

02048

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTÈRE DE L'ENERGIE ET DE L'HYDRAULIQUE

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE
DES TERRAINS ANCIENS DU SENEGAL ORIENTAL
(campagne 1962-63)**

par

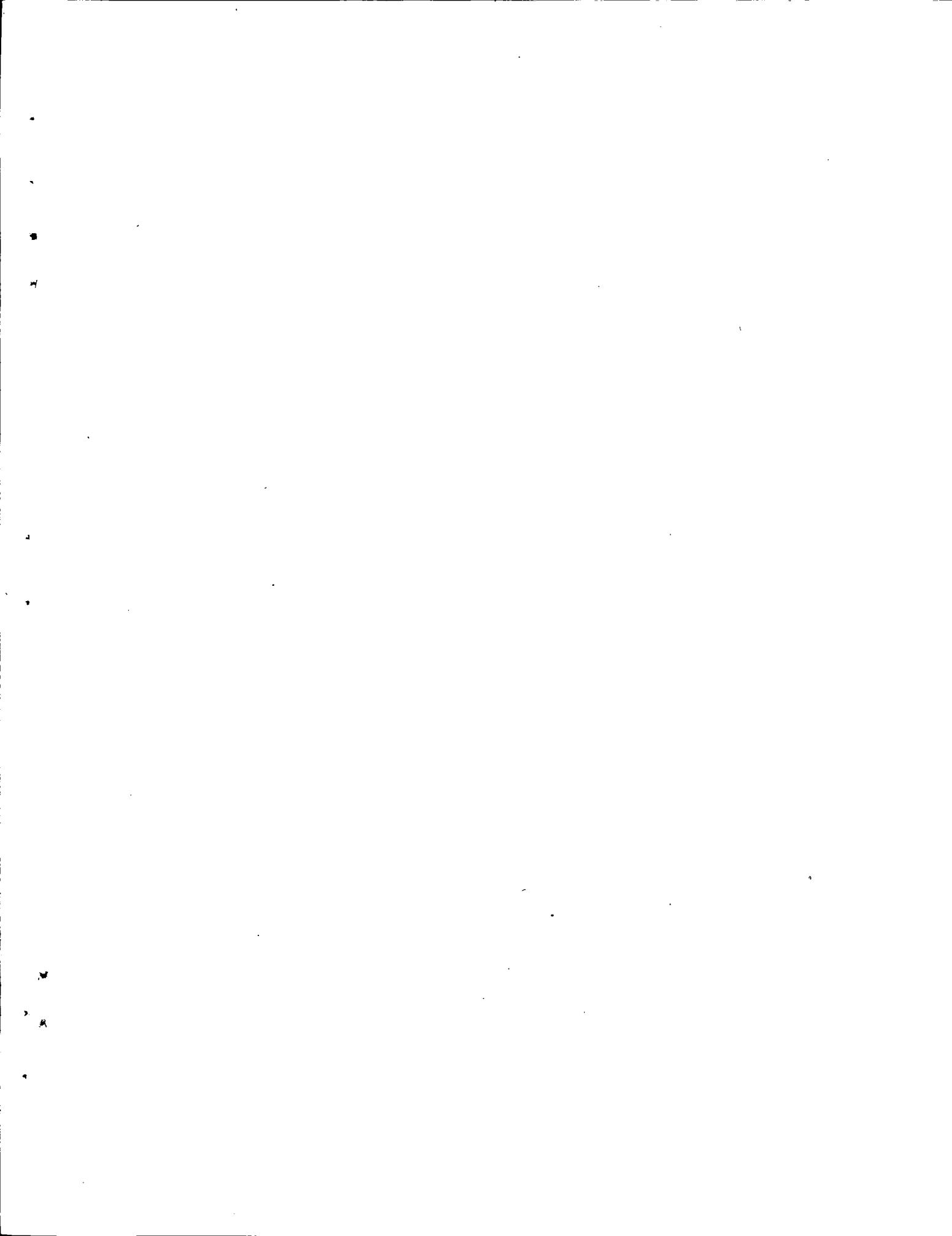
H. CAMUS

et

J. DEBUISSON

RAPPORT PRÉSENTÉ PAR LE BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

DAK 64 - A 6



S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
- RESUME.....	5
- ANNEXE I : Généralités et conditions naturelles.....	16
1/- INTRODUCTION.....	17
11/- <u>Objet de l'étude</u>	17
12/- <u>Conditions d'exécution et durée de l'étude</u>	19
121- Travaux sur le terrain et moyens	19
122- Méthodes de travail.....	20
1221- Géologie.....	20
1222- Hydrogéologie.....	21
2/- CONDITIONS NATURELLES.....	23
21/- <u>Situation</u>	23
22/- <u>Géographie physique</u>	23
221- Orographie.....	23
222- Hydrographie.....	24
23/- <u>Climatologie</u>	24
231- Types de climat.....	24
232- Pluviométrie.....	25
233- Conclusions.....	26

	<u>Pages</u>
- ANNEXE II : Etude géologique.....	28
1/- GEOLOGIE HISTORIQUE.....	29
11/- <u>Le Birrimien</u>	29
12/- <u>L'Infracambrien</u>	30
13/- <u>Le Cambrien</u>	30
14/- <u>L'Ordovicien</u>	30
15/- <u>La série métamorphique de Bakel et des collines Bassaris</u>	31
16/- <u>Les venues doléritiques post-primaires</u>	32
17/- <u>Le Tertiaire</u>	33
2/- LA TECTONIQUE POST-ORDOVICIENNE.....	33
21/- <u>La bande cambrienne orientale, Ses rapports avec les terrains métamorphiques de la série de Bakel et des Bassaris</u>	33
22/- <u>Le Cambrien de la cuvette synclinale de Youkounkoun, Ses rapports avec les terrains ordoviciens</u>	34
- ANNEXE III : Hydrogéologie.....	36
1/- LES TERRAINS ANCIENS.....	37
11/- <u>Les terrains birrimiens</u>	37
111- <u>Birrimien inférieur</u>	37
112- <u>Birrimien supérieur</u>	38
113- <u>Inventaire des ressources</u>	40

	<u>Pages</u>
12/- <u>Les granites</u>	45
121- Types de granites.....	45
122- Altération des roches granitiques.....	46
123- Inventaire des ressources.....	50
124- Conclusions-Prospection hydrogéologique en arènes granitiques.....	52
13/- <u>Les terrains infracambriens</u>	54
14/- <u>Les terrains cambriens</u>	57
141- Lithologie et variations de faciès.....	57
142- Altération- Inventaire des ressources.....	62
1421- Pélites et grès schisteux inférieurs	62
1422- Les faciès métamorphiques du Cambrien inférieur.....	65
1423- Les grès rouges du Boundou.....	72
15/- <u>Les grès ordoviciens</u>	76
16/- <u>Les schistes et quartzites de Bakel et des collines Bassaris</u>	77
161- Les schistes.....	77
162- Les quartzites.....	79
163- Inventaire des ressources.....	80
1631- Puits, sources et marigots des collines Bassaris.....	80
1632- Puits dans les schistes et quartzites de la région de Bakel.....	83
17/- <u>La dolérite post-primaire</u>	87
2/- <u>LE DRAINAGE SOUS-LATERITIQUE</u>	89
21/- <u>Le recouvrement latéritique</u>	89
22/- <u>Esquisse géomorphique</u>	90
23/- <u>Hydrogéologie - Inventaire des ressources</u>	90
24/- <u>Conclusions</u>	93

	<u>Pages</u>
3/- LES POSSIBILITES AQUIFERES DE LA COUVERTURE TERTIAIRE DE BORDURE.....	95
31/- <u>Lithologie</u>	96
32/- <u>Inventaire des ressources</u>	97
4/- LES NAPPES ALLUVIALES.....	100
41/- <u>Les nappes alluviales en "pays soudanien"</u>	100
42/- <u>Les nappes alluviales en "pays sahelo-soudanien"</u>	101
421- Hydrographie.....	101
422- Morphologie du lit des marigots.....	102
423- Nature des alluvions-Perméabilité.....	103
424- Alimentation des nappes alluviales.....	105
425- La nappe alluviale du Gourang-Kolé au droit de Gabou.....	106
43/- <u>Conditions d'exploitabilité-Aménagements des nappes alluviales</u>	108
5/- POSSIBILITES DES SOURCES ET GRANDS MARIGOTS DANS UN PROGRAMME D'EXPANSION AGRICOLE.....	112
6/- ETUDE CHIMIQUE DES EAUX.....	117
7/- CONCLUSIONS, BESOINS ET PROPOSITIONS DE TRAVAUX.....	122
71/- <u>Protection des ouvrages de captage</u>	122
72/- <u>Création de nouveaux points d'eau dans les terrains anciens</u>	123

RESUME

L'objet de cette étude était de rechercher s'il existait au Sénégal Oriental des nappes généralisées auxquelles il pourrait être fait appel pour suppléer aux nappes alluviales par trop soumises aux fluctuations saisonnières. Nous avons donc abordé le problème tel qu'il nous fut ainsi posé et l'on pouvait raisonnablement espérer que les grandes unités géologiques déjà entrevues renfermeraient des niveaux perméables que l'on pourrait solliciter en de nombreux endroits. De telles ressources ont l'avantage de ne pas être immédiatement tributaires de la pluviosité.

La lecture de ce rapport paraîtra décevante car en fait les auteurs n'ont pu, malgré leurs recherches fouillées, mettre en évidence de telles nappes. Ils n'ont reconnu que de maigres ressources, disparates, discontinues et rarement pérennes. Leur tâche a été gênée par le manque d'affleurement. Le recouvrement latéritique qui masque presque uniformément les terrains, empêche l'analyse de détail qui seule aurait pu permettre de localiser les faciès favorables et la répartition de ces faciès dans l'espace. On a néanmoins maintenant la certitude que de vastes nappes n'existent pas et que l'on devra faire appel le plus souvent à la solution, déjà connue, des nappes alluviales. Celles-ci, d'ailleurs, ne sont pas elles-mêmes abondantes car les dépôts alluvionnaires dans les marigots et les cours d'eau sont toujours minces et discontinus, des biefs rocheux affleurant fréquemment. Aussi les inféro-flux ont-ils tendance à s'épuiser en saison sèche sous l'action de l'écoulement et de l'évaporation.

Ainsi donc sur un substratum considéré comme imperméable dans son ensemble, l'altération, le ruissellement et le démantèlement n'ont pu déposer un recouvrement plus favorable à l'existence de nappes aquifères.

On sera donc amené impérativement à rechercher quelquefois l'eau dans le substratum lui-même. C'est sur ce point sans doute que notre contribution pourra être la plus constructive car nous connaissons des exemples où de l'eau en quantité appréciable fût trouvée dans les terrains anciens. Nous savons les conditions favorables à la perméabilité de ces terrains (zones tectonisées, schistes finement feuilletés et intercalations de roches plus indurées - quartz - grès - calcaires - zones d'arènes profondes etc...) et la méthode pour rechercher ces zones favorables (géologie de détail et géophysique, électrique ou sismique).

Nous pensons qu'il serait particulièrement intéressant de tenter une expérience d'application d'une telle recherche avec cette méthode sur un groupe de villages dont le problème d'alimentation en eau est très aigu. Le pourcentage de succès et d'échecs qui serait ensuite enregistré permettrait de juger de l'efficacité de la méthode. Cette façon d'aborder le problème nous paraît la seule valable et la seule efficace. Une étude par trop générale telle que celle déjà faite ne peut aboutir à des conclusions précises.

Il est un point que nous voulons souligner : c'est l'intérêt que représentent les écoulements permanents importants de certains marigots pour des mises en valeur locales telles que rizières, bananeraies etc... Nous avons noté

sur une carte les marigots ayant un écoulement permanent, le débit en saison sèche et l'extension des zones paraissent pouvoir être indiqués aisément. Il y a là une possibilité intéressante pour modifier et améliorer le mode de vie des populations locales.

Les auteurs du rapport ont éprouvé quelques difficultés dans le choix du plan de rédaction. Ils ont cherché à sérier au mieux les problèmes hydrogéologiques en fonction des unités géologiques affleurant au Sénégal Oriental. En conséquence ils ont traité successivement chaque unité géologique avec leurs données hydrogéologiques. Ce plan donne un aspect un peu décousu au rapport mais il semble malgré tout être le meilleur que l'on puisse adopter.

ESQUISSE GEOLOGIQUE

L'étude géologique (Annexe II), inspirée des travaux de J.P. BASSOT et également de J. BOIS, puis complétée par mes observations sur le terrain, sera présentement résumée en un bref aperçu sur la série stratigraphique.

Nous distinguons de bas en haut :

1/ Le Birrimien

- Birrimien inférieur : puissante série légèrement métamorphisée des schistes, quartzites et cipolins,
- Birrimien supérieur : il comprend des roches basiques, appelées "roches vertes" dérivant d'anciens complexes volcano-sédimentaires : métabasites - métalandésites amphibolites, accompagnées de faciès sédimentaires : tufs - grauwackes - jaspes et argilites.

Dans cet ensemble sont venus se mettre en place différents massifs granitiques.

2/ L'I**'**nfracambrien (900 à 1100 m) : il repose en discordance sur le Birrimien et comprend :

- des grès quartzites et grès, des calcaires gréseux,
- des pélites
- des schistes calcareux.

L'Iñfracambrien forme le rebord de la falaise de Fouta-Djallon.

3/ Le Cambrien : il présente des faciès variés et une puissance qui semble variable et très difficilement estimable.

- Cambrien inférieur : une trilogie de base, tillite, calcaire et jaspes, dont les termes ne sont pas constants, surmontée de pélites schisteuses et de grès accompagnés de faciès témoins d'éruptions volcaniques : jaspes, tufs, cherts, radiolarites. Le Cambrien inférieur présente également des faciès métamorphiques de schistes sériciteux et de quartzites.
- Cambrien supérieur : des grès rouges plus ou moins argileux les "grès de Boundou" terminent la sédimentation cambrienne.

4/ L'Ordovicien : il est constitué de grès blancs azoïques, légèrement quartzeux.

La série métamorphique de Bakel et des collines Bassaris

L'âge de ces formations n'est pas défini. Elles consistent en une puissante série de schistes et quartzites métamorphiques, auxquels se joignent, dans les collines Bassaris, des roches basiques identiques aux roches vertes birrimiennes.

La dolérite post-primaire : elle a deux origines :

- filonienne : elle se présente en surface en couches étendues
- intrusive : elle forme des massifs intrusifs dans les terrains encaissants.

La couverture tertiaire de bordure

La transgression lutétienne a déposé des marnes et calcaires à niveaux phosphatés sur les terrains anciens formant la bordure du vieux continent. Les grès argileux et sables hétérogènes continentaux du Mio-Pliocène recouvrent ces sédiments.

Jusqu'au 14ème parallèle, les latérites recouvrent en grande partie toutes ces formations géologiques.

HYDROGEOLOGIE

1/ Les terrains anciens

- Les schistes et roches vertes birrimiens

La frange d'altération des schistes ne fournit que des débits très faibles. Seuls les réseaux aquifères créés par l'ou-

verture des plans de schistosités dans le voisinage des failles ou des granites intrusifs, ou des massifs de roches vertes sont susceptibles de donner des débits intéressants.

La présence d'un horizon argileux de subsurface dans les produits d'altération des roches vertes s'oppose aux infiltrations. Aucun ouvrage intéressant ne s'y est révélé.

- Les granites

Les arènes de décomposition des granites contiennent plusieurs niveaux aquifères et la nappe d'arène est constituée par l'ensemble de ces horizons. La nappe d'arène est susceptible de fournir de bons débits aux ouvrages de captage. La puissance est étroitement liée à la morphologie du toit du granite sain; les arènes sont en effet beaucoup plus épaisses dans des cuvettes ou poches qu'il est toujours difficile de localiser a priori par de simples observations de surface. Une reconnaissance à la tarière ou par "trou d'homme" ou mieux, une prospection géophysique, s'impose avant toute implantation de nouveaux ouvrages et évitera l'échec rencontré par certains puits.

- Les grès et grès quartzites infracamibriens

Ces formations très résistantes à l'altération sont très peu perméables et ne révèlent que de maigres horizons aquifères lenticulaires, économiquement inexploitables, et qui ne justifient pas, sauf cas exceptionnels, la réalisation d'ouvrages de captage.

L'eau de ces formations percole à travers les fissures de la roche et vient alimenter des sources et résurgences qui apparaissent au milieu des éboulis jalonnant la falaise des grès infracambriens. Le débit de ces sources est de l'ordre du mètre cube/heure.

- Les pélites et grès cambriens

L'inventaire des ressources a montré les faibles possibilités aquifères de ces formations. Les produits d'altération sont sablo-argileux et présentent une perméabilité réduite et discontinue. Les débits que l'on peut espérer obtenir ne sont jamais supérieurs à 10 m³/jour (1)

- Les faciès métamorphiques du Cambrien

Les schistes constituent la roche aquifère exploitée. Ils présentent une décomposition d'autant plus poussée que l'on progresse vers le Sud en climat soudanien. Au Nord, le caractère métamorphique plus accentué et le climat plus aride limite la décomposition à une frange d'altération moins puissante et de meilleure hydraulicité, beaucoup plus favorable à la rétention de l'eau.

(1) Tillite, calcaire et jaspes n'ont pu être observés lors de notre inventaire des puits. Il ne nous a pas été possible de définir leur comportement hydraulique.

- Les grès du Boundou

L'altération profonde de cette formation fournit des sables argileux bariolés à niveaux argileux fréquemment continus. Le faciès plus grossier que présentent parfois ces grès se traduit par la présence de niveaux plus perméables. Des conditions plus favorables se rencontrent dans les zones où les grès ont subi un certain degré de recristallisation.

Les seuls puits productifs ont recoupé la roche saine fissurée.

- Les grès ordoviciens

Les réseaux aquifères des plateaux gréseux de Banharé et de Dalaba alimentent de nombreux marigots. Ce niveau serait donc intéressant mais l'hétérogénéité de détail et le manque d'affleurement ne permettent pas d'en dégager tout l'intérêt.

La série de Bakel et des collines Bassaris : les quartzites sont le siège d'un écoulement d'eau percolant à travers les fissures de la roche et alimentent les schistes et les formations alluviales des petits bassins versants.

Les schistes de Bakel et ceux des collines Bassaris sont pétrographiquement semblables. Cependant, dans la région de Bakel, les schistes-tout comme leur produit d'altération présentent une meilleure hydraulivité :

- présence de filons de quartz jouant le rôle de collecteurs d'eau plus nombreux.
- caractère de fissuration plus important.
- décomposition moins poussée, n'aboutissant pas à la formation d'horizons argileux.

L'évolution du climat vers un régime de plus en plus aride lorsqu'on passe le 14ème parallèle et l'abaissement général du relief se traduisent par une plus faible densité du réseau hydrographique. En dehors de quelques bassins versants de marigots particulièrement importants, Baminkolé - Batchilikolé - Hora Kolé - Gourang Kolé, les nappes alluviales sont généralement de très faible importance.

Pour la mise en valeur de sols de culture, seuls les environs immédiats des marigots offrent d'ailleurs quelqu'intérêt.

CONCLUSIONS

1/ Il n'existe pas de nappes généralisées dans les formations géologiques anciennes du Sénégal Oriental. La faible perméabilité de ces formations s'oppose à la constitution de réserves exploitables en grand. Quelques cas peuvent faire illusion : à la faveur de conditions naturelles, généralement très locales et liées à des phénomènes tectoniques tels que failles, cassures, diaclases et fissurations, les terrains anciens sont parfois le siège d'une circulation d'eau qui constitue dans certains horizons plus perméables et généralement lenticulaires une nappe qui peut alimenter une petite communauté. Ces ressources sont toujours très précaires, difficilement estimables et limitées.

On ne doit cependant pas les négliger et le recours aux seules nappes alluviales ne doit pas être envisagé.

Tous les problèmes à résoudre, qu'il s'agisse de l'alimentation en eau des communautés ou de l'aménagement de sols de culture, doivent faire l'objet de recherches et être résolus sur le plan local, à l'échelon du bassin versant. L'étude hydrogéologique détaillée associée à une étude géophysique est indispensable avant de tenter tout ouvrage autre que ceux sollicitant les inféro-flux. Cette méthode est la seule qui puisse définir le point privilégié et prévenir ainsi de coûteux échecs.

Néanmoins, sauf cas exceptionnels, l'alimentation de groupements humains dépassant 1.000 âmes sera toujours difficile à réaliser.

A N N E X E I

GENERALITES ET CONDITIONS NATURELLES

1 - INTRODUCTION

- 11- Objet de l'étude
- 12- Conditions d'exécution et durée

2 - CONDITIONS NATURELLES

- 21- Situation
- 22- Géographie physique
- 23- Climatologie

1 - INTRODUCTION

11/- Objet de l'étude

A la suite de la Convention 138 FM passée entre le Ministère des Travaux Publics de la République du Sénégal et le B.R.G.M à Dakar, nous avons entrepris l'étude hydrogéologique des terrains anciens du Sénégal Oriental, par une prospection systématique, avec mesures des points d'eau : puits et céanes, sources et résurgences, mares, marigots (estimation des débits).

A. MARTIN nous avait précédé sur le terrain au cours d'une reconnaissance hydrogéologique préliminaire d'une durée de 1 mois (1).

Ce travail de reconnaissance et notre propre étude sont destinés à permettre au Service de l'Hydraulique du Sénégal de préparer un programme d'équipement.

Le Sénégal Oriental est actuellement un pays à vocation essentiellement pastorale. Ses habitants souffrent du manque d'eau, particulièrement en fin de saison sèche, et cependant les ressources aquifères ne sont pas inexistantes : l'eau est partout présente, toutes proportions gardées, sauf cas exceptionnels et limités, comme nous le verrons ci-dessous.

(1) A. MARTIN : "Etude hydrogéologique de la région Kédougou-Bakel". Sénégal Oriental (DAK 63 - A 12).

À quoi attribuer cette carence dont se plaignent les populations ? Des observations de A. MARTIN se dégagent deux conclusions.

- Les ouvrages de captage sont dans beaucoup de cas inadaptés aux terrains rencontrés, et implantés dans de très mauvaises conditions.

- Les ressources de surface (mares, marigots) sont insuffisamment exploitées.

Ces deux points acquis, notre campagne avait précisément pour objet :

1°/ de découvrir les ressources pérennes suffisantes à l'alimentation des communautés;

2°/ de fixer les critères qui devaient prévaloir dans le choix des emplacements à retenir pour l'implantation de nouveaux ouvrages;

3°/ de préconiser le type de ces ouvrages de captage en fonction des terrains recoupés, afin de leur assurer un bon rendement;

4°/ de proposer la mise en valeur de terrains irrigables destinés à la culture, en évaluant leur extension possible sur document topographique.

12/ - Conditions d'exécution et durée de l'étude

Ce programme, dont le déroulement s'avérait simple, s'est révélé en fait assez difficile à réaliser. Deux difficultés majeures ont handicapé nos travaux :

- la première est occasionnée par le recouvrement latéritique qui, jusqu'au 14ème parallèle, s'étend assez uniformément en surface, masquant les formations géologiques sous-jacentes.

- la seconde réside dans le fait qu'il est pratiquement impossible de dissocier hydrauliquement parlant, ces formations géologiques des épandages alluvionnaires de surface. Les ouvrages prospectés sont situés, sauf rares exceptions, en bordure de marigots et foncés dans ces épandages avant de recouper le toit des formations géologiques.

On conçoit dès lors le problème majeur à résoudre : faire la part de ce qui revient aux unes (formations géologiques) plutôt qu'aux autres (épandages alluvionnaires).

121/- Travaux sur le terrain et moyens

Du 5 décembre 1962 au 24 avril 1963, 339 points d'eau ont été inventoriés et 118 échantillons d'eau prélevés aux fins d'analyse.

Nous avons été amené tout naturellement à étendre cette étude aux terrains déposés lors de la transgression tertiaire sur la bordure du vieux continent, et aux formations continentales du Mio-Pliocène qui les recouvrent. Le catalogue d'inventaire des points d'eau et les diagrammes logarithmiques d'analyse chimique des eaux figurent en annexes.

Les moyens mis en oeuvre et la répartition du travail sur le terrain ont été les suivants :

Géologues : ~ H. CAMUS, du 3/12/1962 au 10/4/1963 :

étude de la région s'étendant depuis la frontière sénégalo-guinéenne jusqu'à la piste E-W Gamon-Bransan.

~ J. DEBUISSON, du 8/3/1963 au 24/4/1963 : étude de la région située au Nord de la piste précédente, jusqu'à la latitude de Bakel.

Chaque géologue disposait d'une Land-Rover, d'un chauffeur et d'un cuisinier permanents. La main-d'œuvre supplémentaire était recrutée sur place (guides, porteurs), au fur et à mesure des besoins.

122/ - Méthodes de travail

1221/- Géologie : Les rapports géologiques de J.P. BASSOT et J. BOIS (1), synthèse des travaux de ces deux auteurs et de leurs précédeesseurs, nous ont fourni les connaissances de base sur la géologie de la région.

(1) J.P. BASSOT : "Rapport de fin de campagne 1958-1959"
B.R.G.M. Dakar.

J.P. BASSOT : "Etudes des zones granitiques et birrimiennes de la région de Kédougou". Fédération du Mali, 1960.

J.P. BASSOT : "Etude géologique du Sénégal Oriental. Rapport de fin de campagne 1961". B.R.G.M. Dakar.

J. BOIS : "Mission Sud-Bakel. Campagne 1960-1961".

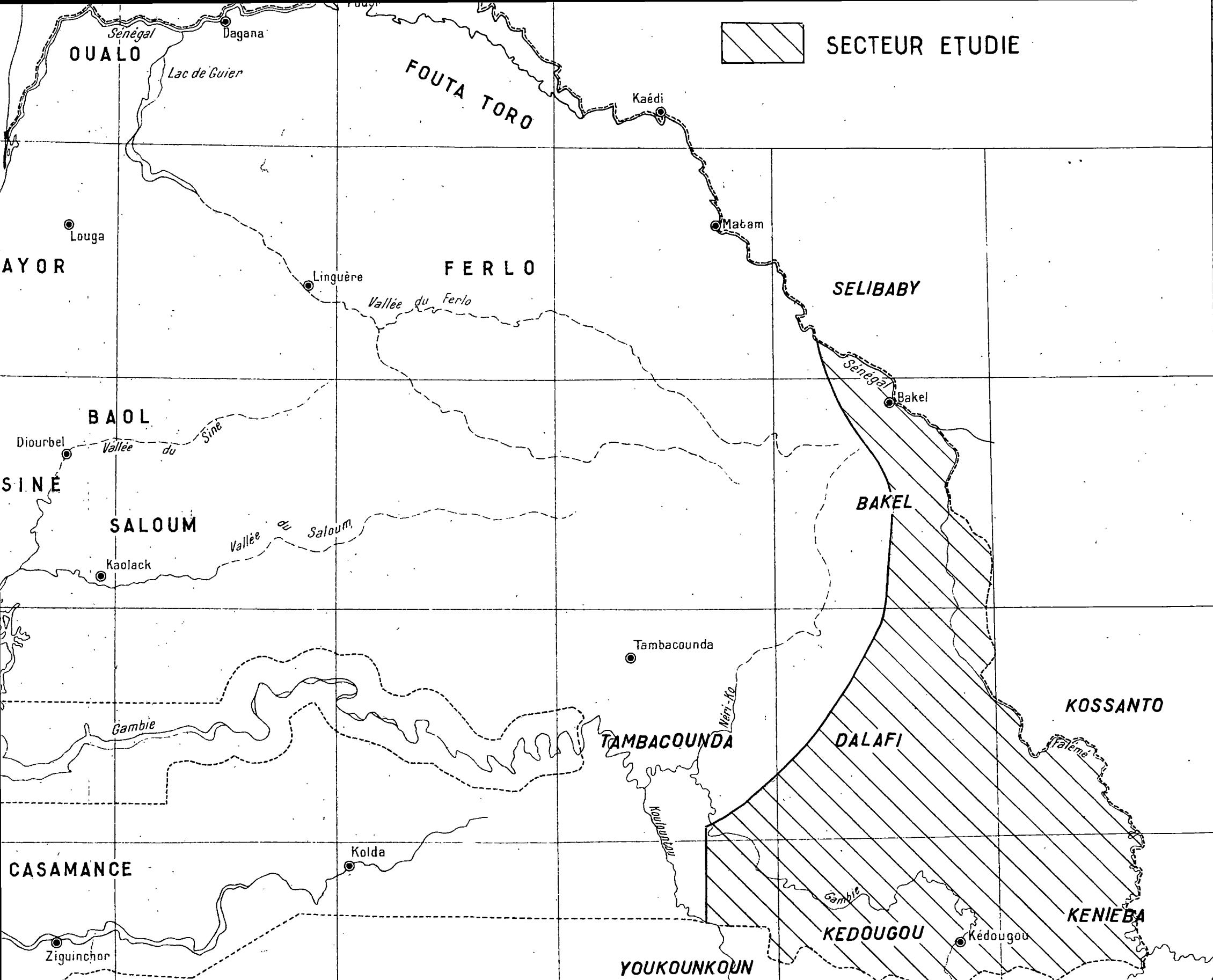
Compte tenu de l'étendue de la région à prospector, de la durée impartie à la mission, et des difficultés à faire du levé géologique au Sénégal Oriental, il nous était impossible d'aborder les nombreux problèmes stratigraphiques et tectoniques qui demeurent à résoudre encore actuellement.

Nous avons repris au début de nos itinéraires plusieurs coupes signalées par J.P. BASSOT et J. BOIS, coupes qui nous ont permis d'observer les différents faciès que nous aurions à rencontrer par la suite. Pour les raisons invoquées ci-dessus, nous n'avons pas pu nous attacher à certains problèmes géologiques qui avaient, au départ, retenu notre attention : relations des terrains métamorphiques et des séries non métamorphiques, position stratigraphique des grès rouges du Boundou et des grès siluriens, tectonique de ces formations.

En l'absence de nouvelles hypothèses à formuler, nous en demeurerons aux conclusions qui ont prévalu jusqu'à présent (Annexe II. Géologie).

1222/- Hydrogéologie - Le ratissage des points d'eau a été entrepris d'une manière systématique. Ce travail, bien que fastidieux, était absolument nécessaire : la constitution d'un catalogue des points d'eau est à la base de l'établissement d'un programme d'équipement hydraulique. Ce catalogue fixe les ressources disponibles actuellement à l'échelon du village et les besoins des populations.

Dans le cadre du développement agricole des secteurs qui nous ont paru favorables, nous avons relevé les débits de grands marigots et de sources pérennes, ou pouvant tout au moins être utilisés pour l'irrigation durant une bonne partie de l'année.



2 - CONDITIONS NATURELLES

21/ - Situation

La région étudiée affecte la forme d'un triangle dont les côtés sont constitués par la frontière sénégalo-guinéenne, la rivière Falémé et le fleuve Sénegal, et la limite terrains anciens - bassin sédimentaire sénégalaïs.

Elle est représentée (en totalité ou pro parte) par les coupures au 1/200.000 de Sélibabi, Bakel, Dalafi, Tambacounda, Youkounkoun, Kédougou, Kossanto, Kéniéba (voir croquis de situation).

22/ - Géographie physique

221/- Orographie

La plaine couvre une grande partie de la région étudiée. Jusqu'au 14ème parallèle, les formations géologiques sont masquées par la couverture latéritique cuirassée ou remaniée. Les seuls reliefs importants sont constitués par la chaîne des collines Bassaris, les massifs de roches vertes de Mako et Bransan, et les pointements doléritiques de Baraboye et N'Débou.

Au Sud, le rebord nord du massif du Fouta Djalon jalonne la frontière sénégalo-guinéenne.

Notons encore les reliefs de moindre importance que forment sur la feuille Bakel les quartzites métamorphiques et les grès rouges du Boundou.

222/- Hydrographie

Le réseau hydrographique très développé est tributaire de trois grands cours d'eau :

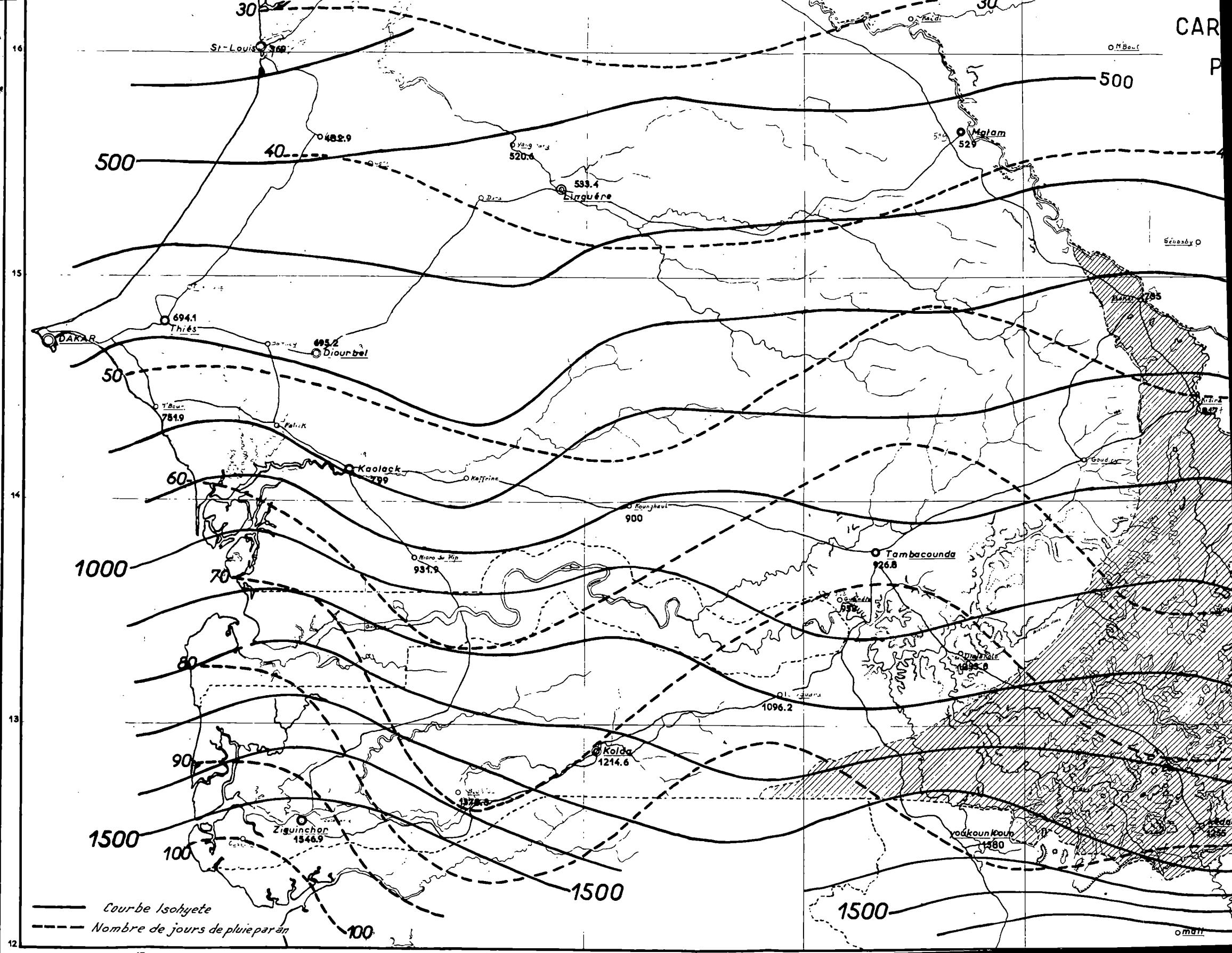
- le Sénégal
- la Falémé
- la Gambie.

23/- Climatologie

Il n'existe au Sénégal qu'une dizaine de stations climatologiques et une trentaine de postes auxiliaires ne fournissant principalement que des données relatives à la pluviosité. Les observations sont réparties dans le temps et l'espace d'une manière très inégale. L'étude climatologique d'une région ne peut donc être abordée que très incomplètement, et nous ne ferons que rappeler les données principales. Nous renvoyons également au rapport A. MARTIN déjà cité (1 p.17- pp. 7-10 et Pl. III) pour plus de détail sur la pluviosité et l'évaporation.

231/- Types de climats (voir Planche I)

L'ensemble du Sénégal Oriental comporte deux zonalités climatologiques, et le passage de l'une à l'autre se fait graduellement :



- au Nord, le climat est de type sahélo-soudanien, avec une saison des pluies étalée de juin à octobre, et une pluviosité de l'ordre de 700 mm à Bakel (maximum d'intensité des pluies en août);

- au Sud domine le caractère soudanien : saison des pluies étalée de juin à novembre; pluviosité de l'ordre de 1.200 mm à Kédougou (maximum d'intensité des pluies en août).

Les pluies sont des averses orageuses (tornades), violentes et de faible durée, mais de forte intensité (50 mm enregistrés en 20 minutes).

La température suit à peu près les mêmes variations dans les deux provinces climatiques, avec des maximums plus élevés pour le type sahélo-soudanien.

L'évaporation croît du Sud vers le Nord, et l'on assiste à un tarissement plus précoce des réserves de surface dans la province sahélo-soudanienne où les cours d'eau sont à sec, sans même trace d'étendue d'eau stagnante dès le mois de février.

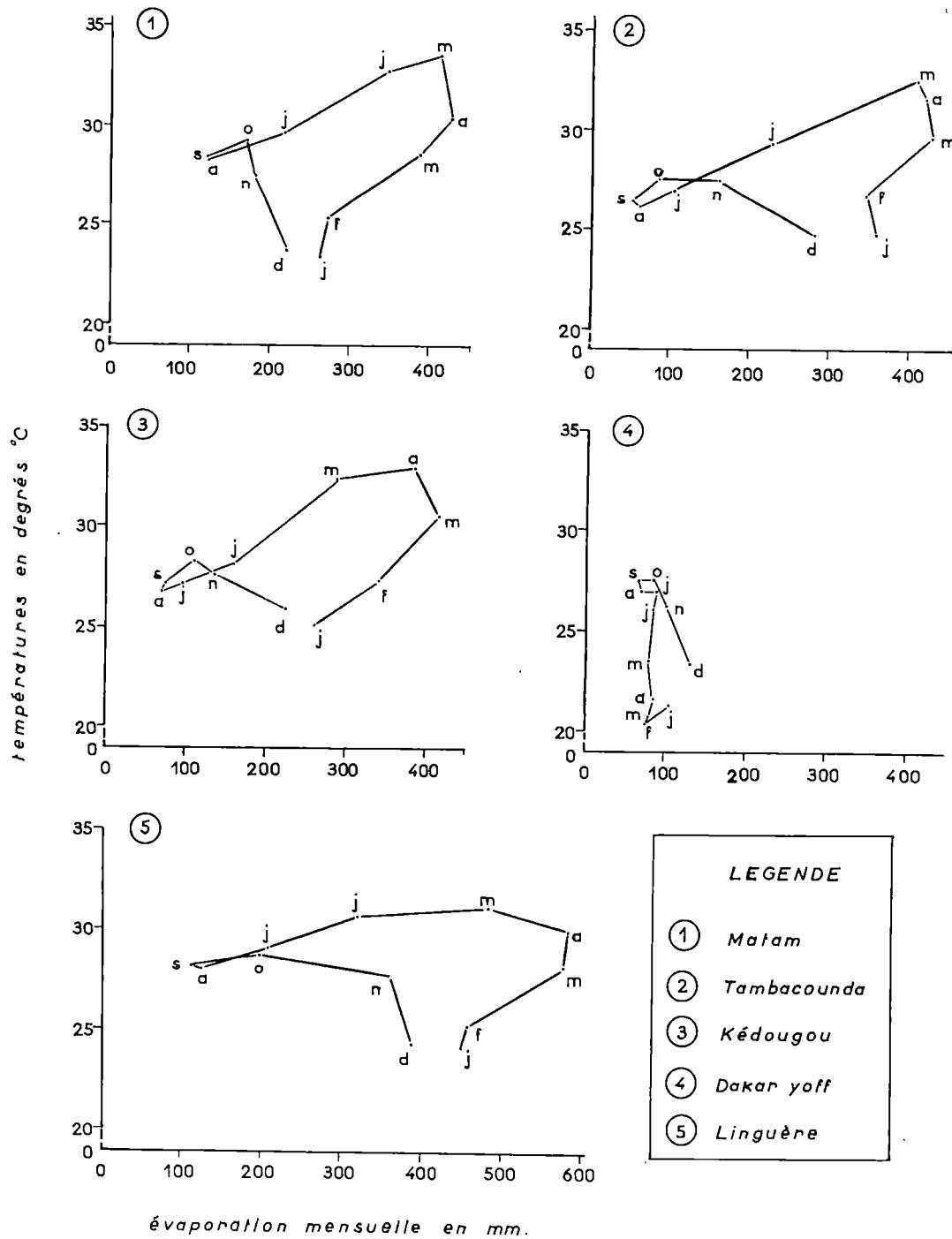
232/- Précipitation

Les normales pluviométriques pour la période 1931-1960 ont été représentées sur une carte au 1/2.000.000 du Sénégal; sur cette carte figurent en grisé les formations anciennes qui font l'objet de notre étude.

La pluviosité subit une décroissance du Sud au Nord, suivant des isohyètes E-W sensiblement parallèles (voir Planche III).

FIGURE II

*Evaporation moyenne mensuelle en fonction
de la température moyenne mensuelle de l'air.*



233/- Drainage mensuel - Ecoulement

Il a été évalué pour les stations de Matam, Tambacounda, Kédougou et Dakar, à titre de comparaison.

Calcul du drainage mensuel

Le drainage mensuel, D_m , peut être défini comme étant la différence entre la pluviosité moyenne mensuelle P_m et l'évapotranspiration moyenne mensuelle E_{tp} . L'évapotranspiration moyenne mensuelle est égale à l'évaporation sur nappe d'eau libre E_l , corrigée d'un coefficient C égal à 0,74.

E_l est égale à l'évaporation mesurée d'après PICHE, multipliée par 0,6.

Donc :

$$D_m = P_m - E_{tp}$$

$$E_{tp} = E_l \times C$$

$$= E \times 0,6 \times C$$

$$D_m = P_m - (E \times 0,6 \times 0,74)$$

$$D_m = P_m - 0,444 E$$

On prendra pour P_m la valeur moyenne d'au moins vingt années d'observations, la valeur de E devant être calculée sur une période d'au moins cinq années.

Pour la réalisation des graphiques d'estimation du drainage mensuel (Figures II et III) nous avons pris pour P_m les valeurs relatives à la période 1931-1960, et pour E celles relatives à la période 1953-1958. En ce qui concerne Kédougou, station pour laquelle les données manquent, la valeur de E est celle de l'année 1955.

FIGURE III

ESTIMATION DU DRAINAGE MENSUEL

A. TAMBACOUNDA

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pm	0.1	0.6	0.1	2.2	19.2	129.3	196.2	275.4	234.6	66.7	2.3	0.1	926.8
E	357	341	423	419	413	228	103	62	54	85	162	281	2928
EI	215	204	254	252	247	137	61.8	36.2	32.4	51.0	91.2	168.5	1756.8
Etp	159	151	188	186	183	101	45.5	26.7	24	37.4	66	123	1290.6
Dm	-158.9	-1504	-187.9	-183.8	-163.8	+28.3	+150.7	+248.7	+210.6	+29.3	-63.7	-122.9	-363.8

B. MATAM

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pm	1.0	0.7	0.3	0.1	3.9	50.4	121.9	202.3	122.0	22.4	2.3	2.2	529.5
E	260	270	383	425	413	345	215	121	121	172	182	220	3127
EI	156	162	230	255	248	207	129	72	72	103	109	132	1875
Etp	114	120	170	188	184	154	96	54	54	76	81	97	1388
Dm	-113.9	-119.3	-169.7	-187.9	-180.1	-103.6	+25.9	+148.3	+68.0	-53.6	-78.7	-94.8	-858.5

C. KEDOUGOU

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pm	0.2	0.4	0.5	7.4	46.6	172.6	257.9	320.1	302.0	129.1	16.7	1.5	1225.0
E	263	341	415	387	288	159	96	71	75	111	138	226	2569
EI	157.9	205	249	232	173	95.5	57.6	42.6	45	66.5	82.8	135.4	1542.3
Etp	115	151.8	184	171	128	71.8	42.5	31.6	33.4	49.3	61.3	100	1140.6
Dm	-114.8	-151.4	-183.5	-163.6	-81.4	+100.8	+215.4	+288.5	+268.6	+79.8	-44.6	-98.5	+84.4

D. DAKAR YOFF

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pm	1.0	2	0	0	3	9	118	244	196	71	4	7	655
E	103	74	82	85	79	86	89	72	69	84	100	130	1053
EI	62	44.5	49	51	48.5	51.6	54	43.2	41.6	50.5	60	78	633.9
Etp	46	33	37.6	37.8	36	38	39	32	30.7	40	44.5	58	472
Dm	-45	-31	-37.6	-37.8	-33	-29	+79	+212	+165.5	+31	-40.5	-51	+183

N.B toutes les données numériques sont exprimées en mm.

Partant des valeurs mensuelles de la pluviosité et des valeurs estimées de l'évapotranspiration potentielle, nous pouvons en déduire le volume d'eau drainant le sol et capable de participer à un lessivage.

Le graphique réalisé nous montre que la quantité d'eau capable de drainer est très forte mais réduite à une courte période de l'année. Pendant cette période, il y a un lessivage intense et une infiltration moyenne dans les terrains perméables.

Remarque

Cette méthode d'analyse est quelque peu schématique. L'unité de temps mensuelle est tout à fait arbitraire et c'est en réalité à partir des tornades instantanées et par des mesures directes de pénétration de l'eau dans le sol qu'il faudrait pouvoir raisonner.

234/- Conclusion

La violence des pluies par ailleurs de courte durée favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration. Le régime des pluies entraîne une dégradation et un lessivage important des sols. Les cours d'eau, débitant en abondance, déposent sur leurs rives des limons grossiers d'une fertilité relative, qu'on peut très difficilement mettre en culture.

L'évaporation active constitue un deuxième élément défavorable à la constitution de réserves aquifères appréciables, dans l'évaluation d'un bilan final.

A N N E X E II

ETUDE GEOLOGIE

1/- Géologie historique

2/- La tectonique post-ordovicienne

ETUDE GEOLOGIQUE

Les conclusions auxquelles aboutiront notre étude hydrogéologique sont étroitement liées à la nature et à l'histoire des formations très diverses rencontrées au cours de nos itinéraires sur le terrain. Les planches géologiques A1, A2, A3 annexées, sur lesquelles ont été reportés les points d'eau, ont été réalisées d'après les travaux de J.P. BASSOT.

Nous traiterons dans cette étude géologique de la genèse des formations et de la tectonique qui les affecte. La lithologie des roches et leur mode d'altération seront envisagés dans l'étude hydrogéologique (Annexe III).

1/ - Géologie historique

11/- Les terrains les plus anciens qui soient connus au Sénégal Oriental sont attribués au Birrimien. Ces terrains : schistes, quartzites, cipolins, roches vertes, ont été plissés par une tectonique birrimienne de direction S.SW - N.NE, et dans leur ensemble sont venus se mettre en place. Ce sont :

- des granites syntectoniques, de direction S.SW - N.NE, contemporains des plissements,
- des granites tarditectoniques, répartis sur le pourtour des massifs précédents,
- des granites post-tectoniques, ultérieurement aux plissements; ces granites recoupent intrusivement les terrains birrimiens.

