

qualité de l'eau, niveaux statiques et dynamiques et destination des eaux souterraines. Pour ce faire, nous avons aussi tenté d'inventorier quelques puits qui ne sont pas figurés dans la liste du MIEM, mais qui existent réellement dans les villages candidats.

L'ensemble des données des puits, y compris les cartes dessinées du site d'implantation, sont recopiées sur les formules d'inventaire dont la présentation est étudiée de façon à automatiser le traitement de données.

Les données des puits collectées sont à stocker dans un système de gestion proposé, assorti de base de données hydrogéologiques. Il est souhaitable de créer, au sein du MIEM/Antananarivo, un service spécialisé à qui l'on peut confier toute responsabilité de l'exploitation de ce système.

3.5.3 Résultats de l'inventoriage des puits

Les puits creusés (profonds ou peu profonds) sont construits pour capter les eaux souterraines aux sites où leur niveau s'avère relativement élevé. Les forages peu profonds y sont également possibles. Par contre, les forages profonds sont généralement envisagés lorsque les eaux souterraines ne sont trouvables que dans une nappe captive.

Sur plus de 200 puits visités afin de nous rendre compte de leurs conditions actuelles, nous avons constaté que quelques puits n'existaient plus, ou l'emplacement ne correspondait pas à celui qu'on a indiqué. Les puits que nous avons enfin pu localiser et vérifier sont limités au nombre de 114, dont 56 forages, le reste étant des puits creusés.

Les puits ainsi vérifiés sont tracés sur une carte de la Zone de l'Etude (Fig.3.5.1) et leurs états actuels sont rapportés dans le tableau 3.5.1.

L'ensemble des puits portent les codes d'emplacement, classifiés selon la préfecture et le type. Le code comporte 4 signes numériques:

* * * *

a b c d

a: Préfecture Toliara I.....1
 Toliara II.....2
 Sakaraha.....3
 Ankazoabo.....4
 Morombe.....5
 Beroroha.....6

b c d: Numéro du puits

Forages neufs, construits dans le cadre du projet
 JICA.....000~499
 Puits busés neufs.....500~699
 Forages existants.....700~799
 Puits existants.....800~999

S'agissant du tableau 3.5.1, la grande partie des données concernant les forages proviennent des rapports ou dossiers existants que nous avons dépouillés à cet effet. Pour les puits, toutes les données sont collectées en les mesurant ou en interviewant les villageois.

A partir de la carte, on peut faire les observations suivantes: les puits sont pour la plupart implantés en bordure des RN 7 et 9. Les forages s'étendent sur la plaine côtière et avoisinent principalement la RN 7, alors que les puits sont répartis sur l'ensemble de la Zone de l'Etude.

Dans ce qui suit, sont résumés les résultats de l'inventoriage:

Un grand nombre des forages étaient construits de 1965 à 1970 et seulement 10 forages sur un total de 65 sont encore en fonctionnement aujourd'hui, le reste, soit au nombre de 55, sont détruits et presque remplis de sable (26 sur 55), ou simple abandon dû à la panne de la pompe à main (29). En effet, un certain nombre de puits sont délaissés en raison de la forte salinité contenue dans l'eau. Selon les villageois interviewés, ces puits n'étaient en service que pour une durée approximative de 10 ans, puis des problèmes mécanique ou du groupe électrogène empêchent leur remise en fonctionnement.

Comme le montre le tableau 3.5.1, la majorité des forages sont profonds de 15 à 30m avec un niveau d'eau statique compris entre 5 et 25m. Le forage le plus profond existe au village d'Andranohinaly (219m), dont le niveau d'eau est aussi le plus bas (207m). La profondeur des puits reste, pour la plupart des cas, inférieure à 10m.

L'absence d'archives de forages ne nous permet pas de connaître les positions des crépines implantées dans les forages. De ce fait, il est pratiquement impossible de déterminer les nappes aquifères.

3.5.4 Observation simultanée de niveaux d'eaux souterraines

Le niveau était mesuré de façon simultanée dans de nombreux puits existants dans la perspective de procéder à une analyse sur l'écoulement et la direction des eaux souterraines.

Le tableau 3.5.1 montre les niveaux d'eaux souterraines, mesurés à partir de la surface du sol dans les puits visités. Les relevés étaient effectués en choisissant trois différentes périodes: au début de la saison humide (octobre et novembre 1989), en pleine saison humide (février et mars 1990) et en saison sèche (juin et juillet 1990). Les résultats sont renvoyés sur la figure 3.5.2.

Les niveaux témoignent, du début à la fin de la saison humide, d'une tendance à s'augmenter de 1 à 2m. La fourchette peut atteindre même plus de 3m dans certains puits. Il en est de même pour celui d'Ambatolily où est placé un enregistreur automatique de niveau. Des observations ci-dessus, il ressort que ces puits soumettent à l'exploitation une source de la nappe libre dont le niveau d'eau est considérablement variable selon la saison.

A Miary, il existe 4 forages profonds, dont l'opération est assurée par la JIRAMA, destinés à l'alimentation pour la ville de Toliara. Le niveau d'eau souterraine était mesuré à 22,60m avec la pompe en fonctionnement (novembre 1989) et à 22,40m sans pompage (mars 1990). La nappe aquifère semble située dans une formation karstique fissurée ou en grès karstique. A Andranomena, le village adjacent à Miary, le niveau d'eaux souterraines venant de la même nappe montait à 2,33m alors qu'il était à 6,73m au dessous de la surface.

D'autre part, dans un certain nombre de puits creusés à Bereketa, Befanamy et Berobotsy, le niveau d'eaux souterraines ne présente aucune variation. Dans quelques villages, par exemple, à Tranokaky, ou à Tsianisiha, les villageois surexploitent les eaux souterraines probablement au-delà de son potentiel tout en provoquant une baisse de la nappe. Le niveau de cette nappe peut toutefois se rétablir la nuit pendant laquelle la consommation est presque nulle.

3.5.5 Observation en continu de niveaux d'eaux souterraines

Plusieurs unités d'enregistreurs automatiques de niveau ont été mises en place, afin d'analyser les comportements des eaux souterraines durant toute l'année, sur 2 forages existants ainsi que sur 3 forages test aux villages ci-dessous:

| Villages | Profondeur du puits | Date d'installation | Remarques |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Soahazo | 34,0m | Juillet 90 | Forage test |
| Ankaraobato | 75,5 | Juillet 90 | Forage test |
| Anbatolily | 17,5 | Déc. 89 | Forage existant |
| Maninday | 73,5 | Juillet 90 | Forage test |
| Sakaraha | 32,0 | Déc. 89 | Forage existant |

Les résultats de l'observation continue sont donnés dans la figure 3.5.2(1) (Anbatolily et Sakaraha) ou dans la figure 3.5.2(1) (Soahazo, Ankaraobato et Maninday).

De même que les résultats obtenus par l'observation simultanée, le niveau d'eaux souterraines à Sakaraha augmente de 10cm par rapport au chiffre enregistré en décembre 1989 (10,35m), étant donné que le puits en question est peut-être relié à une nappe captive. Une fois atteinte la valeur de pointe, il descend continuellement jusqu'à -18.0m de la surface du sol (fin janvier) et maintient cette valeur jusqu'à la mi-mars, alors qu'entre les mois de décembre et de février les précipitations ont été de 39, 157, 158 et 230mm. De ce fait, il nous est permis de considérer que la nappe aquifère de Maninday est largement influencée plutôt par le système d'écoulement d'eaux souterraines d'échelle régionale mais avec peu de réponse aux précipitations des zones avoisinantes.

A Maninday, le niveau était de 16,06m, le 06 août 1990, au-dessous de la surface du sol. Il prend ensuite sa recrudescence progressive pour aboutir, le 21 septembre, à 15,60m au maximum avant de redescendre. Cette variation peut s'expliquer par les précipitations survenues à la mi-septembre. En effet, le pluviomètre appartenant à ce village a mesuré à 36mm la quantité de pluie tombée du 24 au 28 décembre.

A Anbatolily, l'enregistreur surveille, depuis décembre 1989 jusqu'à aujourd'hui, les niveaux d'eaux souterraines. Il est pourtant à noter que les relevés entre mi-janvier et mi-février 1990 ne sont pas disponibles, l'équipement n'ayant pas été correctement entretenu à cause de l'inaccessibilité du village. Ici, le niveau qui était de 3,20m à partir de la surface du sol va jusqu'à la pointe de 2,70m sous l'effet conjugué de la saison humide: les précipitations mensuelles à Ankaraobato (station la plus proche d'Anbatolily) étaient de 157mm en décembre 1989, 258mm en janvier 1990, 52mm en février, 8mm en mars et 31mm en janvier. Après avoir atteint sa valeur maximale, le niveau redescend progressivement, sauf au cours de la première semaine de mai 1990.

Aux stations de Soahazo et Ankaraobato, le suivi des niveaux s'effectue depuis août 1990 jusqu'au mars 1991. On remarque que les données qu'elles relèvent sont pourtant incompatibles les unes avec les autres: le niveau d'eaux souterraines descend continuellement de 5,66m à 6,09m à Soahazo, alors qu'à Ankaraobato il monte de 4,00m à 3,88m. La pluviométrie, 23mm en juillet, 0mm en août et 4mm en septembre, est peu importante pour recharger les nappes aquifères.

Des observations ci-dessus, il est nécessaire de considérer une source de recharge autre que les précipitations quant aux puits d'Ankaraobato (peut-être aussi pour ceux d'Antabolily), les sources possibles pourraient être le marais et la rizière alimentés par les sources d'Amboboka.

Tableau 3.5.1 Résultats de l'inventoriage

| WELL CODE | VILLAGE | TYPE DATE (1) (2) | COND. (3) | DEPTH (4) | W/L (5) | WATER LEVEL | |
|--------------|-----------------|----------------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------------|
| | | | | | | NOV-DEC | FEB-MAR JUN-JUL |
| 1701 | MIARY4 F2 | 1 1988 | | 1 41 | 20.55 | 20.1 | - 20.67 |
| 1702 | MIARY F3 | 1 1979 | | 1 41.7 | 18.45 | - | - |
| 1703 | MIARY F4 | 1 1980 | | 1 65.62 | 4.02 | - | - |
| 1704 | MIARY OB. | 1 - | | 1 - | - | 22.6 | 22.4 |
| 1705 | ANDRANOMENA1 | 1 - | | 1 60.6 | 6.53 | 10.62 | 4.2 |
| 1706 | ANDRANOMENA2 | 1 1986 | | 1 60 | 19.33 | - | - |
| 1801 | MIARY E1 | 2 - | | 2 - | - | 2.15 | -0.28 |
| 1802 | MIARY P1 | 2 - | | 2 - | - | 4.42 | 2.26 |
| 1803 | MIARY P2 | 2 - | | 2 - | - | - | 4.22 |
| 1804 | BEFANAMY | 2 - | | 1 8.56 | - | 5.9 | 6.05 |
| 1805 | ANDROVAKELY | 2 - | | 1 - | - | 4.35 | 4.4 |
| 1806 | MONTOMBE | 2 - | | 1 3.6 | - | 2.3 | 1.12 |
| 1807 | AIRPORT | 2 - | | 1 8.04 | - | 6 | 5.86 |
| 2701 | ANKILIMALINIKAI | 1 - | | 3 25 | 15 | - | - |
| 2702 | BENETSE1 | 1 - | | 3 22.58 | 14.9 | - | - |
| 2703 | SARIRIAKAI | 1 - | | 2 26 | 16.5 | - | - |
| 2704 | TSIANISIHAI1 | 1 - | | 3 15.5 | 9 | - | - |
| 2705 | TSIANISIHAI2 | 1 - | | 3 25 | 18.5 | - | - |
| 2706 | TSIHOSY | 1 - | | 2 20.8 | 17 | - | - |
| 2707 | AMBATOLILY | 1 1966 | | 2 12 | 2.5 | 3.45 | 2.7 |
| 2708 | AMBATOLILY2 | 1 1965 | | 3 - | - | - | 3.82 |
| 2709 | AMBALAVENOKA | 1 - | | 3 - | - | - | - |

Légende:

- (1) Type de puits
- (2) Année d'achèvement des travaux de construction
- (3) Condition actuelle
 - 1... en service, 2... en arrêt mais mesurable
 - 3... en arrêt
- (4) Profondeur du puits (m)
- (5) Niveau statique d'eau (m)

(./.)

| NUMBER | VILLAGE | TYPE DATE | | COND. | DEPTH | | W/L | WATER LEVEL | | | |
|--------|-----------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|---------|---------|---------|
| | | (1) | (2) | | (3) | (4) | | (5) | NOV-DEC | FEB-MAR | JUN-JUL |
| 2710 | MILENAKA | 1 | - | - | 2 | 26 | 19 | - | - | - | - |
| 2711 | ANKARAQBATO2 | 1 | 1974 | - | 2 | - | - | 4.5 | - | - | 4.78 |
| 2712 | ANKARAQBATO | 1 | 1965 | - | 1 | 14.6 | 6.46 | - | - | - | - |
| 2713 | ANKILILOAKA | 1 | 1966 | - | 2 | 13.8 | 5.12 | - | - | - | - |
| 2714 | ANKILILOAKA2 | 1 | 1966 | - | 2 | 12.8 | 2.16 | 1.7 | - | - | 1.28 |
| 2715 | AMPIHAMY1 | 1 | - | - | 3 | 22 | 13.3 | - | - | - | - |
| 2716 | ANTSEVA1 | 1 | 1965 | - | 3 | 19.6 | 13.2 | - | - | - | - |
| 2717 | NAMABOHA1 | 1 | 1966 | - | 2 | 26.88 | 19 | - | - | - | - |
| 2718 | NAMABOHA2 | 1 | - | - | 2 | 26.8 | 13.2 | - | - | - | - |
| 2719 | AMBAHIZA | 1 | - | - | 2 | 30.5 | 18 | - | - | - | - |
| 2720 | AMPASIKIBO | 1 | - | - | 1 | 25 | 15 | - | - | - | - |
| 2721 | BELITSAKA SOUTH | 1 | - | - | 2 | 24 | 11 | - | - | - | - |
| 2722 | BELITSAKA NORTH | 1 | - | - | 3 | 15.2 | 9.6 | - | - | - | - |
| 2723 | ANALAMISAMPY | 1 | - | - | 1 | 21.7 | 11.75 | - | - | - | - |
| 2724 | SOAHAZO SOUTH | 1 | - | - | 2 | 16 | 6.15 | - | - | - | - |
| 2725 | SOAHAZO NORTH | 1 | - | - | 2 | 28 | 14.3 | - | - | - | - |
| 2726 | MANDATSA | 1 | - | - | 2 | 20.8 | 15.55 | - | - | - | - |
| 2727 | BETSIOKY NORTH4 | 1 | - | - | 3 | 90 | 70 | - | - | - | - |
| 2728 | ANDRANOHINALY | 1 | - | - | 3 | 219 | 207 | - | - | - | - |
| 2729 | ANDRANOVOVORY | 1 | - | - | 3 | 136 | 116 | - | - | - | - |
| 2730 | BELALANDA | 2 | - | - | 1 | 6.9 | - | 6.4 | 6.28 | - | 6.33 |
| 2731 | BOTSIBOTSY | 2 | - | - | 1 | 9.05 | - | 7.7 | 7.65 | - | 7.78 |
| 2801 | ANKILIMALINIKA3 | 2 | 1988 | - | 1 | 13.21 | - | 12.73 | 12.36 | - | 12.56 |
| 2802 | BENETSE3 | 2 | 1985 | - | 1 | 17.78 | - | 16.02 | 14.57 | - | 14.99 |
| 2803 | SARIRIAKA4 | 2 | - | - | 1 | 13.35 | - | 13.08 | 11.65 | - | 11.05 |
| 2804 | TSIANISIHA | 2 | 1989 | - | 1 | 16.95 | - | 16.93 | 10.25 | - | - |
| 2805 | ANKILILAOKA3 | 2 | 1971 | - | 1 | 6.33 | - | 6.28 | 5.4 | - | 6.38 |
| 2806 | ANKILILAOKA6 | 2 | - | - | 1 | 4.2 | 2.5 | 1.42 | 0.87 | - | 0.66 |
| 2807 | AMPIHAMY2 | 2 | - | - | 1 | 10.65 | - | 9.33 | 9 | - | - |
| 2808 | ANTSEVA2 | 2 | 1978 | - | 1 | 10 | - | 6.57 | 5.55 | - | 6.35 |
| 2810 | MANDATSA | 2 | - | - | 1 | 7.15 | - | - | 1.1 | - | 2.98 |

(/)

| NUMBER | VILLAGE | TYPE (1) | DATE (2) | COND. (3) | DEPTH (4) | W/L (5) | WATER LEVEL | | |
|--------|-------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------------|-------|
| | | | | | | | NOV-DEC | FEB-MAR JUN-JUL | |
| 3701 | ANDAMASINA VINETA | 1 | - | - | 3 | 22.4 | 8 | - | - |
| 3702 | SAKARAHY PRIMARY SCHOOL | 1 | - | - | 2 | 32 | 11 | 10.35 | 10.25 |
| 3703 | TRANOKAKY | 1 | - | - | 3 | 24 | - | - | - |
| 3704 | MAHABOBOKA | 1 | - | - | 2 | - | - | - | - |
| 3705 | MAHABOBOKA1 | 1 | 1968 | - | 3 | 14 | 5 | - | - |
| 3801 | SAKARAHY CATHOLIC | 2 | - | - | 1 | 16.8 | 10.62 | 10.6 | 10 |
| 3802 | SAKARAHY FIVONDROANA | 2 | - | - | 1 | 2.29 | - | - | 1.63 |
| 3803 | SAKARAHY ROAD DEP. | 2 | - | - | 1 | 8.2 | - | - | 7.87 |
| 3804 | SAKARAHY GENDARMERIE | 2 | - | - | 1 | 10.8 | - | - | 10.58 |
| 3805 | ANADARO | 2 | - | - | 1 | 11.66 | - | 11 | 11.54 |
| 3806 | IABORANO | 2 | - | - | 1 | 2.45 | - | 0.4 | - |
| 3807 | MIARY LAMATIHY | 2 | - | - | 1 | 3.3 | - | 2.22 | 1.6 |
| 3808 | BEREKETA | 2 | 1985 | - | 2 | 8.4 | - | 6.9 | 7.07 |
| 4701 | TANANDAVA | 1 | 1968 | - | 2 | 15.48 | - | - | - |
| 4702 | ANKAZOABO | 1 | 1969 | - | 3 | 31 | 5.6 | - | - |
| 4801 | TANANDAVA | 2 | - | - | 1 | 6.14 | - | 5.85 | 5.8 |
| 4802 | ANKAZOABO1 | 2 | - | - | 1 | 5.43 | - | 4.75 | 4.3 |
| 4803 | ANKAZOABO2 | 2 | 1977 | - | 1 | 12.24 | - | 11 | 10.7 |
| 4804 | ANKAZOABO3 | 2 | - | - | 1 | 14 | - | 13.02 | 12.79 |
| 4805 | ANKAZOABO4 | 2 | - | - | 1 | 5.54 | - | 4.1 | 4.18 |
| 4806 | TANDRANO | 2 | - | - | 3 | 7.95 | - | - | - |
| 4807 | TANDRANO | 2 | - | - | 1 | 11.07 | - | 10.06 | 6.8 |
| 4808 | BERENTY BETSILEO | 2 | 1975 | - | 3 | 17.2 | - | - | - |
| 5701 | AMBAHIKILY1 | 1 | 1989 | - | 2 | 17.5 | - | 2.25 | 1.75 |
| 5702 | ANDRANOMANINTSY1 | 1 | 1966 | - | 3 | 11.6 | 4 | 1.75 | 2.15 |
| 5703 | BEFANDRAIANA SUD | 1 | 1975 | - | 1 | 36 | 25 | - | - |
| 5704 | BEFANDRAIANA SUD2 | 1 | 1966 | - | 3 | 27 | 24.5 | - | - |
| 5705 | ANKILIMASY | 1 | 1968 | - | 2 | 36 | 31.2 | - | - |
| 5706 | ANDRANOTERAKA NORTH | 1 | 1966 | - | 2 | 18 | 9 | - | - |
| 5707 | ANDRANOTERAKA SOUTH | 1 | 1966 | - | 2 | 14.5 | 8.5 | - | - |
| 5708 | MAROFOROHA | 1 | 1966 | - | 3 | 12.5 | 3 | - | - |

(77)

| NUMBER | VILLAGE | TYPE (1) | DATE (2) | COND. (3) | DEPTH (4) | W/L (5) | WATER LEVEL | |
|--------|-----------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------------|
| | | | | | | | NOV-DEC | FEB-MAR JUN-JUL |
| 5709 | SIHANAKA | 1 | 1966 | 2 | 21.8 | 13.8 | 6.07 | 3.18 |
| 5710 | BEKIMPAY | 1 | 1966 | 2 | 13.1 | 5.1 | 3.9 | - |
| 5711 | BEMOKA | 1 | 1968 | 3 | 12 | 5.5 | - | - |
| 5712 | BASIBASY | 1 | 1966 | 3 | 14 | 8 | - | - |
| 5713 | ANTANIMIEVA1 MARKET | 1 | 1973 | 2 | 14 | 8 | - | - |
| 5714 | ANTANIMIEVA2 HOSPITAL | 1 | - | 2 | 16 | 7 | - | - |
| 5715 | antanimieva | 1 | - | 1 | 160 | aretian | - | - |
| 5801 | MOROMBE | 2 | 1968 | 1 | 6.05 | - | 4.07 | 4.36 |
| 5802 | BELITSAKA | 2 | 1977 | 1 | 4.87 | - | 1.65 | 1.67 |
| 5803 | NAMATO1 | 2 | - | 1 | 4.19 | - | 3.15 | 2.97 |
| 5804 | NAMATO2 | 2 | 1973 | 1 | 4.56 | - | 3.6 | 1.9 |
| 5805 | AMBAHIKILY1 | 2 | - | 1 | 3.29 | - | 1.25 | 1.15 |
| 5806 | AMBAHIKILY2 | 2 | - | 1 | 1.45 | - | 1.59 | 1.69 |
| 5807 | AMBAHIKILY3 | 2 | - | 1 | 3.94 | - | 1.66 | 1.62 |
| 5808 | TSIANIHY | 2 | 1968 | 1 | 6.6 | - | 4.65 | 3.06 |
| 5809 | AMBALAMOA | 2 | 1959 | 1 | 6.55 | - | 4.55 | 2.63 |
| 5810 | ANDRANOMANINTSY | 2 | 1966 | 3 | 4.39 | 1.75 | - | - |
| 5811 | BERANALA | 2 | 1987 | 1 | 2.94 | - | 2.24 | 2.34 |
| 5812 | TANANDAVA1 | 2 | - | 1 | 7.74 | - | 2.16 | 2.87 |
| 5813 | TANANDAVA2 | 2 | - | 1 | 4.84 | - | 3.74 | 2.86 |
| 5814 | TANADAVA3 | 2 | - | 1 | 6.64 | - | 1.44 | 1.86 |
| 5815 | AMBIKY | 2 | 1989 | 1 | 2.5 | - | 2.1 | 1.85 |
| 5816 | ANKILIFOLO | 2 | 1986 | 1 | 10 | - | 2.65 | 4.69 |
| 5817 | AMPOZA1 | 2 | 1979 | 1 | 10.7 | - | 6 | 5.81 |
| 5818 | MANOY | 2 | 1984 | 1 | 11 | - | 8.65 | 7.86 |
| 5819 | ANRANOSATRA | 2 | 1957 | 1 | 7.9 | - | 0 | - |
| 5820 | BEFOLY | 2 | 1973 | 1 | 9.75 | - | 5.55 | 5.35 |
| 5821 | ANDRANOTERAKA SOUTH | 2 | 1986 | 1 | 6.7 | - | 5.3 | 5.26 |
| 5822 | BASIBASY | 2 | 1973 | 2 | 8 | - | 4.6 | 3.71 |
| 5823 | MANGOTROKA | 2 | 1969 | 1 | 4.7 | - | 4.6 | 2.4 |
| 5824 | ANTANIMIEVA3 | 2 | - | 1 | - | - | - | - |

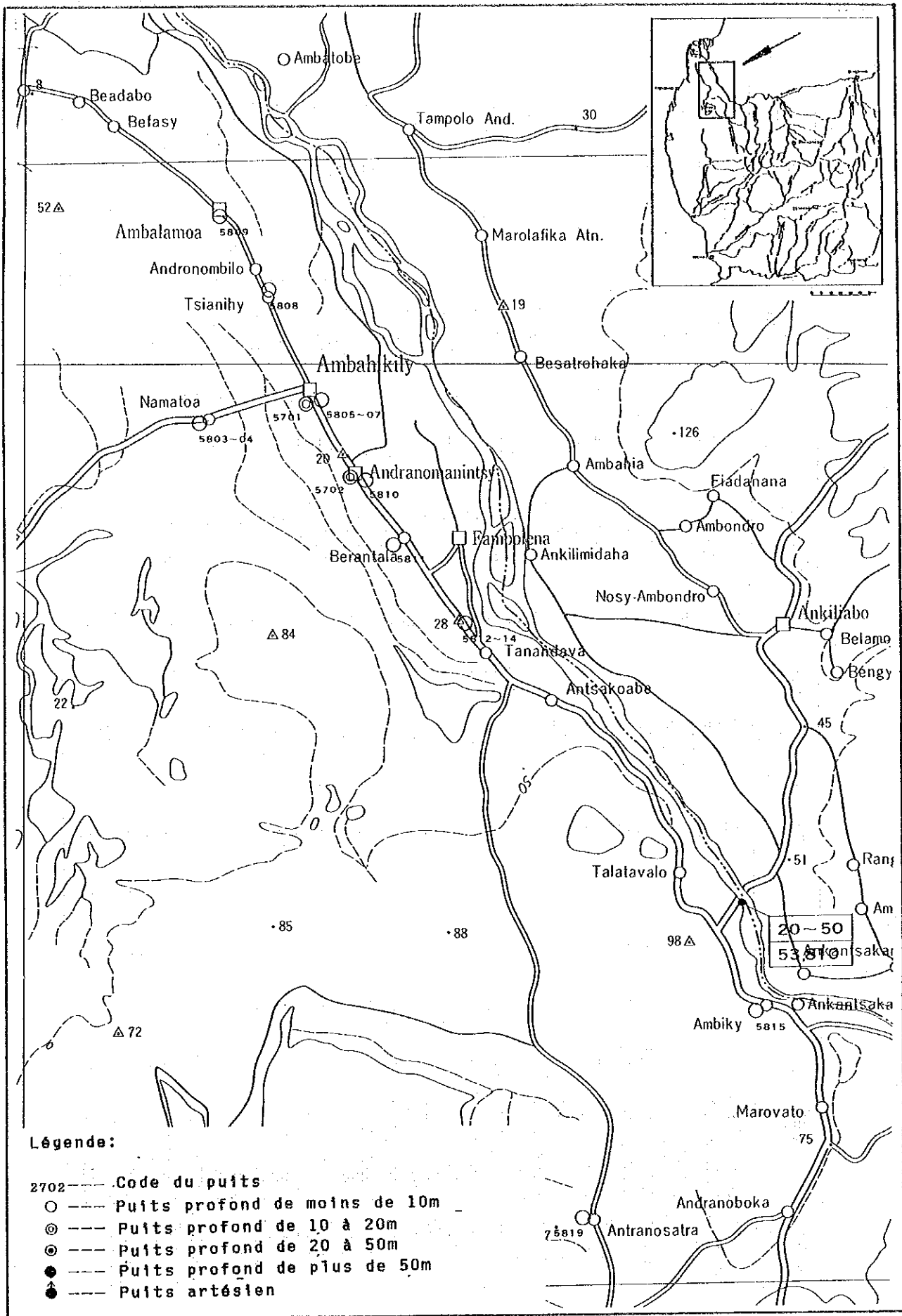
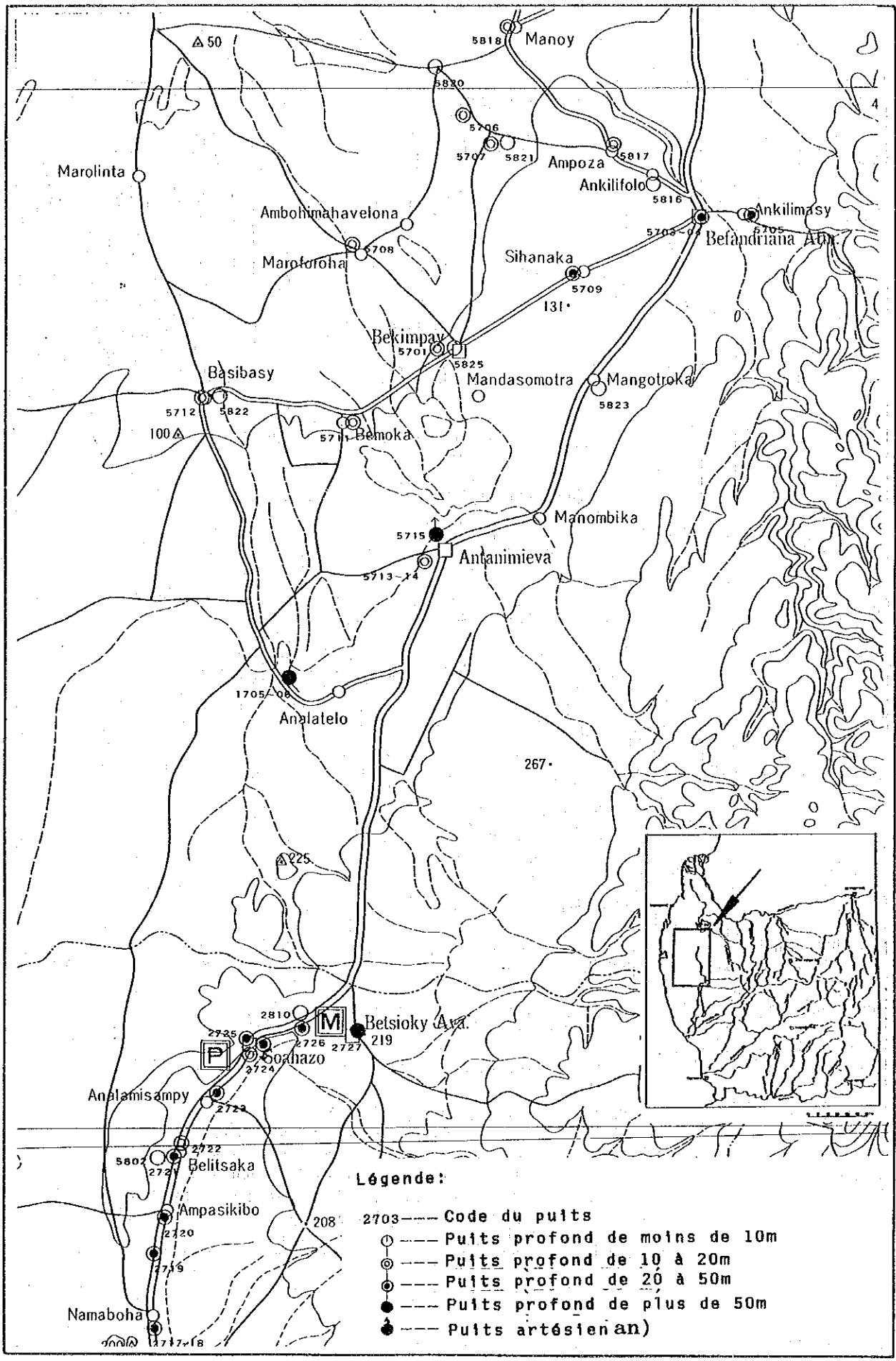


