 SE	Néant
Kougiri	9	9-05-10	13-58-10	445	70	0	44	49	quartzite	1 traînée et 3 SE	Néant
Kougiri	11	9-05-15	13-57-58	438	55	0	30	19	granite		
Tyansa	7	9-06-42	13-56-30	460	70	0	32	49	quartzite	1 SE	Néant
Tyansa	8	9-06-27	13-55-53	428	52	> 0,3	17,4	37	granite		

Morphologie : Les reliefs sont structurés par des quartzites. Dans les interfluves, le granite affleure mais avec des reliefs mous. Le réseau hydrographique est discontinu, avec des pertes dans des cuvettes ensablées.

Géologie : Les quartzites donnent la direction d'allongement des structures, soit N 150°. Les fractures perpendiculaires à cette direction sont nombreuses ; en particulier un grand accident N 65° traverse la photo au Nord de Kougiri.

Hydrogéologie : Les résultats des forages sont décevants. En zone aride on se heurte à l'insuffisance de l'alimentation, à la profondeur du niveau de l'eau et à l'absence de réserves hydrauliques. Le village de Tyansa construit sur une hauteur, loin de toute zone d'alimentation, directement sur les quartzites, est difficile à alimenter en eau. Il faut rechercher un site de forage plus à l'aval et sur un noeud de fractures.

Pour chaque village, il est possible de choisir un site à l'intersection de plusieurs grandes fractures. On recherchera des sites à proximité des zones humides qui sont visibles sur le trajet des oueds (Par exemple : Baréouma - Angoal).



Exemple 36

NIGER : Etude Hydrogéologique préliminaire du Damagaram Munio et du Sud Maradi

PHOTO : AOF 57-58 N.D 32 X N° 038 Echelle 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Zinder Est N.D 32 X

PLUIE : 400 mm

Village	N°	Longitude	Latitude	Altitude	Profondeur	Débit m ³ /h	N.S (m)	Géologie	Socle à (m)	Géophysique	Fractures
Bourbourwa	12	9-08-25	13-58-12	480	55	0	46,7	granite	34	4 SE	Néant
Bourbourwa	13	9-07-54	13-57-20	462	70	0	55,5	quartzite	43		
Doungouram	23	9-09-48	13-56-13	455	61	0	31	schiste	49	3 SE	Néant
Ganiskou	14	9-10-42	13-56-08	452	67	< 0,3	25	granite	40	1 SE	Néant

Zone particulièrement difficile avec des résultats décevants. Les débits quasi nuls sont imputables à l'absence de réserve, phénomène lié à la profondeur du niveau statique. Les fractures secondaires, ouvertes sur une quarantaine de mètres sont entièrement envahies par de l'altération. Les fractures principales (multi et kilométriques) sont dénoyées sur une grande hauteur et seule la partie inférieure la moins conductrice, est saturée.

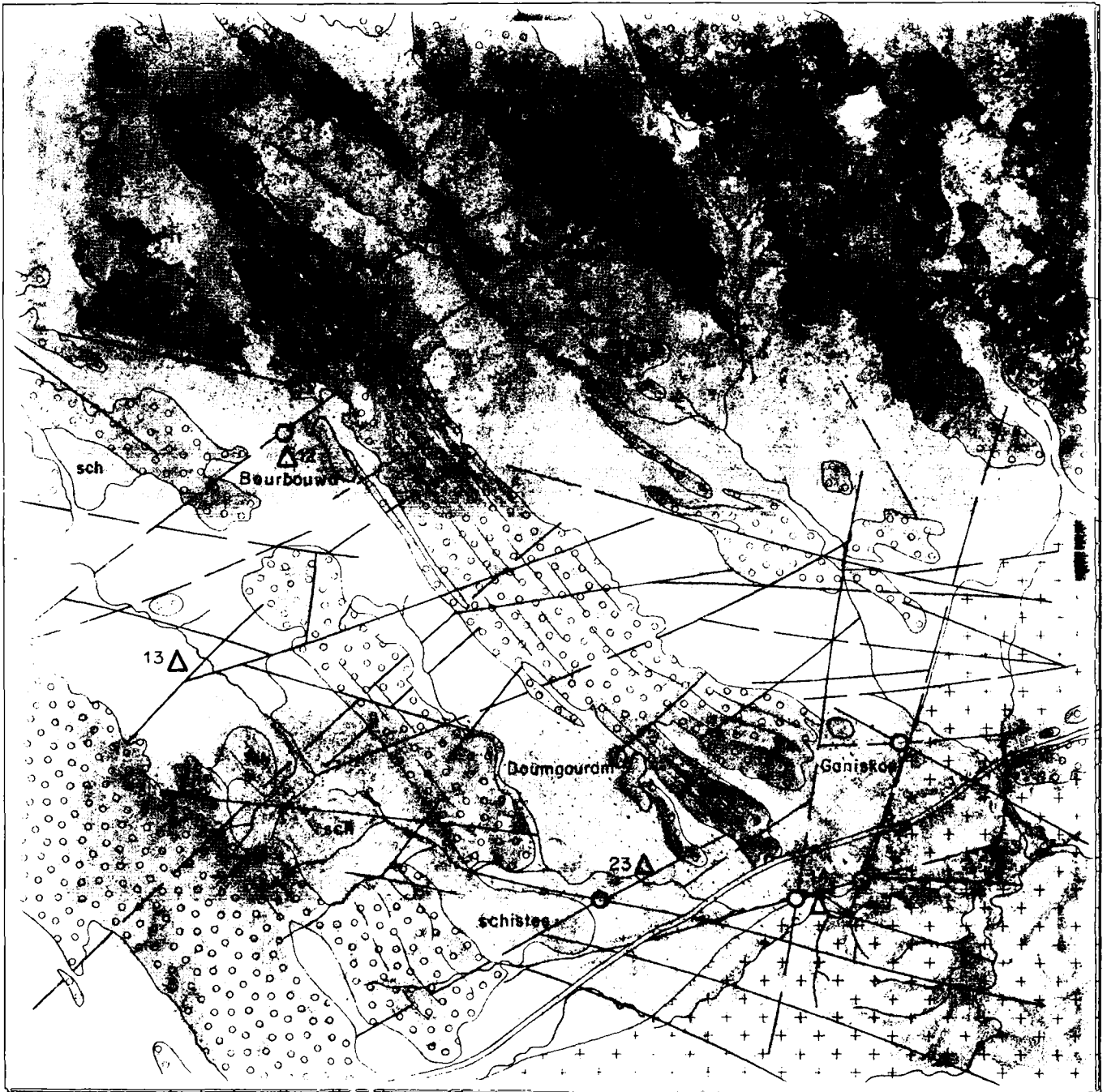
Il faut rechercher des sites dans les bas-fonds afin de réduire la profondeur de l'eau (penser aussi à l'exhaure manuelle), sur les fractures les plus grandes possibles (des noeuds de fractures de préférence), bien orientées (direction "ouvertes"), susceptibles d'être ouvertes à grande profondeur bien au-delà de la tranche décomprimée et altérée.

Dans cet exemple, les fractures sont peu apparentes. Faire confirmer leur présence par la géophysique.

Les forages pourront avoir 80 m et jusqu'à 120 m sur des accidents supérieurs à 10 km.

Si à la profondeur de l'eau, on ajoute le rabattement lié à l'exhaure, il faut envisager des pompes actionnées autrement que par l'énergie humaine.

Le cas de Bourbourwa semble difficile à résoudre car le village est loin des marigots, en position d'interfluve ; tenter un forage profond sur la fracture transverse au N.O du forage 12 (fracture à confirmer par quelques profils de résistivités).



AOF 57-58 ND 32 X n°038 1/50 000e

Cliché IGN France

Exemple 37

NIGER : Etude Hydrogéologique préliminaire du Damagaram Munio

PHOTO : AOF 57-58 N.D 32 XI N° 193 Echelle : 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Gouré N.D 32 XI