12/- Après une période d'érosion, la mer a déposé des sédiments essentiellement gréseux, dont les auteurs ont fait l'étage Infracambrien qui repose en discordance sur le Birrimien. L'Infracambrien est observé en affleurement dans la falaise du Fouta-Djallon qui jalonne d'Est en Ouest la frontière sénégalo-guinéenne.

13/- L'ère Primaire débute par le Cambrien qui repose en discordance sur l'Infracambrien ou sur le Birrimien, lorsque le premier fait défaut.

Le Cambrien se répartit en deux séries d'affleurements:

- la bande cambrienne orientale, orientée S.SW - N.NE, qui affleure largement au Sénégal Oriental et se poursuit en Mauritanie;

- le Cambrien de la cuvette synclinale de Youkounkoun, en Guinée, retrouvé au Sénégal à l'Ouest des collines Bassaris.

Ces deux séries d'affleurements sont séparées par les reliefs des collines Bassaris que nous envisagerons en fin de chapitre, car l'âge des formations qui les constituent est sujet à controverse.

14/- L'Ordovicien, gréseux, est le terme ultime de la série primaire pour la région du Sénégal Oriental qui nous intéresse. Il forme les massifs de grès blancs de Banharé et de Dalaba (1). Le contact Cambrien-Ordovicien n'a jamais été observé. Il semble que les grès blancs ordoviciens surmontent en position synclinale les grès rouges du Cambrien.

(1) On retrouve ces grès en Guinée, surmontés par des schistes à graptolithes datés du Gothlandien supérieur. Ces grès pourraient donc en fait, être attribués au Gothlandien inférieur.

15/- La série métamorphique de Bakel et des collines Bassaris

Dans le prolongement de la bande cambrienne orientale, des terrains métamorphiques, schistes et quartzites, affleurent largement au Nord de notre périmètre d'étude, dans la région de Bakel. Ces formations métamorphiques se retrouvent au Sud dans les collines Bassaris, accompagnées de complexes granitiques, de roches vertes (métabasites) identiques à celles des formations birrimiennes, et de roches basiques plus récentes. Ces deux séries d'affleurements doivent en fait constituer une bande continue qui disparaît dans sa partie médiane sous la plaine tertiaire et qui probablement se poursuit en Guinée vers le Sud, sous la cuvette synclinale de Youkounkoun.

L'âge de ces terrains métamorphiques n'est pas établi d'une façon certaine. Dans la région de Kidira, J.P. BASSOT a démontré par une série de coupes, le passage progressif du Cambrien non métamorphique aux schistes quartzites métamorphiques de la série de Bakel, qui serait en partie cambrienne.

Les formations métamorphiques qui constituent les collines du pays Bassaris sont à rapprocher des terrains birrimiens. On y retrouve la même tectonique, les mêmes faciès pétrographiques, en particulier des roches basiques (métabasites) identiques aux roches vertes birrimiennes. Cependant,

J.P. BASSOT cite (1) : "les rapports de ces terrains métamorphiques avec ceux du Cambrien ne sont pas bien établis. En particulier, on n'observe jamais de conglomérat de base ou une discordance angulaire, et terrains métamorphiques et série cambrienne ont été repris par une tectonique post-ordovicienne dont la direction est parallèle à la direction birrimienne de cette partie de l'Afrique Occidentale. La tectonique ne peut donc servir à mettre en évidence une discordance." Il est probable qu'une partie des terrains métamorphiques des collines Bassaris, pour lesquels on n'observe pas de passage progressif aux terrains non métamorphiques, peut être attribuée au Birrimien. Il semble par contre que les quartzites de la bordure occidentale de ces collines soient du Primaire : "On y retrouve des faciès analogues à ceux observés dans le Primaire métamorphique de Mauritanie" (J.P. BASSOT).

16/- Postérieurement à l'ère primaire, des venues éruptives doléritiques sont venues se mettre en place dans les terrains existants. Ces dolérites constituent les massifs de N'Débou et de Baraboye et couronnent la falaise infracambrienne du Fouta-Djallon, de Dinndéfélou à Népin Diaka.

(1) J.P. BASSOT : "Rapport de fin de campagne 1958-1959",
B.R.G.M., Dakar.

17/- La mer s'est retirée à la fin du Primaire. Après les plissements post-ordoviciens, l'érosion s'est emparée du continent. Ce n'est qu'au Tertiaire, avec la transgression lutétienne, que la sédimentation reprendra sur la bordure occidentale des formations anciennes du Sénégal Oriental.

Les marnes et calcaires à niveaux phosphatés du Lutétien inférieur, ou les calcaires à Nummulites du Lutétien supérieur, reposent directement sur les terrains anciens.

Une régression marine, à la fin du Tertiaire sera suivie d'une phase continentale durant le Mio-Pliocène, avec formation de grès argileux et de sables hétérogènes, que l'on a coutume d'appeler "Continental Terminal".

2/- La tectonique post-ordovicienne

Elle affecte la série cambro-ordovicienne et les terrains métamorphiques de la série de Bakel et des collines Bassaris, suivant une direction S.SW - N.NE, parallèle à la direction de la tectonique birrimienne.

21/- La bande cambrienne orientale. Ses rapports avec les terrains métamorphiques de la série de Bakel et des collines Bassaris

Par une série de coupes effectuées du Nord au Sud, J.P. BASSOT a montré que (1) :

(1) Rapport de fin de campagne 1958-1959" et "Etudes des zones granitiques et birrimiennes de la région de Kédougou" 1960.

- le Cambrien oriental est nettement discordant sur le Birrimien ou sur l'Infracambrien,

- il semble être transgressif sur la série des Bassaris; cette hypothèse, fondée sur quelques observations incomplètes, est avancée avec quelque réserve par l'auteur,

- le passage cambrien-série métamorphique de Bakel est progressif.

La bande cambrienne orientale serait donc un synclinal plissé. L'intensité des plissements croît d'Est en Ouest. Au Sud de la Gambie, les plissements s'atténuent et disparaissent finalement, tandis que l'axe du synclinal se relève : en effet, les grès rouges du Cambrien supérieur ne sont plus retrouvés au Sud du parallèle 12°30, à la latitude de Kéwé.

Au Nord de la piste Goudiry-Kidira, ces grès rouges occupent le centre de petites structures syncliniales au milieu des schistes et pélites du Cambrien inférieur, et leur présence est marquée par l'existence de reliefs de l'ordre de 100 à 200 m, fortement tectonisés.

22/- Le Cambrien de la cuvette synclinale de Youkounkoun.
Ses rapports avec les terrains ordoviciens

Une partie de cette cuvette synclinale se trouve au Sénégal, à l'Ouest de la série métamorphique des Bassaris.

La tectonique de ce Cambrien est symétrique de celle de la bande orientale par rapport aux collines Bassaris : les plissements diminuent d'intensité de l'Est vers l'Ouest et s'atténuent du Nord au Sud.

Les deux massifs de grès blancs ordoviciens se trouvent sous forme de synclinaux sur les grès rouges cambriens. Le massif de Banharé est limité au Sud Est par une faille rectiligne ; le massif de Dalaba est constitué de deux blocs accolés, faillés dans leur partie méridionale.

La tectonique qui affecte ces grès est en général plus souple et moins brutale que celle des grès rouges sous-jacents. J.P. BASSOT ne voit là qu'une simple "dysharmonie de plissement" (1).

(1) L'auteur, a, cette année révisé ses hypothèses :

les grès ordoviciens et les formations cambriennes sous-jacentes auraient été affectés par deux tectoniques différentes (communication orale).

HYDROGEOLOGIE

Dans l'étude hydrogéologique, nous distinguerons successivement :

- 1)- les formations anciennes
- 2)- les drainages sous latéritique
- 3)- les terrains tertiaires de la bordure occidentale du vieux continent
- 4)- les épandages alluvionnaires.

Le plan que nous adopterons pour aborder chacun de ces chapitres sera le suivant.

- Lithologie
- Mode et faciès d'altération; premières conclusions appliquées à l'hydrogéologie
- Inventaire de points d'eau, au cours duquel quelques exemples significatifs seront choisis.
- Conclusions.

Dans notre description lithologique, nous serons parfois amenés à nous étendre sur la localisation de faciès variés au sein d'une même formation (Cambrien en particulier).

1/ - Les terrains anciens

11/- Les terrains birrimiens

Ils sont légèrement métamorphisés. Au Sénégal Oriental, ils affleurent au Nord de la falaise du Fouta-Djallon, à l'Est de la bande cambrienne orientale et à l'Ouest de la rivière Falémé.

111/- Le Birrimien inférieur

Il est formé de schistes, de quartzites et de cipolins.

- les schistes : ce sont des schistes sériciteux typiques, de coloration vert pâle, qui ont un aspect soyeux, avec une foliation caractéristique du faciès de la roche. Au contact du granite birrimien, le métamorphisme plus poussé est marqué par l'apparition de biotite.

Ces schistes sont en grande partie recouverts par les formations latéritiques et n'affleurent que très rarement à l'état sain.

La latéritisation progressive transforme les schistes birrimiens en une roche blanche, rosée, pulvérulente, à structure rubanée, qui se débite en plaquettes enrobées de produits argileux. Si l'altération est très poussée, ce qui est bien souvent le cas en pays tropical, elle aboutit à la formation d'une argile sableuse qui interdit toute infiltration profonde. La roche saine est généralement atteinte après traversée d'une vingtaine de mètres de zone altérée.

- les quartzites : leur extension est beaucoup moins grande que celle des schistes et leur présence est parfois marquée dans la topographie par de petits reliefs peu importants.

Ce sont des quartzites micacés sombres, verdâtres, qui offrent une grande résistance à la décomposition.

- les cipolins : ils sont très localisés en affleurement. On les rencontre sur le pourtour du massif doléritique de N'Débou et le long de la Falémé, à l'Est de Missira. De par leur discontinuité, ils n'offrent aucun intérêt hydrogéologique.

112/- Le Birrimien supérieur

Il est formé d'un ensemble de roches éruptives basiques, dénommées "roches vertes", légèrement métamorphisées. Leur présence se traduit dans la topographie par des reliefs importants parsemés de blocs de roches sombres, compactes.

Du Sud au Nord, suivant la direction birrimienne, trois séries d'affleurements importants sont à distinguer :

- le massif de Mako, dans la boucle que fait la Gambie au Nord Ouest de Kédougou
- le massif de Branson
- le complexe basique de la rive droite de la Falémé.

Cette zone s'étend sur 200 kilomètres environ, et se prolonge en Mauritanie d'une part, et dans les collines Bassaris d'autre part, où des pointements de roches basiques vertes peuvent fournir un argument pour attribuer un âge birrimien à la série métamorphique des Bassaris.

Ces roches vertes éruptives, métabasites et métalandésites, sont accompagnées de faciès sédimentaires, tufs, grauwackes, jaspes et argilites, dont il est impossible de fixer l'extension.

L'ensemble forme un complexe volcano-sédimentaire dont la mise en place s'est effectuée sous l'eau, au fond du géosynclinal birrimien.

Vers le Nord, l'intensité du métamorphisme s'accroît avec l'apparition d'amphibolites (rive droite de la Falémé). L'altération des roches vertes est particulière et rapide dans l'espace : sur 0,40 m, la roche devient plus claire et porte déjà les traces d'une altération très marquée. Le produit final de décomposition est une latérite jaunâtre, en pain d'épices, dont les alvéoles sont tapissées d'un matériau finement argileux.

L'épaisseur des terrains d'altération est moins importante que sur substratum schisteux.

La perméabilité est meilleure que celle des schistes altérés, tout en demeurant très quelconque : comme nous le verrons dans l'inventaire des ressources hydrauliques, il se forme généralement à peu de distance de la surface du sol une frange argileuse qui forme le mur d'un horizon aquifère superficiel au-delà duquel l'infiltration est pratiquement nulle.

113/- Inventaire des ressources

SCHISTES

PUITS DE KOSSANTO (n° I.R.H. 22425) - Pl. B3

Nous avons visité cet ouvrage déjà signalé par A. MARTIN. Les mesures effectuées avant puisage ont donné :

- 4,41 m pour la distance verticale du sol au plan d'eau
- 6,01 m pour la hauteur d'eau dans le puits.

Un puits abandonné voisin nous fournit une coupe des formations recoupées : les schistes sont fortement plissés; les plans de schistosité de la roche, subverticaux, favorisent l'infiltration. Ces observations rejoignent celles que nous avons faites dans le marigot voisin où les schistes sont à l'affleurement.

Le débit de ce puits est de l'ordre de 35 m³/jour.

PUITS DE DALOTO (n° I.R.H. 22701) - Pl. B3

Profond de 11,48 m, il est à sec dès le mois de février. Après une formation sablo-argileuse, le puits atteint un niveau altéré de schistes gris verdâtres, en plaquettes enrobées dans un matériau argileux, l'ensemble étant d'une perméabilité médiocre.

PUITS DU DISPENSAIRE DE BANDAFASSI (IRH n° 22421) Pl. B3

Situé au pied de la falaise doléritique de N'Débou, le village compte 5 puits qui exploitent une nappe dans les schistes altérés. Cette nappe bénéficie d'un important apport des dolérites diaclasées qui sont le siège d'une percolation de l'eau à travers les fissures de la roche. Seul puits du dispensaire recoupe les schistes sains. Son débit est bon, de l'ordre de 50 m³/jour. Il contient 10,82 m d'eau. Les autres puits, qui ne recoupent que la partie superficielle des schistes altérés ont un débit négligeable. Ils gagneraient à être approfondi.

ROCHES VERTES

PUITS DE BRANSAN, FALOMBO, SANSAMBA SITOKOUTOU
(I.R.H. n° 22428, 22455, 22456) Pl. B3

Ces trois puits sont creusés dans les terrains d'altération des métabasites et atteignent la roche saine qu'ils ne font qu'effleurer. L'altération est très poussée en surface, et donne naissance sur 0,50 m à un horizon superficiel de sable jaune argileux. Sous cet horizon, la zone d'altération est composée de fragments de métabasite noyés dans un matériau argileux jaunâtre, avec des niveaux plus indurés.

Ces puits ne sont utilisés que partiellement jusqu'en fin de saison sèche où les réserves qu'ils contiennent sont alors puisées. Les populations s'alimentent de préférence aux céanes sub pérennes creusées dans le lit du marigot voisin. La quantité relativement importante d'eau contenue dans ces puits (1,52 m; 2,78 m; 4,06 m) doit donc être interprétée comme l'indice d'un faible débit.

CEANES DE LEOBA (I.R.H. n° 22524) Pl. B2

Les habitants de ce village situé au cœur des massifs de roches vertes au NE de Bransan, puisent l'eau dans une mare qui s'assèche vers le mois de février. Cette mare est alimentée durant l'hivernage par les eaux de ruissellement, abondantes sur les reliefs encaissants. L'évaporation intense assèche rapidement cette réserve de surface.

Cependant l'infiltration n'est pas négligeable, et durant la saison sèche, l'eau est puisée dans des céanes creusées sur l'emplacement même de la mare. A 2,50 m, les céanes rencontrent un horizon argileux jaunâtre, compact et gonflé d'eau, qui forme le mur de la nappe superficielle exploitée et interdit toute infiltration profonde. Cette nappe contenue dans la frange d'altération des métabasites et soumise à l'évaporation voit ses réserves s'appauvrir très rapidement.

Conclusion

Les observations, que nous avons pu faire, tant sur les ouvrages existants que d'une manière plus générale sur les affleurements, nous amènent à conclure que les formations birrimiennes : schistes essentiellement et roches vertes, ne recèlent pas de réserves profondes importantes ou généralisées. Si des ressources existent, ce sera toujours dans des conditions géologiques très particulières (zones de factures, niveaux drainants - cipolins par exemple - etc., ..).

Les schistes ne présentent pas de porosité d'interticales. Le quartz filonien qui crée des niveaux favorables au drainage des eaux dans les schistes plus métamorphiques de Bakel et des collines Bassaris, est très rarement présent dans les schistes birrimiens.

Les réseaux aquifères créés par ouverture des plans de schistosité de la roche seront à rechercher dans le voisinage des granites intrusifs ou des massifs de roches vertes (Kossanto).

Les zones d'altération des schistes, favorables à la circulation et à la rétention de l'eau, sont aquifères. Mais les débits restent en général faibles, sauf cas particuliers (Bandafassi). On s'attachera toujours, lors de l'implantation d'un puits, à poursuivre le fonçage jusqu'à la roche saine, de manière à bénéficier des apports de toute la frange d'altération.

Aucun ouvrage prospecté dans les roches basiques ne s'est révélé intéressant. Nos conclusions rejoignent en ce sens celles de A. MARTIN. L'altération de ces roches ne fourni qu'un matériau faiblement perméable (présence d'un horizon argileux de sub surface qui s'oppose à l'infiltration profonde). Les recherches doivent à notre avis s'orienter vers les zones de massifs de roches saines susceptibles de présenter des réseaux de fractures et une perméabilité en grand.

12/ - Les granites

Ils sont birrimiens ou cambriens, à l'exception du complexe de Badi, non daté. Nous fixerons leur répartition et leurs caractères pétrographiques macroscopiques, avant d'aborder d'une manière générale le mode d'altération des roches granitiques, sous climat tropical.

121/- Types de granite

- les granites birrimiens : ils se sont mis en place dans les terrains birrimiens.

a/ Les granites syntectoniques, orientés parallèlement à la direction birrimienne, forment les massifs de Saraya, Kakadian (1), Yamoussa. Ce sont des roches à grain moyen, dont l'orientation des minéraux micacés (biotite) n'est pas toujours décelable à l'oeil nu.

b/ Les granites post-tectoniques de Maniankanti, Badon, Tinkoto et autres petits pointements recoupent "à l'emporte-pièce" les terrains birrimiens. Il s'agit de granites non orientés, à grain moyen, dont la structure plagiodynamique est visible à l'oeil nu.

c/ Les granites tarditectoniques, sont répartis sur la bordure des massifs syntectoniques.

(1) Le granite de Kakadian est hétérogène : sa mise en place donne lieu, soit à un contact intrusif net, soit à un contact qui se traduit sur les roches encaissantes par un fin plissotement.

- le granite intrusif de Niokolo-Koba, entouré d'un complexe de rhyolithes, de tufs acides et de microgranite est daté du début du Cambrien.

- le Complexe granitique de Badi est formé d'un noyau de granite légèrement métamorphisé passant à l'extérieur à des microgranites et rhyolithes étirées.

122/- Altération des roches granitiques

Au contraire des roches vertes, la décomposition des granites est lente et progressive. La zone immédiatement sus-jacente à la roche saine, et qui marque le départ de la décomposition, est épaisse et conserve la structure initiale du granite.

Ce sont les feldspaths plagioclases qui s'altèrent les premiers; le résidu de décomposition est constitué par une fine poussière blanche, argileuse. En fin de compte, seul le quartz subsiste à l'état de "dragées".

Il se forme en définitive une arène sablo-argileuse, à éléments de quartz détritique, pouvant présenter des niveaux plus indurés.

L'épaisseur des terrains d'altération est variable et peut être appréciable : en climat tropical, on rencontre des puissances de l'ordre de 40 à 60 m (Côte d'Ivoire en particulier où les recherches d'eau en arène granitique ont été généralisées pour l'alimentation de nombreuses localités). En climat sahélien, les terrains d'altération sont beaucoup moins épais.

Au Sénégal Oriental, on peut difficilement avancer un ordre de grandeur qui soit basé sur des observations précises. Les ressources aquifères des arènes granitiques sont exploitées par puisards (céanes) qui ne sont jamais très profonds et qui ne donnent aucun renseignement sur la lithologie profonde des arènes. Aucun des puits sur granites creusés cette année par la "mission latérite" du B.R.G.M. n'a atteint la roche mère inaltérée. Le plus profond de ces puits, implantés dans la cuirasse latéritique du glacis inférieur à l'Ouest de Tinkoto, a dû être abandonné après une vingtaine de mètres, dans l'arène, par suite d'éboulements.

Les arènes de décomposition qui se forment sur les granites recèlent presque toujours une nappe exploitable. L'emplacement de ces nappes est lié à la morphologie souterraine du toit du granite sain, morphologie qui, en surface, est, a priori, inconnue. Quant au granite, sain par lui-même, il ne peut être le siège que d'une circulation de fissures, s'il est fracturé.

Les études hydrogéologiques en arènes granitiques ont été particulièrement approfondies en Côte d'Ivoire. De nombreux sondages avec essais de débit ont permis de tester les possibilités aquifères des différents horizons d'une arène, et de fixer les caractères de perméabilité différentielle de ces horizons.

Nous empruntons à G. GUERIN-VILLAUBREIL la coupe type suivante (1).

(1) "Hydrogéologie en Côte d'Ivoire", rapport S.G.P.M.,
mai 1957

- a) Argiles grises, riches en matières humiques, passant à des argiles blanches compactes (2,50 m).
- b) Sable et argile sableuse claire, parfois latéritisée en grès ferrugineux; vers la base, les argiles sont micacées (22 m au maximum). Cet ensemble est perméable en grand.
- c) Argiles sableuses micacées gorgées d'eau; altération extrême des feldspaths ("kaolin" des puisatiers (5 à 16 m)).
- d) Sables feldspathiques peu argileux, micacés; les feldspaths sont peu altérés; la structure du granite est visible. Cette zone peut ne pas exister, ou bien prendre une extension assez importante (0 à 10 m).
- e) Granite altéré, perméable en grand, présentant une certaine cohésion; l'altération chimique commence à se manifester le long des diaclases (5 à 10 m);
 - Perméabilité enregistrée pour d): $2 \text{ m}^3/\text{h}$ au mètre foré.
 - Perméabilité enregistrée pour e): $1 \text{ m}^3/\text{h}$ au mètre de granite altéré fissuré.

Le niveau c) est inexploitable et est une source continue d'ennuis pour les puisatiers.

Sur le massif granitique de Tinkoto (P1B3), un puits implanté par la "mission latérite" du B.R.G.M., au Sénégal Oriental a donné la coupe suivante (figure ci-contre) :

de 0 à 3,50 m : formations latéritiques indurées et encroûtées

de 3,50 à 4,50 m : argile gris-verdâtre à passées argileuses de couleur rouille

de 4,50 à 7,86 m : arène argileuse blanc rosé à jaunâtre, à grains de quartz abondants.

Le puits s'est arrêté à cette profondeur sans rencontrer les formations sableuses et le granite altéré aquifères des niveaux d) et e).

J. ARCHAMBAULT, à propos de la perméabilité des différents horizons d'une arène en distingue 4 types (1) :

- "perméabilité par tubulures et canalicules anastomosés et répartis au sein d'une masse argileuse pratiquement ou totalement imperméable,

- perméabilité d'interstices résultant de l'existence au sein de la masse d'arène de niveaux délavés, pauvres en argile, riches en quartz,

- perméabilité de type vertical ou oblique résultant de la fragmentation des arènes, dépôt d'altération "in situ" par les filons de pegmatite qui recoupaient le granite ou le gneiss originel,

- à la base des arènes juste au-dessus de la roche saine existe d'habitude une zone de transition caractérisée par une bien moindre kaolinisation des feldspaths; une sorte de granite à peine altéré mais devenu de ce fait fissuré, poreux et assez perméable".

(1) "Quelques aspects de l'hydrogéologie de la Haute-Volta".

Rapport B.U.R.G.E.A.P., R 175, 1954.

Les différents types de granite rencontrés au Sénégal Oriental et dont nous avons fixé la répartition en début de chapitre ne se distinguent pas hydrogéologiquement parlant. Leur altération conduit à la formation d'arènes présentant en gros les mêmes caractères lithologiques et les mêmes types de perméabilité définis par J. ARCHAMBAULT. Les seules différences dont on puisse faire état tiennent à la taille des éléments détritiques : il est évident que l'altération d'un granite grossier conduira à un matériau d'arène plus perméable que celui que pourrait donner par désagrégation un granite à grain fin.

123/- Inventaire des ressources

PUITS DE SARAYA (22433-22434) PlB3

Ces deux puits au débit extrêmement faible (200 à 300 l/jour) recoupent des formations aplitiques et pegmatitiques non altérées, du granite de Saraya, présentant une perméabilité de fissures pratiquement nulle. Le puits de la place du village (22433), pollué et manifestement mal entretenu, est inutilisé.

A proximité du marigot de Saraya, une vingtaine de céanes creusées dans l'arène granitique exploitent à 2 ou 3 mètres de profondeur la partie superficielle aquifère des sables et argiles sableuses (niveau b). Deux ou trois de ces céanes sont utilisées par les habitants; les autres sont envahies par la végétation aquatique ou plus ou moins comblées.

PUITS DE SAMEKOTO (22642) PLB3

Inutilisé; le débit pratiquement nul de ce puits est la cause de son abandon; il est arrêté à 4,75 m dans un microgranite à filon de pegmatite à tourmaline non altéré.

PUITS DE BAITALAYE (22634), SAMEKOUTA (22635) PLB3

Ils ont atteint le toit du granite sain qu'ils recoupent superficiellement.

- A Baitalaye : $H = 4,39$ m
 $h = 2,46$ m (1)

- A Samékouta : $H = 4,19$ m
 $h = 3,99$ m

La zone des granites altérés (horizon e) caractérisée par une bonne fissuration est à l'origine des débits intéressants de ces puits : 15 et 25 $m^3/jour$.

PUITS DE MISSIRA (22699) PLB3

Après 12 mètres de formations latéritiques encroûtées, plus ou moins indurées, le puits a rencontré une arène de sables feldspathiques argileux, à éléments grossiers.

$H = 12,39$ m
 $h = 1,73$ m.

(1) H désigne la distance verticale depuis le niveau du sol jusqu'au plan d'eau; h est la hauteur d'eau dans le puits.

Débit de $10 \text{ m}^3/\text{jour}$, soutenu durant toute l'année.

PUITS N° 2 DE TINKOTO

Profond de 20 mètres, il a atteint la nappe d'arène à 15 m, dans le granite altéré en place. Son débit est de l'ordre de $2 \text{ m}^3/\text{h}$.

124/- Conclusion

Il existe dans les arènes granitiques, différents niveaux aquifères superposés. La nappe d'arène est constituée par l'ensemble de ces horizons présentant des possibilités différentes de rétention de l'eau.

Les niveaux auxquels il sera de préférence fait appel sont ceux désignés dans la coupe de G. GUERIN-VILLEAUBREIL sous l'appellation de niveaux b et e. L'horizon d, dont l'exploitation aisée donne habituellement satisfaction, n'est pas partout représenté : nous ne l'avons pas rencontré au cours de notre prospection.

Au Sénégal Oriental les conditions climatiques n'ont pas permis une altération profonde des granites. La frange varie de 5 à 15 m (15 m me semble un peu faible : puits profond de Tinkoto arrêté à 23 m, dans les arènes, sans avoir atteint la roche mère : de l'ordre d'une trentaine de m sans doute). Il en résulte que les possibilités seront toujours faibles ou modestes.

La prospection hydrogéologique en arènes granitiques

A titre d'information, nous donnerons les différentes techniques de recherches des nappes d'arènes. Nous insistons sur le fait que si la méthode des sondages préliminaires de reconnaissance ne se justifie pas actuellement au Sénégal Oriental, les études géophysiques peuvent être très précieuses avant toute implantation d'ouvrage. L'expérience, en Haute-Volta notamment, a montré combien cette méthode était à conseiller par le pourcentage relativement élevé de succès.

Si l'ampleur de ces besoins dépassait les normes actuelles, (économie s'orientant vers une industrialisation : traitement sur place de minerais exploitables par exemple), il serait alors nécessaire d'envisager la mise en œuvre de moyens de prospection plus importants.

R. DEGALLIER et G. GUERIN-VILLEAUBREIL, dans une "Note sur les études hydrogéologiques en arènes granitiques" (1), ont fixé un ordre de grandeur des besoins en fonction desquels ils préconisent les dispositifs d'étude auxquels il est nécessaire d'avoir recours.

(1) Avril 1957. Les ordres de grandeur exposés sont valables en climat tropical; ils ne peuvent s'appliquer qu'avec beaucoup de réserve aux pays à régime climatique sahélien, caractérisés par une pluviosité moindre.

- Besoins de l'ordre de $10 \text{ m}^3/\text{jour}$: puits creusés sans prospection préalable, ou simple reconnaissance par "trou d'homme" pour éviter un échec comme celui des puits de Saraya. C'est la méthode à appliquer au stade actuel des besoins.

- De 10 à $100 \text{ m}^3/\text{jour}$: reconnaissance hydrogéologique indispensable avant toute implantation de puits ou sondages.

- De 100 à $1.000 \text{ m}^3/\text{jour}$: études hydrogéologiques et prospection sismique détaillées, complétées par sondages.

- Besoins supérieurs à $1.000 \text{ m}^3/\text{jour}$: études hydrogéologiques en vue de la construction de barrages réservoirs, en plus des techniques déployées pour les besoins précédents.

13 - Les terrains infra-cambriens

D'une puissance de 900 à 1.100 m , ils forment le rebord nord de la falaise du Fouta-Djallon, et reposent en discordance sur le Birrimien plissé. La série est affectée d'un léger pendage vers le Sud Est (10° environ). Elle comprend, de bas en haut :

- des grès quartzites roses, compacts, à passées gréseuses plus tendres, à stratification entre-croisée. (200 à 300 m); localement, ces grès passent à des calcaires gréseux rougeâtres, riches en limonite,
- des pélites rougeâtres plus ou moins calcaires (500 m),
- des grès quartzites roses, identiques aux premiers (200 m),
- des pélites et schistes calcareux bariolés, rouges et gris (100 m).

Les grès quartzites de base forment le ressaut de la falaise du Fouta-Djallon. Ils sont fortement diaclasés à la faveur d'accidents tectoniques, et particulièrement résistants à l'altération. En surface, au sommet de la falaise, ils sont latéritisés. Les pélites et les schistes calcaieux, plus tendres, affleurent rarement dans la plaine au Sud de Ségou (1).

Aucun puits n'a été trouvé dans les grès quartzites de base de la falaise du Fouta-Djallon. Au Sud de Ségou, les terrains schisto-gréseux qui constituent le reste de la série infrafacambrienne sont en territoire guinéen. Nous n'avons, à notre connaissance, aucun renseignement sur l'existence de puits dans cette région.

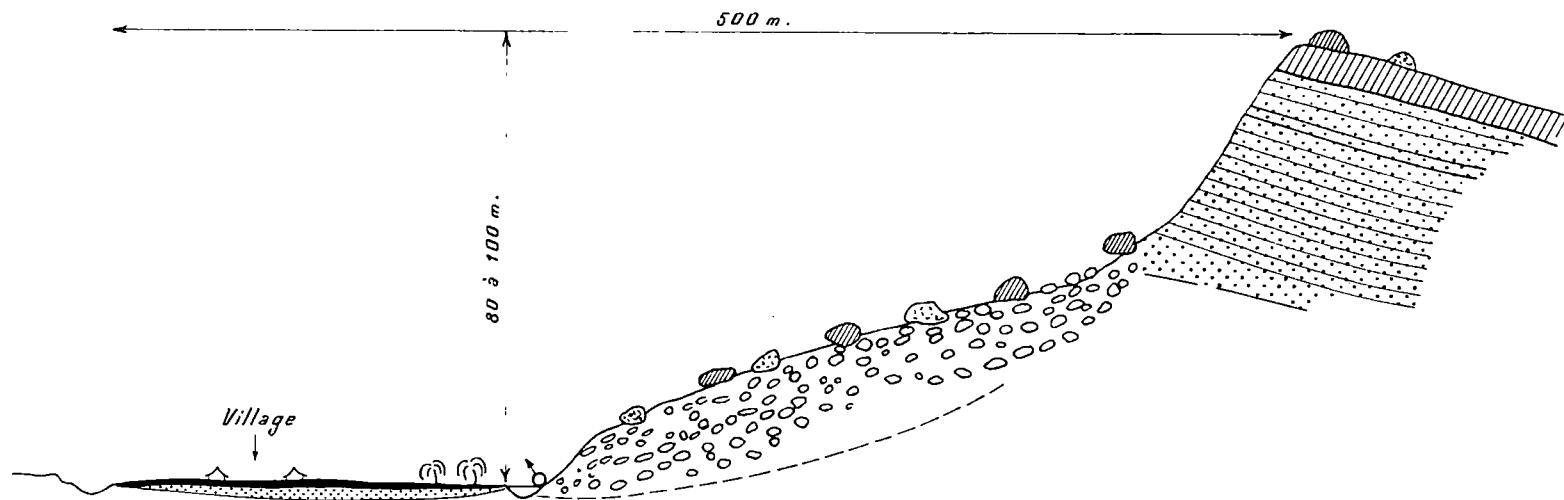
Les grès quartzites, roses, peu altérés, sont pratiquement imperméables, et les fissures et diaclases sont surtout développées en surface. Dans ces conditions, il est peu probable que ces grès quartzites soient le siège d'une importante circulation d'eau. Les sous-écoulements en provenance de la falaise, exploités par les villages situés au pied de celle-ci attestent cependant de la présence d'eau dans la formation.

(1) Seuls les quartzites de base ont été vus en affleurement, le reste de la série étant situé en territoire guinéen. La coupe est empruntée à J.P. BASSOT.

COUPE DE LA RÉSURGENCE DU VILLAGE DE DINNDIARI

N.

S.



Recouvrement latéritique



Grès Infracambriens: grès quartzitiques
en petits bancs



Eboulis de pente : blocs de grès et de recouvrement latéritique



Formation gréso-argileuse, éléments très fins mêlés à des
débris végétaux donnant une formation à possibilité de culture



Eléments détritiques gréseux, très fins



Bananier



Resurgence

Les niveaux aquifères sont localisés dans les passées gréseuses tendres passant latéralement à des calcaires gréseux, que l'on trouve au sein des grès quartzites. Ils sont de par leur importance réduite (les passées sont lenticulaires), très difficiles à rechercher et ne justifient pas la, réalisation d'ouvrages de captage.

La réserve d'eau qu'ils contiennent percolé à travers les diaclases des grès quartzites, puis diffuse dans les éboulis qui jalonnent le front de la falaise, pour s'écouler dans les dépôts qui comblient les vallées.

Ces formations sont constituées par des fragments de grès quartzites de taille variable (diamètre de l'ordre du mètre à quelque centimètres) et de blocs latéritiques.

Tous ces éléments sont plus ou moins liés par un ciment sablo-argileux dû au lessivage des roches en place par les eaux de ruissellement.

Un tel matériau constitue par sa bonne perméabilité un excellent réservoir aquifère, alimenté par infiltration directe et par les eaux de percolation des grès quartzites.

A certaines ruptures de pente, des sources surgissent ainsi au milieu des éboulis.

Les débits de ces sources vont d'une vingtaine de litres/heure (Bolo) au m^3 /heure (Dinndiari; n° IRH 22721 PlB3).

La présence de cultures de bananiers, aux abords immédiats de ces sources, atteste vraisemblablement de la pérennité de l'eau.

Des cultures maraîchères à l'échelon du village peuvent être envisagées. Il ne s'agit pas ici à proprement parler de ressources de l'Infracambrien mais beaucoup plus sûrement d'infiltrations dans le manteau d'éboulis et les dépôts de comblement de vallées.

14/ - Les terrains cambriens

Ils présentent une puissance et des faciès très variés. Nous distinguerons :

- le complexe de base, association de tillites, de calcaires et de jaspes,
- les pélites schisteuses et les grès qui forment le terme moyen de la série,
- les grès rouges, plus ou moins argileux, que l'on retrouve sous un même faciès dans tout le Sénégal Oriental, et qui terminent la sédimentation cambrienne.

141/- Lithologie et variations de faciès

Nous avons vu (Tectonique post-ordovicienne page 33) que la bande cambrienne orientale, transgressive à l'Est sur le Birrimien et à l'Ouest sur la série métamorphique des Bassaris, pouvait être considérée comme un synclinal plissé dont le centre serait occupé par les grès rouges supérieurs, dits "grès du Boundou".

Les grès et pélites schisteuses moyens, retrouvés sur le flanc ouest du synclinal, sont métamorphisés; les grès du Boundou sont eux mêmes légèrement recristallisés.

Sous le parallèle 13°50, les schistes et pélites cambriens sont accompagnés de formations d'origine volcano-sédimentaires: jaspes, tufs cinéritiques, cherts, radiolariates, sur toute l'étendue de la bordure occidentale du synclinal cambrien. Les manifestations volcaniques semblent croître du Nord au Sud pour atteindre un degré maximal d'intensité aux environs du 13ème parallèle où le complexe effusif acide du Niokolo-Koba est représenté par une puissante formation de tufs et de rhyolithes.

A la même latitude, un complexe de nature identique est trouvé sur la bordure orientale du synclinal, autour du granite intrusif de Maniankanti.

Au-dessus du parallèle 13°50, les faciès paléo-volcaniques sont représentés très localement, et notamment dans la région de Kidira par des tufs, des jaspes, des cinérites et des grauwackes (1).

Nous décrirons cinq coupes dont les emplacements sont localisés sur les planches A1, A2, A3, et qui traduisent les variations de faciès du Cambrien.

(1) Les faciès paléo-volcaniques se retrouvent donc à l'Est du grès du Boundou.

a) Coupe I Coupe du marigot Hora-Kolé de Amadji à la route Kidira-Bakel (PlA1)

- Le marigot entaille sur 5 km une plaine qui correspond à des grauwackes associées à des bancs de jaspes bleu-gris.

- Sur 800 m, grès rouges argileux
- Pélites jaunâtres et grès.

b) Coupe II Coupe suivant la piste Dalafi-Sonfara (PlA2)

Nous avons effectué cette coupe déjà signalée par J.P. BASSOT (1).

- Grès rouges altérés sur 12 km, recouverts en majeure partie par la latérite.

- Sur 15 km, jusqu'à Sonfara, aucun affleurement; dans le lit du Fouroum, à 2 km au Sud de la piste, sont visibles des pélites jaunes en plaquettes, dans lesquelles sont interstratifiées des bancs de grès à patine chamois.

Au Sud de Sonfara, le marigot Baledjiel entaille la piste qui mène à Branson. Nous y retrouvons les pélites jaunâtres qui, si nous suivons le marigot vers le Nord Est, en descendant dans la série, passent à :

- un calcaire conglomératique avec niveaux gréseux (2), reposant sur le granite birrimien.

(1) Rapport de fin de campagne 1958-1959, B.R.G.M. Dakar.

(2) Assimilé à la tillite de Kayes, base du Cambrien, par J.P. BASSOT.

c) Coupe III Coupe entre Soukouta et Oussounkala (PlA3)

Partant de Soukouta vers Oussounkala au Sud Est, nous trouvons :

- granite birrimien intrusif de Maniankanti,
- rhyolithes et grès tuffacés bréchiques passant à des jaspes gris, sur 1 km,
- grès jaunâtre grossier, sur 3 km,
- schistes verdâtres birrimiens,
- éboulis doléritiques au pied du massif de Baraboye.

Nous retrouvons le faciès rhyolithique signalé par J.P. BASSOT dans sa coupe Est-Ouest de la Gambie, entre Soukouta et Worouli où ce faciès est surmonté de pélites jaunâtres passant ensuite aux grès rouges du Boundou, auxquels fait suite un tuf jaspeux grisâtre. Ce tuf serait contemporain des pélites jaunâtres (grès grossier de notre coupe) qui constituent le Cambrien moyen.

d) Coupe IV Coupe du marigot Kannta en amont de la piste Kédougou-Mali (PlA3)

Nous l'empruntons à J.P. BASSOT; elle est la suite de la coupe, en territoire guinéen, de la falaise infracambrienne du Fouta-Djallon.

Sur les schistes bariolés rouges et gris infracambriens, on observe de bas en haut :

- tillite à faciès bréchique (1 à 1,50 m)
- schistes péliteux jaunâtres (3 à 4 m)
- grès quartzites blancs, grossiers à la base (20 à 30 m)
- jaspes gris bleuâtres
- pélites grisâtres (100 m)
- dolérite post-primaire.

e) Coupe V Coupe de la piste Banharé (gué sur la Gambie)
Badi (PlA3)

- Dans le lit de la Gambie, à Banharé, on trouve des grès rouges feldspathiques, fins à grossiers, très diaclasés et plissotés, à pendage de 75° vers le Nord Ouest.
- Zone sans affleurement.
- A 6 km après l'embranchement de la piste qui va au campement de Nickolo-Koba, des grès blancs quartzeux, à cassure esquilleuse (Ordovicien du massif de Banharé).
- Une zone de 20 km recouverte par la latérite, avec quelques affleurements de grès rouges visibles à la faveur de marigots dont les lits entaillent le recouvrement de surface.
- Après le coude de la piste vers le Nord, dans le lit du marigot Tialzas affluent de la Gambie : pélites gréseuses, jaunâtres à pendage de 40° vers le Sud-Sud Ouest, passant vers la base à des schistes gréseux verdâtres.
 - Tufts très fins grisâtres
 - Rhyolithes
 - Granite intrusif du Nickolo-Koba.

L'épaisseur totale des formations cambriennes est variable et difficilement estimable. Nous avancerons, sous toute réserve, 1.000 à 3.000 m pour la série.

142/- Altération des terrains cambriens - Inventaire des ressources

Du point de vue hydrogéologique, seuls les pélites schisteuses jaunâtres, les grès rouges plus ou moins argileux et les schistes et quartzites métamorphiques retiendront notre attention.

La séquence gréo-schisteuse domine dans l'ensemble du Cambrien, et les formations de base: tillite calcaire, jaspes, et les roches du complexe volcano-sédimentaire n'ont pas été rencontrées lors de notre inventaire des puits, en tant que roche-magasin.

1421/- Pélites et grès schisteux

Les produits d'altération sont sablo-argileux. La décomposition, au cours du processus de latéritisation, abouti à un matériau de perméabilité réduite et discontinue.

Il ne faut pas escompter de débits supérieurs à $10 \text{ m}^3/\text{jour}$ et le tarissement survient rapidement.

La décomposition chimique est facilitée par la fissuration et les diaclases que présentent ces roches; en surface, elles se débitent en plaquettes bien individualisées. Mais les fissures de la roche saine sont toujours, en profondeur, colmatées par les argiles de décomposition. Les sols d'altération des polites schisteuses et des grès cambriens conservent des témoins de ces roches enrobés dans une matrice de sable argileux ou d'argile sableuse jaune ayant conservé la couleur de la roche.

Inventaire des ressources

PUITS DE N'DEBOU (n° IRH 22408) PLB3

Situé au pied d'un massif doléritique, il est creusé dans des pélites jaunes, fissurées, alimentées par les dolérites diaclasées dont les éboulis couvrent les pentes du massif. Son débit est bon; cependant, la "soudure" s'effectue difficilement en fin de saison sèche :

- mesures à la date du 13/5/62: - H = 12,30 m
h = 0,88 m
- mesures à la date du 19/12/62: - H = 6,56 m
h = 7,74 m

(le puits a été approfondi).

PUITS DE NEPIN DIAKHA (22412) et de NEPIN PEULH (22413) PLB3

Situés au pied de la falaise du Fouta-Djallon, ils recoupent des pélites jaunes en place; inventoriés par A. MARTIN (1), leur débit respectif est nul "malgré leur position hydrogéologique a priori favorable" (faible perméabilité des pélites). Les marigots prenant naissance au pied

(1) Voir p. 20 rapport cité p.1

de la falaise constituent en fin de saison sèche les seuls points d'eau pouvant subvenir aux besoins des deux agglomérations.

PUITS DE SANBAKOLO (n° IRH 22579) PlBl

Ce puits commencé en 1956 par l'Administration, a été arrêté la même année faute de crédits. Les travaux ont été repris cette année par les habitants; le niveau aquifère a été atteint à 14,58 m. Les déblais sont entièrement constitués de pélites schisteuses vertes, très argileuses et altérées, de faible perméabilité. Le débit est nul; l'alimentation à partir du marigot Maïssa Vassa qui dessine cependant un important chevelu hydrographique à proximité du puits est très réduite.

PUITS DE KIDIRA 2 (n° IRH 22566) PlBl

Il est situé en bordure de la Falémé à 100 m au Nord de la voie ferrée.

mesures à la date du 3/4/63 : $H = 14,76 \text{ m}$
 $h = 0,66 \text{ m}$

Le puits est inutilisé et le niveau statique s'équilibre avec celui de la Falémé. Il recoupe des pélites schisteuses rougeâtres, se débitant en parallélépipèdes, peu altérées.

PUITS DE DEDJI (n° IRH 22559) PlBl

mesures à la date du 2/4/63 : $H = 7,47 \text{ m}$
 $h = 3,22 \text{ m}$

Débit non estimable, vraisemblablement faible : le puits est inutilisé, car il fournit une eau salée impropre à la consommation. Après avoir recoupé 1,50 m de sable argileux, il traverse 9,30 m de pélites rouge violacé contenant des bancs franchement gréseux.

Conclusion

L'inventaire des ressources confirme les faibles possibilités aquifères de ces formations. Seul le puits de N'Débou bénéficie d'un bon débit : les pélites fissurées sont alimentées par les dolérites.

Les points d'eau sont extrêmement rares et pour la plupart inutilisés (DEDJI, KIDIRA). L'apport des marigots ou des nappes alluviales est insignifiant.

1422/- Les faciès métamorphiques du Cambrien

Ce sont des schistes micacés et des quartzites-grès et grès quartzites; tous les faciès intermédiaires peuvent être rencontrés.

Les schistes sont généralement gréseux, de gris verdâtre à vert clair, parfois rouge violacé. La séricite est plus ou moins abondante. Certains faciès sont franchement argileux et moins métamorphiques.