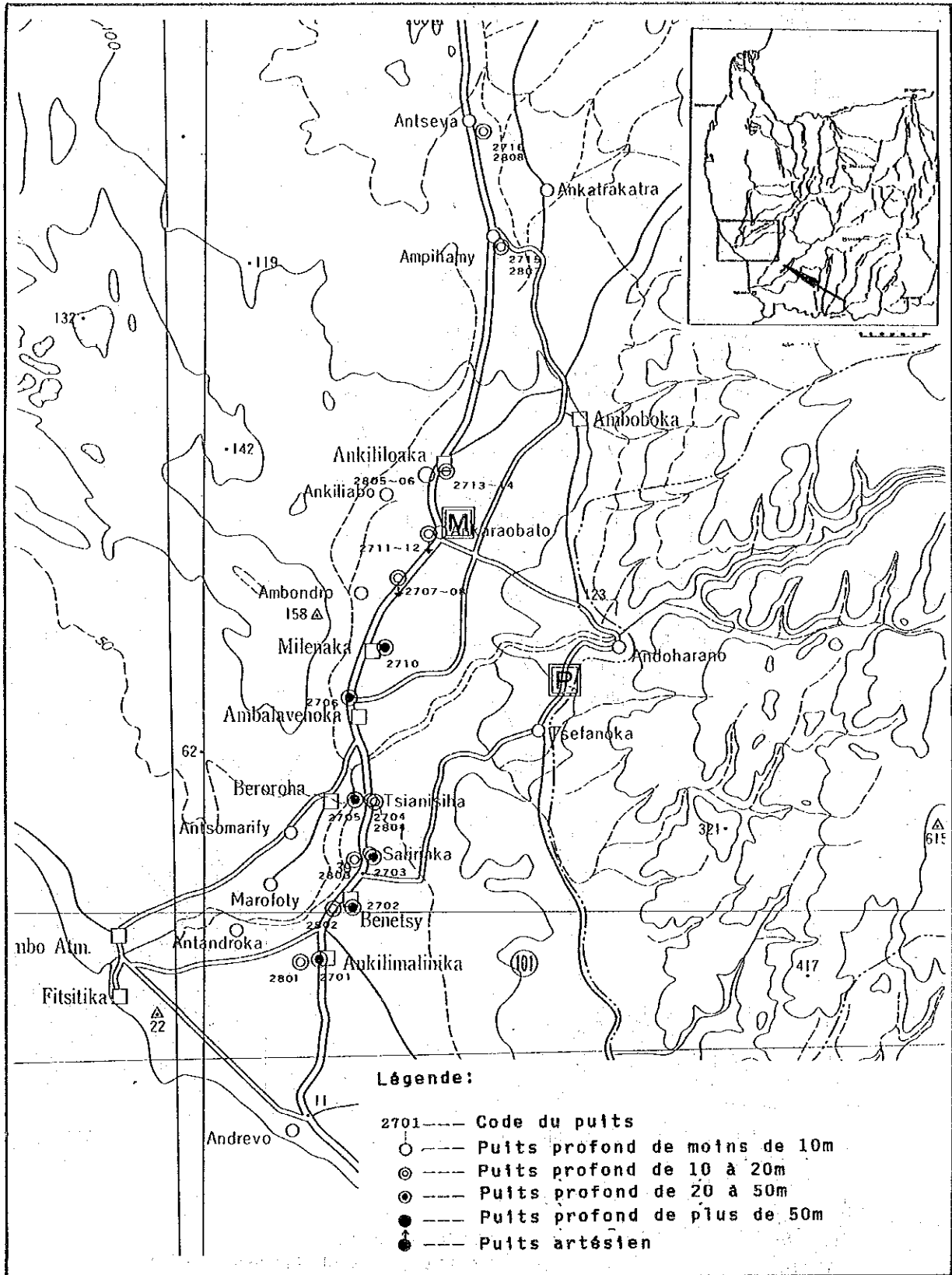
Figure 3.5.1 *Localité des puits existants*

(./.)

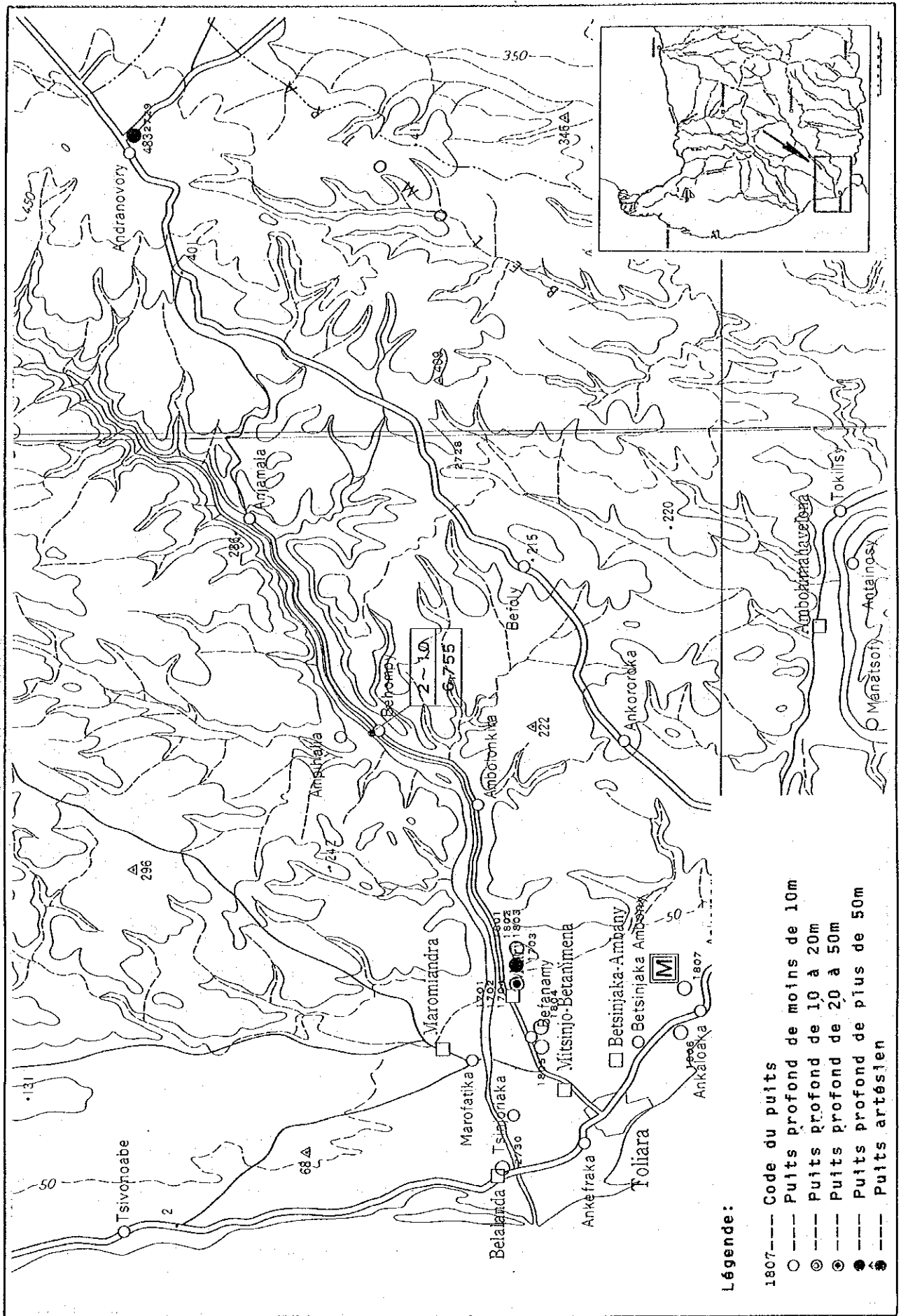


Légende:

- 2703 — Code du puits
- — Puits profond de moins de 10m
- ⊙ — Puits profond de 10 à 20m
- ⦿ — Puits profond de 20 à 50m
- — Puits profond de plus de 50m
- ⦿ — Puits artésien

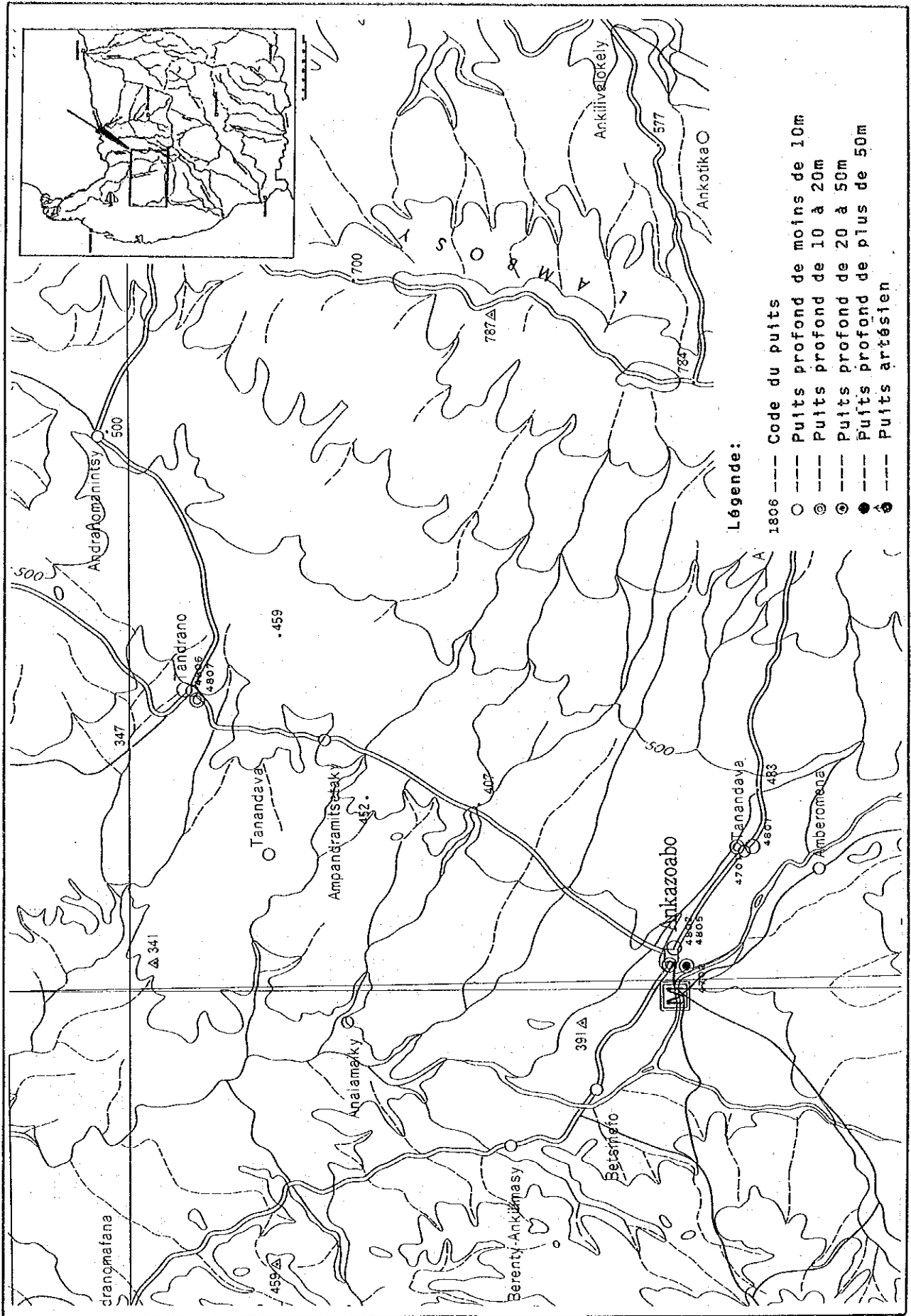


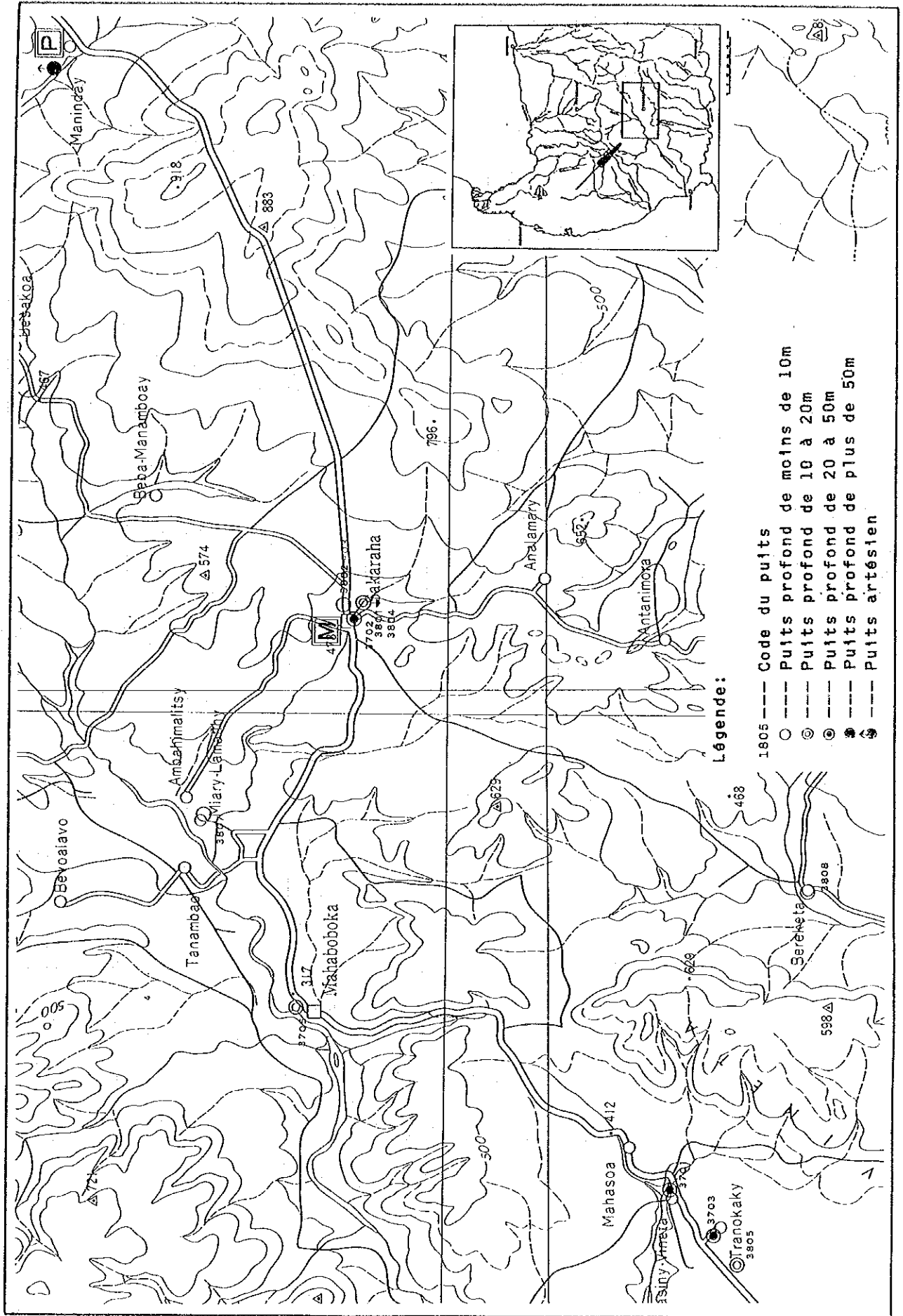
(./.)



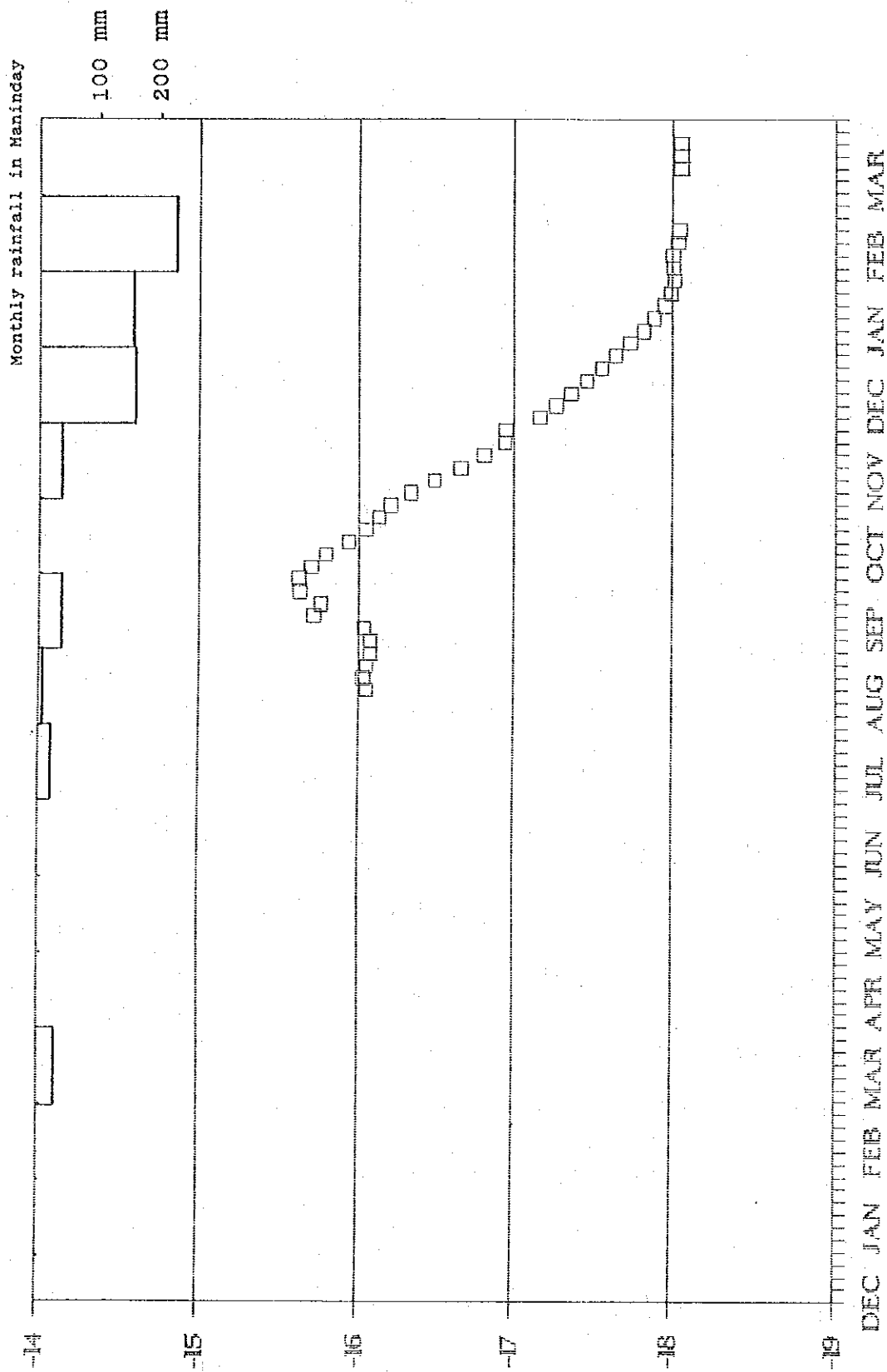
Légende:

- 1807 --- Code du puits
- Puits profond de moins de 10m
- ⊙ Puits profond de 10 à 20m
- ⊕ Puits profond de 20 à 50m
- Puits profond de plus de 50m
- ▲ Puits artésien





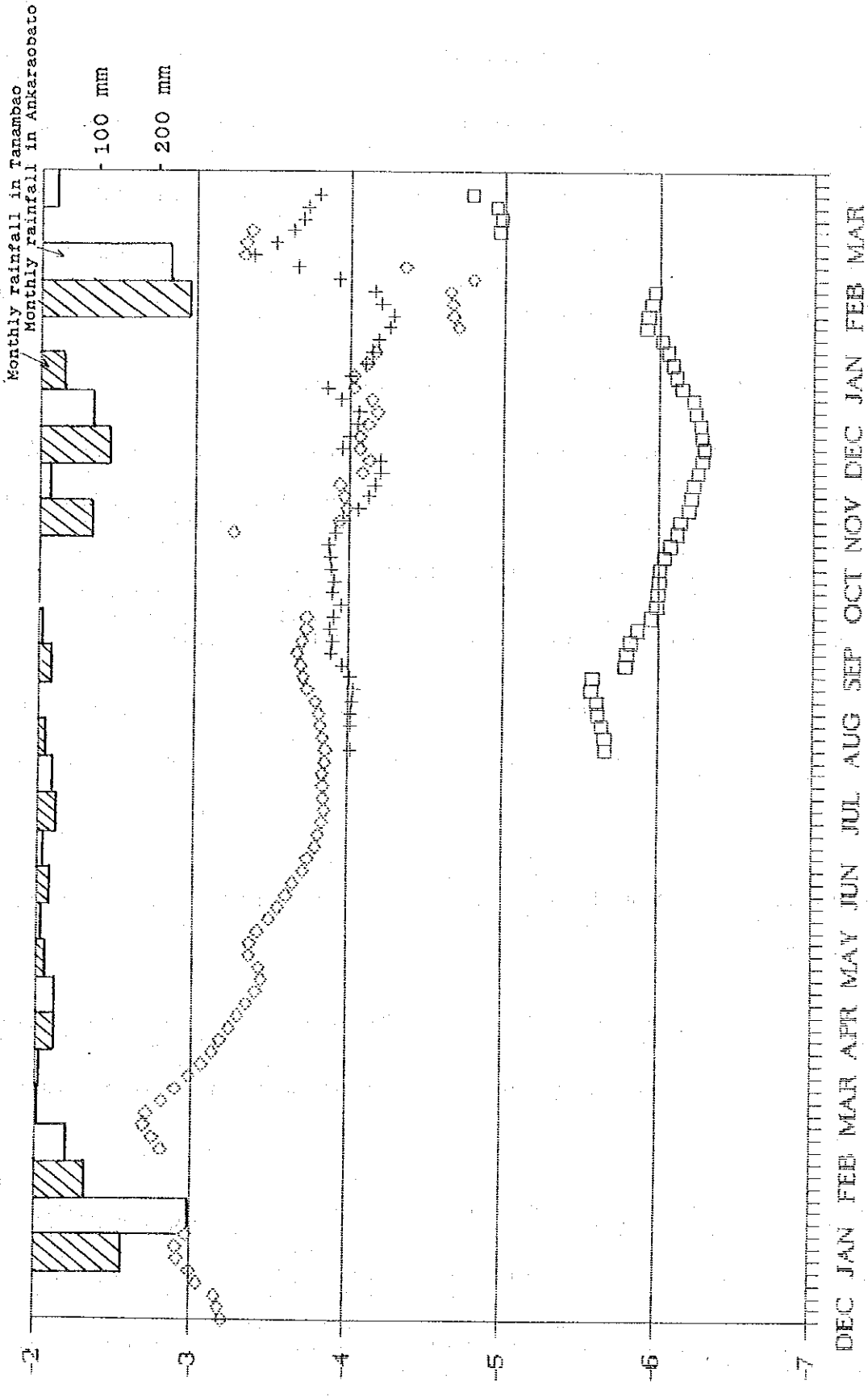
Groundwater Level



(./.)

Figure 3.5.2 Résultats de l'observation en continu du niveau d'eau

GROUNDWATER LEVEL (B.G.L.)



3.6 Prospections géophysiques

Dans la présente étude, il a été mis en application deux méthodes de prospection géophysique: sondage électrique mesurant la résistivité du sous-sol et sondage magnéto-tellurique VLF. La première, appelée autrement la méthode de *Gish-Rooney*, est un sondage effectué moyennant les électrodes *Wenner* et le résistivimètre. La deuxième consiste à rechercher de l'eau souterraine notamment dans des zones en horst ou de fracture développée, en utilisant un appareil de mesure électromagnétique *WADI* (Fig.3.6.1).

3.6.1 Sondage électrique de résistivité

Le sondage électrique pour mesurer la résistivité à une profondeur comprise 50 et 300m a été effectué sur 139 points (49 sites) dans la Première Phase et sur 110 points (33 sites) pour la Deuxième Phase. L'option des points et sites à étudier a été examinée en fonction de divers éléments: conditions hydrogéologiques connues par analyse de données images des satellites *Landsat* et *Spot* et photos aériennes, par des reconnaissances géologiques sur terrain et par analyse et mise à jour de données hydrogéologiques disponibles.

Les résultats du sondage électrique ont fait l'objet d'une analyse hydrogéologique et sont aménagés sous forme des coupes en travers figurant dans le volume 3 du Rapport, "Rapport supplémentaire (1)".

A partir des résultats du sondage électrique et des analyses hydrogéologiques, les sites et la profondeur des forages test ont été déterminés. Les considérations, développées dans ce qui suit, sont déduites de ces travaux pratiques et analytiques:

a) De façon générale, la variation de résistivité selon la profondeur se conforme à la succession stratigraphique. La valeur relativement élevée de résistivité traduit une bonne perméabilité de la couche pouvant constituer une nappe aquifère productrice.

b) Lorsqu'il s'agit des formations de l'Isalo et des dépôts calcaires du Jurassique à l'Eocène, on constate une fluctuation irrégulière de résistivité aux environs des points de sondage où la surface du sol et la strate sont presque plates. Cette anomalie peut être imputable à la présence des sédiments continentaux près des formations de l'Isalo et des dépôts irréguliers de calcaires néritiques tels que le calcaire lenticulaire, le calcaire marneux, la marne, le grès marneux, le silt marneux et la roche de boue (Fig. 3.6.2 et 3.6.3).

c) Souvent, l'écart de la valeur de résistivité électrique ne traduit pas nécessairement la différence de faciès. De là, il est important d'interpréter les résultats du sondage électrique en les combinant à ceux obtenus au terme des reconnaissances hydrogéologiques détaillées. A titre d'exemple, la présence de nappes aquifères de haute productivité a été confirmée par le forage d'essai dans les villages (22), (23), (34), (55) et (65) où la résistivité mesurée demeure bien faible avec 10 à 50Q-m (Fig. 3.6.4 à 3.6.8).

d) Dans la Zone de l'Etude, au cas où la résistivité électrique se situe aux environs de 10 à 50Q-m, le lithofaciès est le plus souvent constitué d'alternance de grès, marnes ou roches de boue et clacaires marneux. La capacité aquifère de ces nappes s'avère toutefois plus importante par rapport à celle indiquée par la valeur de résistivité.

e) Dans certains sites tels Tranokaky (95) où le lithofaciès est caractérisé par les basaltes fissurés ou fort compacts, les grès ou roches de boue légèrement désagrégés du Crétacé, l'interprétation hydrogéologique sur les résultats du sondage de résistivité devient très difficile, du fait qu'on trouve des valeurs presque semblables aussi dans les roches volcaniques et sédimentaires (Fig.3.6.9).

f) Pour les villages localisés dans les plateaux constitués de dépôts calcaires puissants de l'Eocène inférieur et moyen, tels Andranovory (77), Andranohinaly et Befory (78), on ne peut plus interpréter, seulement en fonction des résultats du sondage électrique, les calcaires fracturés ou poreux comme la nappe aquifère de haute productivité et ceux compacts ou massifs comme la nappe de faible productivité, ces deux types de nappe ne présentant pas d'écarts dans les valeurs mesurées. Dans ce cas, on a nécessairement recours aux résultats venant de l'analyse d'images par satellite Spot et de photos aériennes et des reconnaissances hydrogéologiques détaillées.

g) Il existe à Antanimieva un puits artésien offrant un débit de 400m³/h. Sa lithologie, mise en évidence par le sondage électrique, relève que les calcaires marneux (80Q-m) à 120m de profondeur constituent une nappe aquifère hautement productrice et que les marnes ou calcaires marneux (20Q-m) épais d'environ 50m sont également captifs (Fig.3.6.10). Comme le montre la figure 3.6.11, les conditions hydrogéologiques de Betsioky-Avaratra sont presque similaires à celles d'Antanimieva, ce qui laisse entrevoir une possibilité de découvrir une nappe captive de haute productivité dans une profondeur de 100 à 150m.

h) Dans la plaine côtière comprise entre Manombo Atm(63) et Toliara, le problème d'eau potable réside dans sa salinité, et le problème est constamment soulevé par les habitants. De là, on a procédé à un sondage électrique afin de mieux étudier les conditions hydrogéologiques du site.

Les résultats de ce sondage électrique sont inscrits en récapitulation dans les figures 3.6.12 et 3.6.13 qui nous permettent de comprendre que les villageois utilisent de l'eau souterraine peu profonde et instable venant d'une nappe perchée lenticulaire de *Herzberg*, formée dans les calcaires ou calcaires marneux. De ce fait, il peut être recommandé, en tant que système AEP pour la zone côtière, de prévoir un puits busé ou forage peu profond, équipé d'une pompe à main.

