

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DE L'HYDRAULIQUE
Société de Développement Agricole et Industriel (SODAGRI), Dakar

ALIMENTATION EN EAU D'IRRIGATION D'UN PERIMETRE DE CULTURE RIZICOLE
DANS LE BASSIN DE L'ANAMBE, HAUTE CASAMANCE (SENEGAL)

PROSPECTION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE
DU BASSIN DE L'ANAMBE

Rapport final

Electrowatt Ingénieurs-Conseil S.A.
Zurich et Dakar

Avril 1979

TABLE DES MATIERES

=====

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. RAPPEL DES RESULTATS PRELIMINAIRES	2
2.1. La nappe phréatique	2
2.2. Les aquifères profonds	5
3. LA CAMPAGNE DE FORAGES	9
3.1. <u>Le forage de Soutouré</u>	10
3.1.1. Les opérations effectuées	10
3.1.2. Coupe géologique	14
3.1.3. Détermination des roches	17
3.1.4. Analyse d'eau	19
3.1.5. Test de débit	21
3.1.6. Rendement, qualité de l'eau et possibilité d'uti- lisation du forage	26
3.2. <u>Le forage de Velingara-Sud 1</u>	30
3.2.1. Les opérations effectuées	30
3.2.2. Coupe géologique du forage de Velingara-Sud 1	35
3.2.3. Analyses granulométriques	37
3.2.4. Carottage électrique	40
3.2.5. Développement du forage et essai de pompage préliminaire	45
3.2.6. Analyse de l'eau	49
3.3. <u>Le forage de Velingara-Sud 2</u>	50
3.3.1. Les opérations effectuées	50
3.3.2. Coupe géologique du forage de Velingara-Sud 2	54
3.3.3. Analyse granulométrique	56
3.3.4. Le carottage électrique	58
3.3.5. Développement du forage et essai de pompage préliminaire	61
3.3.6. Analyse de l'eau	64

4. LA CAMPAGNE GEOPHYSIQUE	65
5. INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE	68
6. CONCLUSIONS	74

LISTE DES FIGURES
=====

	Page
Fig. 1 Carte du Sénégal et localisation du bassin de l'Anambé	3
Fig. 2 Bassin de l'Anambé. Caractéristiques de la nappe phréatique	4
Fig. 3 Emplacement des forages de reconnaissance	9 a
Fig. 4 Forage de Soutouré : coupe du forage équipé	16
Fig. 5 Forage de Soutouré : interprétation de l'essai de pompage	24
Fig. 6 Forage de Soutouré : interprétation de l'essai de pompage	25
Fig. 7 Forages : Standards de qualité de l'eau pour l'irrigation	28
Fig. 8 Forage de Velingara-Sud 1 : coupe et équipement provisoire	34
Fig. 9 Forage de Velingara-Sud 1 : analyses granulométriques	38
Fig. 10 Forage de Velingara-Sud 1 : analyses granulométriques	39
Fig. 11 Forage de Velingara-Sud 1 : diagraphie de résistivité	42
Fig. 12 Forage de Velingara-Sud 1 : diagraphie de résistivité	43
Fig. 13 Forage de Velingara-Sud 1 : diagraphie de polarisation spontanée	44
Fig. 14 Forage de Velingara-Sud 1 : évolution des débits lors du développement	47

Fig. 15	Forage de Velingara-Sud 1 : interprétation de l'essai de pompage	48
Fig. 16	Velingara-Sud 2 : coupe et équipement	53
Fig. 17	Velingara-Sud 2 : analyse granulométrique	57
Fig. 18	Velingara-Sud 2 : diagraphie de résistivité	59
Fig. 19	Velingara-Sud 2 : diagraphie de résistivité et polarisation spontanée	60
Fig. 20	Velingara-Sud 2 : interprétation de l'essai de pompage	63
Fig. 21	Bassin de l'Anambé : structure du solce (rapport BRGM)	66
Fig. 22	Bassin de l'Anambé : coupe interprétative	69
Fig. 23	Bassin de l'Anambé : structure du socle, interprétation	70

RESUME

=====

L'examen des données géologiques et hydrogéologiques générales disponibles avant la prospection du bassin de l'Anambé laissaient prévoir la possibilité d'exploiter à grands débits ($100 \text{ m}^3/\text{h}$ ou plus) et à des profondeurs de 100 à 200 m, l'équivalent régional de l'aquifère sableux du Maestrichtien.

Trois forages ont été exécutés parallèlement à une étude du sous-sol par sondages électriques, qui ont montré que le bassin de l'Anambé représente une anomalie de la bordure du bassin sédimentaire sénégalais, à savoir qu'il est caractérisé par la présence d'un dôme de rhyolites appartenant au socle cristallin. Ce dôme se rencontre à très faible profondeur dans toute la zone centrale du bassin, et est entouré en bordure du bassin par des cuvettes sédimentaires essentiellement constituées de formations argileuses. Ni le socle ni les formations argileuses ne sont favorables à l'exploitation des eaux souterraines.

Les deux premiers forages, captant respectivement l'aquifère du socle et un niveau sablo-limoneux à la base d'une cuvette sédimentaire, n'ont fourni que des débits insignifiants de 2 à $3 \text{ m}^3/\text{h}$. Le troisième forage, captant une zone fissurée dans des formations sédimentaires argilo-sableuses consolidées, a fourni un débit de $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Il semble donc que la majorité des ressources exploitables dans le bassin de l'Anambé soient liées aux formations sédimentaires fissurées. Dans ces conditions, les débits soutirables sont certes suffisants et précieux pour les besoins en eau de consommation humaine et d'élevage, mais tout à fait insuffisants pour les besoins en eau d'irrigation.

1. INTRODUCTION

La présente étude a été effectuée dans le but de définir quelles sont les ressources en eau souterraine exploitables dans le bassin de l'Anambé, Haute Casamance, Sénégal. L'étude fait partie du projet de ferme pilote de la SODAGRI, et a été axée particulièrement sur la possibilité de fourniture, à partir de forages, d'eau d'irrigation pour des périmètres pilote de culture rizicole en contre-saison.

Dans une première phase, les travaux se sont concentrés sur la prise de connaissance des données hydrogéologiques existantes, l'étude de la nappe phréatique du bassin et la préparation de la campagne de forages (voir le rapport d'avril 1978, résumé au chapitre suivant).

Dans une deuxième phase, les travaux de reconnaissance proprement dit ont comporté l'exécution de 3 forages par la SONAFOR et de 49 sondages géoélectriques par le BRGM, répartis dans tout le bassin.

2. RAPPEL DES RESULTATS PRELIMINAIRES

Le bassin de l'Anambé est situé sur la bordure sud-orientale du bassin sédimentaire sénégalais (figure 1), entre le fleuve Gambie au Nord et la rivière Kayanga au sud. Il est formé d'une dépression plus ou moins circulaire à terrain argileux, inondée en saison des pluies, entre les cotes 20 et 30 m, et d'une bordure de terrains sablo-argileux, de cote supérieure à 30 m, colonisés par des villages entourés de champs cultivés (Figure 2).

2.1. La nappe phréatique

On trouve dans les villages de nombreux puits, d'une profondeur de 5 à 15 m suivant les endroits, permettant d'atteindre ou de dépasser d'un mètre ou deux le niveau de la nappe phréatique. Ces puits sont creusés dans des formations alluvionnaires récentes (Quaternaire) principalement constituées de sables limoneux beige et de limons gris, ou dans des formations alluvionnaires plus anciennes (Continental Terminal ou CT, Tertiaire) principalement constituées d'argiles sableuses bariolées jaune, rouge ocre et blanc. On rencontre fréquemment un niveau de cuirasse latéritique d'un à 5 m d'épaisseur, à 3 ou 4 m sous la surface du sol.

En raison de la variabilité des terrains, la nappe est probablement inhomogène. Elle s'écoule vers le centre du bassin avec un gradient moyen de 3 o/oo. Il n'y a pas d'exutoire localisé, la décharge s'effectue probablement par drainance vers le haut, sous forme d'évapotranspiration. L'alimentation de la nappe s'effectue probablement en majeure partie par les terrains plus sableux du pourtour du bassin. Elle a été estimée à 100 mm par année environ, la pluviométrie moyenne se situant aux environs de 1150 mm par année. Dans ces conditions, un captage théorique de 100 m³/h exploitant les ressources renouvelables de la nappe serait tributaire d'une aire alimentaire minimale de 10 km².

CARTE GEOLOGIQUE DU SENEGAL



LEGENDE

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | Basaltes et dolérites | | Dolérites |
| | Rhyolites, microgranites, tufs, agglomérés | | Dunes rouges |
| | Granites | | Alluvions Quaternaire récent et lacustre |
| | Continental Terminal | | Eocène moyen |
| | Eocène inférieur | | Paléocène |
| | Maestrichtien | | Ordovicien |
| | Cambrien supérieur | | Cambrien inférieur |
| | Cambrien métamorph. | | Infracambrien |
| | Birimien volcanique | | Birimien { Quartzites
Schistes
Gneiss |

- (A) Bassin de l'Anambé
- ◆ Forage (profondeur du socle)
- 1 Dabo (144 m)
 - 2 Germaine (130 m)
 - 3 Pénélope (175 m)
 - 4 Michèle (> 260 m)

bordure socle, carte idem, corrigé

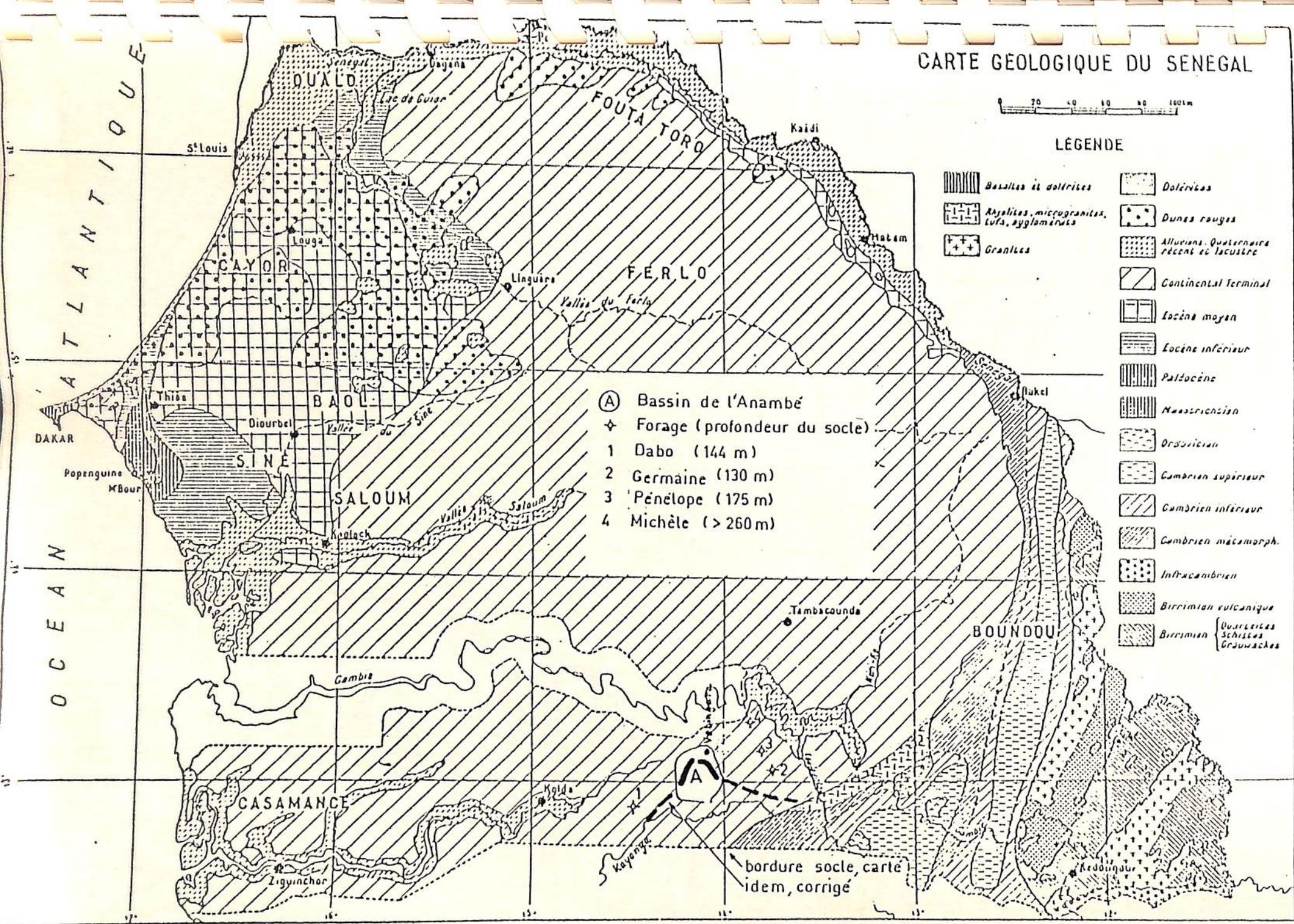
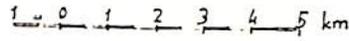


Figure 1
 CARTE GEOLOGIQUE DU SENEGAL
 ET LOCALISATION DU BASSIN DE L'ANAMBE

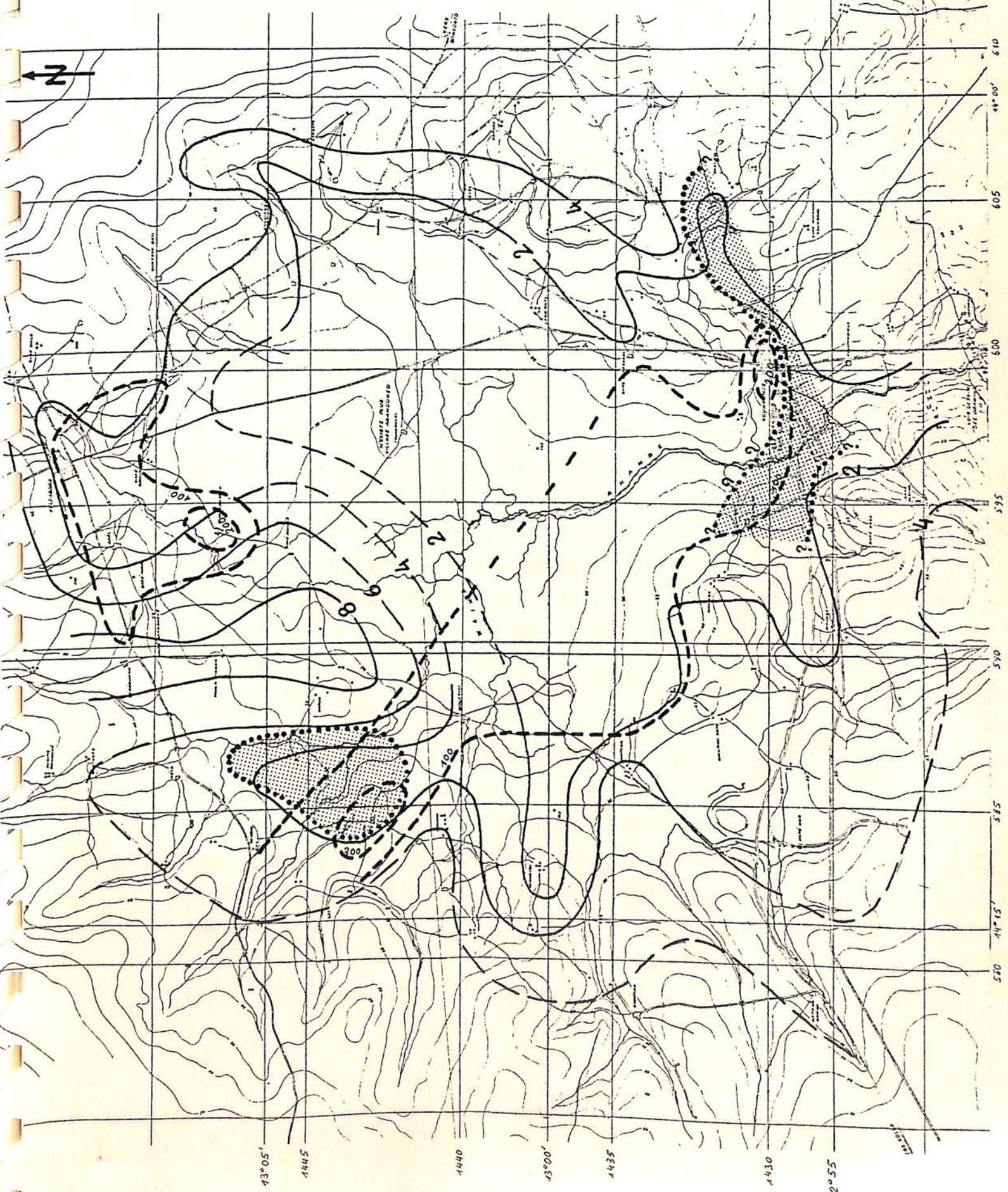
Figure 2

CARACTERISTIQUES DE LA NAPPE PHREATIQUE

ECHELLE - SCALE
1:30000



- A) Minéralisation (conduct. él. en mhos/cm , > 100) - - - - -
- B) pH > 7,5 (stippled area)
- C) Baisse de la nappe entre 1966 et 1978, en m — 2 — (dashed line)



Nous avons effectué de petits essais de pompage manuel, de très courte durée, dans un échantillonnage de 7 puits représentatifs des différents terrains rencontrés. Les valeurs de perméabilité, calculées d'après la remontée de la nappe, se situent entre 0,9 et $3 \cdot 10^{-5}$ m/s pour les alluvions (sables limoneux) et entre 2,7 et $21 \cdot 10^{-5}$ m/s pour les niveaux latéritiques. Le puits communal de Vélingara capte un niveau sableux peu argileux de perméabilité $4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Si l'on utilise cette dernière valeur - la plus favorable - pour un calcul théorique, un captage de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ nécessiterait une épaisseur d'aquifère de 30 m au moins, compte tenu des faibles rabattements réalisables dans la nappe phréatique. Les puits de village ne nous fournissent malheureusement aucune information sur des tranches si profondes de la nappe, et aucune information du tout sur la nappe dans la zone interne du bassin, à proximité d'éventuels périmètres pilote.

Nous avons donc été réduits, dans la phase de préparation de la campagne de forages, à l'interpolation des données de forages relativement éloignés du bassin de l'Anambé (40 à 50 km), à l'extrapolation de cartes et coupes géologiques générales, et à l'interprétation des caractéristiques de la nappe phréatique qui peuvent être liées à des systèmes d'écoulement plus généraux, comme le chimisme et les fluctuations piézométriques (fig. 2).

2.2. Les aquifères profonds

Les aquifères profonds sont bien connus dans le centre et l'ouest du bassin sédimentaire sénégalais, où de nombreux forages ont permis leur étude. Les travaux d'Audibert notamment (Réf. 4) mettent en relief la valeur économique de l'aquifère sableux du Maestrichtien, situé entre les profondeurs moyennes de 200 et 400 m, et fournissant des débits de 50 à $350 \text{ m}^3/\text{h}$ environ. Des aquifères moins importants, mais néanmoins intéressants à exploiter sont les niveaux sableux du Continental Terminal (CT) et des calcaires gréseux ou marneux de l'Eocène et du Paléocène.

Si les informations sont abondantes dans le centre-Nord Ouest du pays, elles se raréfient vers la bordure sud orientale du bassin sédimentaire et sont même inexistantes dans la région du bassin de l'Anambé. On sait seulement qu'à Velingara, un forage (Sodefitex) capte un niveau sableux du CT entre 44 et 52 m de profondeur, possédant une perméabilité de 10^{-4} m/s environ.

Les informations les plus proches sont fournies par la coupe du forage pétrolier de Dabo 1 bis, 40 km à l'W du bassin de l'Anambé, et par 3 piézomètres de reconnaissance (Michèle, Pénélope et Germaine) situés à 45 km à l'E du bassin (fig. 1). Ces forages se situent à une distance de 20 à 50 km de la bordure du bassin sédimentaire telle que la représente la carte géologique (P. Bassot) et rencontrent le socle paléozoïque à une profondeur de plus de 130 m, profondeur augmentant du SSE vers le NNW. Les formations sédimentaires traversées se composent des argiles, limons et sables du CT, des argiles, marnes et grès calcaires du Paléocène-Eocène, et des sables plus ou moins argileux du Maestrichtien-Paléocène.

En interpolant ces données pour le bassin de l'Anambé, on obtient une épaisseur sédimentaire moyenne de 160 m et une espérance de rencontrer des niveaux sableux à la base du CT (entre 25 et 50 m de profondeur moyenne) et à la base de la série sédimentaire (entre 125 et 160 m de profondeur moyenne). Les valeurs de transmissivité espérées (perméabilité et épaisseur) sont respectivement de $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ pour le CT (basé e sur une seule valeur, Velingara) et de $7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ pour le Maestrichtien-Paléocène (basée sur une seule valeur également, Germaine).

En l'absence de données plus fiables, l'emplacement du premier forage de reconnaissance a été déterminé principalement en fonction des contraintes pédo-agronomiques d'utilisation de l'eau, en tenant compte, dans la mesure du possible, de critères hydrogéologiques (zone d'écoulements préférentiels,

supposé à partir des faibles fluctuations piézométriques de la nappe phréatique conjointement à un caractère chimique rappelant celui des nappes profondes; figure 2).