PLUIE : 450 mm environ

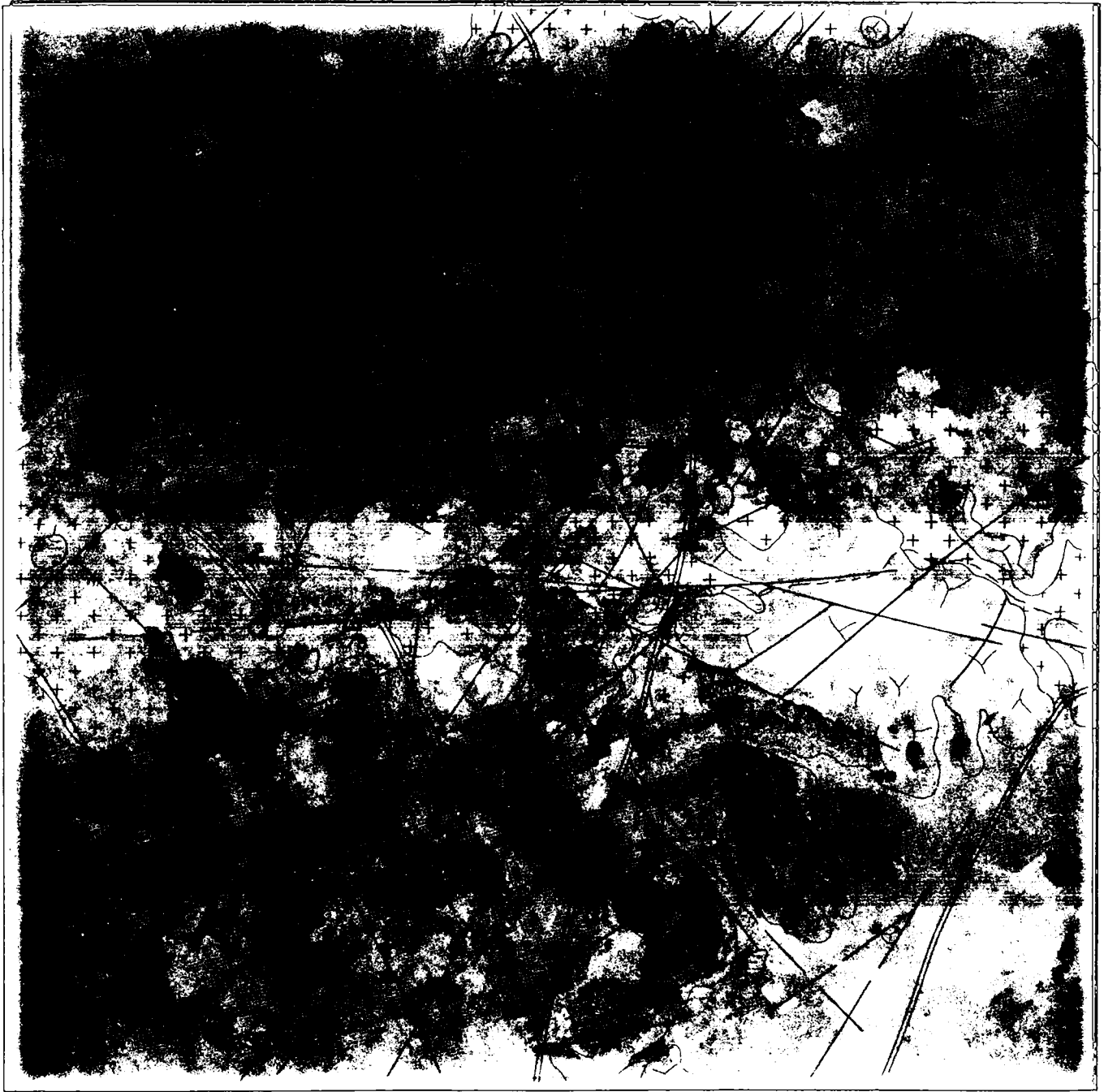
VILLAGES : Bourboutwa - Zabewa

Village	N°	Longitude	Latitude	Altitude	Profondeur forage	Débit m ³ /h	Niveau statique	Épaisseur altération	Géologie
Bourboutwa	79	10-05-20	13-42-00	400	31	> 0,3	3,40	28	granite
Zabewa	78	10-04-20	13-39-30	420	49	0	-	sable 10 m alt 21	granite

Zone aride ; l'écoulement superficiel est désorganisé. Les eaux ruissellées sur la roche affleurante, se concentrent dans de nombreuses mares. Le paysage est marqué par la profusion des inselbergs. Le niveau statique peu profond correspond à un équilibre hydraulique avec la mare. Dans les fractures, l'eau est plus profonde.

Il est possible de relever des fractures multikilométriques même sous couverture sableuse. Un tel exemple montre que les granites jeunes ne sont pas exempts de fractures. Pour compenser le manque de productivité, il faut choisir des fractures longues (> 5 km), ayant une bonne orientation et des noeuds de fractures longues. La profondeur des forages sera adaptée à ce type de fractures (80 à 120 m).

Le forage 79 n'est pas assez profond, après la traversée de 28 m d'altération et une pénétration de 3 m seulement dans le socle, son arrêt est prématuré.



AOF 57-58 ND 32 XI n°193 1/50000e

Cliché IGN France

Exemple 38

NIGER : Etude Hydrogéologique préliminaire du Damagaram Munio et du Sud Maradi

PHOTO : AOF 57-58 N.D 32 X N° 040 Echelle 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Zinder Est N.D 32 X

PLUIE : 400 à 500 mm

VILLAGES : Alberkaram x = 9° 14' 22" E y = 13° 58' 28" N z = 450 m

Tchidasaoura x = 9° 12' 07" y = 13° 59' 17" z = 490 m

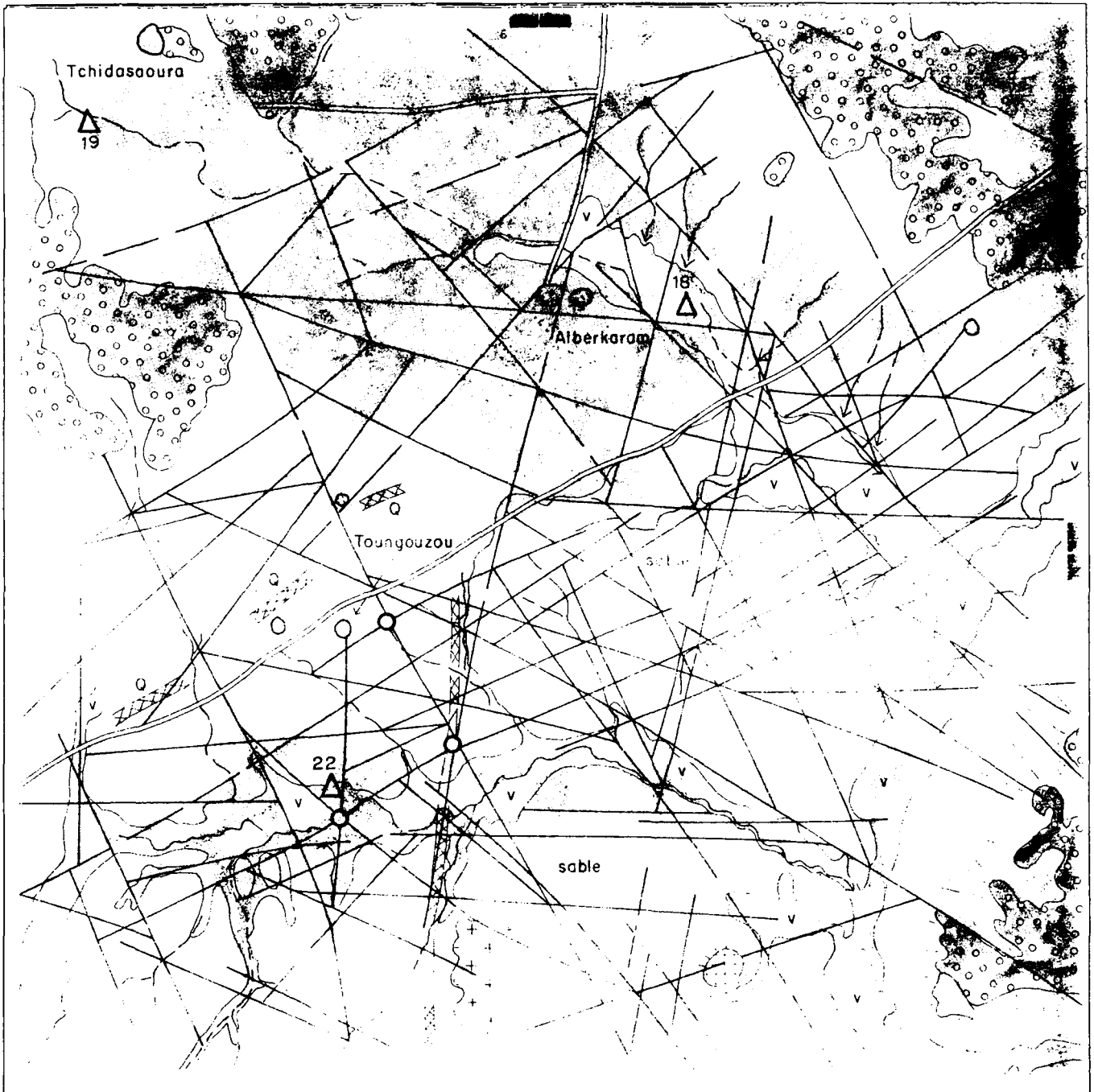
Toungouzou x = 9° 12' 57" y = 13° 56' 23" z = 460 m

Villages	N°	Profondeur	Débit m ³ /h	Niveau statique	Socle à	Géologie	Géophysique
Alberkaram	18	58 m	> 1,5	30,50	34	granite	6 SE
Tchidasaoura	19	58	> 0,3	41,40	40	schiste	2 SE
Toungouzou	22	48	0	-	28	granite	5 SE

Géologie : Zone de contact entre les quartzites (NO) et les granites anciens. La partie SE est masquée par un recouvrement sablonneux. Des alluvions argileuses colmatent les bas-fonds.

Morphologie : Les quartzites forment des reliefs massifs et allongés. Le granite, altéré sur une épaisseur assez forte occupe une zone déprimée. Les affluents secondaires sont nombreux, soulignant un ruissellement actif sur sol argileux.

Hydrogéologie : Les résultats quoique modestes, sont meilleurs dans les granites anciens par rapport aux granites "jeunes". Les forages sont implantés après étude géophysique, sans recherche préalable des fractures. L'épaisseur de l'altération prouve l'existence d'anomalies mais on ne connaît pas l'origine de ces anomalies. S'il est fort probable que ce soient des fractures, on ne peut savoir quelle est leur longueur. Etant donnée la profondeur du niveau de l'eau et l'absence de réserve dans l'altération dénoyée, il est nécessaire d'implanter les forages sur une fracture, ou mieux sur un noeud de fractures multi-kilométriques. Dans des cas aussi difficiles, il est conseillé de rechercher les directions pour lesquelles les fractures sont statistiquement ouvertes (observations des affleurements).