1) Les résultats du sondage électrique et de leur interprétation hydrogéologique, combinés à ceux du forage test et de l'essai de pompage, nous amènent à établir, entre les valeurs de résistivité et le lithofaciès, les corrélations que voici:

(unité:Ω-m)

| Lithofaciès | Résistivité | Remarques |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Marne argileuse Marne Marne sableuse Argilite | 3 à 6 5 à 25 4 à 30 10 à 30 | Faible capacité aquifère en général |
| Grès silteux ou boueux | 8 à 30 | Production localisée |
| Grès marneux Alternance de grès et de marne ou argilite Calcaire marneux | 20 à 82 17 à 384 33 à 99 | Grande capacité aquifère en général |
| Grès et grès graveleux Calcaire Basalte | 80 à 2.200 95 à 6.030 28 à 1.120 | Grande capacité aquifère (si la résis- tivité moins de 1.000) |

Les potentiels de développement des eaux souterraines dans la Zone de l'Etude, reproduits dans la carte hydrogéologiques, ont été évalués sur la base des considérations ci-dessus.

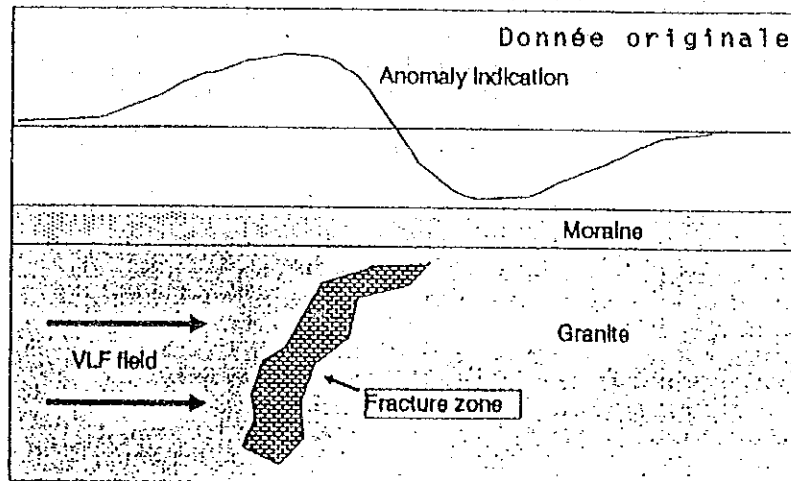
3.6.2 Sondage magnéto-tellurique VLF (WADI)

Le sondage magnéto-tellurique VLF ou la méthode électro-magnétique, est un des moyens valables permettant d'étudier dans une courte durée une structure géologique dont la valeur de résistivité électrique diffère de celle des environs. Il convient donc à la recherche d'eaux souterraines dans des zones fracturées.

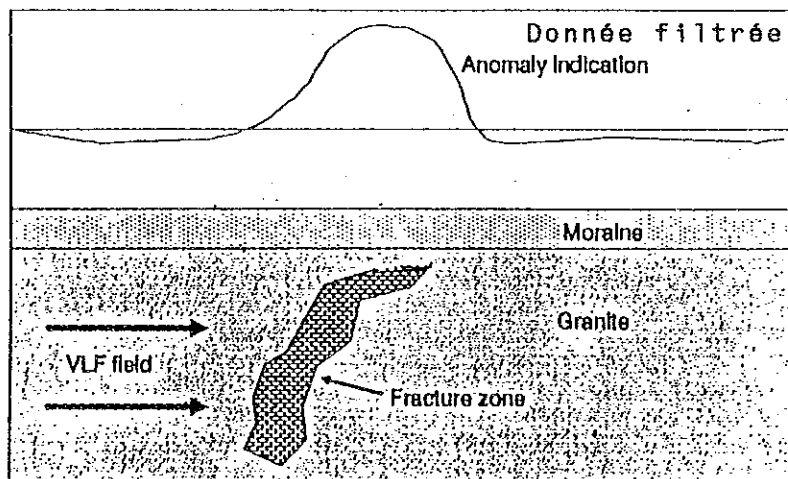
La carte hydrogéologique met en évidence que la Zone de l'Etude comporte de nombreuses failles et fissures dont l'existence suggère souvent la disponibilité de ressources en eau souterraine dans les nappes aquifères.

Dans notre étude également, un instrument léger et portatif a été employé pour étudier les eaux souterraines, influencées par ces failles ou fissures.

La figure ci-dessous donne les représentations du WADI typiquement anormales des données originales et filtrées.



Et la figure suivante montre comment une zone fracturée et aquifère dans les roches produit un champs secondaire provoquant une indication typiquement anormale dans l'instrument WADI.

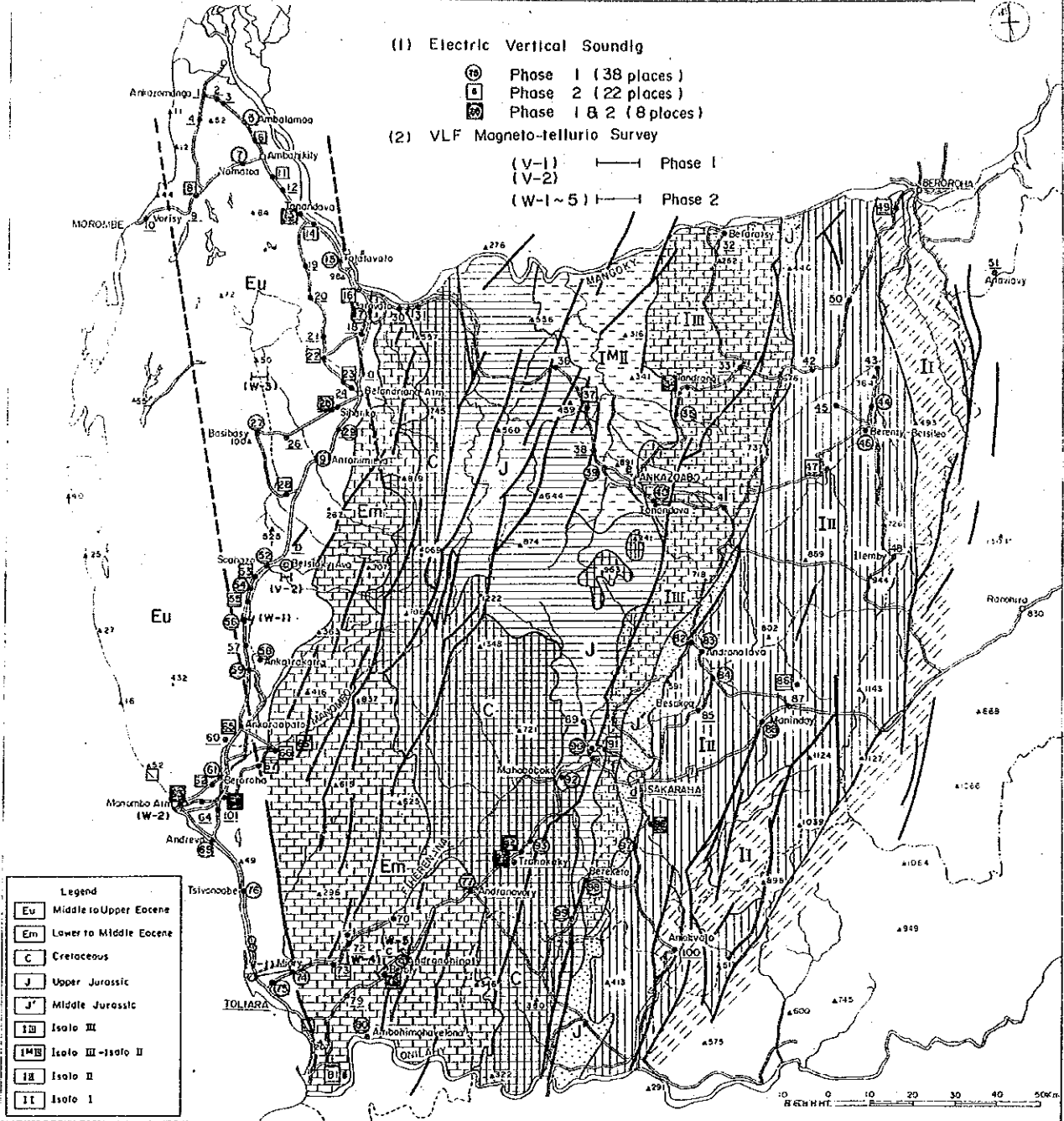


Le sondage magnéto-tellurique a été effectué sur 12 lignes pour 8 sites où il semble que des failles ou fractures reposent. Les résultats du sondage, traités par l'ordinateur, sont renvoyés au volume 3 du Rapport, "Rapport supplémentaire (1)".

La figure 3.6.14 montre une coupe en travers hydrogéologique de la plaine de Toliara, établie en s'appuyant sur les résultats des sondages électrique de résistivité et magnéto-tellurique VLF. Elle confirme le bien-fondé de notre option méthodologique. La ville de Toliara est actuellement alimentée par captages des aquifères de calcaire de Miary, dominés par la "Faille de Toliara" et ses environs fracturés.

Il est à remarquer par ailleurs que l'appareil VLF WADI résiste très mal au rayonnement violent du soleil, ce qui a impliqué son utilisation sur un nombre réduit des sites.

Figure 3.6.1 Carte de location des sondages géophysiques



Legend

| | |
|-------|------------------------|
| Eu | Middle to Upper Eocene |
| Em | Lower to Middle Eocene |
| C | Cretaceous |
| J | Upper Jurassic |
| J' | Middle Jurassic |
| I III | Isolo III |
| I II | Isolo II - Isolo I |
| I II | Isolo II |
| I I | Isolo I |

| | | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------------|------------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| No Villages | 15 Talatavato | II. Fiv. ANKAZOABO ATM | 48 Ileaby | 60 Ambondro | 75 Betsio | 92 Mahaboboka |
| I. Fiv. MOROMBE | 16 Ambiky | | III. Fiv. BEROROKA | 61 Beroroka | 76 Ankorofoa | 93 Mahaso |
| 1 Ankozaanga | 17 Marovato | 32 Betaratsy | | 62 Antsoarilly | 77 Antohimahavelona | 94 Andaaasiny-Yineta |
| 2 Beadabo | 18 Andranoboka | 33 Andranobanintsy | 49 Tanandava-Antaifasy | 63 Manombo-Atm | 78 Manoroaka | 95 Tranokaky |
| 3 Befasy | 19 Sitrabondro | 34 Tandrano | 50 Anjanil'kitra | 64 Antandroka | 79 Antaninora | 96 Analasary |
| 4 Ankilifolo(I) | 20 Mahavozokely | 35 Apandraaitsetaky | 51 Anaviavy | 65 Ankarabato | 80 Antaninora | 97 Antaninora |
| 5 Asabalaoa | 21 Antranosatra | 36 Andranosafana | | 66 Andoharano | 81 Antaninora | 98 Bereteta |
| 6 Tsianlhy | 22 Manoy | 37 Manakifala | IV. Fiv. TOLIARA I/II | 67 Isefanika | 82 Iaborana | 99 Ankilialtaloha |
| 7 Namatoa | 23 Apozza | 38 Berenty-Ankilinasy | | 68 Benetsy | 83 Andranolava | 100 Ankilivalo |
| 8 Mangolovoio | 24 Ankilifolo(2) | 39 Betsisefo | 52 Soahazo | 69 Andrevo | 84 Lambowakandro | |
| 9 Ankida | 25 Sihanaka | 40 Tanandava | 53 Analaasaopy | 70 Anjanala | 85 Besakoa(1) | a Befandriana |
| 10 Vorisy | 26 Benoka | 41 Apozza | 54 Belitsaka | 71 Ampihaha | 86 Besakoa(2) | b Betsioiky Nord |
| 11 Antranobanintsy | 27 Basibasy | 42 Ipetsa Atm | 55 Ampasilibo | 72 Schopy | 87 Ampandra | c Andranobaninay |
| 12 Berantala | 28 Anatalato | 43 Mandabe Atm | 56 Nanaboha | 73 Antolonkira | 88 Maninday | d Sakaraha |
| 13 Tanandava | 29 Mangotroka | 44 Sostaninbaray | 57 Antseva | 74 miary | 89 Bevoalavo | e Ankazoabo |
| 14 Antsoakobe | 30 Kosy-Ambositra | 45 Sahanoiry Atm | 58 Ankilinaivotoka | 75 Befanasy | 90 Tanasba | |
| | 31 Tsiariaploke | 46 Berenty-Betsileo | 59 Ampihany | 76 Tsiyonsobe | 91 Anbahajantsy | |
| | | 47 Ankilialtalohy | | 77 Andranovavy | | |

