

TERRITOIRE DES ILES DE WALLIS ET FUTUNA

SERVICE DU GENIE RURAL

ETUDE DES RESSOURCES

EN EAUX DE L'ILE DE WALLIS

Marché négocié N°5/80

RAPPORT FINAL

Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à Monsieur le Président de l'Assemblée du Territoire des Iles Wallis et Futuna, à Monsieur Vavasseur, Chef du Service du Génie Rural, à Monsieur Hervieux, Directeur de l'UNELCO à Nouméa, ainsi qu'à Monsieur Pascaux, Résident de cette société à Wallis, pour l'excellent accueil et toute l'assistance qu'ils ont apportée à notre Ingénieur, Monsieur Bernardi, durant l'exécution de sa mission à Wallis.

0 0 0

TABLE DES MATIERES

	Pages
1. Introduction	1
2. Travaux réalisés	2
2.1 - Personnel et matériel	2
2.2 - Travaux réalisés	2
3. Hydrogéologie	3
3.1 - Cadre morphologique et géologique de la zone	3
3.2 - Points d'eau existants	5
3.2.1 - Forages et stations de pompage	5
3.2.2 - Les puits à gros diamètre	7
3.2.3 - Puits superficiels et sources	8
3.3 - Piézométrie de la nappe	10
3.4 - Synthèse et discussion des données hydrogéologiques	12
4. Qualité des eaux	13
4.1 - Conductivité des eaux	13
4.2 - Dureté	13
4.3 - Contenu en Cl^-	14
4.4 - Contenu en bicarbonates et en CO_2	15
4.5 - pH et température	15
4.6 - Synthèse et discussion des données sur la qualité de l'eau	15
5. Géophysique	16
5.1 - Possibilités et limites de la méthode des sondages électriques	17
5.2 - Résultats obtenus	20
5.2.1 - Cartes de la résistivité apparente	20
5.2.1.1 : Carte des résistivités en AB = 200 m	21
5.2.1.2 : Carte de la résistivité en AB = 600 m	21
5.2.2 - Développement du complexe conducteur	22
5.2.3 - Allure du substratum conducteur	23
5.2.4 - Distribution des résistivités dans les terrains de couverture et dans le substratum	25
5.3 - Synthèse et discussion des données géophysiques	26
6. Les essais de pompage	28

7. Simulation numérique de l'accroissement des prélèvements et de ses répercussions sur l'aquifère	29
7.1 - Données disponibles	29
7.1.1 - Caractéristiques géométriques de l'aquifère	29
7.1.2 - Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère	30
7.2 - Distribution des transmissivités	31
7.3 - Méthode utilisée	31
7.4 - Mise en oeuvre	32
7.5 - Application	33
7.5.1 - Scénario 1	34
7.5.2 - Scénario 2	35
7.6 - Discussion et conclusions des simulations numériques de l'accroissement des prélèvements	35

TABLEAUX

1. Données caractéristiques des forages
2. Données caractéristiques des puits de gros diamètre

FIGURES

1. Sondages électriques caractéristiques : zone interne
2. Sondages électriques caractéristiques : zone littorale
3. Courbes caractéristiques - Forages de LOKA-HIHIFO
4. Courbes caractéristiques - Forages de MUA

PLANCHES

1. Carte de position et géologie (Hors texte)
2. Carte piézométrique (Janvier - Mars 1981)
3. Carte des conductivités (Janvier - Mars 1981)
4. Carte de la dureté des Eaux (Janvier - Mars 1981)
5. Carte des teneurs en Cl^- (Janvier - Mars 1981)
6. Carte des teneurs en bicarbonate (Janvier - Mars 1981)
7. Carte de la teneur en CO_2
8. Carte de la résistivité en AB = 200 m
9. Carte de la résistivité en AB = 600 m
10. Carte du mur du complexe conducteur
11. Carte du toit du substratum conducteur
12. Profils géophysiques (Hors texte)
13. Carte des transmissivités
14. Abaissements piézométriques - Pompages actuels
15. Abaissements piézométriques - Scénario 1
16. Abaissements piézométriques - Scénario 2

1. INTRODUCTION

Comme suite à l'ordre de service notifié le 13 octobre 1980 par le Territoire des Iles Wallis et Futuna - Service du Génie Rural de Wallis, la Société ARLAB a réalisé une étude hydrogéologique et géophysique dans l'île de Wallis.

Les travaux de terrain se sont déroulés entre le 17 décembre 1980 et le 10 mars 1981 et ont compris les interventions suivantes :

- La reconnaissance des conditions hydrogéologiques à l'échelle régionale.
- L'inventaire des points d'eau avec la mesure du niveau statique dans les forages et puits existants et la prise d'échantillons d'eau.
- L'analyse des échantillons d'eau (conductivité, dureté, Cl^- , CaHCO_3 , CO_2 , pH et température).
- La mise en oeuvre d'une campagne géophysique par sondages électriques (S.E.) répartis sur l'ensemble du territoire.
- Des essais de débit dans les forages en exploitation.

Les travaux réalisés au siège d'ARLAB comprennent :

- L'interprétation des données hydrogéologiques, géophysiques, des essais de pompage et la préparation du présent rapport de synthèse.
- L'établissement d'un programme d'exploitation des eaux souterraines étudié sur ordinateur à l'aide d'un modèle schématique des phénomènes hydrogéologiques mis en jeu lors de l'exploitation de la nappe.

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés sur le terrain ainsi que de la simulation numérique de l'accroissement des prélèvements et de ses répercussions sur l'aquifère.

2. TRAVAUX REALISES

2.1 - Personnel et matériel

Les opérations de terrain ont été menées par un ingénieur d'ARLAB expert en géophysique et hydrogéologie, Monsieur A. Bernardi, avec l'aide de trois manoeuvres auxiliaires pour la géophysique.

L'équipe de géophysique disposait du matériel suivant :

- une camionnette Peugeot bâchée,
- un potentiomètre E.GEO de construction ARLAB, adapté pour les mesures en pays tropicaux, avec échelle des intensités comprise entre 10 mA et 5 A et des différences de potentiel comprises entre 1 mV et 1000 mV,
- 4 ensembles de batteries sèches, capables de fournir 360 V et 2 A, pour l'alimentation du circuit d'énergie AB,
- 3 téléphones de campagne,
- 3 boussoles,
- 1 baromètre de précision type SURVEYING ANEROID,
- 1500 m de câble monoconducteur monté sur bobines pour le circuit AB,
- câbles de cuivre pour le circuit de mesure MN, connexions variées, 8 piquets en fer pour les prises AB, 15 piquets en cuivre pour les prises MN et petit matériel accessoire.

Les analyses d'eau ont été réalisées dans un petit laboratoire installé sur place. La conductivité a été mesurée avec un résistivimètre PHILIPS mod. PV 9504/00 et les analyses chimiques ont été effectuées par méthode colorimétrique.

Les essais de débit ont été effectués en utilisant les pompes des installations existantes.

2.2 - Travaux réalisés

- 121 sondages électriques (S.E.) dont :

- . 40 S.E. en AB maximum compris entre 1000 et 1500 m
- . 67 S.E. en AB maximum compris entre 600 et 800 m
- . 14 S.E. en AB maximum compris entre 300 et 400 m

- nivellement barométrique des centres de station des 121 S.E. et des puits existants,
- inventaire de 68 points d'eau et mesure de 29 niveaux piézométriques,
- recueil et analyse de 52 échantillons d'eau,
- 2 essais de débit dans les stations de pompage de LOKA-HIHIFO et de MUA.

Le plan de position des S.E. et des points d'eau inventoriés est présenté dans la planche 1.

Soulignons enfin que, d'un commun accord avec Monsieur Vavasseur, il a été décidé durant l'inventaire des points d'eau, de mettre en oeuvre un programme de nivellement. Ce programme, réalisé par le Service de l'Economie rurale, a permis de niveler 20 puits, les forages existants, les principaux lacs et quelques résurgences d'eau situées à proximité de la côte. La piézométrie de la nappe a ainsi pu être précisée en de nombreux secteurs de l'île (planche 2).

3. HYDROGEOLOGIE

3.1 - Cadre morphologique et géologique de la zone (planche 1 - hors texte)

L'île de Wallis, avec une superficie de 75 km² environ, présente une morphologie doucement ondulée, sans réseau hydrographique net.

Les reliefs les plus importants de l'île sont constitués par une série de collines situées dans la partie centrale que dominent le Mt LULU FAKANEGA, le Mt AFALA et le Mt HOLO avec des cotes comprises entre 120 et 150 m, et par un second groupe de collines plus basses, situées dans le secteur Sud

Est (M. ATALIKA, zone des lacs LANUTULI, LANUMAHA, LANUTAVAKE), et qui atteignent 60 à 70 m d'altitude.

Ces deux groupes de collines sont séparés par une vaste dépression sensiblement orientée Ouest-Est, avec sur son axe les lacs RIKILA et LANO dont les plans d'eau ont une altitude inférieure à 40 m.

Au Nord (secteur HIHIFO - TUFUONE - VAILALA) et au Sud (secteur LOTOALAHU - MALAEFOOU - HALALO) les reliefs diminuent vers la mer avec une pente uniforme alors que dans la partie Est (secteur GAMUA - HAAFUASIA) et Ouest (secteur TUFUONE - AHOA) ils se raccordent à la côte avec des escarpements de l'ordre de 10 à 30 m.

A l'exception d'un cordon littoral étroit et discontinu constitué par une plage sableuse et par une ceinture de corail visible seulement à marée basse, les roches affleurantes sont exclusivement d'origine volcanique. Quatre vingt pour cent de l'île est recouvert par des roches volcaniques anciennes, de la fin du tertiaire. Cette série est très altérée et constituée de cinérites et de tufs avec intercalation de basaltes, latérisés en surface. Le reste de l'île, secteur AHOA, LAC LANUTAVAKE, LAC LANO, est constitué de coulées basaltiques récentes de type Hawaïen, sans couverture d'altération. Les coulées d'âge quaternaire se sont probablement produites en plusieurs fois à partir du pléistocène moyen.

Les épanchements de lave ont été accompagnés d'importantes manifestations explosives de type phréatomagmatique*, qui ont laissé en témoignage de gros blocs disséminés sur l'île et une dizaine de lacs très profonds, en forme de cratère (atteignant 95 m de profondeur pour le lac LALOLALO).

Ces manifestations explosives ont provoqué une fracturation très denses des formations volcaniques déjà consolidées et de ce fait, une augmentation de leur perméabilité d'origine.

Les terrains volcaniques, assez hétérogènes dans leur ensemble, sont le siège d'une nappe phréatique alimentée par l'infiltration efficace de la pluie (pluviométrie moyenne de 3200 mm/an entre 1964 et 1977 ; de 2683 mm/an entre 1949 et 1962). La nappe d'eau douce, de forme lenticulaire, repose sur des eaux d'abord saumâtres, puis franchement salées en provenance du milieu marin environnant, selon un schéma classique de Ghyben-Herzberg.

Ses exutoires naturels sont constitués par les pertes à la mer, le long de la côte, matérialisées en de nombreux points par des sources dont une partie est seulement visible à marée basse.

* telles explosions se manifestent lorsque le réservoir magmatique est envahi par les eaux, et dans notre cas, par la mer.

L'absence de cours d'eau, les débits extrêmement faibles des sources suspendues et l'infiltration très rapide des eaux météoriques sont l'indice de l'importante perméabilité des formations volcaniques et de leur couche d'altération. Rappelons que cette perméabilité est probablement le résultat d'une tectonique phréatomagmatique relativement récente.