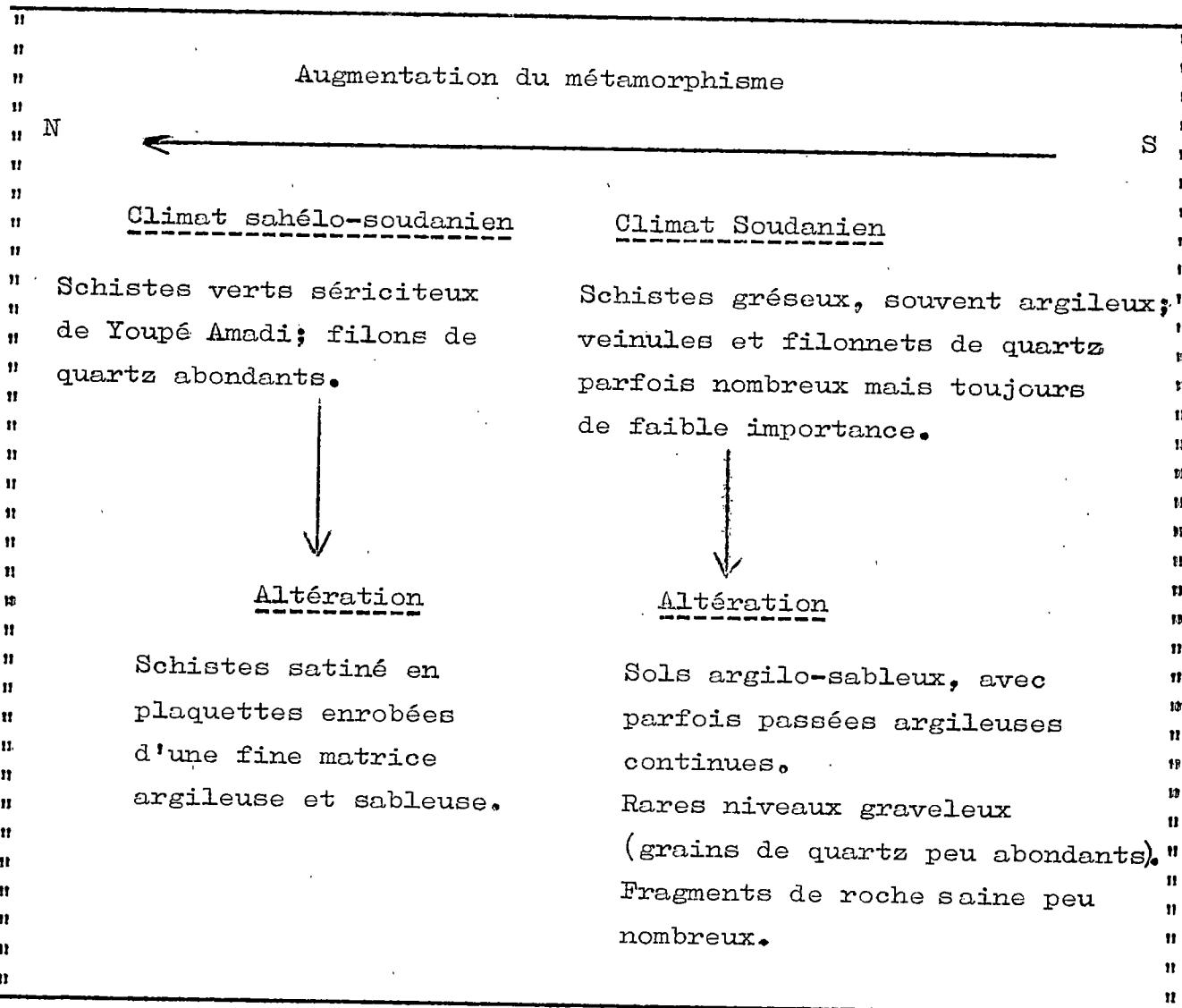
Les grès-quartzites et quartzites-grès présentent de nombreux aspects : quartzites blancs à muscovite, orientés; quartzites grossiers; quartzites verdâtres à chlorite; quartzites mauves.

Les faciès schisteux ont des pendages de schistosité de l'ordre de 50 à 80°; les quartzites plus résistants ont un pendage beaucoup plus faible et sont en général très fracturés.

Altération

- Les quartzites sont peu altérés. Les affleurements sont rares; il s'agit la plupart du temps d'amas chaotiques de blocs de diverses dimensions parcourus par des veinules et filonnets de quartz ramifiés. Au Sud, dans le secteur de Dianké-Makam, l'altération des quartzites est plus marquée : sols sableux blancs des pistes qui sillonnent la région. La roche dure non altérée forme à une trentaine de centimètres sous le recouvrement sableux un excellent soubassement qui confère à ces pistes une bonne praticabilité.

- Les schistes plus tendres présentent une décomposition plus poussée. L'altération est d'autant plus accentuée que l'on progresse vers le Sud en climat soudanien. Au Nord (schistes de Youpé Amadi), le caractère métamorphique plus net des schistes et le climat sahélo-soudanien plus aride limite la décomposition à une frange d'altération moins puissante et de meilleure perméabilité.



Inventaire des ressources

PUITS DE SAME (22403-22499-22500 P1B2)

Samé 1 - le 21/5/62 : $-H = 6,30$ m
 $-h = 1,43$ m

- le 10/4/63 : $-H = 4,72$ m
 $-h = 3,00$ m

Samé 2 - le 10/4/63 : $-H = 4,68$ m
 $h = 0,25$ m

Samé 3 - le 10/4/63 : $-H = 4,99$ m
 $-h = 3,47$ m

Le puisage se fait alternativement dans chaque puits.
Les débits sont satisfaisants : $15 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Les déblais sont constitués de sables argileux blanc rosé à enduit ferrugineux et passées lie-de-vin. Les schistes sains n'ont pas été recoupés.

A l'Est, juste à l'entrée du village, la piste venant de Dolafi recoupe un petit marigot où affleurent des grès-quartzites rouges : ce sont les "grès du Boundou", légèrement métamorphisés. Les pointements de jaspe, signalés par J. BOIS, sont nombreux dans la région. Le contact schistes-grès-quartzites n'a pas été vu mais approché à une trentaine de mètres près; les pendages sont très différents : faibles pour les quartzites, ils sont subverticaux dans les schistes : 75° NW dans le lit du marigot Kambaya au Sud de Samé.

Il y a disharmonie de plissement entre les grès-quartzites résistants et les schistes plastiques dont la tectonique a remarquablement ouvert les plans de schistosité.

La roche saine est certainement aquifère et les puits gagneraient sans aucun doute à être approfondis afin de la recouper.

PUITS DE KIPSILE-Campement 72 (22533 PlB1)

Creusé par la Compagnie du Dakar-Niger, il est situé à proximité de la voie ferrée, au Sud de la piste Goudiry-Kidira. Profond de 42,15 m, il contient 12 m d'eau. Son débit est excellent : 50 m³/jour.

Aucun déblai n'est visible à proximité du puits. Aux dires des habitants, il aurait recoupé des schistes verts après avoir traversé un placage stérile de Continental Terminal.

PUITS DE SEOUDJI (22402 PlB1)

Il débute par 3 m d'alluvions sablo-argileuses, puis recoupe 21 m de schistes gris verdâtres peu métamorphosés, altérés sur les huit premiers mètres. A 11 m sous le niveau du sol, à la limite zone altérée-schistes sains, des silements abondants sont visibles.

- mesures à la date du 22/5/62 : - H = 24,30 m

- h = 0,10 m

- mesures à la date du 19/3/63 : - H = 15,12 m

- h = 8,83 m.

Le puits débite jusqu'au mois de mai puis s'assèche peu à peu (nappe lenticulaire de faible étendue).

PUITS DE FISSA (22568 - Pl B1)

Puits en cours de fonçage; il traverse quelques mètres d'alluvions stériles du marigot Kodal en bordure duquel il est situé. A 33 m, au fond du puits, des schistes bruns manganesifères (wad) sont imprégnés d'eau. Ces schistes métamorphiques présentent des niveaux plus argileux. Ils sont bien fissurés, et drainent la nappe alluviale.

PUITS DE KOUNDEL (22567 - Pl B1)

Situé en bordure du Kodal, en aval de Fissa, il recoupe également des alluvions stériles et des schistes verdatres sériciteux très redressés : les pendages sont sub-verticaux.

- Mesures à la date du 5/4/63 : - $H = 36,46$ m
- $h = 0,29$ m

Le débit est faible : en fin de saison des pluies, le puits contient 9 m d'eau; les réserves s'appauvrisent rapidement et à partir du mois de mai, les habitants vont chercher l'eau à Sinntiou Fissa, important point de traite sur la piste de Goudiry-Kidira. Il est à remarquer l'importante oscillation saisonnière du niveau de la nappe.

PUITS D'OURSOULE (22570), OUBOL (22563), MAMA N'DAO (22564) - Planche Bl

Ces trois puits sont situés en bordure du marigot Batchili-Kolé. Ils recoupent tous trois des schistes verts sériciteux et chloriteux à passées gréseuses, contenant des filons de quartz faisant office de drains. Le recouvrement alluvial est peu puissant : 1 à 3 m de sable argileux.

PUITS DE MARSA (22553-22554) - Planche Bl

Mesures à la date du 30/3/63 :

Marsa 1 : - H = 9,85 m
- h = 3,63 m

Marsa 2 : - H = 16,15 m
- h = 2,47 m

Dans le lit du Banin Kolé affleurent des schistes verts compacts durs, se débitant en plaquettes retrouvées dans les puits. Ces schistes présentent un important réseau de diaclases, bien développé. L'alimentation des schistes s'effectue à partir du marigot durant les crues.

Conclusion

Les possibilités aquifères qu'offrent ces terrains sont en définitive assez limitées. Les débits sont moyens, la "soudure" s'effectue avec beaucoup de difficultés en fin de saison sèche.

L'altération des formations métamorphiques du Cambrien conduit à un matériau dont la perméabilité très variable est fonction de l'intensité du métamorphisme des terrains et du degré d'altération qu'ils présentent. Les régions où le métamorphisme est intense et l'altération peu poussée sont les plus favorables.

Les schistes constituent la roche aquifère exploitable, par puits artisanaux, les quartzites leur apportant un complément d'alimentation non négligeable. Les ouvrages de captage devront être implantés dans les faciès intermédiaires des schistes quartzeux qui présentent la meilleure perméabilité en grand et poussée au maximum dans la roche saine, la frange d'altération étant d'une hydraulicité médiocre.

1423/- Les grès rouges du Boundou

Ils correspondent comme nous l'avons vu à la zone de plus intense tectonisation. Leur fissuration les rend particulièrement sensibles à l'action des agents chimiques de décomposition.

L'altération est toujours profonde, complète, et aboutit à la formation de sables argileux polychromes, rouges et blancs, rappelant beaucoup les formations bariolées du Continental Terminal, avec de fréquents niveaux argileux continus. Un tel sol de décomposition présente une perméabilité bien faible, d'autant plus que la latéritisation des grès rouges conduit à la genèse en surface d'une cuirasse mince

mais particulièrement compacte. Le faciès plus grossier que présente parfois ces grès se traduit cependant par la présence au sein des sables argileux de niveaux gravillonnaires plus perméables, malheureusement trop peu étendus.

PUITS DE NIEMENIKE (22387-22388), Puits de BOUTOUGOU-FARA (22386) - Pl. B3

Ils captent les eaux de la frange d'altération superficielle des grès : sable et grès blanc peu consolidé, (décoloration du grès rouge, phénomène assez fréquemment observé).

Leur débit est insignifiant : 1 à 2 m^3 /jour.

Le puits de Niéméniké (22388) devrait être surcreusé. (1)

PUITS DE DALAFI (22532-22390-22389) - Pl. B2 (1)

Les débits sont de l'ordre de 5 à 8 m^3 /jour. Les puits n'atteignent pas les grès inaltérés et recoupent uniquement une frange d'altération sablo-argileuse de perméabilité réduite. Ils gagneraient cependant à être approfondis : les grès observés à l'affleurement sont en effet riches en filonnets de quartz (zone de passage des grès aux quartzites-grès), qui font office de drains par lesquels l'eau s'infiltre dans le substratum sous-jacent.

(1) Voir A. MARTIN pp. 23-24 du rapport cité p.17

PUITS DE OUMBARE (22501-22502-22503) - Planche B2

- Mesures à la date du 14/4/63

22501	H = 6,38	h = 2,36
22502	H = 6,36	h = 1,73
22503	H = 6,54	h = 3,03

Débits estimés à 4 à 7 $\text{m}^3/\text{jour.}$

Seul le puits 22503 a recoupé le toit de la roche saine, sous les terrains d'altération qui présentent une bonne perméabilité : formation sablo-argileuse rosée, grossière, à graviers de quartz abondants. La présence de ces niveaux graveleux est l'indice de l'existence de quartz filonien au sein des grès, eux-mêmes légèrement recristallisés.

PUITS DE BELLE (22384) - Planche B1

- Mesures à la date du 22/5/62 : - H = 27,06
- h = 0,92

- Mesures à la date du 19/3/63 : - H = 16,20
- h = 9,97

Foncé par le Dakar-Niger en un lieu éloigné de tout marigot, le puits est situé dans une cuvette que dominent des buttes de grès rouges bréchoïdes. Il recoupe un grès arkose broyé, violacé, très diaclasé. Les trois premiers mètres sont altérés. La carrière ouverte par la même compagnie à

800 m au Sud du puits, et exploitée pour le ballast de la voie ferrée nous permet d'apprécier le degré de tectonisation intense des grès : fractures, glissements, miroirs de failles, niveaux bréchiques; il est impossible d'y relever un pendage.

Le débit appréciable du puits de Bellé - 50 m³/jour - (débit exceptionnel pour la région), est dû à ces conditions exceptionnelles de fracturation des grès du Boundou.

PUITS DE SINTHIOU DIOYE (22560-22561) - Pl. Bl

- Mesures à la date du 2/4/63

22560 H = 16,66 h = 0,13

22561 H = 13,58 h = 3,73

Les puits recoupent un placage alluvionnaire et des grès grossiers roussâtres, diaclasés, à grains de quartz anguleux apparents. En période de crue, les eaux s'infiltrent dans les grès qui affleurent dans le lit du Batchili Kolé. Le puits 22561 situé à proximité du marigot a un débit nettement supérieur à celui du puits 22560 qui en est distant de 200 m environ.

Conclusion

Les affleurements de grès du Boundou coïncident avec les régions à faible densité de population, et il est curieux de le constater. La plupart des puits inventoriés captent les eaux de la frange superficielle d'altération qui ne fournit que de médiocres débits. Les conditions les plus favorables se présentent dans les zones où les grès ont subi un certain degré de recristallisation (Dalafi, Oumbaré) : les sols d'altération renferment alors des niveaux gravillonnaires favorisant l'infiltration et la rétention de l'eau. Les puits gagneraient à recouper la roche inaltérée.

Seuls les puits de Bellé et de Sinntiou Dioye recourent largement le grès sain dont la tectonisation, les diaclases et fractures sont à l'origine des débits appréciables.

15/ - Les grès ordoviciens

Dans l'ensemble, ce sont des grès blancs, siliceux, parfois assez grossiers.

Il faut cependant noter la présence au sein de la formation, et à des niveaux variés :

- de passées conglomératiques
- de grès quartzites rosés
- de grès en plaquettes interstratifiés.

Les grès peuvent prendre un aspect étiré dans les zones où les accidents tectoniques ont été les plus violents. Le réseau de diaclases est alors particulièrement développé.

Localement, les grès ordoviciens prennent une teinte rouge et ressemblent alors beaucoup aux faciès grossiers observés dans les grès du Boundou.

Les massifs de grès ordoviciens sont le siège d'une circulation de fissures importante, avec des résurgences qui alimentent de nombreux marigots (du plateau de Banharé descendent de nombreux affluents de la Gambie et du Niokolo-Koba).

16/- Les schistes et quartzites de Bakel et des collines Bassaris

"L'épaisseur de ces séries métamorphiques n'est pas évaluable avec précision. Elle est certainement de l'ordre de plusieurs milliers de mètres dans la région de Bakel (1).

161/- Les schistes

Ce sont des schistes sériciteux de coloration vert pâle, satinés, au toucher talcqueux. Tous les termes de passage entre schistes et quartzites sont observés.

Ces schistes sont fréquemment traversés par des petits lits de quartz blanc laiteux, prenant parfois l'importance de filons, (série de Bakel) interstratifiés suivant les plans de schistosité de la roche.

(1) L. RENAUD : "Le Précambrien du Sud Ouest de la Mauritanie et du Sénégal Oriental" - N° 5 des Mémoires du B.R.G.M., 1961, p. 34.

Ils s'altèrent facilement et prennent alors un teinte rougeâtre. L'altération est plus marquée et plus poussée pour les schistes des collines Bassaris à caractère parfois franchement argileux et dont les sols de décomposition comportent des niveaux d'argile rouge litée.

Perméabilité comparée

Les schistes de Bakel et leur frange d'altération sont plus perméables que ceux des collines Bassaris car :

- le recouvrement latéritique est pratiquement inexistant,
- l'altération n'aboutit pas à la formation d'horizons argileux continus, comme c'est le cas pour les schistes Bassaris, mais à une désagrégation en paillettes de grosseur variable (décomposition chimique moins poussée en rapport avec le caractère plus sec, plus aride, du climat sahél-soudanien),
- la présence de lits et de filons de quartz plus nombreux, favorisent l'infiltation et l'écoulement de l'eau suivant les plans de schistosité se traduisant, à l'altération, par des niveaux graveleux doués d'une bonne perméabilité,
- le caractère de fissuration plus marqué, surtout au contact des quartzites encaissants. La tectonique plus intense a davantage marqué la schistosité qui, par la suite a pu s'ouvrir.

162/- Les quartzites

Dans la région de Bakel, ils forment des reliefs importants dont la hauteur de commandement atteint une centaine de mètres, reliefs qui ceinturent les cuvettes schisteuses dans lesquelles les marigot ont creusé leur lit.

Il s'agit de roches blanches ou rosées qui contiennent souvent de la muscovite (aspect lustré). L'aspect saccharoïde est aussi fréquent. Ces quartzites sont essentiellement gréseux, avec parfois des faciès assez grossiers, et se présentent en massifs compacts ou en dalles litées.

Au contact des schistes, sur quelques mètres d'épaisseur, les quartzites sont franchement schisteux. A la latitude de Dianké-Makam (feuille Dalafi, $l = 13^{\circ}40'$), des quartzites identiques affleurent suivant une bande sub-méridienne.

Les quartzites des Bassaris se rattachent pétrographiquement à ceux de Bakel, avec cependant des faciès plus variés :

- quartzites blancs à muscovite
- quartzites verdâtres
- quartzites blancs compacts.

Les faciès intermédiaires entre schistes et quartzites sont également plus étalés et partant plus nombreux.

Les reliefs que forment ces quartzites sont moins apparents. La fissuration de la roche est particulièrement marquée au contact des roches vertes qui semblent la recouper intrusivement. Les quartzites affleurent surtout dans le secteur Salemata - Etiolo - M'Bou ; en bancs assez épais.

Altération

L'altération des quartzites est peu marquée. Seuls les faciès schisteux intermédiaires offrent prise à l'action des agents d'altération : quartzites schistoïdes à muscovite ou chlorite abondantes, schistes quartzeux à aspect lité (hydratation des micas).

Du point de vue hydrogéologique, les quartzites seront le siège d'un écoulement d'eau percolant à travers les fissures de la roche donnant parfois naissance à des sources, et apportant un complément d'alimentation aux schistes encaissants et aux formations alluviales des petits bassins versants des marigots.

163/- Inventaire des ressources

1631/- Puits, sources et marigots des collines Bassaris

PUITS DE SALEMATA (22410) et NANGARE
PEULH (22685) Pl. B3

Ces deux puits sont mentionnés par A. MARTIN (1) : "la stratification des schistes sériciteux dans lesquels ces puits sont implantés est marquée par des lits de quartz. D'autre part, ces schistes sont recoupés

(1) A. MARTIN, p. 22, rapport cité p. 17.

par des filons de quartz ramifiés qui font office de drains lorsque ces schistes sont altérés. Un indice de la présence de ces filons est l'abondance des dragées de quartz dans la latérite".

Puits 22410

- Mesures à la date du 15/5/62 : - H = 12,05 m
- h = 0,65 m
- Mesures à la date du 5/2/63 : - H = 8,27 m
- h = 4,42 m

Sources d'Etiolo (22409) Pl. B3 (1)

Deux sources débitant chacune $1 \text{ m}^3/\text{h}$ environ sortent des quartzites diaclasés, à proximité de poin-tements de métabasites. Elles ont été grossièrement aménagées par les habitants et suffisent amplement à subvenir aux besoins du village; le puits installé près de la nouvelle école est pratiquement inutilisé.

Puits de Dar Salam (22583) Pl. B3

La couche aquifère est constituée par des schistes rougeâtres altérés. Il semble qu'il y ait deux petites nappes superposées séparées par un horizon argileux continu. Le débit faible - 20 l/h - atteste de la mauvaise hydraulicité des schistes altérés.

(1) A. MARTIN, p. 22 rapport cité p. 17

PUITS DE KOTE (22587) et EBARAK (22586) Pl. B3

Le puits du dispensaire de Koté est inutilisé et encombré de détritus divers. Le puits d'Ebarak contient 1,15 m d'eau trouble et polluée. Les habitants préfèrent puiser directement aux marigots pérennes voisins; le peu d'intérêt qu'ils témoignent aux puits est sans doute un indice de faible débit,

Conclusion

Dans cet ensemble de collines d'habitat très dispersé, au relief peu marqué, recouvert en grande partie par la latérite, le chevelu hydrographique a dessiné une multitude de petites vallées.

Les schistes, s'ils ne contiennent pas de filons de quartz, ne renferment que de maigres ressources aquifères rapidement épuisées. Leur altération donne un matériau essentiellement argileux, très peu perméable.

Les quartzites semblent par contre intéressants. Nous n'avons malheureusement que très peu de renseignements concernant leur comportement hydraulique : le seul exemple des sources d'Etiolo ne nous permet pas de tirer des conclusions d'ordre général.

Il est probable que ces formations fissurées et diaclasées, particulièrement au contact des roches vertes, intrusives, recèlent des quantités d'eau appréciables qui ne trouvent que peu de résurgences naturelles. Les habitants, avec leurs seuls moyens rudimentaires ne peuvent pas par ailleurs creuser des puits dans ces quartzites.

Les eaux de surface se rencontrent par contre en abondance relative. Les collines Bassaris constituent le château d'eau de nombreux marigots pour la plupart pérennes. En février 1963 les débits suivants furent notés :

- le Koté (versant ouest) : $150 \text{ m}^3/\text{h}$ à l'endroit où il recoupe la piste Ebarak-Nangaré,

$90 \text{ m}^3/\text{h}$ à Ekess, en amont du point précédent;

- le Nango (versant ouest) : $135 \text{ m}^3/\text{h}$ à son intersection avec la piste Ebarak-Nangaré,

$36 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'un de ses affluents à Ebarak.

Ces eaux seraient à utiliser, tant leur importance se maintient dans le temps.

1632/- Puits dans les schistes et les quartzites de la région de Bakel

Tous les puits traversent une épaisseur plus ou moins importante d'alluvions avant de recouper les terrains métamorphiques du socle. Il est dans ces conditions très difficiles de distinguer les apports des nappes alluviales des possibilités propres des formations paléozoïques.

Les schistes, tels qu'ils apparaissent dans les déblais des puits, ou à l'affleurement dans le lit des marigots, sont peu altérés : schistes sériciteux verts, satinés, finement lités, très souvent manganésifères (dendrites) (1).

La tectonisation a largement fissuré ces schistes, particulièrement au voisinage des quartzites encaissants : faciès intermédiaires des schistes quartzeux. La morphologie a permis l'ouverture des plans de fissuration et de schistosité, et la fréquence du quartz filonien est élevée.

Ces zones de passage entre schistes et quartzites sont particulièrement favorables à l'implantation de puits : elles seront choisies de préférence à tout autre dans un programme d'équipement hydraulique. On se référera par exemple à la position du puits de Gounia, situé au pied d'une butte quartzitique.

PUITS DE GOUNIA (22548) Pl. B1

Mesures à la date du 28/3/63: -- H= 19,66 m
-- h= 9,84 m

Il recoupe des séricitoschistes quartzeux, verdâtres, largement fissurés. Les déblais montrent de nombreux graviers

(1) L'emplacement des puits est aisément reconnaissable lorsqu'on arrive à proximité d'un village : les schistes des déblais, même très anciens, gardent les caractères de la roche saine : couleur verte, aspect chatoyant sous le soleil.

de quartz (dragées) émuossés par la circulation des eaux le long des filons faisant office de drains. Une butte de quartzites à proximité du village, apporte une suralimentation aux schistes par percolation lente dans les diaclases nombreuses de la roche. Débit : $50 \text{ m}^3/\text{jour}$.

PUITS DE SAMBA KONTAYE (22552) Pl. Bl

Puits foncé par les Sociétés de Prévoyance; débit identique, de l'ordre de $50 \text{ m}^3/\text{jour}$, qui pallie l'augmentation de la consommation, en fin de saison sèche, provoquée par l'afflux des habitants des villages de culture, situés sur la bordure des terrains anciens, à l'Ouest.

Nombreux suintements observés dans les schistes chloriteux, très quartzeux à la base, surmontés d'alluvions caillouteuses.

PUITS DE TOURIME (22396) - Pl. Bl

Puits S.P. (1) : la cimentation du puits dans ses premiers mètres ne permet pas d'estimer l'épaisseur des alluvions. Le chevelu hydrographique est assez important.

L'eau est fournie par les schistes comportant des amas et des veines de quartz importants.

Le puits a été approfondi cette année (de 13,67 m à 17,04 m); son débit est passé de 5 à $10 \text{ m}^3/\text{jour}$; ses possibilités sont sans doute supérieures, les $10 \text{ m}^3/\text{jour}$ (débit

(1) "Sociétés de Prévoyance" qui ont creusé la plupart des puits de la région.

soutiré actuellement) étant réservés au cheptel important et aux besoins ménagers : l'eau présente un résidu sec de 2292 mg/l et est salée au goût des habitants qui puisent aux céanes l'eau de consommation).

PUITS DE MEDINA SAMBA GOURO (22393), KAHE
(22536) - Pl. Bl

Puits dans séricitoschistes compacts, plissotés; débit infime : 1 et 2 m³/jour; légers suintements sur les parois.

Puits foncés dans les schistes métamorphiques sous le biseau du Continental Terminal à proximité de la bordure du socle

Tous les essais de puits dans cette région se sont soldés par des échecs : puits stériles ou débits pratiquement nuls, malgré les conditions de terrain a priori bonnes: fissuration des schistes, quartz filonien abondant.

PUITS D'ARIGABO (22572 bis), BOULIBANI
(22537) - Pl. Bl

Puits stériles situés à l'écart de tout marigot; ils recoupent 33m de schistes gris verdâtres à veines de quartz, sous un placage de grès bariolés (grès de Goudiry).

PUITS DE KAWAL (22539, 22540) - Pl. Bl

Schistes sériciteux à quartz laiteux. Profonds respectivement de 30 et 23 m, ils contiennent de 3 à 7 cm d'eau. Sévères restrictions en fin de saison sèche, l'eau est puisée et répartie entre les familles en fonction de leur importance; le bétail émigre vers le fleuve jusqu'à la saison des pluies.

PUITS D'OUROU M'BOULEL (22580) - Pl. Bl

Puits à débit infime : 1 m³/jour pendant 4 mois. Des céanes dans le lit mineur du marigot fournissent un peu d'eau et s'assèchent à la fin du mois de mai; elles recoupent les schistes fissurés sous 5 m d'alluvions sablo-argileuses. Dans l'une d'elles, un filon de quartz épais de 0,40 m recoupe les schistes et fait saillie de la paroi.

Substratum bien fissuré, présence de quartz filonien, toutes conditions qui devraient favoriser la rétention des eaux.

17/ - La Dolérite post-primaire

Les massifs doléritiques post-primaire n'ont pas une grande extension. Les dolérites forment, d'une part les reliefs du pays Tandanké (massifs de N'Débou et de Baraboye), d'autre part le haut de la falaise infra-cambrienne du Fouta-Djallon).

Il semble que deux processus différents de mise en place de ces dolérites soient à distinguer :

- les massifs de N'Débou et de Baraboye sont intrusifs dans les terrains encaissants.

- la dolérite de la falaise du Fouta-Djallon, qui se présente en couche étendue sur les terrains infra-cambriens a une origine filonienne (sill doléritique).

La dolérite, bleu foncé, très compacte, à grain fin à cassure esquilleuse est généralement bien conservée. L'altération en boules est générale, avec décomposition des blocs arrondis sur un centimètre d'épaisseur environ. Les boules doléritiques constituent des formations de pente, sur le pourtour des massifs, et jalonnent de leurs éboulis le front de la falaise du Fouta-Djallon, de Dinndéfelou à Népin Diaka.

Ces formations de pente sont le siège d'une circulation de fissures, l'eau percolant dans les dolérites pour constituer parfois des résurgences à la rupture de pente.

La dolérite contribue également à alimenter les nappes des formations primaires encaissantes :

- nappe des terrains d'altération des schistes birrimiens : puits de Bandafassi (voir p.40)

- nappe des pélites cambriennes fissurées : puits de N'Débou (voir p.63).

2/ - Le drainage sous-latéritiques

21/- Le recouvrement latéritique

Nous ne nous étendrons pas sur la genèse des formations latéritiques qui résultent de l'altération physico-chimique des roches en climat humide et chaud. Les formations latéritiques recouvrent toute la partie méridionale du Sénégal Oriental, au Sud du 14ème parallèle.

Nous adoptons dans la suite de l'exposé la terminologie de P. MICHEL qui distingue de haut en bas :

- la cuirasse très dure et compacte, généralement non homogène et contenant des gravillons de quartz; sa puissance est variable : 2 à 3 cm à 3 m;
- la carapace, moins dure, moins compacte, à texture lamellaire ou alvéolaire; le degré d'homogénéité est variable; elle est fréquemment litée; 5 à 10 m;
- la croûte, qui représente un début d'induration, s'effrite facilement; la structure de la roche mère est conservée : 8 à 15 m.

Sous ces formations plus ou moins indurées, on rencontra des formations argileuses meubles, présentant un stade d'altération plus ou moins poussé, avant d'atteindre la roche mère inaltérée. Ces formations prennent le nom d'arènes lorsqu'elles résultent de l'altération du granite, le nom de "terres" étant généralement donné à celles qui sont issues de l'altération des autres roches, roches basiques en particulier. La puissance de cette formation est extrêmement variable. Le puits 56 de Tinkoto l'a traversée à partir de 8 m, et s'est arrêté à 23 m sans atteindre le granite.

Suivant la nature de la roche-mère sous-jacente à partir de laquelle elles prendront naissance, les formations indurées et meubles présenteront divers caractères quant à leur structure, texture, dureté, et des propriétés hydrauliques différentes. En particulier, la cuirasse sur granite est en général plus spongieuse, moins dure et plus perméable; ceci ne constitue pas pour autant une règle absolue. Remarquons ici que cette cuirasse est rarement continue, et peut n'exister qu'à l'état de blocs disséminés en surface de la carapace, ou même faire défaut.

22/- Esquisse géomorphologique

L'étude géomorphologique des sols latéritiques a été développée par P. MICHEL. L'alternance de périodes climatiques sèches et humides a engendré la formation de reliefs subtabulaires emboîtés, qu'entaille plus ou moins profondément le réseau hydrographique.

On distingue ainsi :

- le bas glacis
- le glacis inférieur
- le glacis supérieur.

23/- Hydrogéologie - Inventaire des ressources

Cuirasse et carapace sont perméables en grand. Signalons ici l'observation faite par S. PRIBILE (1) près du puits 60 de Tinkoto: "les affleurements de carapace sont découpés en blocs parallélépipédiques par de petites

(1) "Etude des latérites du secteur Tinkoto" (Sud Est Sénégal) Bilan des travaux de terrain. Campagne 62-63, DS 63 A121, Novembre 63 par J.P. LAJOINIE et S. PRIBILE

fissures dont les directions NE-SW et E-W sont celles de la tectonique d'ensemble du secteur. Le puits 59 a été implanté sur une de ces fissures qui se prolonge dans toute la zone indurée.. Il est possible que ces cassures correspondent aux accidents de la roche sous-jacente".

On constate, après les pluies, que l'eau s'infiltre rapidement dans les formations latéritiques. Il faut alors distinguer :

- d'une part une percolation lente dans l'épaisseur des terrains altérés, avec constitution à des niveaux variés de petites nappes locales dans les horizons plus perméables. Nous avons envisagé ces ressources au cours des chapitres précédents (altération des terrains anciens, en particulier roches basiques, et recherches d'eau en arène granitique),

- d'autre part, un écoulement latéral "rapide" dans la cuirasse et la carapace vers les axes de drainage que constituent les marigots, auxquels il fournit un appoint de crue. Au cours de la saison sèche, carapace et cuirasse drainent les nappes alluviales et les marigots lorsqu'ils sont encore en eau.

C'est le phénomène du drainge sous-latéritique, véritable ruissellement souterrain, donnant naissance en surface à des résurgences intermittentes aux changements de pente des marigots, en particulier au passage d'un glacis à un autre.

SOURCE DE GUINGARA (N° I.R.H.: 22659) Pl. B3

C'est une résurgence alimentée par le sous-écoulement latéritique, au débit faible (100 l/h) qui apparaît à flanc de pente, sous la cuirasse du plateau latéritique de Kédougou.

CEANES DE GOUМО (N° I.R.H.: 22686) Pl. B3

Elles sont creusées à flanc de plateau dans la carapace latéritique qui affleure, recouverte d'éboulis de cuirasse, au passage glacis inférieur - bas-glacis.

Débit de l'ordre de 30 l/h.

VASQUE DE SIBIKILI (N° I.R.H.: 22461) Pl. B3

Cette vasque s'ouvre en bordure de la piste Tambacounda - Mako, dans la cuirasse latéritique démantelée qu'elle recoupe sur 1,50 m, et se poursuit dans la carapace à structure alvéolée. Des suintements de la cuirasse sont visibles lorsque le niveau statique baisse suffisamment après puisage pour découvrir la base de cette cuirasse.

Débit: 150 l/h; eau pérenne, claire.

SOURCES ET CEANES D'EGATIE (N° I.R.H.: 22687) Pl. B3

Situées en bordure de la piste allant de Salémata à Ebarak, en pays Dassaris, ce sont des effondrements naturels qui se sont créés sur le glacis inférieur, à la faveur d'un démantèlement local de la cuirasse, et qui ont été par la suite aménagées par la population.

Débit : 20 l/h.

PUITS DE BOKOLAKO (N°I.R.H.: 22439) Pl. B2

Le village est situé à la limite du grand plateau latéritique qui recouvre les grès du Boundou. Le ruissellement vers le marigot Mayel Samou qui coule du Nord au Sud à l'Ouest du village a profondément entaillé et démantelé la cuirasse sur le rebord du plateau. La carapace et les terrains encroûtés, gorgés d'eau, affleurent et forment aux abords du village un marécage planté de bananiers.

Le puits, profond de 2,14 m, est situé en bordure de la piste qui mène à Kipi, et recoupe 2 m d'un lambeau de cuirasse très hétérogène, assez compacte et fissurée qui suinte abondamment. Un arrêt de puisage de 2 heures entraîne une remontée de 0,50 m du niveau statique. Le puits est pérenne et débite 15 m³/jour.

24/- Conclusion

Il est difficile de dissocier l'étude hydrogéologique du recouvrement latéritique, succession des terrains rencontrés depuis le toit de la roche-mère jusqu'à la cuirasse présente ou non qui marque le terme ultime du processus de latéritisation, et de distinguer :

- la constitution de nappes dans les horizons meubles perméables (arènes en particulier) par infiltration verticale,
- le drainage sous-latéritique, véritable ruissellement souterrain qui constitue en période de crue et bien après les pluies, un appoint dans l'alimentation des marigots.

Nous y voyons cependant deux phénomènes essentiellement différents, bien que plus ou moins liés entre eux. Le drainage sous-latéritique est à l'origine du fait qu'au Sud du 14ème parallèle, là où la latérite est superficiellement développée, les marigots entaillant les glacis cuirassés ont encore de l'eau en avril et mai.

3 - LES POSSIBILITES AQUIFERES DE LA COUVERTURE TERTIAIRE DE BORDURE

En effectuant notre prospection de points d'eau, nous avons été amené à inventorier à la limite des terrains anciens plusieurs ouvrages recouvrant les formations tertiaires continentales du Mio-Pliocène. La perméabilité de ces formations est nettement supérieure à celle des terrains anciens, comme l'atteste le développement moins important du réseau hydrographique (infiltration meilleure, par rapport au ruissellement de surface).

Les puits implantés dans les sables argileux et les grès continentaux exploitent une nappe continue dans tout le bassin sédimentaire sénégalais: la nappe du "Continental Terminal". Cependant, le dépôt des terrains post-paléozoïques s'est effectué à l'Est sur la surface d'érosion du vieux continent; leur épaisseur y est très variable et ils peuvent même n'y exister qu'à l'état de lambeaux. C'est ainsi que la majeure partie des puits et céanes que nous avons visités sont foncés dans le "biseau sec" transgressif sur les terrains anciens : la faible puissance verticale des sables et des grès explique dans ces conditions leur médiocre débit.

Au Nord, le contact avec les terrains métamorphiques primaires est jalonné avec un décalage vers l'Ouest par une ligne de collines gréseuses N-S formant parfois une véritable falaise qui se marque très bien dans la topographie et est non moins visible sur la photo aérienne. Ce ressaut de grès latéritisés marque la ligne de partage des eaux.

Seuls quelques ouvrages foncés dans des cuvettes d'érosion de la surface du vieux continent et comblées par les sédiments continentaux fournissent de l'eau en quantité relativement abondante à longueur d'année.

31/ - Lithologie

M. DIENG a étudié cette année les formations du Continental Terminal et leurs rapports avec l'Eocène et les terrains métamorphiques du socle. Nous donnerons brièvement la description lithologique de ces formations en nous inspirant de ses travaux (1)

- C.T. (1) Couche latéritique: gravillons ou grès ferrugineux latéritisés, jaune à brun violacé, vacuolaire, moins dure que la cuirasse se formant sur le socle ancien.
- (2) Grès de Goudiry: grès argileux blanc à taches d'oxyde de fer brun rougeâtre ou parcouru par des veines et auréoles rosées; la base de ces grès renferme de fréquentes passées d'argile kaolinique. Ce grès est une roche tendre, hétérogène, à lits grossiers.

(1) "Etude géologique du Continental Terminal du Sénégal Oriental" DAK-63-A23. M. DIENG

- EOCENE
- { 3) Grès de Birfal: grès argileux ferrugineux, rouge, tendre, hétéro-granulaire; il paraît à l'oeil un peu plus grossier que le grès de Goudiry; se présente parfois sous un autre faciès : grès argileux ferrugineux, rose à passées d'argile blanche, d'aspect lité.
 - { 4) Grès glauconieux: grès argileux ferrugineux, glauconieux, jaune à verdâtre; structure homogène, aspect lité.
 - { 5) Conglomérat: roche à gros éléments de quartz ou de roches du socle, conglomérat brèchique à ciment de grès ferrugineux.

32/ - Inventaire des ressources

Les formations anciennes s'envoient plus rapidement au Sud sous la couverture sédimentaire qui, au Nord, n'existe souvent qu'à l'état de lambeaux discontinus.

Au Sud de Koussane, ($L = 12^{\circ}26'33'' - 1 = 14^{\circ}07'52''$) de nombreux puits sont alimentés par la nappe des formations continentales; le niveau aquifère est constitué par le grès de Goudiry. Aucun de ces puits n'a atteint le socle.

PUITS DE GAMON (N°I.R.H.: 22694-22695) Pl. B3

Profonds respectivement de 7,58 m et de 7,22 m, ils recoupent 2 m d'alluvions sablo-argileuses en surface puis le grès de Goudiry bariolé, subissant un début de latéritisation. Bon débit de l'ordre de 20 m³/jour.

PUITS DE SOUDOUTA (N° I.R.H. : 22504 à 22511) Pl. B2

Huit puits fournissent en permanence une eau abondante ($3 \text{ m}^3/\text{heure}$), très peu chargée, durant toute l'année. Le niveau statique s'établit entre 8 et 11 m sous la surface du sol. La couche aquifère est un grès bariolé à grains de quartz arrondis, très friable.

PUITS DE KOUSSANE (N° I.R.H. : 22443 à 22448) Pl. B1

Cinq puits artisanaux et un puits maçonné pourvu d'un massif filtrant; niveau statique à 13 m de profondeur en moyenne. Excellent débit : $15 \text{ m}^3/\text{heure}$ pour chaque puits. Le recouvrement alluvial est pratiquement inexistant; épaisseur appréciable du grès de Goudiry altéré sur 2 m en surface; le dépôt de cette formation s'est effectué dans une cuvette d'érosion du socle schisteux. Le contact avec les schistes métamorphiques est trouvé à 5 km à l'Est de Koussane, sur la piste qui mène à Lonbi. La mauvaise tenue du grès, peu consolidé, et surtout de sa frange superficielle d'altération, entraîne chaque année, après les pluies, un comblement partiel des puits qu'il faut alors nettoyer. Seul le puits 22443, pourvu d'un manchon filtrant, garde un débit constant, par ailleurs supérieur à celui des autres.

Au Nord de la piste Goudiry-Kidira, une série de villages s'échelonnent de Feté Golonbi à Gourel Sanba Koulibali. Ces villages sont situés à l'Est de la chaîne de collines et de buttes de grès de Goudiry, dans la région de partage des eaux de ruissellement, où tous les affluents rive gauche de la Falémé (Batchili Kolé, Kodal) ou du Sénegal (Banin Kolé) prennent naissance.

Ces villages sont voués à la culture durant l'hivernage et désertés dès les mois de janvier ou février, époque où tous les points d'eau sont pratiquement assèchés. Lors de notre passage, seules les céanes de Féfé Golonbi (22571) et de Gourel Sanba Koulibali contenaient encore un peu d'eau. Tous les oglats sont creusés dans des sables boulants bariolés, à rares passées gréseuses (grès de Goudiry) et sont arrêtées au toit du socle schisteux métamorphique. L'épaisseur des formations continentales est variable mais reste toujours faible (0 à 5 m); elles n'existent bien souvent qu'à l'état de lambeaux reposant sur les schistes. Toute cette région au contact sédimentaire métamorphique ne possède plus de ressources aquifères en dehors de la période d'hivernage :

- nappe alluvionnaire des marigots embryonnaires inexistantes ou sous-alimentées,
- épaisseur trop faible des formations du Continental Terminal, lenticulaires et sporadiques, pour receler une nappe continue,
- stérilité du socle comme en attestent les quelques puits connus dans la région (cf. p 87).

4 - LES NAPPES ALLUVIALES

L'imperméabilité d'ensemble des terrains anciens du Sénégal Oriental est la cause première du développement important du réseau hydrographique. Nous avons reproduit en fond topographique sur les cartes au 1/200.000 annexées les principaux cours d'eau et leurs affluents, tributaires du Sénégal, de la Falémé et de la Gambie.

Parallèlement à la diminution de la pluviosité et à l'abaissement du relief, la densité du réseau hydrographique décroît au fur et à mesure que l'on avance vers le Nord du secteur étudié.

Tous les cours d'eau sont à l'origine du dépôt d'alluvions plus ou moins puissantes et plus ou moins superficiellement développées qui renferment des nappes exploitées le plus souvent par céanes.

Ces nappes d'alluvions constituent en fait les seules ressources aquifères auxquelles il est permis de faire appel avec quelques chances, moyennant une rapide prospection préalable des alluvions. La plupart des villages sont d'ailleurs situés en bordure des marigots. Cependant là encore les ressources sont, par rapport à d'autres pays, modestes voire sporadiques. Ceci est dû au développement relativement faible du dépôt alluvionnaire. On assiste actuellement à un reétreissement des lits mineurs ce qui aboutit à des dépôts alluvionnaires morcelés, peu épais séparés par des biefs où le bed rock affleure.

42/- Les nappes alluviales en pays Sahélo-Soudanien

A la demande du Service Fédéral de l'Hydraulique, J. LEMOINE avait déjà entrepris en 1956 l'étude hydrologique des terrains anciens du Cercle de Bakel (1). De la rapide reconnaissance qu'il avait effectuée entre Koussane et Bakel, il en avait déduit que le substratum ancien ne recèlait pas de nappes régulières et continues, et s'était attaché plus particulièrement à l'étude des nappes alluviales.

En 1960, la S.E.R.E.S.A. s'était vu confier par le Service de l'Hydraulique du Sénégal l'étude de l'amélioration des ressources en eau de la zone Koussane-Bakel, et aboutissait aux mêmes conclusions: "les seules ressources aquifères qui ne soient pas accidentielles sont celles du remplissage alluvionnaire du lit des marigots".(2)

J. LEMOINE et la S.E.R.E.S.A. ont donné un exposé détaillé des caractères des nappes alluviales et de leurs conditions d'exploitabilité. Nos propres observations nous amènent à des conclusions identiques.

421/- Hydrographie

Tous les marigots sont affluents du fleuve Sénégal ou de la Falémé. Les parties hautes des bassins versants sont situées à l'Ouest, au pied de la ligne de collines Nord-Sud des grès du Continental Terminal, sur la bordure des terrains anciens. Les marigots coulent vers l'Est, le Nord Est ou le Sud Est, en empruntant les dépressions schisteuses entre les reliefs de quartzites ou de grès du Boundou.

(1) Etude hydrogéologique préliminaire des terrains anciens du cercle de Bakel (Sénégal) BURGEAP R.203-1956

(2) Etude de l'amélioration des ressources en eau de la zone Koussan-Bakel - 1960.

- tributaires du Sénégal :

- le marigot de Tourimé
- le marigot de Kahé-Ololdou
- le marigot de Diabal
- le Gourang-Kolé
- le Banin Kolé

- tributaires de la Falémé :

- le Hora-Kolé
- le Batchili-Kolé
- l'Oli Olfa, le Kodal et la Diala, qui, par un tronc commun, le Dénioko, se jettent dans la Falémé à la latitude de Djita,
- le Denndji, dont le lit Nord-Sud est parallèle à celui de la Falémé, et son affluent
- le Maïssa Vassa.

422/- Morphologie du lit des marigots

La région apparaît comme une pénéplaine présentant une pente moyenne de $3^{\circ}/_{\circ}$ vers la Falémé, en dehors des reliefs que forment quartzites et grès du Boundou. Les marigots ont creusé leur lit dans les formations d'altération; les berges sont abruptes, d'un franchissement toujours malaisé. Les dimensions du lit mineur dans sa partie moyenne sont :

- hauteur d'encaissement : 1 à 3 m
- largeur : 10 à 20 m

La plupart des petits marigots entaillent les terrains d'altération des formations paléozoïques. Seuls les grands marigots ont dans leur cours inférieur et moyen un lit majeur formé d'alluvions anciennes, dont l'extension est toujours difficile à préciser : même sur photo aérienne les contours en sont peu apparents.

423/- Nature des alluvions → Perméabilité

1) Au contact du bed-rock existe un niveau graveleux (gravier sous-berge(1)) visible dans l'entaille du lit mineur supérieur des marigots, et dont la genèse est liée à une période ancienne de forte compétence des cours d'eau. La puissance de ce niveau varie de 0,50 à 1 m. L'extension latérale de ce gravier est variable mais semble toujours être assez faible : on ne le rencontre plus qu'exceptionnellement dans les puits distants de plus de 100 à 150m des marigots.

La perméabilité déterminée par l'analyse granulométrique de ce niveau graveleux doit être de l'ordre de $1 \cdot 10^{-2} / \text{cm/seconde}$.

2) Ce niveau graveleux est recouvert par une formation sablo-argileuse ou argilo-sableuse plus récente, avec intercalations sableuses qui traduisent des époques de crue particulièrement violentes.

(1) Terme créé par M. VOGT

La puissance des alluvions du lit mineur varie de 2 à 8 m. L'existence de seuils rocheux (affleurements du bed-rock plus résistant rencontrés dans le lit des marigots) se traduit par la discontinuité des épandages alluvionnaires: on a ainsi une succession de biefs, seuils stériles et bas-fonds remplis d'alluvions.

L'existence d'une terrasse ancienne fixée est parfois perceptible (Gabou, Youpé Amadi). L'alternance des périodes arides (érosion mécanique essentiellement) et des périodes humides (érosion mécanique et actions chimiques) au cours du Quaternaire a entraîné une évolution géomorphologique que P. MICHEL a mis en évidence dans la région de Kayes, pour les vallées de la Kolinbine et du Karakoro, affluents rive droite du Sénégal (1). Cette évolution se marque par les dépôts successifs :

- du "gravier sous-berge"
- d'un premier remblai sableux
- d'un second remblai sableux.

Si elle existe, cette évolution est nettement moins marquée pour les cours d'eau qui nous intéressent. Une reconnaissance s'imposerait dans la région.

Perméabilité. Les quelques connaissances que nous avons sur la granulométrie et la perméabilité des alluvions du lit mineur sont tirées d'analyses effectuées par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics de Dakar, sur des échantillons prélevés par la S.E.R.E.S.A.