Comme on le verra dans les chapitres suivants, l'interpolation des données disponibles à l'échelle régionale s'est avérée nettement insuffisante et trompeuse, le bassin de l'Anambé étant caractérisée par une structure géologique assez complexe.

Références bibliographiques

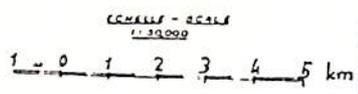
- 1) BRGM, 1961, R. GOUZES : Etude hydrogéologique de la Casamance
- 2) GERCA (SCET/COOP/ILACO), 1962 : Aménagement hydroagricole en Casamance et Haute Gambie; Casamance continentale, études hydrogéologiques, campagne 1962
- 3) BRGM, 1964, H.CAMUS, J.DEBUISSON : Etude hydrogéologique des terrains anciens du Sénégal oriental (campagne 1962-1963)
- 4) BRGM, 1966, M. AUDIBERT : Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal, la "Nappe Maestrichtienne"
- 5) BRGM, 1967, J.C. NAPIAS : Hydrogéologie de la Moyenne et Haute Casamance
- 6) BRGM, 1968 : Etude de la réalimentation et de la salinité de la nappe des "Sables Maestrichtiens" du Sénégal
 - 6.1. R.GOUZES : Interprétation des mesures périodiques du niveau et des données nouvelles
 - 6.2. M.GRAVOST : Résultats d'une campagne de reconnaissance par forages dans le Sénégal oriental
- 7) BRGM (FED), 1969, J. DEBUISSON, G. GAGNIERE : Campagne de construction de 133 puits, 1967 - 1968, région de Casamance et du Sénégal oriental, compte rendu de surveillance des travaux
- 8) IAEA-SM-182/26, 1974, G. CASTAGNY, A. MARCE, J. MARGAT, H. MOUSSU, Y. VUILLAUME :
Etude par les isotopes du milieu du régime des eaux souterraines dans les aquifères de grandes dimensions.
- 9) SODAGRI, 1977, Projet d'aménagement hydroagricole du bassin de l'Anambé, Haute Casamance, Etude Sénériz

3. LA CAMPAGNE DE FORAGES

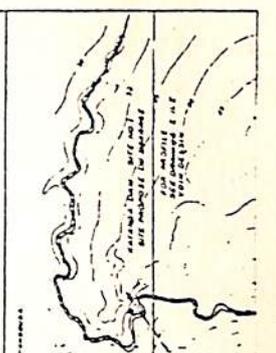
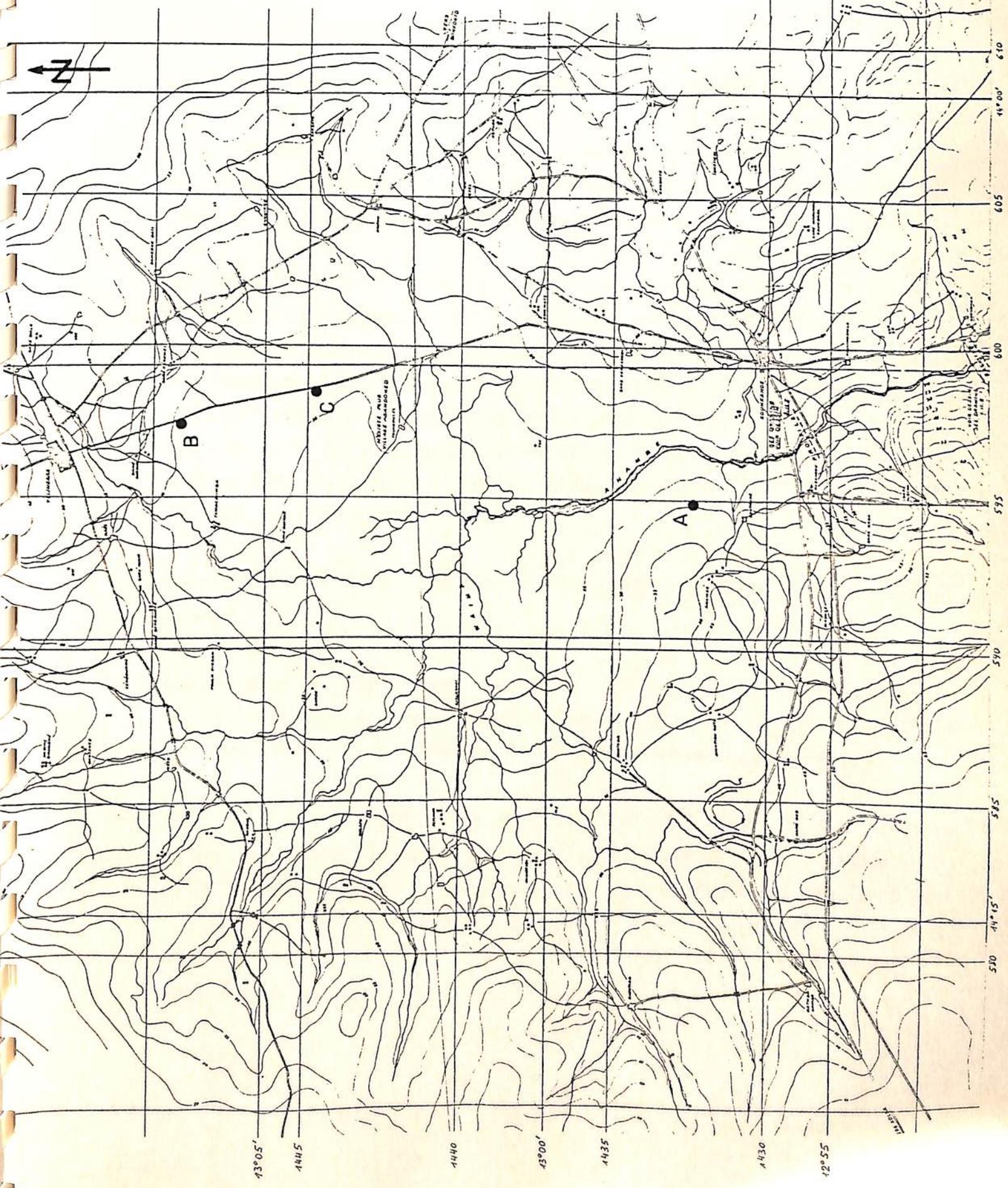
3 forages de reconnaissance et prospection hydrogéologique ont été effectués dans le bassin de l'Anambé, afin d'identifier les différentes formations sédimentaires du sous-sol et de tester leur qualité aquifère respective.

Comme on le verra par la suite, ces 3 forages sont représentatifs de la plus grande partie du bassin. Le forage de Soutouré se situe au Sud du bassin, celui de Velingara-Sud 1 au Nord, et celui de Velingara-Sud 2 au Centre-Nord-Est (figure 3). Ils représentent chacun une situation géologique différente.

Figure 3
EMPLACEMENT DES FORAGES DE
RECONNAISSANCE



- A) Soutouré (prof. 64 m)
- B) Velingara-Sud 1 (prof. 125 m)
- C) Velingara-Sud 2 (prof. 125 m)



3.1. Le forage de Soutouré

3.1.1. Les opérations effectuées

Le forage a été implanté aux coordonnées 594500/1432400 à l'altitude approximative de 30 m. Il a été foré jusqu'à 64 m en 8 3/4" par rotary circulation directe à la boue bentonitique, avec une foreuse Failing Djeda, et équipé avec un tubage de 5" et des crépines à nervures repoussées de 4" (voir figure 4 et liste des opérations effectuées).

Les terrains traversés sont schématisés sur la coupe de la figure 4 et décrits dans le paragraphe 3.1.2. Sous une couverture sédimentaire de 13 m, constituée d'argiles sableuses, le forage a rencontré le socle paléozoïque représenté par des rhyolites alcalines microcristallines, épimétamorphiques qui ont l'aspect d'une quartzite sériciteuse verte ou de schistes verts. Entre 32 et 48 m, on a rencontré une formation détritique ou altérée contenant un fort pourcentage d'argile, et dont l'origine n'est pas complètement élucidée (voir paragraphe 3.1.3).

Enfin, entre 48 et 64 m, on retrouve les mêmes rhyolites vertes que précédemment.

Aucune perte de boue n'a été constatée. Le forage a été exécuté jusqu'à 64 m afin de pouvoir tester les qualités aquifères des rhyolites, spécialement des niveaux altérés (entre 26 et 32 m et entre 48 et 57 m).

Afin de pouvoir exécuter un test à l'air lift sans danger de détérioration du forage, la première partie, sédimentaire, a été réalésée et tubée en 8 5/8". Le test effectué dans le trou nu, s'est révélé peu concluant pour des besoins d'irrigation (débit de 5 m³/heure pour un rabattement de 20 m environ) si bien que nous avons renoncé à forer plus profondément ou à réalésier le forage.

De faibles débits permettent néanmoins un usage domestique du forage, aussi l'avons nous équipé avec un tubage de 5" et des crépines de 4", non prévues au programme mais disponibles sur le chantier.

Ces crépines à nervures repoussées ont été placées aux niveaux supposés les plus perméables (rhyolites altérées), soit entre 26 et 30 m et entre 50 et 62 m, et l'espace annulaire rempli avec du gravier basaltique de 1 à 2 mm.

Le développement du forage équipé s'est effectué à l'air lift pendant vingt-deux heures, sans adjonction de polyphosphates, absentes sur le chantier.

Au début du développement, le débit soutiré est tombé à 1 m³/h environ pour un rabattement de 20 m environ, la colonne d'air étant descendue directement dans la colonne d'exhaure du forage. Ce faible débit peut s'expliquer par la conjonction de 3 causes :

- une partie du profil a été tubée
- le massif filtrant et les crépines occasionnent une perte de charge supplémentaire
- une partie de l'eau pompée dans la zone inférieure peut s'infiltrer par la crépine dans la zone dénoyée.

A la fin du développement, le débit était de 2,5 m³/h après 10 minutes de pompage et de 1,67 m³/h après une heure de pompage, avec un rabattement de 24 m environ, une ligne d'air de 3/4" étant cette fois descendue dans un tube d'exhaure de 2".

Nous ne disposions pas de pompe de petit diamètre pour effectuer un essai de pompage dans les règles de l'art, aussi les débits et rabattements mentionnés n'ont-ils qu'une valeur indicative.

Forage de Soutouré

Opérations effectuées :

- 28.6 - 28.7. Reconnaissance du site, préparation du matériel, transport (difficile à cause du terrain) installation du chantier Foreuse Failing Djeda.
- 29.7. Approvisionnement en eau, préparation de la boue, creusage à la main du trou de 30" profondeur 1,5 m, pose du tube guide de 26" de 3 m de long.
- 30.7.* Forage en 8" 3/4 de 1,5 à 32,7 m
- 31.7. Forage en 8" 3/4 de 32,7 à 64 m
- 1.8. Alésage en 12" 1/4 de 1,5 à 14 m
Nettoyage du trou jusqu'à 64 m
Pose du tubage 8" 5/8 de + 0,55 à -14 m
- 2.8. Régie 9h.30 Test à l'air lift : descente de tubes 5" jusqu'à 55 m, ligne d'air à 45 m; essai air lift de 10 h 12h.30, débit 5 m³/h niveau statique à 24,5 m.
- cimentation des tubes 8" 5/8 de 0 - 14 m
 - préparation (soudures) crépines 4" à nervures repoussées (16 m) et tube d'exhaure de 5".

* Jusqu'au 5.8.1978 travail de 7 à 19 heures, pas de travail de nuit car le groupe électrogène est en panne.

3.8. Pose crépines et tube d'exhaure, avec centreur

de 12 à 26 m	:	tubes	5"
26 à 30 m	:	crépines	4"
30 à 50 m	:	tubes	5"
50 à 62 m	:	crépines	4"
62 à 64 m	:	tubes	5"

Gravillonnage du massif filtrant, gravier 1 - 2 mm

Développement ⁽¹⁾ par air lift par à coup de 5 minutes : 20 minutes à 30 m, puis 20 minutes à 57 m, puis 2 h à 45 m, eau chargée de boue et de gravier du massif filtrant, débit environ $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.8. Développement ⁽¹⁾ par air lift à 45 m : 12 h par à coup de 5 minutes, débit en fin de journée $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.8. Développement par air lift, dans tubes 2" à 53 m avec ligne d'air 3/4" à 47 m : 9 h par périodes de 1/2 h ou 1 h de pompage, 5 à 10 minutes d'arrêt.

Eau propre après 1/2 heure de pompage

Débit de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ après 10 minutes de pompage

Débit de $1,67 \text{ m}^3/\text{h}$ après 1 heure de pompage.

Cimentation de la dalle et réception de forage.

Le développement a duré au total 22 h, avec 15 h de pompage effectif.

⁽¹⁾ La ligne d'air a été descendue directement dans la colonne d'exhaure (tubage et crépine).

3.1.2. Coupe géologique

Effectuée d'après l'examen des cuttings; les profondeurs sont arrondies au mètre près. Pour les roches du socle, voir les résultats d'analyse au paragraphe suivant.

0 - 13 m : Argile sableuse, soit

- 0 - 1,5 m : argile compacte, beige, avec nodules de couleur rouille
- 1,5 - 5,0 m : argile sableuse beige, fraction sableuse de 0,1 à 0,5 mm et grains arrondis de latérite de 2 à 3 mm
- 5,0 - 7,0 m : argile graveleuse beige foncé à forte proportion de grains de 2 à 5 mm et de quartz. Quelques grains de calcite et d'argile blanc-verdâtre
- 7,0 - 11,0 m : argile sableuse beige clair à jaunâtre contenant quelques grains de latérite et de quartz de 1 à 5 mm, quelques grains de calcite et d'argile verte
- 11,0 - 12,0 m : sable argileux rouge, fraction grossière = 50 % environ, constituée de grains de latérite et essentiellement de quartz
- 12,0 - 13,0 m : argile graveleuse avec des débris de quartz et de rhyolite verte de 5 mm

13 - 32 m Rhyolite alcaline microcristalline, épimétamorphique

- 13,0 - 14,0 m : zone altérée, cuttings vert pomme et blanchâtres, tendres
- 14,0 - 20,0 m : zone légèrement altérée, cuttings plus durs, gris foncé à vert foncé, en partie violacés, de forme aplatie et allongée et grands (5 à 20 mm)
- 20,0 - 26,0 m : zone inaltérée (?), cuttings de petite dimension (environ 2 à 5 mm) gris vert
- 26,0 - 27,0 m : zone altérée, cuttings moyens, en partie couleur rouille
- 27,0 - 32,0 m : zone altérée, cuttings moyens, vert-pomme

32 - 48 m : Formation altérée ou détritique, argileuse et sableuse

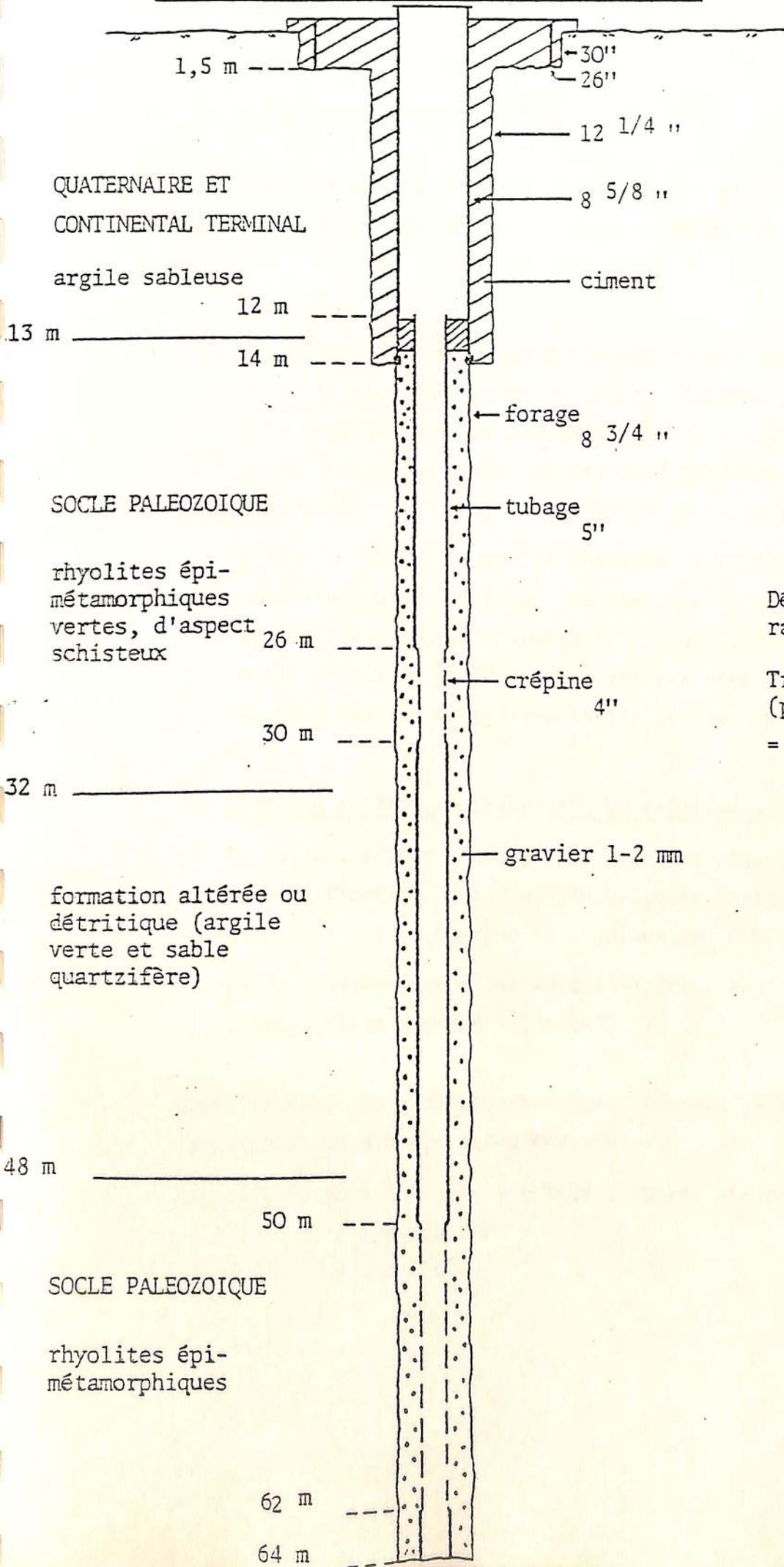
- 32,0 - 35,0 m environ : argile brun chocolat et gris-verdâtre, devenant plus verdâtre vers le bas, avec 15 % de fraction sableuse de quartz, d'albite et de micas
- 35,0 - 42,0 m environ : même argile sableuse, verdâtre
- 42,0 - 44,0 m environ : même argile sableuse, avec passées violacées
- 44,0 - 47,0 m : même argile sableuse, verdâtre
- 47,0 - 48,0 m : même argile sableuse, verdâtre, avec une plus importante fraction sableuse

48 - 64 m : Rhyolite, comme précédemment

- 48,0 - 53,0 m : zone altérée, cuttings vert pomme
- 53,0 - 57,0 m : zone légèrement altérée, grands cuttings
- 57,0 - 61,0 m : zone inaltérée, cuttings très petits (2 à 3 mm)
- 61,0 - 64,0 m : idem, cuttings de 3-5 mm, roche dure à forer.

FORAGE DE SOUTOURE : coupe du forage équipé

échelle verticale 1:250



Débit de 1,5 m³/h pour un rabattement de 20 m env.

Transmissivité du terrain (perméabilité x épaisseur) = 5 · 10⁻⁵ m²/s

3.1.3. Détermination des roches

L'analyse par diffraction aux rayons X et l'examen des coupes minces des cuttings a permis de définir le type de roches rencontrées :

1. - Rhyolite

Ce qui a l'aspect de quartzite schisteuse verte est en réalité une rhyolite alcaline microcristalline légèrement métamorphisée.

Elle contient environ 2/3 de quartz et 1/3 d'albite, plus quelques micas (biotite altérée, muscovite à tendance phengitique) et quelques grains de minéraux opaques (magnétite ?) ou sombres (sphène).

L'albite est idiomorphe et issue de la cristallisation primaire, (phénocristaux de 0,3 à 2 mm), de même que probablement la biotite et le sphène, tandis que le quartz est issu d'une recristallisation secondaire (cristaux de 10 à 20 μ avec traînées de cristaux de 60 à 100 μ) de même que la muscovite-phengite qui marque la schistosité.

2.- Rhyolite altérée ou grauwacke, ou argilite arkosique

Ce qui a l'aspect d'une argile gréseuse pose encore quelques problèmes d'identification. La fraction gréseuse analysée est composée de 34% de quartz non idiomorphe et anguleux de 30 % d'albite.

Le reste étant des micas et des minéraux argileux (smectite interstratifiés Illite-Montmorillonite).

Comme la fraction gréseuse représente environ 15 % de la "roche" totale, la composition globale est d'environ

90 % d'argile + traces d'autres minéraux
6 % de quartz
4 % d'albite.

Il peut s'agir de rhyolite ou grauwacke altérées, ou d'une argilite arkosique.