3.2 - Points d'eau existants

3.2.1 - Forages et stations de pompage (Tableau 1)

L'alimentation en eau de l'île de Wallis est actuellement assurée au moyen de trois stations de pompage réalisées en 1973 et situées sur le flanc Est de l'île. Chaque station comporte deux forages qui exploitent les eaux souterraines. Les débits fournis par ces stations, sont généralement modestes et très variables d'un site à l'autre :

- la station de pompage située au Sud-Est (secteur de MUA) fournit un débit de l'ordre de 32 m³/h, avec un rabattement dans les forages de l'ordre de 2 à 3 m ;
- la station centrale, située à l'Ouest de MATA UTU (secteur de HOLO) fournit un débit de l'ordre de 50 m³/h, avec un rabattement de 20 - 30 cm ;
- la station située au Nord-Est de l'île (secteur de LOKA-HIHIFO) fournit un débit de 20 m³/h environ, avec un rabattement de l'ordre de 2 m.

Les forages des stations de pompage pénètrent seulement dans la partie superficielle de l'aquifère : environ 10 m dans les cas des stations de MUA et d'HOLO et 5 m environ dans le cas de la station de LOKA-HIHIFO.

Les pompes sont situées entre 4 et 6 m sous le niveau statique de la nappe et s'arrêtent automatiquement lorsque l'abaissement dépasse 3,5 m dans les puits. Cette précaution, associée à des cotes relativement élevées du niveau statique (+ 7,6 m à MUA + 4,9 m à HOLO), exclut tout risque de remontée de l'eau salée.

Tous les forages des stations de pompage ont été réalisés dans les terrains volcaniques de la série la plus ancienne.

Tableau 1

DONNEES CARACTERISTIQUES DES FORAGES

DENOMINATION	COTE*	DIAMETRE TUBAGE (mm)	PROFOND.	NIVEAU STATIQUE		COTE PIEZOMET. Mars 1981	OBSERVATIONS
				Sept. 1972	Mars 1981		
LOKA-HIHIFO (Piézo)	23, 23	70	26, 2	20, 78	**	-	EQUIPE AVEC LIMNIGRAPHE
LOKA-HIHIFO (Station Ouest)	24, 93	206	27, 1	22, 48	22, 12	2, 81	- Pompe à 27 m profondeur - Débit max. $\approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$
LOKA-HIHIFO (Station Est)	22, 92	206	24, 9	20, 49	20, 13	2, 79	- Pompe à 24, 8 m profondeur - Débit max. $\approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$
HOLO (Piézo)	48, 73	70	50, 0	44, 33	43, 86	4, 87	LIMNIGRAPHE EN COURS D'INSTALLATION
HOLO (Station Sud)	48, 53	206	54, 0	48, 33	**	-	- Pompe à 48 m environ - Débit max. $\approx 30 \text{ m}^3/\text{h}$
HOLO (Station Nord)	48, 39	206	54	44, 19	**	-	- Pompe à 48 m environ - Débit max. $\approx 30 \text{ m}^3/\text{h}$
MUA (Station Nord)	10, 99	235	15, 1	5, 30	3, 46	7, 53	- Débit max. $\approx 20 \text{ m}^3/\text{h}$
MUA (Station Sud)	10, 94	155	15, 3	5, 30	3, 35	7, 59	- Débit max. $\approx 20 \text{ m}^3/\text{h}$
MALAEOLI (Piézo)	4, 70	160	8, 2	-	2, 18	2, 52	EQUIPE AVEC LIMNIGRAPHE

* Sommet tubage en fer

** non accessible

Les coupes stratigraphiques fournies par les entreprises indiquent que les forages auraient d'abord recoupé des argilites et des formations volcaniques très tendres (jusqu'à 12 m dans le forage de MUA, 46 m dans le forage d'HOLLO et 22 m dans celui de LOKA), puis des formations plus dures et denses en profondeur. Ceci correspond probablement au passage gradué entre la partie altérée et la partie saine de la roche. Les stations d'HOLLO et de LOKA-HIHIF0 sont toutes deux équipées d'un piézomètre.

Un quatrième forage destiné à fournir de l'eau potable dans la partie Ouest de l'île a été réalisé dans le secteur de MALAETOLI, à environ 150 m de la mer. Ce forage de 12 m de profondeur recoupe entièrement les laves récentes. Il s'est révélé improductif et a été transformé en piézomètre.

Des limnigraphes ont été installés dans les piézomètres de LOKA-HIHIF0 et de MALAETOLI. Un troisième limnigraphe sera prochainement installé dans le piézomètre de la station d'HOLLO.

Il est intéressant de signaler que dans les stations de pompage, les cotes piézométriques mesurées en septembre 1973, c'est-à-dire avant la mise en production des forages, étaient plus basses que celles mesurées en mars 1981 (de l'ordre de 30 à 50 cm dans les forages d'HOLLO et de LOKA, de près de 2 m dans le forage de MUA).

Ce phénomène semble tout à fait normal compte tenu du fait que les mesures avaient été effectuées en septembre 1973, c'est-à-dire à la fin de la saison sèche, et celles effectuées en 1981 durant la saison des pluies. Par ailleurs, cela confirme que les débits actuellement prélevés par les forages n'ont pas une incidence marquée sur les fluctuations piézométriques naturelles de la nappe.

3.2.2 - Les puits à gros diamètre (tableau 2)

Avant la mise en service du réseau de distribution en eau potable, la population de l'île, essentiellement concentrée sur la bordure littorale, s'alimentait en eau soit par l'intermédiaire de puits à gros diamètre, soit à l'aide de citernes métalliques.

Il existe, encore à l'heure actuelle, une soixantaine de ces installations plus ou moins abandonnées.

Les puits à gros diamètre, construits par le Service de l'Economie Rurale et déjà recensés en 1969, captent l'eau de la nappe principale à quelques mètres de profondeur au moyen de pompes à main BRIAU. Leur profondeur est comprise entre 4 et 8 m. Actuellement, une vingtaine de ces puits sont encore utilisés, de manière épisodique ; beaucoup d'entre eux sont abandonnés et souvent obturés. Les 29 puits encore existants ont été numérotés de la même manière que lors de l'inventaire de 1969. Leurs caractéristiques figurent dans le tableau 2.

On notera la présence d'un nouveau puits (secteur de MALAETOLI) construit après 1969.

3.2.3 - Puits superficiels et sources

Outre les puits à gros diamètre, il existe un certain nombre de petits puits, creusés à la main par les habitants de l'île. Ces petits puits ne sont pas revêtus et leur profondeur est comprise entre 0,5 et 2 m. Sept de ces points d'eau avaient été inventoriés en 1969 ; ils sont positionnés sur la planche 1 avec leur numéro d'origine (21, 21bis, 41...). Cinq nouveaux puits ont été recensés en 1981 ; leur position est indiquée sur la planche 1 à l'aide de lettres alphabétiques (P, Q, J...).

Quatorze sources ont été également prises en compte dans l'inventaire. Parmi ces sources, une seule peut être considérée comme l'exutoire d'une nappe perchée, avec un débit de quelques litres par minute (source D sur la planche 1) ; les autres sources sont situées sur le bord du littoral où elles constituent un des exutoires de la nappe principale.

Par ailleurs, des observations effectuées durant la marée basse ont permis de constater qu'il existe également de nombreuses sources sous-marines qui se manifestent dans les formations coralliennes situées autour de l'île.

Tableau 2

DONNEES CARACTERISTIQUES DES PUIITS A GROS DIAMETRE

DENOMINATION	COTE*	PROFONDEUR DU PUIITS	NIVEAU STATIQUE	COTE PIEZOM.	OBSERVATIONS	
4**	5	3,1	2,48	-	Puits Ecole de Vaitupu fermée	
5A	5,7	4,2	3,15	2,55		
5B	8,72	8,3	6,17	2,55		
6	6,46	4,7	3,75	2,71		
7	4,55	6,1	1,97	2,58		
8	4,54	5,5	2,16	2,43		
11**	-	-	-	-		
13	6,80	6,1	4,73	2,07		
14**	8	8,2	6,30	-		
15**	6	4,9	3,83	-		
16	4,94	6,0	2,14	2,80		
19	3,56	2,9	1,43	2,13		
24	9,52	6,2	4,87	4,65		
26	8,56	6,4	4,11	4,45		
36**	5	4,2	1,97	-		
40**	6	5,2	3,12	-		
51	4,17	4,2	1,66	2,51		
53**	4	4,8	2,76	-		
55**	5	5,2	1,90	-		
56	7,32	6,0	3,92	3,40		
60	5,94	6,1	3,65	2,29		
61	6,38	5,1	3,69	2,69		
62	4,99	5,2	2,48	2,51		
63	5,72	5,1	2,81	2,91		
65	7,19	6,2	4,20	2,99		
66	5,85	5,1	3,22	2,63		
68	10,49	9,2	6,30	4,19		
74	9,52	7,5	2,47	7,05		
S	6,04	6,0	3,47	2,57		
(MALAETOLI)						
* Repère sur dalle de protection en béton						
** Cote relevée avec baromètre						

Une évaluation, même approximative, des quantités d'eau ainsi évacuées par les sources n'a pas été possible à cause du caractère diffus de ces résurgences. Soulignons toutefois que la plus grande partie des sources recensées est caractérisée par des débits relativement faibles, inférieurs à 1 l/s. Deux sources seulement ont un débit plus important (supérieur à 10 l/s) ; il s'agit de la source M à MALAEFOOU et de la source F à AKAAKA.

L'importante dispersion des sources, particulièrement dans le secteur Est de l'île, tend à confirmer que l'aquifère est constitué de roches très fracturées et saturées de manière relativement homogène.

Enfin, signalons encore que la nappe principale affleure dans de nombreux lacs : lac de RIKILA, situé dans une dépression naturelle, lacs qui remplissent les cratères récents de LALOLALO, LANO et LANUTAVAKE et probablement dans de nombreux autres lacs, dont on ignore la cote, et qui occupent le fond des cratères plus anciens de LANUMAHA et de LANUTULI. Les cotes des lacs de LANO et de LANUTAVAKE sont respectivement de + 3,72 m et de + 12,69 m.