AOF 57-58 ND 32 X n°040 1/50 000^e

Cliché IGN France

Exemple 39

NIGER : Etude Hydrogéologique préliminaire du Damagaram Munio
et du Sud Maradi

PHOTO : AOF 57-58 N.D 32 X N° 100 Echelle : 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Zinder Est N.D 32 X

PLUIE : 400 mm

GEOLOGIE : Substratum gneissique au N - granite au Sud

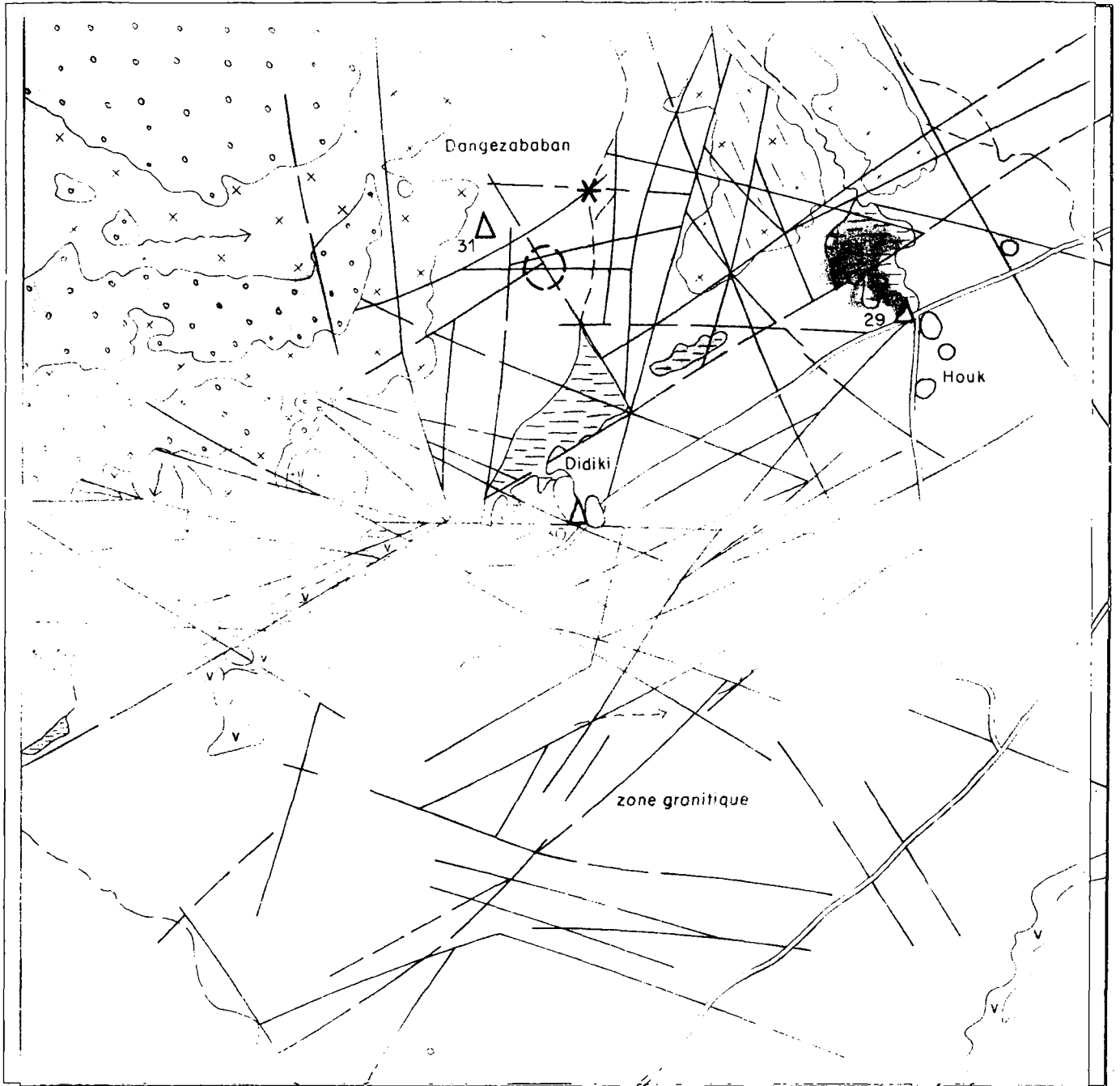
Villages	N°	x	y	z	Profondeur m	Débit m ³ /h	Niveau statique m	Socle J m	Géologie	Géophysique	Fractures
Dan gezababan	31	9-13-23	13-50-33	422	58	0	46	37	gneiss	5 SE	Néant
Didiki	30	9-14-48	13-49-15	419	31	> 0,3	3,5	22	granite	2 SE	Néant
Houk	29	9-15-23	13-50-08	425	37	> 0,3	6	8	quartzite	1 SE	Néant

Les quartzites forment des reliefs arides posés sur des gneiss altérés qui supportent un large bas-fond ennoyé par des sédiments fins argilo-sableux. Les écoulements sont rares dans les reliefs. Le réseau s'organise sur les surfaces imperméables, mais il aboutit à des mares alignées sur le contact faillé gneiss-granite. Le granite s'altère bien moins que les gneiss et oppose une barrière aux écoulements de surface qui doivent s'inscrire dans des passages étroits qui succèdent aux mares vers l'aval.

Les sédiments argilo-sableux et l'altération sur gneiss forment un ensemble peu perméable mais poreux, pouvant contenir une bonne réserve d'eau. L'alimentation et le niveau de l'eau sont assurés par les mares.

Il faut implanter les forages sur le contact faillé afin d'exploiter le rôle drainant de cet accident majeur capable d'induire un très grand volume poreux (alimentation de Didiki et de Houk).

Pour Dan gezababan rechercher un noeud de grandes fractures et prévoir un ouvrage profond car le niveau de l'eau est très bas dans la roche fissurée. Il serait raisonnable de se rapprocher du bas-fond afin de réduire la profondeur de l'eau qui s'oppose à l'exhaure manuelle. Les nombreuses pistes faussent la recherche des fractures.



AOF 1957-58 ND 32X n°100 1/50000e

Cliché IGN France



site proposé par Kruger



à étudier avec géophysique

Exemple 40

NIGER

PHOTO : AOF 1955-56 N.D 31 VIII N° 483 Echelle : 1/50.000

CARTE 1/200.000 : Gotheye N.D. 31 VIII

VILLAGES : Tambolé et Tilboy (Liptako Nigérien)

PLUIE : 500 mm environ

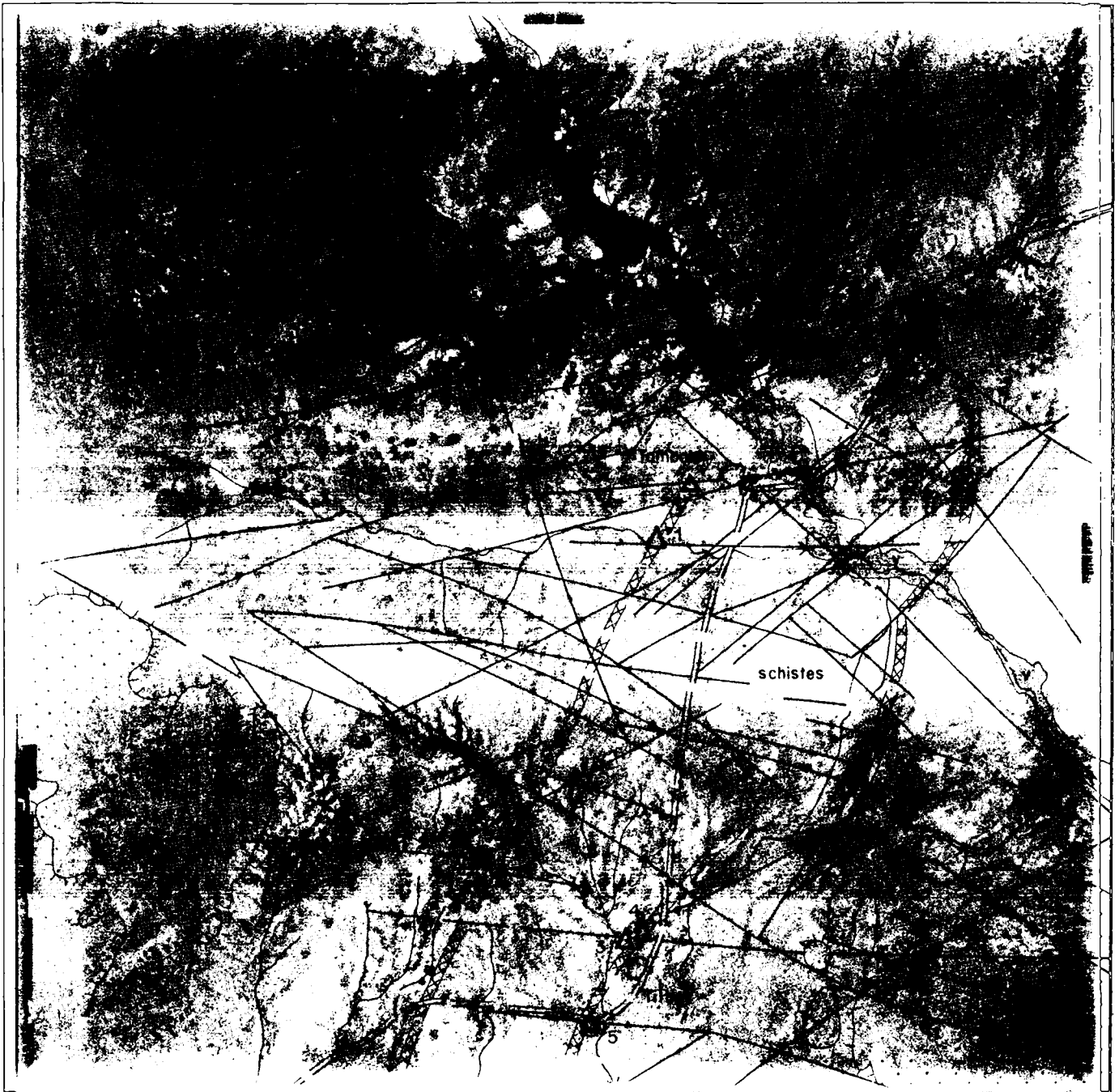
Village	N° I.R.H	N° forage	Longitude	Latitude	Altitude	Profondeur forage	Niveau statique	Débit m ³ /h	Géologie forage	Géologie régionale
Tambolé	15705	1	1° 24' 15	13 03 22	230	40	4,6	< 0,1		Schistes verts
Tambolé	15706	2	1° 24' 23	13 03 33	230	46	16,4	1,8	Filon	Schistes verts
Tilboy	15707	3	1° 24' 23	13 01 48	230	34	21,7	< 0,1	de	Schistes verts
Tilboy	15708	4	1° 24' 23	13 01 49	230	52	23,1	1	quartz	Schistes verts
Tilboy	15709	5	1° 24' 17	13 01 28	230	43	16,3	4		Schistes verts

Exemple de recherche d'eau sur des filons de quartz bien visibles sur la photo et encore plus visibles sur le terrain où ils forment des alignements en relief. Le filon est utilisé comme un drain naturel capable de collecter l'eau contenue dans les schistes. Ces drains sont multikilométriques.