10-11. 1989

No. 29

Mangotroka

EL=148m

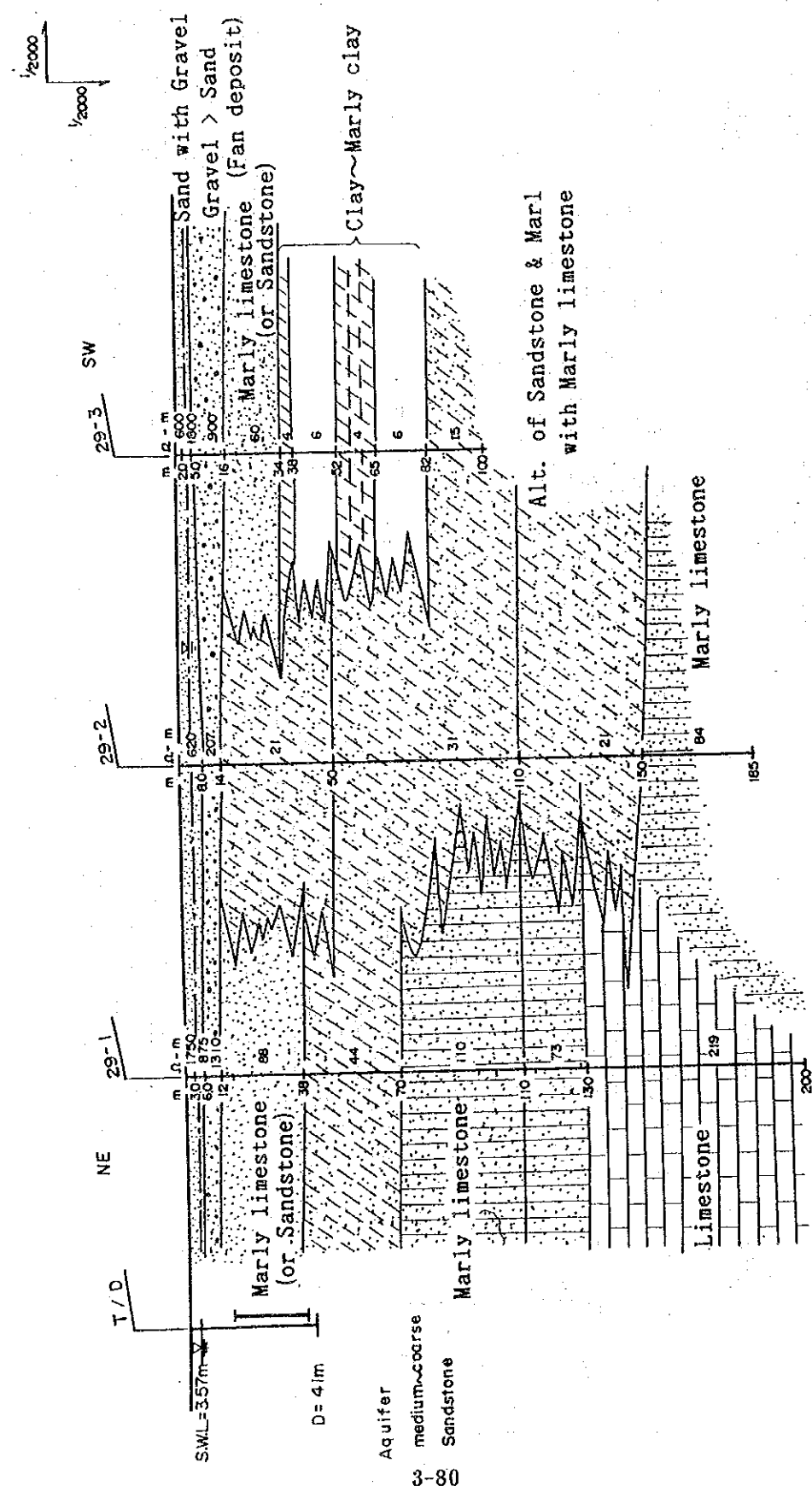


Figure 3.6.3 Profil hydrogéologique à Mangotroka

23-6-90
 No. 22
 Manoy
 EL = 63 m

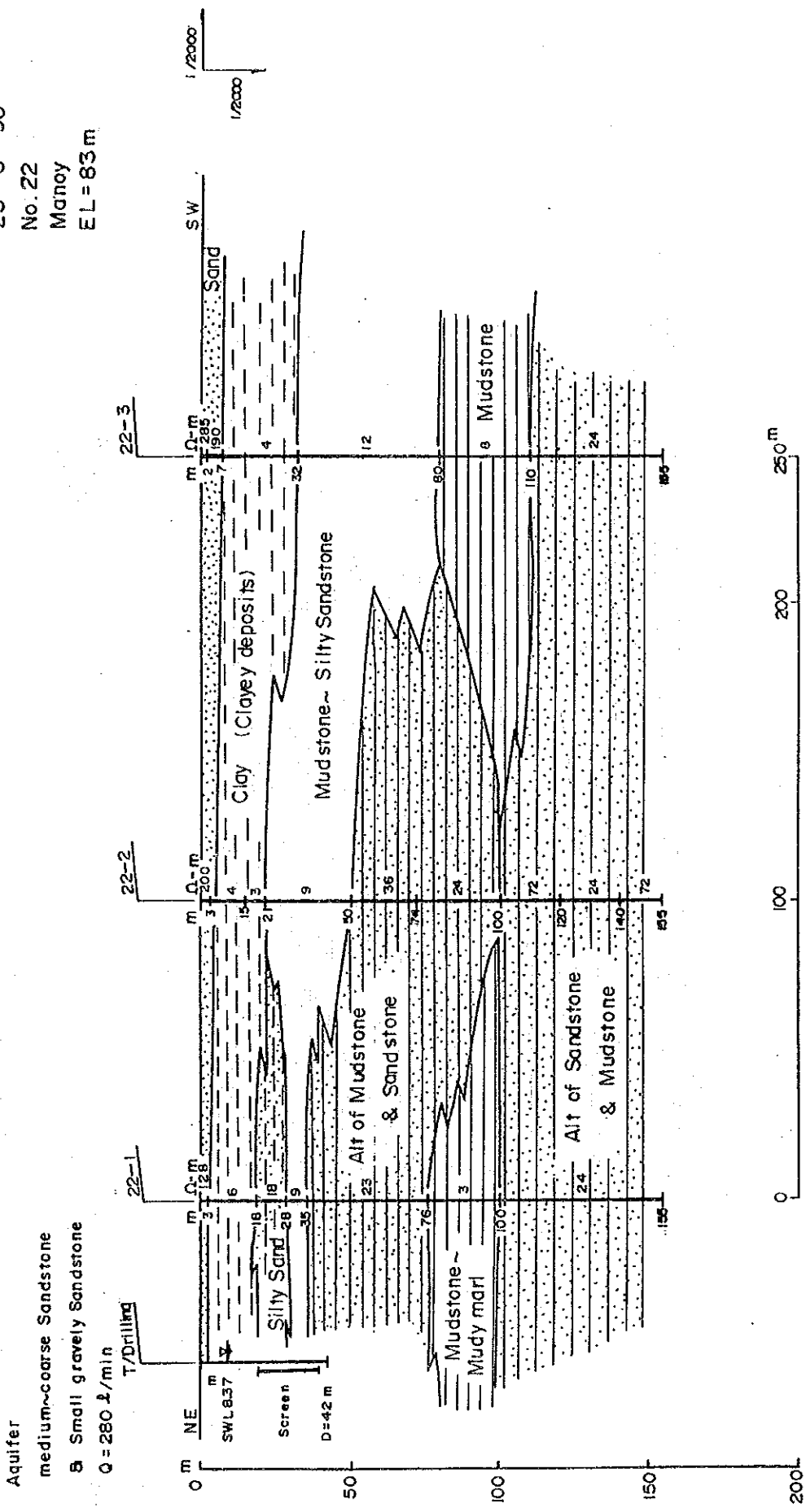


Figure 3.6.4 Profil hydrogéologique à Manoy

23-6-90
 No. 23
 Ampoza
 EL = 117 m

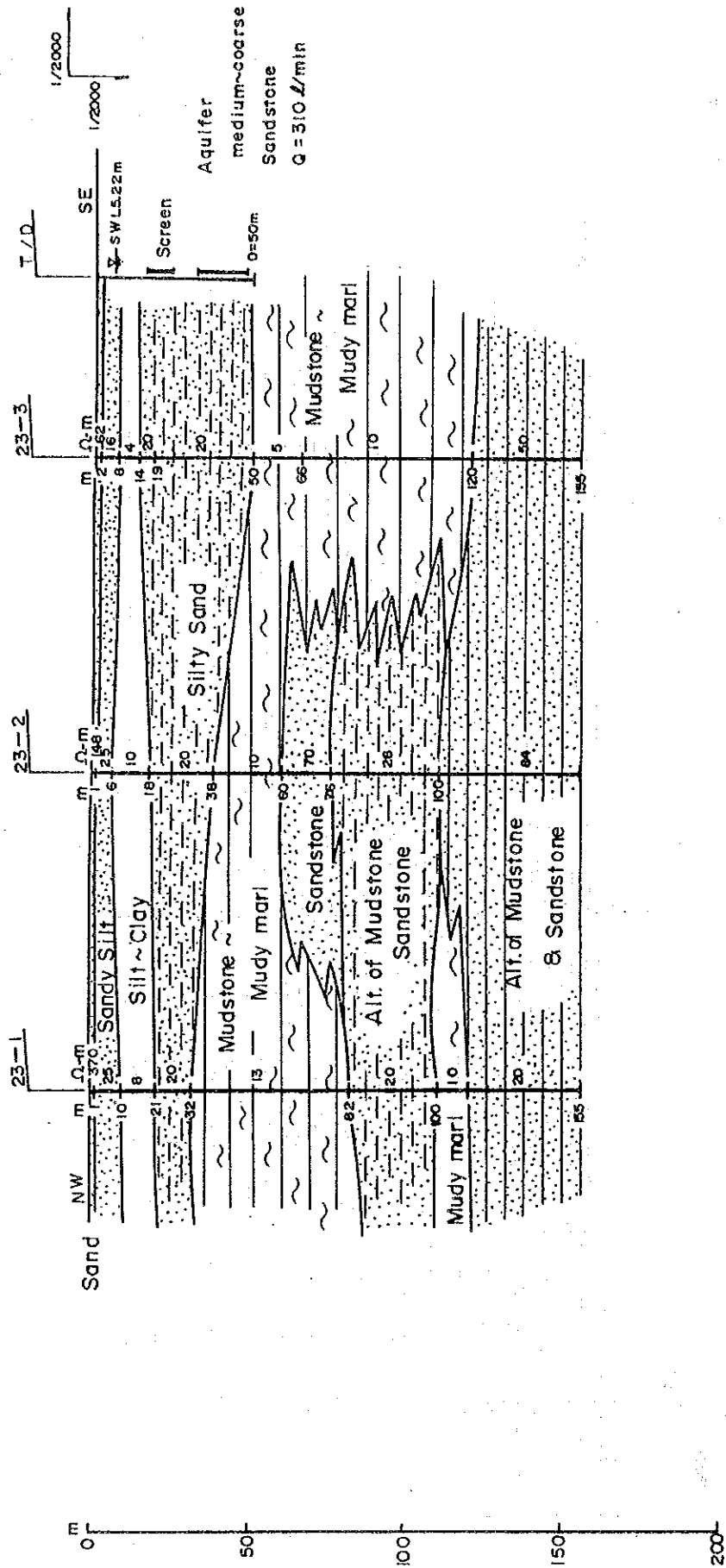


Figure 3.6.5 Profil hydrogéologique à Ampoza

4-7-90
 No. 34
 Tandrano
 EL = 400m

Q = 300 L/min
 SWL 25.56m
 D = 151.1m
 Aquifer
 fine ~ medium
 Sandstone

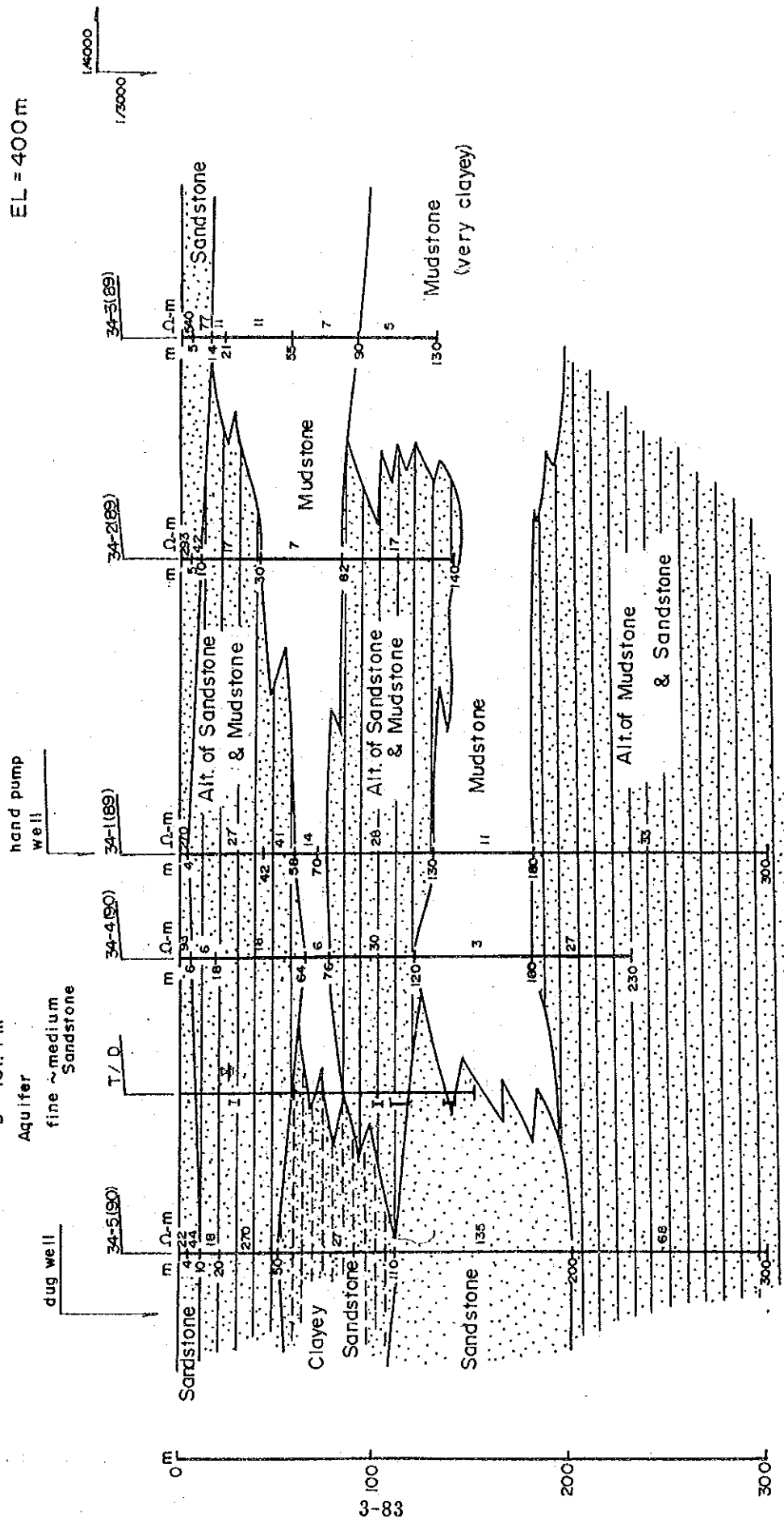


Figure 3.6.6 Profil hydrogéologique à Tandrano

23-6-90
 No. 55 Ampasikibo
 EL = 175 m

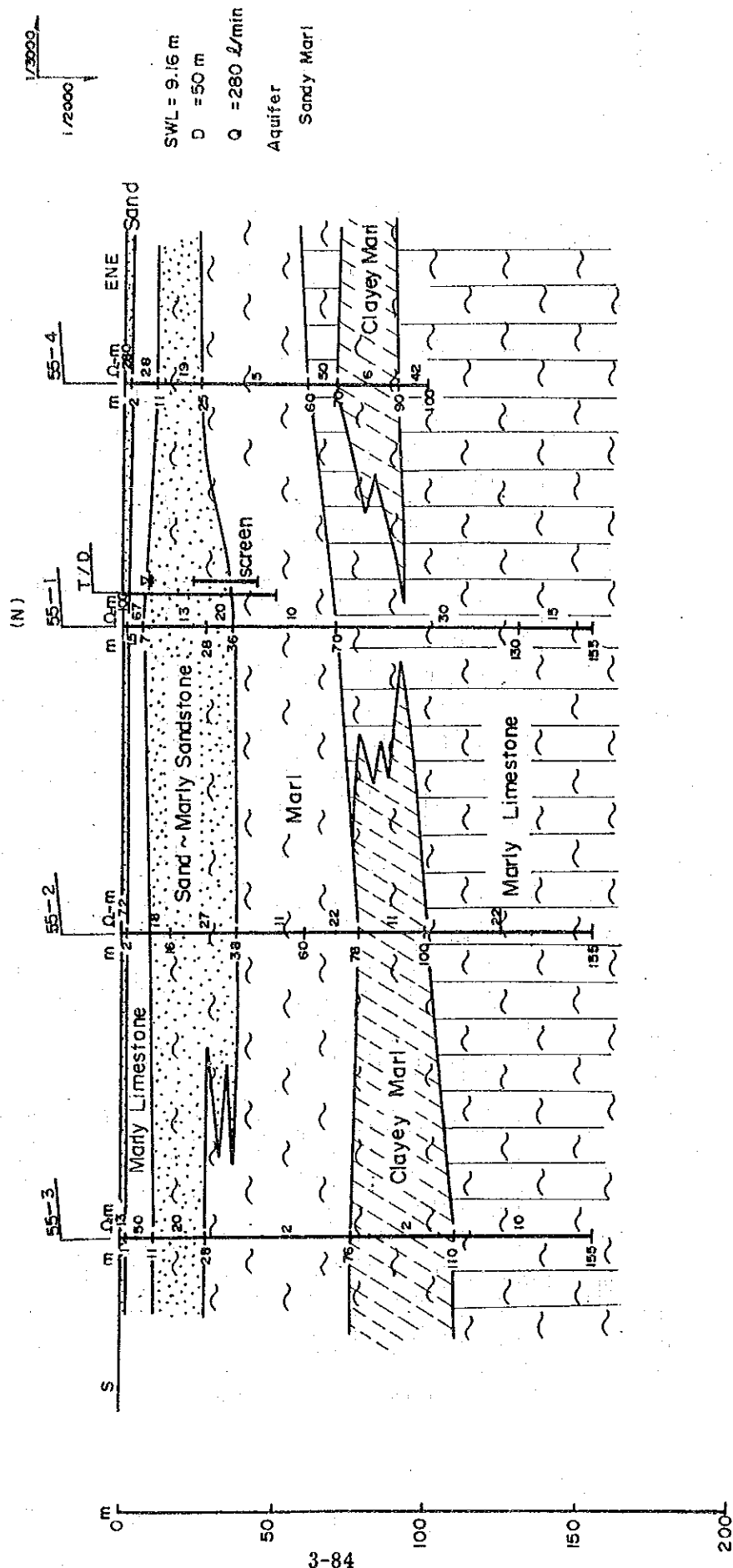


Figure 3.6.7 Profil hydrogéologique à Ampasikibo

21-6-90

No. 65

Ankaraobato

EL = 75 m

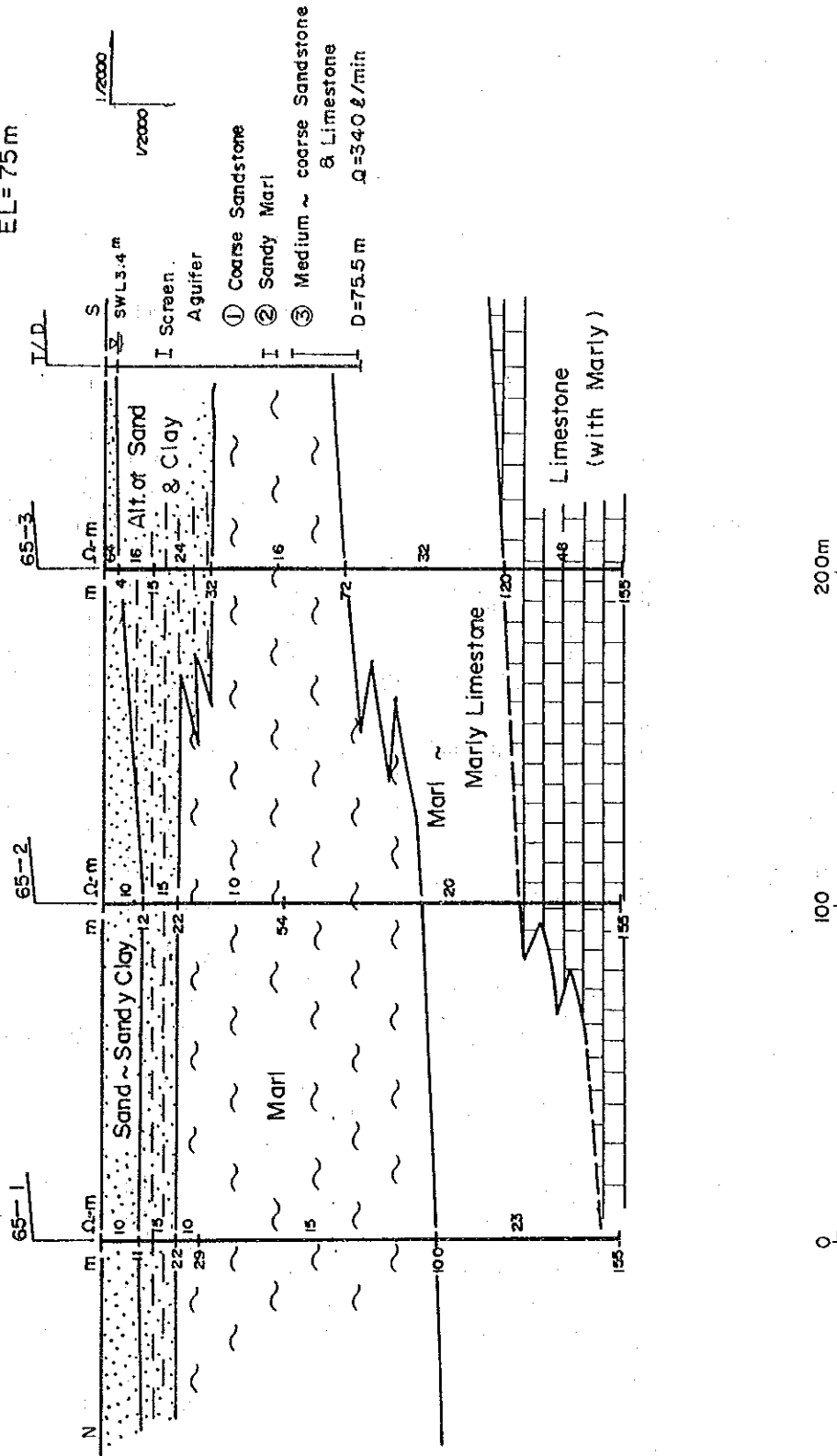


Figure 3.6.8 Profil hydrogéologique à Ankaraobato

12-7-90
 No. 95
 Tranokaky
 EL = 430 m

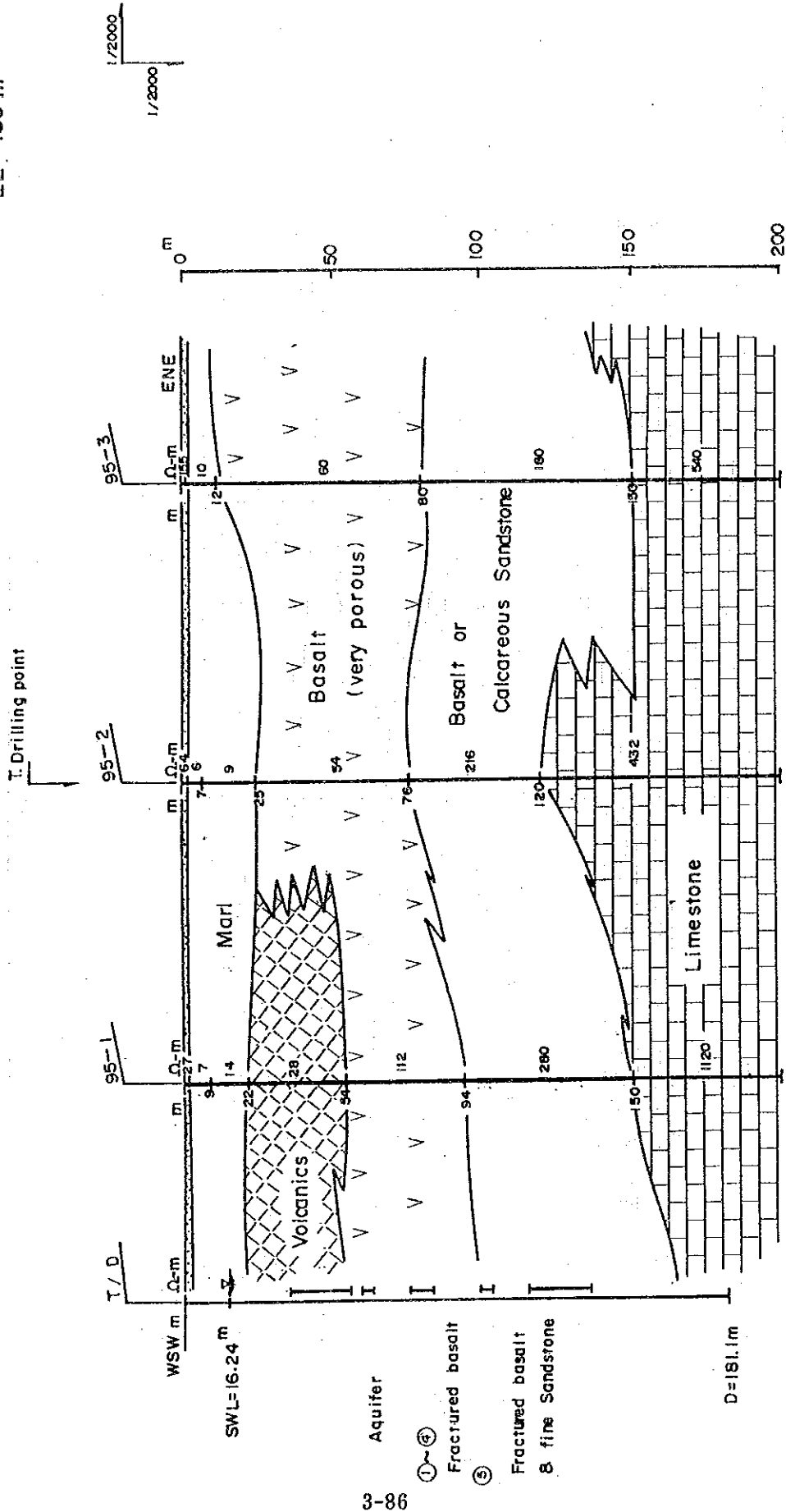


Figure 3.6.9 Profil hydrogéologique à Tranokaky

10-11.1989

Antanimieva

EL=150m

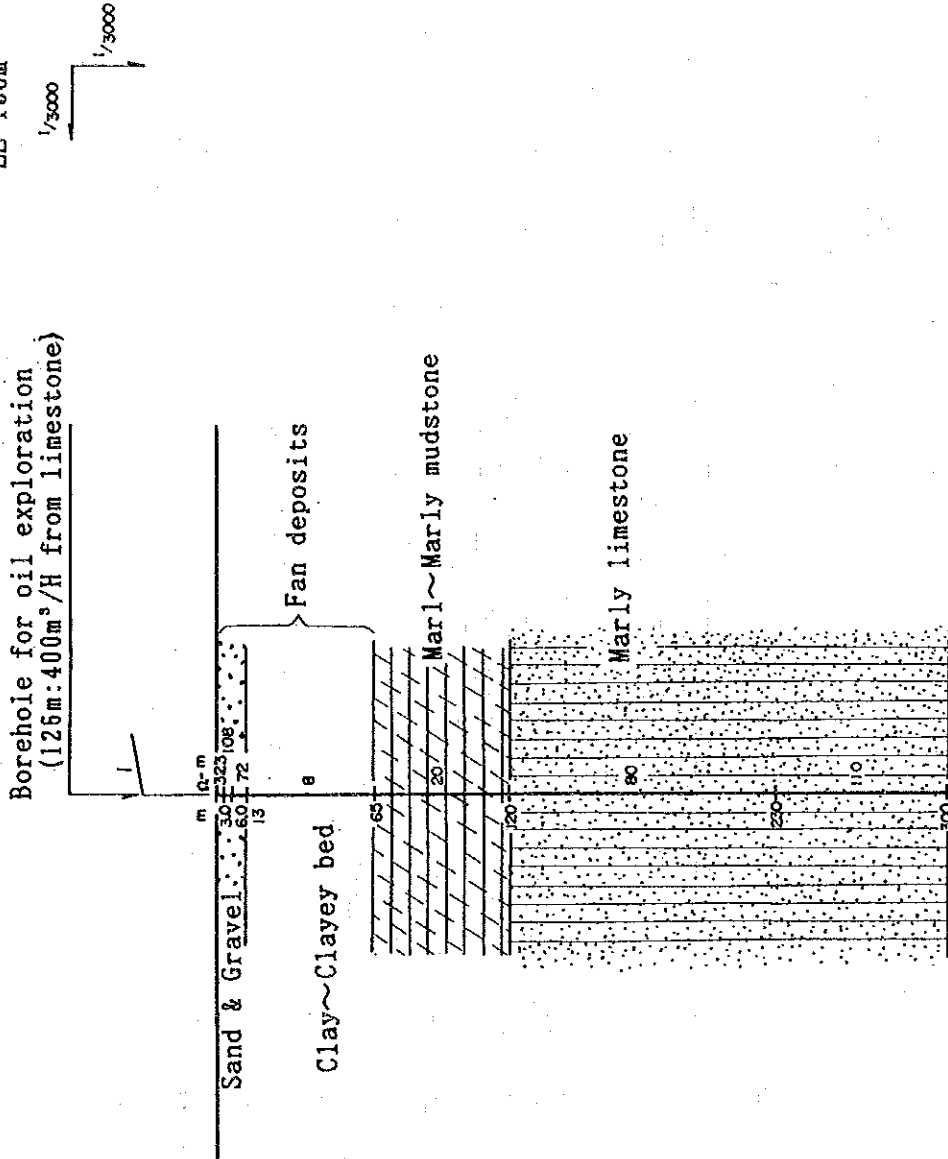


Figure 3.6.10 Section lithologique du forage existant
d'Antanimieva

11-11, 1989
 Betsioky-Avaratra
 EL-219m

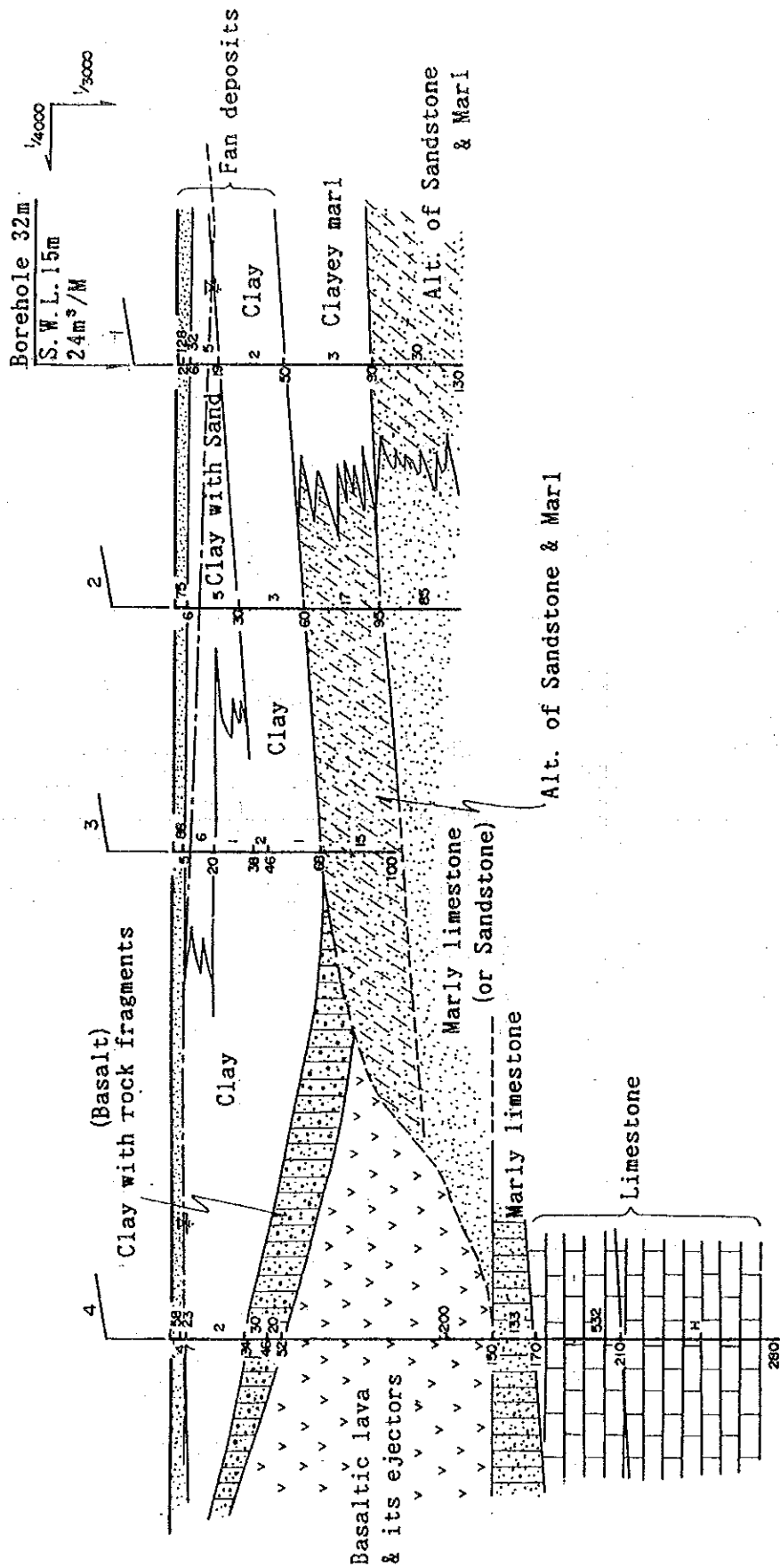


Figure 3.6.11 Profil hydrogéologique à Betsioky

29-11, 1989

No. B

Botsibotsy

14.0km from Tulear

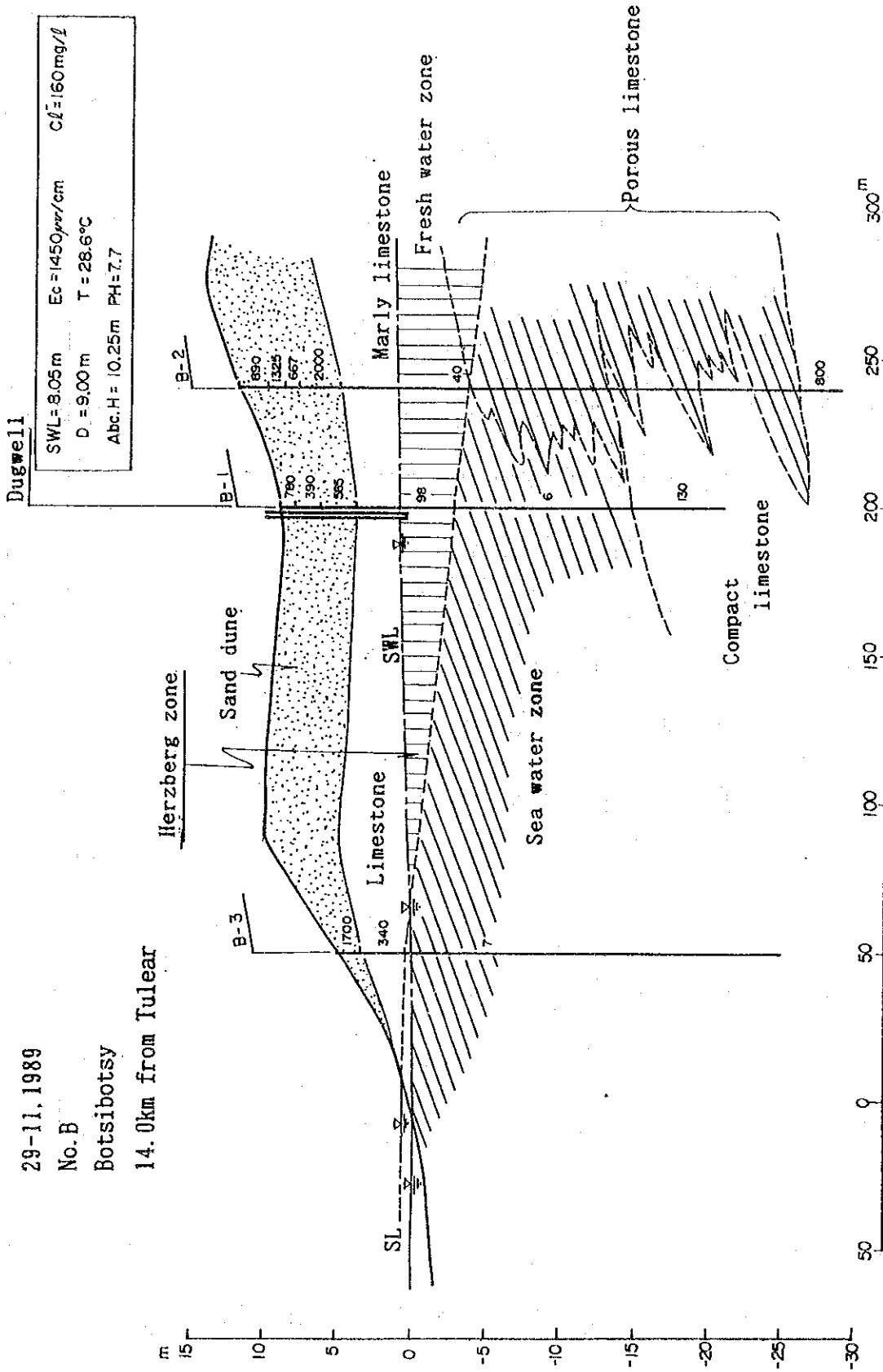


Figure 3.6.12 Profil hydrogéologique à Botsibotsy

29-11.1989

No. C

Beravy

19.2km from Tulear

SWL = 4.51 m, Ec = 2020 μ mol/cm Cl⁻ = 448 mg/l
D = 4.74 m, T = 27.9°C
AbchH = 6.57 m, PH = 7.7

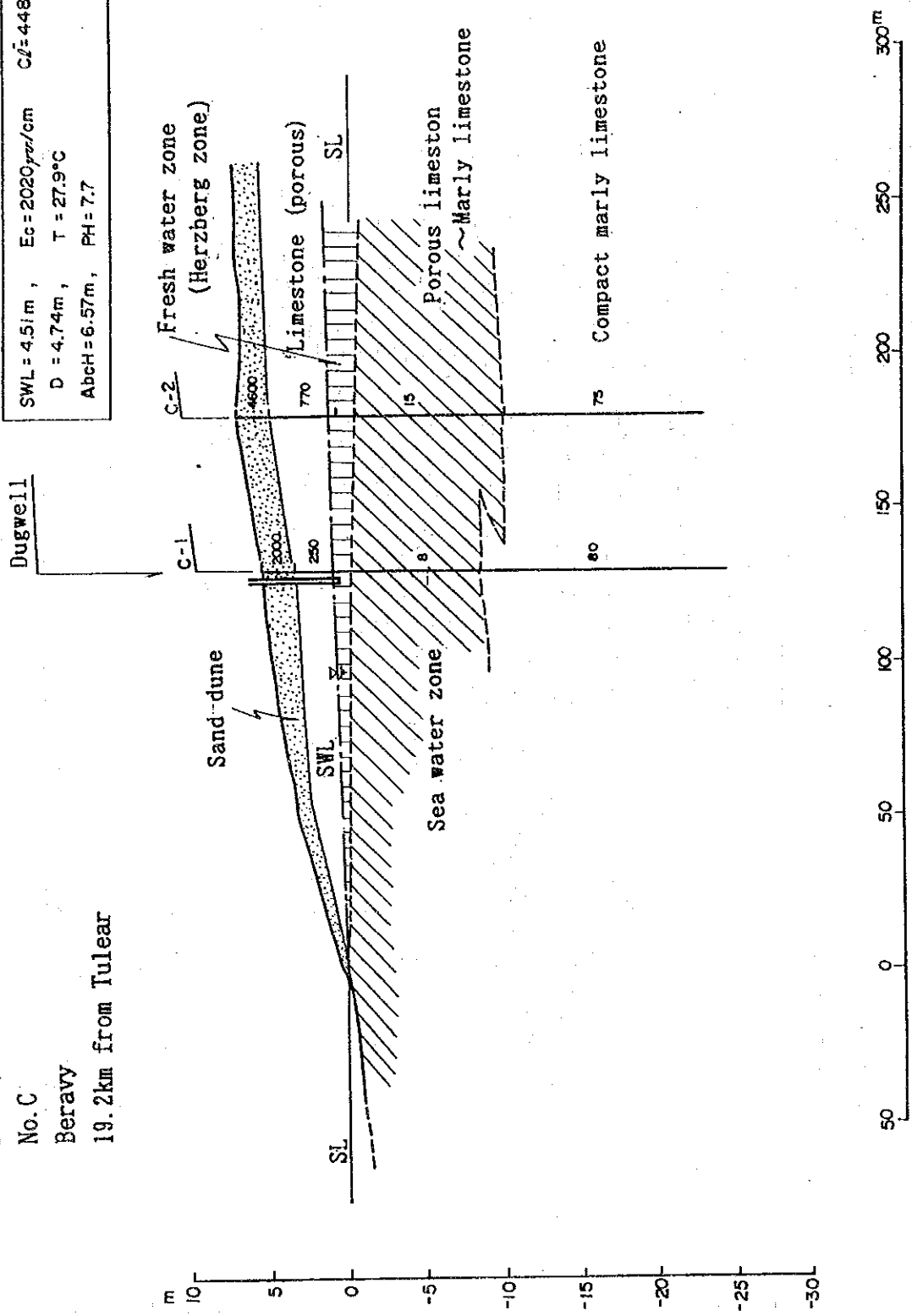


Figure 3.6.13 Profil hydrogéologique à Beravy

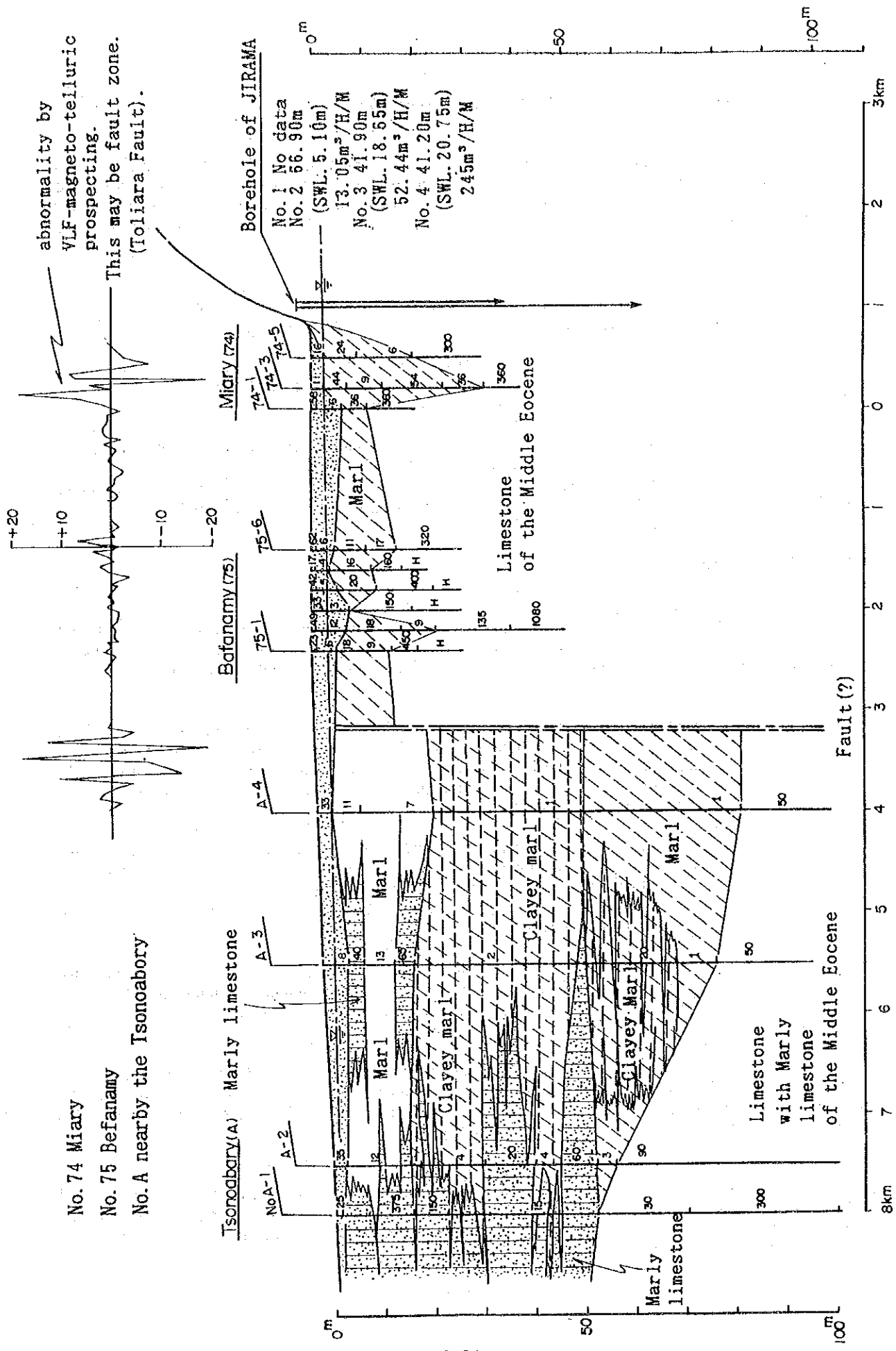


Figure 3.6.14 Profil hydrogéologique de la plaine de Toliara

3.7 Forage test et essai de pompage

Les travaux de la Première Phase nous ont conduits à retenir 48 villages potentiels pour une étude plus détaillée ainsi que 8 villages pour une étude de réhabilitation. Les critères qui ont été adoptés dans l'option de ces villages candidats sont les suivants:

- Grand potentiel de ressources en eaux souterraines, justifié du point de vue hydrogéologie;
- Accessibilité routière vers le village pouvant permettre la mobilisation d'équipements lourds destinés au forage et au pompage;
- Besoins pressants en eau potable de la collectivité;
- Engagement de la collectivité dans le fonctionnement et l'entretien de leur infrastructure d'AEP.

3.7.1 Forage test

A l'issue de différentes études menées dans le cadre de la Deuxième Phase, les sites objectifs ont été finalement choisis dans les perspectives suivantes (cf. Fig. 3.7.1):

- Examiner le niveau d'eau souterraine et les caractéristiques hydrauliques de nappes aquifères de sorte à aboutir à une évaluation sur l'ensemble de potentiels de ressources en eau souterraine de la Zone de l'Etude;
- Examiner la potabilité de l'eau souterraine et mettre en évidence, par comparaison de composants chimiques de l'eau, des nappes aquifères des différentes zones, le mécanisme d'écoulement de l'eau souterraine;
- Retenir les villages prioritaires et établir un plan de développement des eaux souterraines à l'adresse de ces villages ainsi retenus.