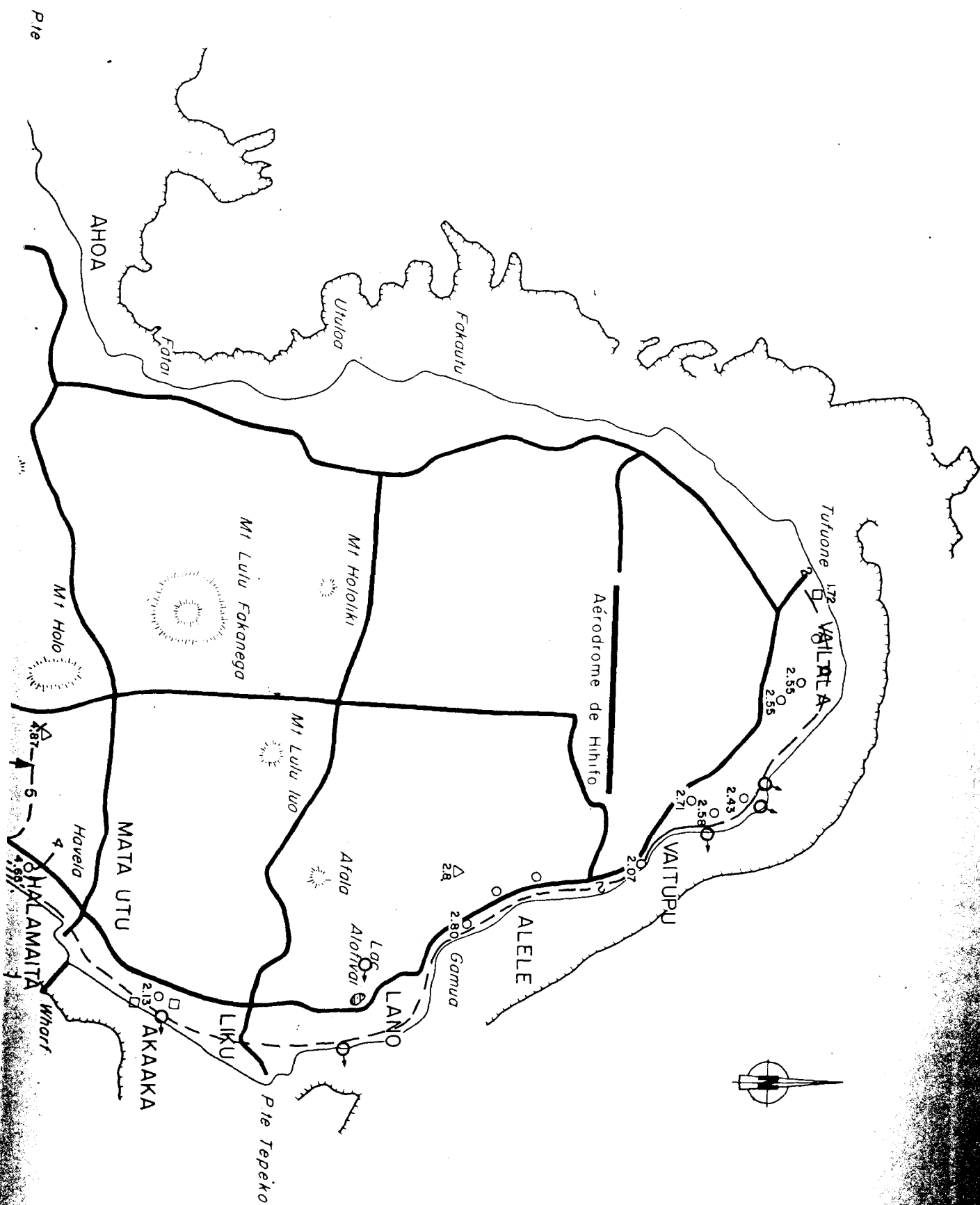
3.3 - Piézométrie de la nappe (planche 2)

La faible densité des données piézométriques, particulièrement dans la partie centrale de l'île, n'a permis le tracé des courbes piézométriques que dans quelques secteurs.

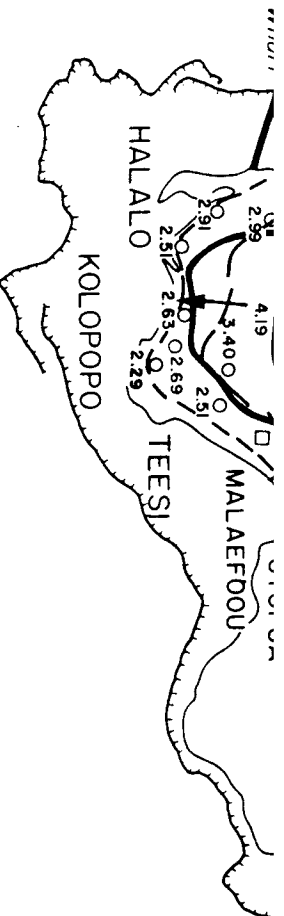
L'observation la plus importante du point de vue piézométrique est la cote du niveau de la nappe relevée dans les points d'eau situés très près du littoral (P, 13, 19, J, 60, N) qui est partout de l'ordre de + 2 m et qui reste constante durant les marées.

Rappelons à ce propos que la cote zéro de l'île correspond à la cote de la marée la plus basse et que l'amplitude de la marée est comprise entre 1,5 m et 2 m.

Ce phénomène met en évidence le rôle de "tampon" joué par les eaux marines salées vis à vis des eaux douces de la nappe.



0 1 2 Km



CARTE PIEZOMETRIQUE (JANV - MARS 1981)

ECHELLE : 1/50 000

arlab

LEGENDE

Forage	Δ	Source	○
Puits à gros diamètre	○	Cote piézométrique	● 2.52
Puits superficiel creusé à la main	□	Courbe iso-piezométrique et sa valeur	—7—

Il semble de ce fait que la charge hydraulique à proximité du littoral est actuellement suffisante pour empêcher une invasion salée dans la nappe ; on peut également en déduire que la lame d'eau douce à proximité de la côte est probablement de plusieurs dizaines de mètres (principe de Ghyben-Herzberg).

Dans la partie méridionale de l'île où l'allure piézométrique a pu être mieux définie, on observe des variations du gradient piézométrique que l'on peut associer à des variations de perméabilité de l'aquifère :

- un secteur Ouest, entre LANUTAVAKE et MALAETOLI, où le fort gradient (1%) correspond probablement à une perméabilité moyenne faible. Ceci expliquerait le mauvais rendement du forage de MALAETOLI.
- un secteur central entre LOTOALAHU et KOLOPOPO où le faible gradient (2‰) traduit une meilleure perméabilité de l'aquifère.
- un secteur entre le forage de MUA et MALAEFOOU où le gradient reste relativement modeste (6‰) ce qui est caractéristique d'un aquifère de bonne qualité hydrodynamique.

Deux axes de drainage préférentiel ont été indiqués sur la planche 2 respectivement dans les zones de KOLOPOPO et de MALAEFOOU ; l'axe de MALAEFOOU se trouve confirmé par la présence des sources marines les plus importantes de l'île.

Dans la zone du lac RIKILA, les observations suivantes peuvent être formulées :

- vers l'Est, entre le lac et la mer, le gradient est très élevé ; en fait, dans le puits 26, situé à l'Est du lac et à 150 m environ de la mer, la cote piézométrique est encore de + 4,54 m, ce qui traduit une perméabilité très faible du milieu aquifère.
- vers le Nord, entre le lac et le forage de HULO, le faible gradient (1‰ environ) semble indiquer que l'aquifère est très perméable dans cette zone et que les eaux du lac de RIKILA sont drainées vers HULO-MATA UTU. La bonne perméabilité de l'aquifère dans ce secteur est confirmée par les bonnes performances des forages de HULO, qui sont les plus productifs de l'île.

Enfin, signalons que les cotes piézométriques maximum mesurées dans les lacs de LANUTAVAKE (+ 12,69 m) et de RIKILA (+ 6,64 m) indiqueraient que l'épaisseur de la lentille d'eau douce peut atteindre plus de cent mètres en certains secteurs.

3.4 - Synthèse et discussion des données hydrogéologiques

Les roches de l'île de Wallis, intéressées par une tectonique récente comme le montre la présence de cratères phréatomagmatiques dans les laves non altérées et le soulèvement général des plages sableuses, sont très fracturées et perméables et semblent être le siège d'un aquifère unique.

Les points d'affleurement de la nappe sont constitués par certains lacs (LALOLALO, LANUTAVAKE, RIKILA et probablement LANUTULI et LANUMAHA) et par de nombreuses sources dont certaines s'écoulent directement dans la mer au niveau de la plateforme corallienne immergée qui entoure l'île. Les deux sources les plus importantes ont un débit total évalué à environ 20 l/s (74 m³/h).

Les forages actuellement en exercice pénètrent très peu dans l'aquifère et le débit total pompé (environ 100 m³/h de débit de pointe) est certainement très en dessous des possibilités de la nappe.

Dans les deux stations les plus importantes HOLO et MUA, le pompage est interrompu quand le niveau dynamique atteint respectivement des cotes de + 1,5 m et + 4,5 m : cette précaution est suffisante pour éviter toute invasion salée de la nappe par phénomène de coning. En fait, on observe que jusqu'à présent, les pompages n'ont provoqué aucune répercussion d'ordre piézométrique et d'ordre physico-chimique sur l'aquifère.

Les mesures piézométriques effectuées dans les points d'eau situés à l'intérieur de l'île ont montré que la charge hydraulique est relativement importante (+ 12,7 m dans le lac de LANUTAVAKE) ce qui physiquement implique la présence d'une lame d'eau douce de plus de 100 m d'épaisseur au droit de ces points d'eau.

A partir de l'allure des courbes piézométriques, il a été possible d'individualiser deux secteurs présentant un gradient piézométrique faible (1 à 2‰) ce qui est caractéristique de terrains particulièrement perméables.

- le premier secteur se situe entre le lac de RIKILA et le forage d'HOLLO.
- le second secteur, à proximité de LOTOALAH.

Ces secteurs correspondent par ailleurs à des zones préférentielles de drainage de la nappe.

4. QUALITE DES EAUX

Les résultats des analyses d'eau sont présentés sous forme de cartes ; carte de conductivité (Pl.3), dureté (Pl.4), contenu en Cl^- (Pl.5), contenu en $CaHCO_3$ (Pl.6), contenu en CO_2 (Pl.7) qui seront commentées ci-après.

Le pH et la température de l'eau, très uniformes sur l'ensemble du domaine, n'ont pas fait l'objet de carte.

4.1 - Conductivité des eaux (Planche 3)

Dans la partie interne de l'île, les eaux de la nappe sont caractérisées par une conductivité excessivement basse, ce qui traduit leur très faible minéralisation. Les échantillons d'eau des stations de pompage et des lacs qui constituent les points de prélèvement les plus lointains de la mer ont une conductivité inférieure à 70 micro-Siemens. Dans la zone côtière, soit en bordure immédiate de la mer, soit dans les secteurs distants de quelques centaines de mètres du rivage (en particulier dans la partie Nord entre ALELE et VAILALA et dans la partie Sud entre MALAEFOU et HALALO), les eaux sont plus conductives avec des valeurs comprises entre 200 et 600 Siemens.

4.2 - Dureté (Planche 4)

Conformément aux données de la conductivité commentées ci-dessus, les eaux internes de l'île sont caractérisées par une dureté totale très basse et comprise entre 1,5 et 5 degrés français.