(1) "Note sur l'évolution des vallées de la Kolinbine, du Karakoro et du Sénégal dans la région de Kayes" B.R.G.M. Dakar, 1959.

- Batchili-Kolé à Oursoulé :
 - 30 % de grwiers
 - 50 % de sable
 - 20 % de silt et argile
- Diala à Diovol (Sako sur les cartes annexées)
 - 35 % de gravier
 - 40 % de sable
 - 25 % de silt et argile.

Les perméabilités moyennes, calculées suivant deux procédés, sont faibles :

- $1 \text{ à } 10 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s à Séoudji}$
- $50 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s à Diovol (Sako)}$
- $100 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s à Oursoulé.}$

En fait, "la perméabilité moyenne de matériaux aussi hétérogènes est supérieure à celle calculée en considération des seuls éléments fins d'échantillons par toujours représentatifs".

424/- Alimentation des nappes alluviales

Les eaux de pluie s'infiltrent parfois directement dans l'épaisseur des alluvions : on connaît quelques exemples de céanes alimentées par une nappe d'étendue toujours restreinte, contenue dans une poche alluviale située à l'écart de tout marigot. Mais l'essentiel de l'alimentation des nappes alluviales est fourni par les crues des marigots.

L'établissement d'un bilan hydrogéologique de ces nappes alluviales ne peut être envisagé que si l'on connaît les valeurs de la pluviosité, de l'évapotranspiration, de l'infiltration et du ruissellement (débit des marigots durant les crues). Mis à part la pluviosité sur laquelle on a une idée approximative (station de Bakel), les autres termes sont totalement inconnus. Le bilan ne peut être entrepris qu'après l'étude des petits bassins versants.

Etant donné la faible puissance des alluvions, on peut penser qu'elles sont très rapidement saturées. Les nappes s'épuisent :

- par écoulement souterrain axial (underflow des marigots)
- sous l'action de l'évaporation
- par le jeu de l'exploitation (puisage)
- par infiltration dans les fissures que présentent le bed-rock.

Ces pertes peuvent être assez importantes et aboutir à un drainage rapide de la nappe alluviale, surtout dans le cas où la "cuvette" à l'amont d'un bief n'a pas un surcreusement suffisant pour retenir l'eau.

425/- La nappe alluviale du Gourang Kolé au droit de Gabou

Sur la piste Kidira-Bakel, Gabou est un important village de 700 habitants, situé en bordure du marigot Gourang Kolé. Des céanes creusées dans le lit mineur du marigot n'ont pas atteint les schistes à 4 m sous la surface du lit. Les alluvions très graveleuses regorgent littéralement d'eau; la tranche humide est atteinte à 0,30 m par simple affouillement à la main.

Dans le village, quatre puits sont foncés dans les alluvions et recoupent de 1 à 2 m le substratum schisteux (seul le puits 22551 est poussé un peu plus profondément dans les schistes)

PUITS	H	h	Dates	Observations
22397 (Ecole)	(5,01 m.	(5,20 m.	23/5/62	
	(4,55 m.	(5,59 m.	29/3/63	8m d'alluvions
22549 (Mosquée)	4,92 "	6,46 "	29/3/63	8m "
22550	4,67 "	0,37 "	"	Puits en par-
				tie éboulé
22551	9,62 "	3,47 "	"	6m d'allu-
				vions

Au droit du village on peut estimer à 4 km^2 la superficie des alluvions participant à l'alimentation des puits et céanes de Gabou. L'évaporation potentielle Thornwaite est de :

- 1.300 mm à Dakar
- 2.000 mm à la latitude de Gabou.

A Dakar, l'évaporation réelle est de 350 mm, ce qui donne pour Gabou :

$$350 \cdot \frac{2\ 000}{1\ 300} \text{ soit } 535 \text{ mm}$$

$$\text{et } 700 - 535 = 165 \text{ mm pour l'infiltration.}$$

Les réserves de la nappe alluviale de Gabou peuvent être estimées à :

$$4 \cdot 10^6 \times 0,165 = 66 \cdot 10^4 \text{ m}^3.$$

Il est évident que ce mode de calcul simpliste est tout à fait approché. Il ne tient pas compte des pertes très importantes par écoulement souterrain axial ni de celles par infiltration dans le substratum schisteux, qui sont, comparativement aux précédentes, négligeables.

43/ - Conditions d'exploitabilité des nappes alluviales

Comme nous le signalions plus haut (voir p.100), les ressources des nappes alluviales sont modestes, relativement à d'autres pays. Les alluvions sont en effet disposées en placages isolés par des seuils où le bed-rock affleure.

D'autre part, l'alimentation de la nappe alluviale est souvent défectiveuse.

Tout le problème se ramène à deux points essentiels.

a) Bassin versant suffisamment important pour alimenter convenablement la nappe.

Dans les régions à recouvrement latéritique, "l'encaissement entre des glaciers latéritiques bien développés, par les apports qu'il peut procurer, devra être pris comme critère pour le choix a priori d'un emplacement de puits"(1), étant entendu que ce sont des apports en période sèche, donc extrêmement précieux pour entretenir la pérennité d'une telle nappe.

b) Epaisseur suffisante des alluvions

5 à 6 m nous paraissent être les minimums requis. Dans cet ordre d'idée, les zones de confluence de marigots, les méandres, sont à rechercher. De petits sondages à la tarière peuvent -lorsqu'ils sont possibles- permettre de s'assurer de ces épaisseurs et d'estimer l'importance de la tranche mouillée d'alluvions.

44/ - Types d'ouvrages de captage

Les céanes. L'exploitation par céanes creusées dans le lit mineur des marigots se rencontre dans tous les villages visités. Les céanes sont périodiquement recreusées afin d'atteindre le niveau statique de la nappe qu'elles ne font qu'effleurer. D'autre part, la technique rudimentaire qui consiste à affouiller les alluvions du lit mineur sans boisage, entraîne un comblement partiel rapide des ouvrages. Quelques détails suffiraient à soutenir convenablement les parois des fouilles jusqu'au moment des crues.

(1) Etude hydrogéologique de la région Kédougou-Bakel -
campagne 62 - p 34 par A. MARTIN

Un autre fait est à signaler. Dans chaque village, chaque famille a parfois sa céane ou son groupe de céanes : il est nécessaire cependant de limiter leur nombre, leur trop grande multiplication ayant pour effet d'augmenter la surface évaporatoire et d'accroître les risques de pollution.

Les puits. La construction de puits cimentés ne doit être envisagée que si les réserves de la nappe sont suffisantes et laissent augurer un bon débit. Pour une nappe temporaire ou à faible rendement, l'utilisation des céanes est plus rationnelle.

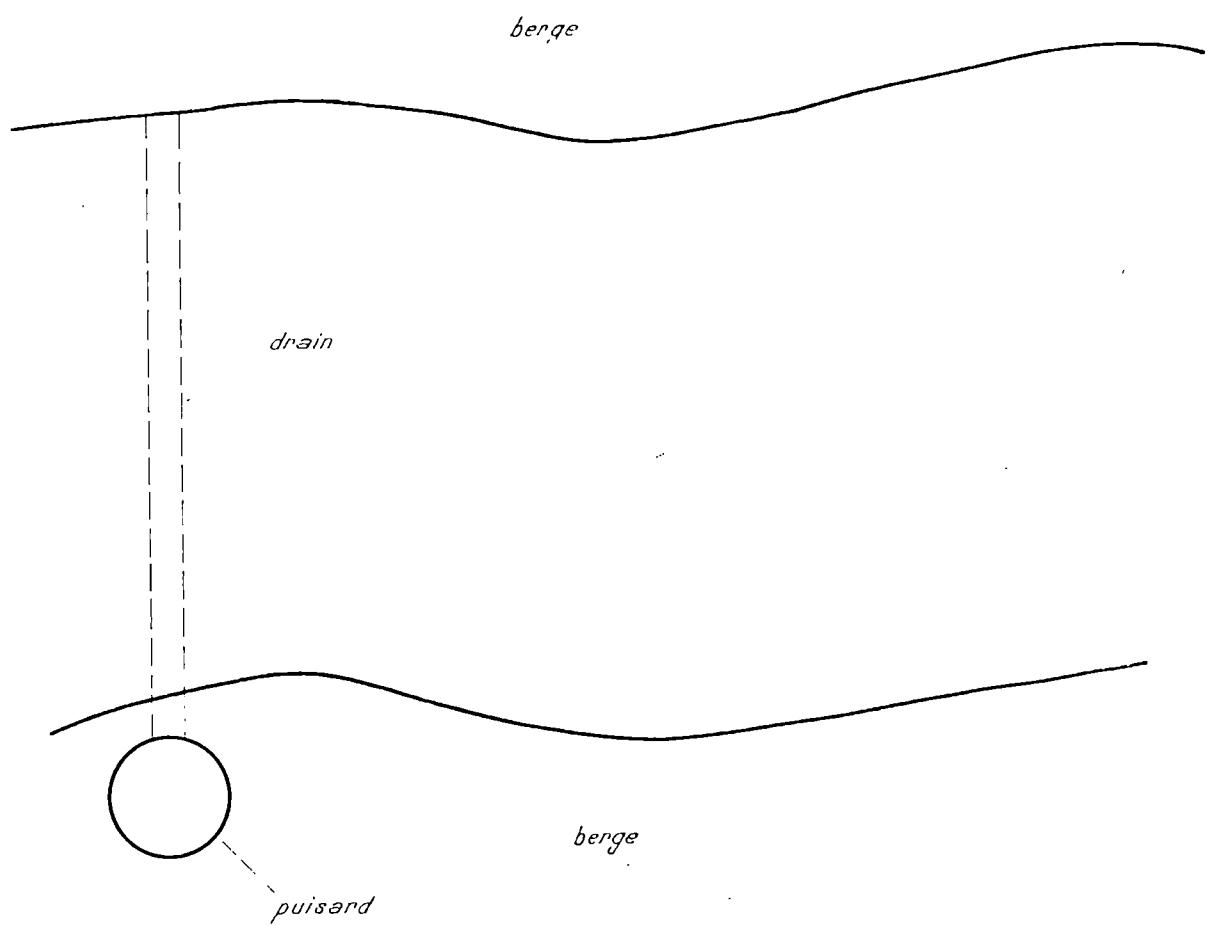
On évitera de cimenter totalement les puits. La pose de manchons filtrants ou de buses perforées devra être généralisée (voir les puits de Youpé Amadi).

45/ - Aménagement des nappes alluviales

Des ouvrages de suralimentation des nappes alluviales ont été entrepris avec succès en divers pays tropicaux (Haute Volta en particulier) quand un site de barrage se prêtait à la réalisation d'un tel projet.

Au Sénégal Oriental, peu de sites s'avèrent en définitive satisfaisants. De toute façon, la construction de barrages de suralimentation des nappes est hors de proportions avec les buts poursuivis. Les besoins n'excèdent que bien rarement 20 m³/jour et ne justifient pas de tels investissements.

PROJET DE BARRAGE
SOUTERRAIN



La S.E.R.E.S.A. préconise des barrages souterrains, dans le lit des marigots, afin d'améliorer les réserves utilisables de certaines nappes peu importantes qui tarissent en fin de saison sèche (1). Ces barrages ont pour but de limiter l'importance des écoulements souterrains ("underflows" des marigots).

En fait, des aménagements beaucoup plus simples peuvent amener des solutions satisfaisantes dans la plupart des cas.

Partout il est possible d'améliorer le débit d'un puits par la pose d'un drain facilement réalisable par les habitants eux-mêmes.

Le drain peut être constitué par des matériaux grossiers tels que blocs et graviers de latérité, de grosseur variable, qui comblent une fouille transversale poussée jusqu'au bed-rock dans le lit mineur du marigot. Le drain aboutit au puits situé sur la berge, à l'abri des crues (voir schéma ci-contre).

(1) voir rapport S.E.R.E.S.A.

5 - LES POSSIBILITES DES GRANDS MARIGOTS DANS UN PROGRAMME D'EXPANSION AGRICOLE

Au Sénégal Oriental, la plupart des cours d'eau sont précocement taris et dès la fin de la dernière pluie, il ne subsiste plus que quelques mares dans le lit des marigots. C'est en particulier le cas des marigots de toute la région de Kidira-Bakel, dont les eaux s'écoulent rapidement vers leurs effluents : fleuve Sénégal et rivière Falémé.

Cependant nous avons observé, lors de nos itinéraires, des eaux de surface parfois importantes qui pourraient être facilement utilisées à des fins d'irrigations.

Les terrains propices aux cultures sont rares, et la qualité des sols est cependant déterminante. Les grands marigots à débit de surface suffisant et dont les eaux de crue inondent naturellement un lit majeur assez étendu retiennent immédiatement l'attention. L'aménagement d'ouvrages très simples peut permettre la mise en valeur des sols.

La construction de digues en terre sur le cours des marigots à débit pérenne et la dérivation des eaux vers des bas fonds naturels peuvent être réalisés avec des moyens fort simples et sont à la portée des habitants. Nous avons reporté l'emplacement sur les planches B 1, B 2 et B 3, et fixé l'extension approximative des cuvettes en bordure des marigots qui peuvent être aménagés.

Tous les travaux envisagés sont évidemment à entreprendre à l'échelon régional, voire même à l'échelon du village. Dans le triangle Goudiry - Kidira - Bakel (planche B1), seul le cours inférieur des principaux marigots (Gourang-Kolé, Batchili-Kolé, Banni-Kolé) peut se prêter à des aménagements. Les possibilités les plus intéressantes sont évidemment offertes par les terrasses alluviales du fleuve Sénégal et de la rivière Falémé.

Dans le même ordre d'idée, rappelons le parti que l'on peut tirer du sous-écoulement latéritique, tel qu'il se manifeste au village de Bokolako. Aux abords des marigots, cuirasse et carapace latéritique sont profondément érodées et donnent parfois naissance à des terres meubles imprégnées d'eau, qu'il serait très facile de cultiver sans grands aménagements.

Dans le tableau ci-après sont consignés les noms des principaux marigots susceptibles de se prêter à des aménagements. Les débits lorsqu'ils ont pu être estimés sont également indiqués.

Nom des cours d'eau	Localisation	Observations sur le débit des marigots pérennes, la présence de mares ...	Aménagements possibles, recherche de superficies cultivables.
Koté	B3; versant ouest des collines Bassaris	pérenne 90 et 150 m ³ /h	Marigot ne possédant pas de lit majeur. Les eaux peuvent être détournées vers des cuvettes limoneuses en bordure du marigot, qu'il faudra localiser sur place
Nango	"	pérenne 135 m ³ /h	Mêmes observations; un bas fond aménageable a été repéré sur la rive gauche du marigot, à l'Ouest de la piste Ebarak-M'Bou qui longe le versant ouest des collines
Marigot d'Ebarak	I.R.H; 22586	pérenne 36 m ³ /h	Les zones où pourraient être dérivées les eaux de ce petit marigot sont à rechercher sur place
Marigot de Kéwé	B3 - IRH 22682	pérenne 360 m ³ /h	Marigot très important; pas de superficies aménageables notées. Prospection les abords du cours du marigot au Nord de Kéwé
Tiokoye	B3	pérenne 900 m ³ /h	Affluent rive gauche de la Gambie, possède un lit majeur très étendu en certains endroits, pouvant atteindre 800 à 1000 m de largeur. Remarquer en particulier les vastes "flats" facilement aménageables au Nord et au Sud de la piste Tiokoye - N'Débou. D'autres flats importants au Sud de la piste N'Débou - Napin - Diaka.

Woogourou	B3 - affluent rive droite du Tiokoye	15 m ³ /h	Pas de superficies aménageables a priori; cependant, les eaux pourraient être dérivées vers la plaine au Sud; de N'Debou (IRH 22408)
Koïla Kabé	B3	pérenne 1500 m ³ /h à Saroudia IRH 22710	Toute la périphérie du village est une cuvette inondée lors des crues la submersion contrôlée et périodique de cette cuvette à partir des eaux du Koïla Kabé est très facilement réalisable.
Marigot de Dar Salam	B3 / Dar Salam IRH 22707	3 m ³ /h	Flats peu nombreux ; trois ont été décelés en amont de Dar Salam
Marigot de Nagadji	B3 (Nagadji IRH 22636 à 22640	4 m ³ /h	Pas de terrasses alluviales susceptibles d'être aménagées; rechercher l'existence de bas-fonds en aval du village
Marigot de Tiokoye (affluent du Tiokoye)	B3 (Tiokoye IRH 22669)	10 m ³ /h	Marigot descendant de la falaise du Fouta Djallon; cours rapide affouillant le lit mineur. Rechercher l'existence possible de cuvettes en aval du village de Tiokoye, à l'Est de Yeronguetu (IRH 22672)
Niokolo-Koba	B3 - affluent rive droite de la Gambie	débit variable non estimé, parfois nul dans certaines parties du cours présence de nombreuses mares pérennes.	Cours moyen offrant partout des possibilités d'aménagement; la construction de digues en terre en aval des flats permettrait de retenir les eaux qui seraient ensuite dérivées sur les terrasses alluviales très importantes

Farako (et son affluent le Kalaté)	B3 affluent rive droite du Niokolo-Koba	présence de mares très impré- portantes, sub-pérennes	Pratiquement, la totalité des cours d'eaux de ces deux marigots est aménageable en culture irriguées
Mayel - Samou	B2 ~ B3	important marigot bien ali- menté par l'apport de nom- breux affluents nombreuses mares pérennes en aval de Diana. (IRH 22531-B2)	Tout le cours moyen (20 km en aval et 15 km en amont de Diana) est marqué par de nombreux méandres au niveau desquels le lit majeur demeure très longtemps submergé par les eaux; excellents terrains de culture
Gandomako	B2	affluent rive gauche de la Falémé, nombreuses mares pérennes en aval de Soufard	Marigot méandriforme; même caractéristiques que le Mayel-Samou cours moyen et inférieur offrant de réelles possibilités d'aménagements

6 - ETUDE CHIMIQUE DES EAUX

Sur les cartes d'itinéraires et de points d'eau figurent les diagrammes logarithmiques rayonnants d'analyses d'eau. En annexe, les résultats de ces analyses sont également représentés sur diagrammes logarithmiques verticaux.

L'absence de nappes généralisées est à l'origine de l'hétérogénéité des eaux : la salure en particulier n'est pas régie par des lois précises, et si dans l'ensemble les eaux sont plus chargées en sels dans le Nord du secteur étudié (1), il apparaît dans le détail des différences sensibles pour des eaux présentant le même isement et prélevées dans des puits parfois voisins.

La qualité des eaux permet par contre une répartition plus ordonnée.

Eaux des arènes granitiques

Les puits de la mission latérites du B.R.G.M. en fournissent des exemples, en particulier.

Elles sont faiblement chargées en sels. Les eaux sont en général acides à l'origine par suite de la présence en excès du CO_2 . Les pH évoluent ensuite vers la basicité.

(1) Ce qui tient à la nature des terrains: prédominance des formations schisteuses dans le secteur Bakel, au sein desquelles l'eau circule plus lentement et reste plus longtemps en contact avec les terrains.

Les alcalins dominent sur les alcalino-terreux. La teneur anormalement élevée de rMg pour certaines eaux (Ti_2 et Ti_4) est due à un échange de bases particulièrement poussé, favorisé par le contact prolongé des eaux avec les argiles de décomposition (zone des kaolins).

Les sulfates sont en général déficients.

Eaux des écoulements sous-latéritiques (Dakatéli: 22398
Sibikili: 22461)

Elles présentent les mêmes caractères que les eaux des arènes granitiques avec des valeurs de résidu sec moins accusées, conséquence de la circulation rapide dans la cuirasse latéritique.

Eaux des roches basiques (Puits B et C de la mission
O.N.U. 1962-63)
(Puits de Kanéméré : 22427
Bransan : 22428 ...)

La minéralisation est plus importante que celle des eaux des arènes granitiques, et les alcalino-terreux prédominants: $r(Ca+Mg) > r(Na+K)$. Les chlorures et sulfates sont très faiblement représentés. Les teneurs en carbonates sont plus élevées. Les pH sont de l'ordre de 7,4 à 8,2.

Eaux des schistes et de leurs terrains d'altération

Ces eaux sont les plus chargées parmi toutes celles rencontrées : circulation plus lente, surface de contact plus développée avec les terrains constituant le gisement.

Les alcalino-terreux prédominent; les eaux sont carbonatées calciques, avec un pH oscillant entre 7,5 et 8. L'indice s'échanges de bases ou déséquilibre chloro-alcalin est presque toujours négatif pour les eaux des schistes et surtout de leurs terrains d'altération :

$$\frac{r\text{Cl} - r(\text{Na}+\text{K})}{r\text{Cl}} < 0$$

Il s'agit d'un déséquilibre non plus d'origine comme pour les eaux issues des roches cristallines, mais d'un déséquilibre résultant du contact prolongé de l'eau avec des minéraux argileux, d'où des échanges de bases importants.

Eaux des pélites et grès cambriens et des faciès métamorphiques schisto-gréseux

Ces formations ne sont jamais franchement siliceuses et les diagrammes d'analyses des eaux qu'elles recèlent ne sont pas typiques des eaux des grès et sables francs caractérisées par un allongement suivant l'axe Cl-Na du diagramme rayonnant.

Les résidus secs sont en général de l'ordre de 200 mg/l, mais peuvent varier dans des limites assez larges (84 mg/l à Kofadou; 456 mg/l à Bellé).

Les teneurs en ions alcalins liés à rCl sont voisines de rCa et parfois même supérieures (Sintiou Dioye, Bellé).

L'importance relative des chlorures alcalins et des carbonates alcalino-terreux varie avec le caractère plus ou moins argileux et l'abondance des minéraux phylliteux des terrains. Pour une roche à prédominance gréuese, les diagrammes rayonnants auront un allongement suivant les axes Cl-Na. La prédominance des alcalino-terreux, avec un allongement du diagramme suivant les axes $\text{CO}_3\text{-Ca}$, caractérisera une roche-magasin schisto-gréuese, ce qui est le cas généralement. Tous les intermédiaires sont rencontrés.

Mais d'une manière générale, il faut noter pour toutes ces eaux une augmentation très nette des chlorures par rapport aux teneurs en $r\text{Cl}$ des autres eaux énumérées jusqu'ici.

EAUX DES SABLES ET ARGILES CONTINENTAUX.

Elles sont en général caractérisées par un allongement des diagrammes suivant les axes Cl et Na, avec $\frac{r\text{Cl} - r(\text{Na}+\text{K})}{r\text{Cl}} > 0$ ou voisin de 0,

Seules les eaux de Koussane ont des diagrammes allongés suivant $\text{CO}_3\text{-Ca}$; elles présentent un résidu sec plus important.

EAUX DES ALLUVIONS.

Etant donné d'une part la composition très variable des épandages alluvionnaires-sables plus ou moins argileux, argiles sableuses, graviers et galets d'origine diverse-

et d'autre part l'alimentation diverse des nappes qu'ils recèlent (infiltration directe et surtout alimentation latérale par les cours d'eau), on ne peut s'attendre à trouver beaucoup d'homogénéité dans ces eaux.

En fait les concentrations relatives des différents ions sont on ne peut plus variables, et leur répartition se fait d'une manière assez désordonnée.

Les résidus secs sont en général assez importants, pour des eaux d'alluvions de l'ordre de 500 à 700 mg/l en pays sahélo-soudanien, un peu moins élevés dans le secteur de Kédougou. L'évaporation à laquelle sont soumises ces nappes superficielles, est à l'origine de leur minéralisation.

7 - BESOINS ET PROPOSITIONS DE TRAVAUX

71/ - Les besoins en eau

Si l'on peut, en conclusion, dire que les besoins en eau sont très fréquents dans la région étudiée, ils ne sont jamais importants. En fait il y a de nombreux petits villages qui manquent d'eau en fin de saison sèche ou qui disposent d'une eau polluée. Il s'agit donc d'un éparpillement des problèmes, éparpillement qui pose une multitude de suggestions difficiles à résoudre.

On ne trouvera jamais, dans la région considérée, sauf cas exceptionnels, notamment le long des grandes rivières, de ressources importantes et l'on peut admettre que les centres de plus de 1 000 habitants seront toujours très difficiles à alimenter. Pour les villages plus petits, des solutions doivent pouvoir être trouvées le plus souvent. Elles seront de deux sortes selon les cas :

- existence reconnue de ressources suffisantes, notamment d'intero-flux de marigots ou de rivières comme cela est le cas pour le S et l'E du pays. Il convient alors uniquement de procéder à des aménagements.
- absence de ressources suffisantes, comme cela est fréquemment le cas dans l'W de la zone étudiée où les marigots sont de faible importance et où les terrains sont très peu favorables. Il faut alors procéder à l'étude et à la recherche des ressources possibles dans un périmètre restreint autour des villages. C'est de ces recherches et des types d'aménagement à proposer que nous traiterons.

72/- Aménagement de ressources déjà connues

Comme le montre la lecture des points d'eau recensés ou l'inventaire précédemment décrit, un certain nombre de villages possèdent des ressources en eau suffisantes en quantité, surtout par des céanes dans les marigots. Le seul problème dans ce cas est que l'état de ces céanes est le plus souvent déplorable et qu'aucune protection n'existe pour éviter une pollution dangereuse. Il faut alors construire des puits en limite des marigots ou protégés des crues par des gabions, ouvrages descendus au bed-rock sans cimenter ou aveugler les alluvions traversées comme, cela s'est fait vers Bakel.

Il faut en outre équiper les puits de moyens de puisage simples (type du Dalou d'Afrique du Nord par exemple ou d'une pompe à manège). Des céanes particulières et situées à l'aval peuvent être réservées au bétail. Pour les villages plus importants la solution "drain" en travers du marigots venant déverser dans un puisard sur la rive est à tenter.

73/ - Recherches d'eau dans les régions déshéritées

Programme de travaux à réaliser en première urgence
pour l'équipement hydraulique des villages du Sénégal
Oriental

Nous donnons ci-après un tableau complet des villages où le problème de l'eau se pose avec une particulière acuité. Les ressources actuellement existantes sont mentionnées ainsi que toutes les observations que nous avons pu faire au cours de nos tournées.

Enfin, des propositions de travaux sont indiquées, chaque village faisant l'objet d'un cas particulier.

Il est à remarquer que la plupart des agglomérations citées sont situées sur la feuille au 1/200 000 de Bakel, région assez peuplée, où les villages sont répartis pour la plupart le long de l'axe routier Goudiry - Kidira - Bakel et où les ressources en eau sont extrêmement précaires.

ETAT D'URGENCE DES TRAVAUX A REALISER EN VUE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES VILLAGES

N° IRH	NOM	COORDONNEES	OUVRAGES EXISTANTS	OBSERVATIONS - PROPOSITIONS DE TRAVAUX
22 573	Gourel Bouli	Feuille de Bakel 12.26.57 14.22.52	Céanes	Tous ces villages sont situés en tête du réseau hydrographique, à la limite des formations anciennes et du bassin sédimentaire sénégalais.
22 574	Gourel Samba Koulibabi	12.27.58 14.22.30	Céanes	
22 572	Arigabo	12.27.18 14.23.31	Céanes Puits de 33m dans schistes stériles	Ne pas prospector les schistes qui, partout, se sont avérés stériles Construire des digues de retenue en terre en tête des marigots afin de créer de petites mares artificielles dans les bas-fonds.
22 571	Fete Golombi	12.26.37 14.33.25	Céanes Puits stérile dans schistes	
22 569	Gambi Diaoubé	12.27.24 14.29.11	Céanes Puits stérile dans schistes	Boiser les céanes qui s'effondrent complètement (technique à indiquer aux habitants)
22 537	Boulibani	12.26.37 14.51.44	Puits stérile de 32m dans schistes	

Villages abandonnés dès la fin de l'hivernage

22 401	Sintiou Fissa	12.22.04 14.23.16	2 puits aux débits insignifiants	<p>Les schistes sont peu prometteurs. Continuer l'exploitation par céanes et réaliser des digues de retenue en terre afin de pallier l'insuffisante en eau en fin de saison sèche (création de mares artificielles)</p>
22 402	Séoudji	12.25.50 14.19.00	1 puits productif jusqu'en mai	<p>Faible possibilité hydraulique des schistes qui recèlent une nappe lenticulaire de faible étendue. Plusieurs sites de petites digues de retenue existent sur le cours du marigot. Bas fonds naturels propres à la création de mares</p>
22 534	Sarré	12.22.23 14.40.19	1 puits dans schistes céanes	<p>Important point de traite sur la piste Kidira-Bakel. Approfondir le puits d'une quinzaine de m : les schistes tels qu'ils se présentent à l'affleurement, diaclases et parcourus par des filons de quartz, doivent assurer un meilleur débit au puits.</p>

Gros points de traite du bétail

Villages importants de 100 à 400 habitants dont les besoins en eau dépassent largement les ressources actuelles.	22 535	Alalevi	12.32.20 14.50.50	1 puits dans schistes	Recouvrement alluvial insuffisant; planter un autre puits après reconnaissance préalable à la tarière.
	22 536	Kahé	12.33.25 14.50.58	1 puits dans schistes (1m ³ /jour) et céanes temporaires	Nombreuses possibilités de réalisation de digues en terre barrant le lit du marigot. la formation de mares artificielles dans les bas-fonds permettrait au cheptel important de s'abreuver sur place et éviterait ou retarderait la migration sur les bords du fleuve.
	22 539	Kawal	12.39.39 14.56.05	2 puits dans schistes au débit infime: 200 l/h	Gros village au cheptel important. Sévère restrictions en fin de saison sèche. Réaliser avant les pluies des digues de retenue dans le lit peu encaissé du marigot.
	22 545	Bordé	12.29.46 14.49.07	1 puits dans schistes	Puits trop éloigné du marigot Ne pas prospector les schistes Multiplier les céanes et les boiser, ou Puits à massif filtrant dans les alluvions (voir les puits de Youpé Amadi)
	22 541	Gaoudé Boffé	12.39.39 14.59.14	1 puits au débit nul inutilisé	Profondeur par trop insignifiante: le puits ne recoupe que les alluvions. Poursuivre le puits profondément dans les schistes quartzeux qui drainent la nappe alluviale
	22 567	Koundél	12.23.30 14.24.50	1 puits de 37m dans schistes et 2 puits éboulés	Débit insignifiant ; ne pas prospector les schistes. Réaliser sur le marigot Kodal dont les crues sont brutales et violentes des canaux de détournement des eaux aux coudes du marigot.

Villages importants de 100 à 400 habitants dont les besoins dépassent largement les ressources actuelles.	22 560	Sintou Dioye	12.14.41 14.28.15	2 puits dans les grès rouges	Prospection de surface : rechercher les zones où les grès sont diaclasés et parcourus par des filons de quartz et y implanter deux puits. Les puits actuels, en bordure du marigot, exploitent surtout les alluvions dont la nappe est drainée par les grès sous-jacents.
	22 562	Girobé	12.16.04 14.28.09	Céanes	Les alluvions semblent intéressantes de par leur épaisseur importante. Un puits local va foncer un puits ; un emplacement au confluent de deux marigots lui a été signalé comme très favorable au cours de notre passage dans le village.
	22 570	Oursoulé	12.23.25 14.30.00	1 puits dans les schistes	Gros village de culture. Puits mal situé sur une butte, à proximité du marigot. Débit faible malgré la présence de quartz filonien dans les schistes. Le puits subit un important affouillement à la base des alluvions et risque de s'ébouler. Un nouvel emplacement a été implanté lors de notre passage : sa réalisation est prochaine.
	22 568	Fissa	12.23.59 14.25.17	1 puits en cours de fonçage dans les schistes bruns manganésifères	Les schistes paraissent prometteurs ; l'eau suinte abondamment le long des parois. Puis à revoir après son achèvement.
	22 581	Boudji	12.39.39 15.00.10	Puits dans schistes sériciteux asséché fin mars Céanes	Céanes ne permettant pas la soudure en fin d'hivernage Schistes particulièrement compacts et sans trace d'altération Réaliser sur le cours du marigot des digues de retenue en terre afin d'inonder les bas-fonds naturels en bordure du marigot et de créer des mares artificielles.

22 580	Ourou M'Boulel	12.40.06 15.00.13	<ul style="list-style-type: none"> - 1 puits à sec dès février (1 m³/jour) - Céanes insuffisantes 	<p>Les schistes affleurent au fond de l'une des céanes et sont recoupés par de gros filons de quartz d'une puissance de 0,50m. Rechercher cette zone favorable avant d'implanter un autre puits.</p>
22 575	Youpé Paté	12.23.49 14.19.46	<ul style="list-style-type: none"> - 1 puits stérile arrêté à 4 m faute de crédits - Céanes 	<p>Les céanes ne suffisent pas : le bétail émigre sur les rives de la Falémé dès le mois de mai. Poursuivre le fonçage du puits et recouper toutes les alluvions, qui paraissent importantes, jusqu'au toit des schistes.</p>
22 392	Gourel Diabubé	12.34.09 14.47.20	<ul style="list-style-type: none"> - 1 puits (100 l/j) et céanes temporaires 	
22 395	Namanderi	12.35.35 14.54.46	<ul style="list-style-type: none"> - 1 puits (1 à 2m³/jour) - Céanes temporaires s'ébouant constamment 	<p>Faibles possibilités hydrauliques des schistes sériciteux. Aménager dans les alluvions qui paraissent être assez puissantes, des puits à massif filtrant (alluvions de mauvaise tenue)</p>
22 393	Médino Samba Gouro	12.33.22 14.48.09	"	
22 394	Ololdou	12.31.14 14.50.26	"	

Villages de 100 à 400 habitants dont les besoins dépassent largement les ressources actuelles.

			Feuille Dalafi		
22 389	Dalafi	12.24.02 13.39.27	3 puits artisanaux dans les grès rouges altérés: 5 à 8m ³ /j	- Les puits sont nettement insuffisants pour ce gros village assez important. - Approfondir les puits qui ne recoupent que la frange superficielle d'altération des grès; les grès sains, grès quartzites, sont riches en quartz filonien et fourniraient de meilleurs débits.	
22 428	Branson	12.06.20 13.15.40	1 puits Céanes	Débit nul; puits creusé dans la frange argileuse d'altération des roches vertes. Prospecter le massif de roche saine pou- vant présenter des réseaux de fractures.	
22 524	Léoba	12.01.57 13.32.13	Céanes	Point d'eau situé à 2 km de cet importan- t village. Nettement insuffisant - mauvaise hydraulique des alluvions argileuses d'un petit marigot. Prospecter les massifs de roches vertes saines.	
22 579	Sanbakolo	12.22.48 14.13.22	1 puits dans les pélites schisteuses Débit nul	Ne pas prospecter les schistes et leurs terrains d'altération. Foncer des puits à massif filtrant dans les alluvions du marigot Maïssa Vassa. Existence de mares naturelles dont il sui- firait d'améliorer le remplissage par des canaux de dérivation du cours du marigot.	
22 577	Gondiourou	12.20.16 14.14.50	Céanes	Ouvrages mal conçus, sans bois de soutene- ment. Convenablement aménagés, fourni- raient de l'eau toute l'année en quantité suffisante aux besoins. Beau site de barrage sur le marigot Déor Iji Au Nord Est et en aval du points d'eau: marigot encaissé entre deux reliefs gréseux	

22 522	Sinthiou Mamadou	12.32.01 13.30.45	2 puits artisanaux dont 1 seul productif	Faible débit; puits trop éloigné du marigot Mayel Samou (200 m) Prospecter les alluvions (les terrains d'altération des grès rouges sont d'une très médiocre hydraulicité) Possibilité intéressante: réaliser une tranchée drainante à partir d'un puits distant d'une cinquantaine de m du marigot et aboutissant à ce dernier dont le lit charrie encore des eaux en avril.	
22 495	Bodiara	12.08.00 13.28.48	Céanes 2 puits artisanaux dans l'arène granitique, rapidement asséché.	Emigration de tout le village vers d'autres points d'eau en avril. La proximité de bons terrains de culture nécessiterait l'implantation d'un puits afin de fixer la population. Prospection préalable par avant-trous dans l'arène granitique à l'Est du village.	
22 496	Baledji	12.09.00 13.31.50	Céanes subpérennes	Débit insuffisant; planter un puits à massif filtrant dans les alluvions.	
22 497	Sonfara	12.10.50 13.39.14	Céanes pérennes	Grosses restrictions dès le mois de mai. Réaliser des digues de retenue en terre dans le lit du marigot Gondamaka afin de créer des mares artificielles; des mares existent d'ailleurs à 3 km en aval du village, côté Falémé.	

Petits villages susceptibles de fixer une importante population par la proximité de bons terrains de culture.

		Secteur Kédougou			
22 416	Dinndé félou	12.20.00 12.23.20	1 puits dans les formations argileu- ses latéritiques	- Débit très faible - Orienter les recherches vers les alluvio- s grossières (galets) du marigot situé au Sud du village. - Nombreuses mares dans le lit de ce marigot qui pourraient alimenter un puits sur la berge par l'intermédiaire d'une tranchée drain.	
22 414	Landiené	12.22.10 12.33.20	2 puits dans les pélites grises en plaquettes	- Faible fissuration des schistes et fissures colmatées par produits argileux: très faible débit. - Créer des mares artificielles par digues de retenue en terre sur le cours des ma- rigots descendant du massif de N'Debou. Ces mares serviront d'abreuvoirs au bétail	
22 412	Nepin Diaka	12.33.20 12.23.50	1 puits dans péli- tes	- Recourent des éboulis de pente et des péli- tes jaunes de très faible perméabilité.	
22 413	Nepin Peulh	12.32.40 12.23.20	1 puits	- Villages situés au pied de la falaise du Fouta Djallon (position a priori favorable) - Seules ressources exploitables : les mar- gots descendant de la falaise et que l'on peut aménager: dérivation de leurs cours vers des bas-fonds naturels.	
22 387	Niemeniké	12.32.47 12.00.33	2 puits artisanaux dans des grès très altérés	Débits faibles : 1 à 2 m ³ /j Prospecter les alluvions du Séréko au Nord du village, dont le cours et les nombreux affluents dessinent un chevelu hydrogra- phique très important.	
22 386	Boutougou Fara	12.29.30 13.24.20	2 puits artisanaux dans formations sa- bleuses fines superficielles	Relai important sur la piste Tambacounda- Branson. Les puits ont des débits extrême- ment faibles. Orienter les recherches vers les nappes alluviales des marigots au Sud du village.	

Villages importants de 200 à 300 habitants dont les besoins dépassent les ressources actuelles

Secteur Kédougou (suite)						
22 427	Kanéméré	12.11.00	- 1 puits dans terrains d'altération	- Réaliser un puits sur la berge du marigot		
		12.52.30	des roches vertes	Kanéméré Ko au Nord du village; puits prolongé latéralement par un drain transversal barrant le lit mineur du marigot		
			- Céanes			
23 426	Ibel	12.22.10	- 1 puits dans des schistes faiblement fissurés	- idem (absence de lit majeur du marigot)		
		12.30.50				
22 420	Bandafassi	12.18.45	- 5 puits dans les terrains d'altération des schistes	- Seul le puits du dispensaire fournit un bon débit; approfondir les 4 autres jusqu'à ce qu'ils recoupent de 3 à 4 m les schistes sains.		
		12.32.30				
22 429	Mamakono	12.03.00	- 1 puits dans les roches vertes altérées	- Prospecter les alluvions du Mamakono: puits avec drain transversal dans le lit mineur		
		13.11.30	- Céanes pérénnes	- Prospecter l'arène du massif granitique au Sud Ouest du village.		
22 701	Daloto	11.42.18	- 1 puits dans les schistes altérés	- Abandonner tous les puits superficiels dans les schistes et étudier par géophysique et géologie des possibilités plus profondes ou		
		13.11.12	- Céanes	- Reconnaître les alluvions : choisir un emplacement favorable (confluence de marigots entre les glacis latéritiques); pose d'un drain transversal dans le lit mineur communiquant avec un puits sur la berge.		
22 433	Saraya	11.45.00	- 2 puits dans le granite sain	- Foncer 2 puits sur les lieux où à proximité des céanes qui ont rencontré plusieurs m d'arènes (ces céanes sont situées à 500 m à l'Est du village)		
		12.50.00	- Céanes pérénnes dans l'arène granitique			

Villages de 200 à 300 habitants où les besoins dépassent les ressources Cheptel importants/

Villages de 200 à 300 habitants où les besoins dépassent les ressources Cheptel important	22 636	Nafadji	11.37.00 12.37.00	- 5 puits dans l'arène granitique	- Echec dû à une non reconnaissance préalable; nécessité de foncer un 6ème puits pour cet important village qui souffre manque d'eau; prospection préalable pour déterminer une "poche" d'arène.
	22 399	Kayan	12.19.10 13.18.40	- 1 puits au débit faible dans latérite.	- Puits à massif filtrant à planter sur le lit majeur du marigot Polandal après reconnaissance préalable de la nature et épaisseur des alluvions.
	22 462	Marorokoto	12.21.00 12.48.00	- 1 puits au débit assez bon	- Puits en très mauvais état, mal entretenu et encombré de divers débris végétaux puits à curer dont il faudra assurer la protection.
	22 735	Baraberi	11.44.36 12.57.42	- 1 puits au débit nul	- Puits mal implanté : ne recoupe que le granite sain (faible perméabilité de fissures) - Reconnaître l'existence de l'arène avant d'implanter un puits.

8 - CONCLUSIONS

Nous avons porté principalement notre attention sur les nappes alluviales et recommandé leur exploitation ainsi que celles des arènes granitiques plutôt que tout autre, ne faisant que confirmer ce que A. MARTIN avait pressenti : "il est certain qu'à ces ressources" (celles des terrains anciens), doivent être préférées celles des nappes alluviales, et également celles de latérites (1) qui, jusqu'au 14ème parallèle, recouvrent en grande partie les formations géologiques".

Nous ne pouvons cependant pas terminer sans faire mention de la prospection hydrogéologique dans les terrains anciens. Le recours aux seules nappes alluviales est la solution le plus souvent la plus simple et la plus sûre, mais les quelques bons puits implantés dans les formations géologiques à la faveur de conditions naturelles favorables montrent que ces terrains ne sont pas dénués de toute réserve d'eau.

Dans une région où le problème de l'eau peut un jour ou l'autre se poser avec beaucoup plus d'acuité, il est interdit de négliger toute entreprise visant à améliorer les ressources existantes d'autant que celles-ci semblent, de par leur gîte, être moins sensibles aux irrégularités de la pluviosité.

(1) Latérite doit être pris dans son sens large: "succession des terrains rencontrés depuis la roche mère jusqu'à la cuirasse ou la carapace".

Les ressources profondes des terrains anciens doivent être prospectées. C'est à la recherche des conditions naturelles favorables qu'il faudra s'attacher. Nous pouvons fixer dès maintenant quelques critères favorables.

- Les régions où le métamorphisme qui affecte certaines formations est le plus poussé. Les observations faites démontrent en effet que les terrains métamorphisés constituent un matériau plus perméable, plus accessible à l'infiltration que les terrains sédimentaires.
- Les grands accidents tectoniques (failles), les zones de microplissétement, les zones de contact de deux formations inégalement plastiques caractérisées par une dysharmonie de plissement (ex. contact schistes-quartzites), au voisinage desquels les roches sont le plus intensément fissurées.
- Exploiter si possible par le même ouvrage deux nappes superposées; nappe profonde du substratum et nappe superficielle des épandages alluvionnaires.

Les résultats remarquables obtenus en République du Mali par R. REICHELT (1) dans les formations sédimentaires et métamorphiques du Gourna doivent inciter à poursuivre les recherches en République du Sénégal. R. REICHELT souligne la nécessité d'études géologiques détaillées. La connaissance très détaillée de la stratigraphie et de la tectonique des diverses formations est indispensable à la prospection des nappes qu'elles sont susceptibles de receler.

(1) "Géologie de la bordure sud du Gourma et hydrogéologie du groupe d'Ydouban. Campagne 62-63" DAKAR 63 A 21

Il existe certains horizons perméables dans ces formations. Il reste à préciser leur continuité ou leur discontinuité. Ce travail ne peut être réalisé que par un levé systématique des affleurements à grande échelle. On ne peut ignorer les difficultés d'une telle entreprise au Sénégal Oriental où le recouvrement latéritique restreint considérablement le nombre des affleurements.

Mode de prospection à préconiser pour la création de nouveaux points d'eau

Il ne semble pas, dans l'actuelle situation économique du Sénégal Oriental, qu'une prospection détaillée, sur toute la région, en vue de l'implantation de puits, soit recommandable. Certes la meilleure connaissance des faciès et de leur répartition permettrait très certainement de découvrir certains niveaux aquifères. Cependant les problèmes à résoudre sont à une échelle plus petite et très dispersée puisqu'il faut rechercher des ressources pour des villages existants et près de ces villages. Nous pensons qu'il convient que les autorités groupent l'étude de l'alimentation en eau d'un certain nombre de village afin qu'une équipe constituée d'un hydrogéologue et d'un géophysicien puisse, au cours d'une mission, étudier chaque cas particulier en détail. Il faut en effet souligner combien la géophysique (électrique, sismique et peut être magnétique) peut apporter une contribution particulièrement précieuse pour la localisation précise des zones d'altération, des failles, des disharmonies, qui sont autant de zones favorables à la présence d'eau dans les terrains anciens.

Des exemples maintenant en nombre suffisant (Haute Volta - Côte d'Ivoire - Mauritanie) montrent que l'étude détaillée, géologique et géophysique, dans un périmètre restreint, permet souvent de détecter un site favorable tout au moins le plus favorable à l'exécution d'un puits.

De même l'étude du profil des marigots avant toute implantation d'ouvrage est à conseiller. Si la tarière ne peut y répondre, la géophysique peut localiser l'endroit où l'épaisseur des alluvions sous le niveau de l'eau est maximale.

Ainsi donc avant d'exécuter des ouvrages, souvent onéreux et dont les échecs sont par trop fréquents lorsqu'ils sont entrepris sans étude préalable, nous conseillons une étude détaillée hydrogéologique et géophysique, autour du point à alimenter. Comme on ne peut déplacer une telle équipe chaque fois qu'un problème se pose, nous préconisons de grouper annuellement les villages pour lesquels des travaux sont prévus.

Quant à la méthode de captage, nous ne pouvons conseiller le sondage, tout au moins en l'état actuel de nos connaissances. L'eau est toujours à un niveau relativement peu profond, tout au moins à portée normale d'un puits. Le puits a l'avantage de s'adapter beaucoup mieux aux terrains rencontrés, notamment par la possibilité d'exécuter des galeries pour recouper les zones failleuses. Il doit être aisément de former dans chaque région des puisatiers locaux sachant cuveler un puits et y foncer des galeries boisées ou armées de ceintres.