Le forage d'essai, accompagné d'essai de pompage, a débuté le 19 juin 1990 pour se terminer le 1er novembre de la même année (Tab. 3.7.1). La profondeur totalisant tous les 26 forages a été de l'ordre de 2.096m.

Les résultats du forage d'essai sont donnés en récapitulation dans le tableau 3.7.1 et les relevés plus détaillés et les logs sont renvoyés dans le Rapport supplémentaire (1).

Nous donnons dans ce qui suit un certain nombre de constats faits à travers le forage d'essai:

a) Befandriana et ses environs

5 forages ont été exécutés avec une profondeur moyenne de 45,5m. Les principales nappes aquifères, constituées de grès à grain moyen et grossier et de grès graveleux de l'Eocène supérieur, reposent dans une profondeur de 15 à 50m. Leur productivité est importante avec capacité spécifique de 23,03 à 304,57ℓ/mn./m. La qualité de l'eau est bonne. La conductibilité électrique varie de 141 à 368μS/cm, sauf pour Manoy (22) dont la valeur est estimée à 1.520μS/cm.

b) Anaiatelo (28)

Une excellente nappe aquifère a été confirmée dans le forage d'une profondeur de 35m. Elle est formée des calcaires poreux de l'Eocène supérieur. La capacité aquifère et la conductibilité électrique sont respectivement de 5.016,67ℓ/mn./m et de 362S/m. La qualité de l'eau souterraine est bonne.

c) Basibasy (27)

Une reconnaissance sur place de la Première Phase a mis en évidence que l'eau d'un ancien forage peu profond de 30m, construit par US.AID, est salée et amère. Voici les résultats de notre forage d'essai: capacité spécifique à 6,75 ℓ/mn./m, conductibilité électrique à 2.740μS/cm (légèrement amère). La crépine a été mise en place à la profondeur comprise entre 51,5 à 79,5m dans les calcaires marneux comportant une faible quantité de gypses.

d) De Soahazo (52) à Benetsy (68)

A travers des reconnaissances sur terrain menées dans les Première et Deuxième Phases on a su que l'eau est salée non seulement dans l'ancien forage US.AID profond de 30m environ, mais également dans les puits existants. Le forage d'essai a eu donc pour but de connaître la cause de ce goût saumâtre et de se procurer une eau plus appropriée du point de vue qualité et quantité.

Comme le montre le tableau 3.7.1, les résultats du forage d'essai ont été satisfaisants après la modification de la position de la crépine (de -47,1 à -63,1m du niveau du sol dans le cas de Soahazo).

Par contre, le débit ainsi que la qualité de l'eau sont peu satisfaisants lorsqu'elle vient d'une nappe aquifère constituée de grès ou de grès marneux de faible épaisseur (inférieure à 3m), enfermée dans une marne épaisse ou dans un sédiment marneux.

e) Ankilimalinika

Befanamy (75), village initialement retenu pour la Première Phase de l'étude, a été remplacé par Ankilimalinika (101). A Befanamy et Mirary (74), l'alimentation en eau est assurée par la JIRAMA et les habitants de ces villages peuvent avoir suffisamment de l'eau.

A Ankilimalinika, il existe 3 puits busés et 2 forages peu profonds (US.AID, actuellement abandonnés). L'eau est toujours salée avec une conductibilité électrique de 2.800 à 5.000 μ S/cm. De ce fait, les villageois d'Ankilimalinika ont donc l'habitude d'aller chercher de l'eau jusqu'à la rivière de Manombo, à 5km de leur village.

Un nouveau forage d'une profondeur de 66m y a été ainsi tenté afin de mettre en évidence l'origine de la salinité. Les résultats des forages, effectués à Benetsy et Ankilimalinika, sont donnés dans la figure 3.7.2 pour ce qui concerne les conditions hydrogéologiques. L'eau des nappes aquifères de niveau supérieur, composées de grès peu épais dans une marne épaisse a une qualité chimique bien pauvre. En revanche, dans les nappes inférieures comportant les grès épais de plus de 3m, la qualité chimique de l'eau est généralement meilleure (Fig.3.7.2).

f) Befoly (78)

Befoly est doté de toutes les caractéristiques propres au plateau calcaire de l'Eocène inférieur et moyen.

Le forage a débuté d'abord avec une méthode utilisant la boue, puis à l'aide d'un marteau fond de trou à partir de la profondeur de 50,50m. La vitesse du forage a augmenté, dès l'emploi d'un marteau fond de trou, de plusieurs mètres à 20~50m par jour. Le forage est ensuite arrêté à 202m, en raison de la force portante limitée de la sondeuse. Le niveau d'eaux souterraines confirmé est de 178,56m au-dessous de la surface du sol.

Le débit ainsi offert s'est toutefois limité à 10ℓ/mn., ce qui nous a conduit à placer un tubage 6". Des travaux supplémentaires de forage avec un tricône 5 5/8" et sans masse-tige ont avancé jusqu'à la profondeur de 226,5m, à savoir jusqu'à l'épuisement des tiges disponibles. Ce faisant, une partie des formations calcaires fissurées ont été découvertes à 224,5m de profondeur dont le débit et la conductibilité électrique ont été respectivement de 110ℓ/mn. et de 403μS/cm.

Partant du constat ci-dessus il est recommandé de faire un forage d'une profondeur supérieure à 250m s'il s'agit de développement d'eaux souterraines dans un plateau calcaire.

g) Tranokaky (95)

Un forage profond de 181m a été exécuté afin d'étudier les conditions hydrogéologiques ainsi que la disponibilité de ressources en eau souterraine. La zone est constituée des formations du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur, intercalées de coulées basaltiques.

Le forage d'essai a relevé que la principale nappe aquifère de la zone est formée partiellement par des basaltes fracturés d'une épaisseur approximative de 125m. Le débit a été de 110ℓ/mn. et la conductibilité électrique de 894μS/cm. Une couche imperméable d'argile ou argilite de teinte noire se situe dans une profondeur comprise entre 150 et 181m.

h) Maninday (88) et Analamary (96)

Les zones sont caractérisées par les dépôts continentaux du Jurassique inférieur (Isalo II).

Les logs du forage montrent que le lithofaciès des nappes aquifères est constitué essentiellement de grès grossiers et brun rougeâtre ou blanchâtre, riches en grains quartzeux. Le débit pompé a été de 480ℓ/mn. (capacité spécifique à 43,95ℓ/mn./m) à Maninday et de 720ℓ/mn. (41,76ℓ/mn./m) à Analamary.

Les nappes aquifères situées dans le groupe de l'Isalo II sont, en général, hautement productives et la qualité de leur eau s'avère bonne (conductibilité électrique variant de 106 à 142μS/cm).

1) Tandrano (34)

Un forage profond de 150,1m a été exécuté afin d'étudier les conditions hydrogéologiques ainsi que la disponibilité de ressources en eau souterraine. La zone est constituée des dépôts continentaux du Jurassique moyen (Isalo III₂). Selon le forage d'essai, le lithofaciès des nappes aquifères de la zone présente principalement les grès bruns ou brun grisâtre à grain fin ou moyen.

Le débit au pompage a été de 660l/mn. avec une capacité spécifique de 41,67l/mn./m. La productivité et la qualité de l'eau sont similaires à celles de la nappe aquifère du groupe de l'Isalo II.

1) Berenty-Betsileo (46)

Parmi les villages candidats, Berenty-Betsileo est le plus grand avec sa population estimée à 8.000 habitants environ. La principale source d'eau pour ce village est le cours d'eau de l'Isahena.

Selon les reconnaissances hydrogéologiques effectuées durant la Première Phase, à Berenty-Betsileo et dans ses zones avoisinantes les terrains sont constitués de sédiments néritiques avec des dépôts karstiques tels la marne et le grès marneux ou silteux fins. La disponibilité quantitative et la qualité des eaux souterraines restent modestes.

Le forage d'essai a été alors exécuté à Berenty-Betsileo dans le but principal de vérifier les pauvres conditions des eaux souterraines. Les résultats de ce forage sont donnés ci-dessous. La qualité de l'eau n'est pas apte à la potabilité.

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------------|
| Lithofaciès de la nappe aquifère | Marne ou grès marneux à grain fin ou moyen |
| Débit au pompage | 60l/mn. (débit spec. 0,67l/mn./m) |
| Conductibilité | 2.190µS/cm (Cl: 248mg/l) |
| pH | 8,4 |

3.7.2 Essai de pompage

Pour ce qui est de l'essai de pompage, effectué sur 25 forages d'essai, il comprend trois différentes étapes: pompage par palier (mesure du rabattement), pompage à débit constant ainsi que la mesure de la remontée. Pour ce faire, deux pompes submersibles munies d'un moteur ont été utilisées.

a) Essai de pompage par palier

En principe, 5 mesures du rabattement étaient exécutées pour déterminer les valeurs optimales de décharge admissible pour un puits donné. Durant l'essai, la vitesse de pompage, prédéterminée sur la base des résultats de l'essai de pompage préliminaire, a été montée graduellement à 5 reprises dans un intervalle régulier. Une durée de pompage pour chaque mesure correspondait à 2~3 heures.

b) Essai de pompage à débit constant

Cet essai est effectué après celui du pompage par palier, au moment où l'eau remonte au niveau statique original. Le débit constant du pompage est prédéterminé selon les résultats de l'essai de pompage par palier et de la mesure du rabattement. La durée du pompage est, en principe, de 48 heures.

c) Mesure de la remontée

Le temps de la remontée a été mesuré à intervalles réguliers pour une durée de 24 heures, à la fin du pompage à débit constant.

Aux forages mentionnés ci-haut, à l'essai de pompage normal s'est ajouté l'essai de pompage par "air lift" en tant que partie de travaux de développement du puits. La durée du pompage à air lift s'étale sur 24 heures.

Les rapports temps/rabattement et temps/remontée du niveau sont tracés sur papiers logarithmique ou semi-logarithmique pour pouvoir calculer la transmissibilité, la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement. Les méthodes d'analyse adoptées pour la présente étude sont celles de *Theis* et *Jacob*, applicables aux nappes captives dans des conditions instables.

Les paramètres aquifères sont récapitulés dans le tableau 3.7.1 (voir le Recueil de données pour ce qui concerne les résultats détaillés des essais de pompage). La description des propriétés des principales nappes aquifères, appuyée sur les résultats des essais de pompage, est faite, selon la zone et le type de la nappe, dans la sous-section suivante.

3.7.3 Propriétés de nappe aquifère

Les facteurs majeurs hydrauliques pouvant agir sur le mouvement et le potentiel de développement des eaux souterraines sont les capacités de transmettre de l'eau et de produire de l'eau par stockage. Ces caractéristiques, appelées respectivement la transmissibilité, la capacité spécifique et l'emmagasinage, peuvent être connues par l'essai de pompage.

La capacité spécifique est égale au débit obtenu en fonction du rabattement du niveau d'eau et lié étroitement à la transmissibilité.

La transmissibilité peut être obtenue par la formule suivante:

$$T = aQ/s + aSc$$

où: T : Transmissibilité ($m^2/mn.$)
 Sc : Capacité spécifique ($l/mn./m$)
 s : Rabattement dans le puits (m)
 Q : Débit ($l/mn.$)
 a : Constante adimensionnelle⁽¹⁾

⁽¹⁾ A calculer par voies empiriques, mais Logan (1964) propose $a=1,22$

Les résultats de l'essai de pompage effectué aux nouveaux forages qui ont été exécutés dans le cadre de la présente étude sont donnés dans le tableau 3.7.1. Les propriétés des principales nappes reposant dans le Zone de l'Etude peuvent être résumées comme suit:

a) Dépôts continentaux du Jurassique inférieur (Isalo II)

Dans la zone, 2 puits ont été forés à Maninday (88) et à Analamary (96). Les nappes aquifères sont constituées essentiellement des grès grossiers riches en grains quartzeux et des grès à grain fin ou moyen ou graveleux.

Les constantes aquifères ci-dessous sont celles qui ont été obtenues au terme de l'essai de pompage:

| | Maninday (88) | Analamary (96) |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Capacité spécifique ($\text{l}/\text{mn.}/\text{m}$) | 43,53 | 41,76 |
| Transmissibilité ($\text{m}^2/\text{mn.}$) | | |
| - Theis | $5,97 \times 10^{-2}$ | $5,16 \times 10^{-2}$ |
| - Jacob | $8,23 \times 10^{-2}$ | $5,60 \times 10^{-2}$ |
| - Récupération | $5,22 \times 10^{-2}$ | $3,92 \times 10^{-2}$ |

Selon les résultats de l'essai de pompage et de l'étude hydrogéologique, il est estimé que les nappes dans les dépôts continentaux du Jurassique inférieur (Isalo II) sont, dans l'ensemble, hautement productrices. Le débit du pompage qu'on peut s'y attendre varie de 480 $\text{l}/\text{mn.}$ (Maninday) à 720 $\text{l}/\text{mn.}$ (Analamary).

b) Sédiments néritiques du Jurassique inférieur
(Isalo II)

Les formations du groupe de l'Isalo II qu'on rencontre à Berenty-Betsileo (46) et ses environs comprennent essentiellement des sédiments néritiques, constitués de marnes, grès marneux, marnes sableuses, grès fins et grès silteux. La qualité des eaux peu profondes n'est pas bonne à cause de leur goût salé.

Un forage d'une profondeur 140m a été donc exécuté afin d'examiner les propriétés des aquifères dans une portion plus profonde (100m), mais les résultats, indiqués ci-dessous, n'étaient pas comme prévus que ce soit en quantité ou qualité:

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| Capacité spécifique ($\text{l}/\text{mn.}/\text{m}$) | 1,53 |
| Transmissibilité ($\text{m}^2/\text{mn.}$) | |
| - Theis | $2,76 \times 10^{-3}$ |
| - Jacob | $3,55 \times 10^{-3}$ |
| - Récupération | $3,27 \times 10^{-3}$ |
| Conductibilité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 2.190 |
| Cl (mg/l) | 248 |
| pH | 8,4 |

c) Dépôts continentaux du Jurassique moyen
(Isalo III)

Un forage profond de 150m a été exécuté à Tandrano (34). Les principales nappes aquifères au site du forage sont composées par des grès à grains fins ou moyens et grès fins avec grès silteux peu épais. Les résultats ci-dessous portant sur les constantes aquifères ont été obtenus par l'essai de pompage:

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| Capacité spécifique ($\text{l}/\text{mn.}/\text{m}$) | 41,67 |
| Transmissibilité ($\text{m}^2/\text{mn.}$) | |
| - Theis | $8,46 \times 10^{-2}$ |
| - Jacob | $8,45 \times 10^{-2}$ |
| - Récupération | $6,80 \times 10^{-2}$ |

Les constantes sont similaires à celles des dépôts continentaux du Jurassique inférieur (Isalo II) et il est estimé que les nappes aquifères sont hautement productrices. Le débit maximal a été de 660 $\text{l}/\text{mn.}$

d) Formations du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec basaltes

Un forage d'une profondeur de 181m a été exécuté à Tranokaky (95). La principale nappe aquifère est constituée en partie de basaltes fracturés épais de 125m environ. Le débit maximal au pompage a été de 110 $\text{l}/\text{mn.}$ Les résultats de l'essai de pompage sont les suivants:

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| Capacité spécifique ($\text{l}/\text{mn.}/\text{m}$) | 41,67 |
| Transmissibilité ($\text{m}^2/\text{mn.}$) | |
| - Theis | $8,88 \times 10^{-3}$ |
| - Jacob | $5,05 \times 10^{-3}$ |
| - Récupération | $8,04 \times 10^{-3}$ |

Selon les résultats du forage d'essai et les reconnaissances hydrogéologiques, la productivité de ces formations est estimée modeste dans l'ensemble.

Quant aux nappes aquifères reposant dans les grès du Crétacé, notre forage d'essai n'a pas pu fournir des renseignements valables, mais elles sont hautement productrices en général.

e) Calcaires de l'Eocène inférieur

Un forage profond de 226,5m a été exécuté à Befoly (78) pour étudier les propriétés des nappes aquifères dans les calcaires de l'Eocène inférieur. Malheureusement, les constantes relatives à ces formations ne sont pas disponibles, en raison de la limite technique de la sondeuse et des équipements utilisés.

Cependant, les coefficients qu'on a pu relevés en ce qui concerne les calcaires de l'Eocène moyen et supérieur peuvent être mis en application pour les calcaires de l'Eocène inférieur dont le lithofaciès, d'après ce qu'on a pu constater durant les reconnaissances sur terrain, ne diffère presque pas de celui des premiers:

| Sites | Capacité spécifique (l/mn./m) | Débit au pompage (l/mn.) | Rabattement du niveau (m) |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Analatelo (28) | 5.016,67 | 301 | 0,06 |
| Manombo (63) | 423,08 | 165 | 0,39 |
| Manoroka (81) | - | 158 | 0,00 |
| JIRAMA/Miary No.2 | 217,50 | | |
| JIRAMA/Miary No.3 | 874,00 | | |
| JIRAMA/Miary No.4 | 4.083,33 | | |

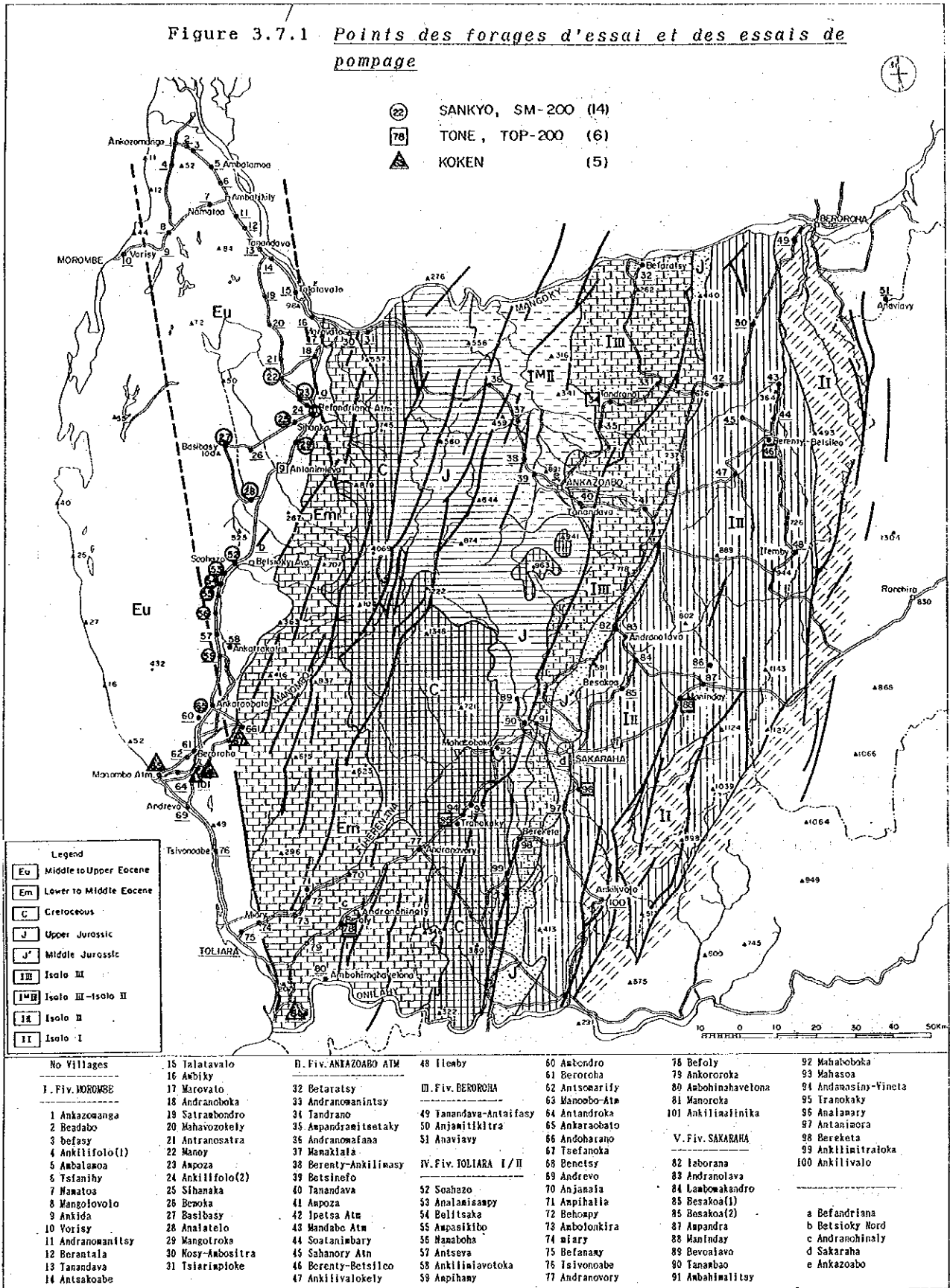
f) Sédiments néritiques de l'Eocène moyen et supérieur

La basse région de la Zone de l'Etude comporte l'alternation de divers sédiments néritiques tels le calcaire, le calcaire marneux, la marne, la marne sableuse, le grès marneux et le grès à grains fins, moyens et grossiers, d'après les résultats obtenus du forage test et des reconnaissances hydrogéologiques.

Une bonne nappe aquifère, dont la capacité spécifique peut dépasser 40l/mn./m, est généralement constituée des calcaires, calcaires marneux et grès à grains moyens ou grossiers d'une épaisseur de plus de 3m. En revanche, si une nappe est située dans les marnes sableuses, grès marneux et grès de faible épaisseur enfermés dans les marnes épaisses, elle n'est que faiblement productive avec une qualité plutôt modeste.

La capacité spécifique de la zone considérée varie entre 3,71l/mn./m à Analamisampy (53) et 5,016l/mn./m à Analatelo (28). La productivité aquifère est importante dans l'ensemble (Tab.4.5).

Figure 3.7.1 *Points des forages d'essai et des essais de pompage*



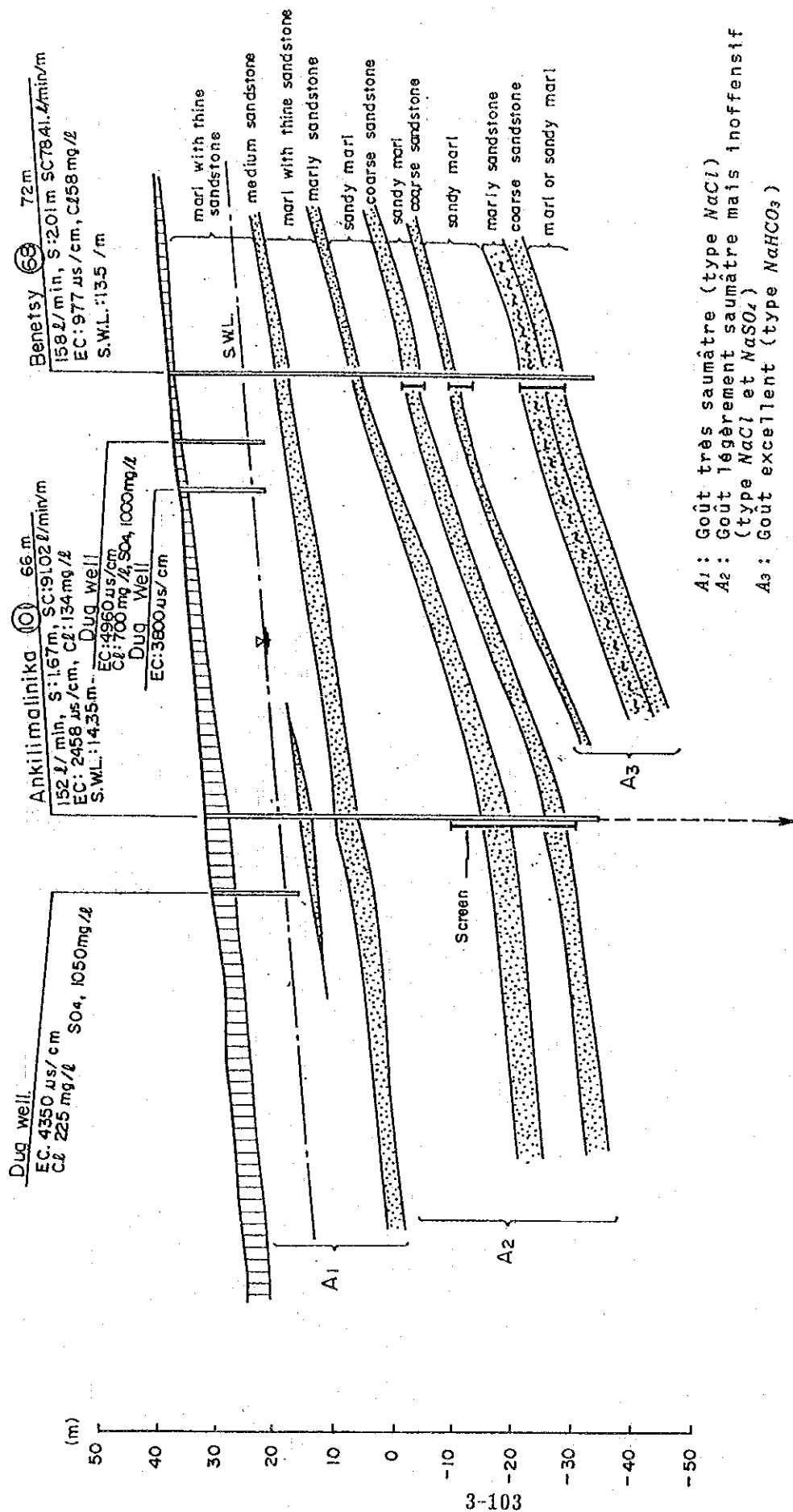


Figure 3.7.2 Profil hydrogéologique entre Ankilimalinika et Benetsy

Tableau 3.7.1 Résultats des forages test et des essais de pompage

| Well No. & Location | Drilling Started Rig | Drilled Depth (GL-m) | W.L. Depth (GL-m) | Results of Test Drilling | | Lithofacies of Aquifer | Results of Pumping Test | | | | Water Quality | |
|---------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----|
| | | | | Screen Position (GL-m) | Discharge (Q) /min. | | Drawdown (S) m | Specific Capacity /min./m | Transmissivity m ² /min. | Electric Conductivity us/cm | Cl mg/l | pH |
| 22Manoy | SANKYO 25.08.90 SM-200 31.08.90 | 42.0 | 8.37 | 18.4-38.4 (4") | 280 (-308) | 12.16 | 23.09 | 4.34x10 ⁻¹ | 3.32x10 ⁻¹ | 1.520 | 2887.1 | |
| 23Ampoza | SANKYO 18.08.90 SM-200 24.08.90 | 50.0 | 5.28 | 15.5-23.5 (4") 2 31.5-47.5 (4") | 283 (-310) | 9.92 | 28.53 | 6.9x10 ⁻¹ | 3.38x10 ⁻¹ | 368 | 127.3 | |
| 25Shanaka | SANKYO 01.09.90 SM-200 06.09.90 | 41.0 | 5.74 | 19.5-38.5 (4") | 300 (-307) | 1.86 | 16.12 | 6.2x10 ⁻¹ | 3.33x10 ⁻¹ | 310 | 117.5 | |
| 27Basibasy | SANKYO 29.09.90 SM-200 06.10.90 | 33.0 | 14.49 | 51.5-79.5 (4") | 201 (-222) | 29.78 | 6.75 | 8.8x10 ⁻¹ | 1.47x10 ⁻¹ | 2.740 | 7205.8 | |
| 28Analatele | SANKYO 14.09.90 SM-200 01.10.90 | 35.0 | 3.18 | 11.5-31.5 (4") | 301 (-321) | 0.06 | 5.01 | 6.67 | - | 352 | 127.4 | |
| 29Mangotroka | SANKYO 07.09.90 SM-200 13.09.90 | 41.0 | 3.57 | 14.5-38.5 (4") | 336 | 1.72 | 195.35 | - | 1.14x10 ⁻¹ | 141 | 127.0 | |
| 52Soahazo | SANKYO 03.07.90 SM-200 12.07.90 | 78.0 | 36.17 | 47.1-63.1 (4") | 180 (-293) | 1.08 | 120.37 | - | 1.13x10 ⁻¹ | 1.080 | 707.3 | |
| 52Soanazo | SANKYO 13.07.90 SM-200 17.07.90 | 34.0 | 4.90 | 7.1-15.1 (4") 2 23.1-27.1 (4") | 167 | 5.72 | 29.20 | 1.2x10 ⁻¹ | 4.59x10 ⁻¹ | 3.650 | 2527.4 | |
| 53Analamisampy | SANKYO 18.07.90 SM-200 25.07.90 | 71.0 | 13.11 | 7.5-11.5 (4") 2 31.5-35.5 (4") 2 43.5-47.5 (4") 2 51.5-55.5 (4") 2 59.5-67.5 (4") | 30 (-112) | 8.09 | 3.71 | 1.8x10 ⁻¹ | 3.20x10 ⁻¹ | 1.350 | 2067.2 | |
| 54Bellitsaka | SANKYO 25.07.90 SM-200 31.07.90 | 66.0 | 12.78 | 31.5-47.5 (4") | 200 (-270) | 14.70 | 13.61 | 0.8x10 ⁻¹ | 1.08x10 ⁻¹ | 2.080 | 4447.0 | |
| 55Ampasikibo | SANKYO 01.08.90 SM-200 06.08.90 | 50.0 | 9.16 | 23.5-43.5 (4") | 280 (-287) | 6.96 | 40.23 | 3.0x10 ⁻¹ | 1.22x10 ⁻¹ | 817 | 227.2 | |
| 56Namabaha | SANKYO 07.08.90 SM-200 15.08.90 | 83.0 | 16.50 | 39.5-47.5 (4") 2 63.5-73.5 (4") | 247 (-263) | 15.67 | 14.82 | 1.1x10 ⁻¹ | 3.10x10 ⁻¹ | 975 | 957.3 | |
| 59Amplihany | SANKYO 07.10.90 SM-200 14.10.90 | 53.0 | 8.30 | 23.5-51.5 (4") | 296 (-315) | 7.03 | 42.11 | - | 2.45x10 ⁻¹ | 996 | 867.2 | |
| 65Ankarabato | SANKYO 04.06.90 SM-200 02.07.90 | 75.5 | 3.40 | 15.2-19.2 (4") 2 47.2-51.2 (4") 2 55.2-75.2 (4") | 339 (-361) | 2.93 | 115.70 | 4.9x10 ⁻¹ | 1.67x10 ⁻¹ | 849 | 627.2 | |
| Betanariana | SANKYO 19.09.90 SM-200 22.09.90 | 53.0 | 12.30 | 18.0-25.0 (6") 2 33.0-38.0 (6") | 300 | 0.985 | 304.57 | 2.8x10 ⁻¹ | 5.54x10 ⁻¹ | 555 | 167.1 | |
| 63Manombo-Atm | KOKEN 26.09.90 30.09.90 | 27.0 | 4.33 | 11.5-23.5 (6") | 165 (-263) | 0.39 | 423.08 | - | 2.36x10 ⁻¹ | 1.000 | 527.2 | |
| 67Tsetanoka | KOKEN 08.10.90 12.10.90 | 45.0 | 24.30 | 22.0-42.0 (4") | 142 (-144) | 3.05 | 46.58 | 2.3x10 ⁻¹ | 1.13x10 ⁻¹ | 502 | 107.4 | |
| 68Benetsy | KOKEN 01.10.90 06.10.90 | 72.0 | 13.51 | 39.5-43.5 (6") 2 47.5-51.5 (6") 2 59.5-67.5 (6") | 158 (-161) | 2.015 | 78.41 | - | 2.33x10 ⁻¹ | 977 | 587.4 | |
| 101Ankivilimalinika | KOKEN 24.10.90 28.10.90 | 66.0 | 14.35 | 42.0-62.0 (4") 2 42-47 sandy marl 58-60 coarse sandstone with thine marl | 152 (-155) | 1.67 | 91.02 | - | 3.02x10 ⁻¹ | 2.458 | 1347.5 | |
| 81Maaroka | KOKEN 15.10.90 20.10.90 | 58.0 | 5.23 | 30.0-50.0 (4") 2 30-37 coarse sandstone 37-40 porous limestone 40-43 coarse sandstone 49-50 fissured limestone | 158 | 0.000 | - | - | - | 1.210 | 957.4 | |