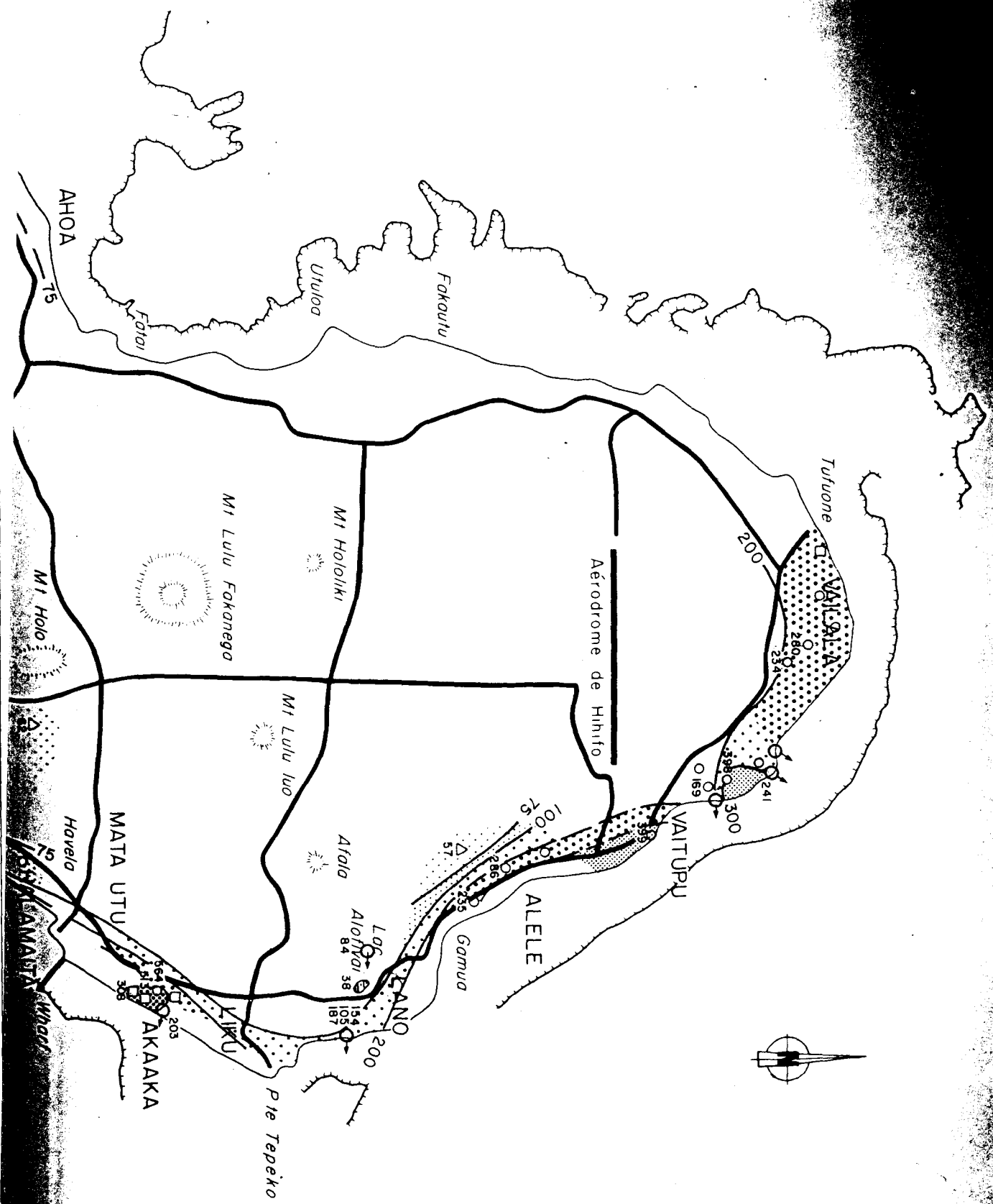
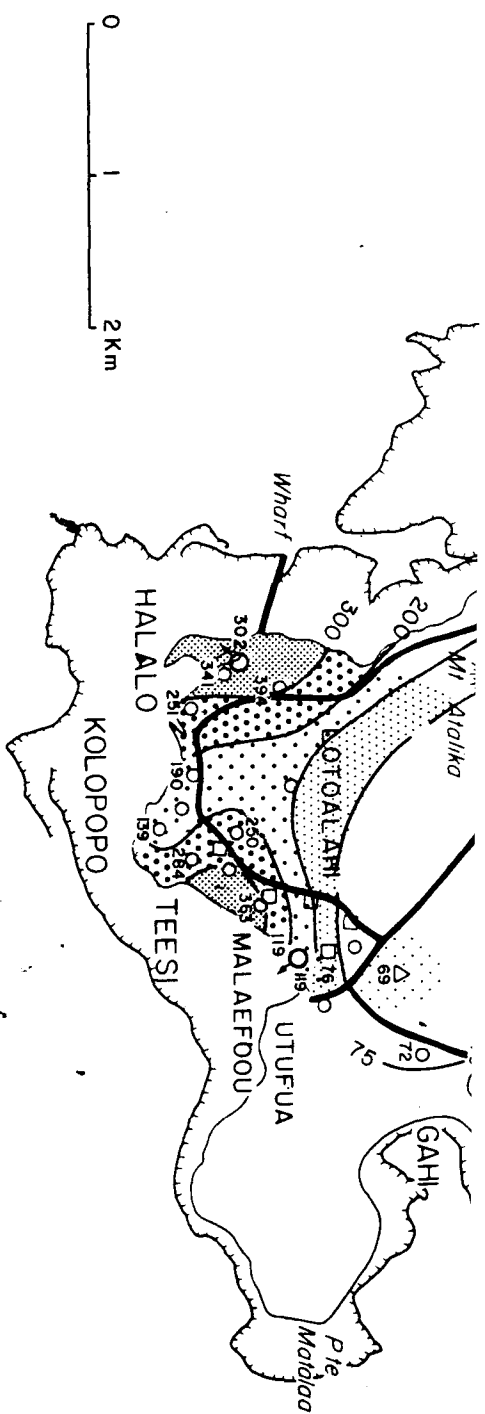


Planche N° 3



CARTE DE CONDUCTIVITE (JANV-MARS 1981)

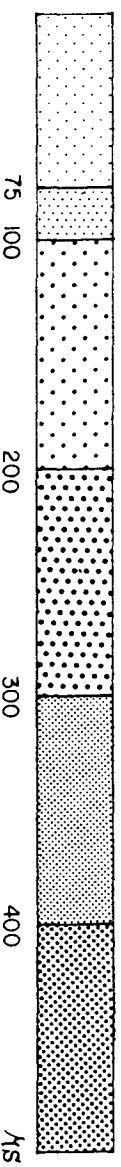
ECHELLE 1/50 000

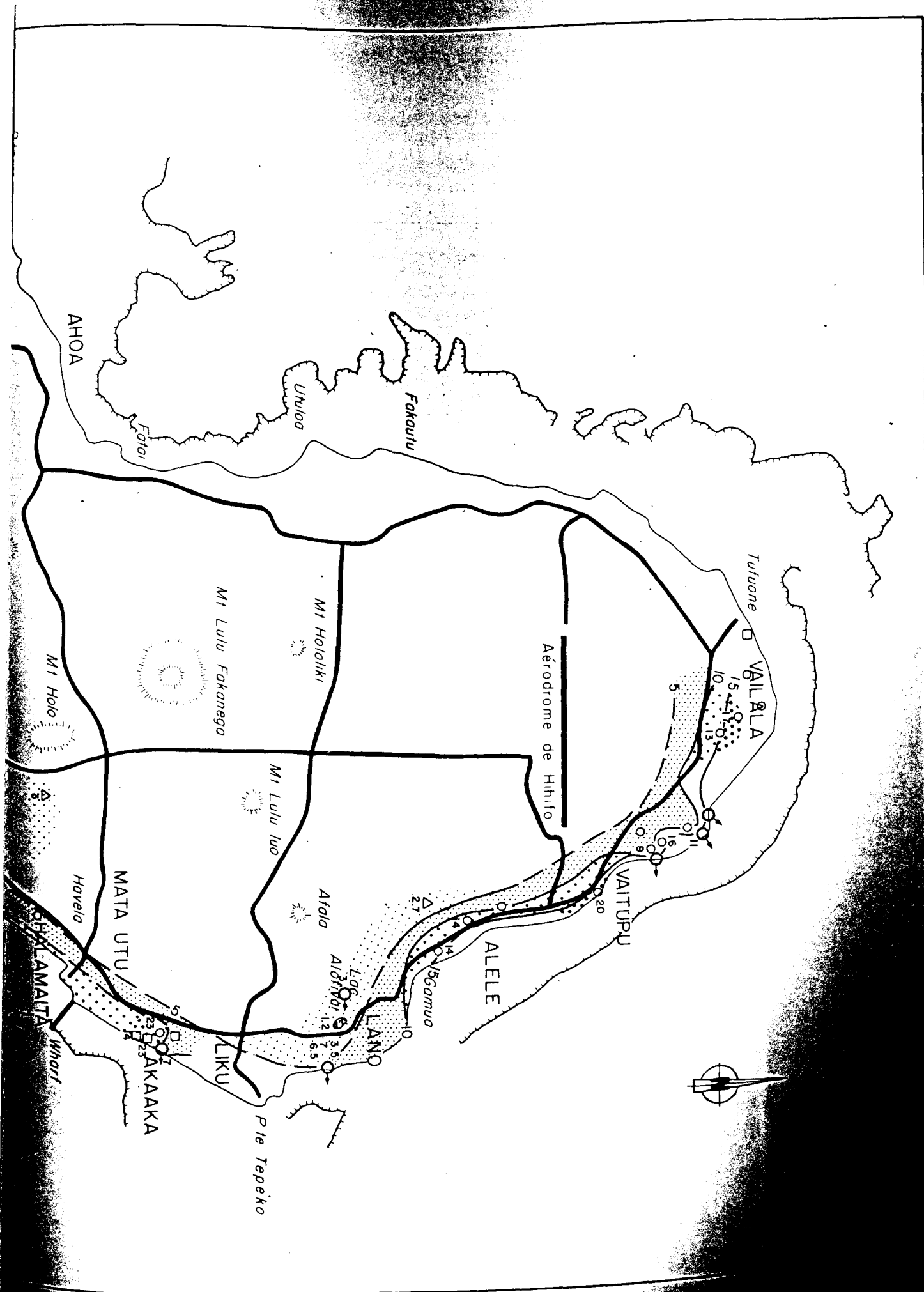
arlab

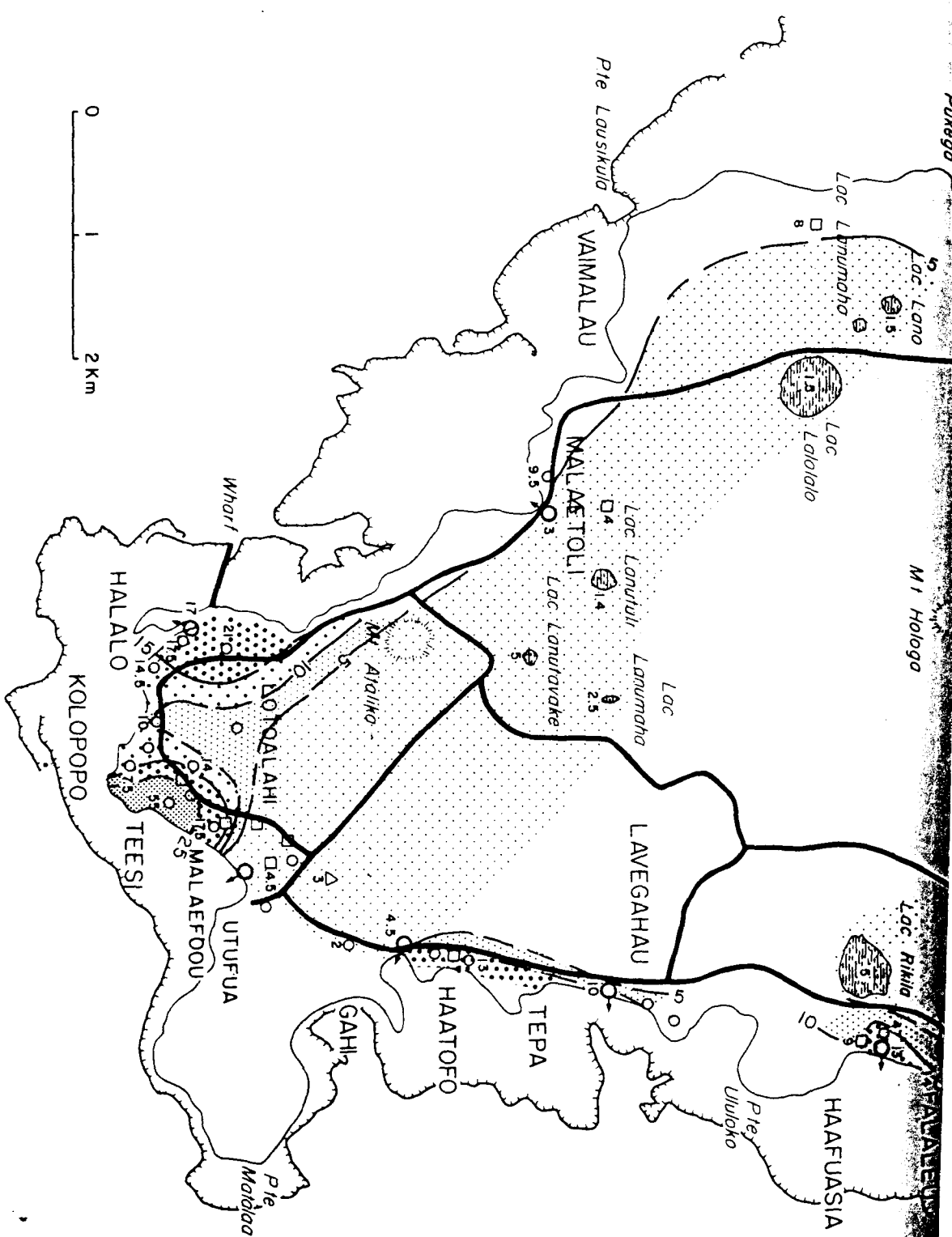
LEGENDE

Forage	Δ	Source	○
Puits à gros diamètre	○	Conductivité en μ Siemens	67
Puits superficiel creusé à la main	□	Courbe d'iso-conductivité et sa valeur	—75—

ECHELLE DES CONDUCTIVITES (μ S).