La grande compétence du quartz confère au filon une perméabilité élevée. Mais la réussite n'est pas systématique. Les épontes du filon sont nettes et le forage 1 n'a pas recoupé le filon : le débit est quasi nul.

Le forage 3 est stérile car localement le quartz est fortement altéré, le forage a traversé de l'argile avec quelques blocs de quartz.

Un juste milieu est à trouver entre le quartz sain, non fissuré, et le filon profondément altéré car trop fissuré par le passage d'une fracture trop grande (N° 3). Choisir un site légèrement à côté de la fracture (N° 4) ou se rabattre sur une fracture transverse plus modeste (N° 5).



AOF 55-56 ND 31 VIII n° 483

Cliché IGN France

Exemple 41

SENEGAL : Implantation de forages dans les formations à aquifères discontinus du Sénégal Oriental

PHOTO : I.G.N. 70 N.D 28 VI - N.D 29 1/400 N° 140 Echelle : 1/40.000

CARTE 1/200.000 : Kédougou N.D 28 VI

VILLAGES : Batanta $x = 12^{\circ} 20' 90''$ $y = 12^{\circ} 40' 90''$ $z = 309$ m

Batranké $x = 12^{\circ} 21'$ $y = 12^{\circ} 41'$

DEPARTEMENT : Kédougou ARRONDISSEMENT : Bandafassi

1. Implantation :

Batanta (1976) : Collines de méta-volcanites - altération faible - relief marqué - zone sèche en surface ; puits peu profonds (2 à 3 m) dans les alluvions des marigots - mauvaise tenue des terrains.
4 traînées de géophysique électrique. Le forage est implanté sur deux fractures et 3 traînées électriques.

Batranké (1979) : Roches volcaniques (andésites) ou schistes birrimiens allongés SW-NE. Village proche de l'interfluve. Village en altitude. Petits puits locaux peu productifs. Les noeuds de fractures sont en terrain inaccessible. Les linéaments NS au N et à l'E du village, ainsi que le linéament SW-NE apparaissent sur le terrain comme des zones de dépression morphologique. Dans les schistes verts les fissures sont orientées 150° à 155° avec un pendage de 83° à 90° et 335° /pendage 85° .

2. Forage : Un seul ouvrage a été réalisé à Batanta (mars 1977)
Profondeur : 31,60 m Débit : $5,9 \text{ m}^3/\text{h}$
Niveau statique : 3 m Venues d'eau 8,5 - 12 - 19,40 - m
Andésites - Amphibolites.
Epaisseur quaternaire + altération = $2,2 + 8,50 = 10,7$ m
Directions des fractures = N 40° - 75° - 130° - 95°

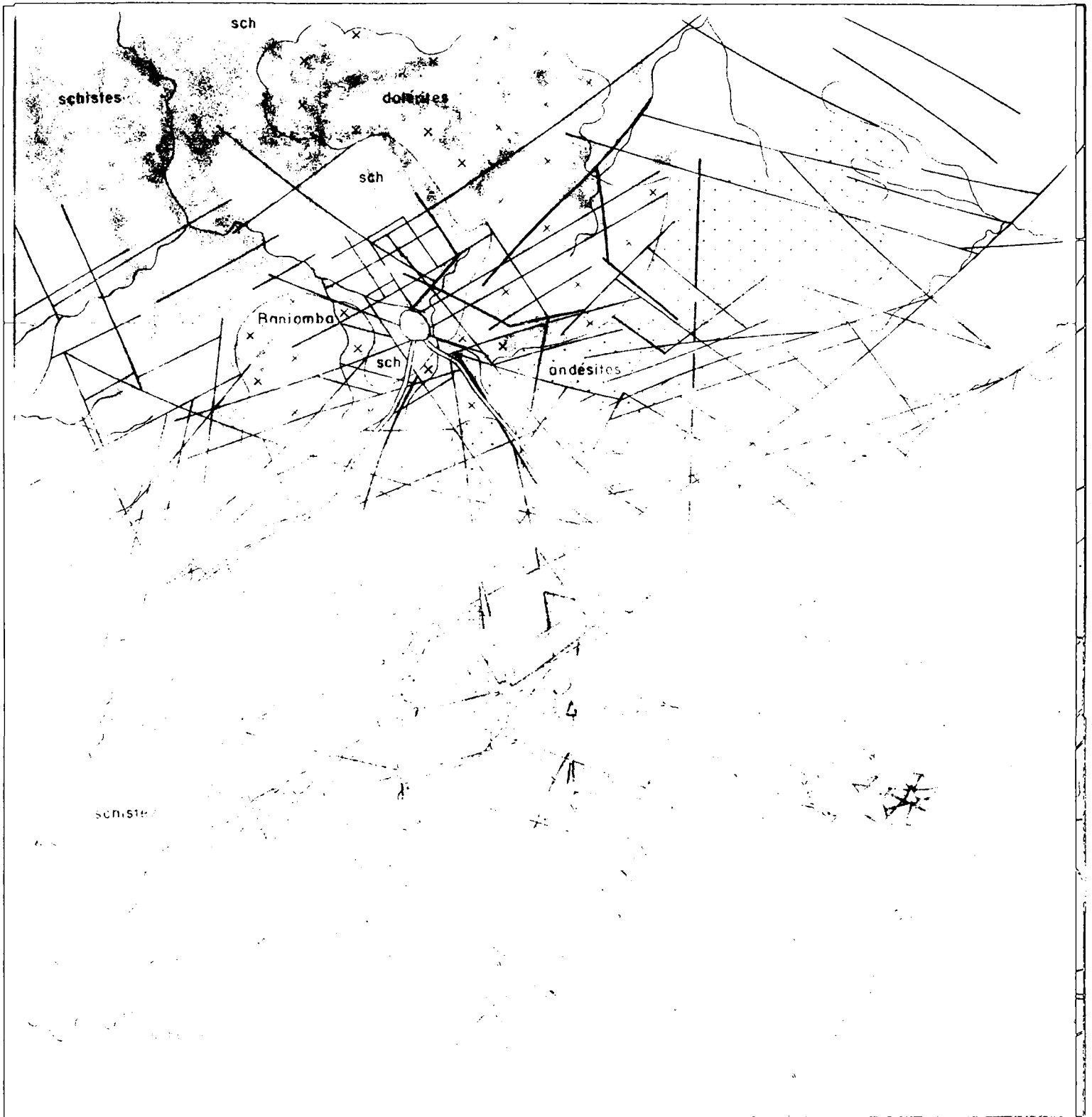
3. Commentaires : Le forage de Batanta est situé sur un noeud de fractures et en particulier sur une fracture transverse kilométrique (3 km N 130°). L'altération est saturée sur deux mètres ce qui est suffisant pour assurer la pérennité du débit à condition que pour ce débit élevé, le rabattement ne dénoye pas complètement l'altération.

Pour Batranké, la fracturation est à compléter car insuffisante pour motiver les sites 1 (fracture longitudinale) et 3 (pas de fracture). Il existe une grande fracture transverse passant par le 1 mais le site est sur l'interfluve. Il est préférable de choisir 1' sur le marigot ou 3' sur un noeud de fractures dont une grande transverse (direction qui a donné satisfaction à Batanta).