Pour ce qui est de l'équipement des marigots à débit pérenne, aux fins d'irrigation, il suffira au bief amont par exemple, de faire construire un petit ouvrage dérivant les eaux dans les canaux d'irrigation. Certaines "cuvettes" planes et limoneuses en bordure de marigots débitant de 30 à 50 l/seconde notamment, paraissent pouvoir être mises en valeur à peu de frais (Cf planche B3)

BIBLIOGRAPHIE

- J. ARCHAMBAULT - Quelques aspects de l'hydrogéologie de la Haute-Volta.
BURGEAP, R 175, juin 1954
- J.P. BASSOT - Rapport de fin de campagne 1958-59
B.R.G.M. Dakar
- " - Etude des zones granitiques et birrimiennes de la région de Kédougou. Fédération du Mali.
B.R.G.M., 1960
- " - Etude géologique du Sénégal Oriental Rapport de fin de campagne 1961.
B.R.G.M. Dakar
- J. BOIS - Mission Sud Bakel - campagne 1960-61.
B.R.G.M. Dakar
- R. DEGALLIER
- G. GUERIN-VILLEAUBREIL - Note sur les études hydrogéologiques en arènes granitiques, avril 1957.
- M. DIENG - Etude géologique du C.T. du Sénégal Oriental. Rapport de fin de campagne, DAK 63-A 23.
B.R.G.M. Dakar

R. GOUZES - Etude hydrogéologique de la Casamance.
B.R.G.M. Dakar 1961

G. GUERIN-VILLEAUBREIL - Hydrogéologie en Côte d'Ivoire
Mai 1957

J.P. LAJOINIE - Mission latéritique - Tinkoto (Sénégal Oriental)
S. PRIBILLE Rapport B.R.G.M. (à paraître)

J. LEMOINE - Etude hydrogéologique préliminaire des terrains
anciens du cercle de Bakel (Sénégal)
Rapport BURGEAP, R 203 - 1956
Archives Service de l'Hydraulique de l'A.O.F

A. MARTIN - "Etude hydrogéologie de la région de Kédougou-
Bakel" - Sénégal Oriental, campagne 1962.
B.R.G.M. DAK 63 A-12
Archives Service de l'Hydraulique du Sénégal

P. MICHEL - Note sur l'évolution des vallées de la Kolimbine,
du Karakoro et du Sénégal dans la région de
Kayes.
B.R.G.M. Dakar 1959

" - Note sur les formations cuirassées de la
région de Kédougou (mars-avril 1960)
Fédération du Mali - Rapport B.R.G.M.

" - Etude géomorphologique des sondages dans les
formations cuirassées de la région de
Kédougou (Sénégal).
Rapport B.R.G.M., DAK 62- A 5

R. REICHELT - Géologie de la bordure sud du Gourma et
Hydrogéologie du Groupe d'Ydouban
(campagne 1962-63).

B.R.G.M. Dakar

L. RENAUD - Le Précambrien du Sud Ouest de la Mauritanie
et du Sénégal Oriental.

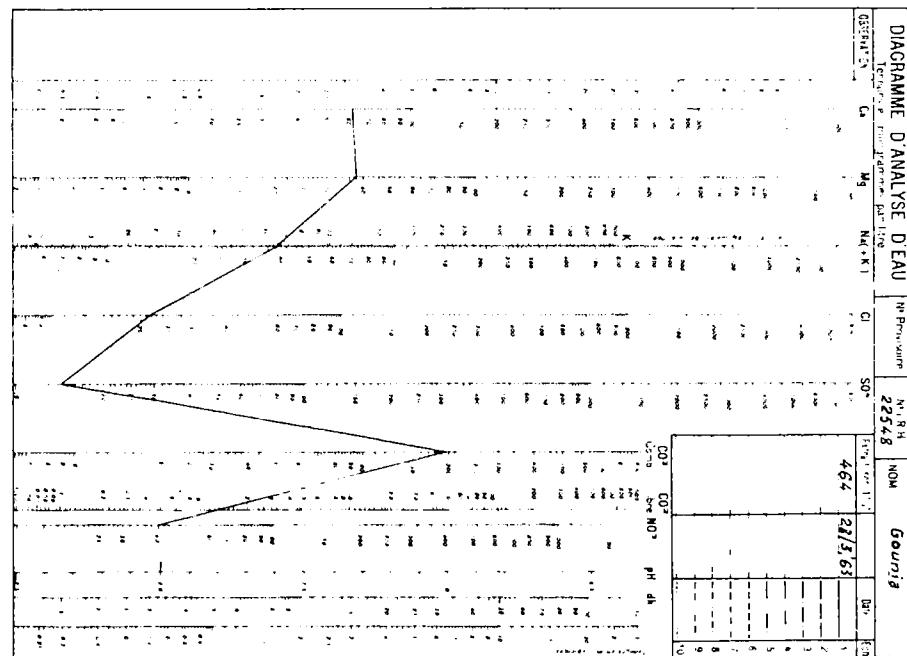
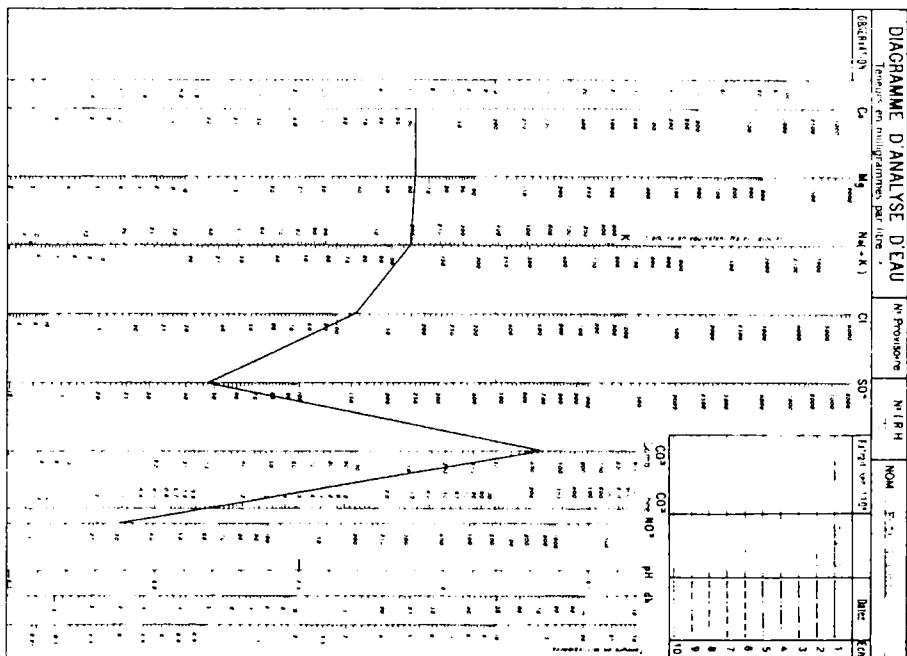
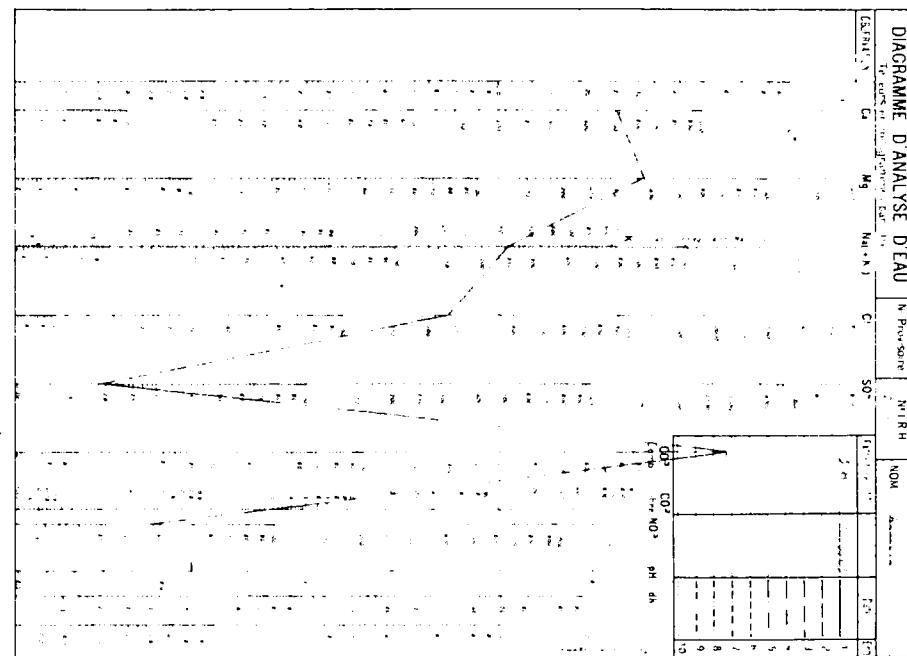
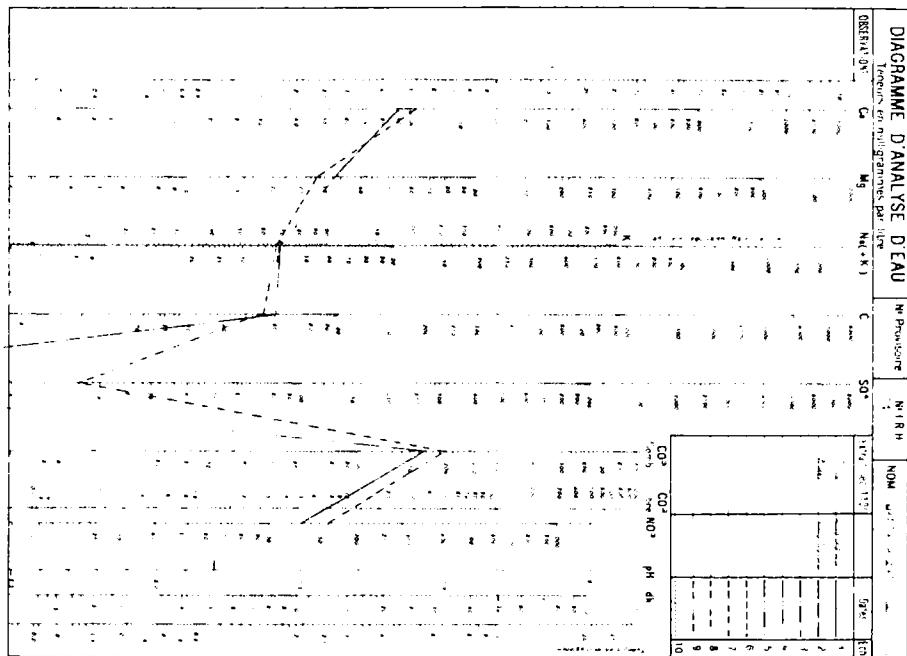
Mémoires B.R.G.M., n° 5, 1961

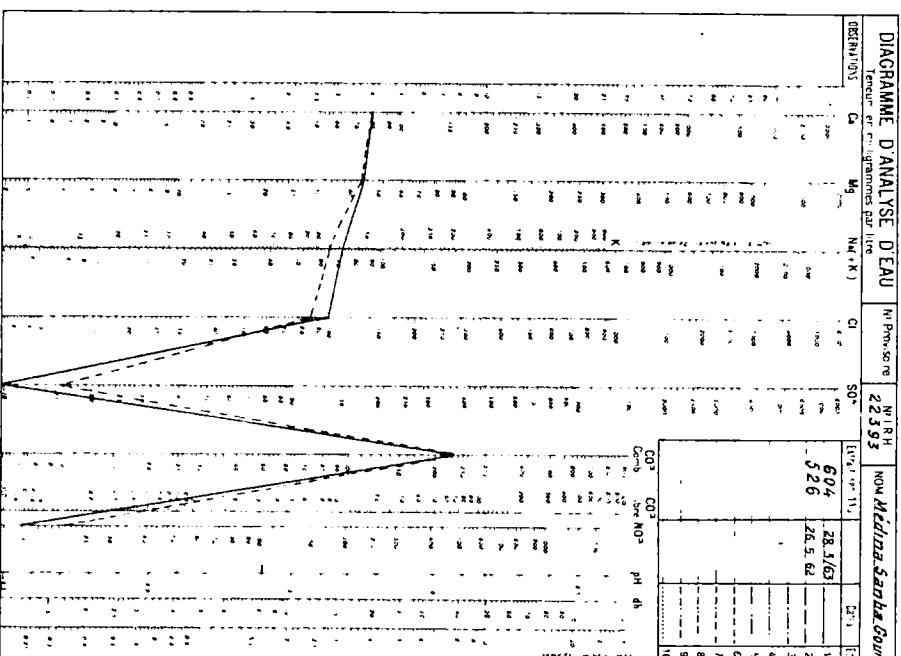
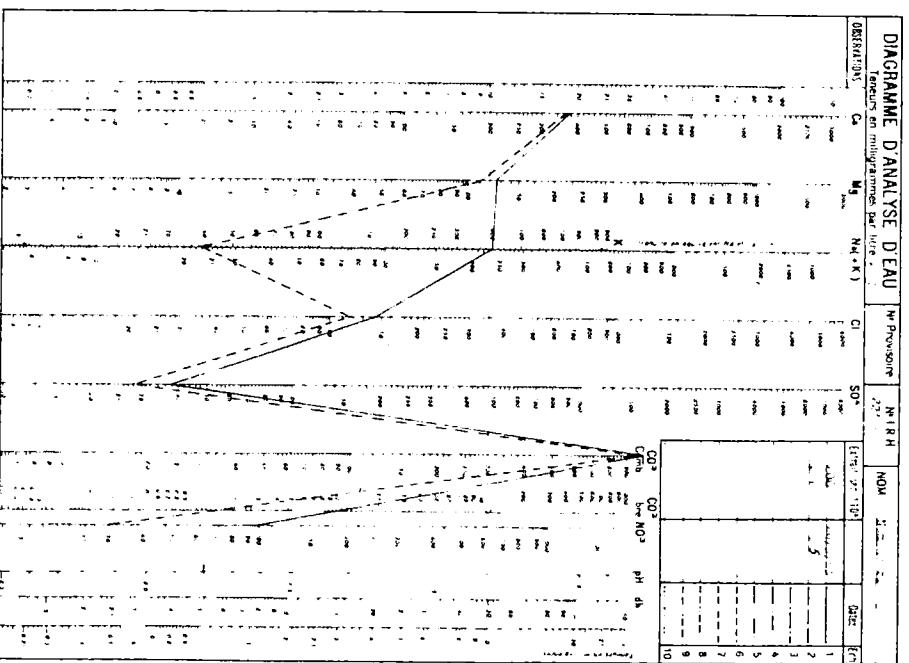
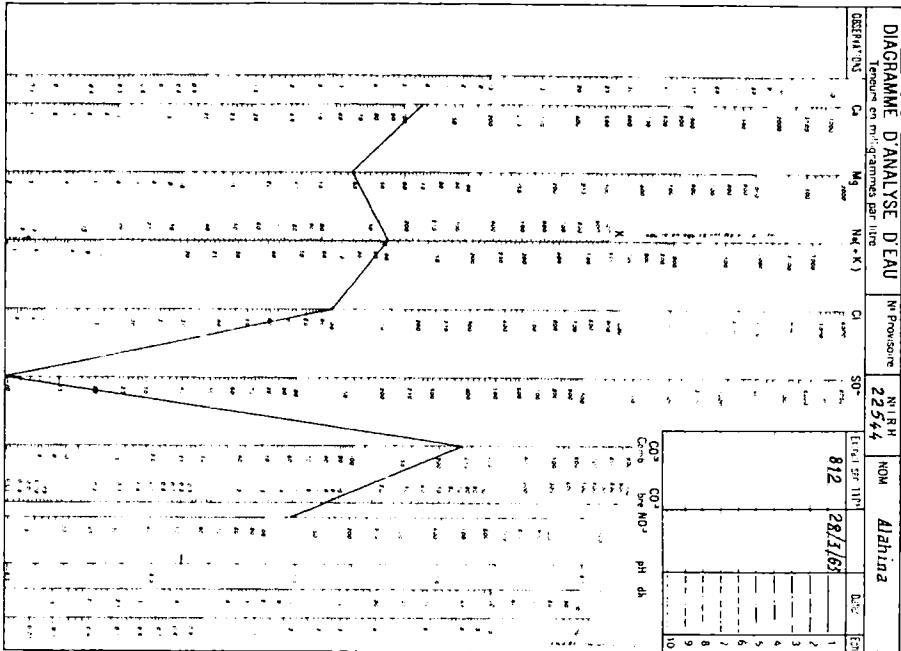
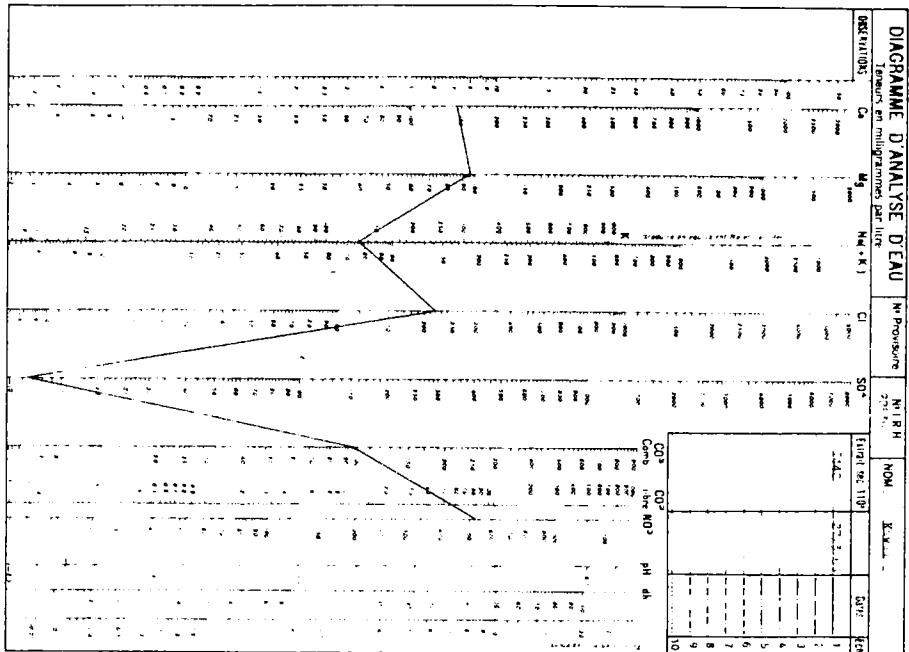
S.E.R.E.S.A. - Etude pour l'amélioration des ressources en
eau de la zone Koussan-Bakel, juin 1960.

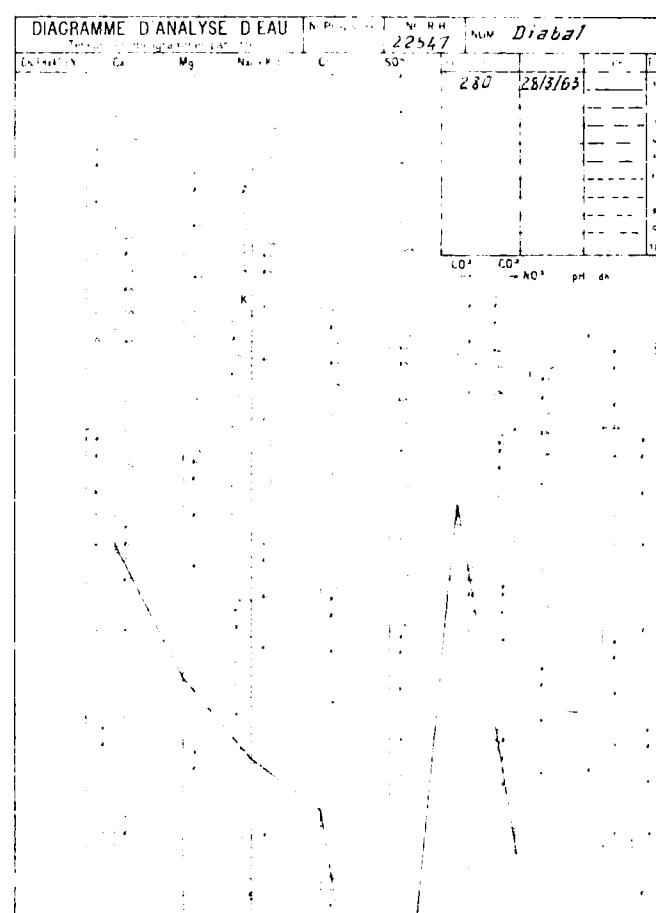
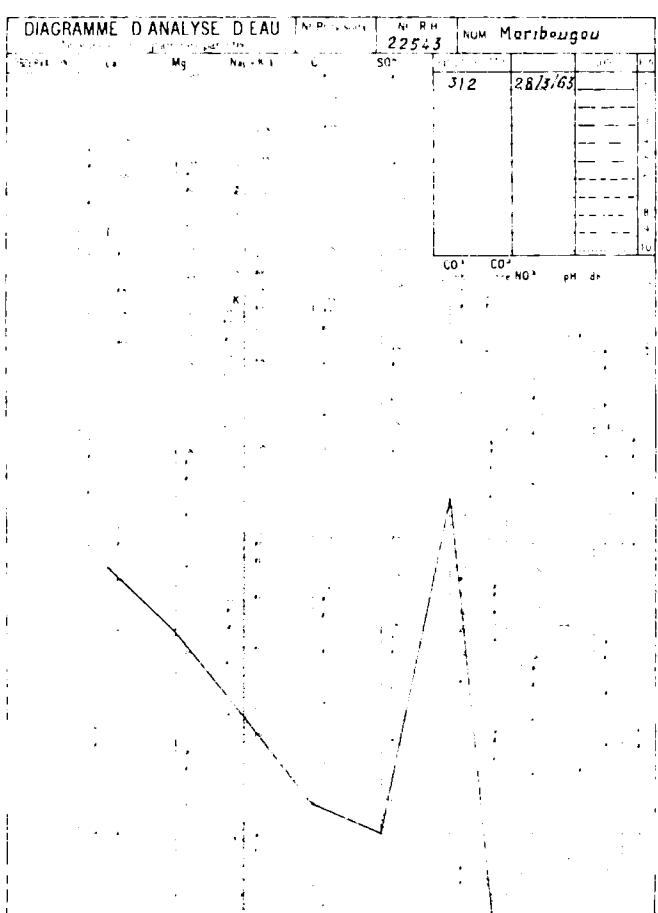
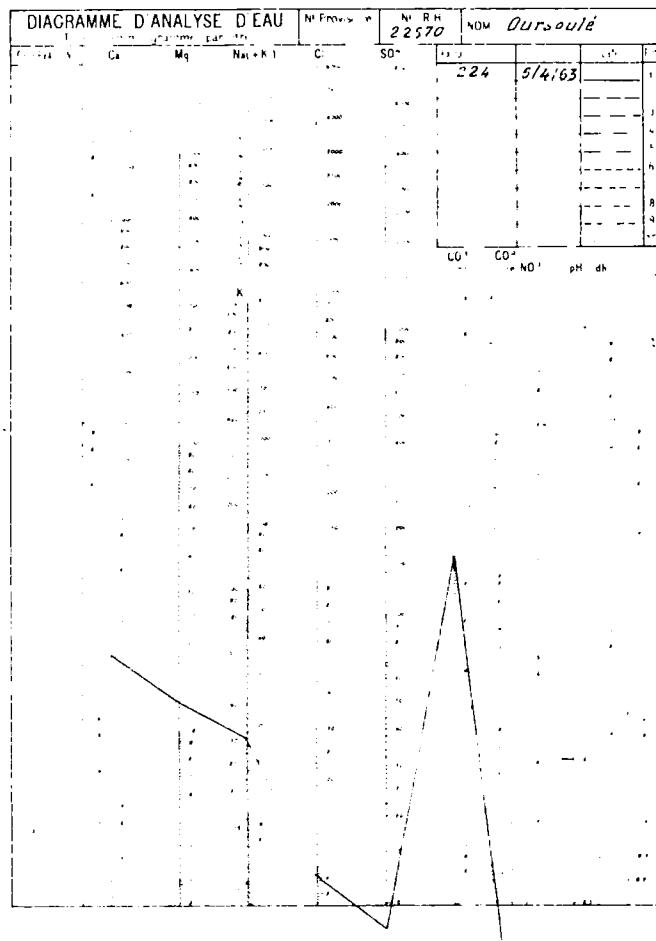
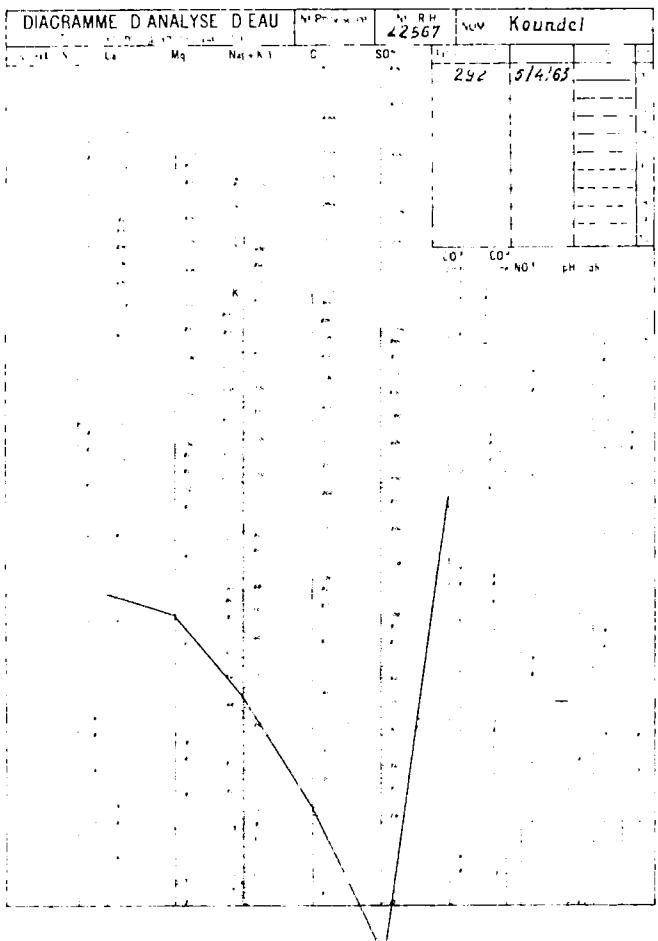
Archives Service de l'Hydraulique du
Sénégal.

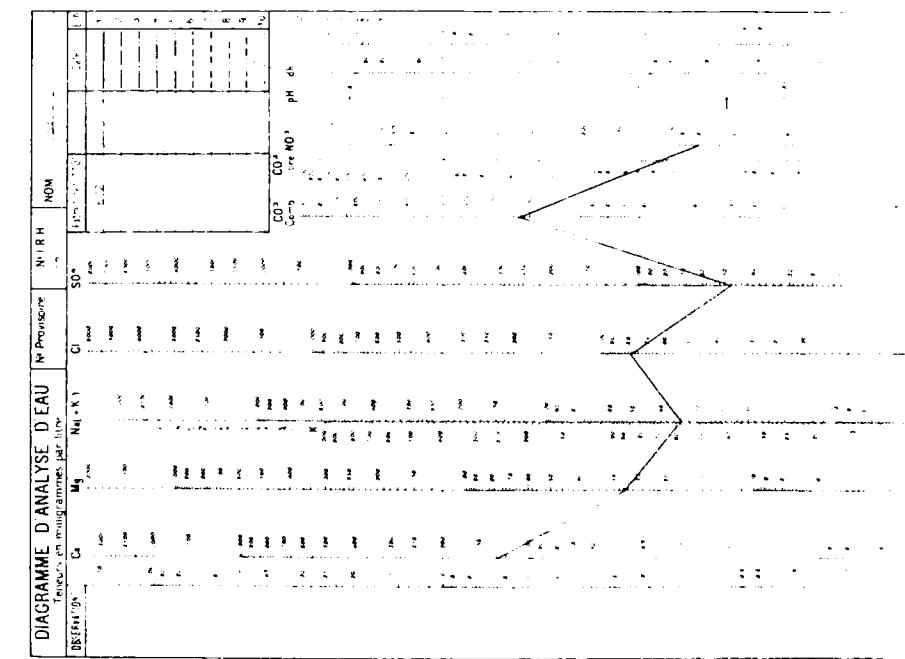
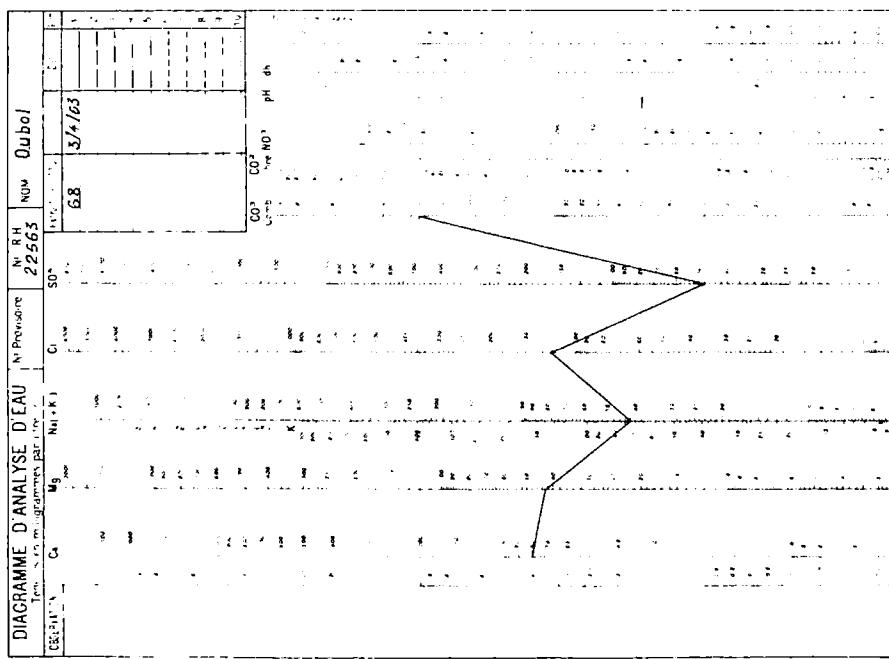
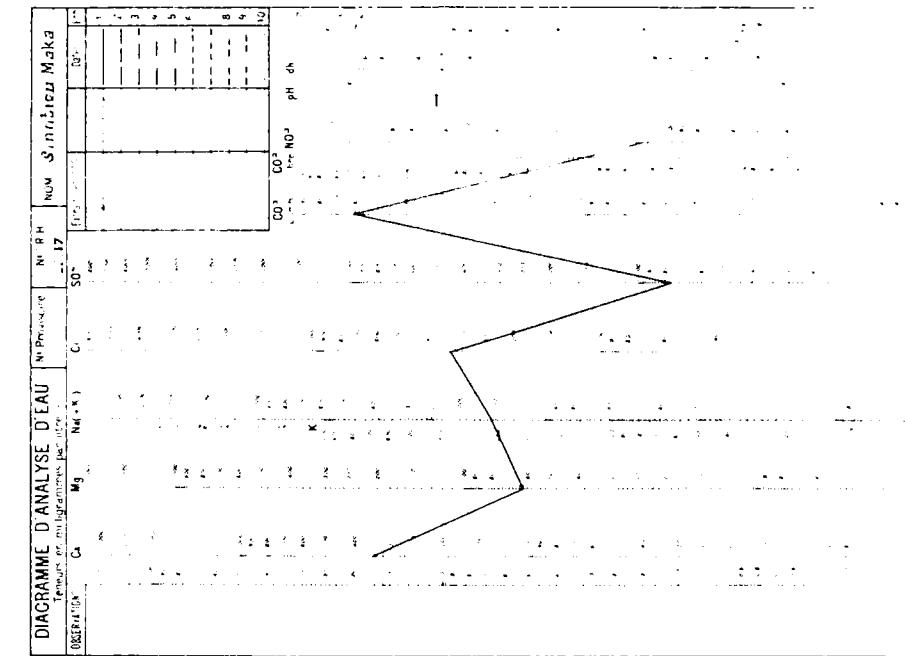
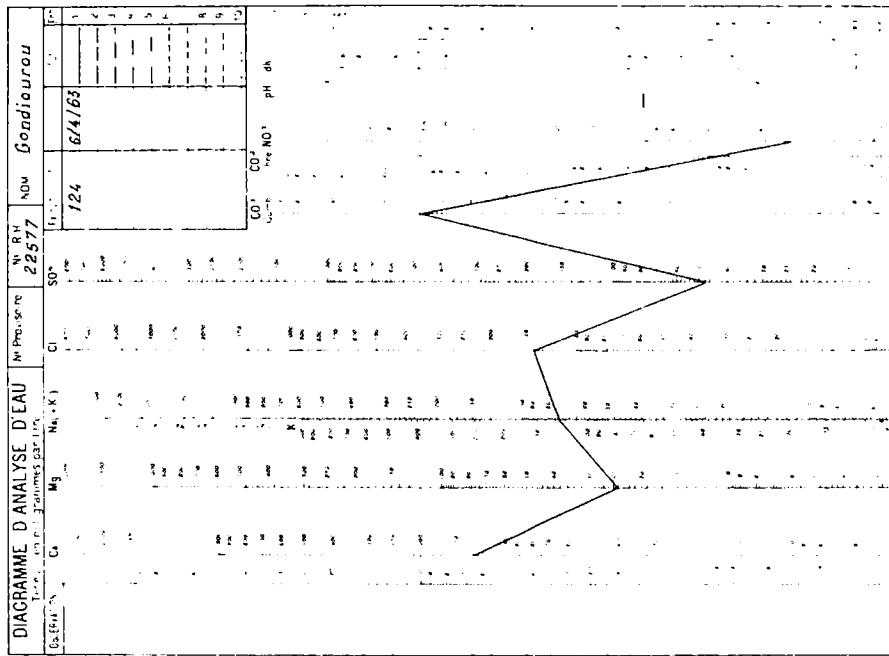
LISTE DES DOCUMENTS ANNEXES

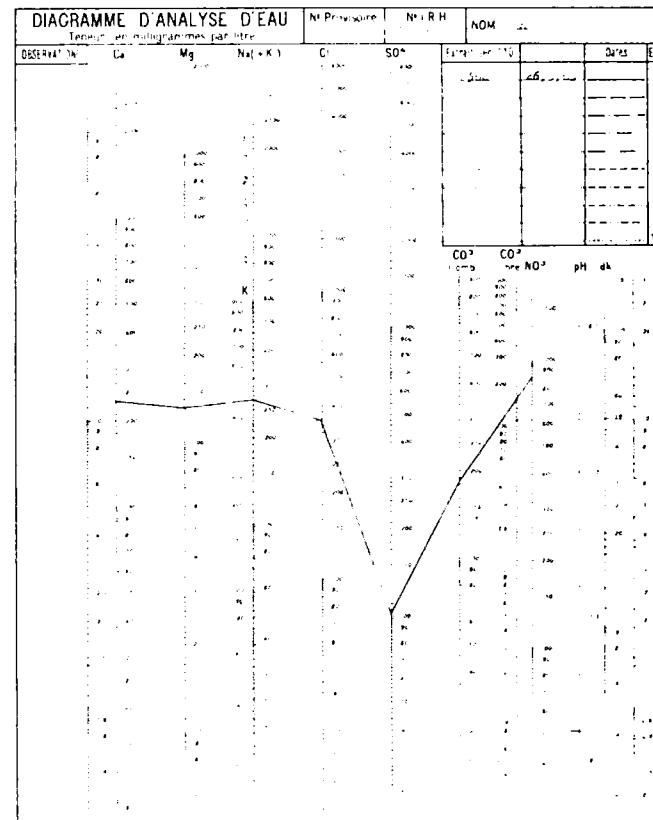
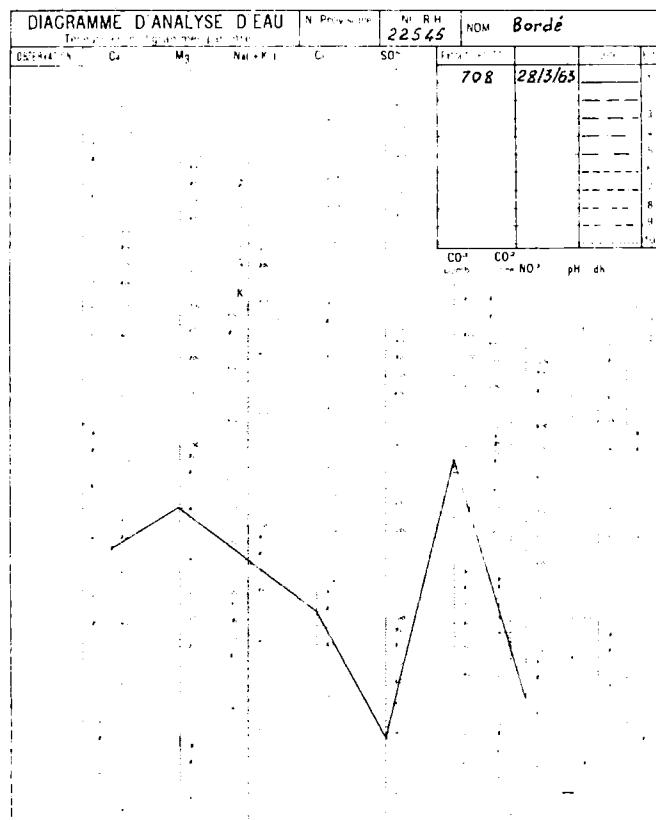
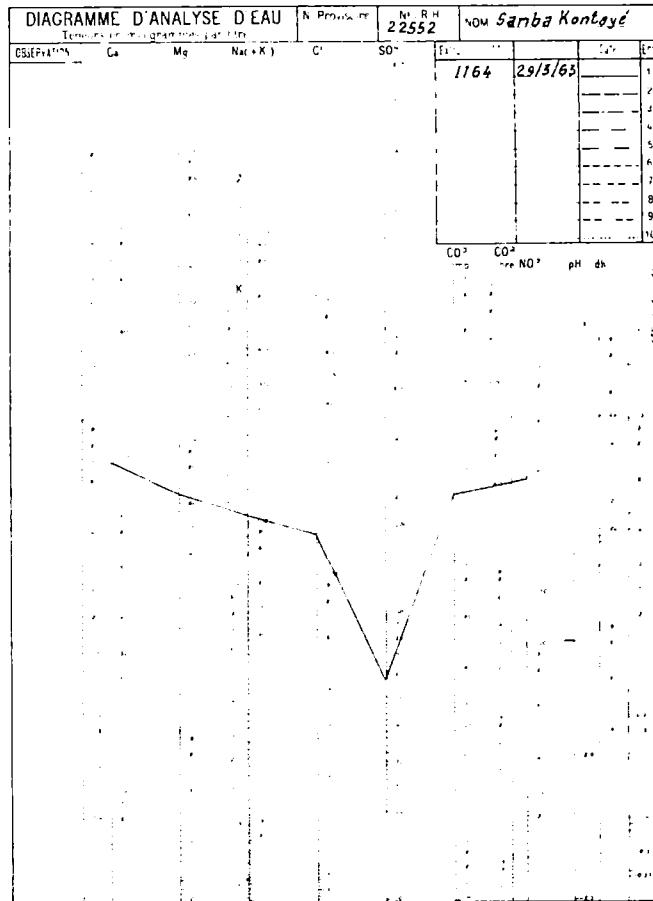
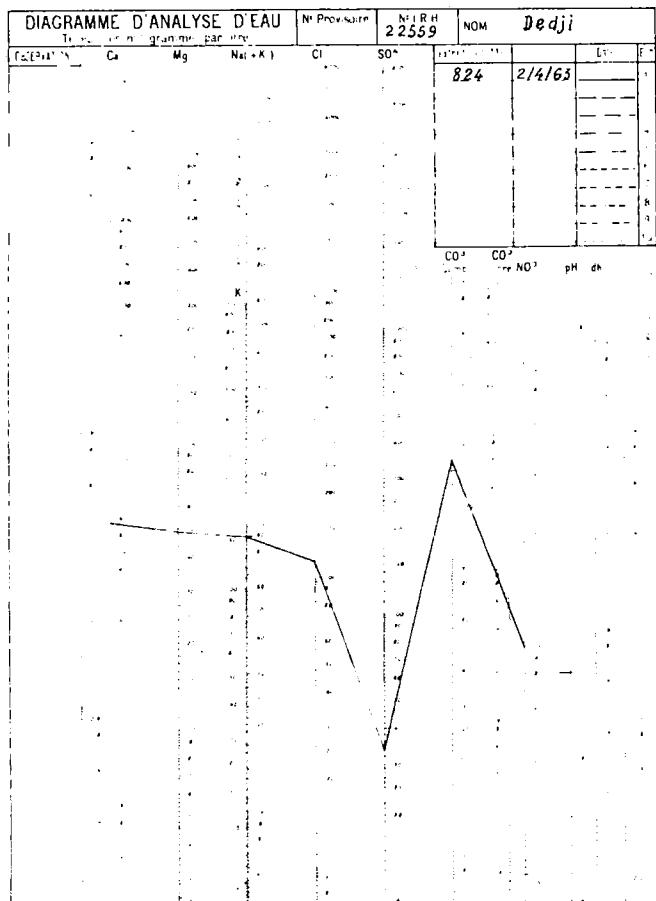
- Dans le texte
- Figure 1 - Carte des normales pluviométriques du Sénégal au 1/2.000.000
 - Figure 2 - Evaporation moyenne en fonction de la température moyenne de l'air
 - Figure 3 - Estimation du drainage mensuel
 - Catalogue des points d'eau
 - 33 feuilles de diagrammes logarithmiques d'analyses d'eau
- Hors texte
- Planches A¹ - A² - A³ - Cartes géologiques des terrains anciens du Sénégal Oriental avec localisation des points d'eau, au 1/200.000
 - Planches B¹ - B² - B³ - Cartes des Itinéraires et points d'eau au 1/200.000

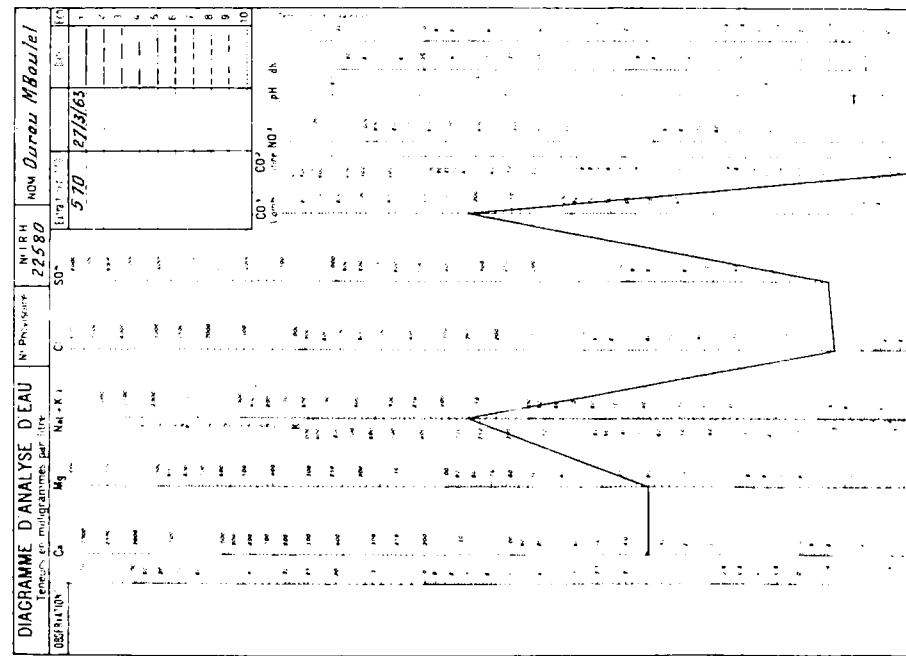
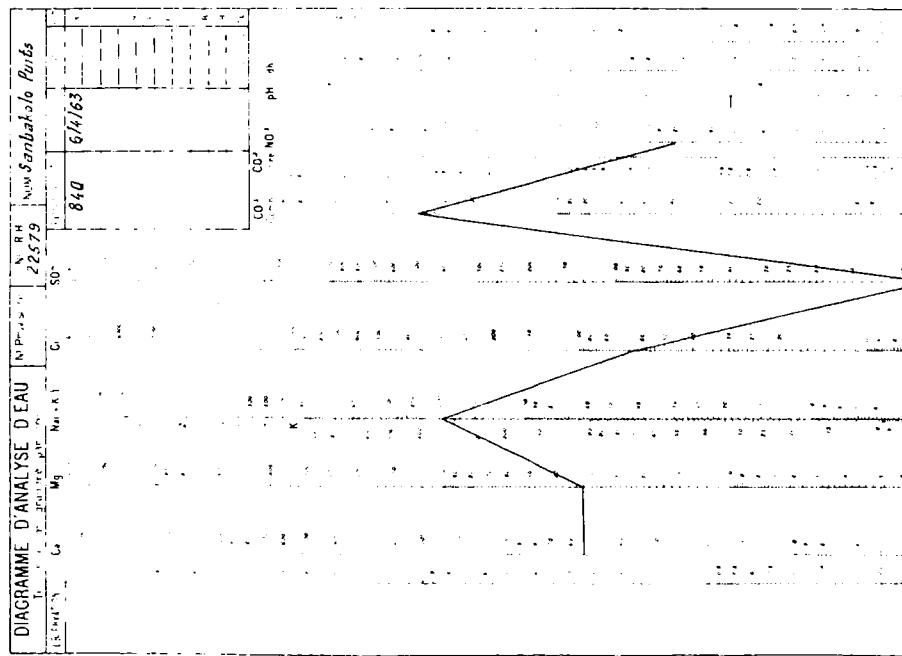
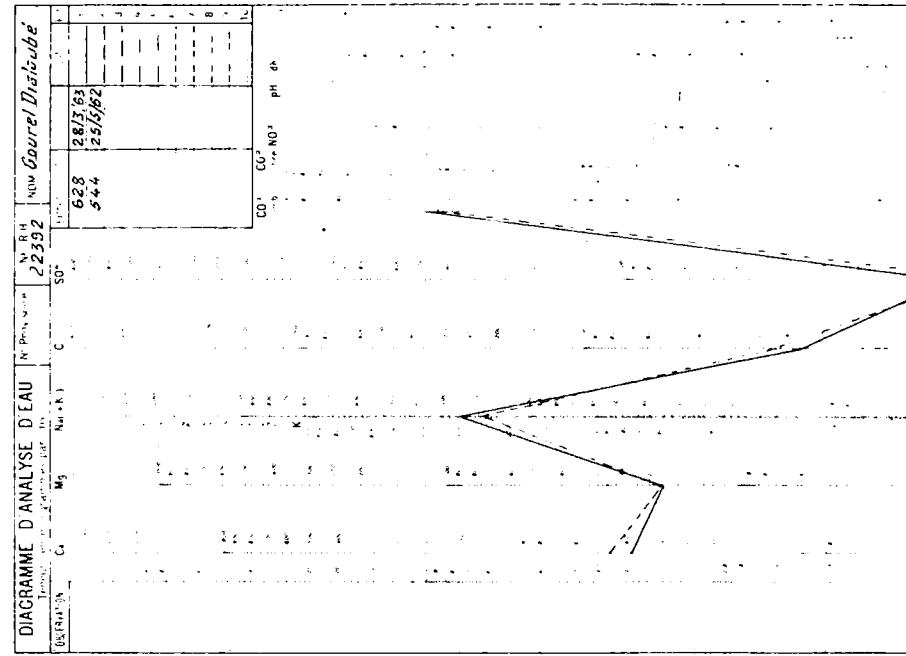
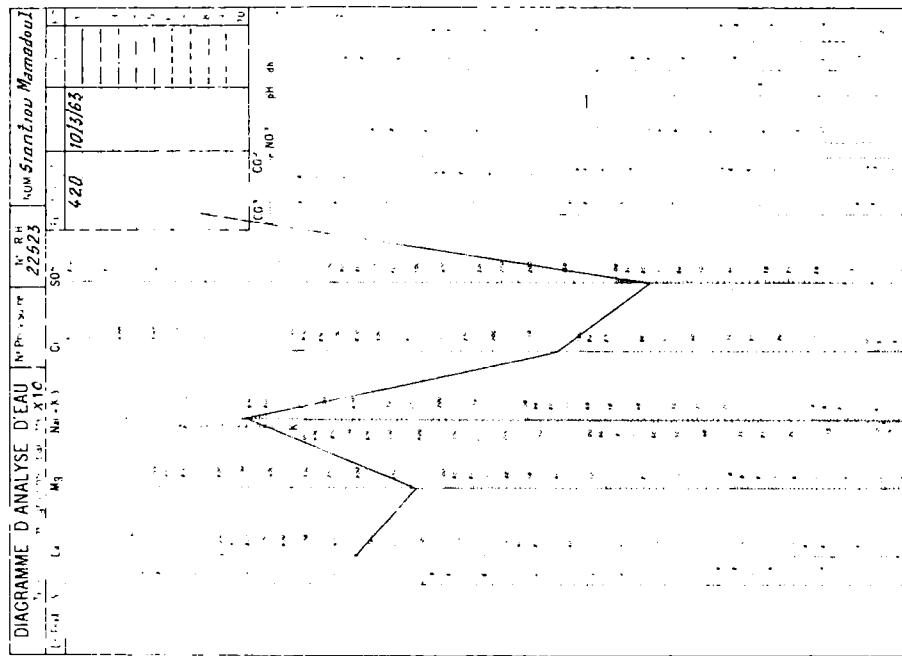