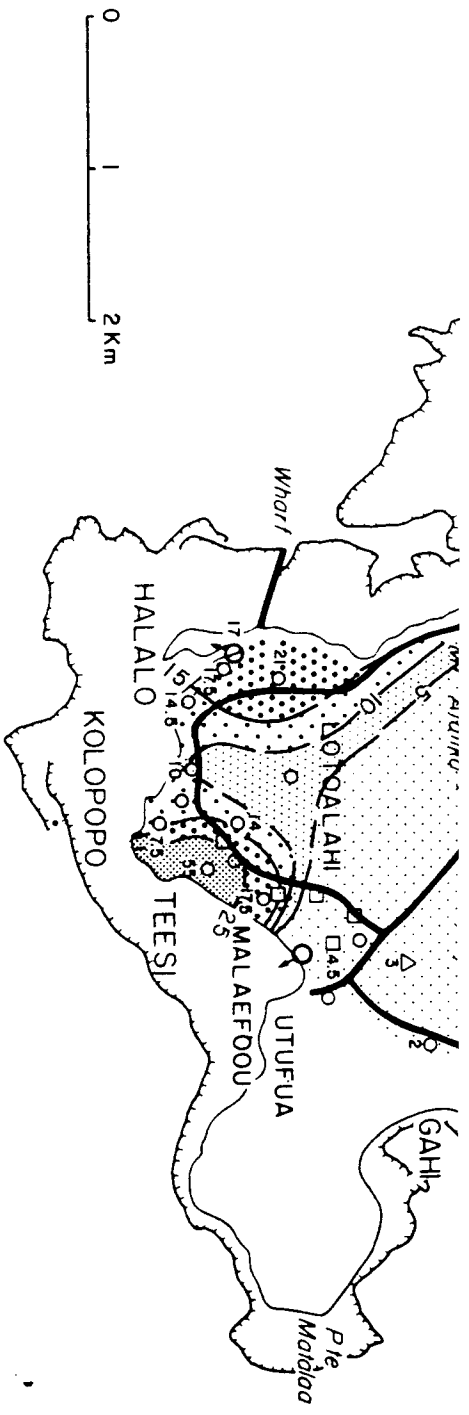






CARTE DE LA DURETE DES EAUX (JANY-MARS 1981)

ECHELLE: 1/50 000



arlab

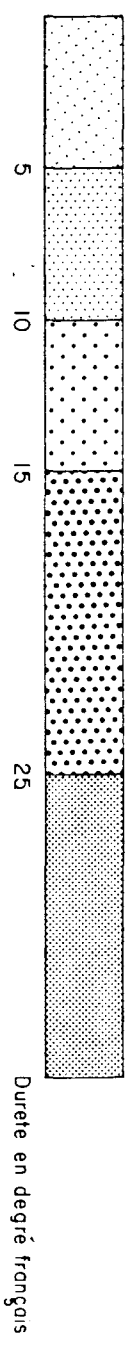
CARTE DE LA DURETE DES EAUX (JANV-MARS 1981)

ECHELLE 1/50 000

LEGENDE

- | | | | |
|------------------------------------|---|--|-----|
| Forage | Δ | Source | ○ |
| Puits à gros diamètre | ○ | Valeurs de la dureté en degré français | 3 |
| Puits superficiel creusé à la main | □ | Courbe d'iso-dureté et sa valeur | —5— |

ECHELLE DE LA DURETE



Des eaux relativement plus dures, mais toutefois toujours peu minéralisées en valeur absolue (dureté comprise entre 10 et 20 degrés français) sont présentes dans les secteurs déjà cités de ALELE-VAI LALA et MALAEFOOU-HALALO et dans des secteurs très limités des côtes Ouest et Est.

4.3 - Contenu en Cl^- (Planche 5)

Compte tenu de l'insularité du territoire, toutes les eaux examinées contiennent une petite quantité de Cl^- provenant avant tout de la pluie. Ceci serait démontré par le fait que l'eau de pluie de l'échantillon prélevé dans le lac de ALOFIVAI contient la même quantité de Cl^- (14 mg/l) que les échantillons d'eau de nappe prélevés dans les 3 forages profonds de HOLON (14 mg/l) LOKA-HIHIFO (15 mg/l) et MUA (15 mg/l).

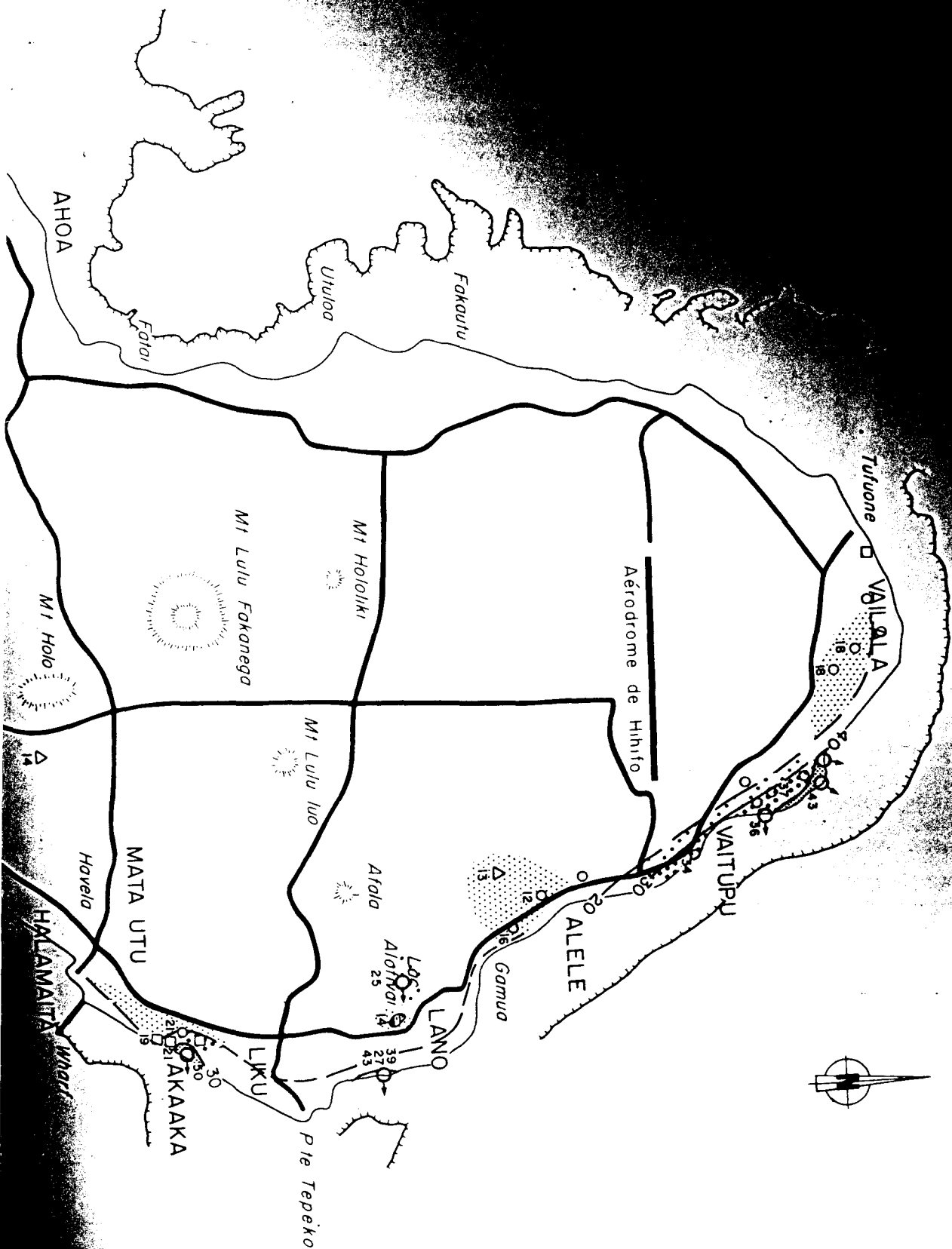
Le contenu en Cl^- est presque toujours inférieur à 50 mg/l. On trouve cependant des teneurs plus fortes en Cl^- dans les échantillons prélevés dans les lacs de LANUTULI (299 mg/l) et LANUMAHA (89 mg/l). Il s'agit probablement dans ces cas du résultat d'une forte évaporation dans ces lacs qui sont en fait des marigots très peu profonds.

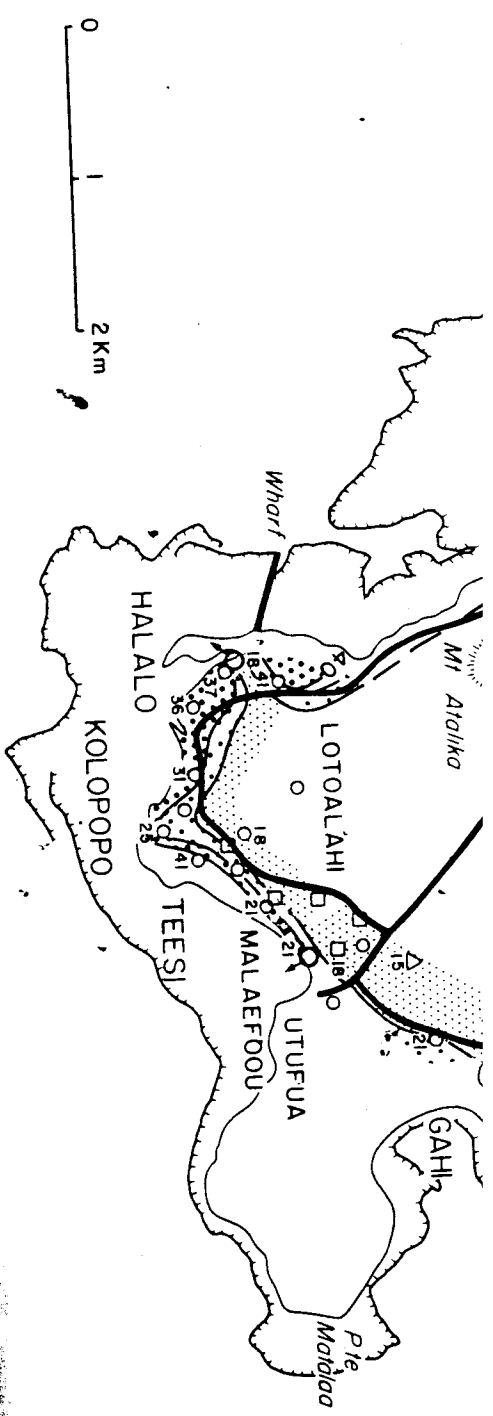
Le contenu généralement très faible en Cl^- des eaux de la nappe, même dans les points d'eau situés à proximité de la mer, conduit à confirmer qu'il n'y a pas de phénomène d'invasion salée en cours.