La présence d'argile sous les rhyolites épimétamorphiques a de quoi étonner. On peut imaginer deux scénarios pour expliquer ce phénomène :

- a) mise en place de la rhyolite, suivie d'un très léger métamorphisme (diagenèse avancée, permettant uniquement la recristallisation du quartz), puis altération d'un niveau de rhyolite (?)
- b) mise en place de la rhyolite, suivie d'un épimétamorphisme dû à une tectonique intense ⁽¹⁾ puis sédimentation détritique (argilite gréseuse et arkosique) et enfin écaillage dû à une seconde phase tectonique ⁽¹⁾.

Le chimisme de l'eau, décrit au paragraphe suivant, parle en faveur de la deuxième solution.

(1) Fait signalé dans la notice explicative de la carte géologique au 1 : 200'000, feuille Youkouñkoun.

3.1.4. Analyse d'eau

L'eau du forage est bien minéralisée, et peut se définir comme sulfatée sodique. Elle se différencie des eaux du Continental Terminal par une minéralisation 10 à 30 fois plus forte ainsi que par sa teneur élevée en sulfates et en sodium et son pH basique.

La forte teneur en sodium et le pH basique s'expliquent très bien par l'abondance de l'albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ dans la rhyolite. Par contre, la forte teneur en sulfates ne s'explique pas de manière univoque.

Elle peut provenir de l'oxydation de soufre ou sulfures (pyrite) de dépôts volcaniques tels que les tufs, ou alors de minéraux d'origine sédimentaire tels que les évaporites. Dans ce cas la formation argileuse traversée par le forage serait d'origine détritique (hypothèse b). Nous penchons pour cette solution, d'autant plus que le rapport des ions Ca, Mg, HCO_3 suggère la présence de dolomie.

T A B L E A U I

Analyse chimique des eaux du bassin de l'Anambé

	SOUTOURE		Forages de				Koukandé		Puits de										
			VELINGARA-SUD 1 (SODAGRI)		VELINGARA-SUD 2 (BRGM)		(SODAGRI)		CER		Saré Saidou		Biarou Kael						
Date de prélèvement	3.8.1978		février 1979				mars 1979				16.2.1978	7.7.1978	16.2.1978	17.2.1978	18.7.1978				
pH	8,0		8,1				7,5				8,1		7,4	7,4	7,7	5,8	6,0		
Conductibilité électrique	1550 micromhos		(700)				310				-		262	222	163	17	147		
Extrait sec	1062 mg		495				280				(260)		-	160	-	-	116		
Teneur par litre	mg	meq								mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq
Cl ⁻	15,6	0,44	11,0	0,31	5,0	0,14	1,2	0,03	3,5	0,10	4,3	0,12	2,1	0,06	3,5	0,10	22,7	0,64	
SO ₄ ²⁻	383,3	7,98	45,2	0,94	17,3	0,36	18,9	0,39	13,0	0,27	4,8	0,10	<0,5	-	<0,5	-	22,1	0,46	
HCO ₃ ⁻	433,2	7,10	(350,4)	(5,74)	189,2	3,10	180,0	2,95	189,2	3,10	158,7	2,60	122,0	2,00	12,2	0,20	15,3	0,25	
NO ₃ ⁻	<2	-	-	-	2	-	-	-	<2	-	<2	-	3,0	0,05	3,0	0,05	10,0	0,16	
F ⁻	0,5	0,03	-	-	0,6	0,03	-	-	-	-	<0,1	-	-	-	-	-	<0,1	-	
total anions	15,55		6,99				3,63				3,40		3,47	2,82	2,11	0,35	1,51		
Ca ²⁺	79,4	3,96	66,0	3,29	38,5	1,92	38,4	1,91	42,7	2,13	50,3	2,51	37,1	1,85	3,6	0,18	10,0	0,50	
Mg ²⁺	50,6	4,16	27,9	2,29	13,1	1,08	13,5	1,11	13,5	1,11	1,5	0,12	<0,1	-	<0,1	-	5,6	0,46	
Na ⁺	165,0	7,17	25,0	1,09	13,6	0,59	7,5	0,33	2,5	0,11	1,8	0,08	2,3	0,10	1,7	0,07	7,9	0,34	
K ⁺	8,5	0,22	11,8	0,30	1,4	0,04	1,0	0,03	0,4	0,01	0,4	0,01	0,8	0,02	0,2	0,005	6,3	0,16	
NH ₄ ⁺	<0,1	-	-	-	<0,1	-	-	-	-	-	<0,1	-	-	-	-	-	<0,1	-	
total cations	15,51		6,97				3,63				3,38		3,36	2,72	1,97	0,255	1,46		

3.1.5. Test de débit

Nous n'avons pas pu effectuer d'essais de pompage au sens strict dans le forage, mais nous disposons de données relevées lors du test à l'air lift dans le trou à nu et lors du développement à l'air lift dans le forage équipé, à savoir :

- valeurs approximatives du rabattement pour un débit donné
- courbes de remontée après pompage.

Nous avons interprété ces données par la formule de Logan pour le rabattement lors du pompage

$$T = \frac{2,3 Q \log R/rw}{2 \pi Sw}$$

- T = transmissivité
- Q = débit soutiré
- R = rayon d'influence
- Sw = rabattement dans le puits
- rw = rayon du puits
- D = épaisseur de l'aquifère

Pour le test dans le trou à nu, on obtient

- Q = $1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (après 10 minutes de pompage)
- rw = $1/2 (8 \text{ } 3/4") = 0,11 \text{ m}$
- Sw = 21 m (niveau statique à -24 m, colonne d'air -45 m)
- R = 50 m (supposé)
- D = 19 m (colonne d'air à -45 m, fond du puits à -64 m)

d'où $T = kD = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et $k = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Pour le test lors du développement on obtient

$$\begin{aligned} Q &= 4,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{après une heure de pompage}) \\ r_w &= 0,11 \text{ m} \\ S_w &= 24 \text{ m} \quad (\text{niveau statique à } -24 \text{ m, colonne d'air à } -48 \text{ m}) \\ R &= 50 \text{ m} \quad (\text{supposé}) \\ D &= 16 \text{ m} \quad (\text{colonne d'air à } -48 \text{ m, fond du puits à } -64 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \underline{T = kD = 1,88 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ et } k = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}}$$

La différence entre les 2 valeurs peut être attribuée pour une moitié environ aux pertes de charge du puits équipé, et pour l'autre moitié au fait que le débit est mesuré après une heure de pompage au lieu de 10 minutes, ce qui est plus proche de la valeur stabilisée.

L'analyse des courbes de remontée a été faite par la méthode de Theis
($T = \frac{2,3 Q}{4\pi \Delta S_w''}$) où

$\Delta S_w''$ est la différence du rabattement résiduel par cycle logarithmique de t/t'' (t = temps à partir du début du pompage, t'' = temps à partir de la fin du pompage).

On obtient, pour le trou à nu (voir figure 5)

$$\underline{T = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}, \quad D = 40 \text{ m}, \quad k = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}}$$

et pour le puits équipé (voir figure 6)

$$\underline{T \text{ compris entre } 3 \cdot 10^{-5} \text{ et } 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}, \quad D = 40 \text{ m}, \\ k \text{ compris entre } 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ et } 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}}$$

On constate que la courbe de remontée n'est pas une droite en échelle semi-logarithmique, mais une courbe qui indique une remontée trop rapide au début et trop lente à la fin. Ces anomalies sont peut être causées par la méthode de pompage à l'air lift. En effet, pendant le pompage l'eau et la roche sont mises sous pression. A l'arrêt du pompage, la réaction élastique de l'eau et de la roche peut faire monter rapidement l'eau dans le puits. De plus, les bulles d'air introduites par cette méthode de pompage peuvent avoir un effet colmatant sur les crépines et le massif filtrant, en réduisant les sections de passage, ce qui diminue la vitesse de remontée, spécialement vers la fin de la remontée quand les vitesses d'entrée sont plus faibles.

On prendra donc une valeur intermédiaire de ΔS_w sur la courbe de remontée, soit $T = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $D = 40 \text{ m}$ et $k = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

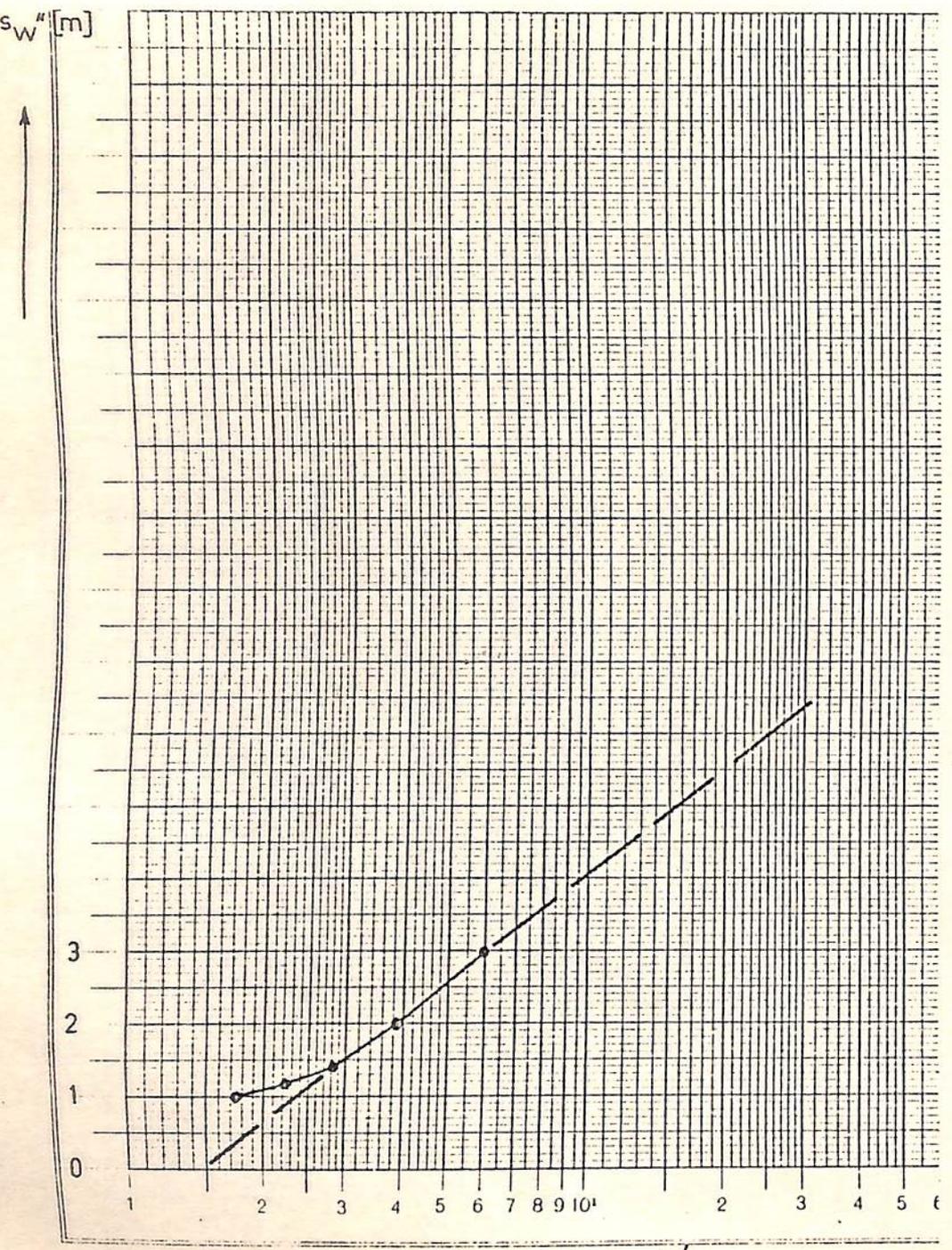
Toutefois, pour obtenir des valeurs fiables des caractéristiques de l'aquifère, il serait nécessaire de faire un essai de pompage de longue durée (plus de 24 heures) avec une pompe aspirante.

d'après THEIS $T = \frac{2,3 Q}{4\pi \Delta s_W''}$

Données

$t_0 = 40$ minutes

t''	t	t/t''	s_W'' (mètres)
8	48	6	3,0
14	54	3,86	2,0
22	62	2,82	1,4
33	73	2,21	1,2
55	95	1,73	1,0



$\Delta s_W'' = 4,9$

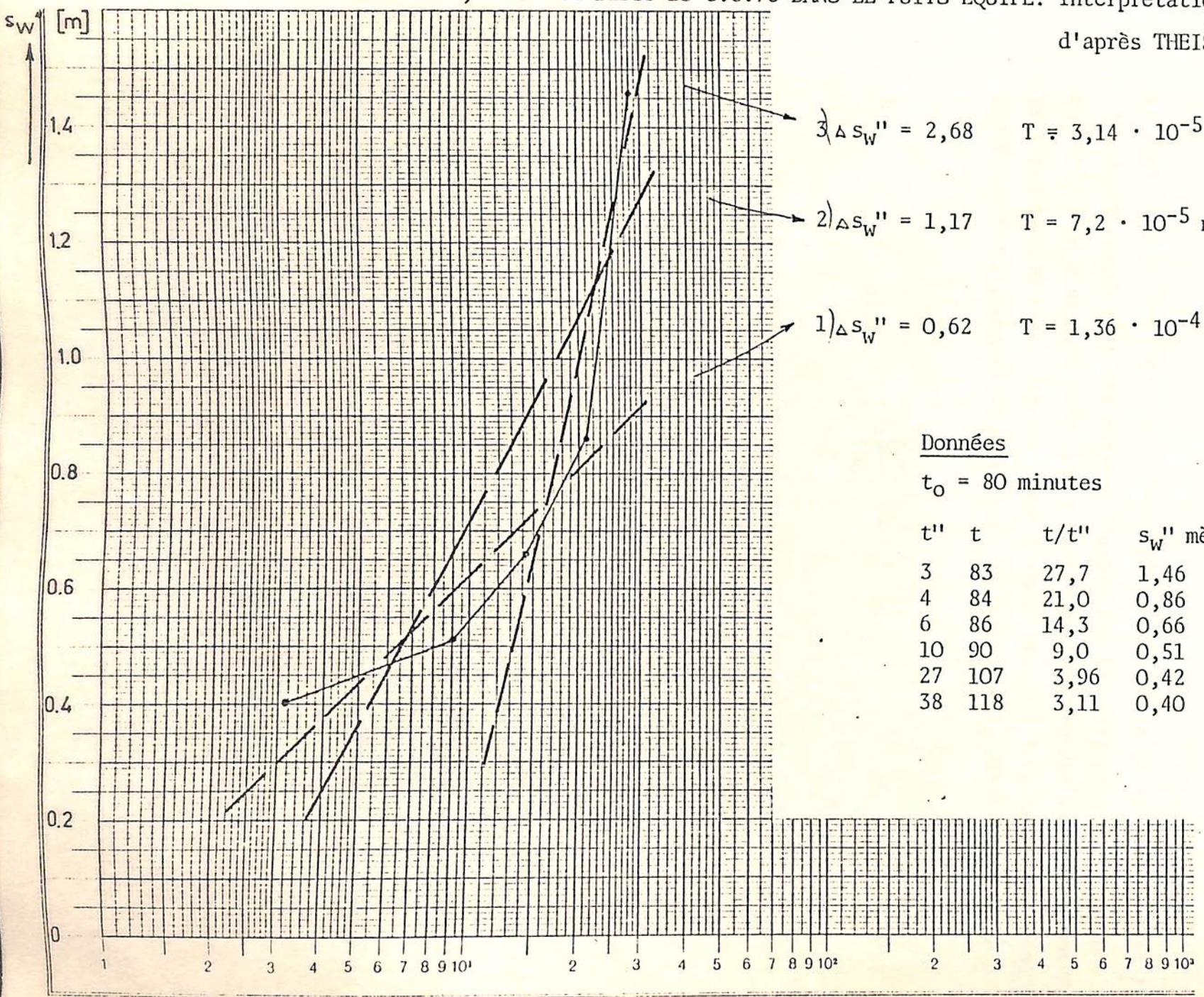
$T = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Logar. Teilung } 1:10000 Einheit } 62,5 mm $\longrightarrow t/t''$
 Division } Unite }

Figure 5
 FORAGE DE SOUTOURE , INTERPRETATION DE L'ESSAI
 DE POMPAGE

FORAGE DE SOUTOURE, ESSAI DE DEBIT DU 5.8.78 DANS LE Puits EQUIPE: Interpretation de la courbe de remontée

d'après THEIS $T = \frac{2,3Q}{4rA s_w''}$



- 3) $\Delta s_w'' = 2,68$ $T = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- 2) $\Delta s_w'' = 1,17$ $T = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- 1) $\Delta s_w'' = 0,62$ $T = 1,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Données

$t_0 = 80$ minutes

t''	t	t/t''	s_w'' mètres
3	83	27,7	1,46
4	84	21,0	0,86
6	86	14,3	0,66
10	90	9,0	0,51
27	107	3,96	0,42
38	118	3,11	0,40

Logar. Teilung } 1-10000 Einheit } 62,5 mm
 Division } Unité }

Figure 6
 FORAGE DE SOUTOURE , INTERPRETATION DE L'ESSAI
 DE POMPAGE

3.1.6. Rendement, qualité de l'eau et possibilité d'utilisation du forage

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les tests effectués ne permettent de donner qu'un ordre de grandeur de la perméabilité de l'aquifère. Prenons une valeur moyenne de 10^{-6} m/s, et une épaisseur de l'aquifère de 20 m (en régime de pompage).

Le débit soutiré lors d'un essai représente souvent le débit maximal soutirable, débit auquel il n'est pas bon d'exploiter le puits pendant longtemps, car il y a un risque de colmatage à cause des trop grandes vitesses d'entrée de l'eau à travers la crépine. Pour l'exploitation à long terme, H. Schneider donne une formule empirique permettant de calculer le débit idéal d'exploitation :

$$Q_{\text{idéal}} = \frac{\pi D h \cdot S_w}{280} \quad , \quad \text{où}$$

D = diamètre du forage

h = épaisseur de l'aquifère de la base des crépines jusqu'au niveau dynamique

$$S_w = \sqrt{86,2 k}$$

k = perméabilité de l'aquifère

on a $D = 0,22 \text{ m}$ $H = 18 \text{ m}$ $k = 10^{-6} \text{ m/s}$

$$S_w = 9,3 \cdot 10^{-3}$$

d'où $Q_{\text{idéal}} = 4,125 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 1,48 \text{ m}^3/\text{heure}$

On peut donc considérer qu'un débit de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ est idéal pour une exploitation à long terme.

Le niveau statique de la nappe du socle se trouve à 24 m de profondeur. Compte tenu d'un rabattement de 20 m environ en cas de pompage, il faudrait placer la pompe à 48 m de profondeur environ. Des indications plus précises pourraient être fournies par un essai de pompage. Pour un tel essai, il faut prévoir une pompe qui puisse fournir un débit de 5 m³/h et entrer dans un tubage de 4".

L'eau du forage est de très bonne qualité pour la consommation domestique. Elle entre dans la catégorie des eaux minérales (voir Tableau I, paragraphe 3.1.4) et se trouve protégée de toute source de contamination à partir de la surface, en raison des formations argileuses qui surmontent l'aquifère et de la cimentation du tubage sur les 14 premiers mètres du forage.

Pour les besoins d'irrigation l'eau peut convenir également mais il existe un danger de salinisation du sol, en raison de la faible capacité de drainage de celui-ci.

D'après les normes du US Salinity laboratory l'eau se classe dans la catégorie C₃S₁, soit bonne en ce qui concerne les teneurs en sodium (SAR¹) = 3,56) mais médiocre en ce qui concerne la minéralisation totale (1062 mg/l). Voir figure 7.