Steenhoudt 1976
Lescop 1976

Direction de l'Hydraulique (D.E.P) D.I.W.I - B.R.G.M

M. Kraupse 1979
Peragallo 1979



Exemple 42

SENEGAL : Implantation de forages dans les formations à aquifères discontinus du Sénégal Oriental

PHOTO : I.G.N 70 N.D 28 VI - N.D 29 1/400 N° 344 Echelle : 1/40.000

VILLAGES : Dimboli :

x = 11° 53' 50" y = 12° 27' 70" z = 174 carte = N.D - 29

Madiou :

x = 12° 00' 55" y = 12° 30' 55" z = 380 carte = N.D - 28 - VI

Fongolimbi :

x = 12° 00' 20" y = 12° 25' 20" z = 369 carte = N.D - 29

DEPARTEMENT : Kédougou

ARRONDISSEMENT : Fongolimbi

GEOLOGIE : Grès - quartzites
Schistes sériciteux

MORPHOLOGIE : Amas de boules sur les
grès et cuirasses :
mésétas

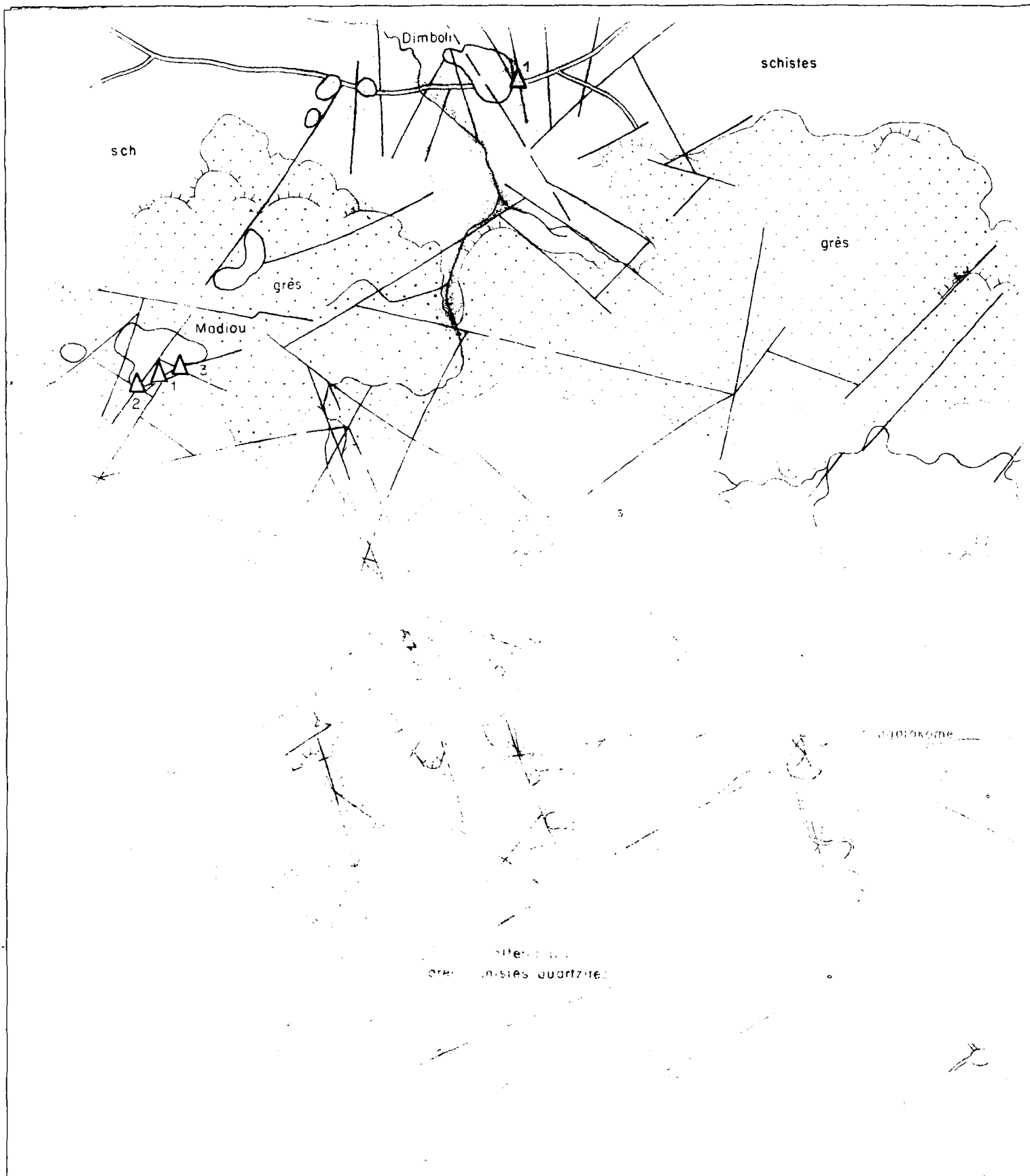
Les affleurements sont nombreux.

La géophysique électrique avec SE et trainées a été utilisée pour retrouver les fractures et pour éliminer les zones trop conductrices qui peuvent être de l'altération argileuse sur schistes.

	MADIOU			DIMBOLI	FONGOLIMBI
N° du forage	K ₁	K ₂	K ₃	1	1
Profondeur forage m	53,5	78,5	67,5	42,10	85,5
Niveau statique m	11,9	11,6	15,5	8,6	11,2
Débit m ³ /h	0	0,2	5,2	3	10,5
Venues d'eau	-	25-31,5	10-47-52	17, 30-17,50	77-79
Profondeur fissures m	-	-	-	17 à 39	77 à 79
Épaisseur altération	-	33	29	27	34
Longueur fracture km	1,5	> 3	< km	< km	1 km
Direction fracture	30°	35°-75°	75-120	170°	120°
Géologie	-	grès quartzite	grès quartzite	grès quartzite	quartzites pélites
Géophysique	-	3 profils	-	1 profil	3 SE + 6 profils

Les forages situés sur les fractures transverses (Fongolimbi - K₃) ou diagonales (Dimboli) donnent des débits satisfaisants par rapport aux ouvrages forés sur les fractures longitudinales (K₁ - K₂). L'épaisseur de l'altération saturée est grande malgré la profondeur du niveau de l'eau.

Cette région est propice aux puits forés à condition que les boules de grès ou de quartzites n'entravent pas la pénétration de l'outil de forage.



Exemple 43

SENEGAL : Implantation de forages dans les formations à aquifères discontinus du Sénégal Oriental

PHOTO : I.G.N 70 N.D 28 VI - N.D 29 1/400 N° 084 Echelle : 1/40.000

CARTE 1/200.000 : N.D 29 Kéniéba

VILLAGE : Sanela DEPARTEMENT : Kédougou ARRONDISSEMENT : Saraya

x = 11° 44' 00" y = 12° 45' 00" z = 143 m

Zone granitique à couverture latéritique faible.

Puits de faible débit creusés dans l'altération.

La photo-interprétation permet le lever de quelques linéaments mais leur trace sur le terrain est incertaine. D'où l'utilisation de la géophysique : 1 sondage électrique et 3 profils de résistivité.

PROFONDEUR DU FORAGE : 51 m

NIVEAU STATIQUE : 5,5 m

DEBIT : 5,7 m³/h

GEOLOGIE : Granite

EPAISSEUR ALTERATION : 45 m

FISSURES : de 41 à 49 m

FRACTURES : N 35 - 85 - 140°

DATE : Mars 1977

La direction longitudinale des structures est N 35°. Elle est marquée par la foliation dans le coin SE. La direction transverse est soulignée par les marigots (NW - SE).

Le choix d'un noeud de fractures donne de bon résultats. La pérennité du débit est assurée par la forte épaisseur d'altération saturée (40 m). La couverture altérée semble générale car le granite affleure peu. Mais les fortes épaisseurs d'altération sont à rechercher au droit des fractures et en particulier sur les noeuds de fractures.

Le réseau hydrographique exquise des figures polygonales mais aux angles arrondis ce que nous expliquons par la position en interfluve mais avec une forte épaisseur d'altération.



Exemple 44

SENEGAL : Implantation de forages dans les formations à aquifères discontinus du Sénégal Oriental

PHOTO : AOF 1952-53 M.O 59 N° 446 1/50 000° environ

FEUILLE 1/200.000 : Bakel

VILLAGE : Bakel DEPARTEMENT : Bakel ARRONDISSEMENT : Olodou

LONGITUDE : 12° 27' 30" LATITUDE : 14° 50' 00"

GEOLOGIE : Quartzites - Schistes - Morphologie de collines (quartzites)

Le socle affleure largement. L'allongement des structures est N 30 à 40° avec un pendage de 15 à 40° vers le N.W.

Les fissures relevées sur les affleurements ont une direction/pendage = 200/18 - 130/85 - 64/80 - 184/60 - 58/75 - 188/55 - 320/90.

Des puits locaux sont creusés dans les bas fonds argileux. La profondeur de l'eau varie de 5 à 14 m.