| Well No. & Location | Drilling Started Com Rig | Depth (GL-m) | Results of Test Drilling | | Lithofacies of Aquifer | Results of Pumping Test | | | | | Water Quality | | |
|---------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|--------|
| | | | Screen Position (GL-m) | W.L. (GL-m) | | Discharge (Q) /min. | Drawdown (S) m | Specific Capacity l/min./m | Transmissivity m ² /min. | Recovery | Electric Conductivity μs/cm | Cl mg/l | pH |
| 73 Kefoly | TOP-20015.08.90 | 226.5 | 178.550 | 83.5-195.5 (6") | Porous & fissured limestone 10 l/min. @100 l/min. | (air lifting) 110 | - | - | - | - | 403 | 147.8 | |
| | | | 224.5-226.5 | open hole (5 1/2") | | | | | | | | | |
| 95 Manakay | TOP-20023.07.90 | 181.1 | 16.570 | 55.5-58.5 (6") | Fractured basalt fractured basalt & fine sandstone (C-3) | 38.7 (~110) | 3.32 | 11.658 | 88x10 ⁻³ | 5.05x10 ⁻³ | 8.04x10 ⁻³ | 894 | 627.5 |
| | | | 39.5-39.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 75.5-83.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 99.5-103.5 (6") | | | | | | | | | | |
| 34 Manrano | TOP-20028.08.90 | 150.1 | 32.720 | 35.5-39.5 (6") | fine to medium sandstone fine sandstone fine sandstone & silty sandstone (III) | 300 (~650) | 7.20 | 41.678 | 46x10 ⁻³ | 8.45x10 ⁻³ | 8.86x10 ⁻³ | 410 | 167.4 |
| | | | 99.5-103.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 107.5-119.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 135.5-139.5 (6") | | | | | | | | | | |
| 46 Berenty-Betsileo | TOP-20007.09.90 | 140.0 | 15.540 | 35.5-43.5 (6") | marl to marly sandstone fine sandstone (with medium s.s.) silty sandstone & sandy marl silty sandstone marly sandstone (III) | 68 (~80) | 44.45 | 1.532 | 76x10 ⁻³ | 3.55x10 ⁻³ | 3.27x10 ⁻³ | 2.190 | 2488.4 |
| | | | 59.5-63.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 71.5-75.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 78.5-91.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 107.5-111.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 127.5-131.5 (6") | | | | | | | | | | |
| 88 Maninday | TOP-20031.07.90 | 73.5 | 16.220 | 15.5-31.5 (6") | weathered coarse sandstone & gravelly sandstone weathered coarse sandstone (III) | 360 (~480) | 3.27 | 43.635 | 97x10 ⁻³ | 8.23x10 ⁻³ | 5.26x10 ⁻³ | 106 | 105.9 |
| | | | 35.5-43.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 51.5-55.5 (6") | | | | | | | | | | |
| 96 Malamary | TOP-20010.08.90 | 204.0 | 35.000 | 31.5-39.5 (6") | weathered coarse sandstone coarse sandstone coarse sandstone with fine sandstone beds Isalo I F. | 360 (~600) | 8.62 | 41.765 | 16x10 ⁻³ | 5.06x10 ⁻³ | 3.92x10 ⁻³ | 142 | 85.4 |
| | | | 51.5-55.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 59.5-75.5 (6") | | | | | | | | | | |
| | | | 135.5-139.5 (6") | | | | | | | | | | |

Tableau 3.7.2 Propriétés des principales nappes aquifères

| Aquifer | Specific capacity (l./min./m) | Transmissivity (m ² /min.) | | | Remarks |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | | Theis | Jacob | Recovery | |
| Neritic sediments of the Middle to Upper Eocene | 6.75-304.57 (119.92) | 8.89x10 ⁻² -6.28x10 ⁻¹ (2.18x10 ⁻¹) | 9.76x10 ⁻² -6.54x10 ⁻¹ (3.88x10 ⁻¹) | 1.47x10 ⁻² -5.38x10 ⁻¹ (3.95x10 ⁻¹) | Except Analateio (28) |
| | 13.61-120.37 (43.39) | 1.08x10 ⁻² -1.30x10 ⁻¹ (5.34x10 ⁻²) | 1.08x10 ⁻² -1.13x10 ⁰ (2.75x10 ⁻¹) | 8.65x10 ⁻³ -8.20x10 ⁻¹ (2.75x10 ⁻¹) | Except Analamisampy (53) |
| Limestone of the Lower to Middle Eocene | 46.56-115.70 (82.92) | 1.23x10 ⁻¹ -1.49x10 ⁻¹ (1.36x10 ⁻¹) | 1.18x10 ⁻¹ -3.02x10 ⁻¹ (2.05x10 ⁻¹) | 1.46x10 ⁻¹ -2.38x10 ⁻¹ (1.92x10 ⁻¹) | |
| | 217.50-5016.67 (2122.92) | — | — | 2.36x10 ⁰ - | *1 T (av.) : 2.59x10 ⁰ m ² /min. |
| Basaltic rocks of the Upper Cretaceous | 11.65 | 8.88x10 ⁻³ | 5.05x10 ⁻³ | 8.04x10 ⁻³ | |
| Continental deposits of the Middle Jurassic | 41.67 | 8.46x10 ⁻² | 8.45x10 ⁻² | 6.86x10 ⁻² | Isalo ² III F. |
| Continental deposits of the Lower Jurassic | 41.76-43.53 (42.65) | 5.06x10 ⁻² -5.97x10 ⁻² (5.57x10 ⁻²) | 5.16x10 ⁻² -8.23x10 ⁻² (6.65x10 ⁻²) | 3.92x10 ⁻² -5.26x10 ⁻² (4.59x10 ⁻²) | Isalo II F. Except Berenty (46) |

Les chiffres mis entre parenthèses sont les valeurs moyennes.
*1 Valeurs estimées à partir des données des forages d'Analateio (28), Manombo (63) et No.2 à 4 de la JIRAMA à Miary.

3.8 Analyse de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau a été analysée en ce qui concerne les échantillons prélevés aux villages accessibles de la Zone de l'Etude. L'option sur les rubriques à analyser est déterminée de façon à pouvoir mesurer la potabilité de l'eau et mettre en évidence, pour chacun des sites répartis dans la Zone, les caractéristiques qualitatives.

Madagascar n'a pas encore standardisé les normes pour l'eau potable, mais les recommandations de l'*Organisation Mondiale de la Santé* (OMS;WHO) sont, en principe, mises en application avec des modifications à apporter selon la source d'eau et la région. Le tableau 3.8.1 met en parallèle les normes de l'OMS, du Japon ainsi que celles adoptées par la JIRAMA pour la région de Toliara.

Pour l'analyse, nous avons utilisé un coffret type DR/200 qui contient pHmètre, instrument de mesure conductibilité/TDS, titrimètre, photomètre automatique et plusieurs types de réactif. Les éléments et méthode d'analyse sont renvoyés dans le tableau 3.8.2. *Br, Cl₂, I, Cr₆₊, Cu* et *SO₂* n'ont pas fait l'objet de notre analyse.

L'origine des échantillons qu'on a analysés peut se distinguer selon la phase de l'Etude: sources d'eau existantes pour la Première Phase et puits forés à titre d'essai dans le cadre de la présente étude ou sources/rivières complémentaires pour la Deuxième Phase.

3.8.1 Sources d'eau existantes

Les résultats obtenus de l'analyse sur les échantillons prélevés des puits, sources et rivières sont tracés dans un diagramme triaxial indiquant la teneur en ions (Fig.4.3). La présente sous-section aura donc pour but d'examiner à la fois la potabilité et la teneur en ions de l'eau analysée de différentes régions.

a) Les eaux au niveau des villages (1) à (4), (8) et (9) sont principalement de type chlorure de sodium (*NaCl*: IV) venant du delta du Mangoky et influencées par l'eau de mer. La teneur varie de 20,7mg/l à Ankida(9) à 1.240mg/l à Ankilifolo(4). La convenance en tant qu'eau potable est généralement bonne comme montrée à l'Annexe B-2. Il est à remarquer toutefois que certains échantillons contiennent des ions dont la quantité dépasse la tolérance prescrite par la norme pour l'eau potable:

| Villages | No. | Teneurs en mg/l |
|-------------|-----|-----------------|
| Befasy | 3 | Fe/1,08 |
| Ankiliifolo | 4 | Cl/606 |
| Mangolovolo | 8 | Fe/2,10 |

b) Les eaux échantillonnées aux villages (5) à (7), (11) à (18), (21), (23) à (25), (28), (29), (54) à (59) et (63) à (67) sont de type bicarbonate de calcium ($Ca(HCO_3)_2$: I), similaire à l'eau de rivière ou à celle du lit fluvial de la Zone de l'Etude. La teneur varie de 76mg/l à Ankatrakatra(58) à 780mg/l à Ampasikibo(55).

Comme ci-dessous, la qualité chimique des eaux souterraines peu profondes n'est pas totalement satisfaisante dans ces villages. En particulier, les eaux des villages (53) à (59) et (62) à (67) comportent une proportion fort élevée d'ions et leurs dureté totale et Ca excèdent les limites maximales de norme avec un goût saumâtre:

| Villages | No. | Teneurs en mg/l |
|----------------|-----|--------------------------|
| Andranomanitsy | 11 | Ca/95 |
| Marobato | 17 | Ca/85 |
| Antranosatra | 21 | Fe/1,70 |
| Beranala | 12 | Mn/1,3 |
| Ankiliifolo | 24 | Ca/168 |
| Analatelo | 28 | Ca/154 |
| Belitsaka | 54 | Ca/159 |
| Ampasikibo | 55 | Dureté totale/652 Ca/243 |
| Namaboaha | 56 | Ca/142 |
| Ankatrakatra | 58 | Fe/2,2 |
| Ampihamy | 59 | Ca/98 |
| Manombo-Atm. | 63 | Ca/125 |
| Antandroka | 64 | Ca/118 |

c) Les eaux de Manoy(22) et Soahazo(52) sont de type chlorure de sodium ($NaCl$: IV) ou sulfate de sodium (Na_2SO_4 : IV). Les teneurs dissoutes sont de 985mg/l à Manoy et de 2.530mg/l à Soahazo. La qualité de l'eau dans ces villages n'est pas bonne du fait que la teneur en ions est élevée dépassant la limite tolérable pour l'eau potable avec le goût salé.

| Villages | No. | Teneurs en mg/l |
|----------|-----|------------------------------------------------------------------|
| Manoy | 22 | Ca/142 |
| Soahazo | 52 | Dt./1.120 Ca/163 Mg/172 Cl/920 SO ₄ /775 TDS/2.530 |

d) La qualité chimique des eaux de Basibasy(27) appartient au type chlorure de calcium (CaCl_2 : III) riche en teneur d'ions de Ca (210mg/l), Mg (52mg/l), Na (164mg/l), K (45mg/l), Cl (492mg/l) et TDS, solides dissous totaux, (1.160mg/l). Ses eaux, salées et amères, ne sont donc pas convenables pour boire.

e) En ce qui concerne l'eau du lac d'Ihotry, sa qualité a été examinée au cours d'une reconnaissance sur le terrain, effectuée dans la Deuxième Phase. De type chlorure de sodium (NaCl : IV), elle est caractérisée par sa conductibilité électrique élevée (11.000 à 15.000 μ /cm) et par son goût très salé. L'analyse sur la qualité d'eau donne les résultats que voici:

| | |
|-----------------------|---------|
| Ca..... | 134mg/l |
| Mg..... | 164 |
| Na..... | 2.000 |
| K..... | 56 |
| Cl..... | 3.270 |
| SO ₄ | 600 |
| TDS..... | 5.450 |

f) Les figures 3.8.2 et 3.8.6 représentent respectivement la distribution des différentes qualités chimiques et le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines basés sur les considérations précédentes de (3) à (5) et les résultats des forages tests.

g) A Benetsy(68), Ankilimalinika(101) et Andrevo(69), les eaux souterraines peu profondes, de type chlorure de sodium(NaCl : IV) ou sulfate de sodium (Na_2SO_4 : IV), contiennent en abondance des composants ioniques de dureté totale, Ca , Mg , Na , K , Cl , SO_4 et TDS. Les contenus dissous varient entre 2.440mg/l à Benetsy et 4.680mg/l à Andrevo. Les eaux dans ces villages ne conviennent pas à être bues, compte tenu du goût très salé.

h) Les composants ioniques des eaux dans la zone côtière, y compris Tsivonoabe(76), affectées par l'eau de mer, sont de type chlorure de sodium (NaCl : IV). Le profil hydrogéologique de la zone est donné dans la figure 3.6.12. Le développement des eaux souterraines par le forage s'avère difficile, sauf par le puits peu profond.

i) La qualité des eaux souterraines peu profondes appartient au type bicarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$: I) au niveau d'Ambohimahavelona(80), manoroka(81) et leur voisinage. Il en est de même pour les eaux à la station de pompage que la JIRAMA exploite à Miary. La qualité est bonne pour être potable.

j) A Tranokaky(95), Andranovory(77) et leurs environs, les eaux sont de type bicarbonate de calcium ($Ca(HCO_3)_2$: I). La teneur totale est de 317mg/l à Tranokaky et de 242mg/l à Andranovory.

k) Comme le montre la figure 3.8.2, il est considéré que la qualité chimique des eaux souterraines peu profondes dans la zone englobant les villages (36) à (40), (89), (92) et (99) est de type sulfate de calcium ($CaSO_4$: III) ou chlorure de calcium ($CaCl_2$: III). Les contenus dissous varient de 213mg/l à Tanandava(40) à 389mg/l à Ankilimitraloka(99). Les résultats de l'analyse sur la qualité d'eau pour examiner l'aptitude potable sont comme suit:

| Villages | No. | Teneurs en mg/l |
|-----------------|-----|-------------------|
| Betsinefo | 39 | Ca/98 |
| Mahaboboka | 92 | Gout salé et amer |
| Ankilimitraloka | 99 | Ca/92 Mn/0,6 |

l) Les eaux dans les villages candidats de (33) à (35), (97) et (100) sont de type bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$: II). Les contenus dissous sont au minimum de 12,7mg/l à Andranomanintsy(33) et au maximum de 68,0mg/l à Ampandramitsetaky(35). Elles sont potables, mais les échantillons prélevés à Antanimora(97) et Ankilivalo(100) comportent une proportion excessive d'ions de Fe par rapport à la limite maximale de 1,0mg/l.

m) Quant aux villages (41), (42), (47), (49), (50), (82), (83), (90) et (91), leurs eaux sont de type bicarbonate de calcium($Ca(HCO_3)_2$: I). Les contenus dissous vont de 25,7mg/l à Laborana(82) à 430mg/l à Tanambao(90). La qualité d'eau est généralement bonne à boire.

n) La figure 3.8.2 montre que les eaux dans la partie Est de la Zone de l'Etude où domine la formation d'Isalo II relèvent du type chlorure de sodium ($NaCl$: IV) ou sulfate de sodium (Na_2SO_4 : IV). Les contenus dissous sont très faibles et inférieurs à 30mg/l, exception faite de Berenty-Betsileo(46) et de ses environs où l'eau présente un goût salé.

3.8.2 Forages test

a) Potabilité

La qualité chimique des eaux échantillonnées depuis les forages d'essai est généralement bonne pour être potable (Fig.3.8.3). Toutefois, il est à remarquer que les eaux venant des sédiments néritiques de l'Eocène moyen et supérieur dans la partie Ouest de la Zone de l'Etude présentent une teneur ionique très élevée dépassant la tolérance admissible des normes de potabilité. Le tableau ci-dessous tente de faire une mise en parallèle des valeurs effectives des échantillons et des normes standardisées:

(unité:mg/l)

| Villages & No. | Rubriques | Résultat | Limite max. |
|-------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Manoy(22) | Dureté F | 530 1,29 | 500 0,8 |
| Basibasy(27) | Dureté Ca Cl | 1.060 292 720 | 500 200 600 |
| Belitsaka(54) | Dureté | 748 | 500 |
| Ankilimalinika (101) | SO ₄ F | 525 1,11 | 400 0,8 |

La qualité de l'eau souterraine de Basibasy(27) n'est pas convenable en tant qu'eau potable. Le goût est salé et amer. De même l'eau prélevée du nouveau forage exécuté a été aussi salée à Berenty-Betsileo, mais sa qualité chimique se conforme aux normes de potabilité (Fig.3.8.3).

b) Teneur ionique et types d'eau

Les diagrammes triaxiaux et hexagonaux sont établis sur la base des résultats de l'analyse sur la qualité d'eau (Fig.3.8.3 et 3.8.4). La lecture des ces diagrammes permet d'émettre les observations suivantes:

b-1) Les sources, ruisseaux et cours d'eau, alimentés principalement par l'eau souterraine fournissent de l'eau du type bicarbonate de calcium($Ca(HCO_3)_2$:I). La part des composants dissous varie considérablement de 54mg/l au Fiherenana (Antraïava) à 222mg/l dans les sources d'Amboboka.

b-2) La teneur ionique de l'eau souterraine venant des sédiments néritiques de l'Eocène moyen et supérieur de la partie Ouest de la Zone de l'Etude appartient au type bicarbonate de calcium ($Ca(HCO_3)_2$: I), sauf les eaux de Manoy(22), Basibasy(27), Soahazo(52), Belitsaka(54), Benetsy(68), Manoroka(81) et Ankilimalinika(101). Elle est en tous cas similaire à celle de l'eau des sources et cours d'eau. Le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines dans la zone est reproduit dans les figures 3.8.6 et 3.8.7.

b-3) La teneur ionique est du type sulfate de calcium ($CaSO_4$: III) ou chlorure de calcium ($CaCl_2$: III) à Manoy(22), Basibasy(27) et Beritaka(54). La part des composants dissous varie de 760mg/l de Manoy à 1.370mg/l de Basibasy. Le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines dans la zone est reproduit dans la figure 3.8.6.

b-4) L'eau souterraine de Benety(68) est du type bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$: II) et celle d'Ankilimalinika(101) du type chlorure de sodium ($NaCl$: IV) et sulfate de sodium (Na_2SO_4 : IV). La part des composants dissous varie de 489mg/l à Benetsy à 1.230mg/l à Ankilimalinika. L'eau de puits peu profonds est très salée dans la zone, donc peu potable (Tab.3.8.3).

Dans la présente étude, 2 forages profonds de 62m et de 72m ont été exécutés à Ankilimalinika et Benetsy afin de mieux connaître l'origine du goût saumâtre. Les résultats de ce forage d'essai sont décrits dans la sous-section 3.7.1. Les figures 3.8.2 et 3.7.2 représentent le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines. Les conditions hydrogéologiques (Fig.3.8.2 et 3.7.2) sont presque semblables à celles de la zone de Soahazo(52).

b-5) Les composants ioniques de l'eau dans les calcaires de l'Eocène inférieur à Befoly (78) et dans les basaltes du Crétacé supérieur à Tranokaky (95) sont rapportés au type bicarbonate de calcium ($Ca(HCO_3)_2$: I). La part des composants dissous varie de 202mg/l à Befoly à 447mg/l à Tranokaky. Le mécanisme d'écoulement des eaux souterraines dans la zone est reproduit dans la figure 3.8.5.

b-6) Les composants ioniques de l'eau dans les dépôts continentaux du Jurassique moyen (Isalo III) sont du type bicarbonate de calcium ($Ca(HCO_3)_2$: I). La part des composants dissous est de 205mg/l à Tandrano(34).

b-7) Les nappes aquifères reposant dans les dépôts continentaux du Jurassique inférieur sont en majorité du type bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$: II). La part des composants dissous est de 53mg/l à Berenty-Betsileo(46). Le mécanisme d'écoulement est reproduit dans la figure 3.8.5.

3.8.3 Taux de tritium

Dans le but d'estimer l'âge de l'eau souterraine et de connaître son mécanisme d'écoulement, 5 échantillons prélevés aux nouveaux forages de Manoy(22), Soahazo(52), Befoly(78), Tranokaky(95) et Maninday(88) ont été envoyés au Japon afin de les soumettre à une analyse de radioisotope(3H). Les résultats de cette analyse sont repris dans le tableau 3.8.4.

a) Généralités

La détermination du taux de tritium (TR) est une technique valable pour permettre d'estimer l'âge de l'eau souterraine.

Tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène, dont la vie moyenne est de 12,26 années. L'occurrence du tritium en eau du cycle hydrologique est dues aux raisons naturelles mais aussi artificielles. Naturellement, le tritium se produit dans l'atmosphère de la terre par l'interaction du neutron avec du nitrogène. Le taux de tritium dans les précipitations qui n'était que de l'ordre de 5 à 20TR dans le monde s'est augmenté subitement dès que l'expérimentation dans l'atmosphère des bombes thermonucléaires a été entreprise à large échelle pour atteindre, en 1962/1963, un maximum de 80.000TR à certains endroits, plus de mille fois plus grand que lors des premières expériences sur les bombes nucléaires. Plus tard, l'expérimentation atomosphérique de ces bombes restreinte, elle diminue de nouveau. De toute manière, la production

artificielle du tritium reste toujours beaucoup plus importante que sa génération naturelle. Le tritium est un des éléments les plus couramment utilisés pour déterminer l'âge de l'eau souterraine.

a-1) Lorsque le taux de tritium est faible, l'eau analysée remonte principalement à la période de "pré-bombe". Par contre, si le taux est relativement élevé, il peut être alors considéré que l'eau trouve son origine, entièrement ou partiellement, dans les précipitations de la période "poste-bombe".

a-2) Le changement du régime de précipitations est pris en considération pour obtenir une meilleure précision de datation. En cas d'écoulement à piston, on peut mettre la date sur l'âge de l'eau en application de l'équation suivante:

$$\ln(A) = \ln(B) - t/th * \ln(2)$$

où, A: Taux de tritium de l'échantillon
B: Taux de tritium en précipitations
t: Age de l'eau
th: Vie moyenne du tritium
(12,262 années)

a-3) La figure 3.8.8 montre la variation du taux de tritium dans les précipitations, observée pour la période de 1976 à 1984 à Pretoria de l'Afrique du Sud. Le taux moyen est de 12,626TR.

b) Considérations

b-1) A supposer que le taux de tritium soit constamment de 12,6TR dans la Zone de l'Etude et que le mouvement de l'eau souterraine dans la nappe aquifère soit soumis à l'écoulement à piston, la courbe de décroissance du taux de tritium pour connaître l'âge de l'eau souterraine peut être telle qu'elle est représentée dans la figure 3.8.9.

b-2) Selon les résultats de l'analyse, le taux de tritium est généralement faible dans les eaux souterraines disponibles dans la Zone de l'Etude. Elle est comprise entre 0,96TR à Manoy(22) et 3,66TR à Maninday(88). Les eaux souterraines de la Zone pourront être classées en trois différents groupes d'après les valeurs (Fig.3.8.9):

| Groupes | Localités & valeurs (TR) | Age d'eau (années) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
| Groupe A Taux faible | Manoy(22)..... 0,96 Soahazo(52)..... 1,05 | approx. 45 |
| Groupe B Taux moyen | Tranokaky(95)... 1,65 | approx. 36 |
| Groupe C Taux élevé | Befoly(78)..... 3,54 Maninday(88).... 3,66 | approx. 23 |

c) Le forage de Manoy(22) se trouve en aval, près de l'endroit où l'éternel courant de de la rivière Befandriana devient une rivière souterraine. L'aquifère localisé entre 14,8m et 38,4m au-dessous du niveau du sol a des lithofaciès composés de grès moyens ou grossiers de l'Eocène moyen et supérieur. Donc, la principale source de recharge de l'eau souterraine peu profonde à Manoy estimée être la rivière permanente Befandriana.

Cependant, la concentration de tritium à Manoy était seulement de 0,96TR qui est inférieure supposant qu'il existe peu de recharge à partir de la surface, et l'eau souterraine dans cette région est donc très vieille.

Jugeant la concentration peu importante de tritium dans la condition hydrogéologique (Fig.3.8.6), l'eau souterraine de cette région semble être approvisionnée surtout par des recharges latérales et verticales, c'est-à-dire par des aquifères profonds avec eau fossilisée.

L'environnement hydrologique dans la région de Soahazo est différent de celui de Manoy comme il est montré dans la carte hydrogéologique. Pourtant, les conditions hydrogéologiques à Soahazo, telles que la recharge et les mécanismes d'écoulement de l'eau souterraine, sont considérées comme étant similaires à celles de Manoy.

Ces considérations, basées sur les résultats de l'analyse du tritium, s'accordent avec les récentes considérations sur les propriétés des composants en ion d'eau souterraine.

d) L'aquifère principal du forage à Tranokaky(95) du type de basalte fracturé du Crétacé supérieur et les conditions hydrogéologiques de la zone sont estimés comme on les montre dans la figure 3.8.5. Jugeant à partir de ces conditions hydrogéologiques, à savoir l'eau souterraine de type bicarbonate de sodium ($Ca(HCO_3)_2$: I) et la valeur inférieure du taux de tritium (1,65TR), l'eau souterraine dans cette région semble être alimentée du pied de montagne.

e) Le forage à Befoly(78) est exécuté dans la région de calcaire de l'Eocène inférieur, et le forage à Maninday(88) dans la région qui est composée de dépôts continentaux du Jurassique inférieur (Isalo II). Ces lithofaciès sont les plus représentatifs des aquifères couvrant cette large région dans la Zone de l'Etude.

Toutefois, les taux de tritium de 3,54 à 3,66TR obtenus à Befoly et Maninday semblent être communs aux eaux souterraines de la Zone de l'Etude.

Comme le montre la figure 3.8.5, l'eau souterraine de ces régions semble être alimentée principalement par une recharge latérale, s'écoulant à une vitesse de circulation de 20 à 25 ans.

Tableau 3.8.1 Normes de la qualité de l'eau potable

(1) Conditions physiques

| Rubriques | O M S | | Japon |
|-----------|----------------|--------------------------|------------|
| | Max. désirable | Max. admissible | |
| Couleur | 15 | 50 | 5 |
| Gout | inoffensif | inoffensif | inoffensif |
| Odeur | inoffensif | inoffensif | inoffensif |
| Turbidité | 5 | 25(50) | 2 |
| pH | 6,5 à 8,5 | 6,5 à 9,2 (7,5 à 8,5) | 5,8 à 8,6 |

* Les valeurs mises entre parenthèses sont celles appliquées de la JIRAMA.

(2) Toxines

| Rubriques | O M S | Japon |
|-----------|-------|-------|
| Hg | 0,001 | Non |
| Pb | 0,1 | 0,1 |
| As | 0,05 | 0,05 |
| Se | 0,01 | 0,01 |
| Cr 6+ | 0,05 | 0,05 |
| CN | 0,1 | Non |
| Cd | 0,005 | 0,01 |

(3) Conditions bactériologiques

| Rubriques | O M S | Japon |
|------------------------------------------------|-------|-------|
| Piteau standard (colonies/cm ²) | - | 100 |
| MPN (coliformes /100m ³) | - | Non |
| E. Coli | - | - |

(./.)

(4) Conditions chimiques

| Rubriques | O M S | | Japon |
|-----------------------------|----------------|-----------------|-------|
| | Max. désirable | Max. admissible | |
| Solides totaux (mg/l) | 500 | 1.500 (1.500) | - |
| Fe | 0,1 | 1,0 (1,0) | 0,3 |
| Mn | 0,05 | 0,5 (0,5) | 0,3 |
| Fe + Mn | - | - | - |
| Cu | 0,005 | 1,5 | 1,0 |
| Ca | 75 | 200 (75) | - |
| Mg | 30 | 150 (150) | - |
| SO ₄ | 200 | 400 (400) | - |
| Cl | 200 | 600 (600) | 200 |
| F | 0,6 | - | 0,8 |
| NO ₃ | 10 | - (45) | 10 |
| Sulfonate de benzène alkyle | - | - | - |
| ABS | 0,5 | - | 0,5 |
| Asphénole phénolique | 0,001 | - | 0,005 |
| Dureté | 100 | 500 | 300 |

* Les valeurs mises entre parenthèses sont celles appliquées de la JIRAMA.