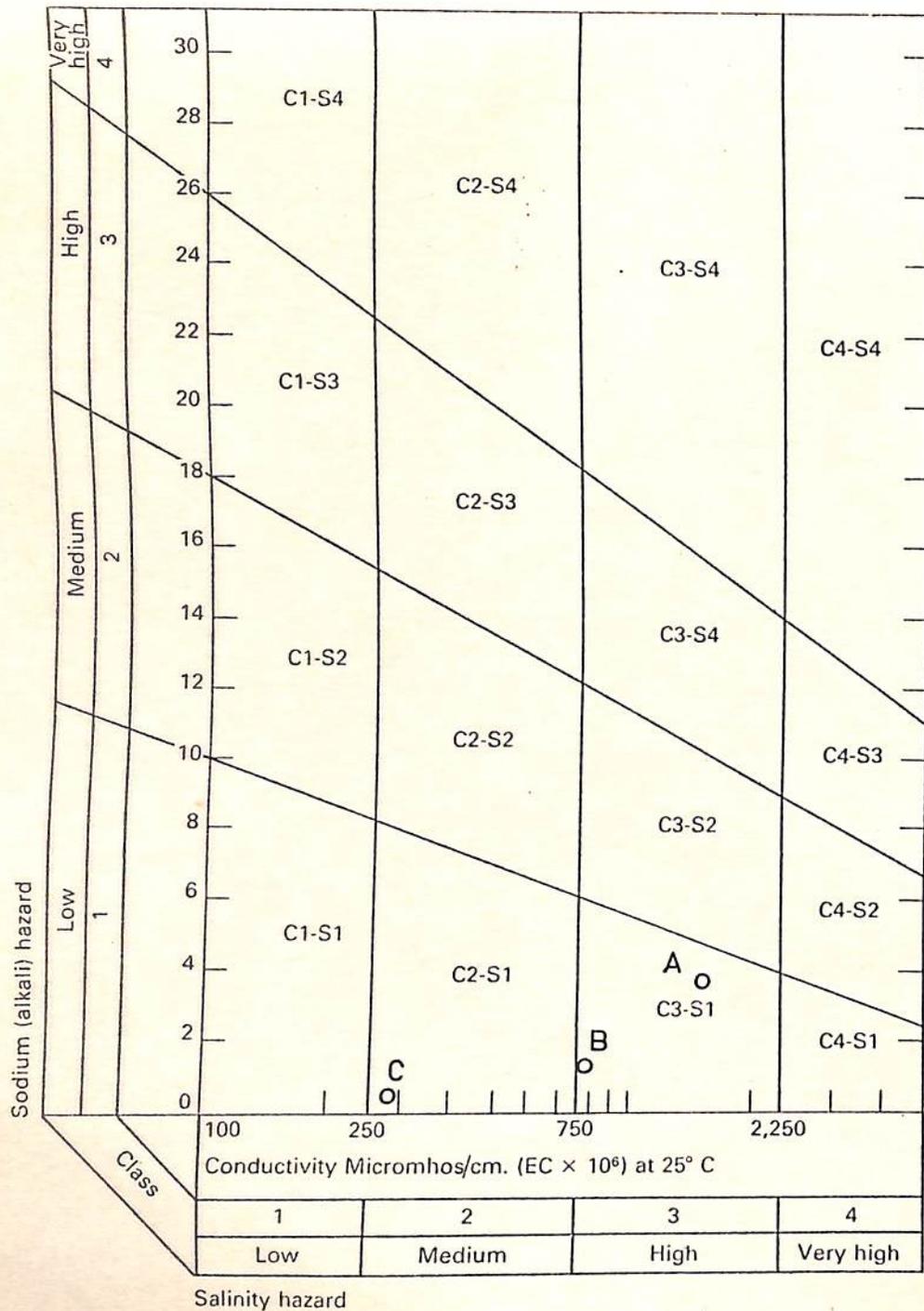
Les commentaires sont les suivants :

C₃ l'eau ne peut pas être utilisée sur des sols à drainage réduit, sauf pour les plantes à bonne tolérance vis-à-vis de la salinité (2) et moyennant un équipement de contrôle de la salinité.

S₁ l'eau peut être utilisée pour tous les sols sans grand danger de développement de niveaux avec échange de sodium; éviter les plantes sensibles au sodium, tels que les avocats.

(1) SAR = Sodium Absorption Ratio $\frac{\text{Na}}{((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)^{1/2}}$ en meq

(2) Le riz se classe parmi les plantes à tolérance moyenne vis-à-vis de la salinité des eaux.



Quality criteria for irrigation water.
(Source: United States Department of Agriculture.)

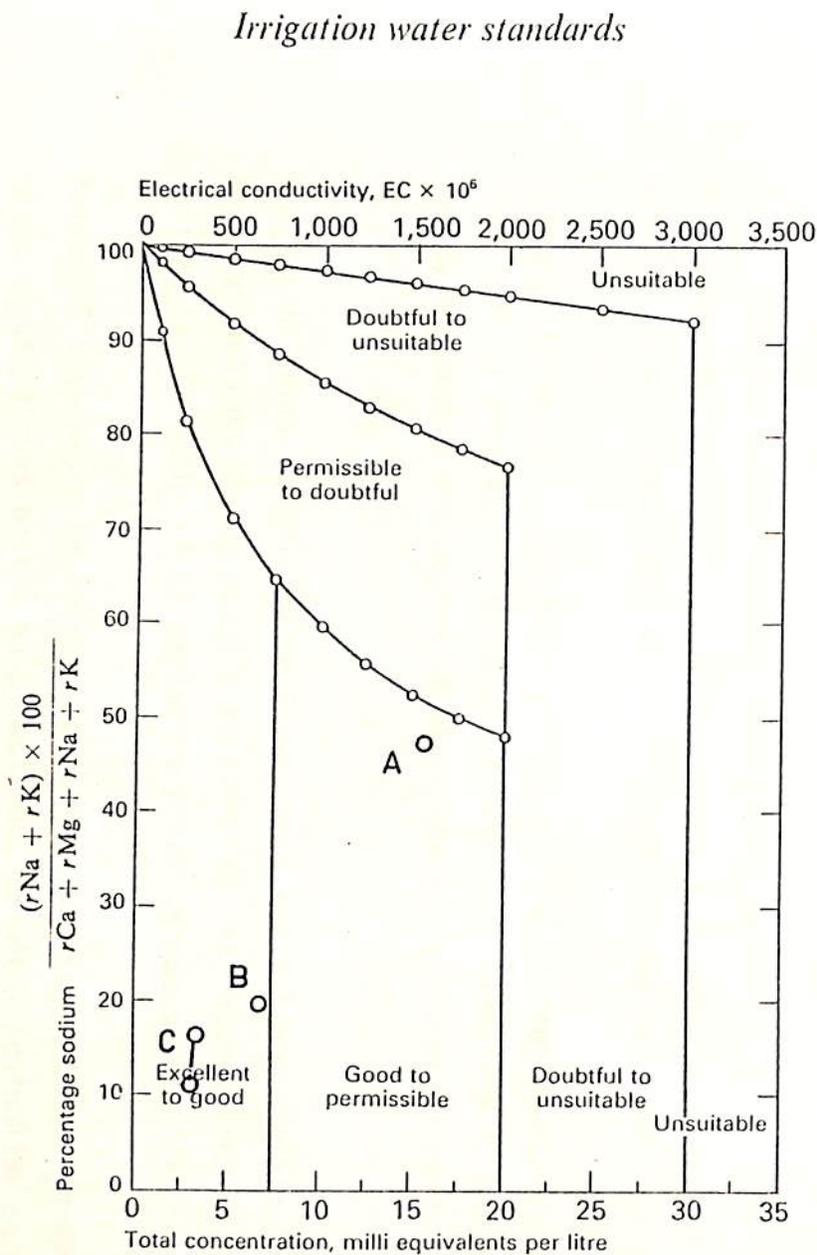


Diagram for irrigation water classification based on electrical conductivity and per cent sodium (after Wilcox in Todd, 1959).

- A) Soutouré
- B) Velingara-Sud 1
- C) Velingara-Sud 2

STANDARDS DE QUALITE POUR L'EAU D'IRRIGATION
 Figure 7

Il ne faut pas oublier que les quantités d'eau disponibles dans l'aquifère du socle sont très faibles, ce qui rendrait le coût de l'irrigation prohibitif. Nous déconseillons donc d'utiliser le forage à ces fins.

L'eau du forage pourrait également convenir à l'abreuvement des troupeaux. Cependant la présence de troupeaux à proximité immédiate du périmètre d'essai de Soutouré n'est peut-être pas souhaitable, au moins pendant la période de culture.

Vu la très bonne potabilité de l'eau, nous conseillons d'utiliser le forage pour les besoins en eau potable en priorité, et, accessoirement, comme abreuvoir en saison sèche si le périmètre pilote n'est pas cultivé.

Pendant l'hivernage, le forage pourrait à la rigueur servir de source d'appoint ou de secours pour 1 ou 2 hectares, le débit journalier soutirable étant l'équivalent d'une pluie journalière de 4 mm sur 1 hectare.

3.2. Le forage de Velingara - Sud 1

3.2.1. Les opérations effectuées

Le forage a été implanté aux coordonnées 597 583/1449 000 à l'altitude de 29 m, près de l'ancienne route Velingara-Koukané, du côté W, 4 km au sud de Velingara (figure 3). Il a été foré jusqu'à 125 m en 9 7/8" par rotary circulation directe à la boue bentonitique avec une foreuse Failing Djeda. Après un carottage électrique (PS et résistivité) il a été réalésé jusqu'à 80 m en 23" et jusqu'à 121 m en 15", et équipé avec une chambre de pompage de 16", un tubage d'exhaure de 8 5/8" et des crépines à fente continue Johnson TS 8" (voir figure 8 et liste des opérations effectuées). Le tubage d'exhaure et les crépines ont été retirés après les tests de débit peu concluants (voir 3.2.6), malgré un développement très poussé (voir 3.2.5).

Les terrains traversés sont schématisés sur la coupe de la figure 8 et décrits dans le paragraphe 3.2.2. Il s'agit d'une série sédimentaire principalement argileuse attribuée au Tertiaire, peu ou pas consolidée, avec quatre séquences de sables plus ou moins limoneux ou argileux, soit entre 0 et 15 m, 30 et 34 m, 60 et 78 m, 100 et 116 m. La série sédimentaire repose sur le socle paléozoïque, constitué de rhyolites, à partir de 116 m.

Aucune perte de boue n'a été constatée. La boue a été polluée par les argiles natives et les limons des terrains traversés et a dû être renouvelée ou traitée à plusieurs reprises.

Forage de Velingara-Sud 1

Opérations effectuées

- 14.12.78 au 6.1.79 Reconnaissance du site, préparation et déplacement du matériel depuis Soutouré et installation du chantier.
- 7.1.79 Forage en 9 7/8" de 0 à 58 m. Densité de la boue D = 1,1, viscosité v = 34 Marsh
- 8.1.79 Forage en 9 7/8" de 90 à 125 m. D = 1,2, v = 45
- 10.1 - 11.1.79 Contrôle et nettoyage du trou, injection de boue neuve D = 1,0 et v = 36, carottage électrique PS et résistivités normale 16" et latérale 6'. NB : pas de diagraphie Gamma (en panne)
- 12.1. Réalésage en 23" de 0 à 20 m
D = 1,2 v = 60
- 13.1. Réalésage en 23" de 20 à 66 m
D = 1,3 v = 55, traitement de la boue à l'hexamétaphosphate (20 kg)
- 14.1. - 15.1. Réalésage en 23" de 66 à 80 m
D = 1,4 v = 50
Préparation et descente tubage roulé-soudé 16", nettoyage annulaire et cimentation de 65 à 80 m et de 0 à 15 m.
- 16.1. - 22.1. Attente dépannage (camion Sonafor)
- 23.1. - 24.1. Réalésage en 14 3/4" de 80 à 102 m. D = 1 - 1.2
v = 35-45 et attente dépannage (groupe de soudure)
- 25.1. Réalésage en 14 3/4" de 102 à 121 m, D = 1,1-1,2
v = 35-45
- 26.1. Descente à 121 m de la colonne de captage, comprenant 4 m de sabot laveur (de 121 à 117 m), 15 m de crépine Johnson TS 8" (de 117 à 102 m), 27 m de tubage acier API 8 5/8" (de 102 à 75 m), 1 gauche, 77 m de tubage d'exhaure 8 5/8" provisoire (de -75 à +2 m)

- 27.1. Gravillonnage de l'annulaire entre 121 et 80 m, gravier basalte 1-2 mm, lavage, et 1ère injection de 2500 l d'hexamétaphosphate à 5 %, brassage à l'air, attente de 6 h.
- 28.1. Début du développement à l'air lift, alternance de 30' de pompage et 15' d'arrêt (9 h 30' de pompage et 4 h 30' d'arrêt)
2ème injection d'hexamétaphosphate (2000 l à 5 %), brassage et attente de 6 h.
- 29.1.- Développement à l'air lift en alternance marche/arrêt
- 1.2. - de 60' / 60' pendant 10 h.
- de 60' / 180' pendant 72 h.
soit en tout 23 h de pompage et 59 h d'arrêt.
Débit moyen environ 2,4 m³/h.
- 2.2. Lavage des crépines au jet
3ème injection d'hexamétaphosphate au jet (4000 l à 2,5 %) attente de 7 h.
Développement à l'air lift en alternance marche / arrêt de 45' / 15' pendant 28 h, soit 21 h de pompage et 7 h d'arrêt. Débit après 40' de développement = 3,5 m³/h.
Débit après 10 h de développement = 1,7 m³/h.
- 4.2. Développement à l'air lift en alternance pompage/arrêt de 60' / 180' pendant 12 h soit 3 h de pompage et 9 h d'arrêt.
Lavage au jet (perte de 8 m³ d'eau dans l'aquifère, sur 24 m³ utilisés)
4ème injection de polyphosphate au jet (cette fois pyrophosphate, 3000 l à 3,33 %, perte de 1 m³ environ dans l'aquifère), attente de 6 h.
- 5.2.-7.2. Développement à l'air lift en alternance pompage/arrêt de 60' / 60' pendant 62 h, soit 31 heures de pompage et autant d'arrêt.
- 8.2. Injection de 60 l d'acide acétique entre 103 et 104 m de profondeur, attente 10 h.
Essai préliminaire de pompage continu durant 3 heures.
Niveau statique (NS) avant pompage à 13 m à partir du sol

Débit après 40 minutes	$Q_{40'}$	= 2,535 m ³ /h
" " 2 heures	Q_{2h}	= 1,875 m ³ /h
" " 3 heures	Q_{3h}	= 1,765 m ³ /h
Rabattement	S_w	= 43 m

Niveau dynamique (ND) à la fin du pompage à 56 m

ND après 1 heure d'arrêt (remontée) $ND''_{1h} = 27$ m

9.2.-17.2. Attente de la fabrication d'un piston

Mesures du NS	1e 12.2.	NS = 3,86 m
à 16 h	1e 13.2.	NS = 3,49 m
	1e 14.2.	NS = 3,20 m
	1e 16.2.	NS = 3,10 m (à 13 h)

17.2. Pistonnage dans les crépines durant 8 heures.

18.2. Essai préliminaire de pompage à l'air lift

- pompage durant 1 heure 15' avec la ligne d'air à 60 m
NS = 3 m, ND = 34 m, $Q = 2,8$ à $2,5$ m³/h.

- arrêt durant 55'

- reprise du pompage durant 5 h 35' avec la ligne d'air à 80 m
ND = 55 m, $Q_{max} = 3,750$ m³/h, $Q_{min} = 1,82$ m³/h
 $Q_{moyen} = 2,3$ m³/h.

- arrêt et mesure de la remontée durant 1 heure
 $ND''_{1h} = 37$ m

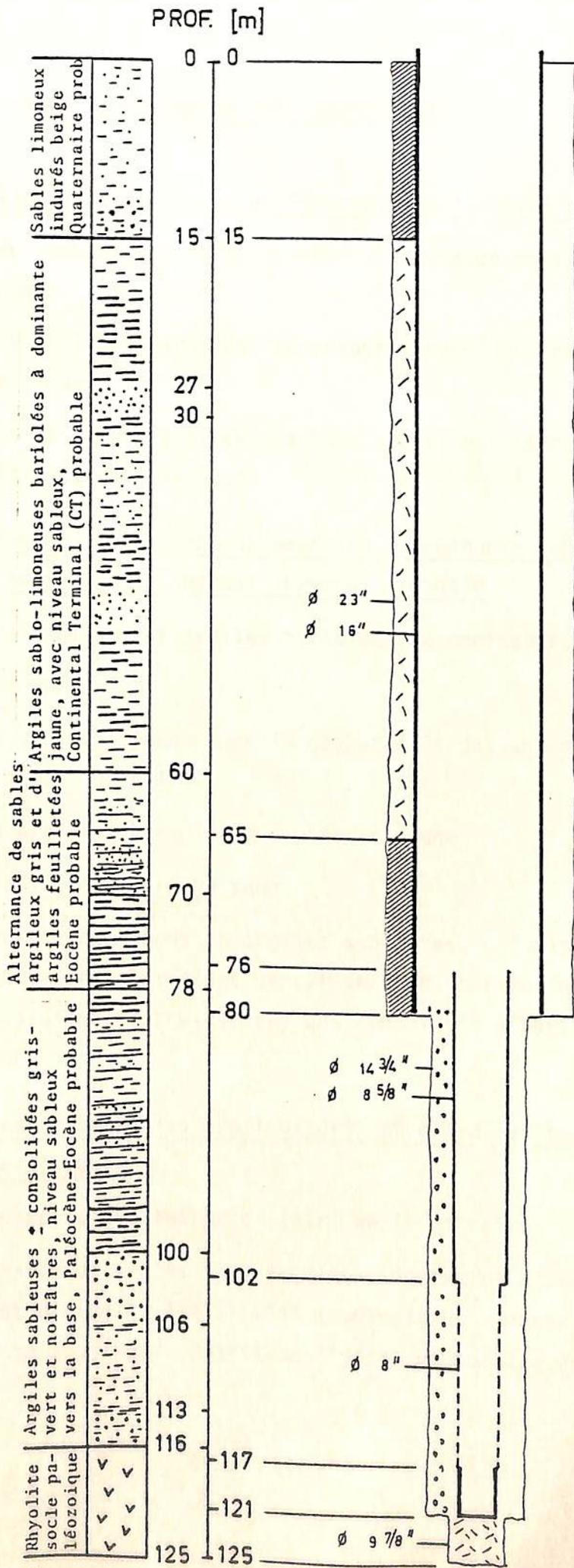
19.2. Développement à l'air lift, 2 heures de pompage

$Q_{1h} = 3,33$ m³/h, $Q_{2h} = 3,0$ m³/h

20.2. Remontée du tubage d'exhaure 8 5/8" et des crépines 8".

Figure 8

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : COUPE ET EQUIPEMENT PROVISOIRE



3.2.2. Coupe géologique du forage de Velingara-Sud 1

- | | |
|-----------|---|
| 0 - 15 m | <u>Alluvions sablo-limoneuses indurées, Quaternaire probable</u> |
| 0 - 1 m | Sable limoneux induré beige-rose clair, avec nodules de manganèse |
| 1 - 7 m | Sables et limons argileux rouge-ocre, avec quelques gravillons latéritiques |
| 7 - 15 m | Sables et limons argileux jaunes, rouges et blancs avec gravillon latéritique à la base. |
| 15 - 60 m | <u>Argiles et limons sableux bariolés à dominante jaune, avec niveau sableux, Continental Terminal probable</u> |
| 15 - 26 m | Sables argileux et argiles bariolées, à dominante rouge |
| 26 - 30 m | Argile verte |
| 30 - 34 m | Sable argileux jaune ocre (phosphates ?) passant au brun, concrétions de silex |
| 34 - 41 m | Limon argileux bariolé, à dominante jaune |
| 41 - 42 m | Argile limoneuse rouge sang |
| 42 - 60 m | Alternance de limons et argiles sableuses, principalement jaune, accessoirement bariolées vert/rose/brun, passées noirâtres à 58 m, argiles et sables argileux consolidés à partir de 55 m environ. |
| 60 - 78 m | <u>Alternance de sables argileux gris et d'argiles feuilletées, Eocène probable</u> |
| 60 - 61 m | Alternance d'argiles gris clair, verte et noire |
| 61 - 72 m | Alternance de sables fins argileux légèrement cimentés gris et rose et d'argiles feuilletées (consolidées) jaunes, blanches, violettes, noires. Débris de lignite et nodules de limonite. |

- 72 - 73 m Argile sableuse jaune
- 73 - 78 m Limon sablo-argileux brun, jaune et gris
- 78 - 116 m Argiles sableuses et consolidées à dominante gris-vert, avec niveau sableux à la base, Paléocène - Eocène probable
- 78 - 85 m Alternance d'argiles blanches et grises, gris foncé au sommet et gris clair avec de nombreux grains noirs à la base
- 85 - 96 m Argile sableuse gris-vert et argiles feuilletées vertes et noires, avec pyrite, glauconie et débris de silex
- 96 - 97 m Limon sablo-argileux rouge-sang, avec lignite et limonite
- 97 - 99 m Argile gris-bleu ciel
- 99 - 100 m Sable argileux ocre
- 100 - 106 m Sables grossiers, de quartz jaune, rose et blanc, probablement limoneux
- 106 - 113 m Sables moyens argileux, de quartz blanc et rhyolite
- 113 - 116 m Alternance probable d'argile verte et de sables grossiers limoneux, de quartz blanc et rose et de rhyolite, cristaux de pyrite
- 116 - 125 m Rhyolite gris-vert clair, Paléozoïque à l'aspect de quartzite, contenant de la pyrite; semblable à la rhyolite rencontrée au forage de Soutouré (voir 3.1.3.).

3.2.3. Analyses granulométriques

Les séquences sableuses ont fait l'objet d'analyses granulométriques incomplètes (figures 9 et 10), seule la fraction sableuse étant tamisée. On a tenu compte de la fraction limoneuse et argileuse par comparaison volumétrique entre l'échantillon total et l'échantillon lavé (fraction sableuse). Les résultats n'ont qu'une valeur relative car on ignore quel pourcentage des argiles et limons a été emporté par la boue de forage, et quel pourcentage occupe la boue de forage dans l'échantillon non lavé. Ils permettent néanmoins de comparer les niveaux sableux entre eux.

On constate que les niveaux inférieurs (échantillons 8 et 9) se distinguent par un pourcentage de sables moyens et grossiers nettement plus important que dans les niveaux supérieurs. Par leur aspect également, les niveaux inférieurs semblaient prometteurs - peu ou pas de limons et d'argile mêlés au sable (le lavage s'effectuait très facilement) - tandis que dans les niveaux supérieurs le sable était mêlé à une matrice limono-argileuse assez difficile à éliminer au lavage.