PROFONDEUR DU FORAGE : 78 m

NIVEAU STATIQUE : 10,2 m

DEBIT : 2,3 m³/h

VENUES D'EAU : 27 et 63 m

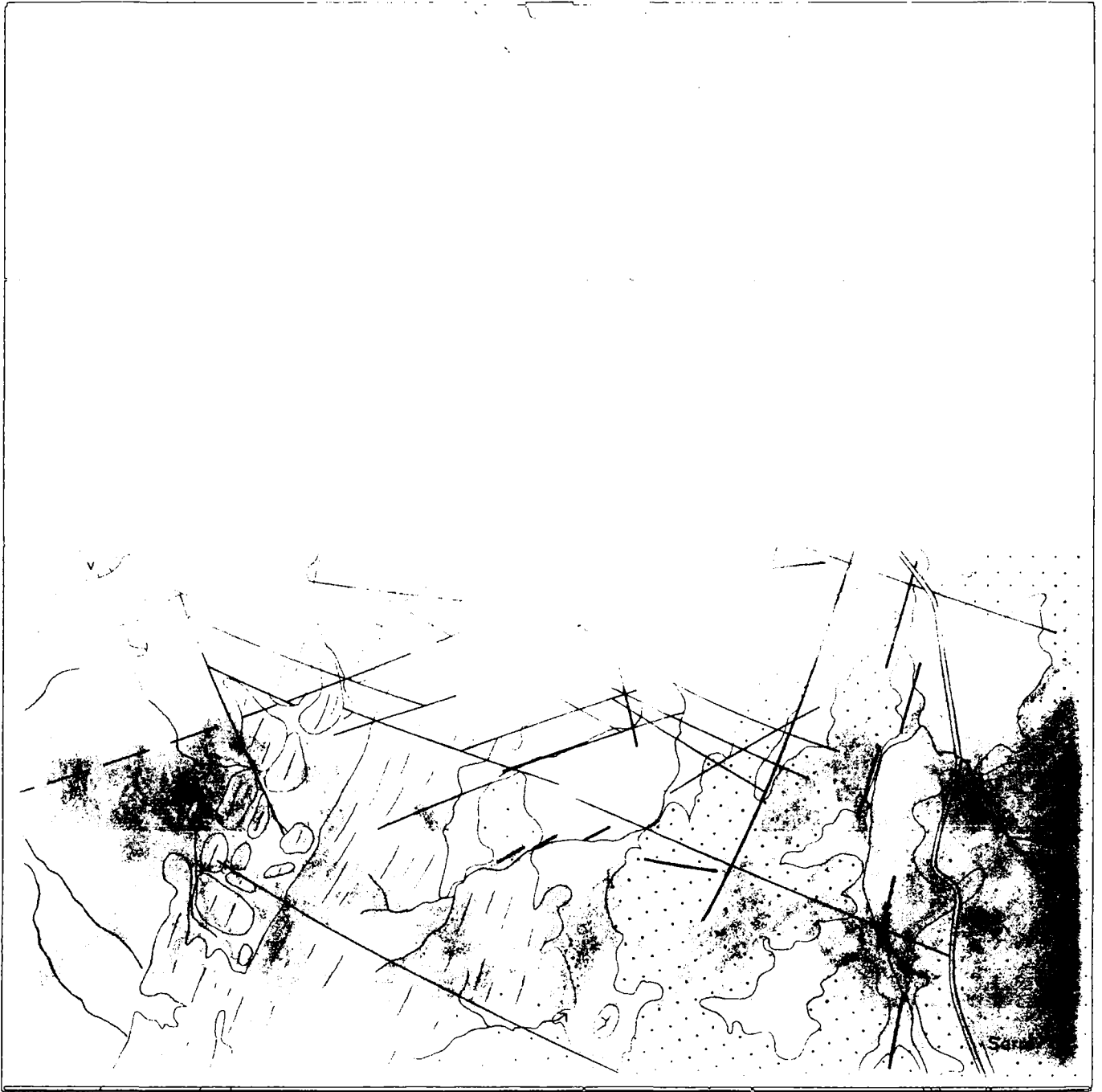
EPAISSEUR ALTERATION : 13 m

GEOLOGIE : Schistes cambriens

DIRECTION DES FRACTURES : N 20 et 70° GEOPHYSIQUE : Néant

Le forage est situé dans une étroite dépression qui s'allonge entre deux structures de quartzite. Le forage de 78 m aurait pu recouper les quartzites qui plongent vers l'ouest. Une faille importante, longitudinale doit souligner la barre de quartzites. Le forage induit cette faille.

On aurait pu choisir un site à l'intersection de cette faille avec une des nombreuses fractures transverses qui sont généralement ouvertes.



AOF 1952-53 M059 n°446

Cliché IGN France

Exemple 45

SENEGAL : Implantation de forages dans les formations à aquifères discontinus du Sénégal Oriental

PHOTO : AOF 54 077 N° 164 1/50 000° environ

FEUILLE 1/200.000 : Dalafi

VILLAGE : Kayan DEPARTEMENT : Bakel ARRONDISSEMENT : Olodou

x = 12° 19' 15" y = 13° 18' 40"

GEOLOGIE : Grès - pélites - tillites - cuirasses latérites

Le forage est implanté sur une fracture alignée sur le marigot, sans l'aide de la géophysique.

PROFONDEUR DE L'OUVRAGE : 60 m NIVEAU STATIQUE : 8,2 m (Mai 1978)

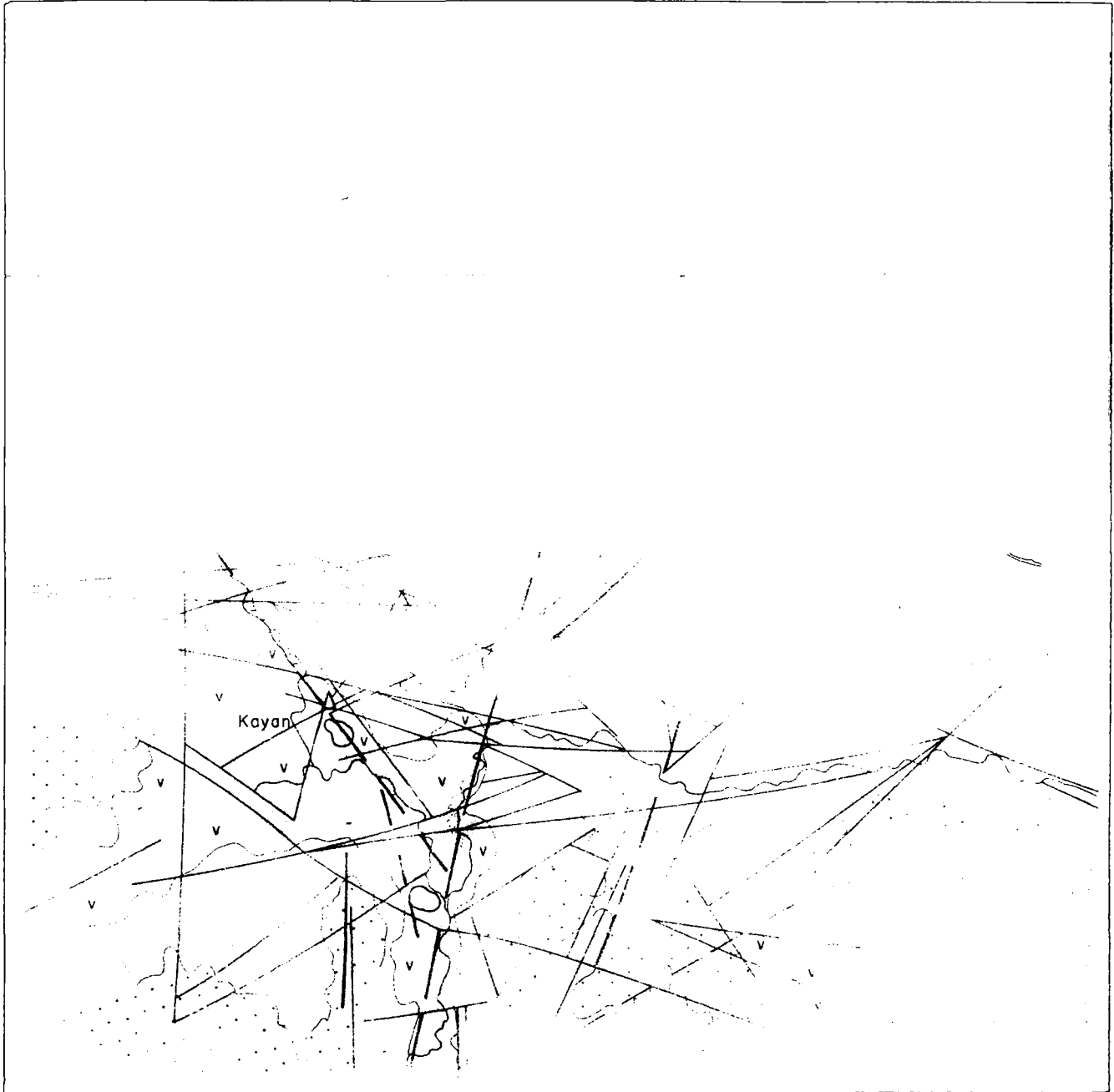
DEBIT : 12 m³/h VENUES D'EAU : 18-43 m

GEOLOGIE : Schistes du Cambrien EPAISSEUR ALTERATION : 24,5 m

FISSURES : 18 à 43 m

Le relevé des fractures ayant permis l'implantation du forage montre que celui-ci a été placé sur une fracture estimée incertaine (dessinée en pointillé). Une interprétation plus approfondie de la photo montre cependant que le forage est sur un noeud de trois fractures (N 60 - 105 et 140°) qui peut expliquer le débit intéressant fourni par l'ouvrage.

Ce débit peut également s'expliquer par la liaison directe entre la fracture N 140° et la mare toujours en eau située à proximité au N.W. La forte épaisseur d'altération saturée assure la réserve en cas d'assèchement temporaire du marigot.



Exemple 46

TOGO : Hydraulique villageoise - Forages IV° F.E.D.

PHOTO : 76 T.O.G 31/300 N° 569 Echelle : 1/30.000

VILLAGE : Safobe (1075 hab.) CIRCONSCRIPTION : Dapaong

CARTE 1/200.000 : Tenkodogo N.C XXIV ;

$x = 0^{\circ} 07' 30''$ $y = 11^{\circ} 03' 25''$ $z = 300$ m

PLUIE : 1 200 mm

GEOLOGIE : Granite de Dapaong MORPHOLOGIE : Savane légèrement vallonnée

Le forage F₁ est situé en fond de vallée, à 20 m d'un marigot temporaire et à 100 m de l'interfluve.

Coupe = 0-1,10 : altération sableuse ; 1,10 à 20,80 : altération argileuse ; 20,80 à 41 m : granite ;

Venues d'eau = 16 à 19 ; 23-24 ; 28,50 à 31 et 36 à 36,50 m.

Le niveau de l'eau se stabilise à 6,20 m (21-11-1980) du sol et le débit est particulièrement élevé (16 m³/h).