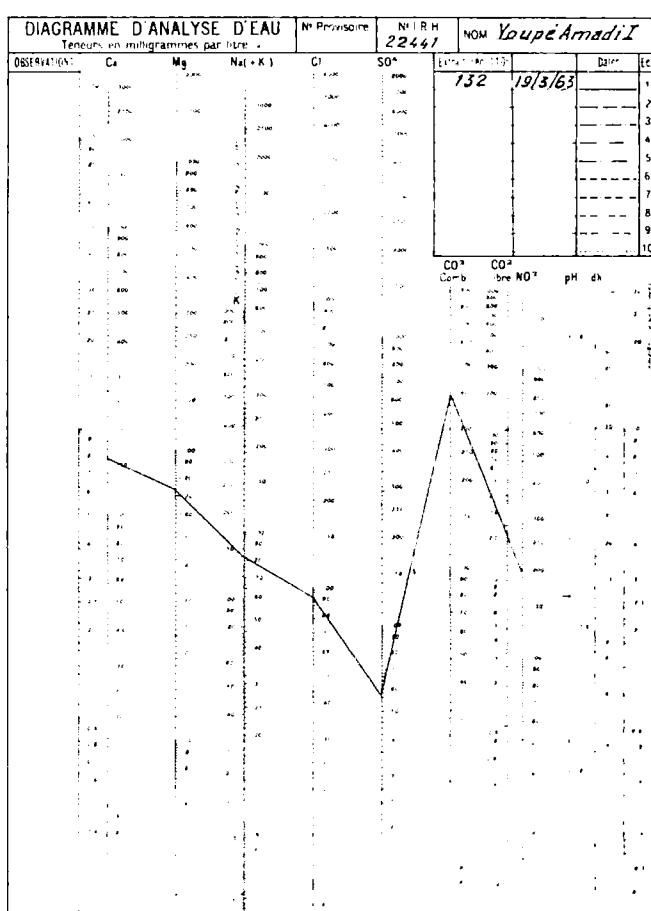
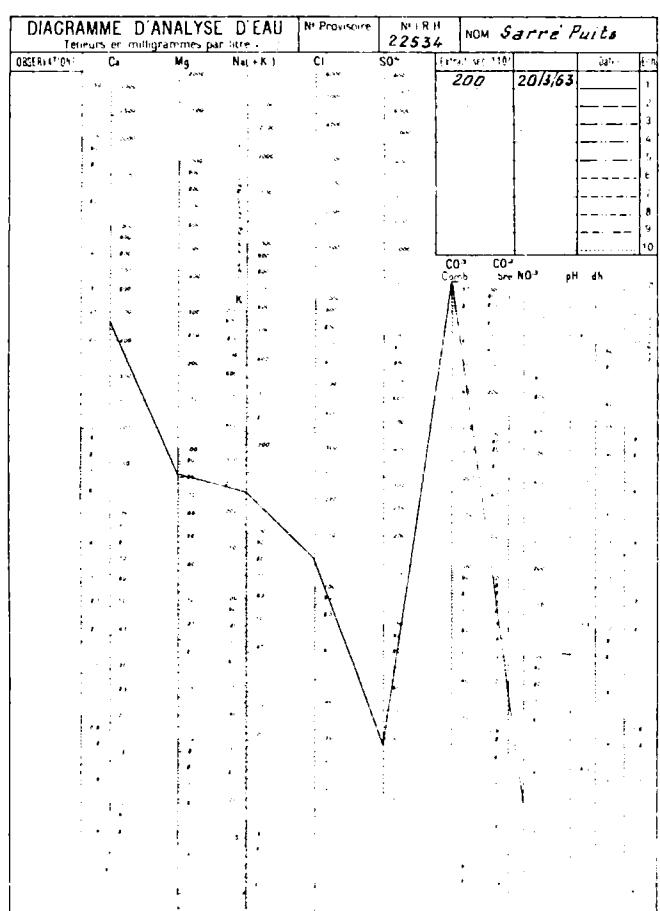
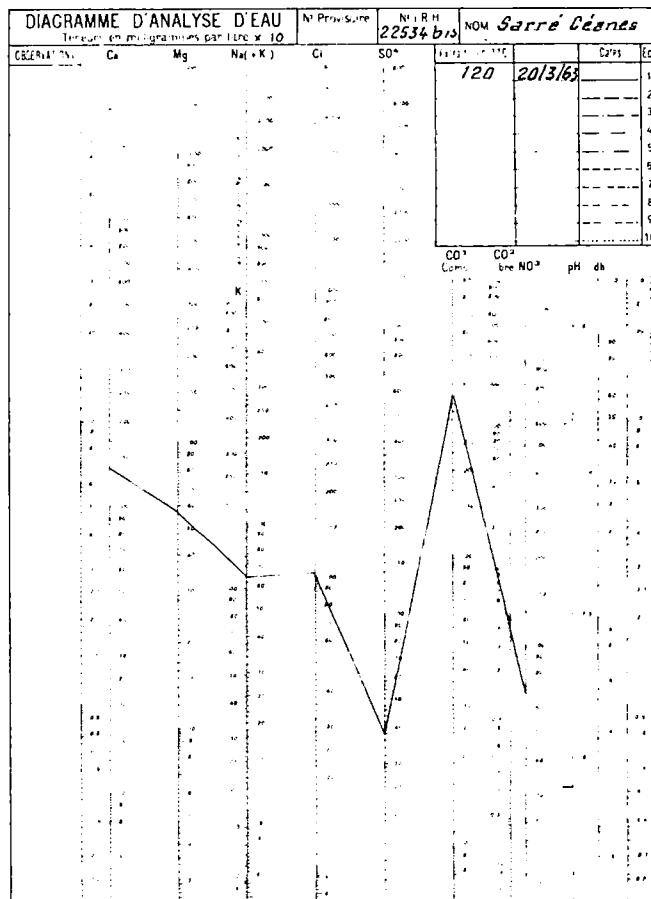
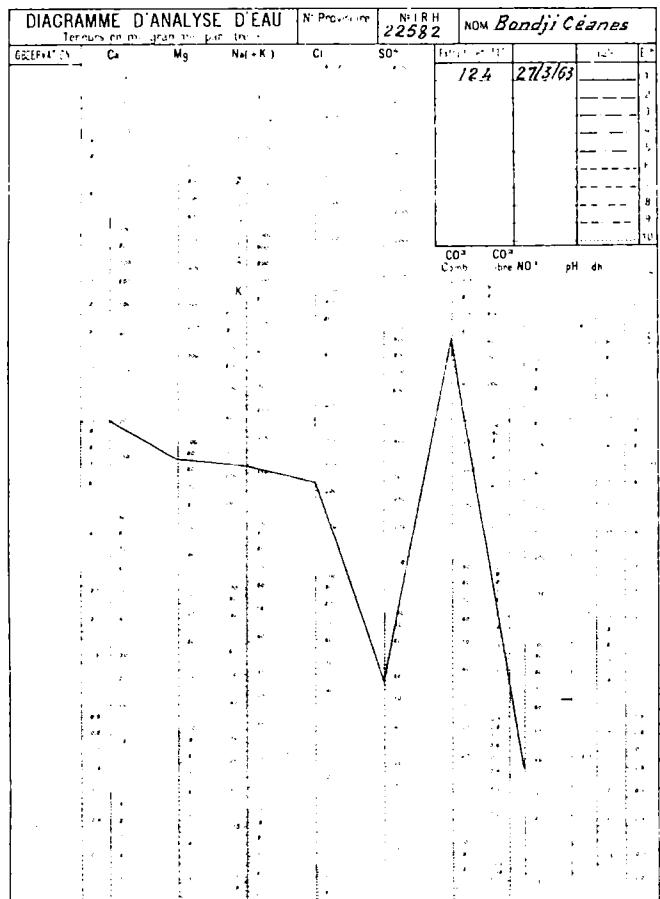


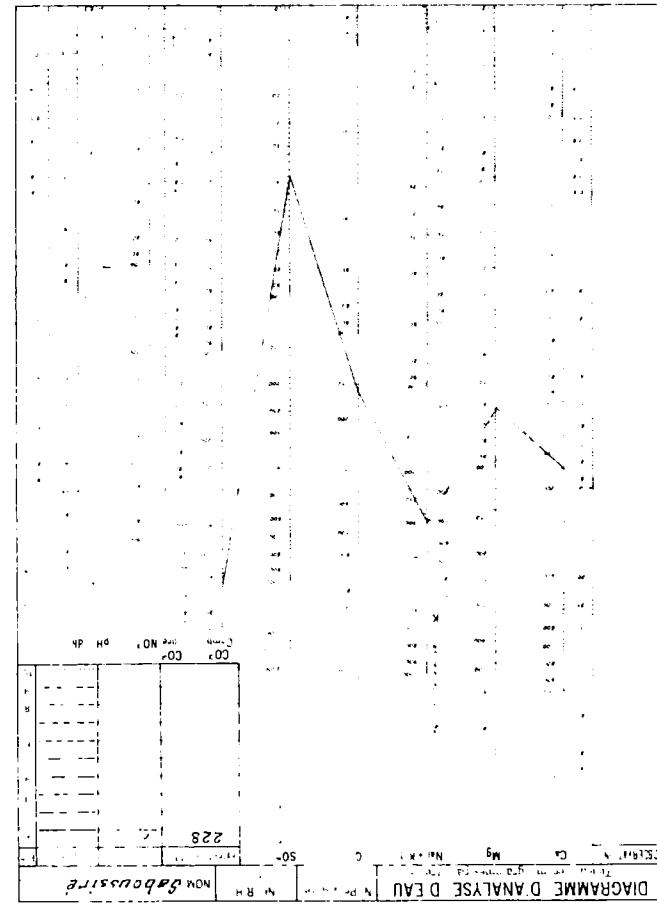
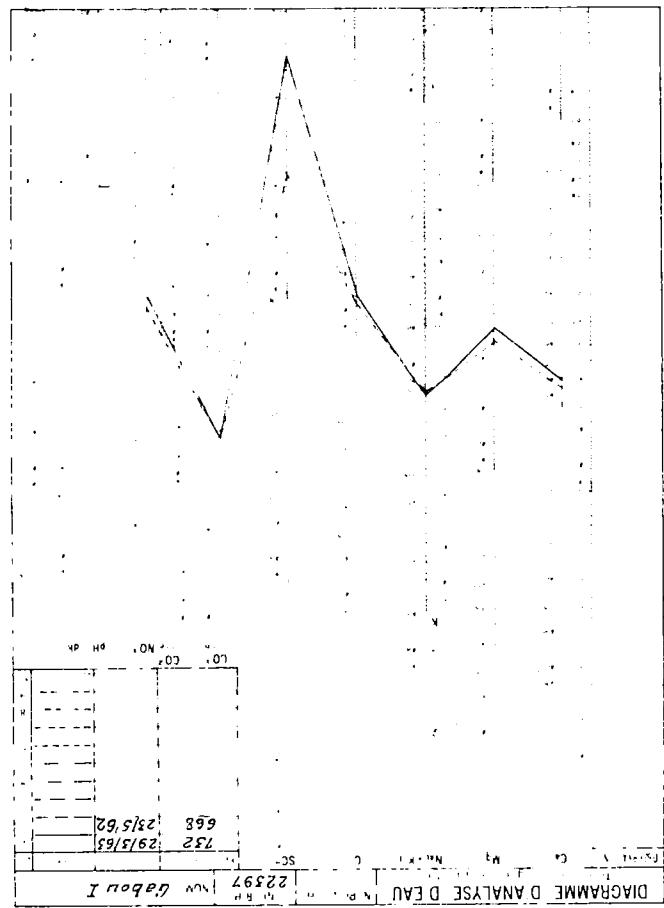
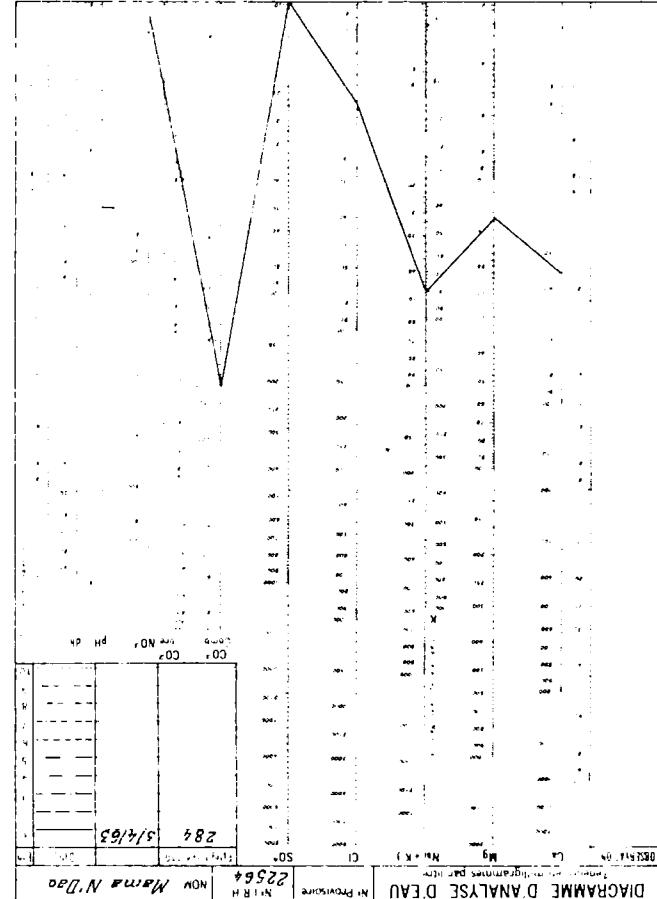


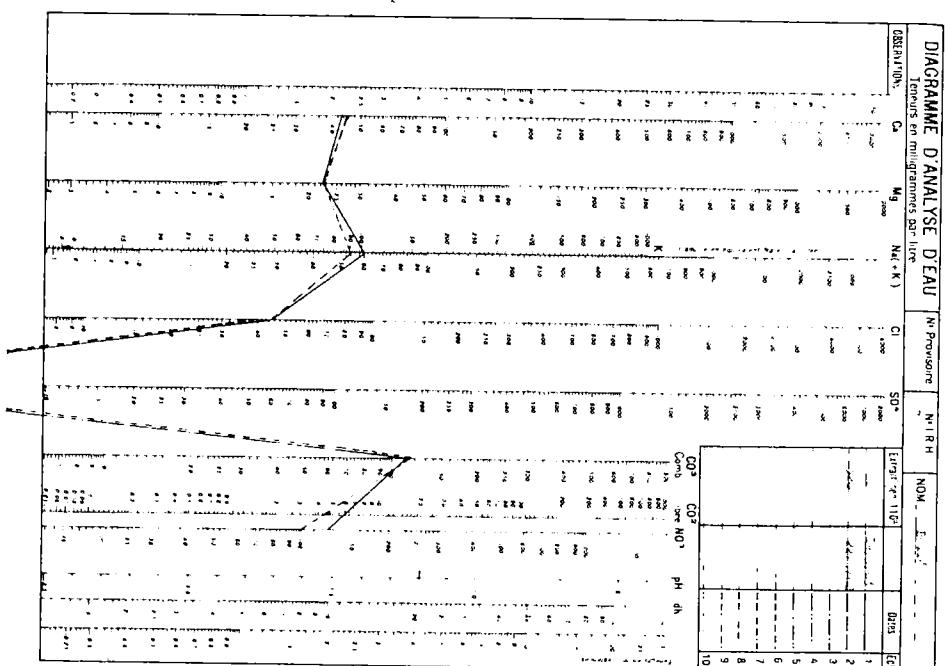
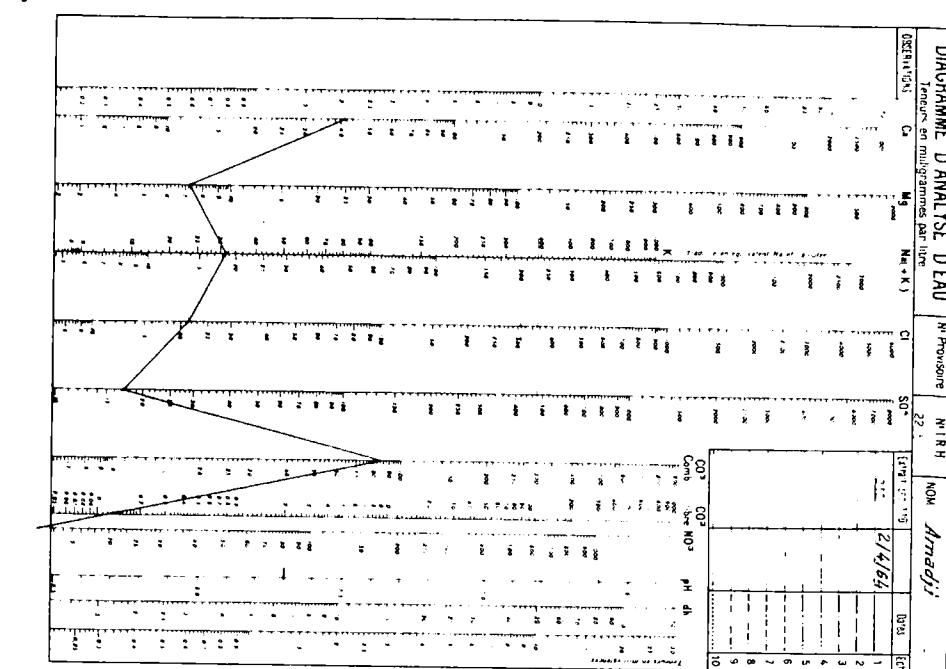
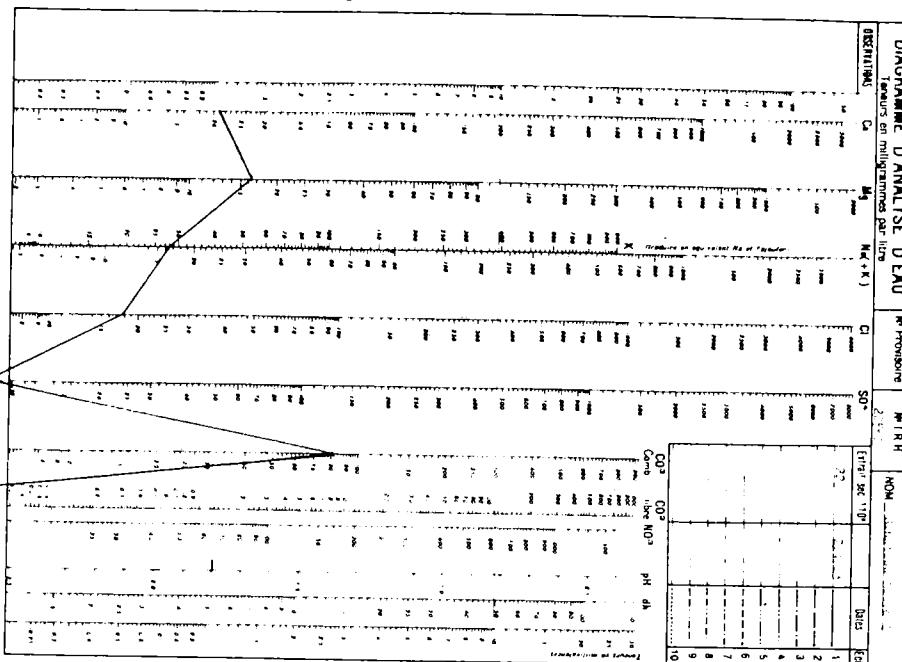


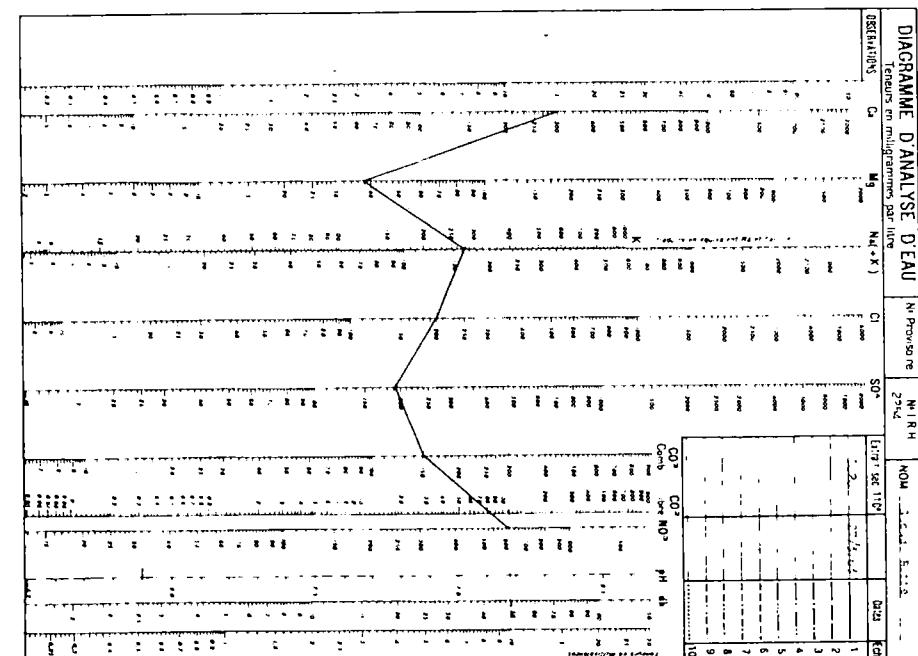
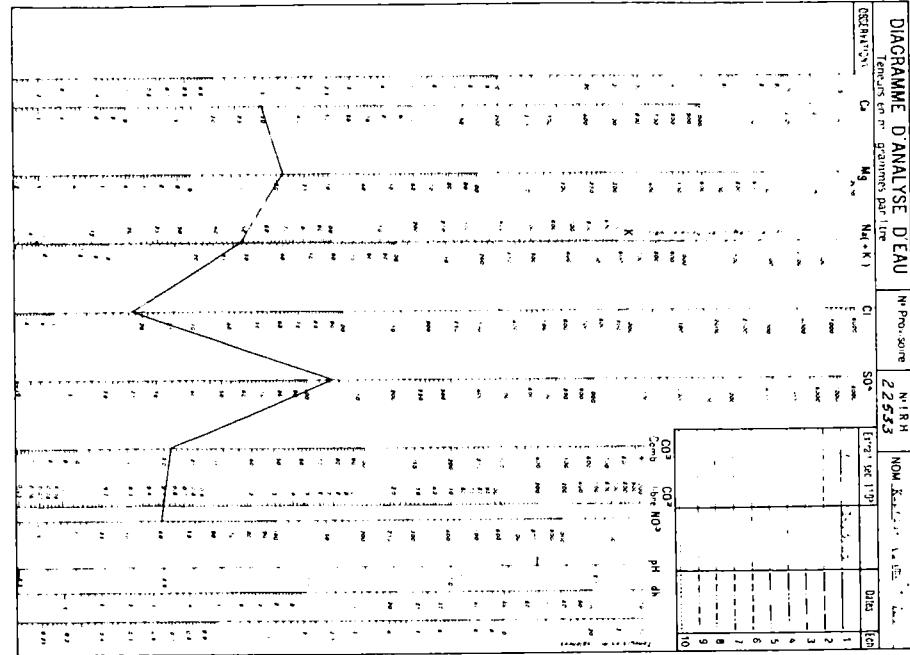
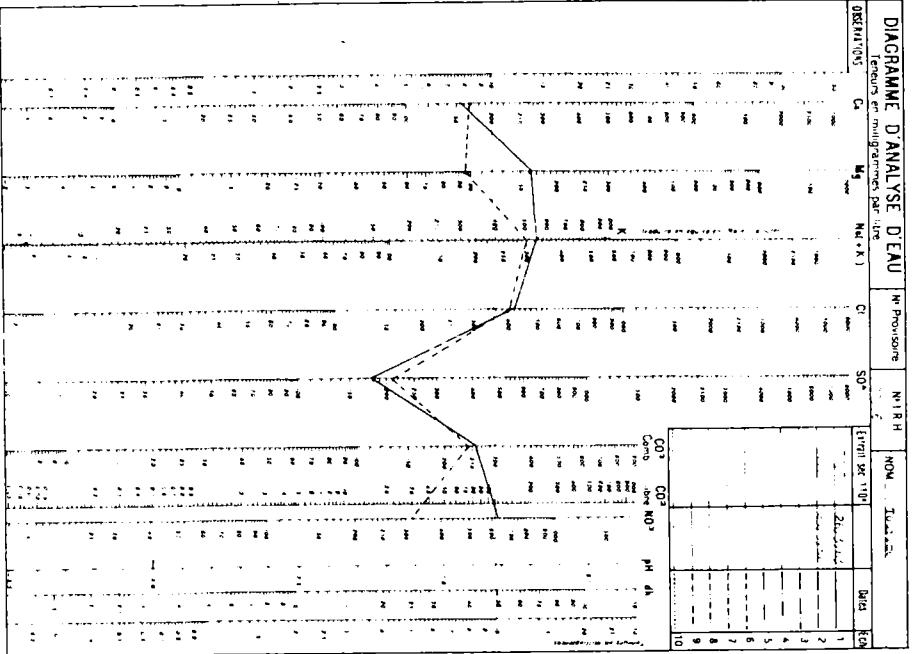


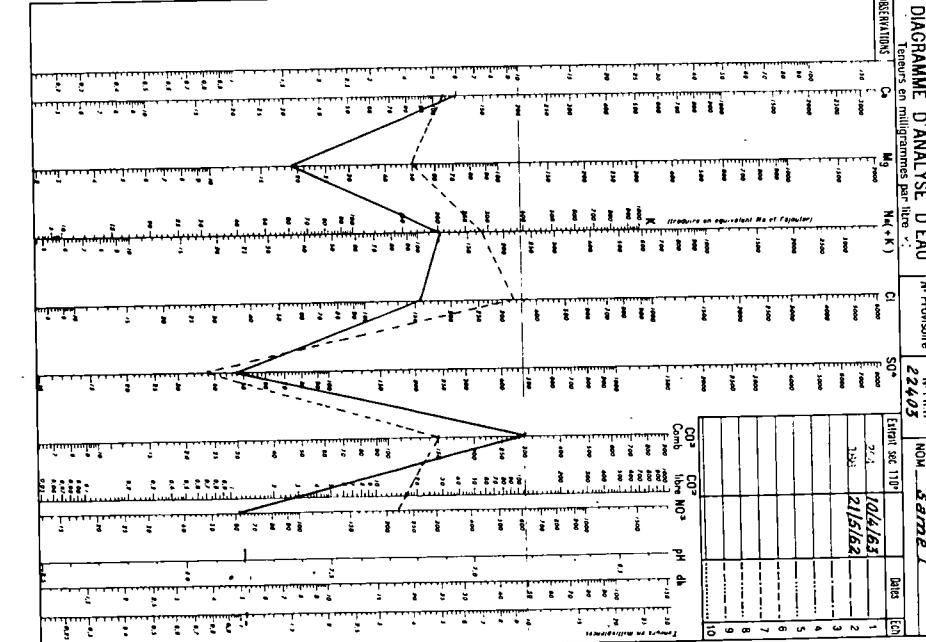
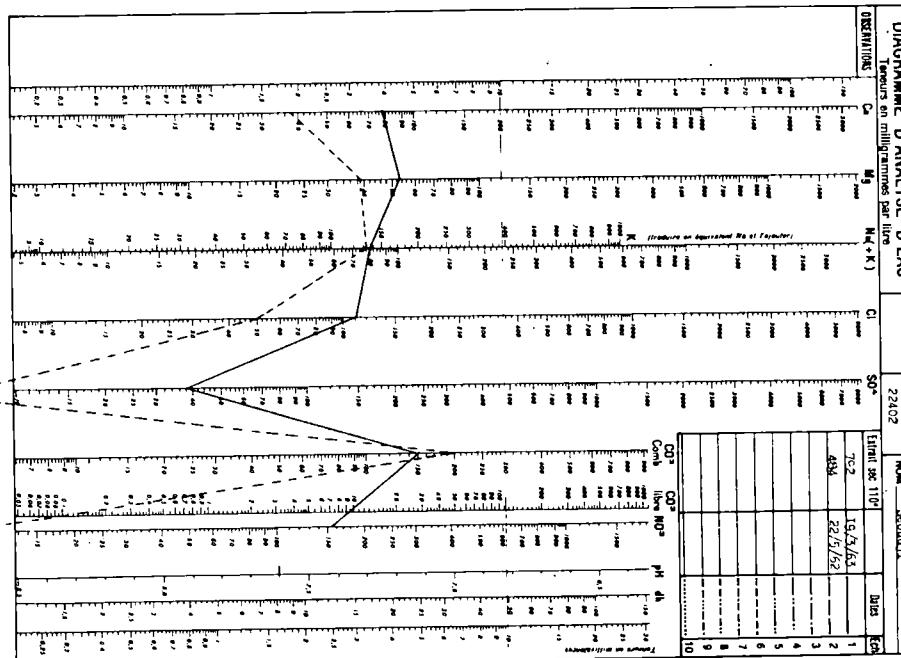
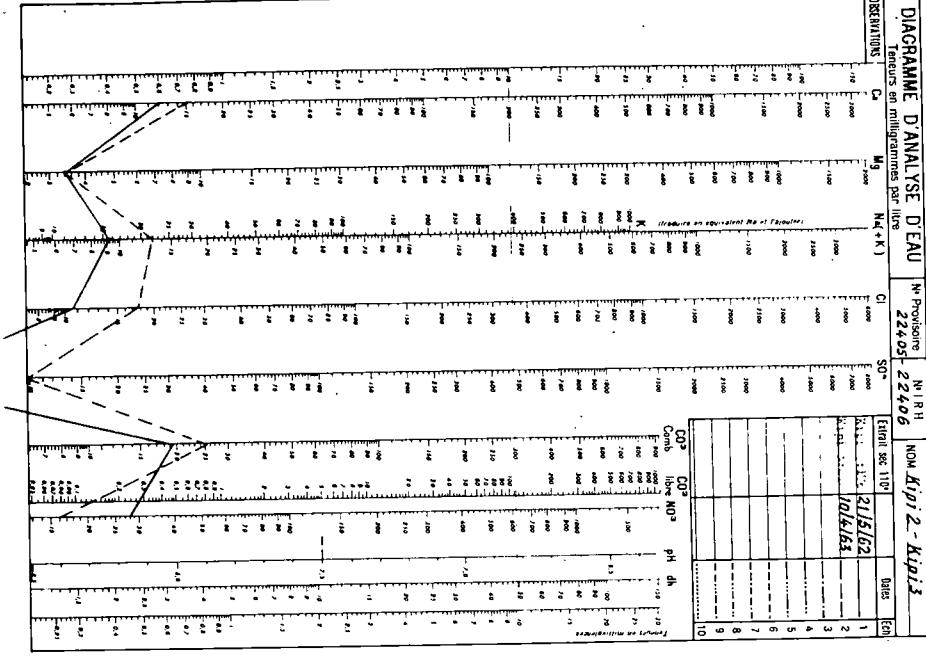
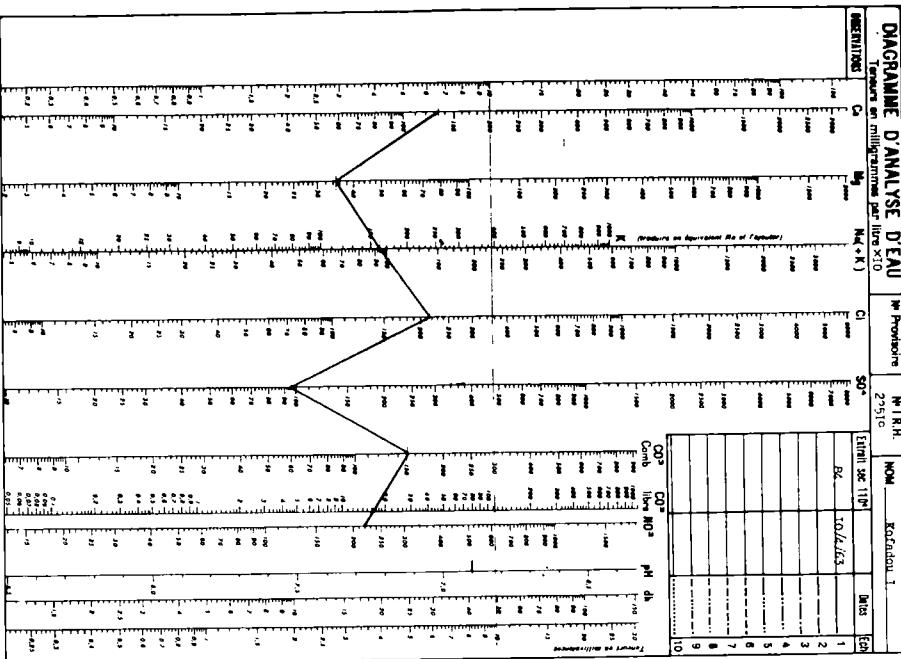


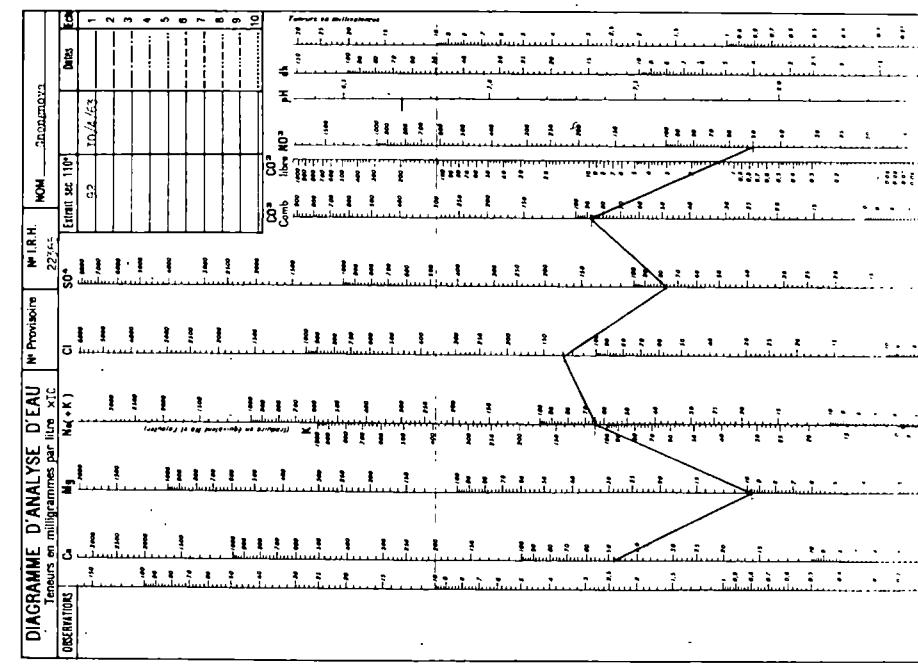
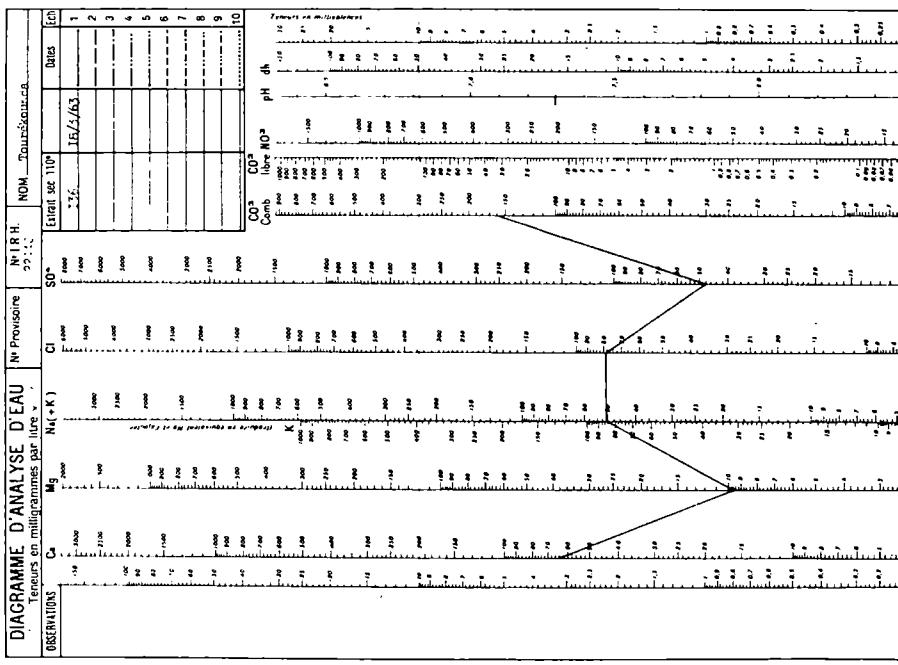
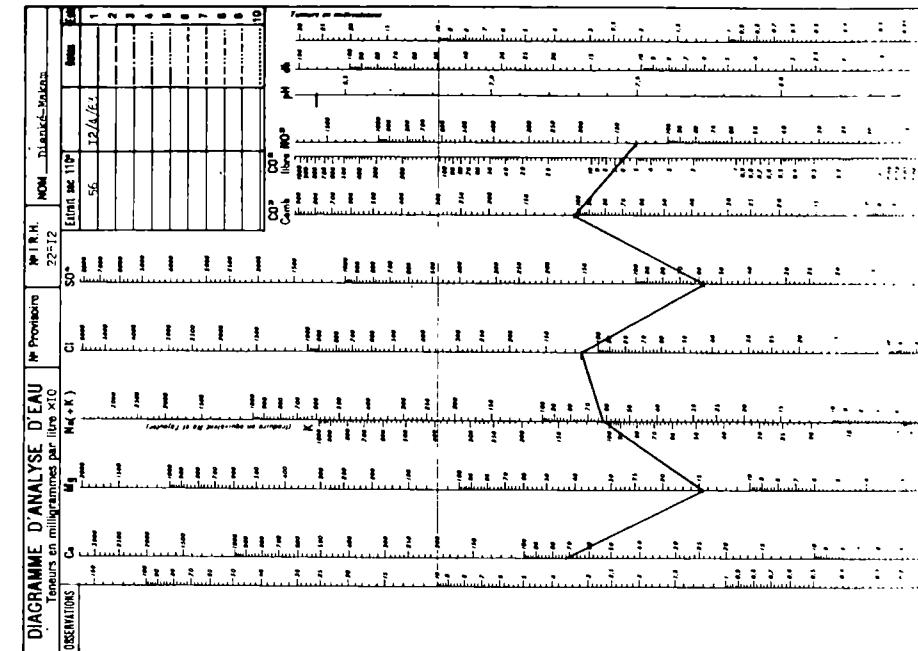
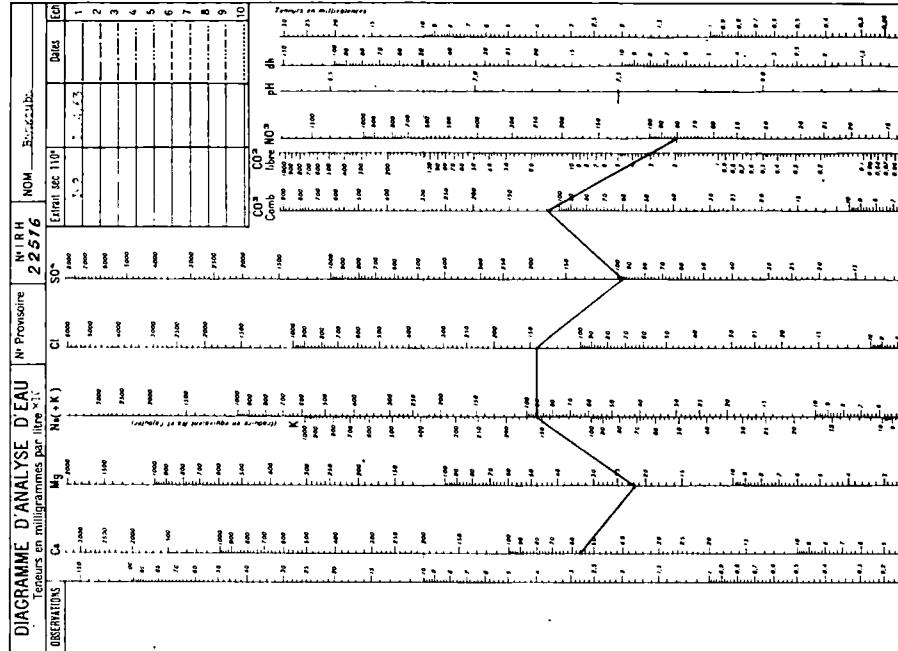


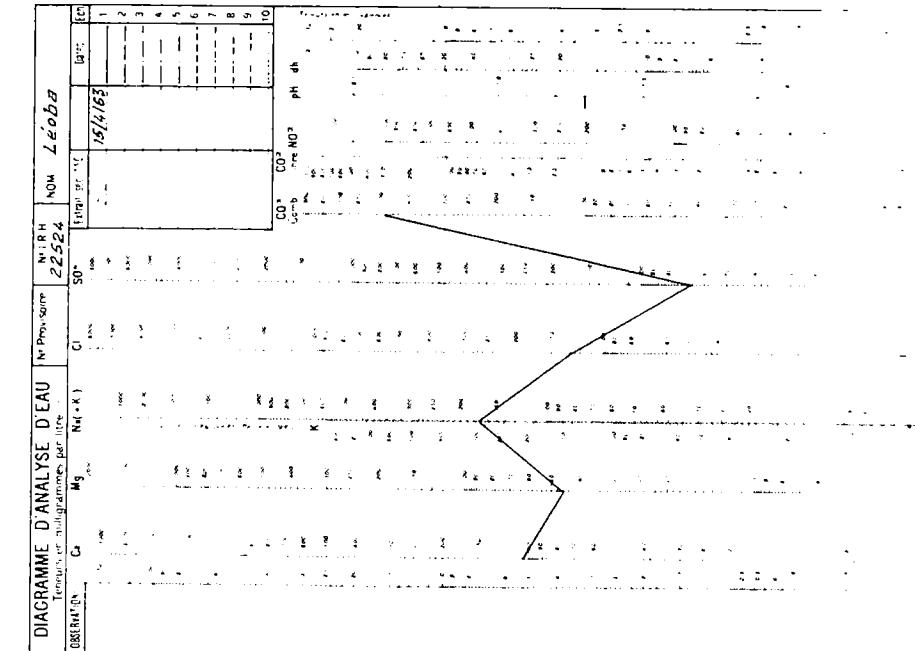
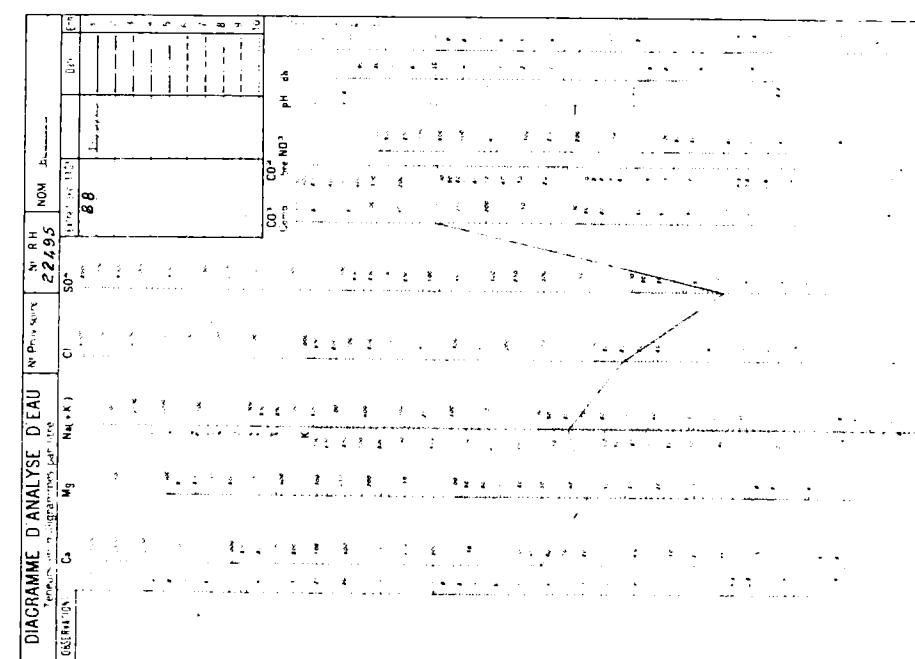
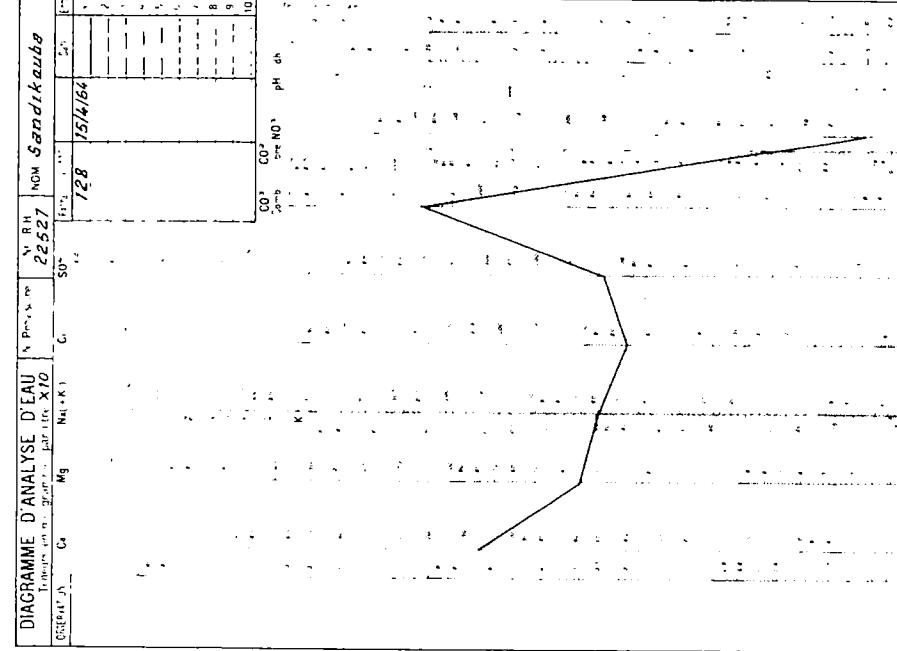
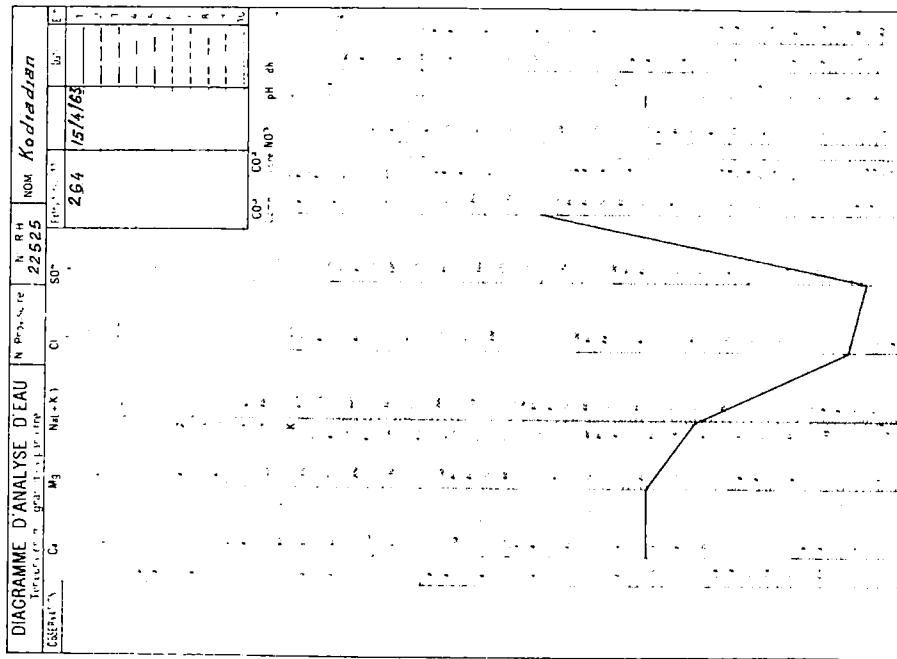