Les essais de pompage ont montré que les sables inférieurs étaient très peu perméables. Nous avons reconstitué une courbe granulométrique théorique (No 10) compatible avec la valeur de perméabilité obtenue ($k = 10^{-6}$ m/s), d'après des données d'auteurs divers (Hazen, Sharp, Custodio). D'après cette courbe, environ la moitié de la formation serait constituée de limons. L'importance de cette fraction fine a passé inaperçue à l'examen visuel des échantillons, les limons s'étant probablement dispersés dans la boue de forage.

Rapport N° Bassin de l'Anambé

Echantillon :

1

2

3

4

5

Sondage/Prélèvement N° Velingara-Sud 1

Date prélèvement : 1. 1979

Type sondage : Rotary, circulation directe/boue

Profondeur : en m

56-67

61

66

89

94

Prélevé par :

Chantier :

Route :

Lieu :

Remarque:

On n'a tenu compte que très approximativement de la fraction limoneuse et argileuse par comparaison volumétrique entre l'échantillon total et l'échantillon lavé (fraction sableuse)

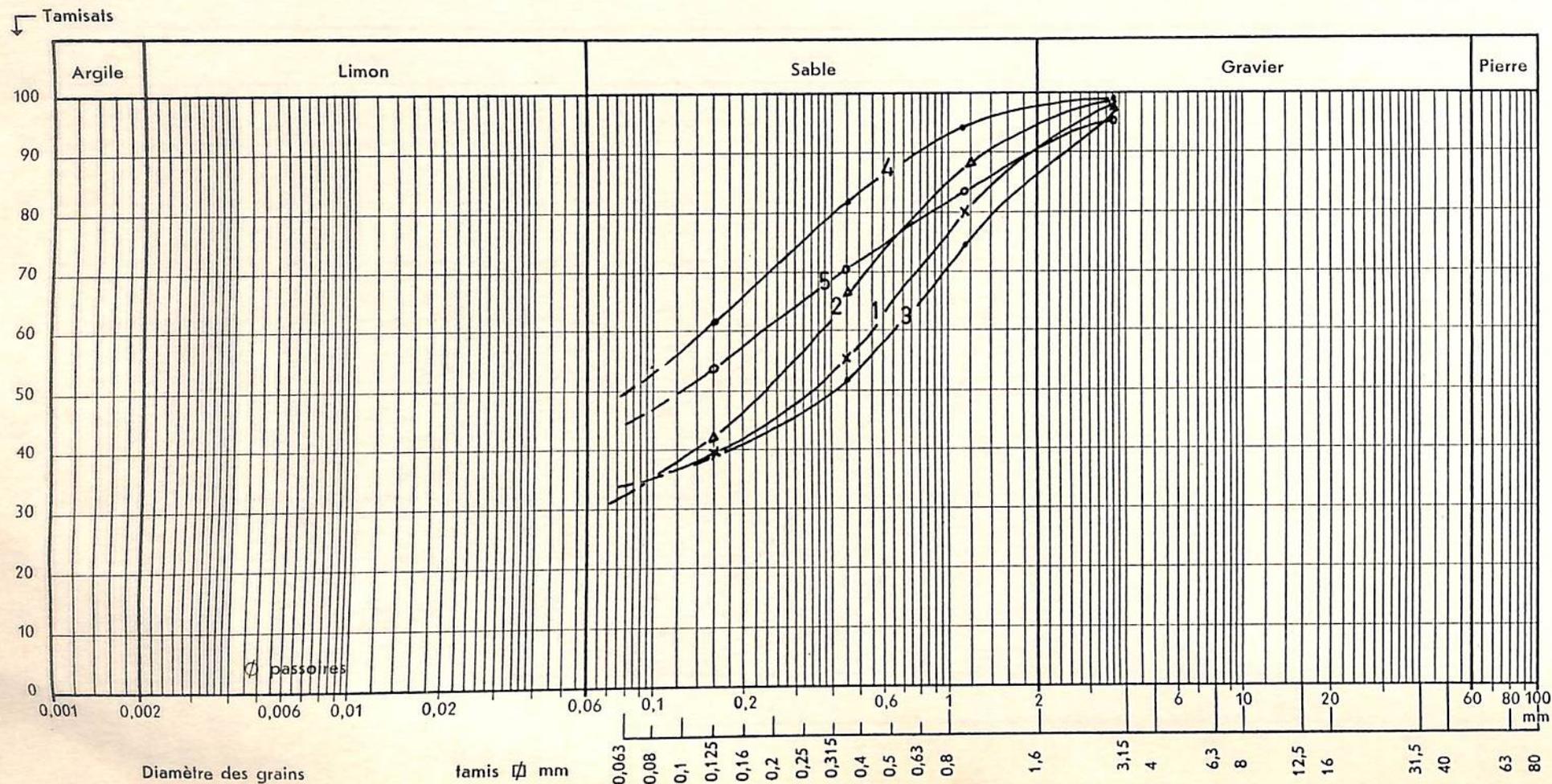


Figure 9

Diagramme de l'analyse granulométrique pour sols VELINGARA-SUD 1

Rapport N° Bassin de l'Anambé

Echantillon :

6

7

8

9

10

Sondage/Prélèvement N° Velingara-Sud 1

Date prélèvement : 1. 1979

Type sondage : Rotary, circulation directe

Profondeur : en m

94-99

96-97

101-104

111-112

102-116 m : reconstitution théorique d'après les échantillons 8 et 9, la perméabilité moyenne de la formation (10^{-6} m/s) et des corrélations tirées de la littérature (SHARP, HAZEN)

Prélevé par :

Chantier :

Roule :

Lieu :

Remarque:

On n'a tenu compte que très approximativement de la fraction limoneuse et argileuse par comparaison volumétrique entre l'échantillon total et l'échantillon lavé (fraction sableuse)

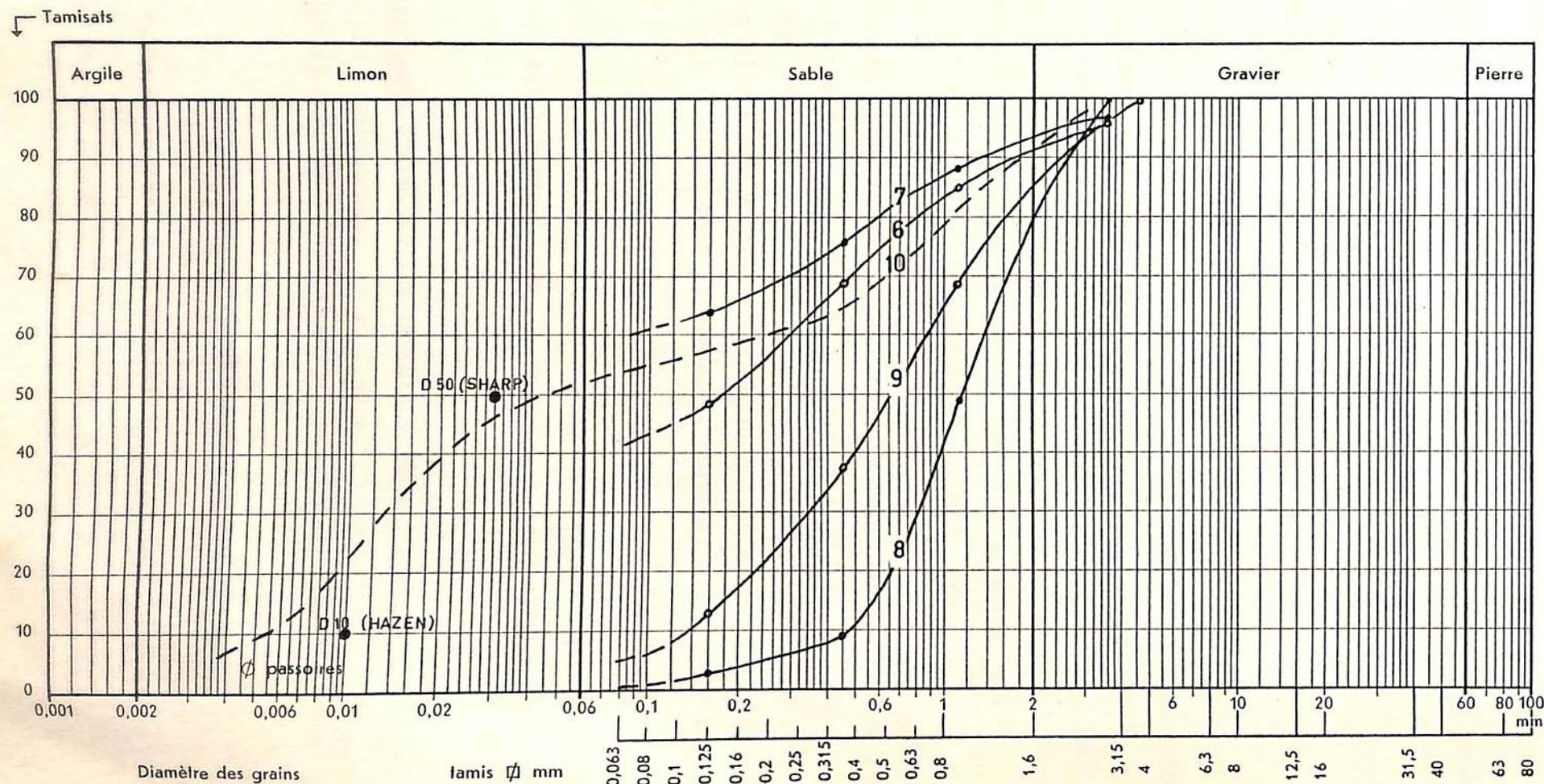


Figure 10

Diagramme de l'analyse
granulométrique
pour sols
VELINGARA-SUD 1

3.2.4. Carottage électrique

Un carottage électrique a été effectué par la SONAFOR dans le forage, comprenant :

- la résistivité normale 16 pouces RS 16" (figure 11)
- la résistivité latérale 6 pieds RS 6' (figure 12)
- la polarisation spontanée PS (figure 13).

La résistivité moyenne se situe entre 15 et 20 Ohm . m⁽¹⁾ pour la série sédimentaire argilo-sableuse, est supérieure à 30 Ohm . m dans les alluvions sablo-limoneuses de couverture et dans le socle paléozoïque. Les valeurs extrêmes entre les niveaux argileux et sableux s'amenuisent de haut en bas, spécialement à partir de 70 m, probablement en raison de la minéralisation croissante de l'eau vers le bas, la résistivité du milieu s'assimilant de plus en plus à la résistivité de l'eau (environ 12 Ohm . m)

Les niveaux argileux se marquent par une résistivité inférieure à 15 Ohm . m et les niveaux sableux par une résistivité supérieure à 20 Ohm . m. Les différences sont donc faibles, à tel point qu'elles seront complètement estompées dans les résultats des sondages géoélectriques effectués à partir de la surface, ou même le socle paléozoïque ne se marquera que très faiblement (voir chapitre IV).

Nous n'avons donc accordé qu'un crédit relatif aux valeurs absolues de résistivité, le carottage ayant surtout servi à repérer les profondeurs exactes des niveaux sableux.

La polarisation spontanée corrobore les résultats des diagraphies de résistivité, en les précisant quelque peu. On voit en effet que les niveaux sableux inférieurs sont des niveaux assez homogènes d'épaisseur de 5 à 6 m, tandis

(1) Le calibrage du latérolog RS 6' a dû être dérégulé : le calibre 20 nominatif correspond en réalité au calibre 4 (Velingara-Sud 1) et le calibre 4 nominatif correspond en réalité au calibre 1 (Velingara-Sud 2)

que la zone entre 60 et 70 m consiste en une alternance de niveaux sableux et argileux peu épais.

NB : Le carottage gamma, qui aurait indiqué les teneurs relatives en argile des formations traversées, n'a pas été exécuté pour cause de panne.

Figure 11

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : DIAGRAPHIE DE RESISTIVITE

Petite normale 16" cal. 4 (1 cm = 4 Ohm.m)

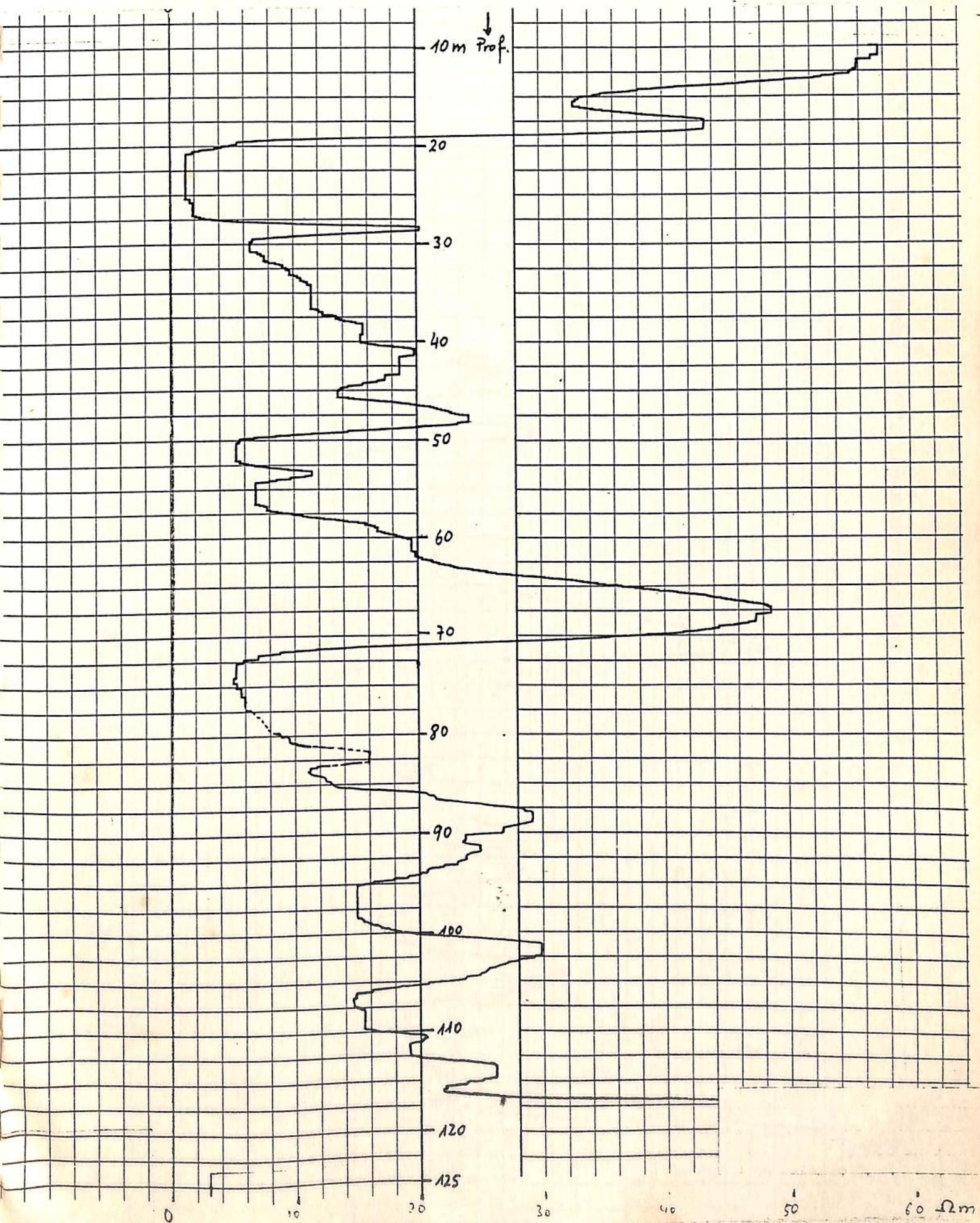


Figure 12

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : DIAGRAPHIE DE RESISTIVITE

Latérolog 6' (1,83 m)

cal 20 nominal, correspond en réalité à cal. 4 (1 cm = 4 Ohm·m)

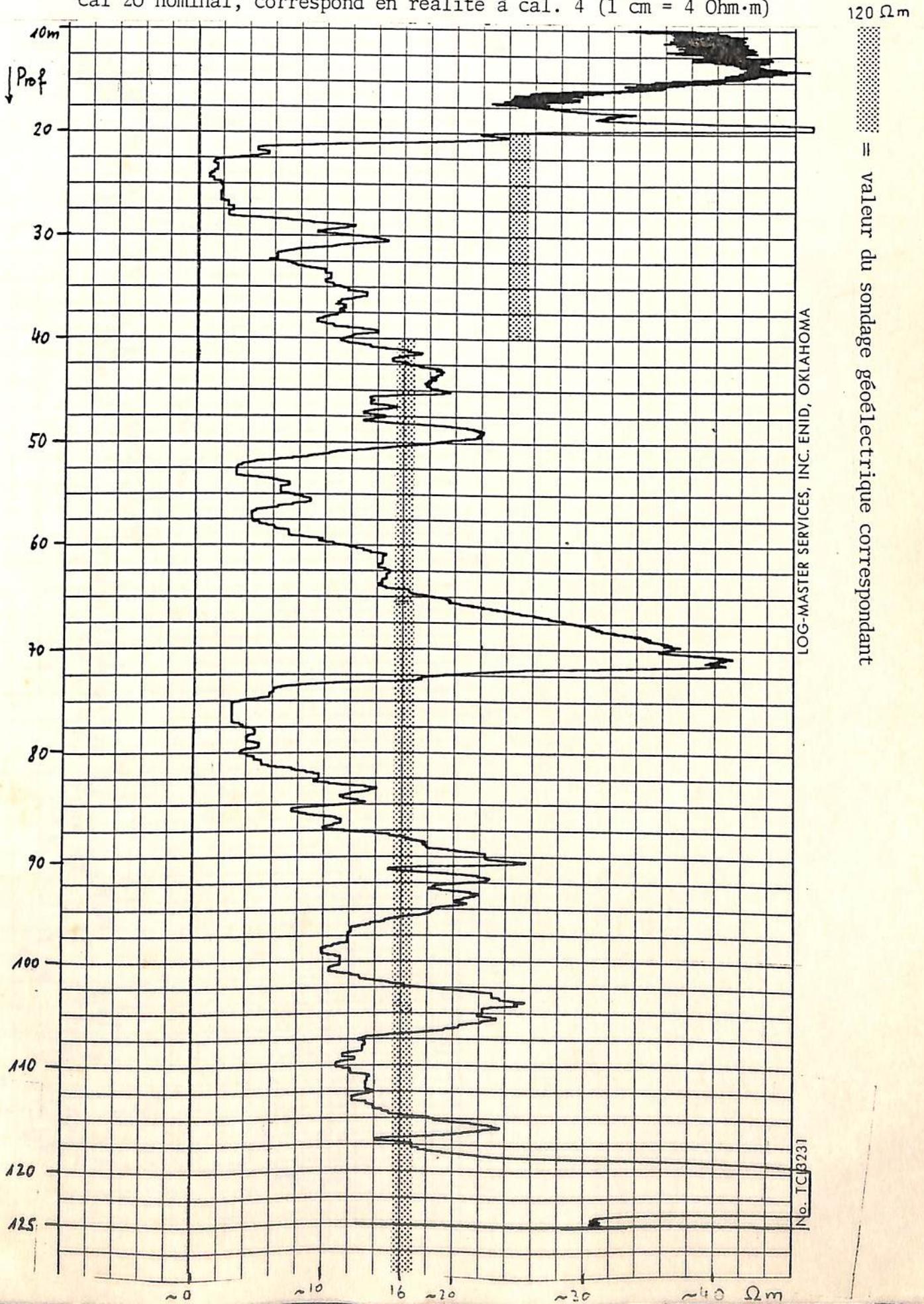


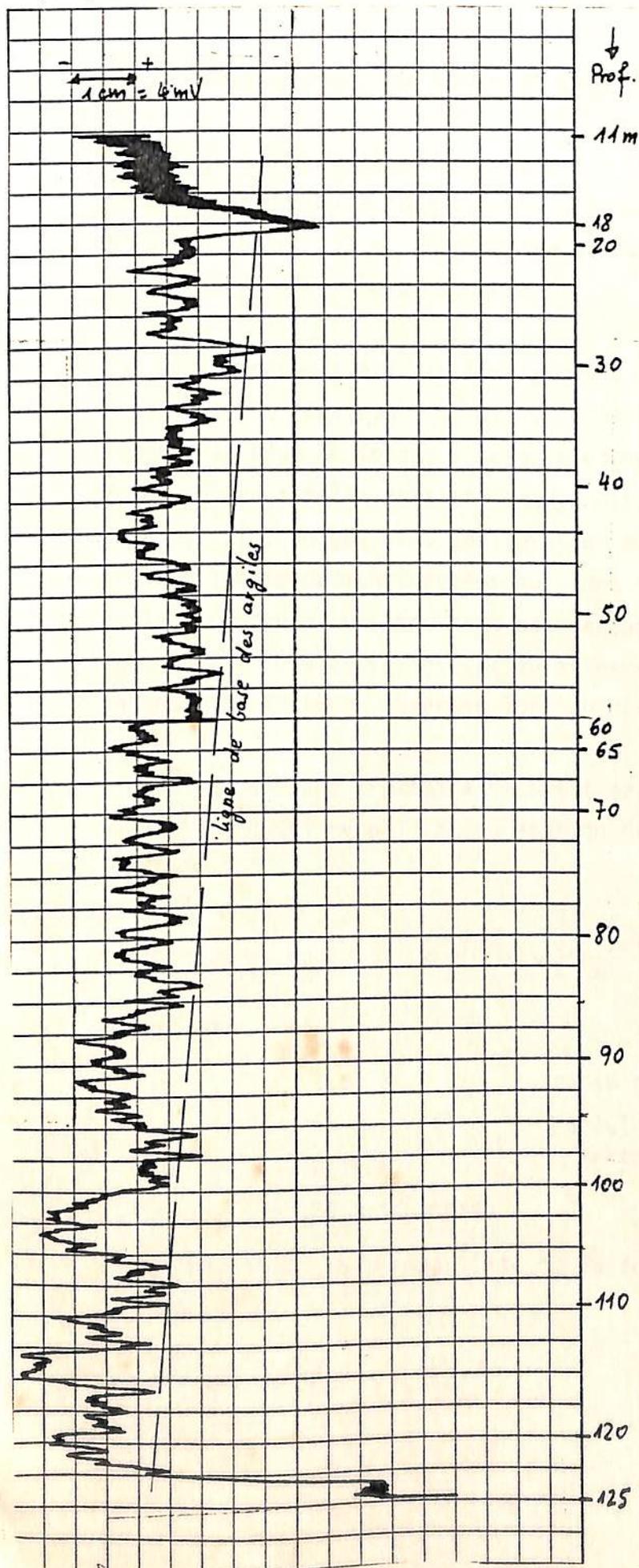
Figure 13

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : DIAGRAPHIE DE POLARISATION SPONTANEE (PS)

cal 4 (1 cm = 4 mV)

R(boue) = 5 Ohm.m

R(eau) = env. 12 Ohm.m



3.2.5. Développement du forage et essai de pompage préliminaire

Le forage a été réalisé de manière à y installer une chambre de pompage à 80 m de profondeur et une colonne d'exhaure avec 15 m de crépines Johnson 8" entre 102 et 117 m, pour tester et capter les séquences sableuses situées entre 100 et 116 m de profondeur.