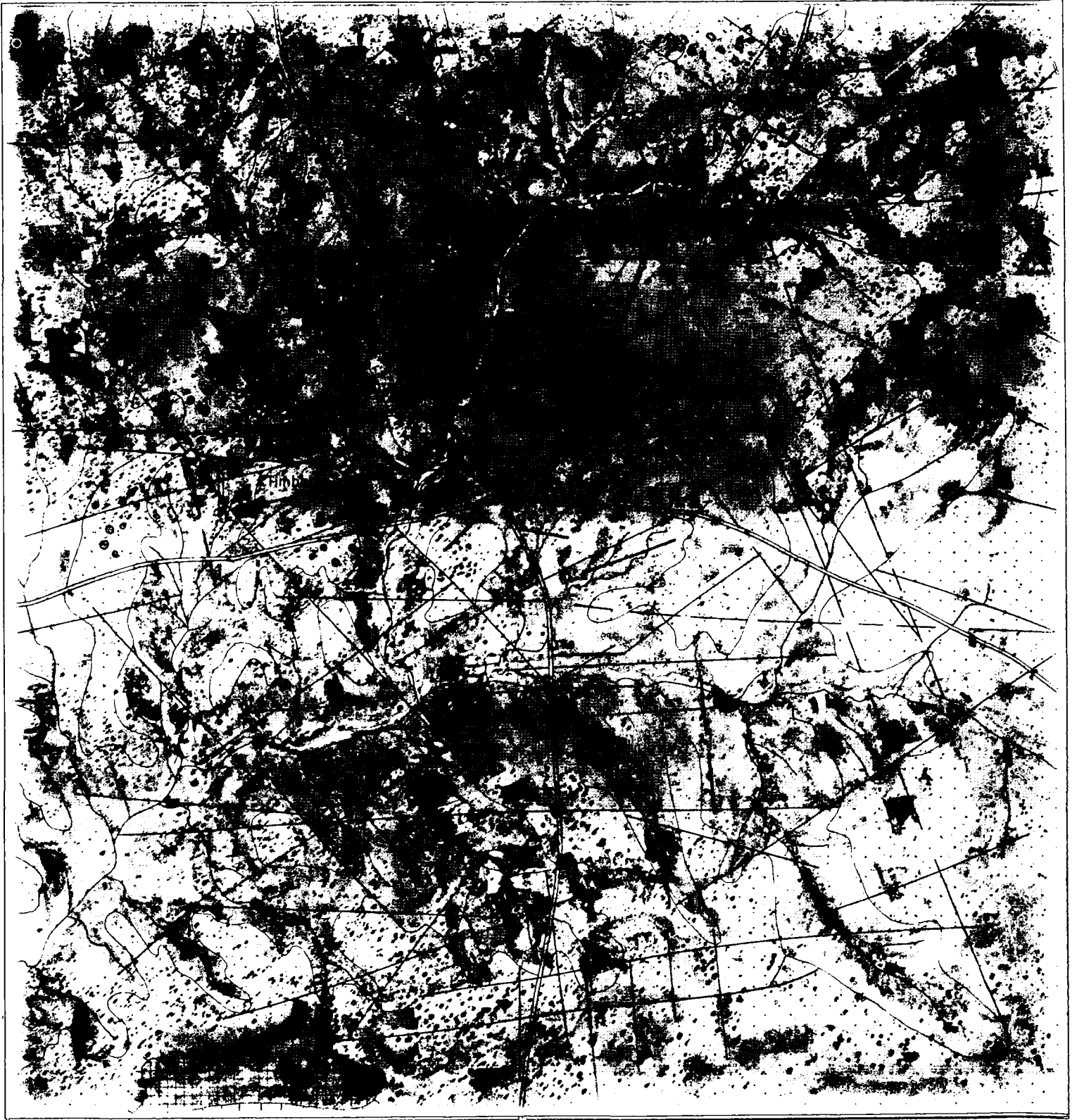
Les granites de Dapaong offrent un bon pourcentage de réussite pour les ouvrages de captage d'eau et les débits unitaires sont élevés aussi bien pour les puits que pour les forages.

Ces bons résultats s'expliquent par une pluviométrie assez élevée qui entretient en permanence des réserves dans la tranche saturée des altérites qui sont épaisses sur les plateaux plus ou moins protégés par des cuirassements latéritiques.

Cette relative abondance d'eau se traduit par un habitat très dispersé.

Le forage F₁ de Safobe est implanté sur un noeud de fractures qui limitent au Nord une grande maille soulignée par le réseau hydrographique. Ce site a été choisi en fonction de la fracturation, des moyens d'accès (bord de la piste) et à mi-chemin entre deux ensembles d'habitations.

De nombreux emplacements de forages sont possibles sur les noeuds de fractures proches des marigots.



Exemple 47

TOGO : Hydraulique villageoise du Togo - Forages IV° F.E.D.

PHOTO : 69 NB 31 XIII - XIV - 300 N° 248 Echelle : 1/30 000

VILLAGE : AVETONOU (Kpalimé)

x = 0°46'16" y = 6°48'16" z = 110 m

CARTE : 1/200 000 : Kpalimé

	F1	F2
Géologie	gneiss de l'Ofé	gneiss de l'Ofé
Morphologie	fond de vallée	fond de vallée
Marigot à	temporaire à 375 m	temporaire à 150 m
Interfluve à	125 m	à 600 m
Fracture direction	nette N 170°	nette N 10°
Fracture longueur	< 1 km	1 à 5 km
Date du forage	18.04.79	20.04.79
Profondeur forage	79 m	40 m
Niveau statique	4,78	5,70
Débit m ³ /h/rabattement	nul	1,5 m ³ /h/16,7 m/sol
Venues d'eau (m)	19-20 et 43 à 47	-
Profondeur socle sain	(alluvions : 12,00 m)	(alluvions : 10,80 m)

Commentaires : Le cliché est flou. Le réseau hydrographique est caché par la forêt-galerie qui envahit tous les bas-fonds.

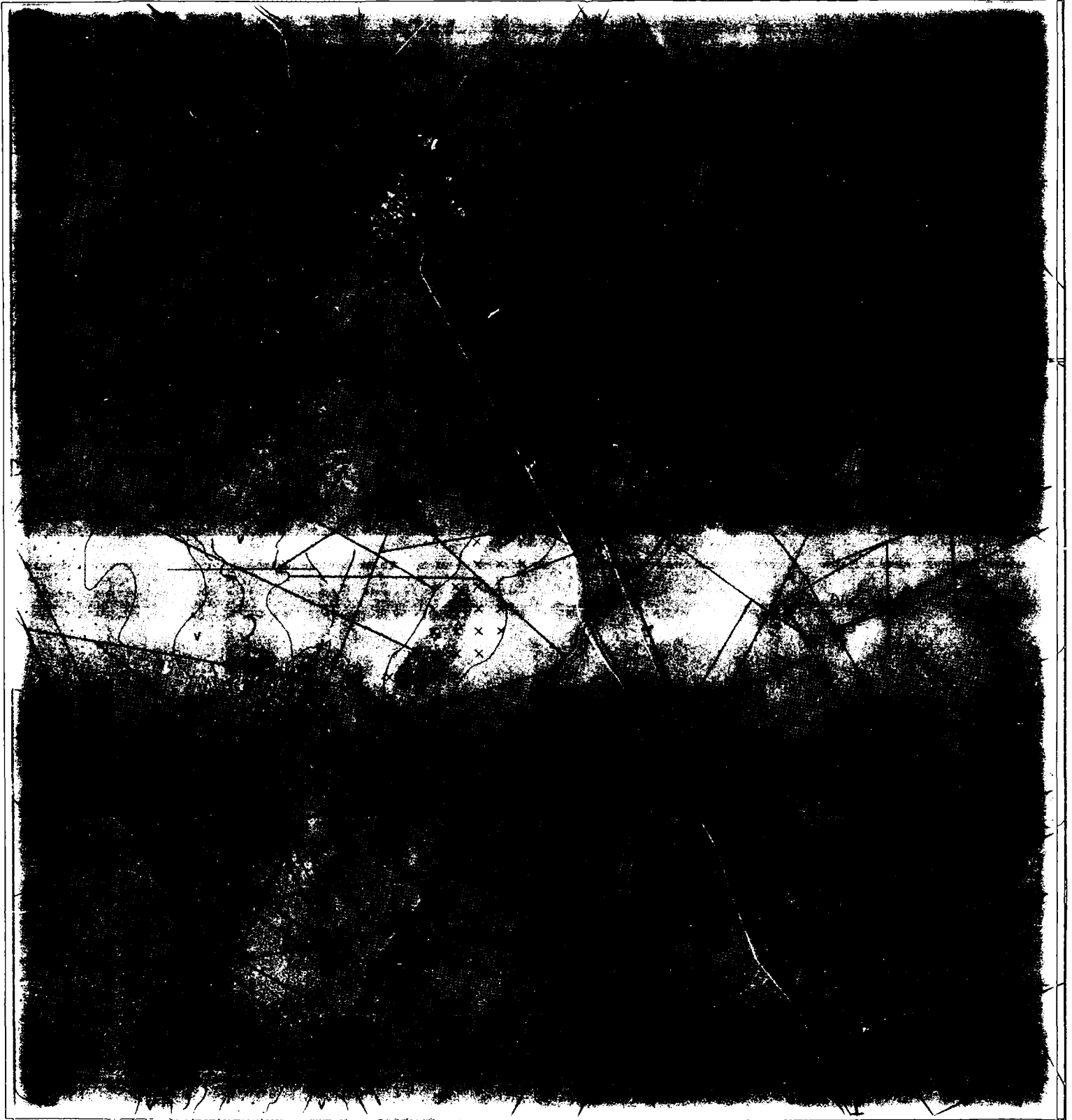
L'écoulement est nettement polarisé dans la direction N 20 à 35 ° qui emprunte celle de l'allongement des structures.

Les gneiss de l'Ofé sont hydrogéologiquement décevants (58 % des forages ont plus de 700 l/h).

Aussi faut-il rechercher avec attention les noeuds de fractures multikilométriques avec des directions transverses NO-SE perpendiculaires à l'allongement des structures.