Tableau 3.8.2 Méthode et rubriques de l'analyse de la qualité de l'eau

| Rubriques | Instrument employé | Méthode d'analyse |
|---------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| pH | pHmètre | Méthode d'électrode à ion |
| Dureté totale | Titrimètre numérique | Titrage avec solution EDTA (pH10) |
| Ca | Titrimètre numérique | Titrage avec solution EDTA (pH12) |
| Mg | Titrimètre numérique | Titrage avec solution EDTA |
| Cl | Titrimètre numérique | Titrage avec solution Hg(NO ₃) ₂ |
| SO ₄ | Photomètre automatique | Méthode de turbidité de sulfate de barium |
| Fe | Photomètre automatique | Méthode O-phénanthroline |
| TDS | Conductimètre | Méthode conductivité électrique (EC x 0,5) |
| EC | Conductimètre | Méthode conductivité électrique |
| Acidité | Titrimètre numérique | Titrage avec solution NaOH |
| Alcalinité | Titrimètre numérique | Titrage avec solution H ₂ SO ₄ |
| PO ₄ | Photomètre automatique | Méthode molybdène avec acide ascorbique |
| NH ₃ -N | Photomètre automatique | Méthode avec réactif Nessler |
| NO ₂ -N | Photomètre automatique | Méthode de diazotation |
| NO ₃ -N | Photomètre automatique | Méthode de diazotation |
| F | Photomètre automatique | Méthode avec solution SPADNS |
| Mn | Photomètre automatique | Méthode d'oxydation de périodate |
| E.coli | Photomètre automatique | Papier de détection de Coli |
| Turbidité & couleur | | Vue après la pluie |

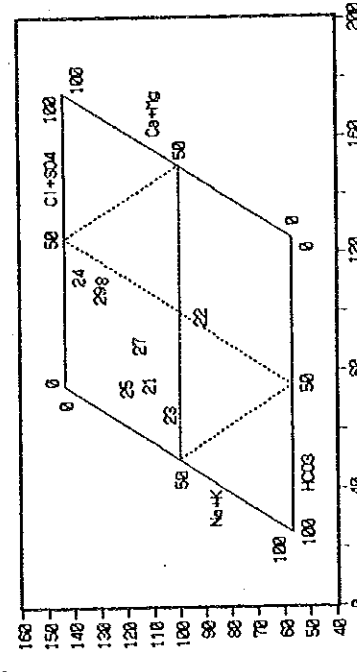
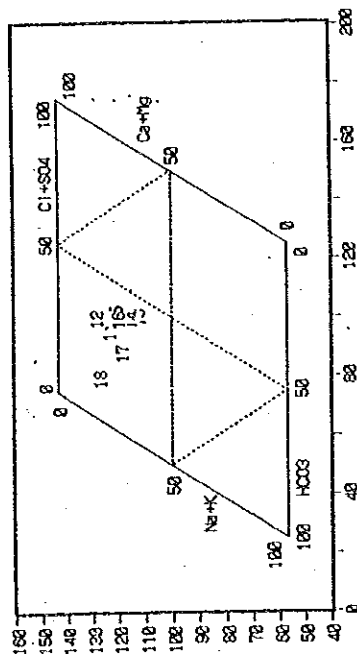
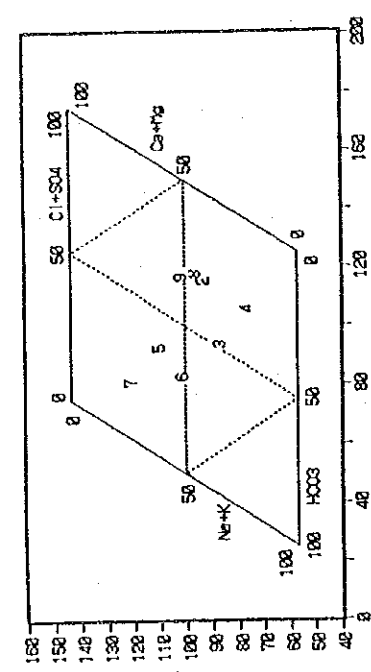
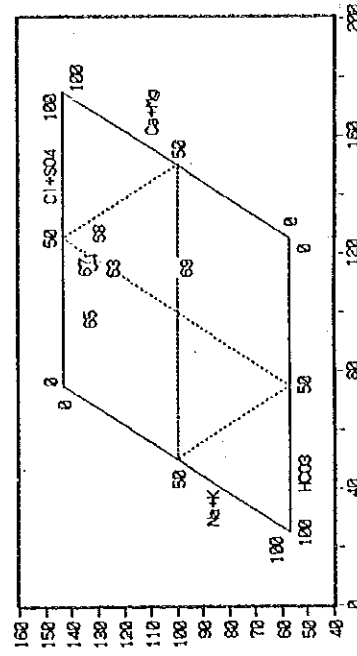
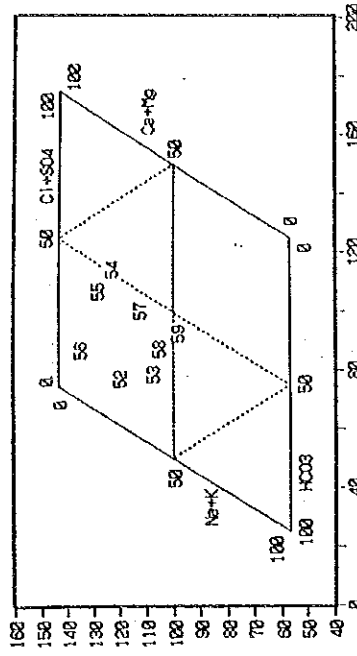
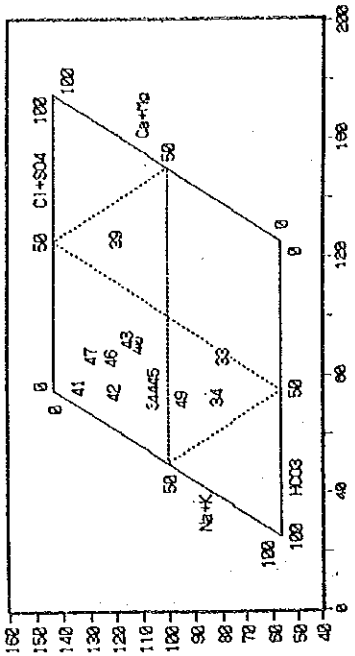
Tableau 3.8.3 Résultats de l'analyse de la qualité de l'eau aux puits de forage test

| No. | LOCATION | DATE | Temp. | pH | Hard. | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO4 | Fe | TDS | EC | Acid-Alkali | PO4 | NH3-N | NO2-N | NO3-N | F | Mn | E.coli | NOTE |
|-----|---------------------|----------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|--------|-------|-------------|-----|-------|-------|-------|------|------|--------|--------|
| 1 | 22 RANOU | 90/03/31 | 28.5 | 7.1 | 580 | 104.0 | 17.0 | 115.0 | 14.0 | 236 | 140 | 0.00 | 750.0 | 1520 | 112 | 236 | 0.03 | 0.00 | 0.007 | 0.3 | 1.29 | 0.0 | 42.0m |
| 2 | 23 AMPOZA | 90/08/24 | 30.2 | 7.3 | 150 | 52.0 | 4.8 | 18.0 | 9.6 | 12 | 0 | 0.00 | 134.0 | 360 | 52 | 200 | 0.03 | 0.02 | 0.001 | 0.1 | 0.56 | 0.0 | 50.0m |
| 3 | 25 SIRAHA | 90/03/06 | 29.6 | 7.5 | 122 | 46.0 | 1.9 | 15.0 | 8.6 | 11 | 0 | 0.00 | 155.0 | 310 | 54 | 190 | 0.03 | 0.00 | 0.000 | 0.3 | 0.77 | 0.0 | 41.0m |
| 4 | 27 BASIBASY | 90/10/06 | 28.5 | 6.8 | 1060 | 292.0 | 82.0 | 130.0 | 16.0 | 720 | 51 | 0.04 | 1370.0 | 2740 | 100 | 284 | 0.03 | 0.00 | 0.071 | 0.1 | 6.44 | 0.0 | 82.0m |
| 5 | 28 ANALATELO | 90/10/01 | 29.0 | 7.4 | 145 | 54.0 | 2.7 | 18.0 | 4.5 | 12 | 11 | 0.00 | 131.0 | 362 | 40 | 170 | 0.02 | 0.04 | 0.000 | 0.6 | 0.20 | 0.0 | 35.0m |
| 6 | 29 HANGOTROXA | 90/09/12 | 20.5 | 7.0 | 40 | 10.0 | 3.4 | 15.0 | 2.0 | 12 | 9 | 0.01 | 71.5 | 141 | 10 | 54 | 0.02 | 0.04 | 0.000 | 0.3 | 0.19 | 0.0 | 41.0m |
| 7 | 52-1 SOHAZO | 90/07/13 | 28.0 | 7.3 | 342 | 91.0 | 28.0 | 32.0 | 5.1 | 70 | 158 | 0.00 | 540.0 | 1080 | 32 | 276 | 0.07 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.86 | 0.0 | 76.0m |
| 8 | 52-2 SOHAZO | 90/07/17 | 27.3 | 7.4 | 696 | 122.0 | 35.0 | 57.0 | 10.0 | 252 | 1200 | 0.00 | 1820.0 | 3630 | 76 | 500 | 0.24 | 0.16 | 0.000 | 0.0 | 1.18 | 0.0 | 34.0m |
| 9 | 53 ANALAMISAMPY | 90/07/27 | 29.5 | 7.2 | 454 | 128.0 | 35.0 | 181.0 | 9.2 | 206 | 34 | 0.00 | 675.0 | 1350 | 104 | 390 | 0.04 | 0.07 | 0.000 | 0.8 | 0.61 | 0.1 | 71.0m |
| 10 | 54 BELITSARA | 90/05/01 | 28.5 | 7.9 | 748 | 173.0 | 76.0 | 129.0 | 16.0 | 444 | 79 | 0.00 | 1040.0 | 2080 | 132 | 336 | 0.01 | 0.11 | 0.000 | 0.0 | 0.24 | 0.0 | 66.0m |
| 11 | 55 AMPASIKIBO | 90/08/05 | 27.5 | 7.2 | 330 | 114.0 | 5.8 | 52.0 | 5.4 | 22 | 100 | 0.02 | 409.0 | 817 | 70 | 312 | 0.33 | 0.15 | 0.022 | 0.7 | 0.25 | 0.0 | 50.0m |
| 12 | 56 NAMABOHA | 90/08/16 | 27.5 | 7.3 | 236 | 104.0 | 9.2 | 36.0 | 4.9 | 95 | 70 | 0.01 | 488.0 | 975 | 110 | 294 | 0.08 | 0.01 | 0.011 | 0.3 | 0.21 | 0.0 | 63.0m |
| 13 | 59 AMPIHARY | 90/10/13 | 27.8 | 7.2 | 236 | 110.0 | 4.8 | 36.0 | 6.2 | 36 | 73 | 0.00 | 498.0 | 996 | 72 | 238 | 0.05 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.01 | 0.0 | 52.0m |
| 14 | 65 ANKARABATO | 90/07/01 | 27.8 | 7.2 | 320 | 101.0 | 16.0 | 56.0 | 7.4 | 62 | 65 | 0.00 | 455.0 | 949 | 52 | 264 | 0.04 | 0.00 | 0.001 | 0.0 | 0.47 | 0.0 | 75.5m |
| 15 | 63 MANORBO ATH | 90/10/13 | 28.5 | 7.2 | 400 | 118.0 | 27.0 | 40.0 | 12.0 | 62 | 180 | 0.02 | 500.0 | 1000 | 64 | 264 | 0.05 | 0.00 | 0.001 | 1.9 | 0.53 | 0.0 | 27.0m |
| 16 | 68 BENETSY | 90/10/22 | 27.5 | 7.4 | 190 | 45.0 | 3.5 | 167.0 | 2.2 | 58 | 185 | 0.00 | 489.0 | 977 | 20 | 332 | 0.02 | 0.00 | 0.001 | 0.0 | 0.50 | 0.2 | 45.0m |
| 17 | 67 TSEFANOKA | 90/10/25 | 26.5 | 7.4 | 132 | 57.0 | 9.7 | 59.0 | 6.3 | 16 | 08 | 0.00 | 391.0 | 602 | 42 | 234 | 0.06 | 0.00 | 0.001 | 0.0 | 0.92 | 0.0 | 72.0m |
| 18 | 101 ANKILIMALINIKA | 90/10/31 | 28.4 | 7.5 | 134 | 39.0 | 8.7 | 501.0 | 2.7 | 134 | 525 | 0.00 | 1230.0 | 2450 | 70 | 492 | 0.01 | 0.00 | 0.000 | 0.6 | 1.11 | 0.0 | 50.0m |
| 19 | 81 HANOKOKA | 90/10/28 | 29.0 | 7.4 | 246 | 56.0 | 26.0 | 126.0 | 11.0 | 95 | 30 | 0.01 | 695.0 | 1210 | 42 | 236 | 0.01 | 0.01 | 0.000 | 0.2 | 0.51 | 0.2 | 50.0m |
| 20 | 78 BEFOLY | 90/09/14 | | 7.3 | 184 | 58.0 | 12.0 | 1.4 | 8.4 | 14 | 62 | 0.00 | 202.0 | 403 | 10 | 124 | 0.05 | 0.01 | 0.001 | 0.0 | 0.31 | 0.0 | 226.5m |
| 21 | 95 TRANKOKY | 90/07/23 | | 7.5 | 358 | 90.0 | 32.0 | 49.0 | 7.9 | 02 | 70 | 0.00 | 447.0 | 694 | 62 | 314 | 0.10 | 0.00 | 0.001 | 0.1 | 0.26 | 0.0 | 181.1m |
| 22 | 34 TANDRANO | 90/08/28 | | 7.4 | 192 | 54.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 16 | 40 | 0.00 | 205.0 | 410 | 48 | 126 | 0.17 | 0.03 | 0.002 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 152.1m |
| 23 | 46 BERENTY-DETSILEO | 90/09/06 | | 8.4 | 20 | 6.4 | 1.0 | 458.0 | 10.0 | 248 | 113 | 0.10 | 1160.0 | 2190 | 50 | 626 | 0.07 | 0.30 | 0.006 | 0.6 | 0.81 | 0.0 | 142.0m |
| 24 | 88 MANINDAY | 90/07/31 | | 6.9 | 20 | 5.0 | 1.5 | 12.0 | 1.2 | 10 | 0 | 0.01 | 53.0 | 108 | 14 | 23 | 0.10 | 0.12 | 0.029 | 0.0 | 0.02 | 0.0 | 73.5m |
| 25 | 98 ANALAHARY | 90/08/12 | | 6.1 | 30 | 3.8 | 1.9 | 12.0 | 8.6 | 10 | 12 | 0.00 | 71.0 | 142 | 14 | 36 | 0.28 | 0.00 | 0.000 | 0.2 | 0.39 | 0.1 | 204.0m |
| 26 | BEFANDRIANA | 90/05/25 | 28.3 | 7.1 | 200 | 53.0 | 31.0 | 14.0 | 2.1 | 16 | 30 | 0.00 | 283.0 | 565 | 70 | 244 | 0.03 | 0.00 | 0.001 | 0.0 | 0.52 | 0.0 | 52.0m |
| 27 | BERENTY RIVER | 90/09/06 | | 7.8 | 78 | 32.0 | 5.8 | 6.9 | 5.2 | 6 | 3 | 0.15 | 98.0 | 186 | 24 | 106 | 0.08 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.21 | 0.0 | |
| 28 | FJHERENANA RIVER | 90/09/11 | | 7.1 | 36 | 0.8 | 3.3 | 5.0 | 5.7 | 12 | 18 | 0.20 | 54.0 | 107 | 18 | 34 | 0.02 | 0.05 | 0.002 | 0.0 | 0.18 | 0.0 | |
| 29 | MANORBO RIVER | 90/09/22 | | 7.8 | 190 | 62.0 | 5.6 | 2.3 | 0.9 | 12 | 49 | 0.00 | 162.0 | 323 | 34 | 140 | 0.01 | 0.00 | 0.044 | 0.0 | 0.04 | 0.0 | |
| 30 | UJINETA RIVER | 90/09/11 | | 7.7 | 254 | 68.0 | 20.0 | 27.0 | 2.1 | 45 | 40 | 0.00 | 310.0 | 619 | 46 | 206 | 0.05 | 0.00 | 0.003 | 0.0 | 0.34 | 0.0 | |
| 31 | 59 AMPIHANY D.W. | 90/10/12 | 27.5 | 7.3 | 310 | 97.0 | 16.0 | 134.0 | 12.0 | 104 | 150 | 0.00 | 605.0 | 1210 | 78 | 320 | 0.20 | 0.00 | 0.001 | 0.2 | 0.50 | 0.0 | |
| 32 | 68 BENETSY D.W. | 90/10/24 | 28.1 | 7.4 | 530 | 150.0 | 49.0 | 915.0 | 4.3 | 700 | 1900 | 0.22 | 2438.0 | 4900 | 140 | 622 | 0.16 | 0.40 | 0.060 | 12.0 | 0.80 | 0.0 | |
| 33 | ANKILIMALINIKA D.W. | 90/10/24 | 28.4 | 7.5 | 184 | 40.0 | 15.0 | 975.0 | 2.1 | 225 | 1056 | 0.07 | 2180.0 | 4350 | 129 | 924 | 0.10 | 0.05 | 0.257 | 7.9 | 1.11 | 0.4 | |
| 34 | ANDRANUTENA SPRING | 90/07/15 | | 7.6 | 190 | 56.0 | 11.0 | 7.3 | 3.5 | 6 | 21 | 0.00 | 207.0 | 413 | 40 | 134 | 0.05 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 35 | AMBOBOKA SPRING | 90/07/18 | | 7.4 | 194 | 68.0 | 5.8 | 12.0 | 2.0 | 8 | 24 | 0.00 | 222.0 | 443 | 30 | 130 | 0.05 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.50 | 0.0 | |
| 36 | THOTRY LAKE SOUTH | 90/07/12 | | 6.9 | 1010 | 134.0 | 104.0 | 2000.0 | 56.0 | 3270 | 200 | 0.01 | 5450.0 | 10900 | 50 | 138 | 0.07 | 0.10 | 0.001 | 0.7 | 0.00 | 0.0 | |

Temp.: °C
 Hard., Acid. Alkali.: mg/l as CaCO3
 EC: μ S/cm
 Other item: mg/l

Tableau 3.8.4 Taux de tritium

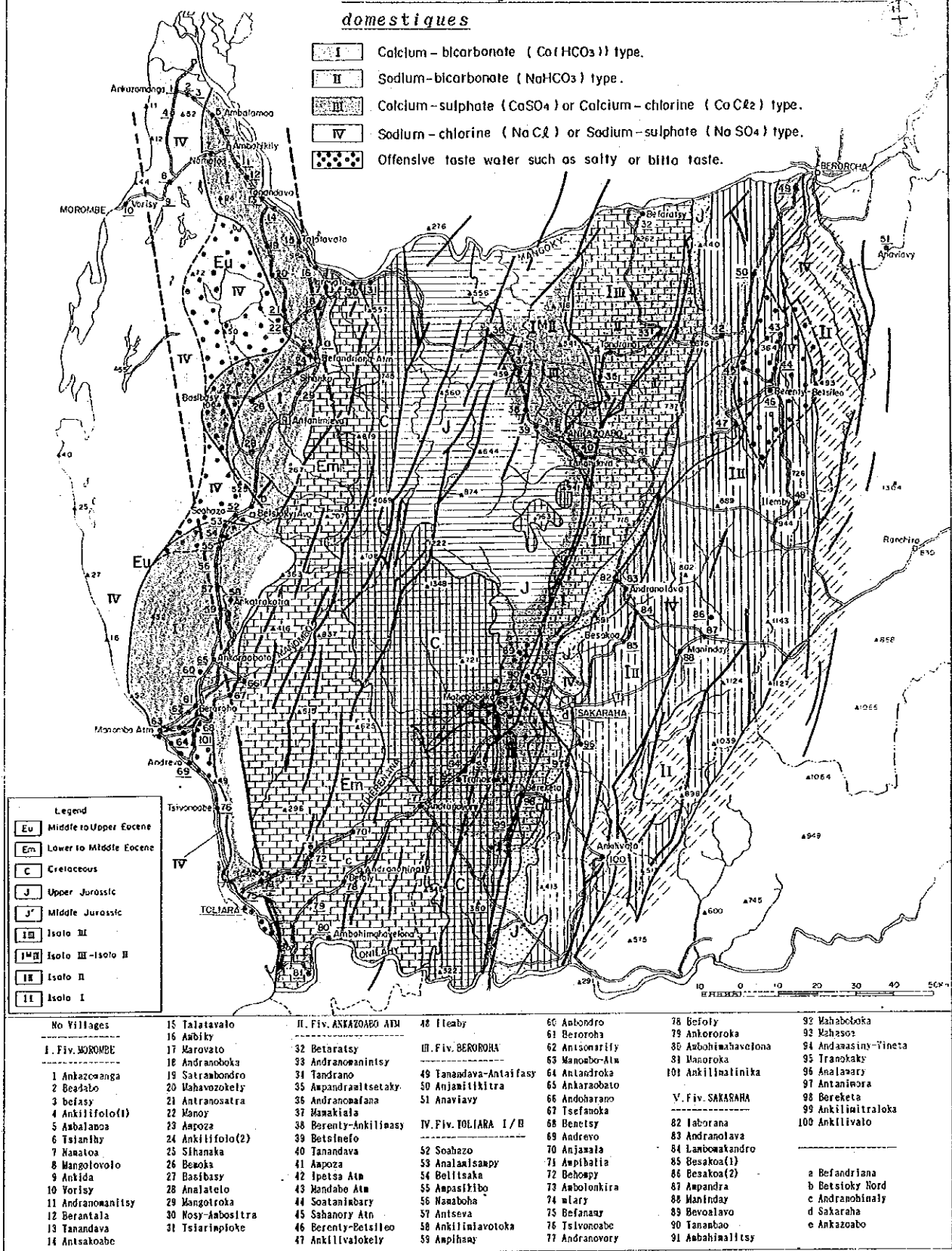
| Lieu d'échantillonnage (No. forage) | Aquifères | | Valeur en TR |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| | Caractéristiques | Position Crépine | |
| Manoy(22) | *Grès à grains moy. et grossiers de l'Eocène moy. et sup. *Aquifère libre | (1) 18,4~38,4 au-dessous de la surface du sol | 0,96 (±0,07) |
| Soahazo(52-1) | *Marne sableuse avec grès à grains moy. et grossiers de l'Eocène moy. et sup. *Aquifère un peu captif | (1) 47,1~63,1 | 1,05 (±0,07) |
| Befoly(78) | *Calcaire faiblement fissuré et poreux de l'Eocène inf. *Aquifère libre | (1) 183,5~198 (2) 224,5~226,5 | 3,54 (±0,11) |
| Tranokaky(95) | *Basalte fracturé et grès fin du Crétacé sup. *Aquifère un peu captif | (1) 35,5~55,5 (2) 59,5~63,5 (3) 75,5~83,5 (4) 99,5~103,5 (5) 115,5~135,5 | 1,65 (±0,07) |
| Maninday(88) | *Grès altéré grossier du Jurassique inf. *Aquifère captif en général | (1) 15,5~31,5 (2) 35,5~43,5 (3) 51,5~55,5 | 3,66 (±0,12) |



- 1-100: No. of Water Samples taken from Candidate Villages
- 101-115:
- 101: 16
 - 102: 27
 - 103: Antanimieva
 - 104: Ankazosbo
 - 105: 52
 - 106: 65
 - 107: 68
 - 108: 68
 - 109: 69
 - 110: 69
 - 111: 77
 - 112: 81
 - 113: 94
 - 114: 95
 - 115: Tollara

Figure 3.8.1 Diagrammes triaxiaux d'eaux souterraines peu profondes (./.)

Figure 3.8.2 *Qualité chimique de l'eau destinée aux besoins domestiques*



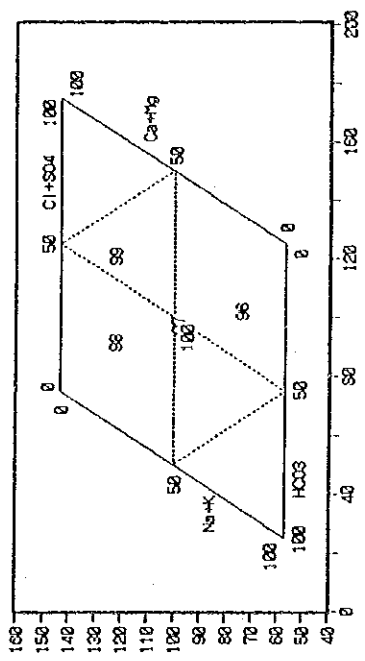
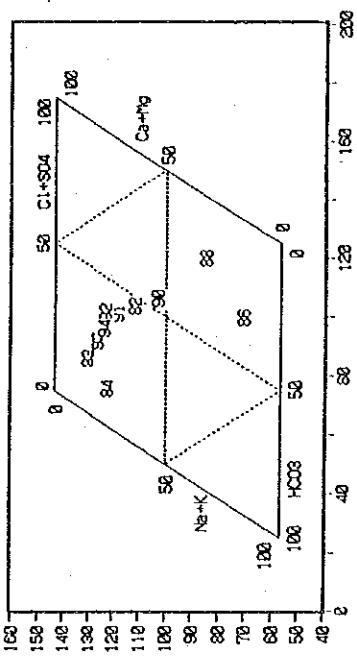
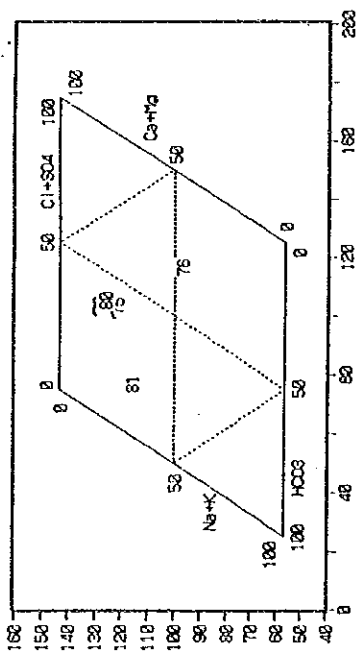
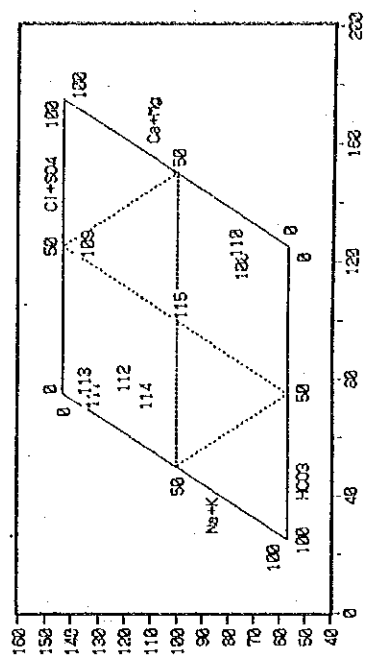
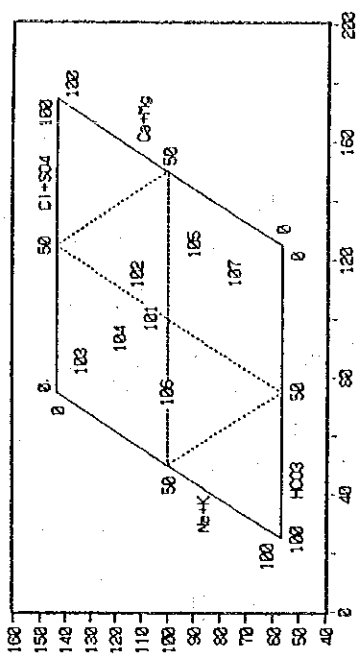
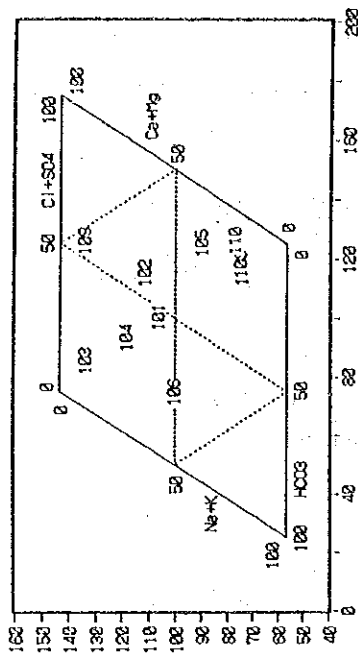
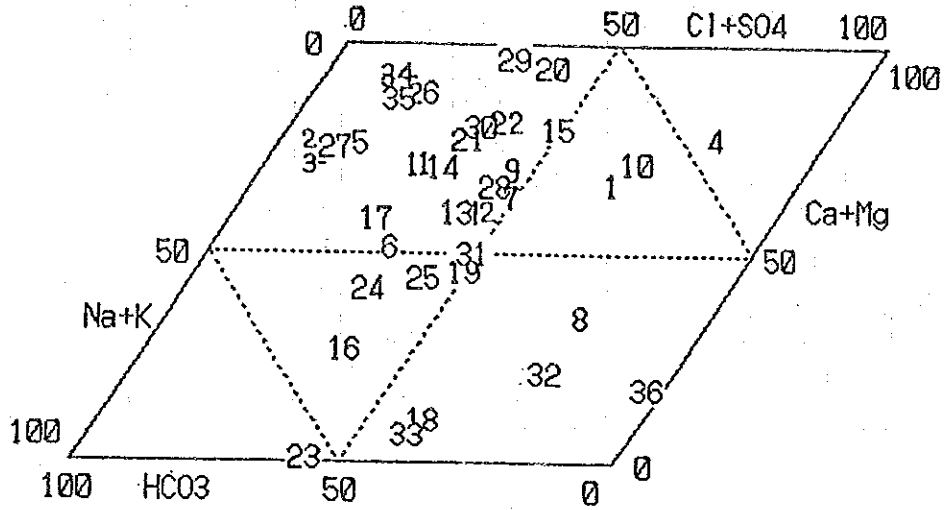
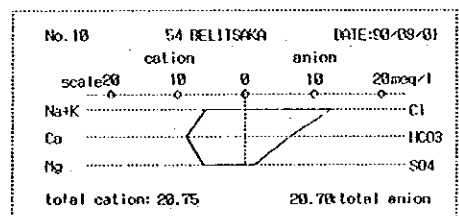
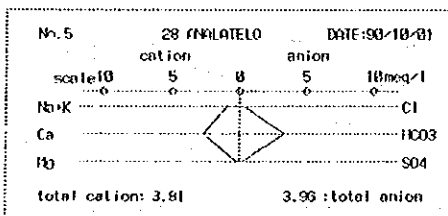
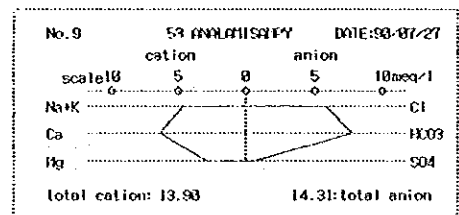
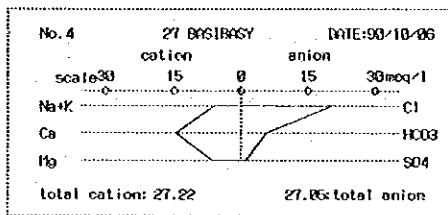
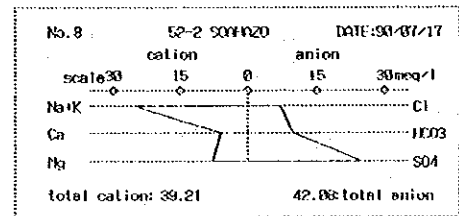
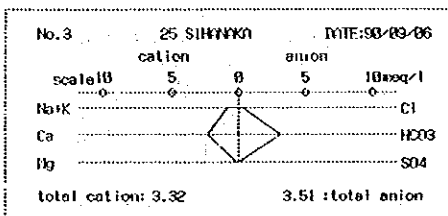
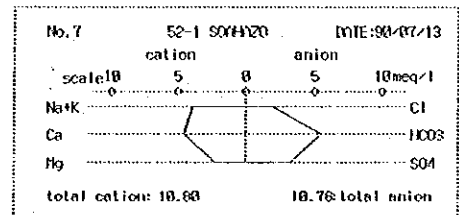
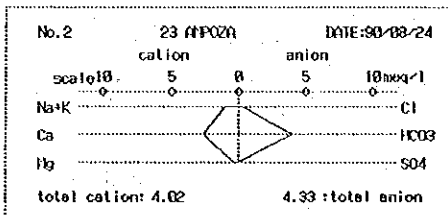
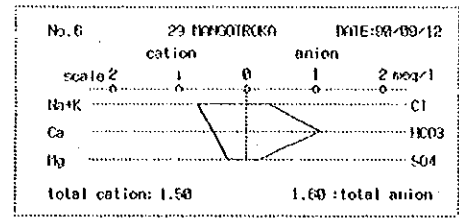
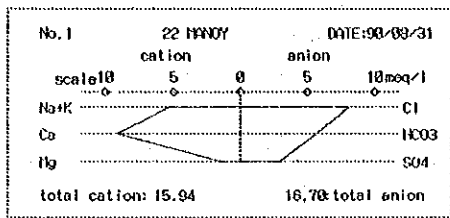