Les débits obtenus à l'air lift après 2 injections d'hexametaphosphates étant insignifiants (environ 2 m³/h), on crût à un colmatage des formations sableuses par la boue de forage. Le développement a été poursuivi, notamment par 2 injections supplémentaires de polyphosphates au jet, après lavage au jet, puis par pistonnage, sans amélioration notable. Il faut donc admettre que ce sont les formations captées qui sont très peu perméables, les niveaux sableux contenant un important pourcentage de limon (voir 3.2.3) ou étant tout à fait lenticulaires (ce qu'attesterait la décroissance des débits en fonction du temps observée lors du développement, voir figure 14).

L'essai de pompage préliminaire s'est effectué à l'air lift, avec un débit variable, ce qui rend l'interprétation de la phase de pompage doublement imprécise.

La formule de Logan $T = \frac{2,3 Q \log R/rw}{2 \pi sw}$ (voir 3.1.5)

donne, pour

Q_{moyen}	= 2,3 m ³ /h	Transmissivité
sw	= 52 m	$T = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
rw	= 0,19 m	=====
R	= 50 m (supposé)	

si $h = 15 \text{ m}$ la perméabilité de la formation $k = 7,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$

L'interprétation de la courbe de remontée après 7 heures de pompage, d'après Theis $T = \frac{2,3 Q}{4 \pi \Delta s_w}$ (voir 3.1.5) est effectuée sur la base de données plus précises (figure 15).

On obtient $T = 7,1 \cdot 10^{-6}$ m/s , si $h = 15$ m, $k = 4,7 \cdot 10^{-7}$ m/s
=====

Ces valeurs de perméabilité extrêmement faibles peuvent théoriquement être affectées à un sable limoneux (voir 3.2.3) ou à un sable argileux.

Le niveau statique de la nappe des "sables" inférieurs se situe à 2,2 m sous la surface du sol, soit probablement en légère surpression (artésianisme) par rapport à la nappe phréatique (On ne connaît qu'approximativement le niveau de cette dernière).

Figure 14

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : EVOLUTION DES DEBITS LORS DU DEVELOPPEMENT

- A) le 8. 2. 1979: rabattement $s_w = 43$ m
- B1) le 18. 2. 1979 : ligne d'air à 60 m
- B2) le 18. 2. 1979 : ligne d'air à 80 m, $s_w = 37$ m
- C) le 19. 2. 1979 : ligne d'air à 80 m, $s_w = ?$

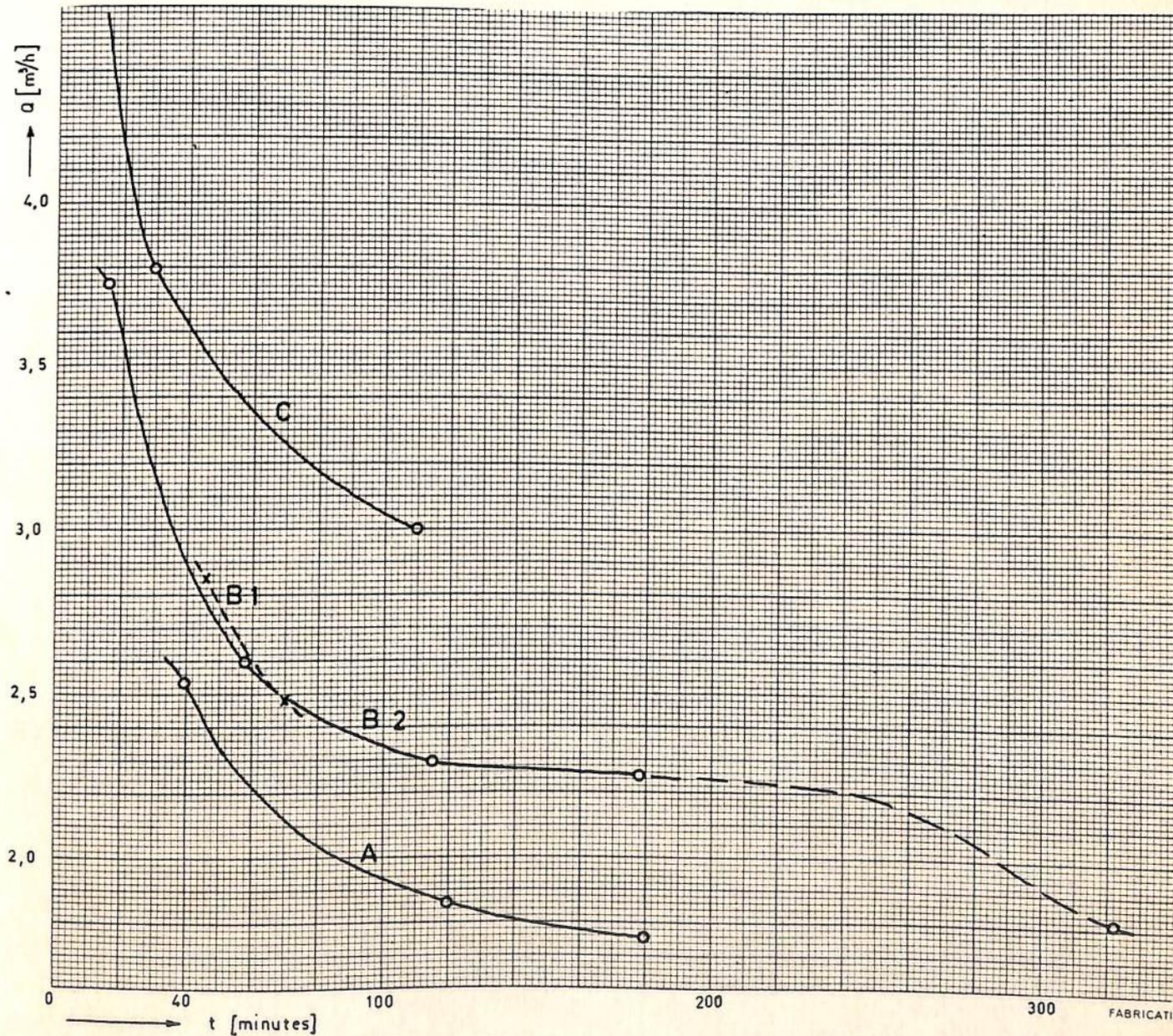


Figure 15

FORAGE DE VELINGARA-SUD 1 : INTERPRETATION DE L'ESSAI DE POMPAGE

Courbe de remontée: analyse d'après THEIS $T = \frac{2,3 Q}{4\pi\Delta s_w''}$

$T = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

si $h = 15 \text{ m}$, $k = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$

Données

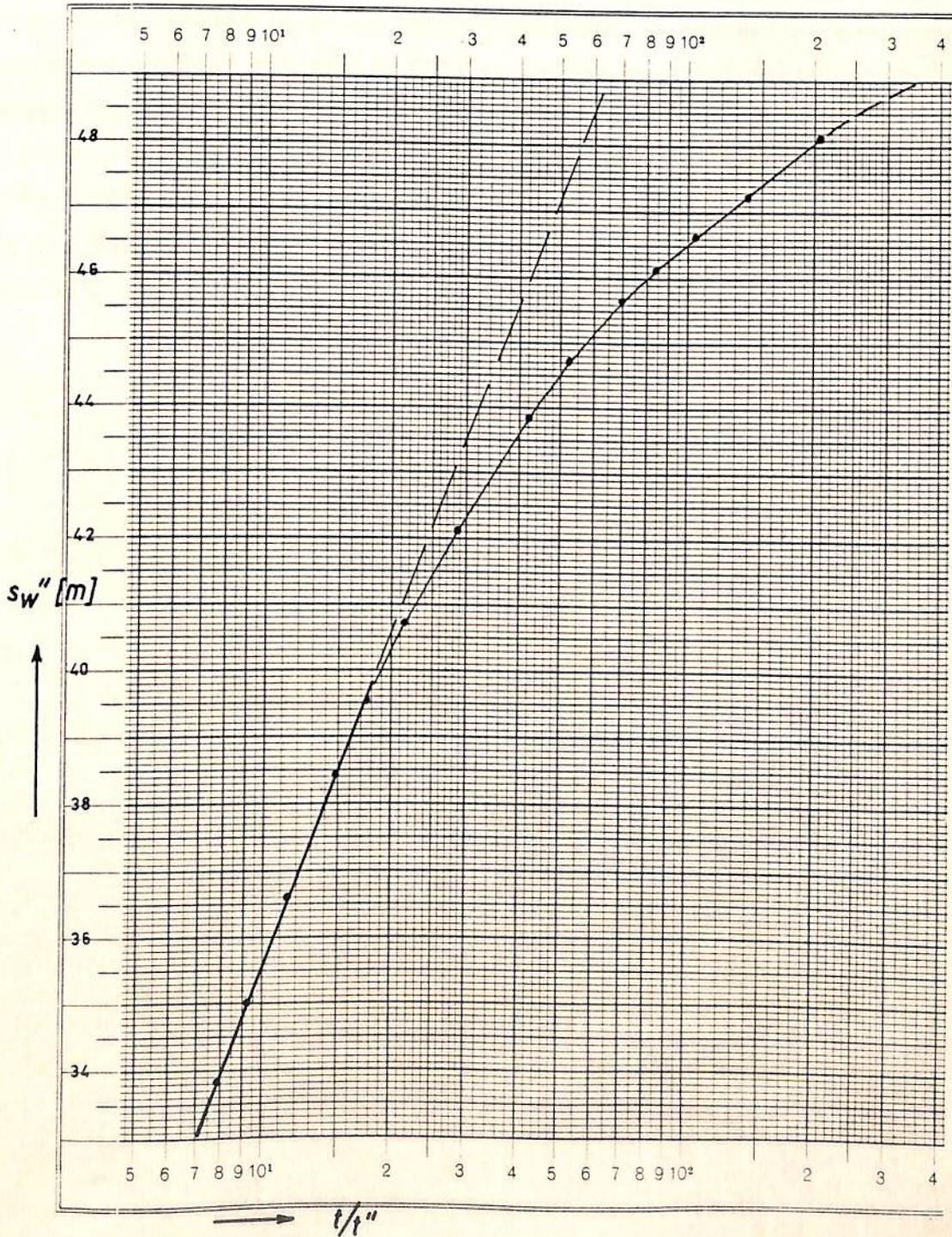
$t_0 = 441'$

$NS = -2 \text{ m}$

$Q_{\text{moy}} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$

$\Delta s_w'' = 16,5 \text{ m}$

t''	0	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	40	50	60	minutes
t	411	413	414	415	416	417	419	421	426	431	436	441	451	461	471	minutes
t/t''	∞	206	138	104	83,2	69,5	52,4	42,1	28,4	21,5	17,4	14,7	11,3	9,22	7,85	
s_w''	52	48,1	47,2	46,6	46,1	45,6	44,7	43,8	42,1	40,7	39,5	38,4	36,6	35,0	33,8	m



3.2.6. Analyse de l'eau

Une analyse de l'eau de pompage a été effectuée par le Laboratoire de la SODAGRI (Voir Tableau I et figure 7).

L'eau est d'excellente qualité pour la consommation (sous réserve d'analyse bactériologique non effectuée), et serait tout à fait utilisable pour l'irrigation si les débits le permettaient moyennant un bon drainage des sols et un contrôle de leur salinité. Elle se classe en effet dans les eaux peu sodiques moyennement à fortement minéralisées (classe C₂-C₃/S1).

Par sa minéralisation et son caractère chimique (teneurs en SO₄⁻⁻, Na⁺, pH) elle représente un intermédiaire entre le type d'eau rencontré dans le socle à Soutouré et les eaux de la nappe phréatique.

3.3. Le forage de Velingara-Sud 2

3.3.1. Les opérations effectuées

Le forage a été implanté aux coordonnées 598500/1444880 à l'altitude approximative de 27 m, près de l'ancienne route Velingara - Kounkané, du côté W, à 8,2 km au Sud de Velingara (figure 3).

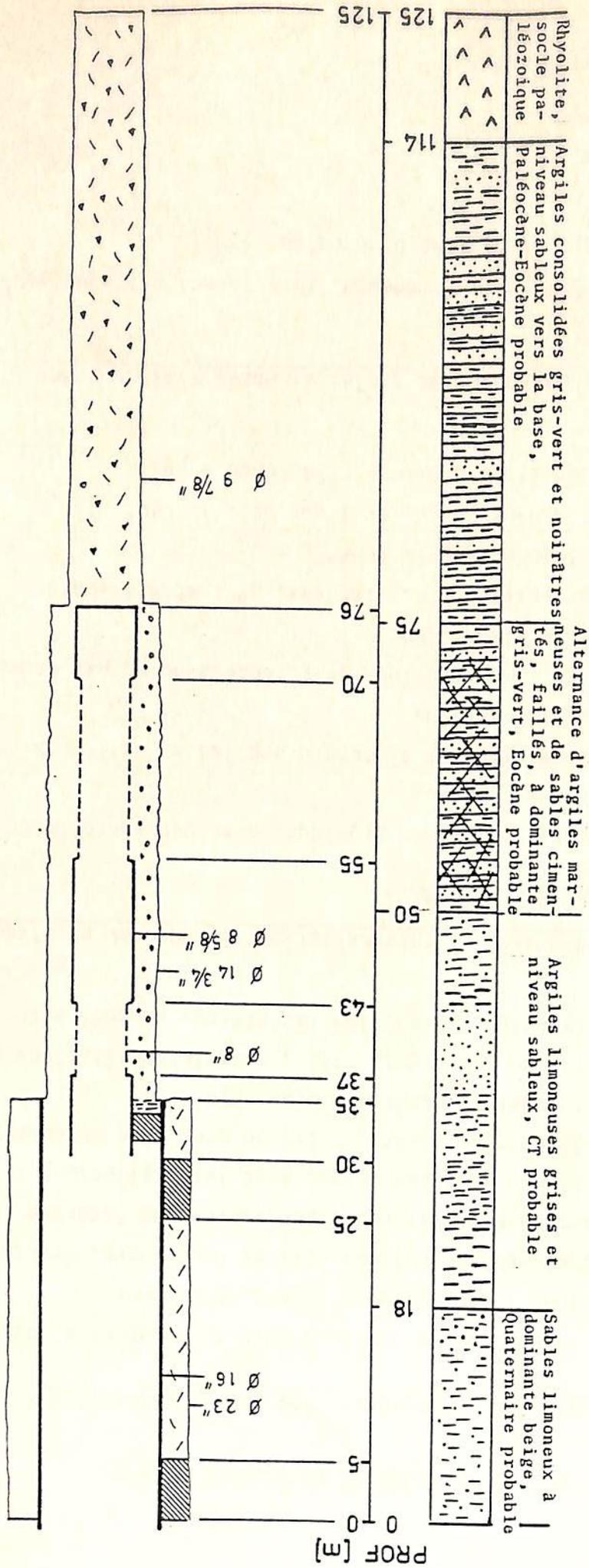
Il a été foré jusqu'à 125 m en 9 7/8" par rotary circulation directe à la boue bentonitique, avec une foreuse Failing Djeda. Après un carottage électrique (PS et résistivité) il a été réalésé jusqu'à 35 m en 23" et jusqu'à 76 m en 14 3/4", comblé de 125 à 76 m et équipé d'une chambre de pompage de 16" et d'une colonne d'exhaure comprenant un tubage de 8 5/8" et deux niveaux de crépine Johnson 8" (voir fig. 16 et liste des opérations effectuées). Les terrains traversés sont schématisés sur la coupe de la figure 16 et décrits dans le paragraphe 3.3.2. Il s'agit, comme à Velingara-Sud 1, d'une série sédimentaire principalement argileuse attribuée au Tertiaire, consolidée à partir de 50 m de profondeur environ, comprenant quelques séquences sableuses, principalement entre 0 et 18 m, 38 et 43 m, 98 et 105 m et une zone faillée entre 50 et 75 m, constituée d'une alternance de sables et d'argiles consolidés. De légères pertes de boue ont été constatées dans cette zone lors du forage.

Forage de Velingara-Sud 2

Opérations effectuées :

- 22.2. - 1.3.79 Déménagement du matériel et installation du chantier
- 2.3. Forage en 9 7/8" de 0 à 9 m
- 3.3. Forage en 9 7/8" de 9 à 70 m
Densité de la boue $D = 1,10$
Viscosité de la boue $V = 35$ Marsh
Conditionnement de la boue et dessablage
Pertes de boue entre 64 et 65 m (870 l) et entre 69 et 70 m
- 4.3. Forage en 9 7/8" de 70 à 125 m
 $D = 1,16$ $V = 45$
Conditionnement de la boue
- 5.3. - 6.3. Attente du Log-Master, conditionnement de boue
Carottage électrique PS et
Résistivité normale 16" et latérale 6'
- 7.3. - 15.3. Attente des décisions du Maître d'Oeuvre et approvisionnement
du chantier
- 16.3. Réalésage en 23" de 0 à 15 m
- 17.3. Réalésage en 23" de 15 à 35 m
- 18.3. Préparation et pose de la chambre de pompage en 16" roulé-sou-
dé à 35 m.
Cimentation de 25 à 30 m et de 0 à 5 m
- 19.3. Réalésage en 14 3/4" de 35 à 76 m.
- 20.3. Contrôle et nettoyage du trou, remblai de 125 à 76 m avec du
gravier concassé 3-8 mm
- 21.3. Préparation et installation de la colonne d'exhaure comprenant
6 m de sabot laveur (de 76 à 70 m)
15 m de crépine Johnson TS 8" (de 70 à 55 m)
12 m de tubage acier API 8 5/8" (de 55 à 43 m)

- 6 m de crépine Johnson PS 8" (de 43 à 37 m)
7 m de tubage acier API 8 5/8" (de 37 à 30 m)
y compris un gauche
32 m de tubage d'exhaure provisoire en acier API 8 5/8"
(de -30 à + 2 m)
- 22.3. Gravillonnage de l'annulaire entre 76 à 34 m, gravier basalte
1 - 2 mm, lavage,
1ère injection d'hexamétaphosphate (3000 l à 5 %), attente
de 8 h et
Début du développement par pompage air-lift en alternance
marche / arrêt de 1 heure/15' durant 20 heures, soit 16 h de
pompage et 4 h d'arrêt (ligne d'air à 39 puis à 45 m)
Débit initial 12 m³/h puis 15 m³/h.
- 23.3.-24.3. Lavage des crépines au jet
2ème injection d'hexamétaphosphate (3500 l à 4,3 %)
attente de 8 h et
Développement à l'air lift (ligne d'air à 39 m) en alternance
marche / arrêt de 1 heure/15' pendant 27 heures, soit 22 heu-
res de pompage et 5 heures d'arrêt
Débit final environ 24 m³/h.
- 25.3.-26.3. Essai préliminaire de pompage par air lift (ligne d'air à 45 m)
pompage continu pendant 17 heures. Débit constant de 24 à
25 m³/h.
NS = 12 m
ND = 26,96 m
Mesure de la remontée après pompage pendant 1 heure 30'
ND"_{1h.30'} = 13,28 m.
- 27.3. Mesure du niveau statique NS = 12 m
Cimentation de la colonne d'exhaure définitive