Signalons toutefois que sur le littoral de VAITUPU au Nord (puits 7) et de TEESI-HALALO-KOLOPOPO au Sud (puits 65), les teneurs en Cl^- sont légèrement plus élevées (30 à 40 mg/l contre 15 à 20 mg/l qui représentent la moyenne des eaux des puits et des sources dans les autres secteurs de l'île).

La légère augmentation des teneurs en Cl^- enregistrées dans ces secteurs pourrait coïncider avec des perméabilités locales plus basses et des temps de contact plus longs. Enfin, certains points d'eau situés sur le littoral (points d'eau 2, G, H) sont également un peu plus riches en Cl^- .

Il peut s'agir dans ce cas, soit d'un phénomène de diffusion chimique à partir des eaux marines ou plus simplement, d'une petite invasion salée dans les zones basses durant la marée haute.





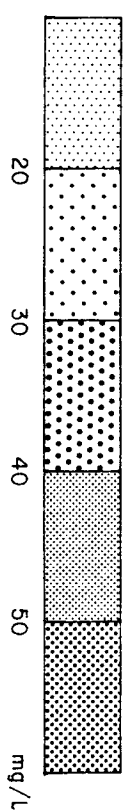
CARTE DES TENEURS EN Cl^- (JANV-MARS 1981)

ECHELLE 1/50 000

arlab

- Forage Δ Source \circ
- Puits à gros diamètre \circ Teneur en Cl^- (mg/l) 36
- Puits superficiel creusé à la main \square Courbe d'iso-teneur et sa valeur —20—

ECHELLE DES TENEURS EN Cl^- (mg/L)



4.4 - Contenu en bicarbonates et en CO₂ (Planches 6 et 7)

Les teneurs en bicarbonates et en CO₂ sont faibles dans les échantillons prélevés à l'intérieur de l'île (15 à 40 mg/l en bicarbonates, 10 à 25 mg/l en CO₂) ce qui est normal compte tenu de la nature essentiellement siliceuse de l'aquifère volcanique. Par contre, dans les zones côtières, ces teneurs sont plus élevées (100 à 200 mg/l en bicarbonates ; 20 à 90 mg/l en CO₂) et en particulier dans les secteurs de ALELE-VAI LALA et de MALAEFOOU-HALALO où la plage de teneur élevée en bicarbonates s'étend au delà de 500 m à l'intérieur de l'île.

Des teneurs aussi élevées en bicarbonates s'expliquent mal dans un aquifère exclusivement constitué de terrains volcaniques siliceux. Il faudrait envisager qu'il existe des éléments calcaires mélangés aux brèches volcaniques ou plus probablement, la présence de formations coralliennes, localisées et n'affleurant pas sur l'île.

4.5 - pH et Température

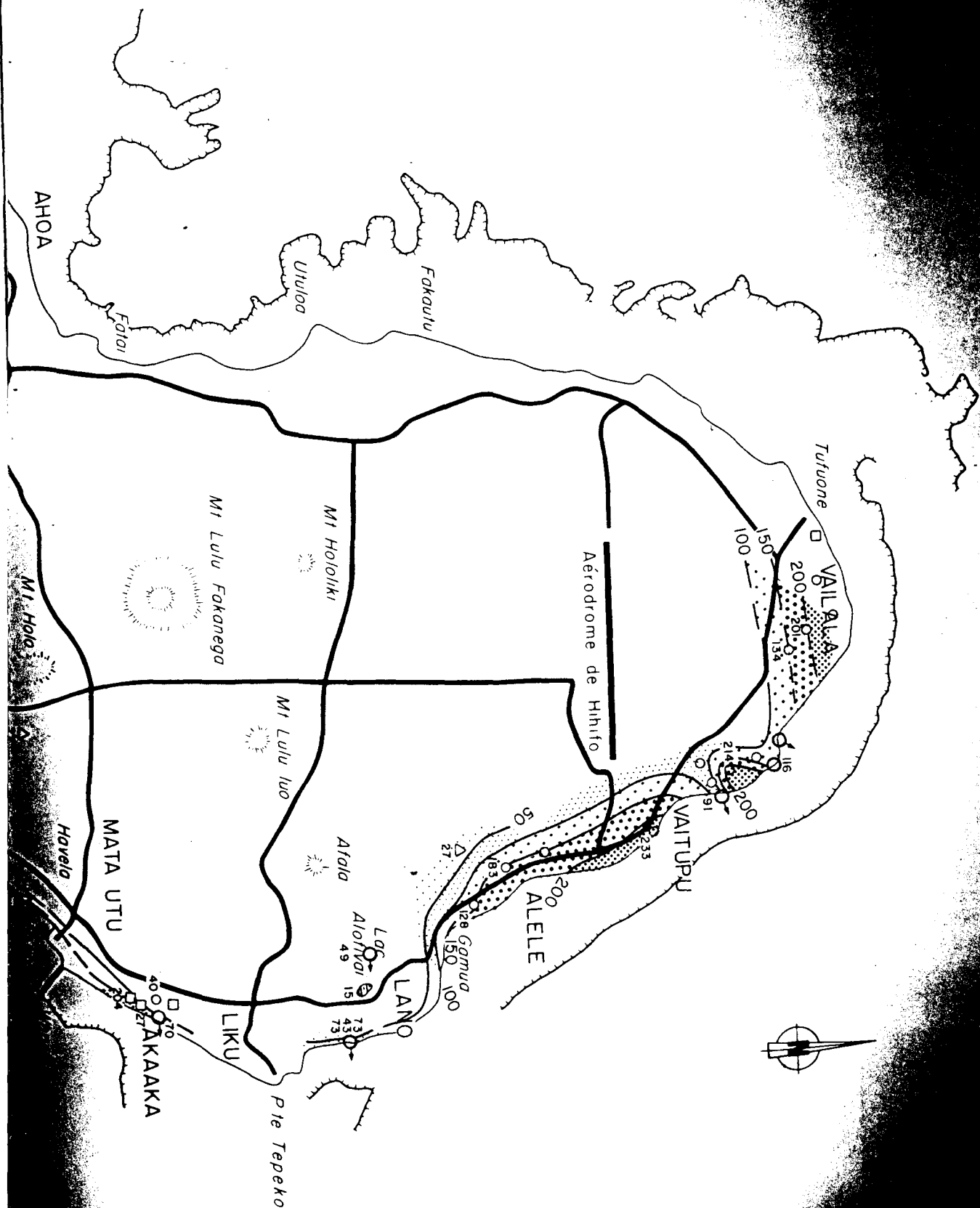
Aucune anomalie notable du pH n'a été mise en évidence : généralement les eaux examinées sont légèrement acides dans les secteurs les plus riches en bicarbonates, et le pH est voisin de la neutralité ailleurs.

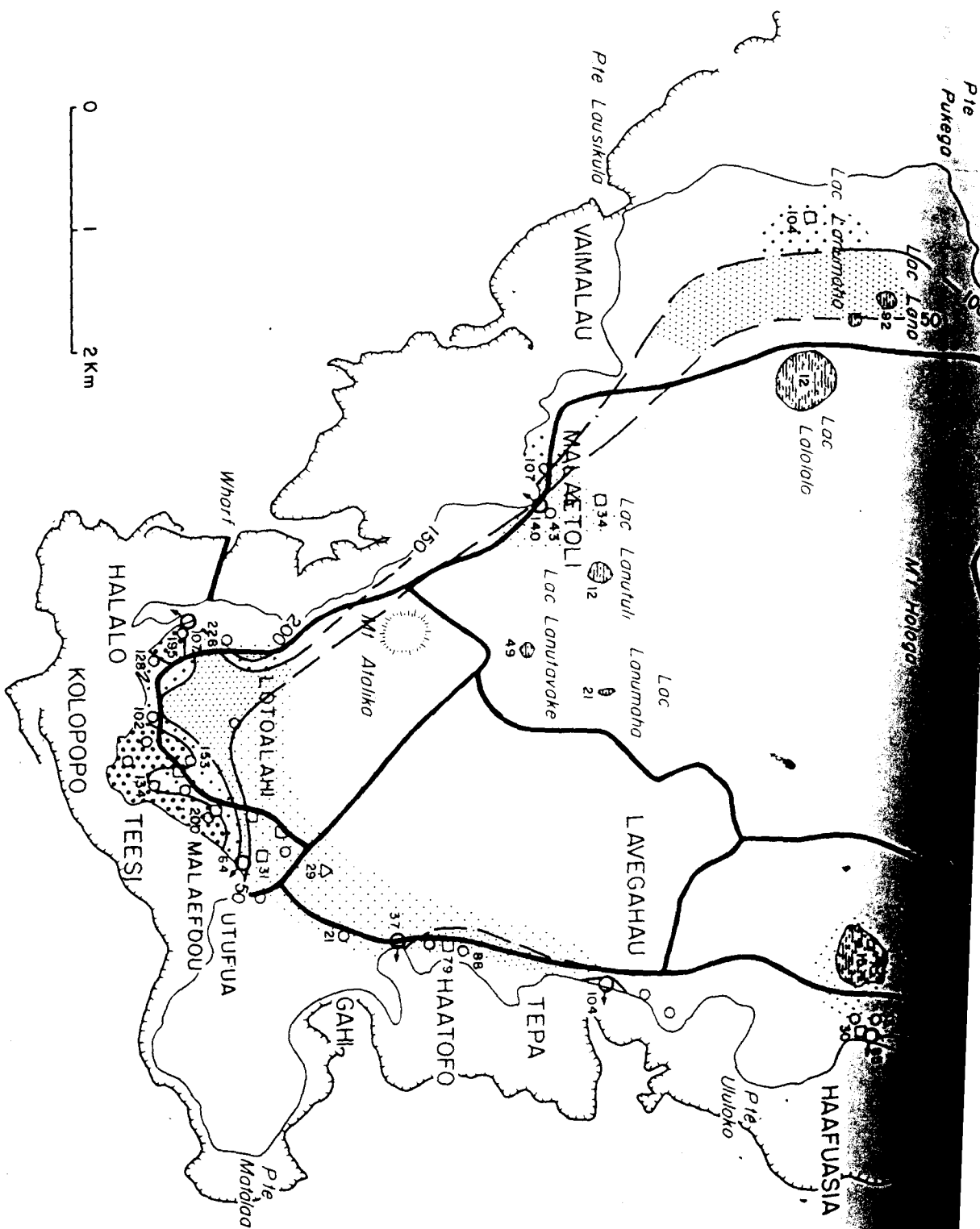
La température de l'eau mesurée dans les stations de pompage est de 28°C. Les températures mesurées dans les puits, lacs, sources sont comprises entre 27 et 30°C : les variations sont à attribuer à la température ambiante.

4.6 - Synthèse et discussion des données sur la qualité de l'eau

Dans tout le secteur central, les caractères physico-chimiques des eaux souterraines sont relativement homogènes et ceci confirme la présence d'un aquifère unique dans les formations volcaniques.