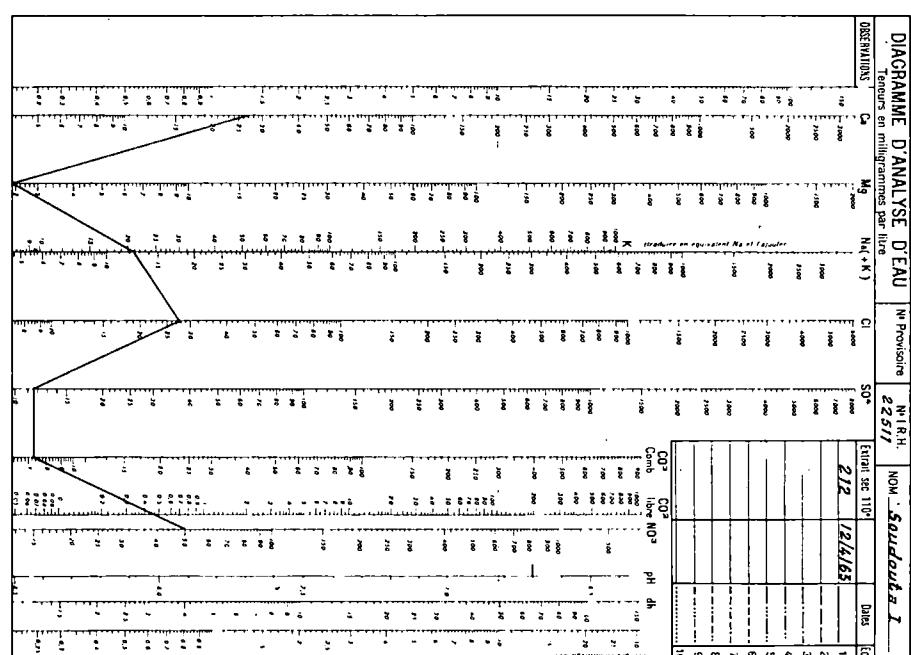
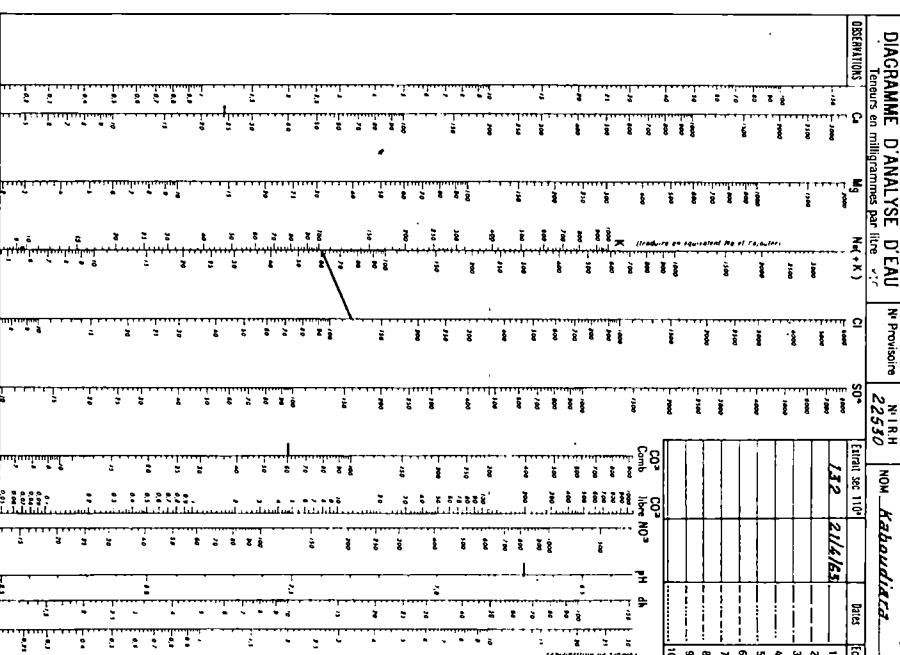
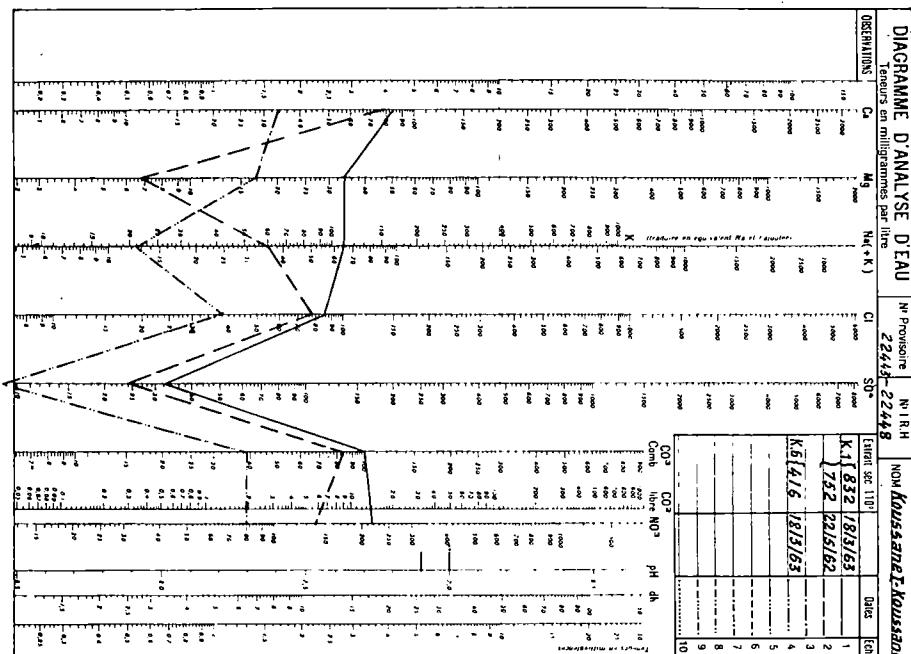
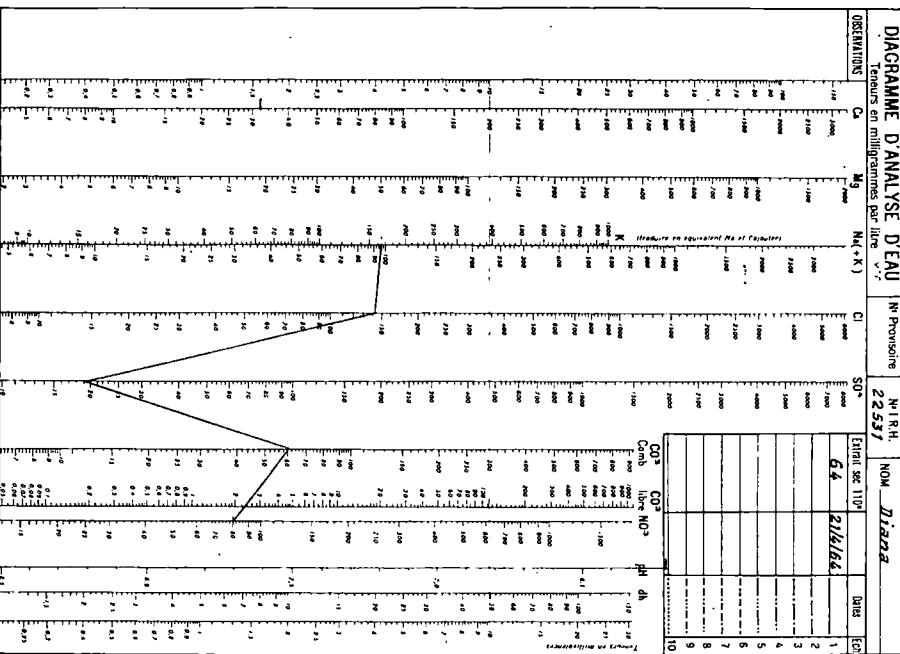


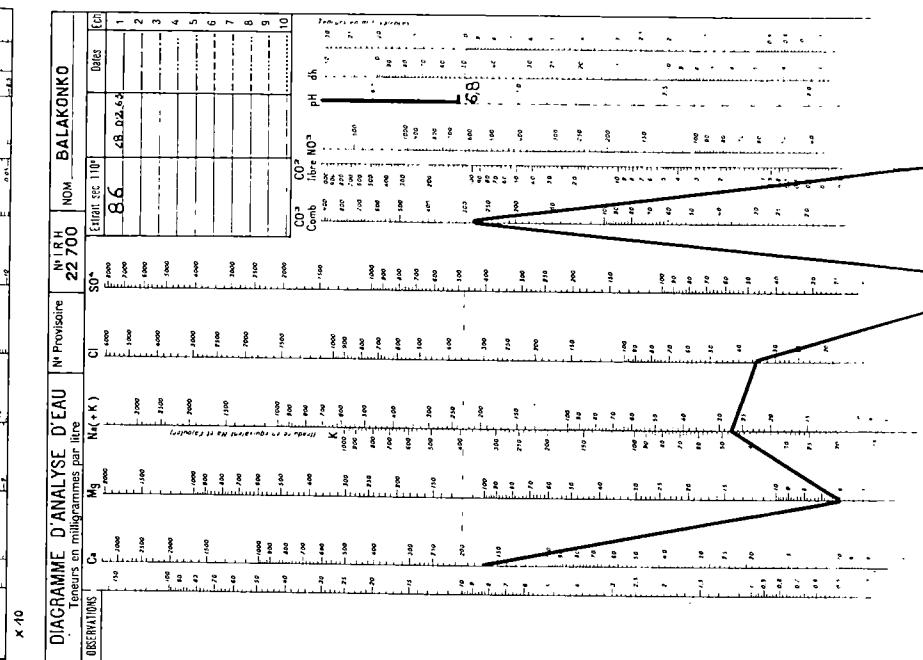
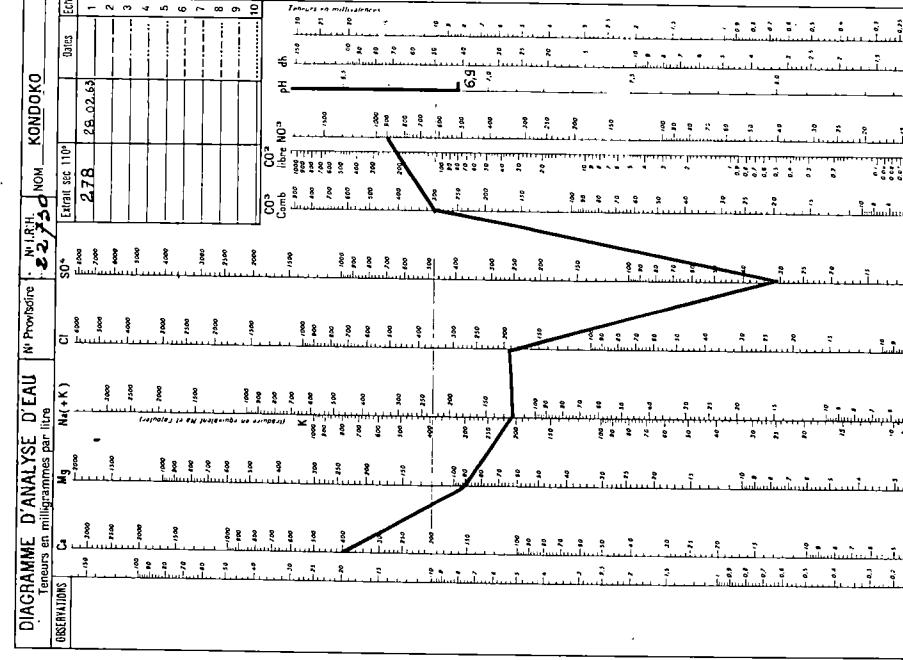
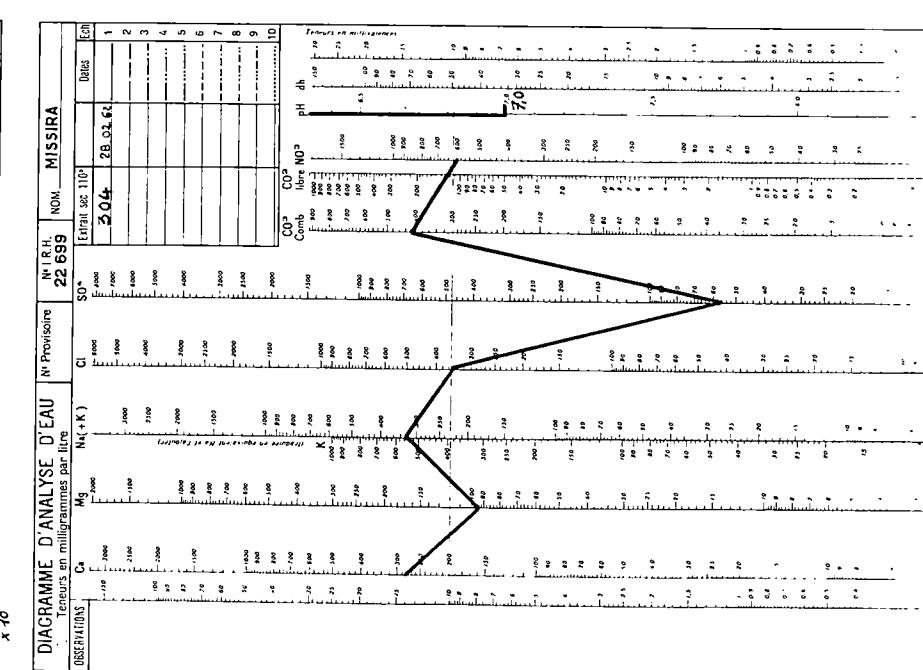
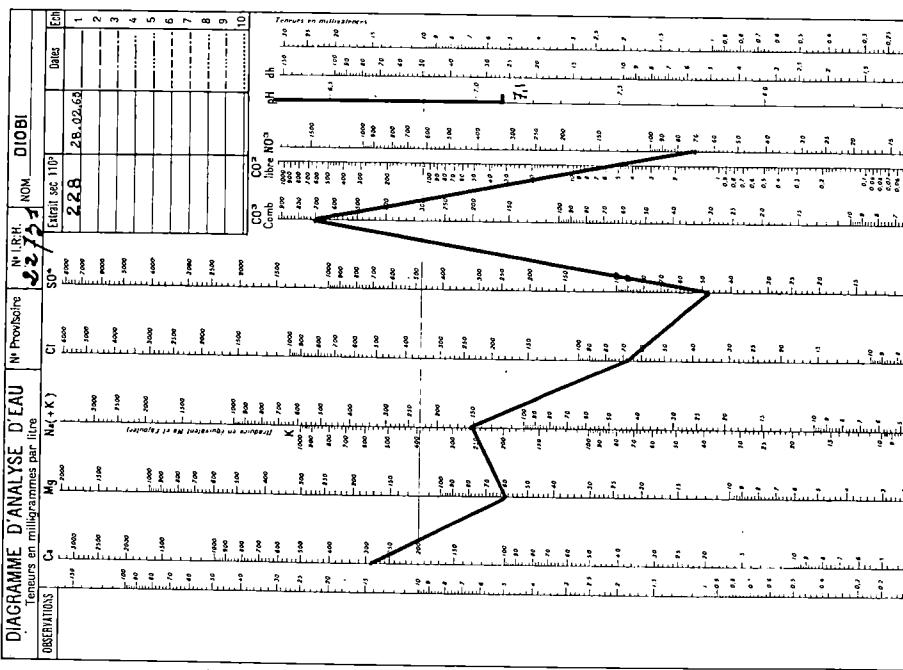


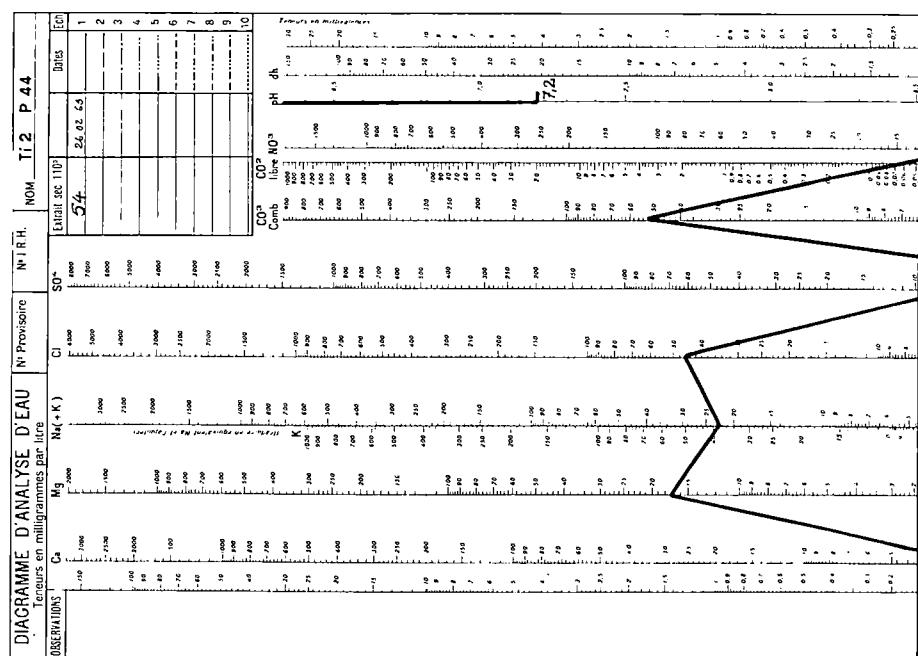
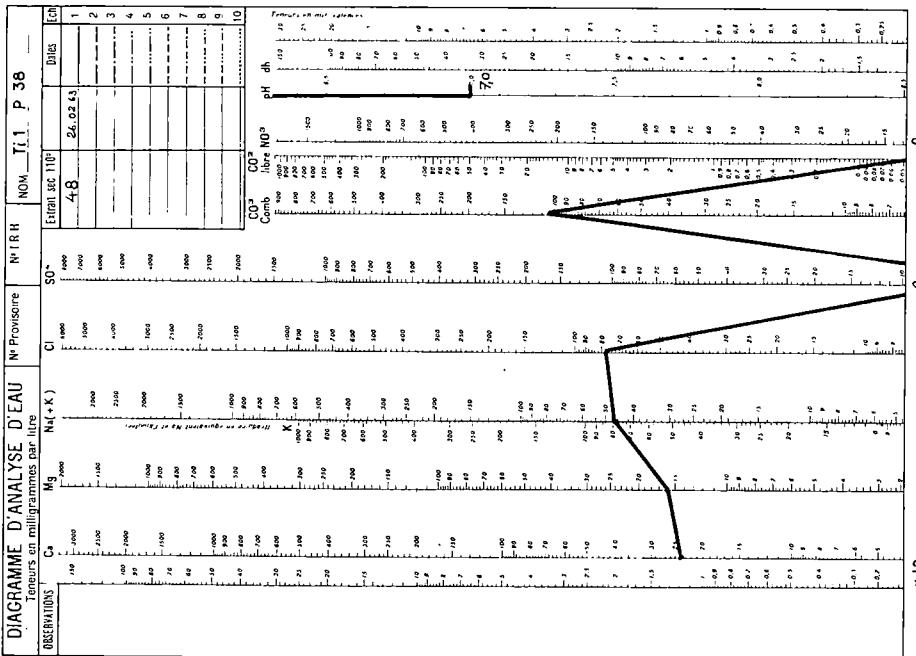
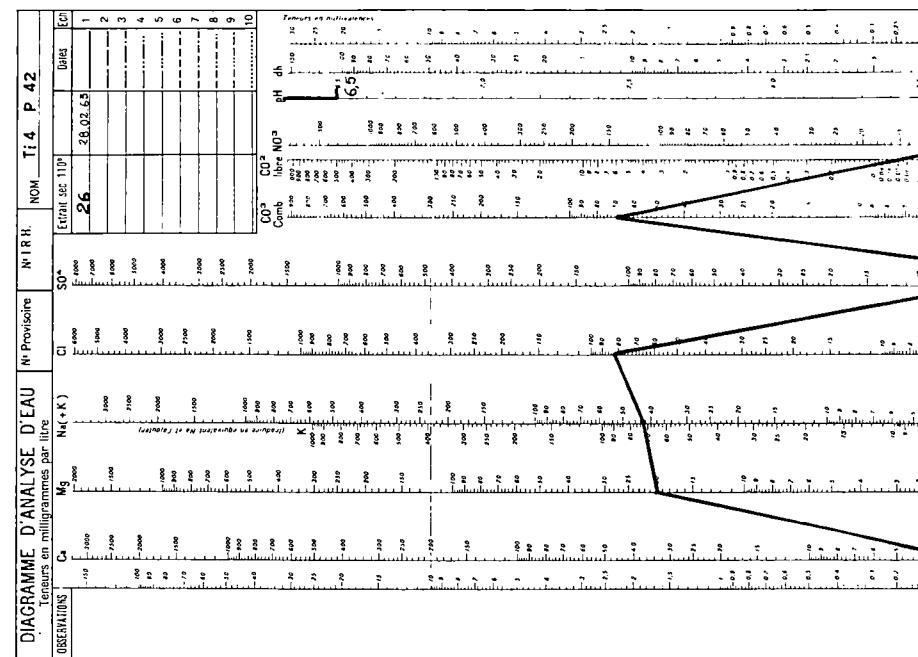
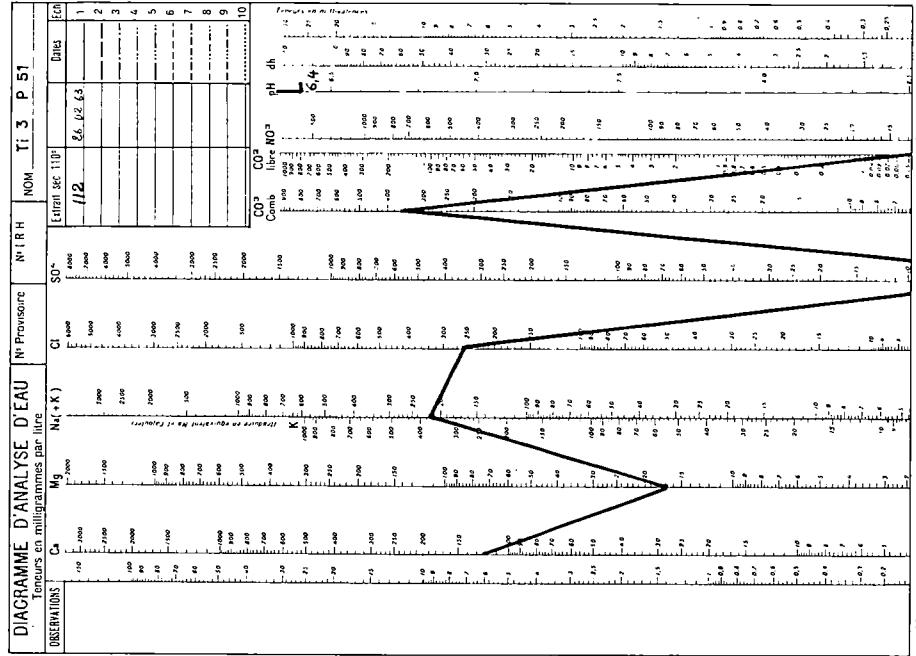


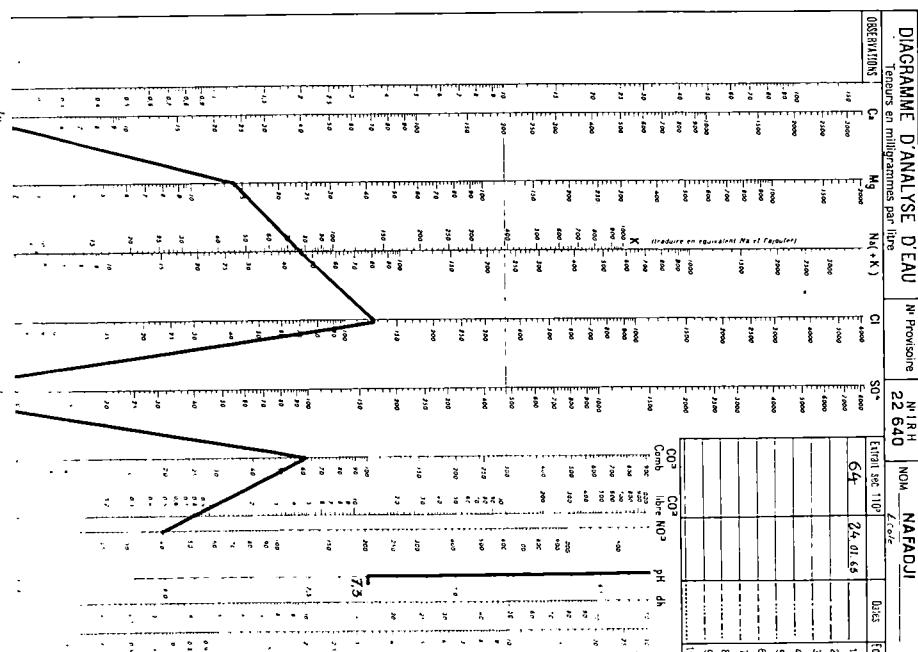
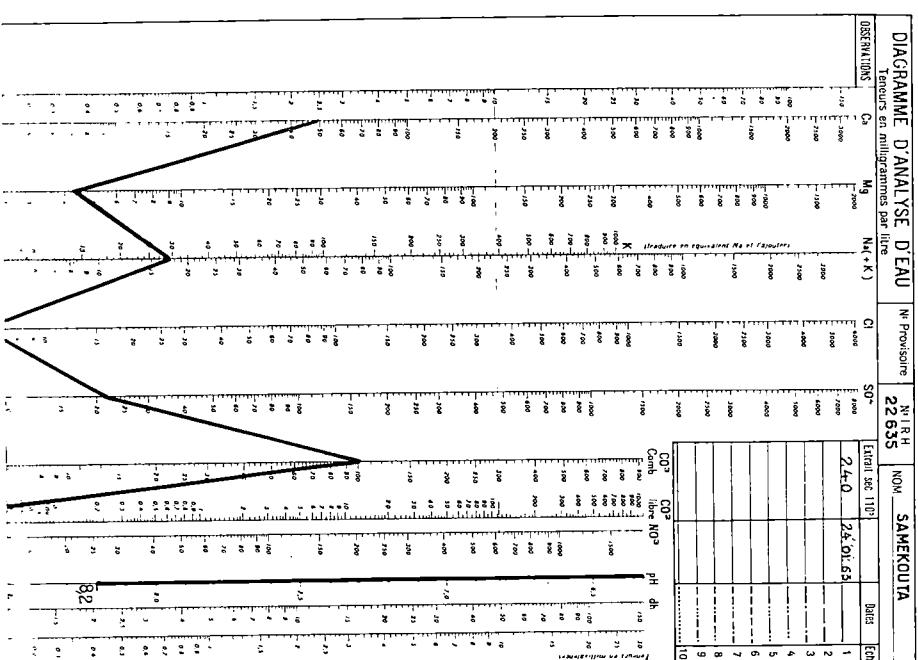
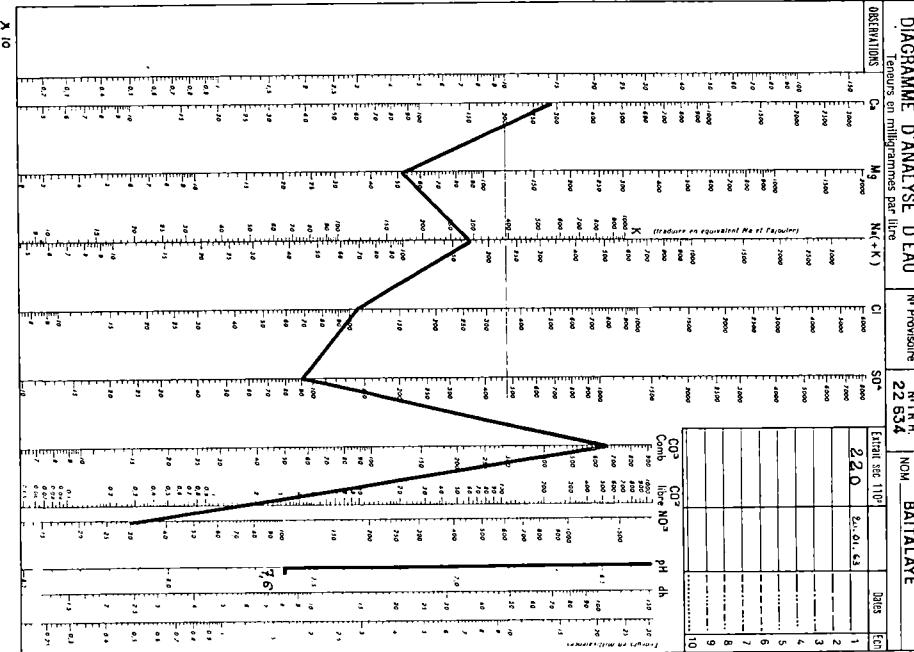
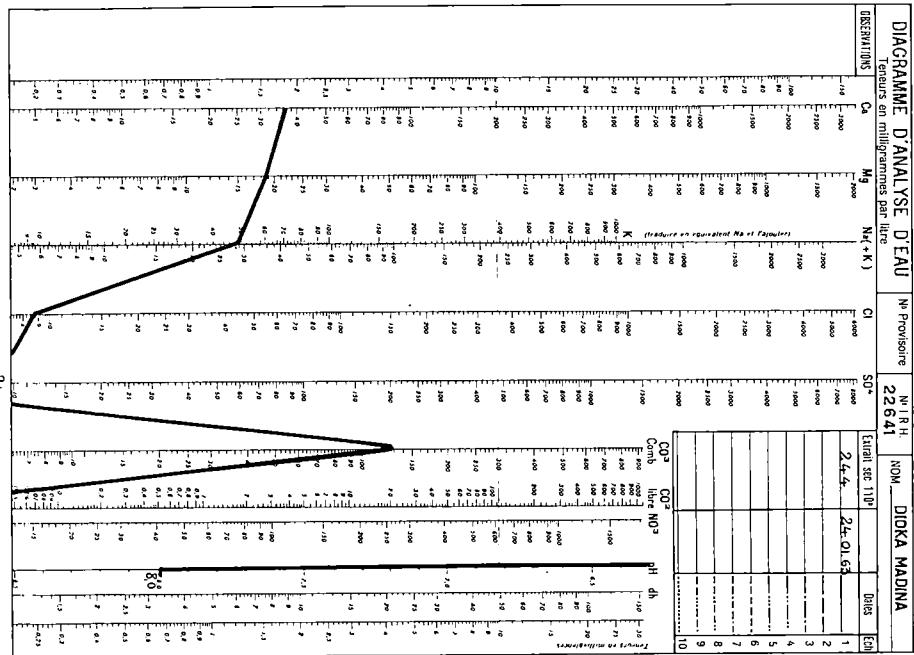


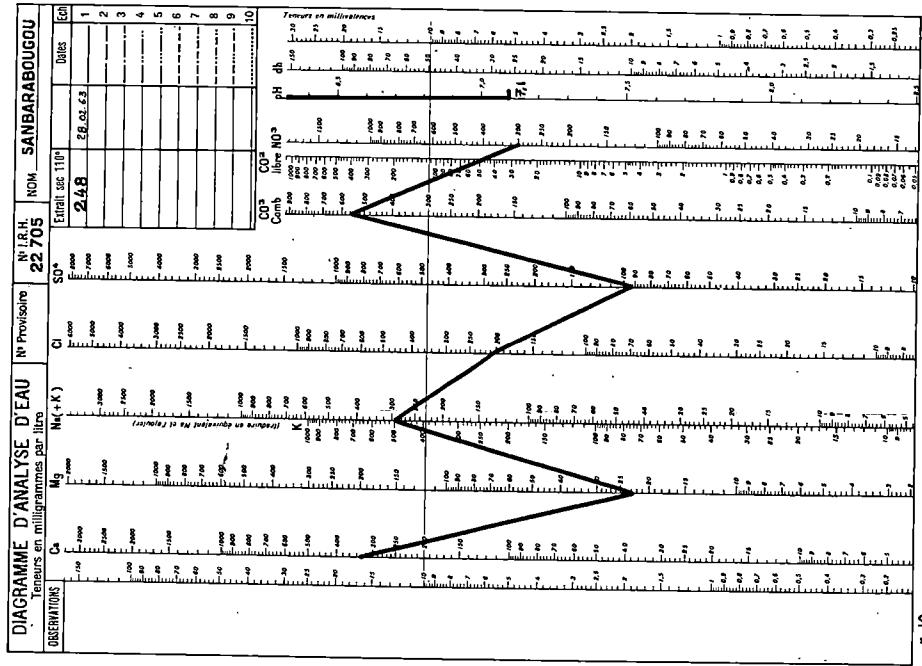


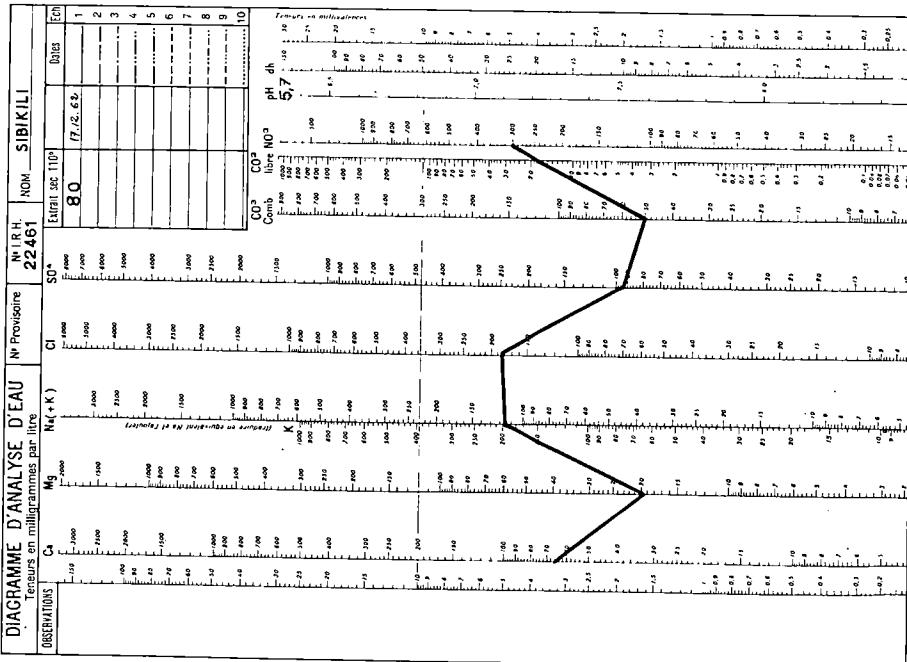
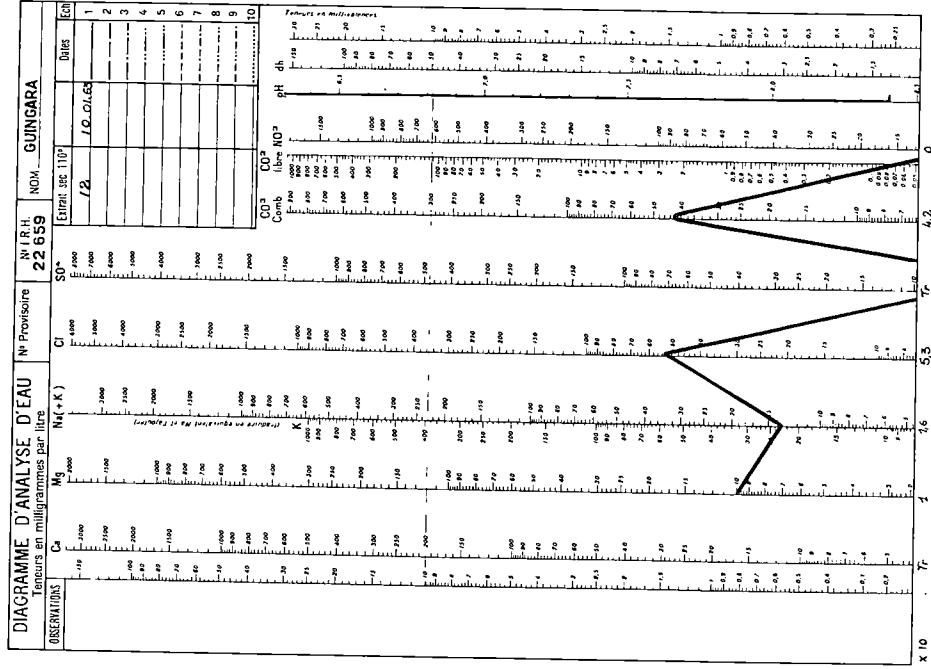