3.3.2. Coupe géologique du forage de Velingara-Sud 2

- 0 - 18 m Alluvions sablo-limoneuses indurées, Quaternaire (?)
- 0 - 1,6 m Sable induré limono-argileux gris et rouge-ocre, avec quelques gravillons latéritiques et quelques racines
- 1,6 - 4 m Limons et sables argileux gris et rouge ocre, fraction grossière de quartz à éclat vitreux, accessoirement latérite
- 4 - 13 m Sable limono-argileux beige, avec intercallations de sable fin et de limon gris clair. Fraction grossière de quartz arrondis, à éclat vitreux, accessoirement latérite
- 13 - 18 m Sable fin et limon gris clair, avec intercallations de sable limoneux beige. Gravillon latéritique arrondi entre 15 et 18 m.
- 18 - 51 m Argiles grises, à intercallations limoneuses et niveau sableux, Continental Terminal (?)
- 18 - 25 m Argile grise et limon argileux, avec par endroits gravillon latéritique
- 25 - 30 m Alternance grise et blanche d'argiles et de limons argileux par endroits sableux
- 30 - 38 m Argile et limon argileux gris foncé à noir, par endroits intercallations de limon blanc
- 38 - 40 m Sable grossier à fin, limoneux, gris et gris-beige
- 40 - 41 m Argile limoneuse gris foncé
- 41 - 43 m Sable limoneux beige, argileux vers le haut
- 43 - 51 m Argile et limon argileux gris foncé à noir.
- 51 - 75 m Argiles marneuses et sables cimentés faillés entre 57 et 75 m, Eocène (?)
- 51 - 57 m Argile et argile limoneuse, feuilletée, calcique sableuse à la base, gris-vert et parfois brun-beige

- 57 - 62 m Alternance d'argile à argile marneuse gris-verdâtre et de sables cimentés. Débris coquillers.
- 62 - 75 m Alternance d'argile à argile marneuse gris-vert, noirâtre, brun-beige, et de sables cimentés, limoneux, à graviers de rhyolite. Débris coquillers. Fissures à 64 et 70 m.
Pertes de boue entre 60 et 65 m
- 75 - 114 m Argiles sablo-limoneuses consolidées à dominante gris-vert, niveau sableux vers la base, Paléocène-Eocène (?)
- 75 - 83 m Argiles et limons argileux consolidés, gris foncé à noir, sableux avec gravier de rhyolite vers le haut.
- 83 - 98 m Argiles et limons argileux consolidés à dominante gris vert, parfois noirs, calcique entre 85 et 88 et entre 91 et 93 m. Graviers de rhyolite entre 87 et 88 et entre 96 et 97 m.
- 98 - 104 m Sable limoneux cimenté brun-beige avec intercallations argileuses noirâtres, gris foncé, blanchâtres et gris-vert. Gravillon latéritique abondant au sommet.
- 104 - 105 m Sable gris-brun, probablement cimenté, composé de quartz et de rhyolite
- 105 - 112 m Argile gris-vert et noire
- 112 - 114 m Argile bleu-vert
- 114 - 125 m Roche cristalline verte (rhyolite par analogie au forage de Soutouré), socle paléozoïque

3.3.3. Analyse granulométrique

Le niveau sableux situé entre 38 et 43 m a fait l'objet d'une analyse granulométrique sur échantillon lavé (voir figure 17). On ne connaît pas le pourcentage d'argile ou de limons lessivés par la boue de forage ou lavés. Il s'agit, pour la fraction analysée, de sables moyens et grossiers assez homogènes.

Rapport N° Bassin de l'Anambé

Echantillon :

1

Sondage/Prélèvement N° Velingara-Sud 2

Date prélèvement : 3. 1979

Type sondage : Rotary, circulation directe/boue

Profondeur : en m

38-40

Prélevé par :

Classification USCS :

Chantier :

Route :

Remarque: échantillon lavé

Lieu :

Tamisats

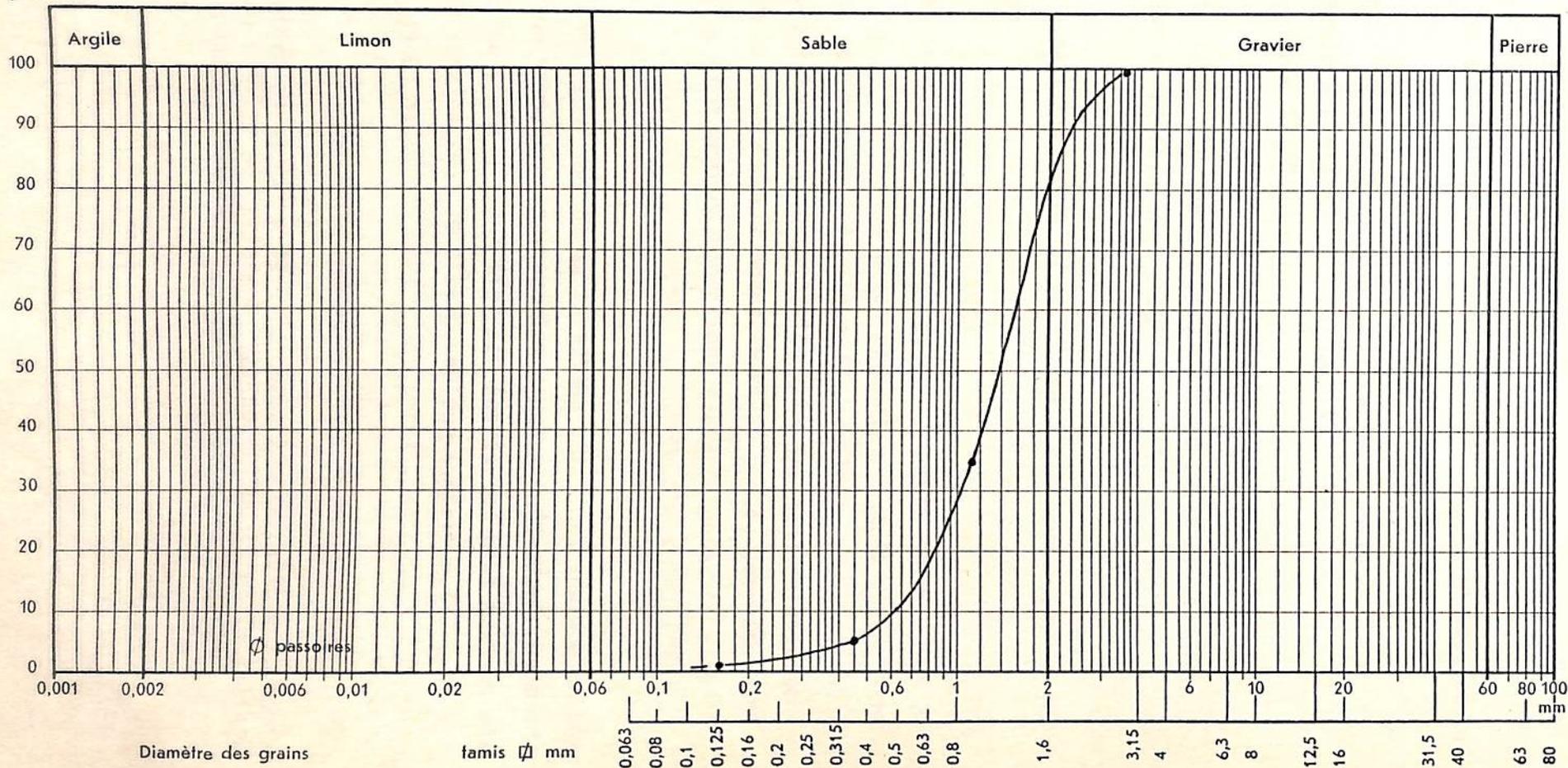


Figure 17

Diagramme de l'analyse
granulométrique
pour sols
VELINGARA-SUD 2

3.3.4. Le carottage électrique

Un carottage électrique a été effectué par la SONAFOR dans le forage, comprenant :

- la résistivité normale 16 pouces RS 16" (Figure 18)
- la résistivité latérale 6 pieds RS 6' (Figure 19)
- la polarisation spontanée PS (Figure 19)

NB : L'opérateur n'était pas sûr que l'enregistrement de la PS soit fiable. Il semble pourtant corrélable avec celui de la RS.

La résistivité moyenne se situe entre 10 et 15 Ohm.m (1) pour toute la série sédimentaire traversée.

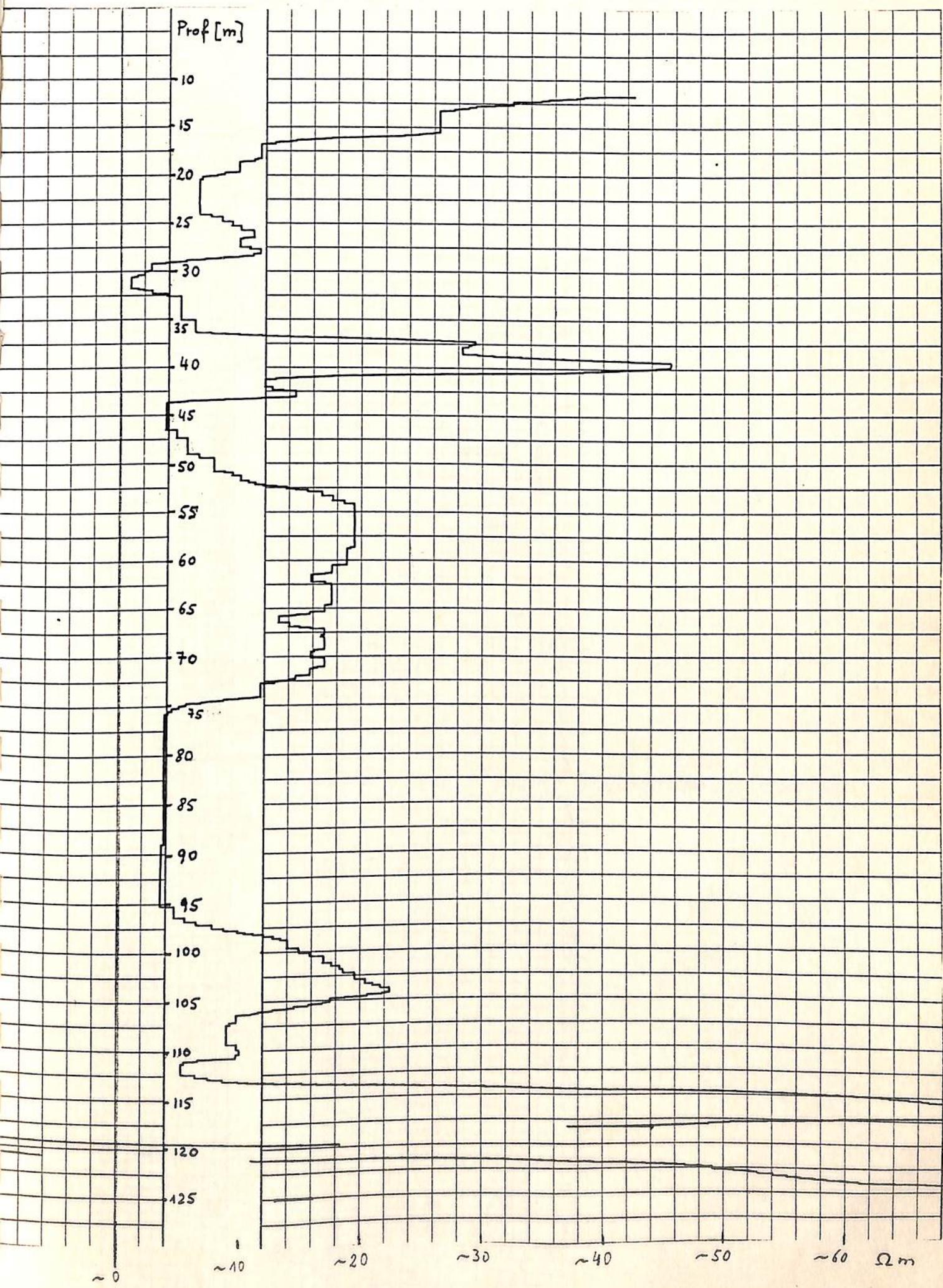
On y distingue 2 zones spécialement argileuses ($R < 7$ Ohm.m) entre 17 et 32 m et entre 75 et 95 m, une zone sableuse à eau probablement très douce entre 37 et 43 m (PS inversé par rapport à la ligne des argiles), une zone sableuse entre 98 et 105 m, spécialement vers 102-103 m et une zone relativement résistante entre 50 et 60 m (R compris entre 15 et 20 Ohm.m) correspondant à l'alternance de sables et d'argiles consolidés fissurés observés dans la coupe géologique.

La polarisation spontanée, pour autant qu'on puisse s'y fier, indique un changement de minéralisation vers 45 m environ, les niveaux inférieurs contenant de l'eau plus minéralisée. Les niveaux avec les écarts les plus marqués par rapport à la ligne des argiles sont le niveau sableux supérieur (37 - 43 m) et le niveau fissuré (49-59 m).

(1) Le calibrage du latérolog RS 6' a dû être dérégulé : le calibre 20 nominatif correspond en réalité au calibre 4 (Velingara-Sud 1) et le calibre 4 nominatif correspond en réalité au calibre 1 (Velingara-Sud 2)

FORAGE DE VELINGARA-SUD 2 : DIAGRAPHIE DE RESISTIVITE

Petite normale 16'' cal 4 (1 cm = 4 Ohm.m)



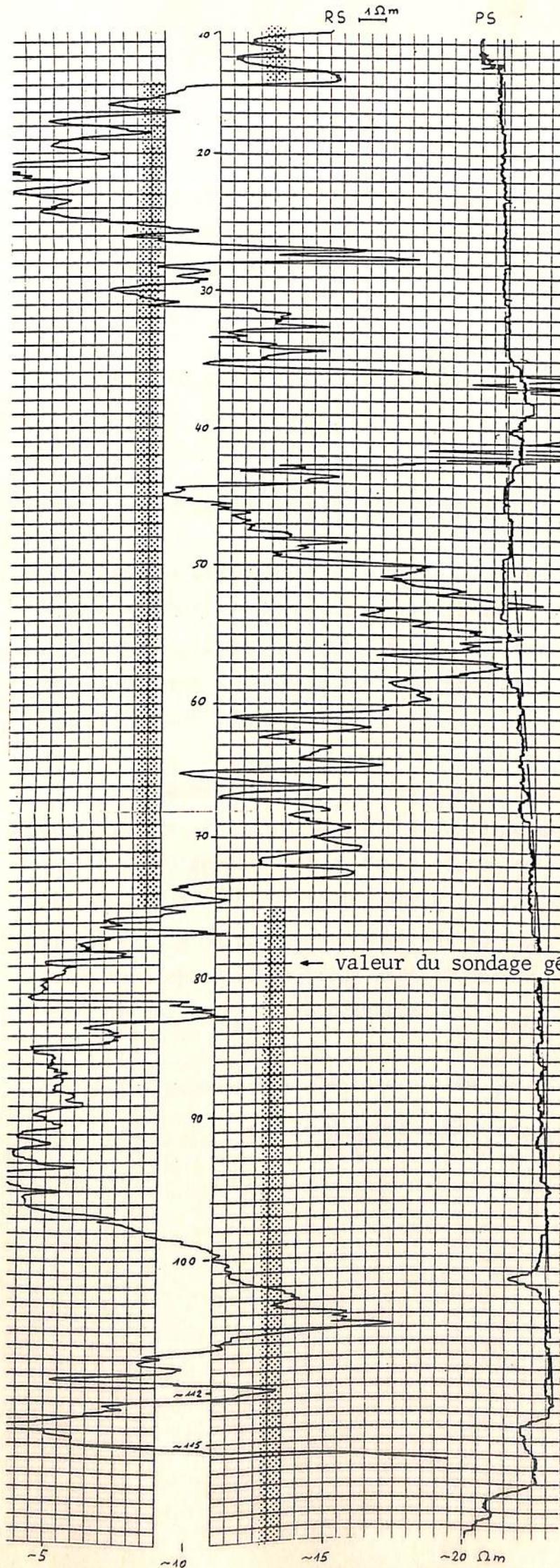


Figure 19

FORAGE DE VELINGARA-SUD 2

DIAGRAPHIE DE RESISTIVITE (RS)

Latérolog 6'
cal 4 nominal, correspond en
réalité à cal 1

et

POLARISATION SPONTANEE (PS)

R(boue) = 3,3 Ohm·m

R(eau) = env. 32 Ohm·m

← valeur du sondage géoélectrique correspondant

Le socle cristallin à 115 m, se marque bien sur le carottage électrique du forage mais n'a pas été repéré dans le sondage géoélectrique de surface. Ceci indiquerait que le socle est altéré sur une grande épaisseur (plus de 100 m) à cet endroit. (voir fig. 22).

Le carottage gamma n'a pas été exécuté pour cause de panne.

3.3.5. Développement du forage et essai de pompage préliminaire

Le forage a été réalisé de manière à capter avec des crépines de 8" l'horizon sableux supérieur (crépines entre 37 et 43 m) et l'horizon fissuré (crépines entre 55 et 70 m), avec une chambre de pompage de 16" descendue à 35 m. Le développement s'est effectué sans problème, le débit significatif étant atteint le 2ème jour déjà.

Un essai de pompage préliminaire a été effectué à l'air lift, et un débit régulier de 24 à 25 m³/h a été observé pendant 17 heures, avec un rabattement de 15 m. D'après l'allure de la courbe de remontée, le régime d'équilibre au pompage a dû être atteint après 1 h 30' environ. Le niveau statique se situe à 12 m de profondeur environ, soit probablement en légère sous-pression par rapport à la nappe phréatique (On ne connaît que très approximativement le niveau de cette dernière).

La phase de pompage a été interprétée par la formule de Logan :

$$T = \frac{2,3 Q \text{ Log } R/rw}{2 \pi T s_w} \quad (\text{voir 3.1.5})$$

On obtient, pour

$$Q = 24,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$s_w = 15 \text{ m}$$

$$r_w = 0,19 \text{ m}$$

$$R = 50 \text{ m (supposé)}$$

$$\text{Transmissivité } T = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

=====

$$\text{NB si } R = 5000 \text{ m on obtient } T = 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{si } h = 21, \text{ la perméabilité moyenne } k = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

La courbe de remontée a été observée pendant 1 h 30', après 17 heures de pompage. L'interprétation a été effectuée d'après Theis $T = \frac{2,3 Q}{4\pi T \Delta s_w}$ (voir 3.1.5)

On obtient (voir figure 20)

$$T = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

=====

$$\text{si } h = 21 \text{ m, la perméabilité moyenne } k = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Il n'est pas possible de savoir laquelle des deux formations captées est la plus perméable. La perméabilité moyenne des deux formations est 50 fois supérieure à la perméabilité de la formation captée à Velingara-Sud 1.

Des données supplémentaires sur les caractéristiques de la formation et du captage seront fournies par un essai de pompage effectué dans les règles de l'art avec une pompe aspirante, et feront l'objet d'un complément à ce rapport, qui mentionnera notamment le débit d'exploitation souhaitable pour le forage.