Figure 3.8.3

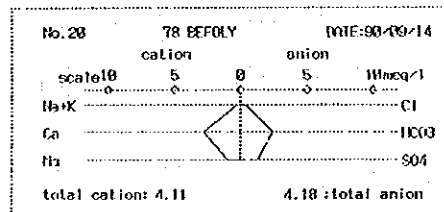
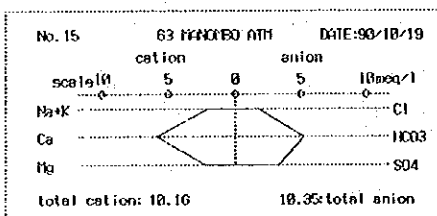
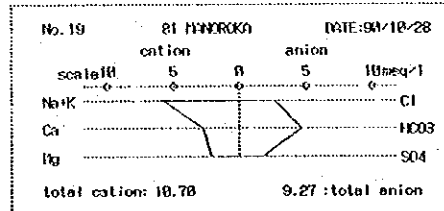
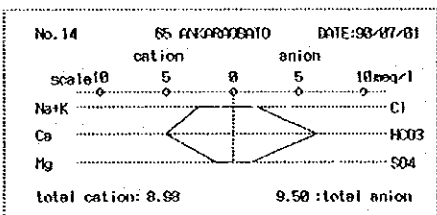
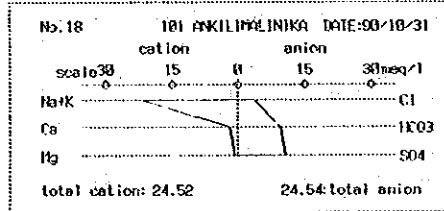
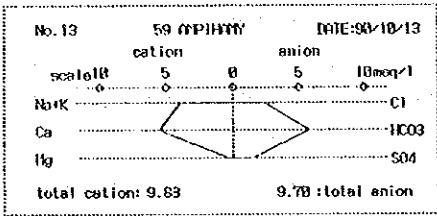
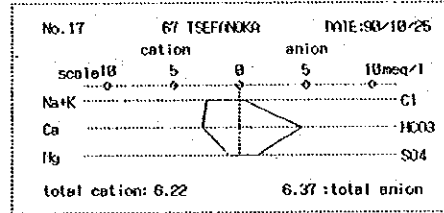
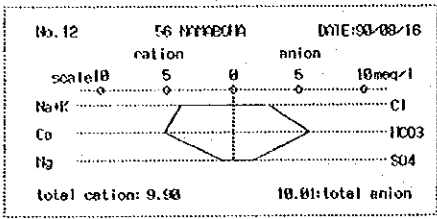
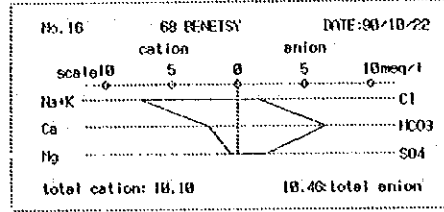
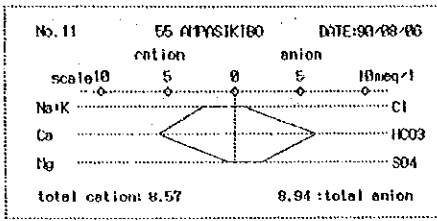
Digramme triaxial: Qualité de l'eau aux forages test



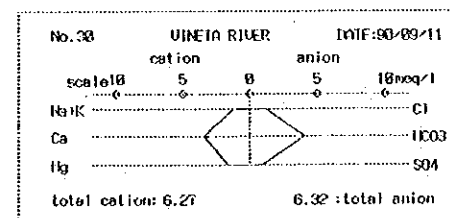
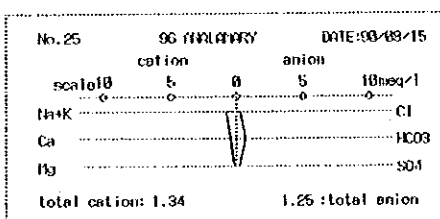
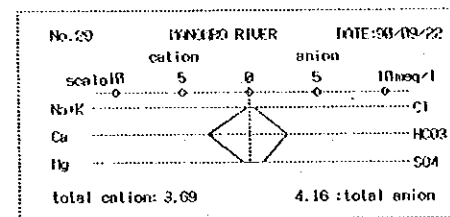
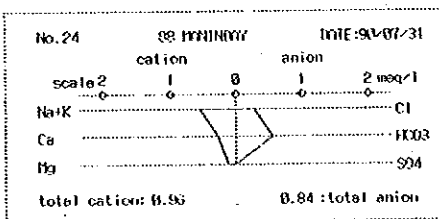
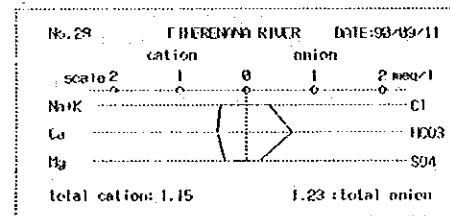
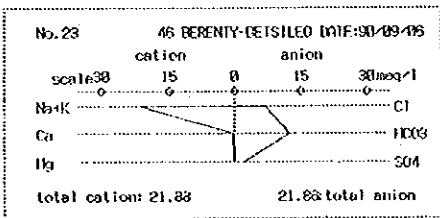
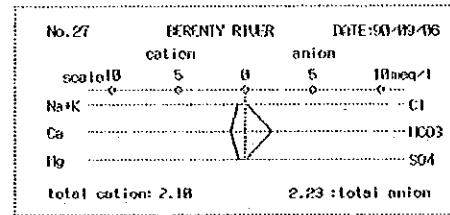
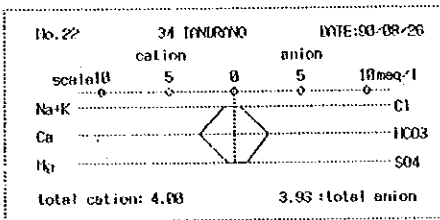
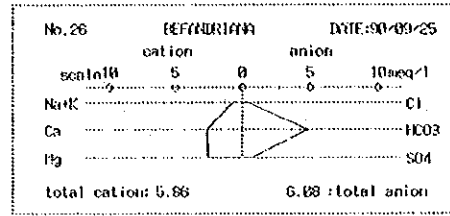
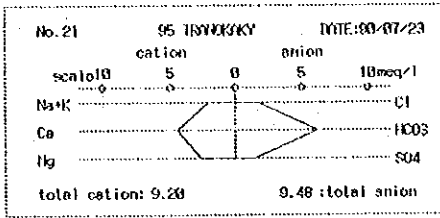


(./.)

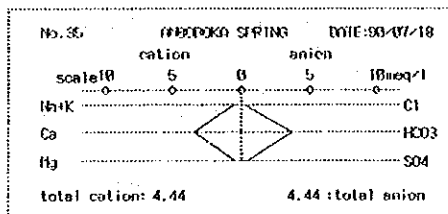
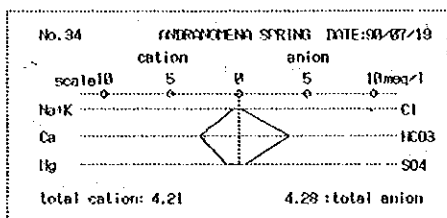
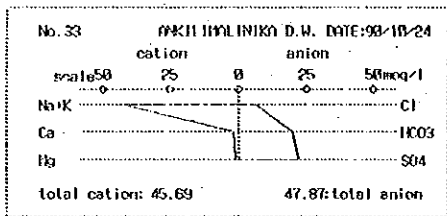
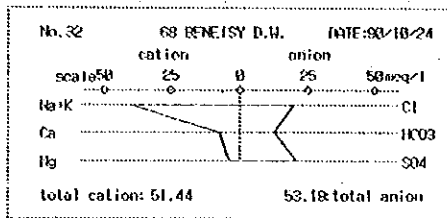
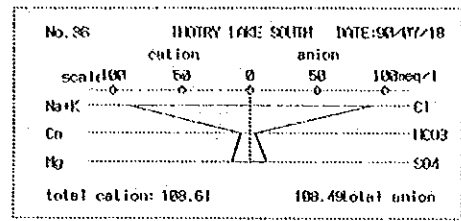
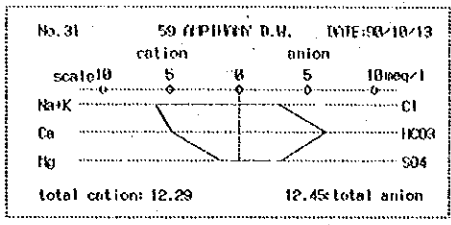
Figure 3.8.4 Diagramme hexagonal des puits forés en essai



(./.)



(./.)



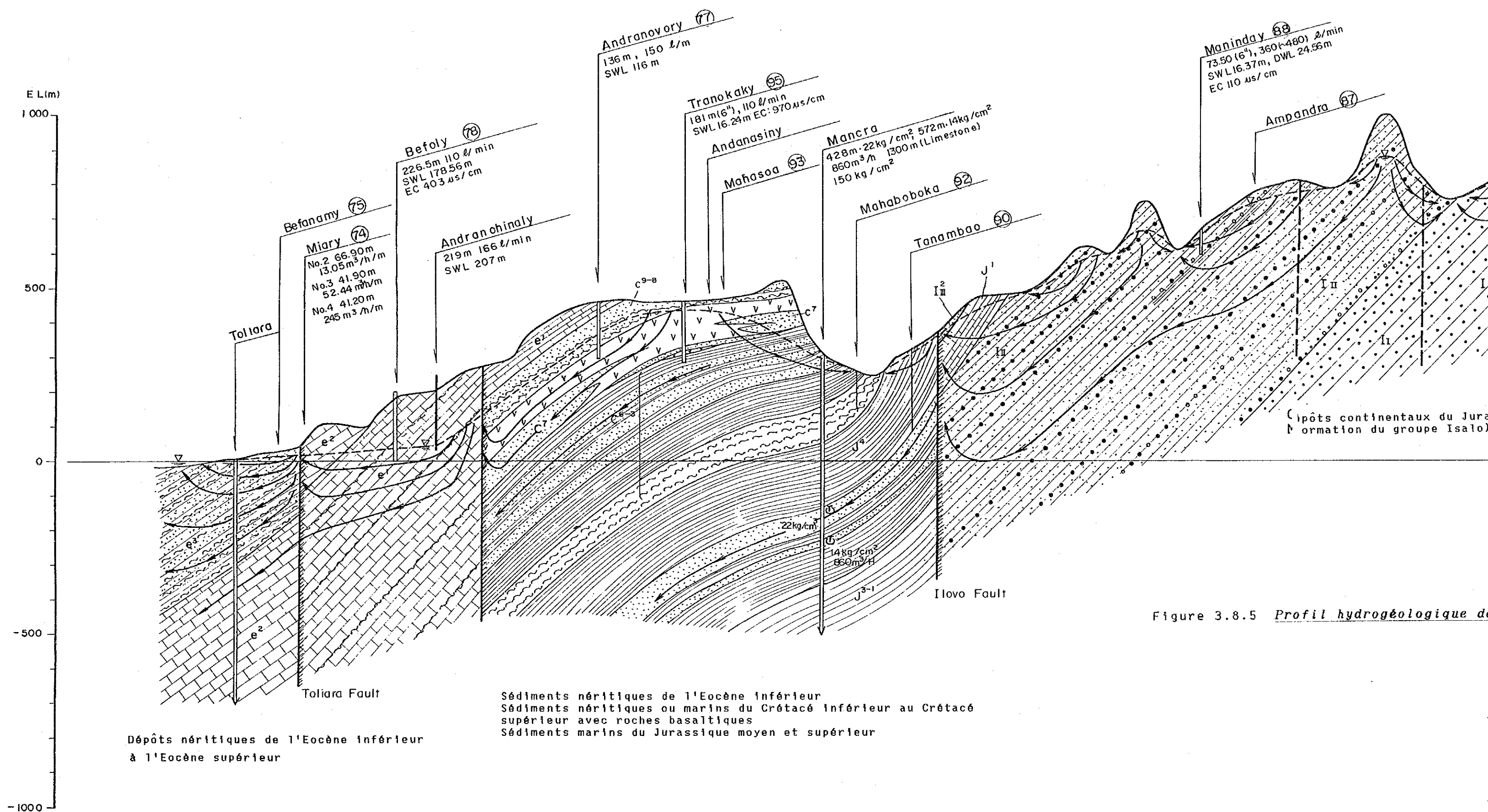


Figure 3.8.5 Profil hydrogéologique d

Dépôts néritiques de l'Eocène inférieur à l'Eocène supérieur

Sédiments néritiques de l'Eocène inférieur
 Sédiments néritiques ou marins du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec roches basaltiques
 Sédiments marins du Jurassique moyen et supérieur

Dépôts continentaux du Jurassique
 Formation du groupe Isalo

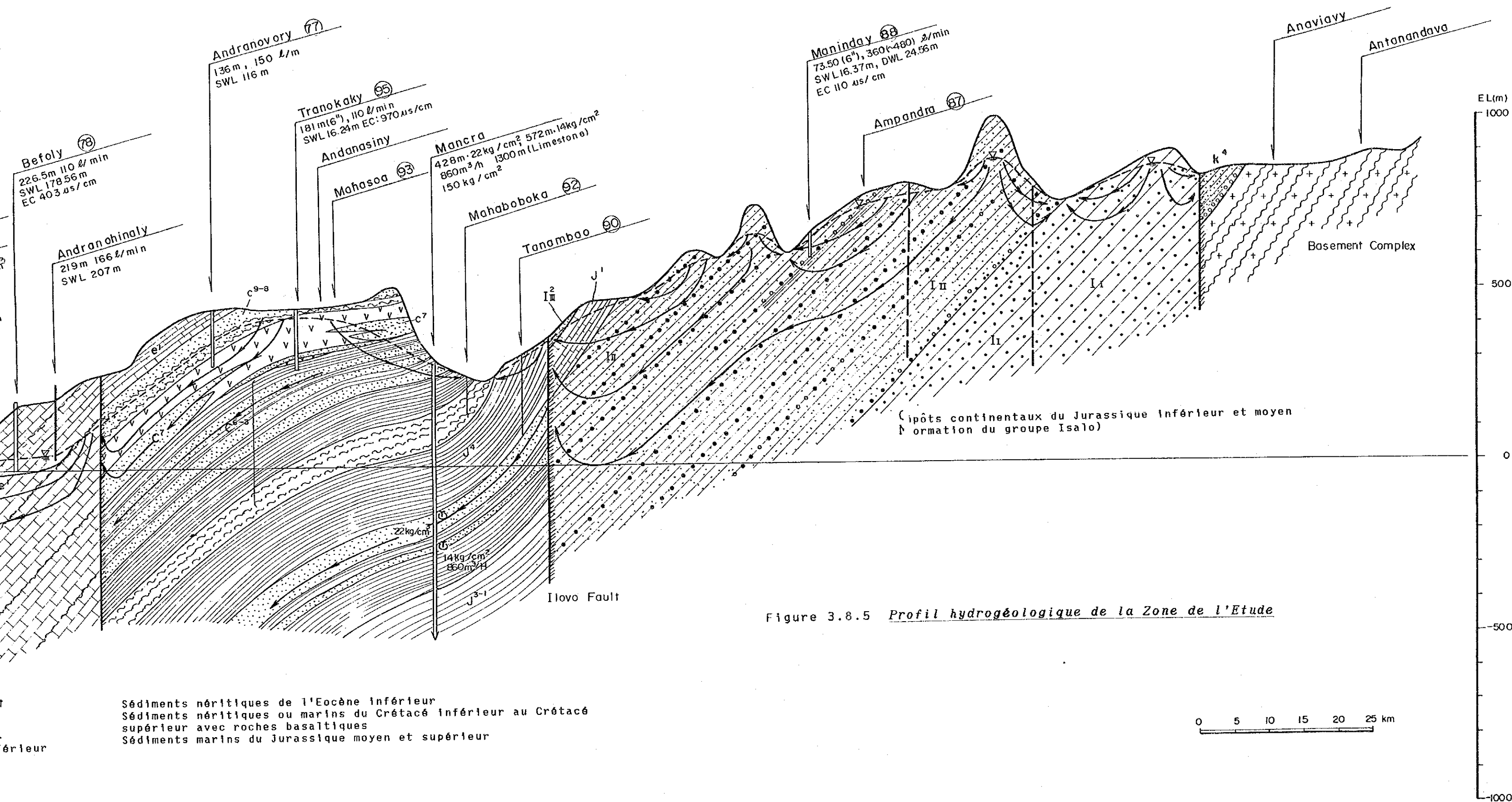


Figure 3.8.5 Profil hydrogéologique de la Zone de l'Etude

Sédiments néritiques de l'Eocène inférieur
 Sédiments néritiques ou marins du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec roches basaltiques
 Sédiments marins du Jurassique moyen et supérieur

0 5 10 15 20 25 km

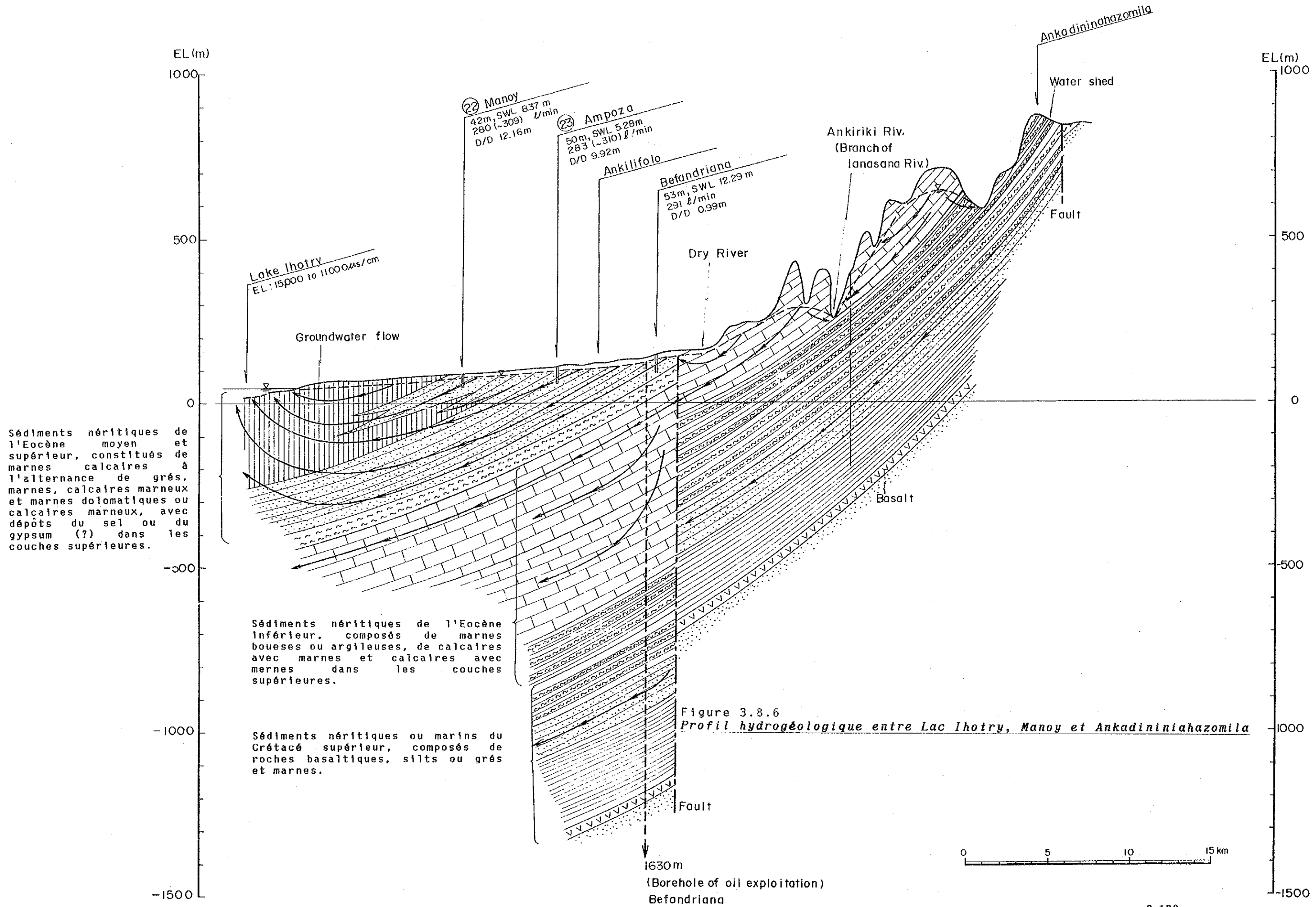


Figure 3.8.6
 Profil hydrogéologique entre Lac Ihotry, Manoy et Ankadininahazomila

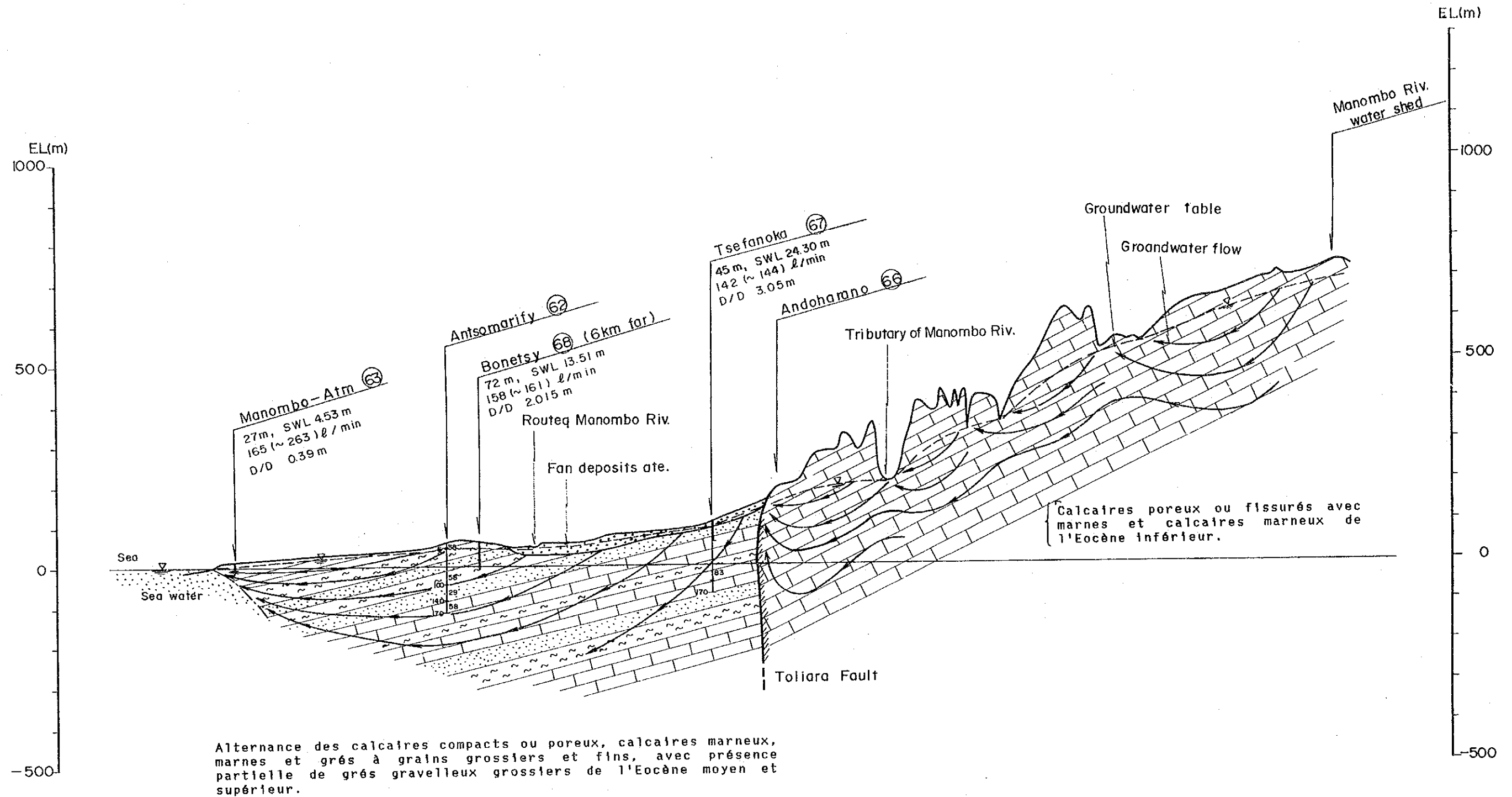


Figure 3.8.7 Profil hydrogéologique du Bassin de la Manombo

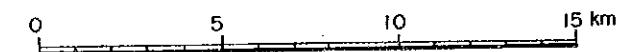


Figure 3.8.8 *Densité isotopique dans les précipitations à Pretoria de l'Afrique du Sud*

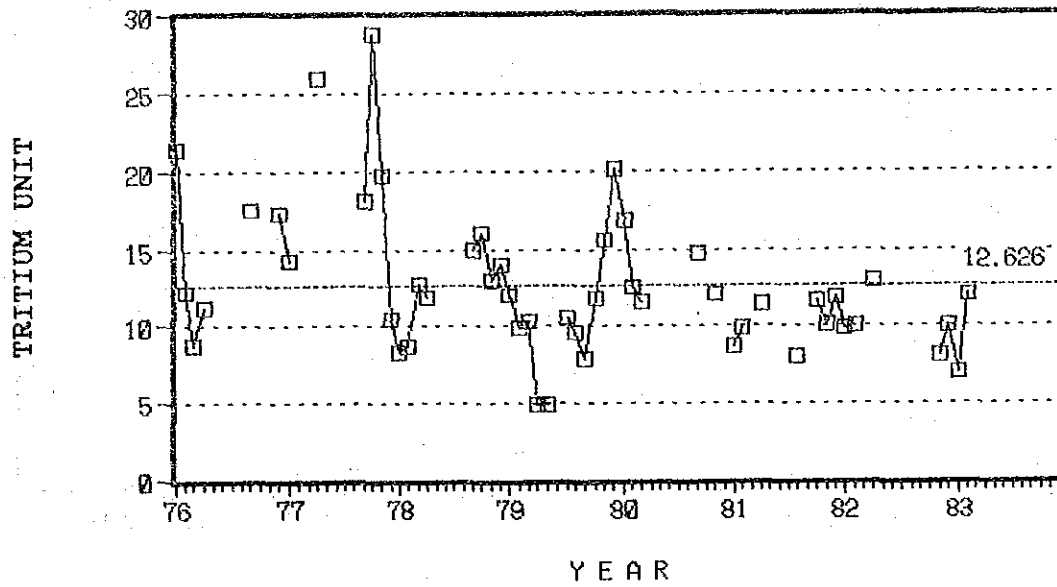


Figure 3.8.9 *Courbe de décroissance de tritium*