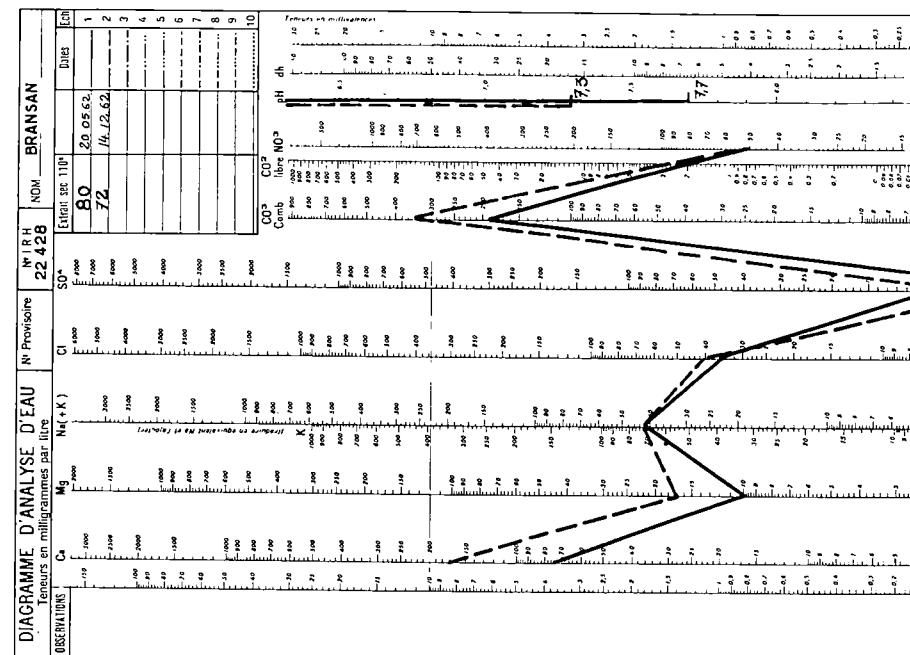
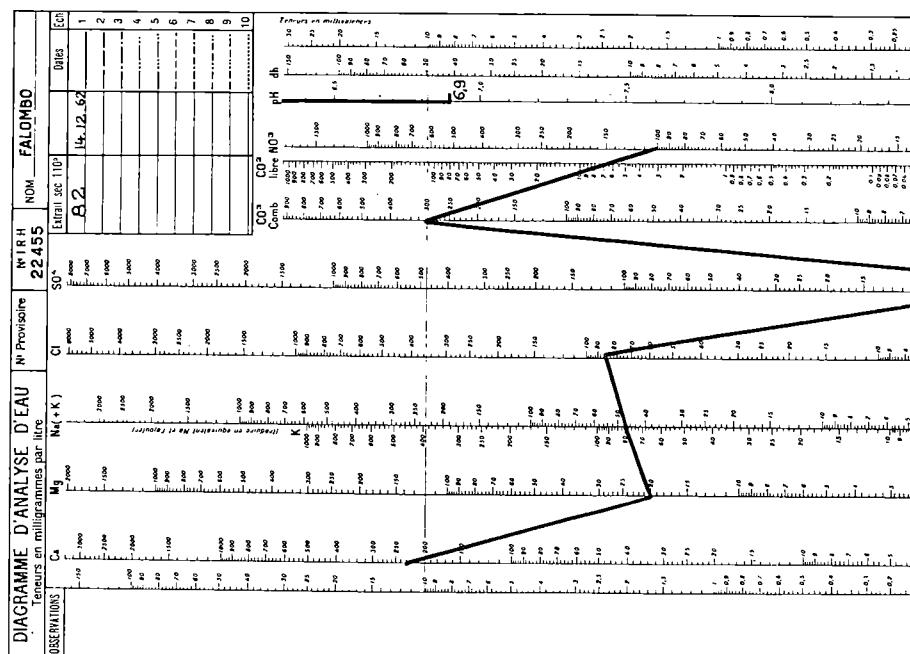
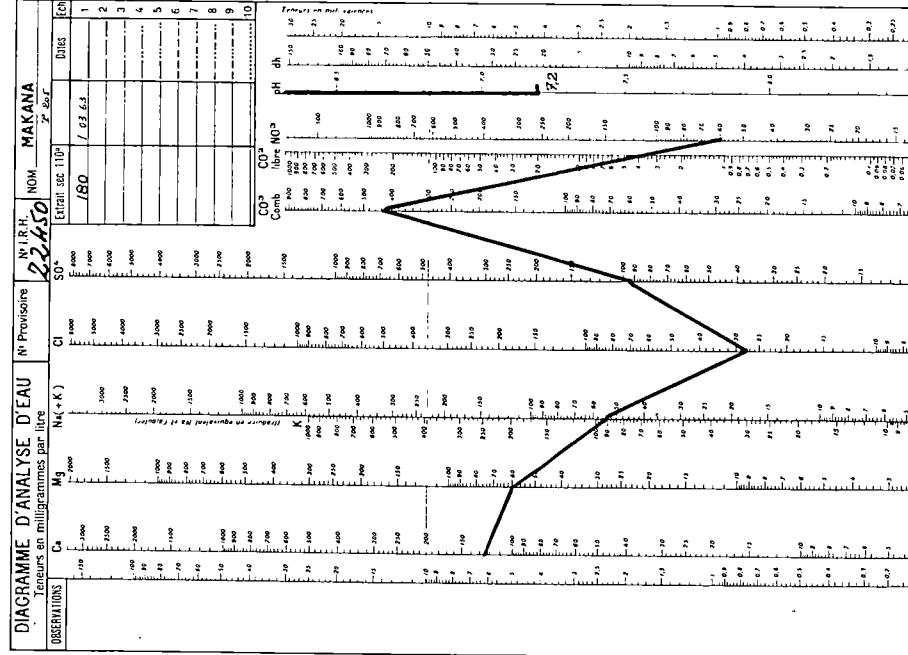
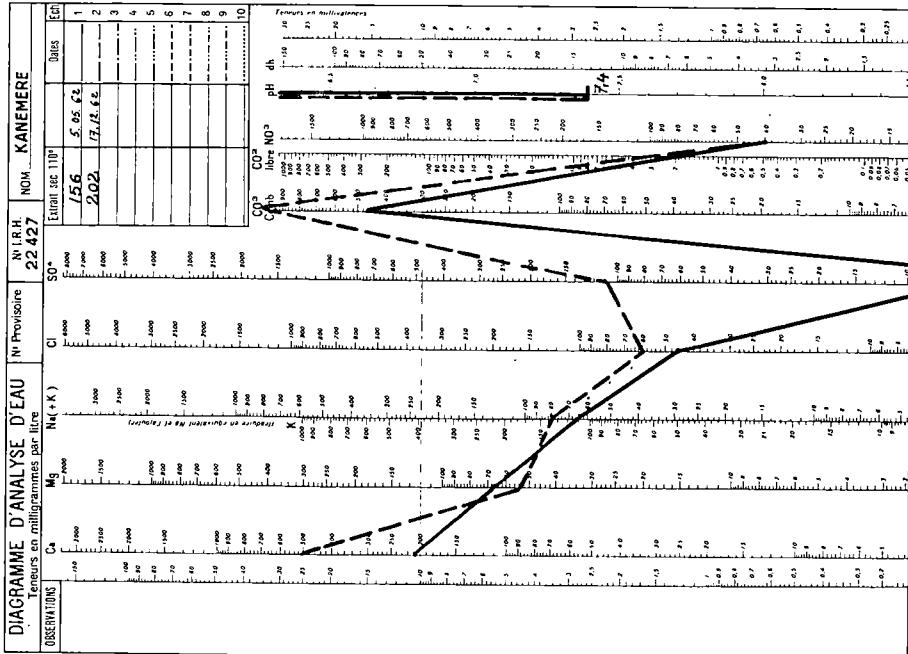
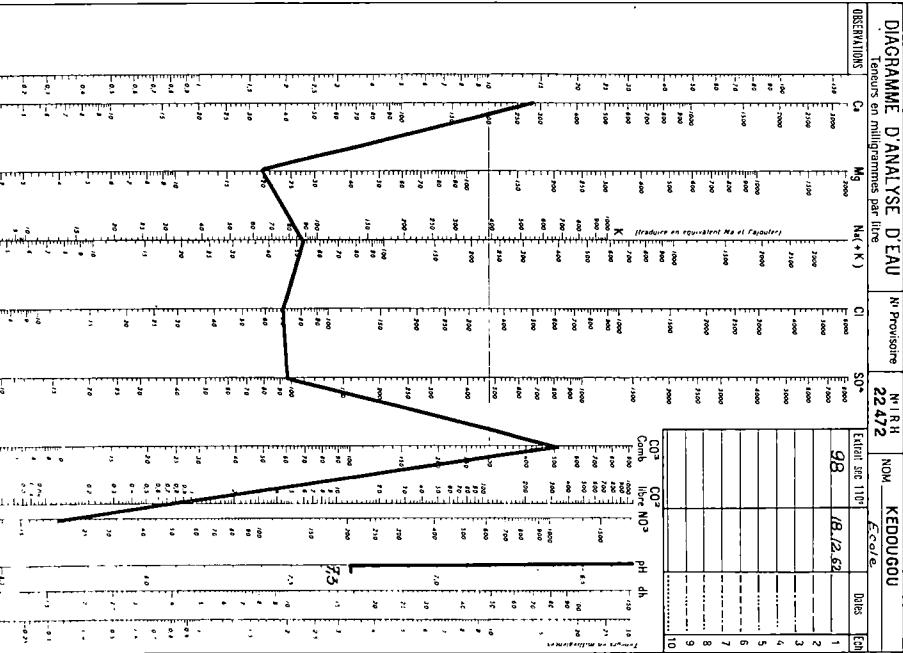
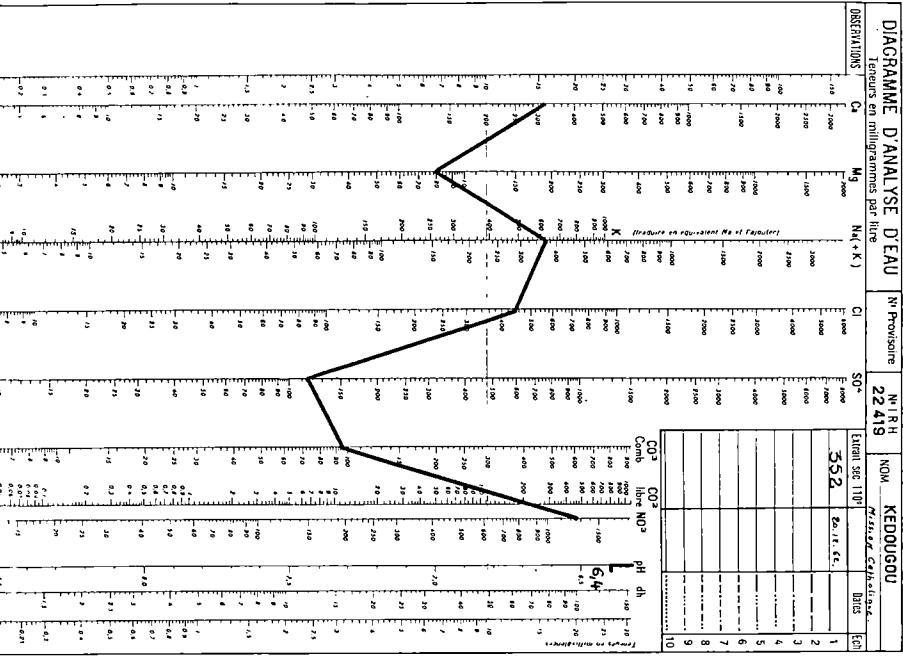
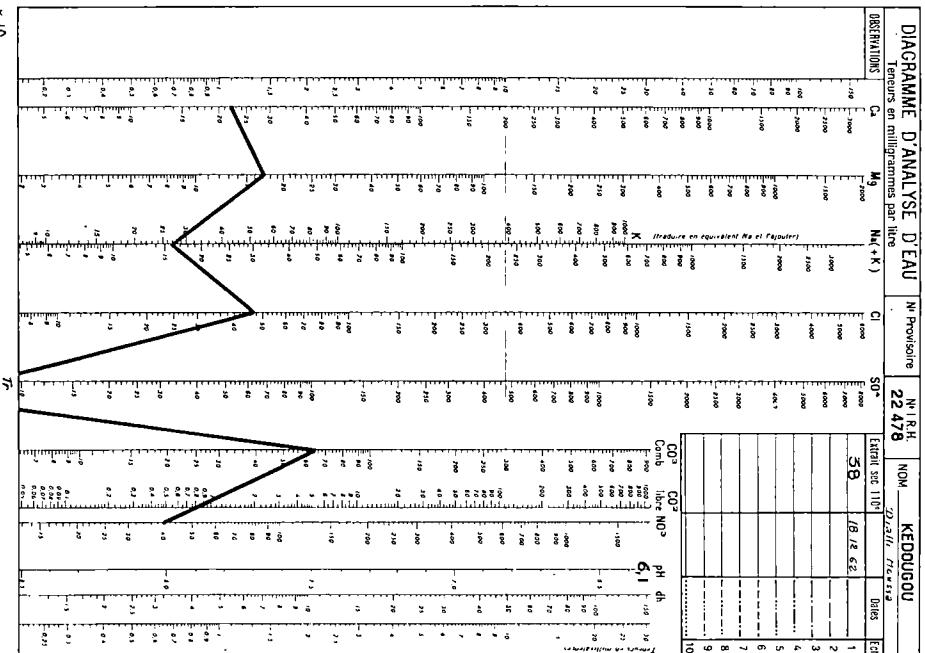
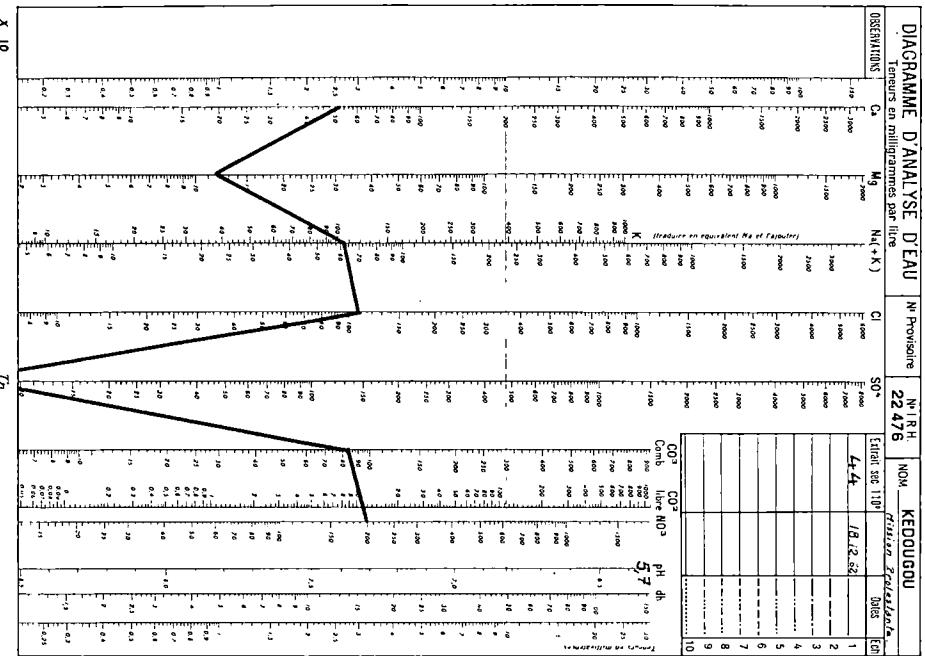
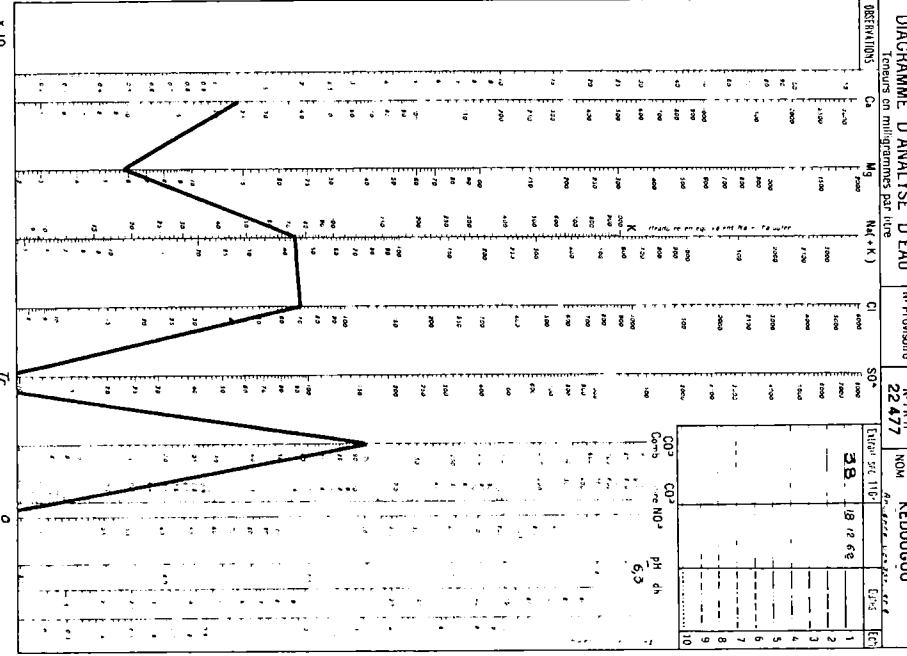
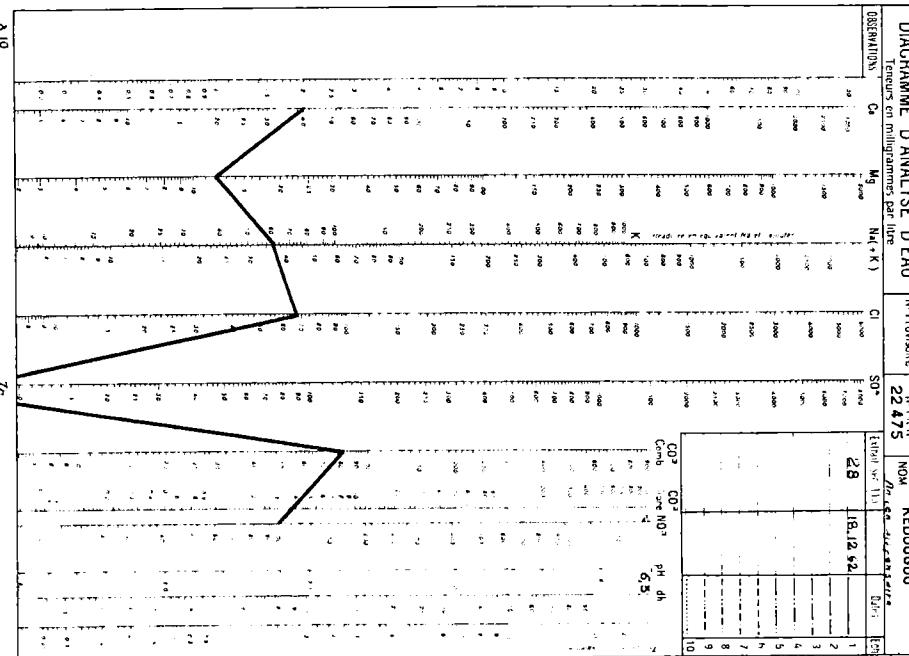
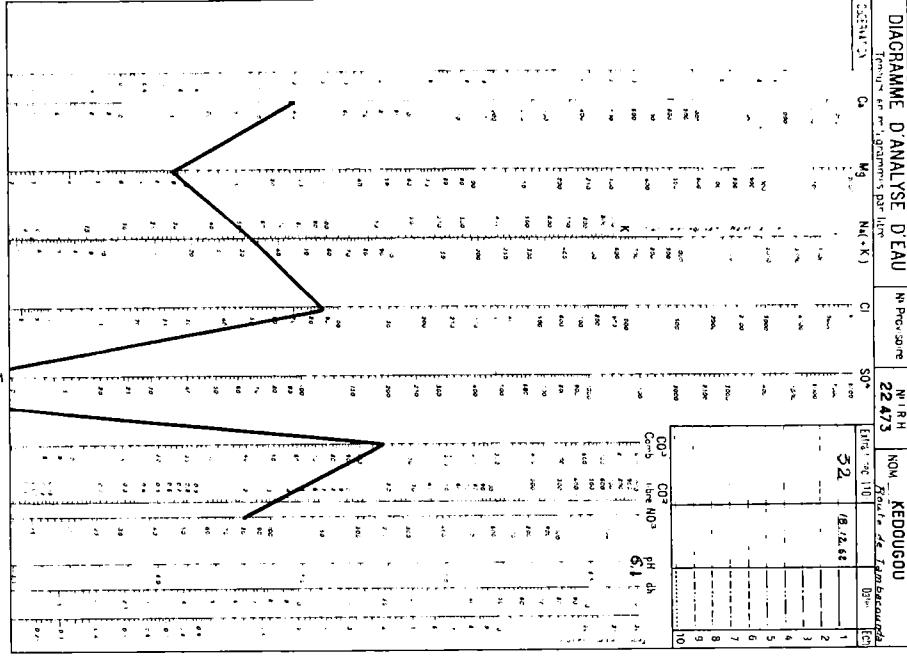
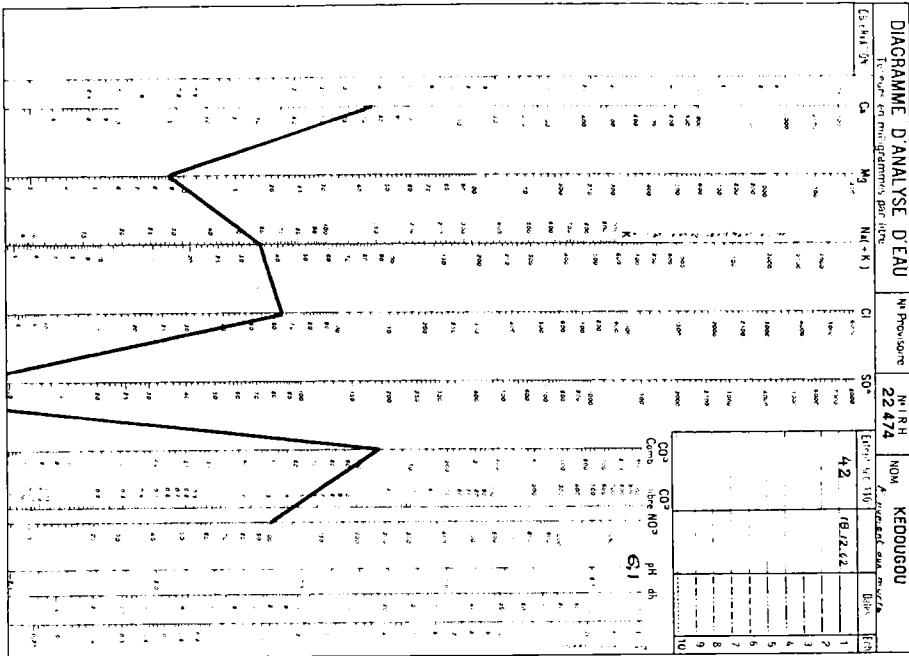


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU N° Provisoire 22478 NOM KEDOUOU

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU N° Provisoire 22478 NOM KEDOUOU





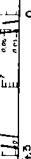
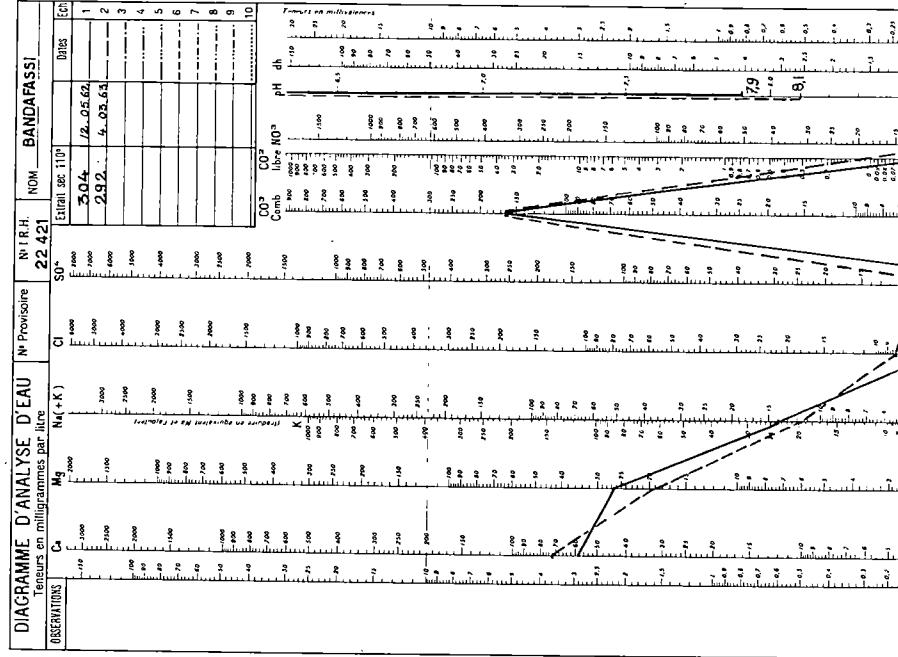
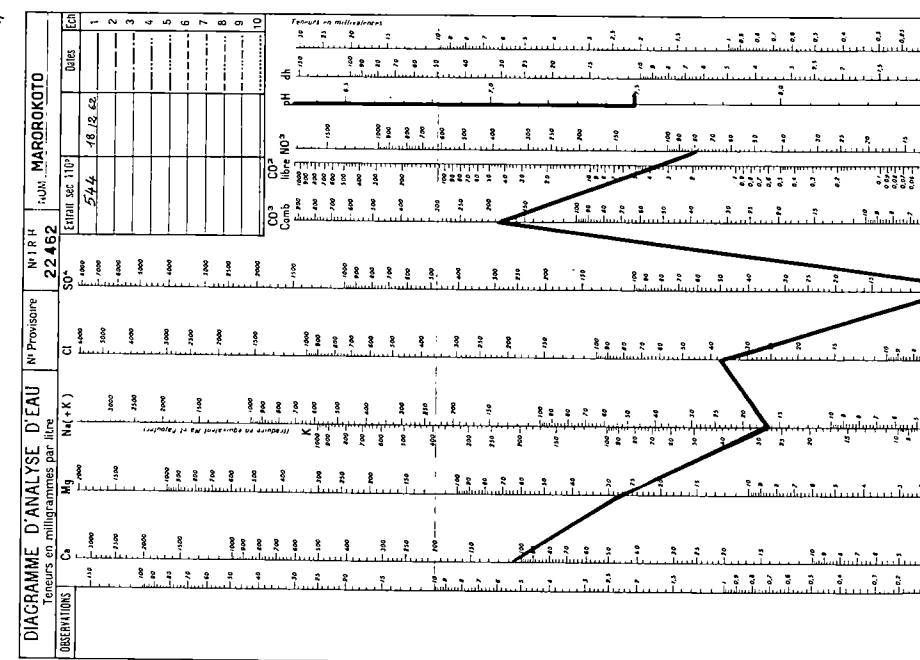
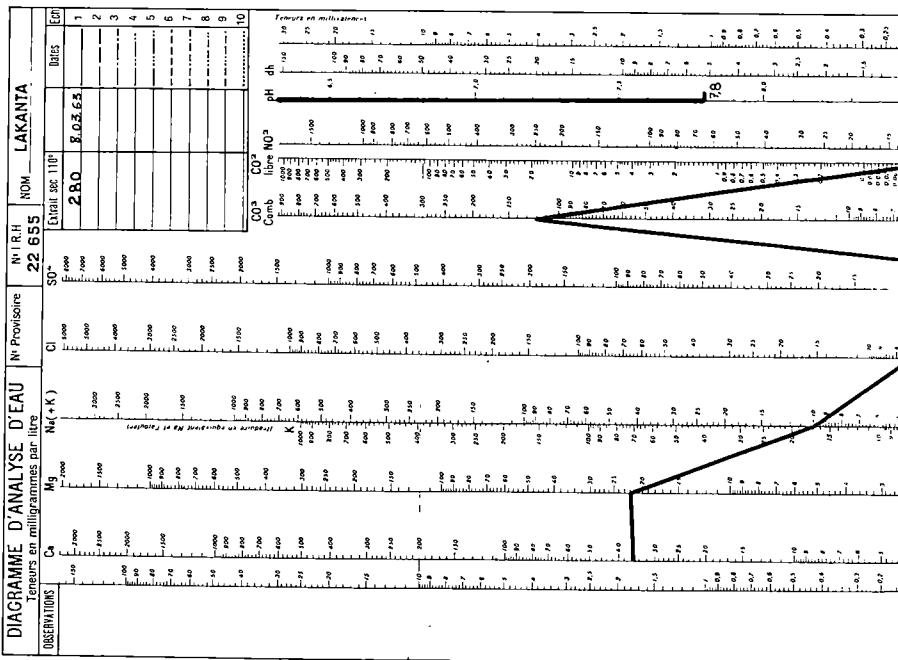


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU N° Provisionne 22-585 NOM SALEMATA

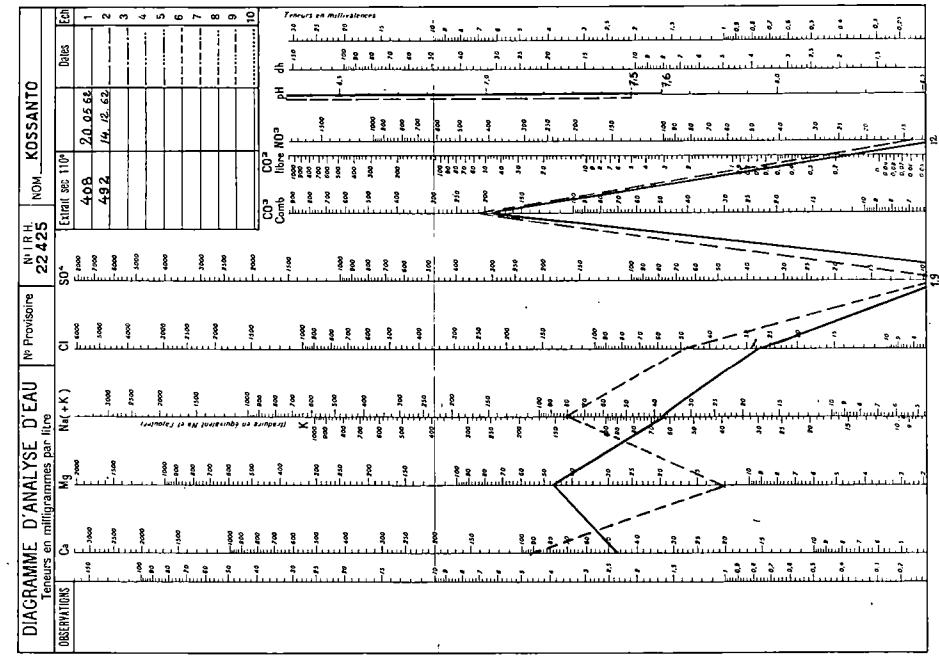
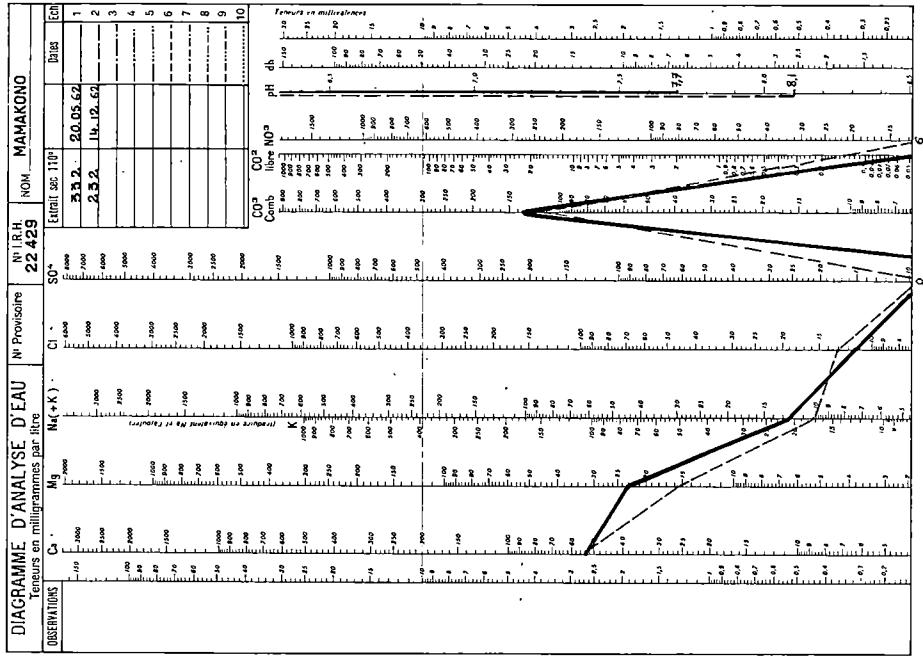
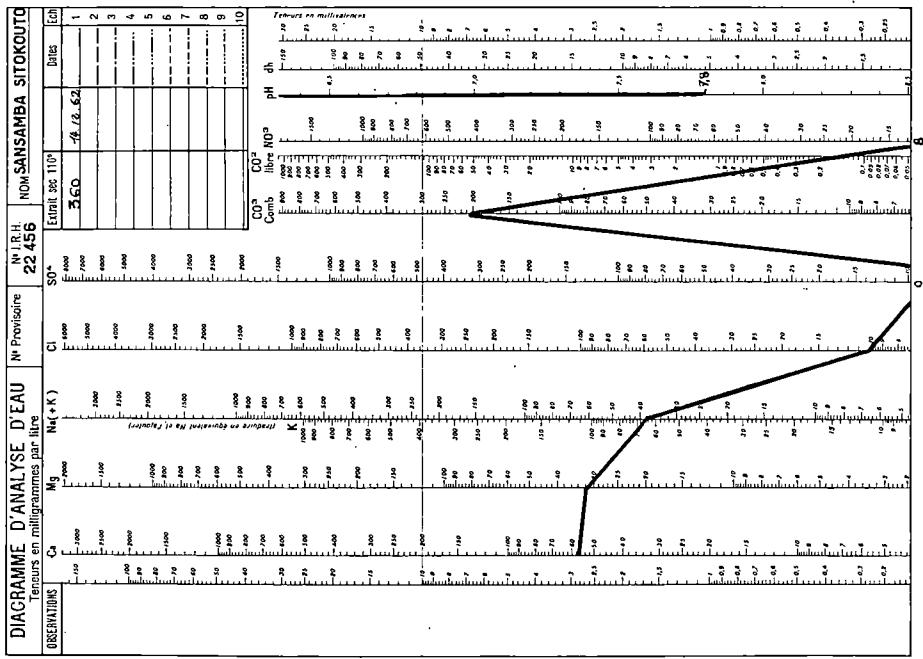
Observations	Ca	Mg	Na + K	Cl	SO ₄	Etat sec 10°	Dures [ch]
1	2000	2000	276	5.02-3	1		
2	1900	1900			2		
3	1800	1800			3		
4	1700	1700			4		
5	1600	1600			5		
6	1500	1500			6		
7	1400	1400			7		
8	1300	1300			8		
9	1200	1200			9		
10	1100	1100			10		
11	1000	1000					
12	900	900					
13	800	800					
14	700	700					
15	600	600					
16	500	500					
17	400	400					
18	300	300					
19	200	200					
20	100	100					
21	0	0					

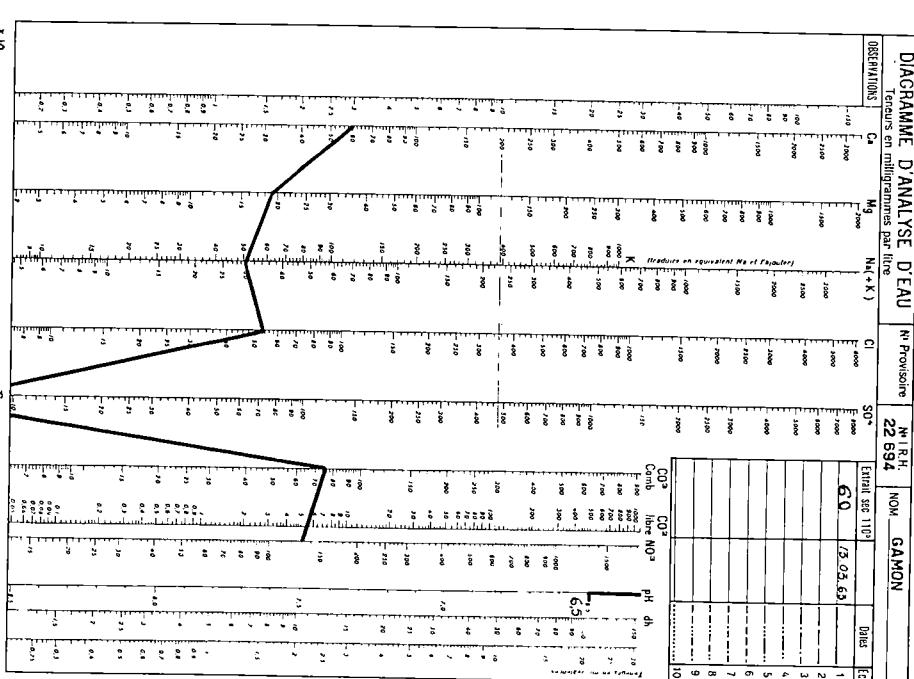
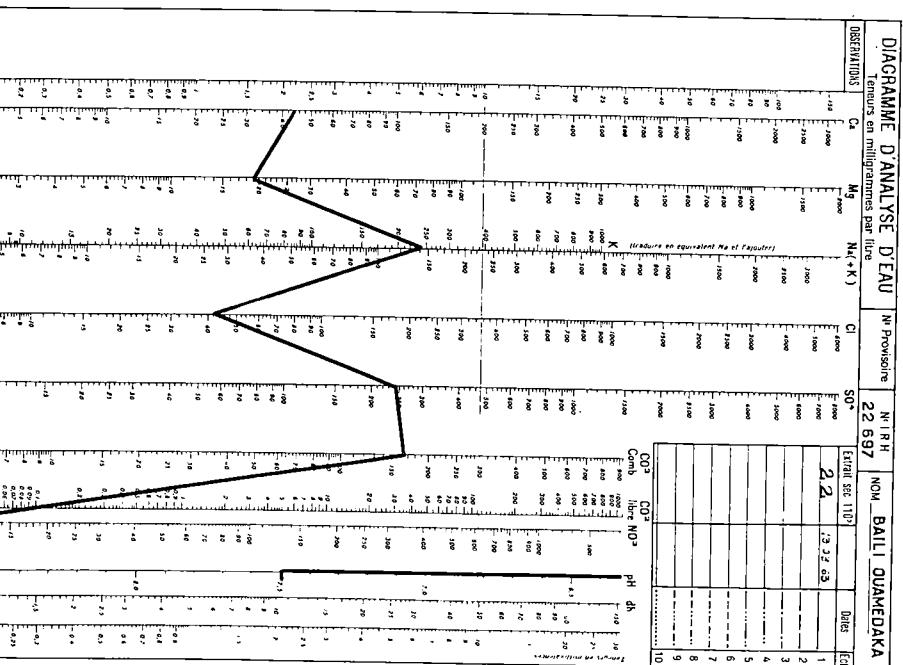
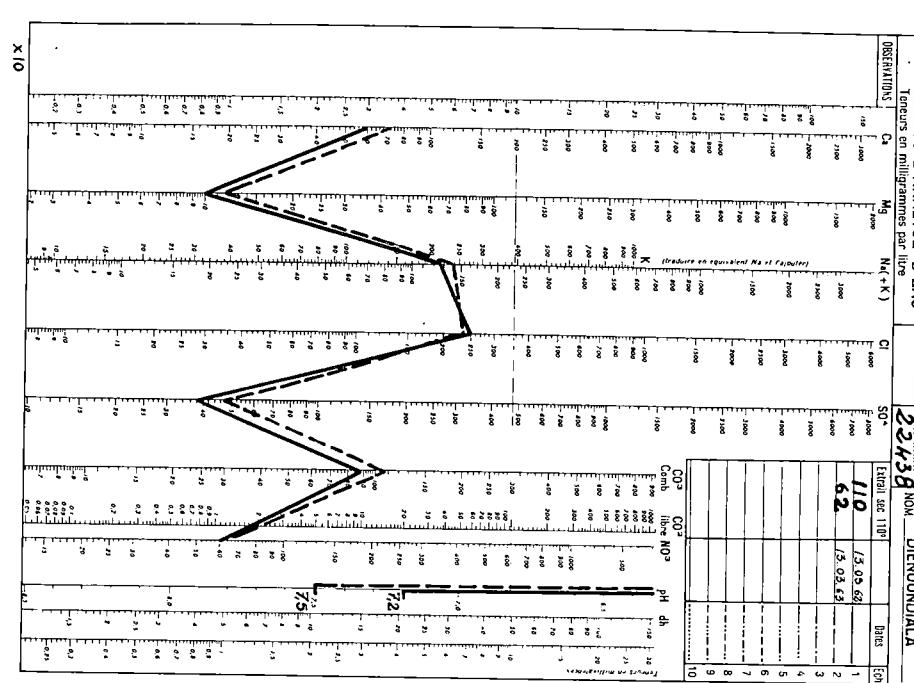
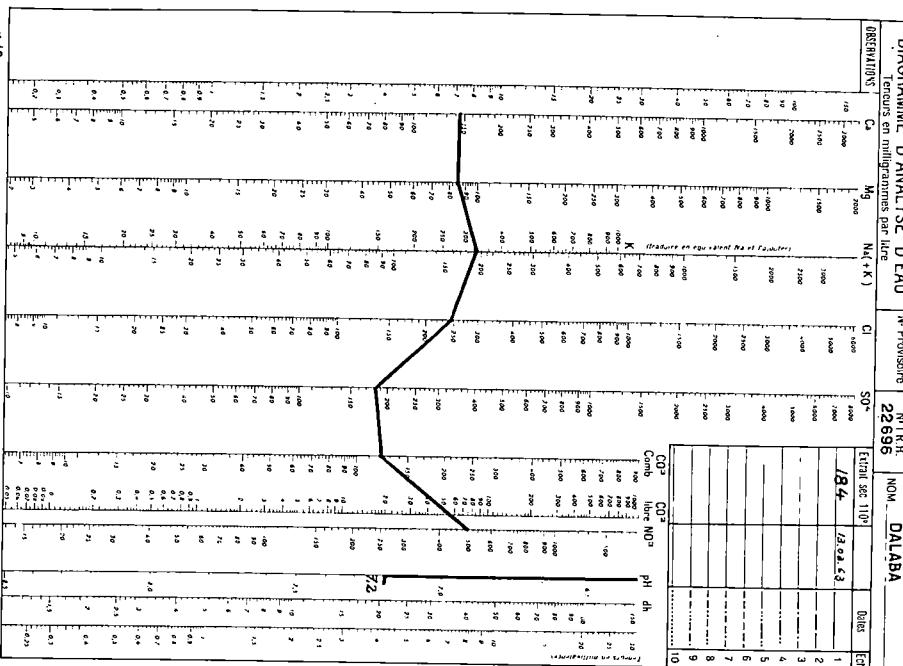
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU N° Provisionne 22-585 NOM NANGARE PEUL

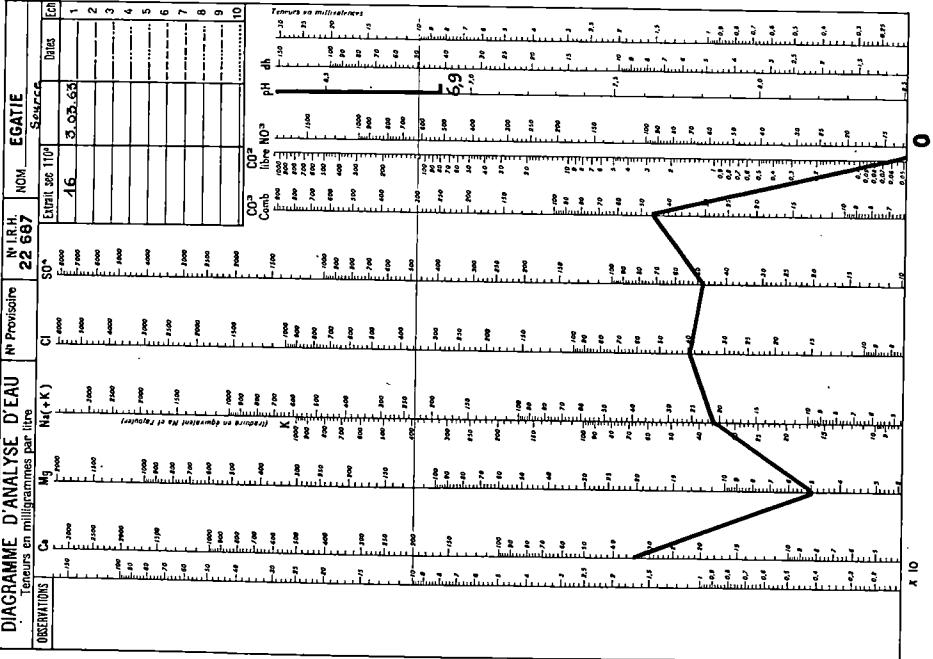
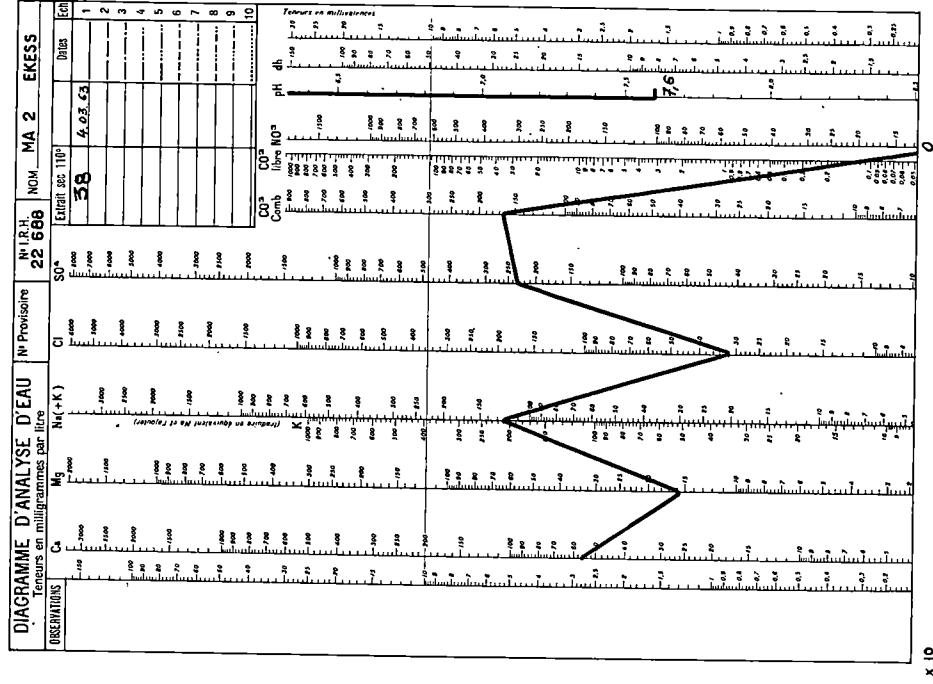
Observations	Ca	Mg	Na + K	Cl	SO ₄	Etat sec 10°	Dures [ch]
1	2000	2000	2.50	5.02-63	1		
2	1900	1900			2		
3	1800	1800			3		
4	1700	1700			4		
5	1600	1600			5		
6	1500	1500			6		
7	1400	1400			7		
8	1300	1300			8		
9	1200	1200			9		
10	1100	1100			10		
11	1000	1000					
12	900	900					
13	800	800					
14	700	700					
15	600	600					
16	500	500					
17	400	400					
18	300	300					
19	200	200					
20	100	100					
21	0	0					

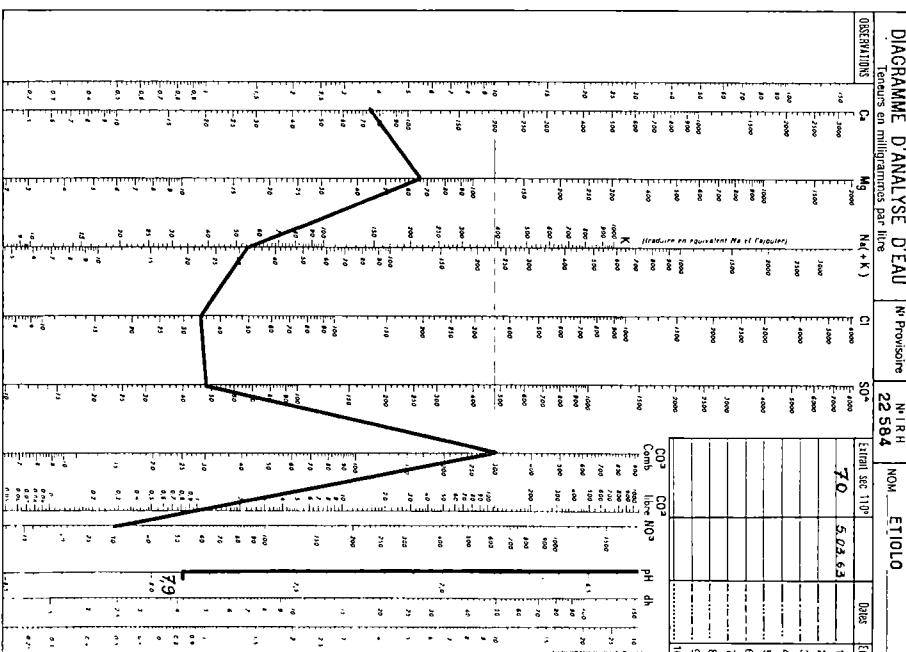
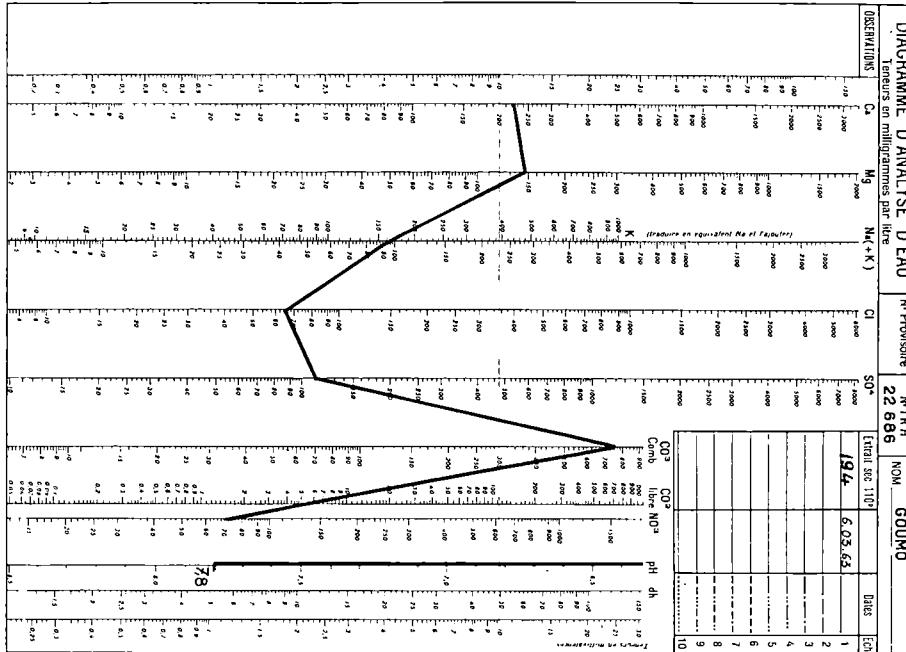
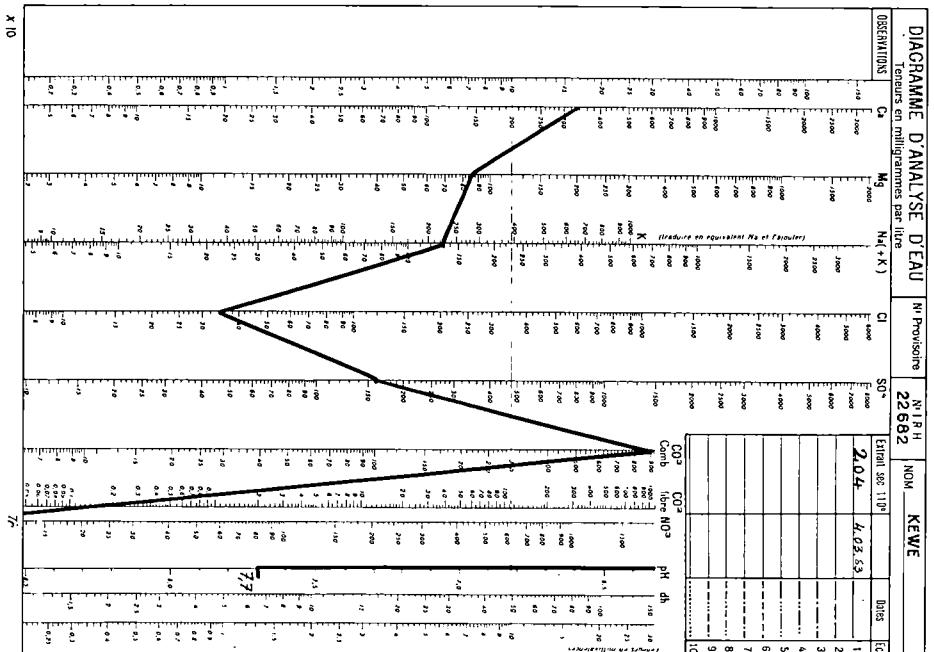
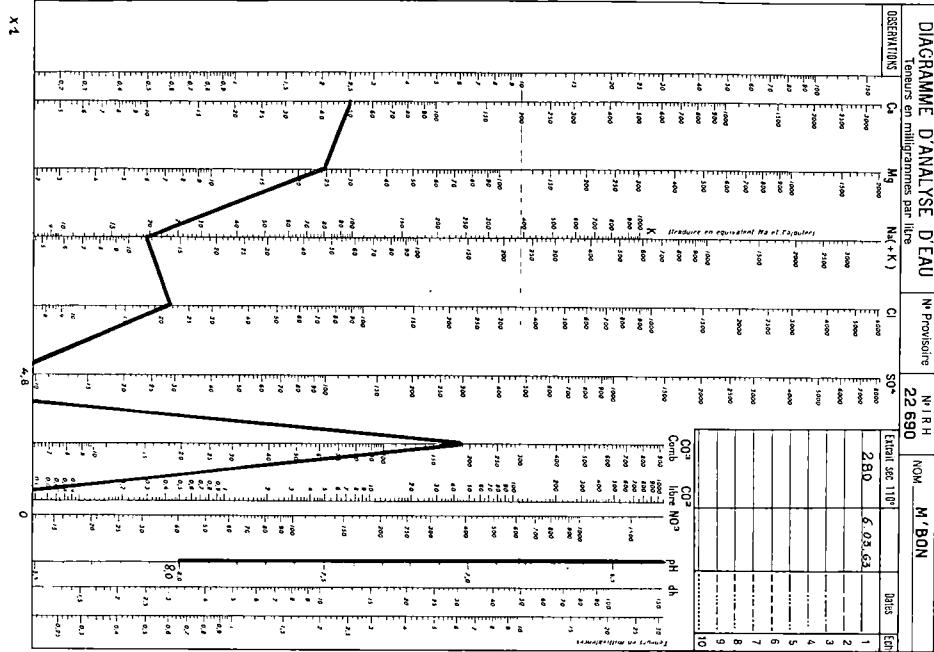
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU N° Provisionne 22-585 NOM DAR SALAM

Observations	Ca	Mg	Na + K	Cl	SO ₄	Etat sec 10°	Dures [ch]
1	2000	2000	174	5.02-63	1		
2	1900	1900			2		
3	1800	1800			3		
4	1700	1700			4		
5	1600	1600			5		
6	1500	1500			6		
7	1400	1400			7		
8	1300	1300			8		
9	1200	1200			9		
10	1100	1100			10		
11	1000	1000					
12	900	900					
13	800	800					
14	700	700					
15	600	600					
16	500	500					
17	400	400					
18	300	300					
19	200	200					
20	100	100					
21	0	0					









X 10