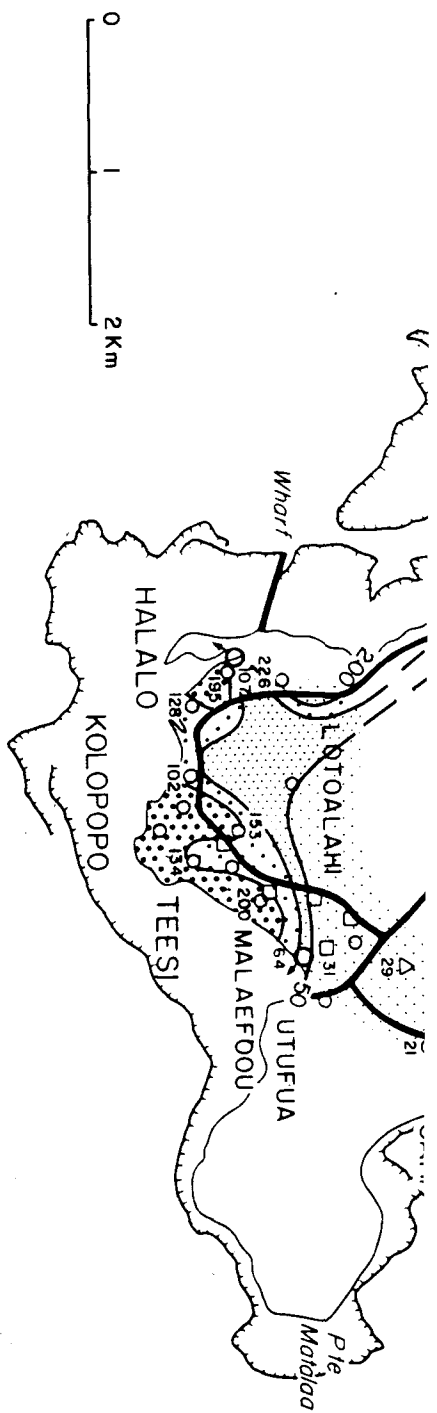
Les eaux souterraines du centre de l'île, exploitées par forages pour l'alimentation en eau potable, sont très peu conductrices (moins de 70 micro-Siemens).





CARTE DES TENEURS EN BICARBONATE (JANV-MARS 1981)

ECHELLE: 1/50 000



CARTE DES TENEURS EN BICARBONATE (JANV-MARS 1981)

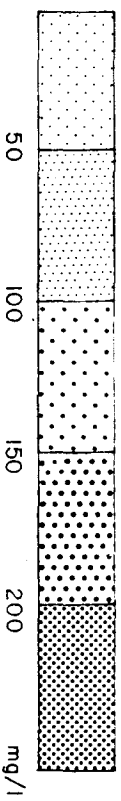
ECHELLE 1/50 000

arlab

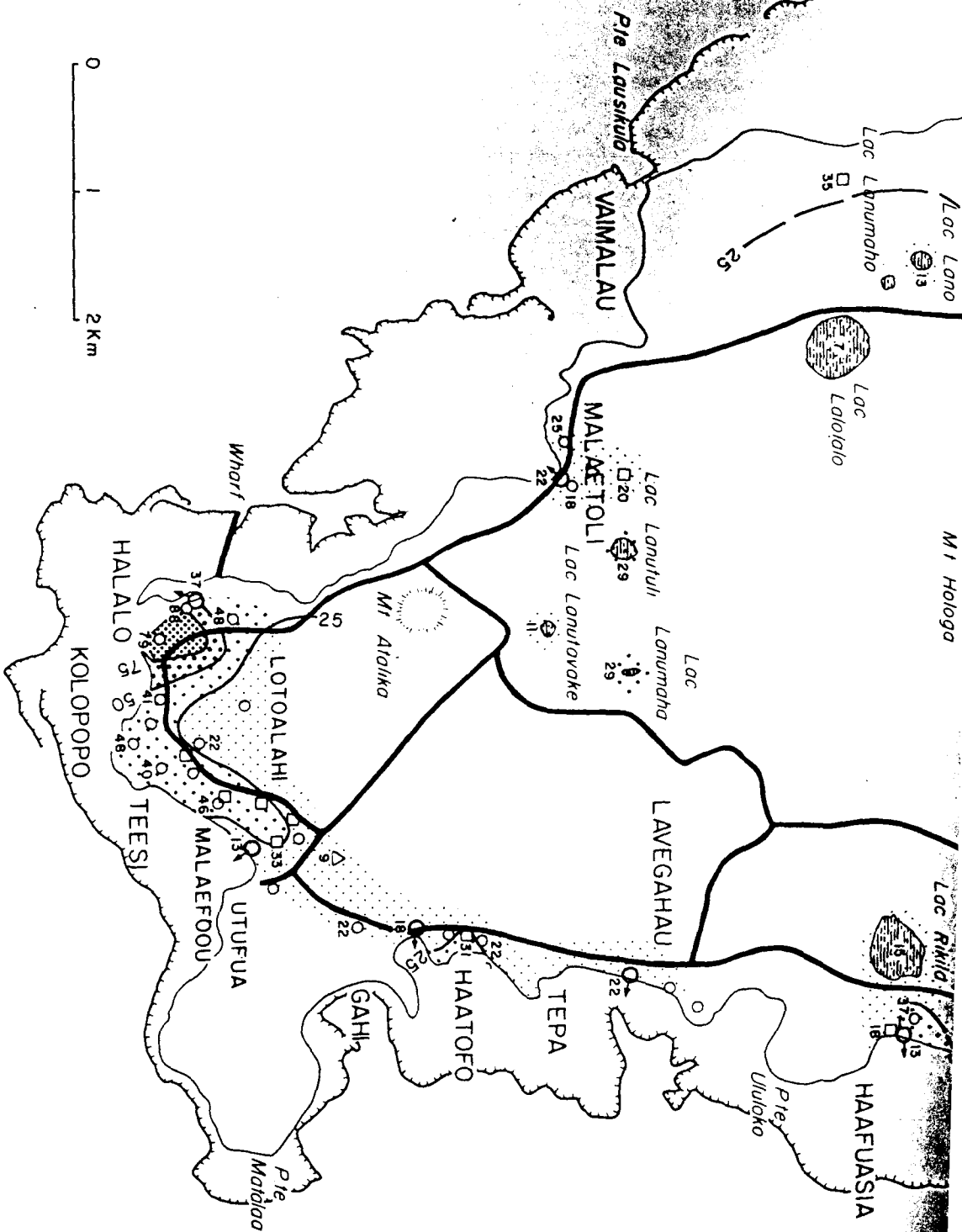
LEGENDE

- | | | | |
|-----------------------------------|---|--|--------|
| Forage | Δ | Source | ○ |
| Puits à gros diamètre | ○ | Teneur en bicarbonate | 12 |
| Puits artificiel creusé à la main | □ | Courbe d'iso-teneur et sa valeur en mg/l | — 50 — |

ECHELLE DES TENEURS EN BICARBONATE (mg/l)





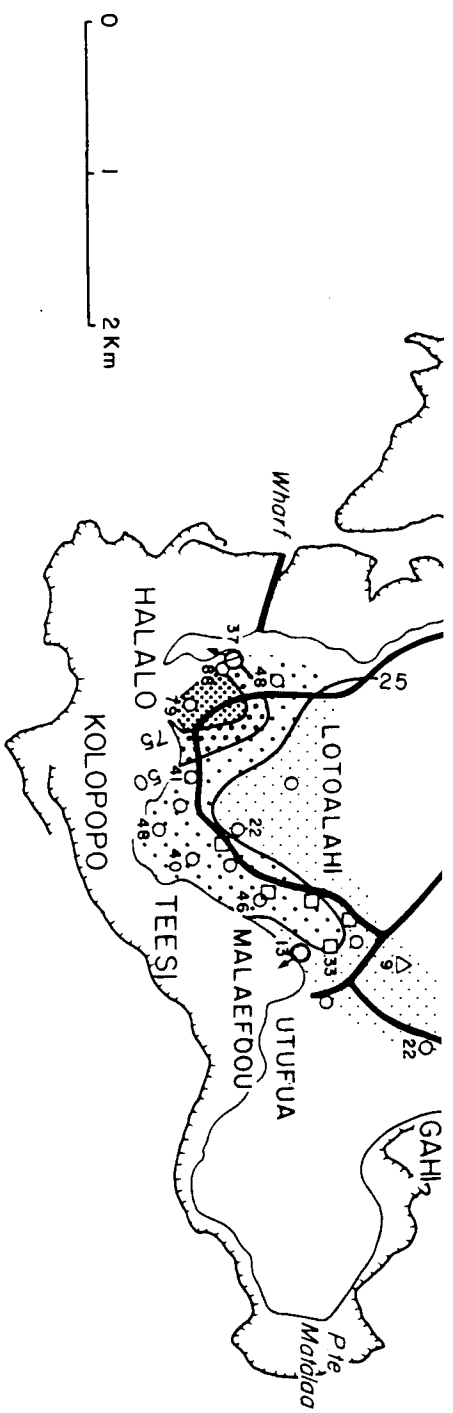


CARTE DE LA TENEUR EN CO₂

ECHELLE: 1/50 000

arlab

LEGENDE



CARTE DE LA TENEUR EN CO₂

ECHELLE: 1/50 000

or lab

LEGENDE

Forage

△

Source

Q

Puits à gros diamètre

○

Teneur en CO₂

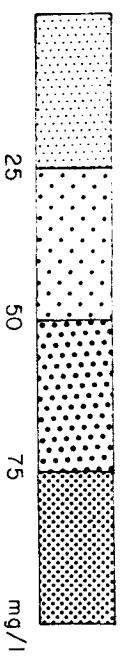
29

Puits superficiel creusé à la main

Courbe d'iso-teneur et sa valeur en mg/l

-25-

ECHELLE DES TENEURS EN CO₂ (mg/l)



et présentent une dureté très faible (de 1,5 à 5 degrés français). Leur contenu en bicarbonates est compris entre 15 et 40 mg/l et la teneur en Cl^- , entre 15 et 20 mg/l.

Il s'agit donc d'eaux d'excellente qualité physico-chimique et convenant parfaitement à l'alimentation en eau potable et à d'éventuels usages industriels.

Dans certains secteurs du littoral (ALELE-VAIALA, MALAEFOU-HALALO), les eaux sont plus dures (10 à 20 degrés français) et relativement plus riches en bicarbonates (100 à 200 mg/l) probablement à cause de la présence de formations coralliennes noyées dans les formations volcaniques.

Toutefois la minéralisation relativement plus importante de ces eaux n'exclut pas leur utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour tout usage industriel.

Enfin, soulignons que la faible teneur en Cl^- de l'ensemble des échantillons prélevés, indique qu'à l'heure actuelle, il n'y a aucune invasion de la nappe par les eaux marines environnantes.

5. GEOPHYSIQUE

L'étude géophysique a été effectuée dans le but de définir la géométrie de l'aquifère, l'allure et la profondeur de l'interface eau douce - eau salée ainsi que les variations de faciès des formations rocheuses.

Ces informations sont nécessaires d'une part, pour caractériser les réserves de l'aquifère et d'autre part, pour identifier les zones les mieux alimentées, les plus perméables et les mieux protégées vis à vis d'une pollution superficielle afin de choisir les meilleurs sites pour de futurs forages d'exploitation.

5.1 - Possibilités et limites de la méthode des sondages électriques

Si l'on néglige les 2 à 3 m de terrain superficiel, constitué d'humus plus ou moins argileux et maintenu humide par la couverture végétale, les sondages électriques (S.E.) réalisés permettent de reconnaître la succession de résistivités suivante :

- un recouvrement résistant peu développé et dans quelques cas absent, avec une résistivité généralement comprise entre 200 et 700 Ohm.m et exceptionnellement de l'ordre de 1000 Ohm.m.
- un complexe constitué de terrains éventuellement conducteurs et dont la résistivité est comprise entre 30 et 70 Ohm.m.
- un terrain résistant avec une résistivité comprise entre 100 et 250 Ohm.m (et exceptionnellement jusqu'à 500 Ohm.m).
- un substratum conducteur dont la résistivité est inférieure à 15 Ohm.m.

Le recouvrement résistant à 200 - 700 Ohm.m s'identifierait de manière générale avec des terrains volcaniques altérés plus ou moins déshydratés. Le complexe essentiellement conducteur à 30 - 70 Ohm.m correspondrait à des terrains volcaniques altérés partiellement argilifiés et très humides. Le terrain résistant à 100 - 250 Ohm.m correspondrait à des formations volcaniques compactes, peu argileuses, essentiellement constituées de laves. Dans ce terrain, les secteurs à résistivité plus élevée (300 à 500 Ohm.m) correspondent probablement à des zones moins fracturées, et donc moins saturées en eau.