Les forages ne semblent pas implantés sur des fractures importantes. Le F1 est trop profond par rapport aux fractures choisies ; ce forage qui aurait dû être arrêté à 40 m a été approfondi pour tenter de trouver plus bas le débit recherché.

On souligne à nouveau la nécessité de tracer le maximum de fractures et de ne pas se limiter au périmètre du village.



NB 31 XIII - XIV / 300 n°248

Cliché IGN France

Exemple 48

TOGO : Hydraulique villageoise - Forages IV° F.E.D.

PHOTO : 77 T O G. 31/300 N° 2006 Echelle : 1/30 000

VILLAGE : BIDJANGA (1030 hab.) CIRCONSCRIPTION : DAPAONG

CARTE 1/200 000 : SANSANNE - MANGO

x = 0°16'30" y = 10°42'50" z = 230 m

PLUIE : 1 200 mm

GEOLOGIE : Grès et argilites de Boumbouaka

MORPHOLOGIE : Savane à marécages avec entablements de grès

Forage exécuté le 11.12.1980 dans les argilites, en fond de vallée drainée par un marigot temporaire. A 91 m de profondeur, les grès n'ont pas été trouvés.

Coupe = 0 à 3,50 m : altération argileuse ; 3,50 à 91 m : argilites.

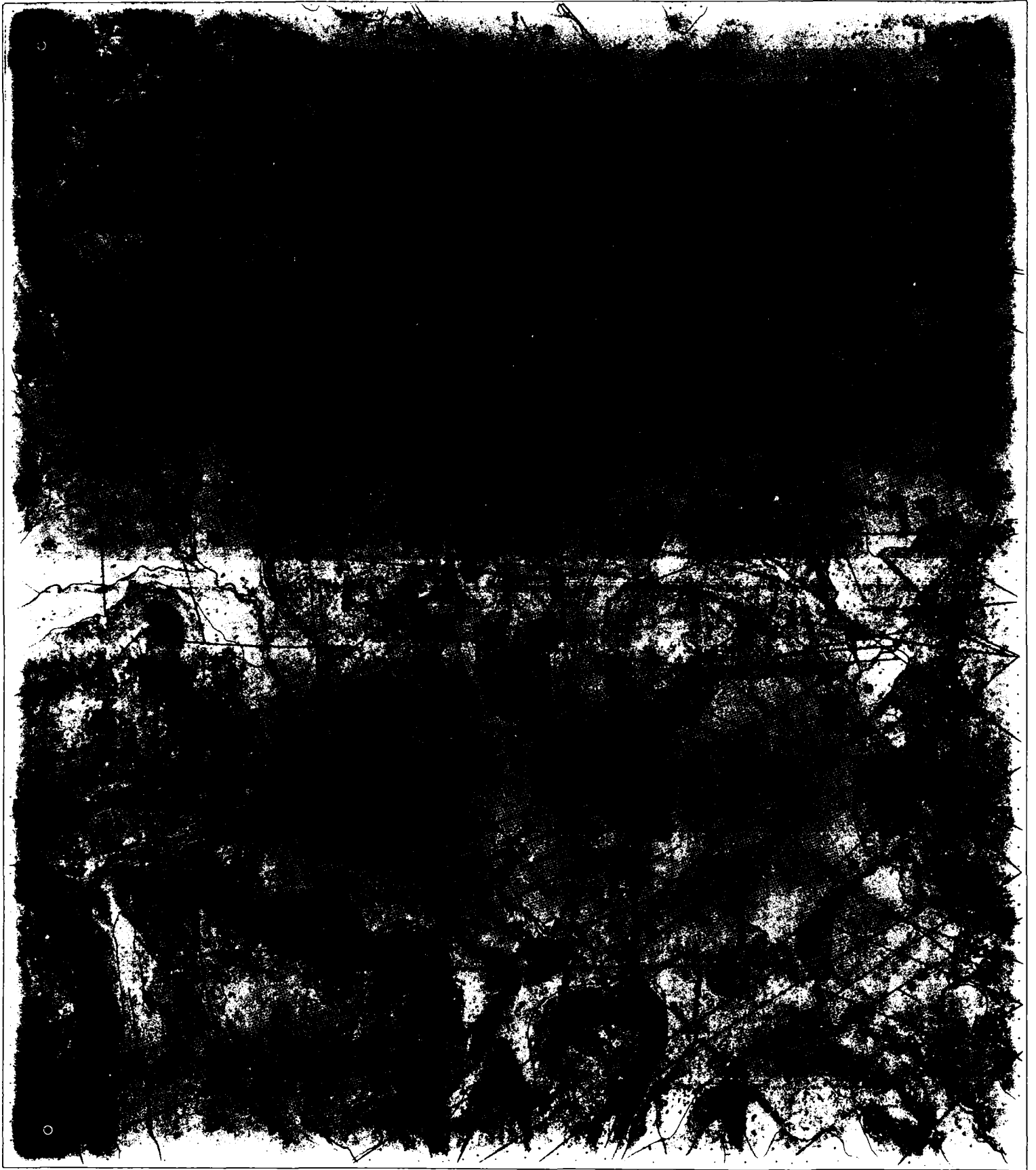
Venues d'eau = de 15,80 à 27 m et de 32 à 38 m.

Le débit de l'ouvrage : 0,5 à 0,9 m³/h (?) - Le niveau statique est proche de la surface du sol (3,20 m).

Dans cette région, les grès, fournissent des débits élevés mais les argilites sont toujours décevantes.

Commentaires - S'il n'est guère aisé de voir les fractures dans les zones argileuses, il est, comme le montre cet exemple possible de tracer suffisamment de fractures même douteuses pour éviter d'implanter des forages pratiquement au hasard.

L'utilisation de la géophysique, guidée par l'étude des fractures, devrait mettre en évidence des filons (jaspe - quartz) ou la profondeur des grès qui n'ont pas été retrouvés par le forage.



Exemple 49

TOGO : Hydraulique villageoise - Forages IV° F.E.D.

PHOTO : 76 T.O.G. 31/300 N° 73 Echelle : 1/30 000

VILLAGE : WATERMA (800 hab. en 1985) CIRCONSCRIPTION : KANTE

CARTE 1/200 000 : NATITINGOU NC 31 XIV

x = 1°06'10" y = 10°03'50" z = 200 m

PLUIE : 1 200 mm

GEOLOGIE : Schistes de Kandé et Gneiss Dahoméyen

MORPHOLOGIE : Savane légèrement vallonnée

	F2	F3
Profondeur m	55	64,10
Niveau statique m	3	10
Géologie	Schistes	Schistes
Morphologie	Versant en pente temporaire	Versant en pente temporaire
Marigot	N 80° et N 120°	N 10° et N 120°
Fracture direction	1 à 5 km	> 5 km et 1 à 5 km
Fracture longueur	> 23	> 10
Débit m³/h	27 - 40 - 52	22 à 34 et 59 à 64,10
Venues d'eau	0 - 22,40 = altération arg. 22,4 à 31 = schistes sériciteux 31 à 55 = schistes quartzeux	0 - 5,5 = altération grenue 5,5 - 22,5 = altération argileuse 22,5 - 64,10 = schistes quartzeux
Coupe des terrains		

Commentaires : Très belles réussites dans les schistes quartzeux de la série de Kandé. Les forages sont situés sur des fractures multikilo-métriques transverses ou diagonales par rapport à l'allongement des structures (N 0° à 10°).

En zone schisteuse, une pluviométrie de 1 200 mm assure la pérennité des ouvrages. Des puits d'une trentaine de mètres peuvent être foncés. On évitera d'implanter des puits et même des forages dans la zone S.E. où les schistes affleurent.



Exemple 50

TOGO : Hydraulique villageoise - Forages IV° F.E.D.

PHOTO : 77 T.O.G. 31/300 N° 2168 Echelle : 1/30 000

VILLAGE : Koudassi (3 000 hab. en 1985) CIRCONSCRIPTION : TSEVIE

PLUIE : 1 200 à 1 300 mm

x = 0°50'48" y = 6°37'07" z = 135 m

GEOLOGIE : Gneiss Dahoméyen

CARTE 1/200 000 : Kpalimé

MORPHOLOGIE : Léger vallonnement

	F ₁	F ₃	F ₄
Morphologie	sommet	versant	bas-fond
Géologie	gneiss	gneiss	gneiss
Marigot	temporaire à 650 m	temporaire à 150 m	à 50 m
Interfluve	à 150 m	à 650 m	à 750 m
Fracture direction	N 80° à 20 m	N 110° à 20 m	N 70° et N 80°
Fracture longueur	< km	1 à 5 km	1 à 5 km
Date de forage	24.04.79	26.04.79	02.05.79
Profondeur du forage m	61,45	49	49
Niveau statique m	12	10	5,70
Débit m ³ /h	nul	nul	1,1 (?)
Venues d'eau m	22-22,50	25-38 à 39	19-38-43
Coupes des terrains	0-11 = altération 11-61 = gneiss	0-9,8 = alt. grenue > 9,8 = gneiss	0-4,30 = alt. argil. > 4,30 = gneiss

Commentaires : Le forage F₁ est situé sur une fracture secondaire et en position d'interfluve. Le forage F₃, malgré quelques venues d'eau, n'a pas dû recouper la fracture recherchée. Par contre, le F₄ est sur un noeud de fractures kilométriques à multikilométriques et proche du marigot.

La faiblesse du débit peut s'expliquer par l'absence de réserve car l'altération n'est pas saturée. Le creusement des puits n'est pas conseillé.

Les structures sont allongées N-S à N 20° E. On retiendra pour les implantations de forages, des noeuds comportant au moins une fracture transversale (N 90 à 100°) multikilométrique.