Figure 20

FORAGE DE VELINGARA-SUD 2 : INTERPRETATION DE L'ESSAI DE POMPAGE

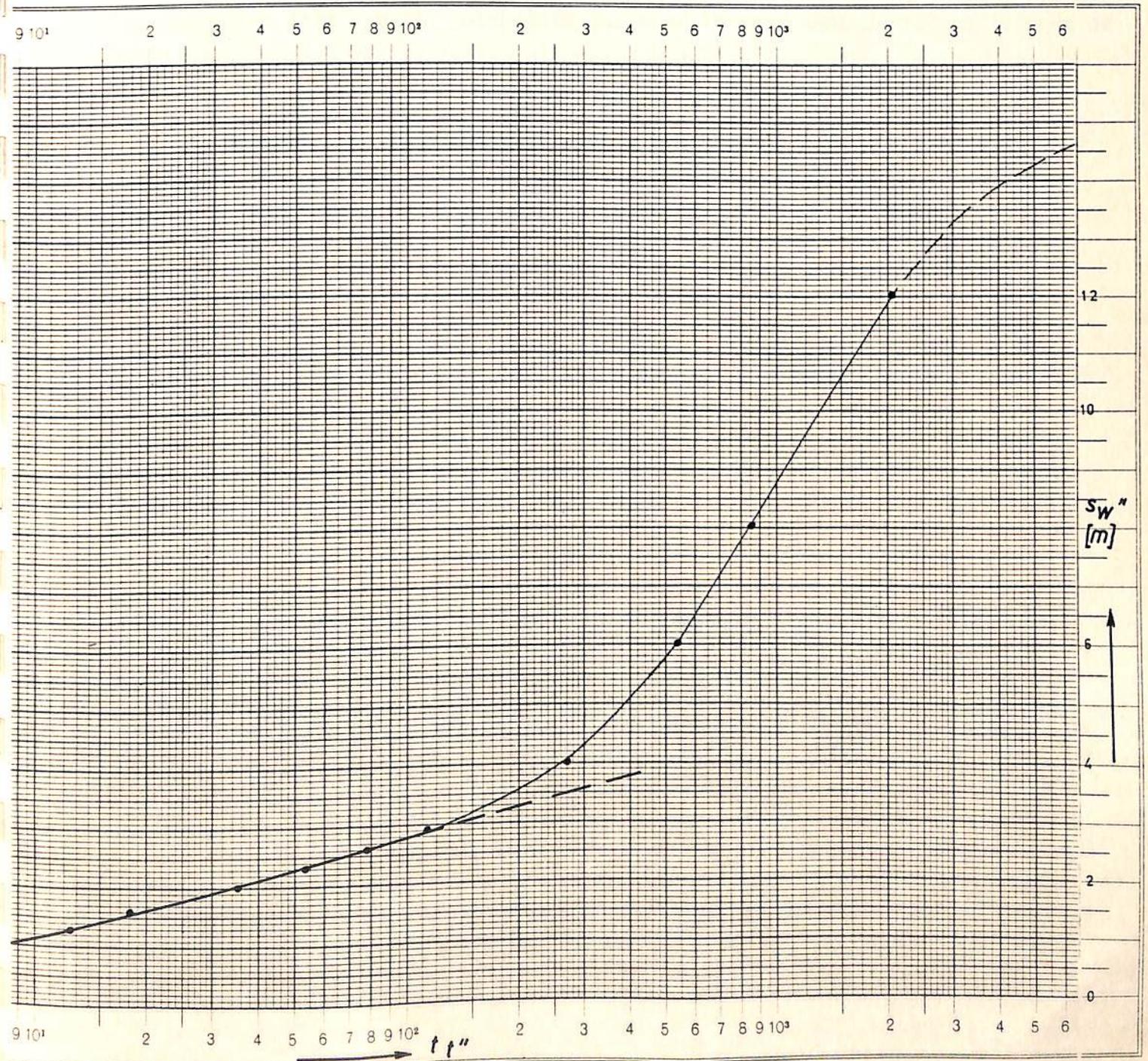
Courbe de remontée : analyse d'après THEIS $T = \frac{2,3 Q}{4\pi\Delta s_w''}$

$T = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

si $h = 21 \text{ m}$, $k = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Données

$\tau_0 = 17 \text{ h} = 1020'$			NS = -12 m			Q = 24,5 m ³ /h			$\Delta s_w'' = 1,65 \text{ m}$			
t''	0	0,5	1,2	1,9	3,8	9,2	13,3	19,7	30	60	90	1530 minutes
t	1020	1020,5	1021,2	1021,9	1023,8	1029,2	1033,3	1039,7	1050	1080	1110	2550 minutes
t/t''	∞	2041	851	538	269	112	77,7	52,6	35	18	12,3	
s_w''	14,96	12	8	6	4	2,9	2,6	2,3	2,0	1,6	1,3	0 m



3.3.6. Analyse de l'eau

L'eau du forage a été analysée par les soins de la SONAFOR au laboratoire du BRGM, et par le laboratoire de la SODAGRI (voir tableau I et fig. 7).

D'après sa minéralisation, l'eau est de bonne qualité pour la consommation, mais elle présente une légère odeur de sulfure d'hydrogène, ce qui peut être une gêne tant pour la potabilité que pour le rendement du forage (risque de colmatage par précipitation d'hydroxyde de fer).

Des analyses complémentaires seront effectuées lors de l'essai de pompage définitif, portant principalement sur la température, le pH, les teneurs en oxygène, H₂S, Fe total, Mn, et les éléments usuels.

L'eau est de bonne qualité pour l'irrigation. Elle se classe parmi les eaux peu sodiques faiblement à moyennement minéralisées (classe C1-C2/S) et peut être utilisée sur la plupart des sols, même avec un drainage modéré, pour la plupart des cultures.

4. LA CAMPAGNE GEOPHYSIQUE

Résumé commenté du rapport BRGM, SNG/GPH, février 1979

Une étude géophysique du bassin de l'Anambé, par sondages électriques, a été effectuée en janvier 1979 par le BRGM, dans le but de reconnaître la profondeur du substratum paléozoïque (rhyolites) et éventuellement de déceler la présence d'aquifères sableux de grande dimension.

49 sondages électriques, répartis dans tout le bassin à une distance moyenne de 2 km, ont été réalisés. L'étalonnage, effectué à partir des coupes des forages de Soutouré et Velingara-Sud 1, a mis en évidence la difficulté d'interprétation des sondages électriques :

- la résistivité exceptionnellement basse des rhyolites, dépendant de leur état d'altération, peut induire en erreur sur la profondeur du substratum, comme ce fut le cas pour le forage de Velingara-Sud 2
- les intercallations sableuses de la série sédimentaire de Velingara-Sud 1 n'ont pas été repérées par le sondage électrique, en raison soit d'une trop importante teneur en argile, soit de la minéralisation trop importante de l'eau, soit encore de leur trop faible épaisseur ou de leur éventuelle nature lenticulaire (le sondage électrique mesure les propriétés des roches dans un volume beaucoup plus grand que le carottage électrique dans un forage). Seul le sondage électrique effectué à Nêto fournit des résistivités assez fortes pour correspondre à d'importants niveaux sableux.

Les résultats de l'étude ont été synthétisés sous forme de carte isobathe du substratum (Figure 21). Il s'agit d'une interprétation non univoque, puisqu'on peut attribuer à de faibles valeurs de résistivité soit des zones où le socle est profond, soit des zones où le socle est fortement altéré.

L'étude a néanmoins mis en évidence :

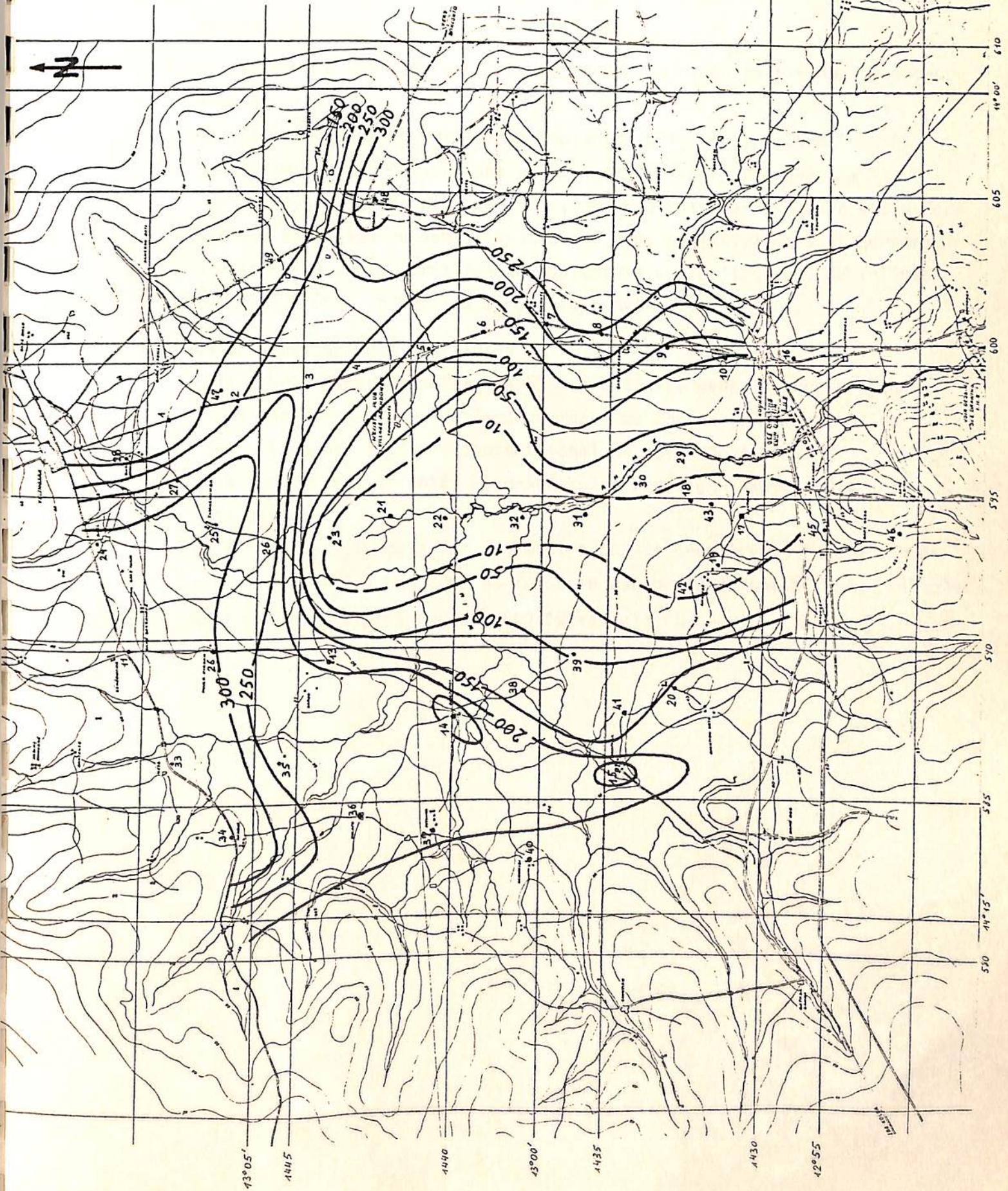
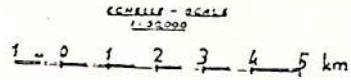
- 1) l'existence d'un vaste dôme du bedrock se développant largement au Nord

Figure 21

STRUCTURE DU SOCLE

Isobathes (en m) déduits des sondages géoélectriques — 150 —

(Tiré du rapport BRGM)



de Soutouré jusqu'aux environs de Saré Ouinor, occupant le centre du bassin.

- 2) L'existence d'une zone profonde du bedrock dans la partie NW du secteur étudié.

Certains sondages de cette zone septentrionale (Kael - Soré Djimini, et surtout Neto) accusent une résistivité de 100 à 200 Ohm . m sur une épaisseur de plus de 150 m, qui pourrait correspondre à des formations sableuses ou sablo-limoneuses. Ces résistivités sont comparables à celle de la formation de couverture sablo-limoneuse de Velingara-Sud 1 (120 Ohm . m sur les 18 premiers mètres).

- 3) La présence de deux gouttières :

- la première est orientée WNW-ESE et débouche dans la zone profonde précédente au niveau de Tambacoumba. Le forage de Velingara-Sud 1 est situé sur le flanc septentrional de cette gouttière
- la seconde est orientée Nord-Sud selon une ligne Awataba-Dialakani-Saré-Tierno.

Le forage de Velingara-Sud 2 a montré que la première gouttière correspond en réalité à une zone où le socle est profondément altéré, probablement grâce à la présence de nombreuses failles.

5. INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE

Le sous-sol du bassin de l'Anambé est caractérisé par la présence d'un dôme de rhyolite appartenant au socle paléozoïque, dont la complexité structurale a été partiellement révélée par la campagne géophysique. Cependant, la faible gamme de variation des valeurs de résistivité mesurées, ainsi que la non-concordance partielle des limites de résistivité avec les limites géologiques, rendent l'interprétation très difficile. Nous proposons en figure 22 une coupe interprétative orientée N-S passant par Soutouré, le centre du bassin, et les forages de Velingara-Sud 1 et 2. Il s'agit bien entendu d'une hypothèse tenant compte au mieux possible des données disponibles.

On peut reconnaître que le massif cristallin occupe la majeure partie du sous-sol du bassin, de petites cuvettes sédimentaires se développant sur son pourtour.

Nous avons divisé le massif cristallin en zones d'altération croissantes de 1 à 5 sur la base des valeurs de résistivité, la zone 1 correspondant probablement à la roche saine (résistivité de 200 Ohm . m ou plus) et la zone 5 à la roche complètement altérée en argile graveleuse (résistivité de 6 à 10 Ohm . m). L'altération est en principe liée au degré de fracturation du massif, et les zones les plus altérées semblent s'ajuster sur de grands alignements de failles (figure 23). Les lieux de croisement de ces systèmes failles sont tous des lieux singuliers (*) où la roche saine n'a pas pu être repérée, car trop profonde, et où la nappe phréatique présente quelques anomalies (minéralisation plus prononcée, pH plus basique, fluctuations piézométriques plus faibles; l'absence de données suffisantes concernant notamment les potentiels hydrauliques nous interdit une interprétation plus poussée).

* Kounkané, Dialakani, Neto, Kael

Figure 22

BASSIN DE L'ANAMBE

COUPE INTERPRETATIVE

basée sur les valeurs de résistivité des sondages électriques:

On a distingué dans le socle 5 zones d'altération croissante, soit

- 1) R 200 Ohm.m
- 2) R env. 75 - 100
- 3) R env. 35 - 50
- 4) R env. 13 - 20
- 5) R env. 6 - 10


 Série sédimentaire
 Paléocène-Eocène,
 Continental Terminal,
 Quaternaire

ZF Zone fissurée

(34) valeur de résistivité

34 No du sondage

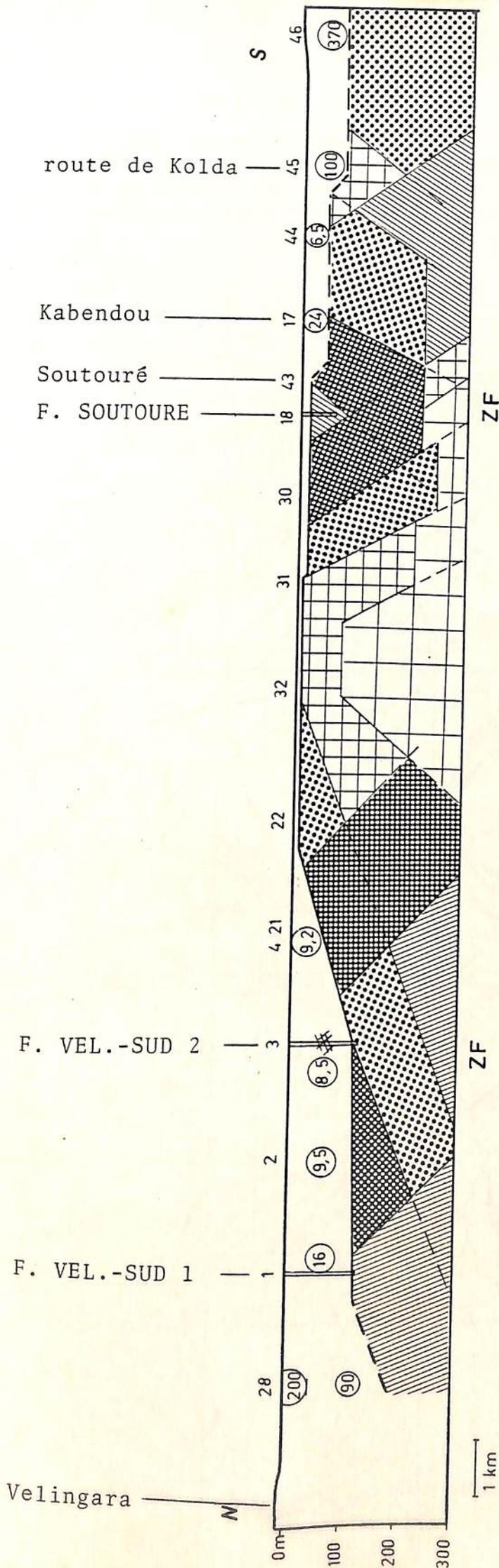


Figure 23

STRUCTURE DU SOCLE, INTERPRETATION

- A) Alignements de failles (---)
- B) Profondeur de la zone non-altérée du socle (—)
- C) Zones à baisse réduite de la nappe phréatique entre 1966 et 1978 (x x x x x)

LE BASSIN DE L'ANASSÉ

ÉCHELLE - DÉTAIL

1:50,000

1 0 1 2 3 4 5 km



Ces zones faillées servent probablement de drains aux eaux souterraines, conformément à la logique. Les potentiels hydrauliques mesurés dans les 3 forages tendent à confirmer ce fait. La formation captée à Velingara-Sud 1 (zone peu ou pas fissurée) est probablement en surpression par rapport à la nappe phréatique (niveau statique à -2 m, soit à 27 m en cote absolue), tandis que la formation fissurée captée à Velingara-Sud 2 est probablement en sous pression (NS à -12 m, soit à 15 m environ en cote absolue), de même que celle du socle captée à Soutouré (NS à -26 m, soit à 3 m environ en cote absolue). La présence de soufre comme produit d'oxydo-réduction dans les sols du centre du bassin pourrait indiquer que cette zone est soumise à un apport d'eau ascendant (surpression), les eaux du socle s'étant révélées très sulfatées à Soutouré.

Les 3 forages de reconnaissance et celui de la Sodefitex à Velingara permettent de constater que la minéralisation de l'eau augmente avec la proximité du socle plutôt qu'avec la profondeur (*). La perméabilité, elle, est pratiquement inversement proportionnelle à la minéralisation (voir Tableau II).

(*) Cela signifie d'une part que l'eau a un temps de parcours très grand dans le socle, les cheminements étant très longs, ou les vitesses faibles, d'autre part, qu'il y a des échanges entre l'aquifère du socle et les aquifères sus-jacents, sous forme d'alimentation ou de soutirage suivant les endroits.

Tableau II Bassin de l'Anambé - Comparaison des différents aquifères

Forage de	Soutouré	Velingara-S 1	Velingara-S 2	Velingara-N Sodefitex
Aquifère	Socle, rhyolites, Cambrien	Sable limoneux Paléocène	Argilite fissu- rée, Paléocène- Eocène	Sable CT
Profondeur	55 m	110 m	65 m	50 m
Proximité du socle	0 m	10 m	50 m	>100 m (?)
pH	~8	~8	~7,7	~6
Minéralisation exprimée en con- ductivité à 20° C: $\mu\text{mhos} \cdot$ cm^{-1}	1150	700	300	25
Perméabilité en 10^{-6} m/s	~1	~1	~30	~135
Système d'écou- lement	régional	régional	?	probablement local

Le complexe aquifère du socle s'avère donc très peu rentable du point de vue des débits soutirables, bien que probablement stable car lié à des systèmes d'écoulement régionaux.

Les cuvettes sédimentaires qui entourent le massif cristallin ne représentent pas une alternative beaucoup plus prometteuse, car elles sont principalement constituées d'argiles sableuses, consolidées dans la partie inférieure, et dont l'exploitation est liée au degré de fissuration. De manière générale, les informations sur ces cuvettes sédimentaires sont lacunaires, car elles se trouvent en bordure de la région étudiée.

Les valeurs de résistivité obtenues dans les sondages électriques fournissent une première idée de la nature des terrains. La quasi totalité des valeurs sont très faibles (inférieures à 50 Ohm . m), indiquant des sédiments de nature argileuse.

On peut néanmoins distinguer dans certaines zones périphériques quelques indices un peu plus favorables, à savoir :

- La région de Kounkané ressemble à celle de Velingara-Sud 2 tant par le profil géoélectrique que par la nature chimique des eaux (puits CER, voir tableau I). De plus, elle est située sur une zone probablement faillée.
- A l'extérieur du bassin de l'Anambé, le sondage électrique le plus méridional (Kolda Molo, sur la nouvelle route pour Wassadou) a révélé une résistivité de 370 Ohm . m jusqu'à 75 m de profondeur. Une telle valeur pourrait théoriquement coïncider avec la présence de sables.
- Le bassin sédimentaire semble s'approfondir fortement sur la limite septentrionale de la région étudiée (ancienne route de Velingara-Kolda), et les valeurs de résistivité rencontrées (90 à 340 Ohm .m) suggèrent également la présence de sables ou sables limoneux sur de fortes épaisseurs. Nous ne disposons toutefois pas de données régionales suffisantes pour établir une corrélation quantitative entre les valeurs de résistivité et celles de perméabilité.

Les aquifères des cuvettes sédimentaires, s'ils peuvent fournir ça et là des débits appréciables pour la consommation humaine et l'élevage, ne paraissent pourtant pas à même de fournir les débits requis par l'irrigation.

6. CONCLUSIONS

L'étude hydrogéologique du bassin de l'Anambé a mis en évidence, outre la complexité structurale de la région, la pauvreté des ressources en eau souterraine dans la zone interne du bassin tout au moins. Cette pauvreté est due à la proximité immédiate du socle paléozoïque sous le centre du bassin, et à l'accumulation de formations argileuses dans les dépressions ou gouttières tectoniques qui le ceinturent.

Les ressources en eau souterraine sont ainsi peu liées à la perméabilité primaire de formation - comme ce serait le cas pour des aquifères sableux - mais principalement à la perméabilité secondaire de fissuration, et se trouvent par là-même réduites à des proportions modestes d'une part, et d'un accès aléatoire d'autre part. Il est en effet très difficile, dans les aquifères de fissures, d'assurer le succès d'un forage sur la base des résultats d'un ou plusieurs forages précédents.

Cela étant dit, les ressources de la zone périphérique du bassin, bien qu'insuffisantes pour des besoins d'irrigation, sont d'un intérêt certain pour les besoins en eau de consommation. Des situations analogues à celles du forage de Velingara-Sud 2 pourraient bien se rencontrer dans la région d'Awataba-Dialakani ou dans celles de Kabendou, Kounkané et Koulinto. La région qui s'étend au Nord du bassin, au droit de l'ancienne route de Velingara-Kolda, ne serait pas non plus à exclure d'emblée.

Dans l'état actuel des connaissances du bassin, caractérisé par l'absence d'aquifère profond exploitable à grand débit, l'utilisation éventuelle des ressources en eau souterraine pour des besoins moins importants que n'en requiert l'irrigation pourrait - et devrait alors - se développer à partir de forages relativement peu coûteux, c'est-à-dire effectués avec de petites machines à des profondeurs pratiquement toujours inférieures à 100 m.