Enfin, le substratum conducteur à résistivité inférieure à 15 Ohm.m correspondrait à des formations volcaniques saturées d'eau saumâtre ou salée. Un exemple des différents types de S.E. obtenus est présenté en figure 1.

Chaque S.E. comporte une partie initiale à résistivité élevée qui correspond au recouvrement résistant, une première descente, conditionnée par le complexe conducteur à 30 - 70 Ohm.m ; une remontée conditionnée par le

07/90

FIGURE 1

S.E.

WALLIS

ETUDE

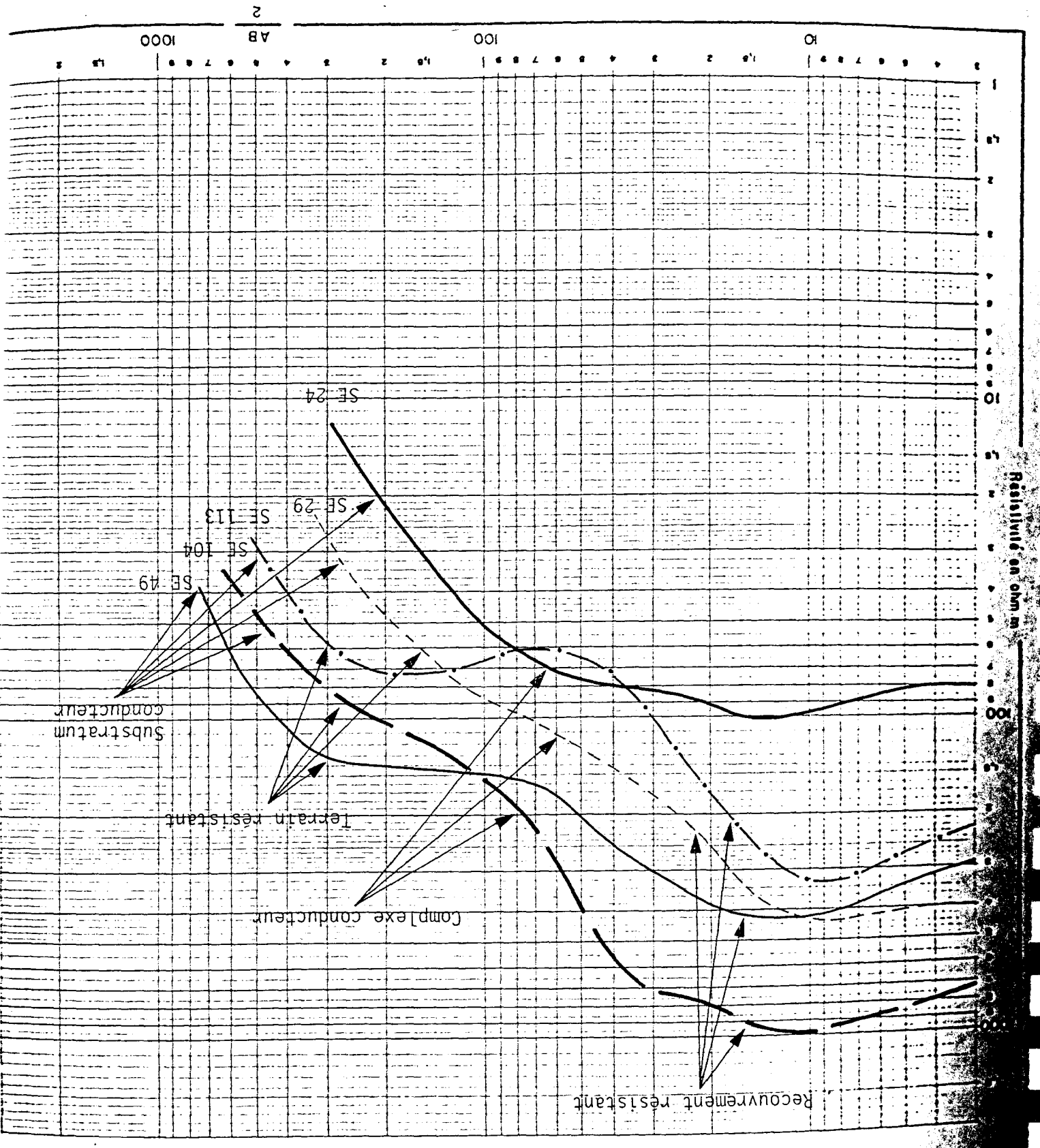
SONDAGES ELECTRIQUES CARACTERISTIQUES = ZONE INTERNE

Observations

Profondeur du recouvrement

Point du point

Direction A B



terrain résistant ; la descente finale correspondant au substratum conducteur.

Le déplacement vers la droite de la descente finale entre les S.E. 24 et le S.E. 49 indique un approfondissement progressif du substratum conducteur ; ce qui dans le cas présent correspond à une augmentation d'épaisseur de la lame d'eau douce sur l'eau saumâtre et salée sousjacent.

Sur le littoral, où l'interface eau douce-eau salée est moins profonde on note presque toujours une diminution de résistivité simultanée du complexe conducteur et du complexe résistant, si bien qu'il devient très difficile de les différencier entre eux ; les diagrammes de ce type sont présentés en figure 2.

Compte tenu de ces observations, la méthode électrique permet :

- de déterminer la répartition et l'épaisseur du recouvrement résistant, qui s'identifie avec la partie la plus déshydratée des formations volcaniques situées au dessus de la nappe,
- cette détermination a peu d'intérêt pratique et de ce fait, elle n'a pas été effectuée systématiquement ; les limites du recouvrement résistant figurent seulement sur les profils géophysiques,
- de déterminer l'épaisseur et la distribution du complexe essentiellement conducteur, qui correspond à la partie altérée, plus riche en argile et probablement moins perméable des formations volcaniques.
- de déterminer l'épaisseur et l'allure du terrain résistant sousjacent qui pourrait correspondre à des laves peu altérées et plus perméables,
- à individualiser, à l'intérieur du terrain résistant, les secteurs à résistivité anormalement élevée (250 à 500 Ohm.m) qui pourraient correspondre à des zones plus compactes et donc moins saturées en eau,

FIGURE 2

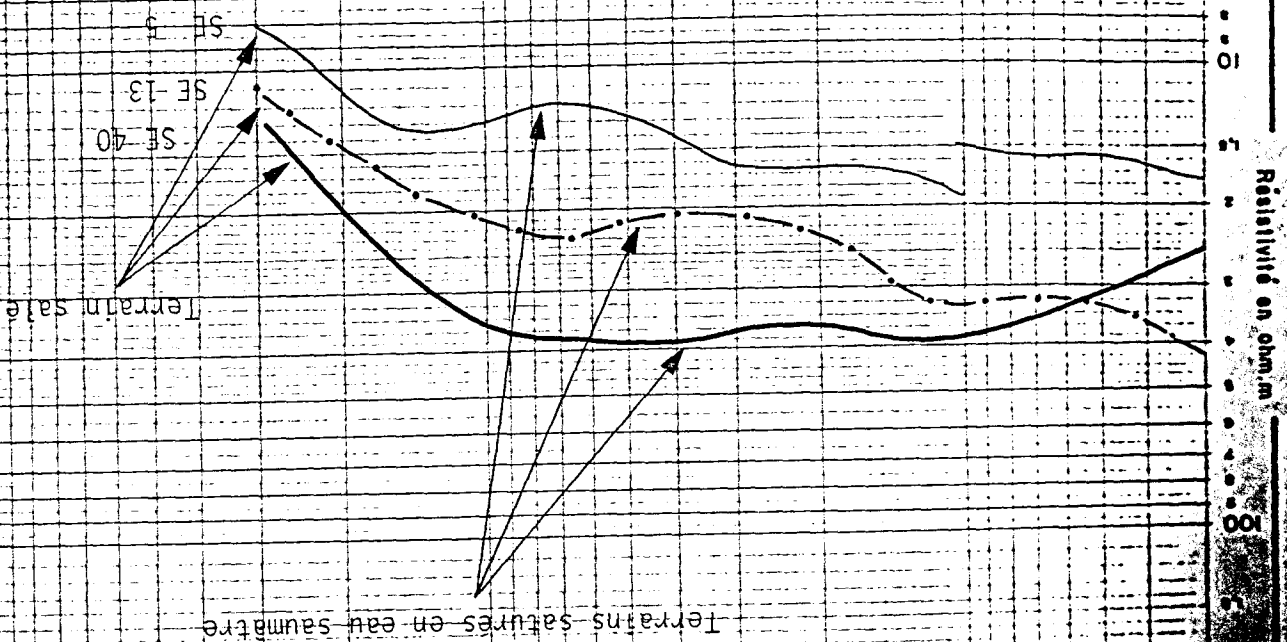
S.E.

WALLIS

Direction A B :

recouvrement

SONDAGES ELECTRIQUES CARACTERISTIQUES = ZONE LITTORALE



00/00

- de suivre, à partir de l'étude du substratum conducteur, l'allure de l'interface eau douce-eau salée et par là même de repérer les zones où l'aquifère est le plus épais et d'individualiser les éventuelles invasions d'eau salée à proximité de la côte.

Avant de décrire les résultats obtenus, il semble utile de préciser certaines limites de la méthode utilisée dans le cadre du complexe hydrogéologique local.

Une première limite, de caractère qualitatif, est donnée par le principe de la suppression : si un terrain possède une résistivité intermédiaire à celle de deux terrains entre lesquels il est intercalé, celui-ci ne peut être identifié sur les diagrammes des S.E. que si sa profondeur est modeste par rapport à son épaisseur. Dans notre cas, on observe la succession vers le bas d'un milieu saturé d'eau douce, puis d'eau saumâtre, puis d'eau salée, avec des résistivités progressivement décroissantes. Le terrain saturé en eau saumâtre n'est visible que dans certains cas, dans la zone côtière.

Une seconde limite, à caractère quantitatif, est donnée par le principe d'équivalence. D'après ce principe, un terrain résistant intercalé entre deux couches conductrices ne se manifeste pas en général à travers sa résistivité mais plutôt à travers le produit de la résistivité par l'épaisseur (résistance transversale).

De manière analogue, un terrain conducteur intercalé entre deux couches résistantes se manifeste, dans certaines limites, à travers le rapport entre l'épaisseur et la résistivité (conductance longitudinale).

Ceci comporte comme conséquence dans notre cas, où il y a une alternance de couches conductrices et de couches résistantes, quelques erreurs dans l'évaluation de l'épaisseur de chaque couche par le fait que les résistivités vraies sont mal connues car il n'existe pas de forage profond sur lequel un étalonnage des S.E. aurait pu être effectué (le forage le plus profond est celui de la station d'HOLLO : 45 m).

5.2 - Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont présentés dans deux cartes de résistivité apparentes, planches 8 et 9, établies respectivement pour des longueurs de lignes AB de 200 m et de 600 m, et dans trois cartes interprétatives, planche 10-11-12, qui fournissent respectivement l'allure du mur du complexe conducteur, l'allure du toit du substratum conducteur, et l'allure détaillée de chaque électrocouche individualisée par les S.E.

5.2.1 - Cartes de la résistivité apparente (Pl.8 et 9)

Les deux cartes se différencient par la profondeur d'investigation : en fait, pour une longueur de ligne AB = 200 m, la résistivité apparente est surtout conditionnée par la résistivité vraie des premiers 50 m de terrain ; et pour une longueur de ligne AB = 600 m, par la résistivité vraie des premiers 150 m de terrain.

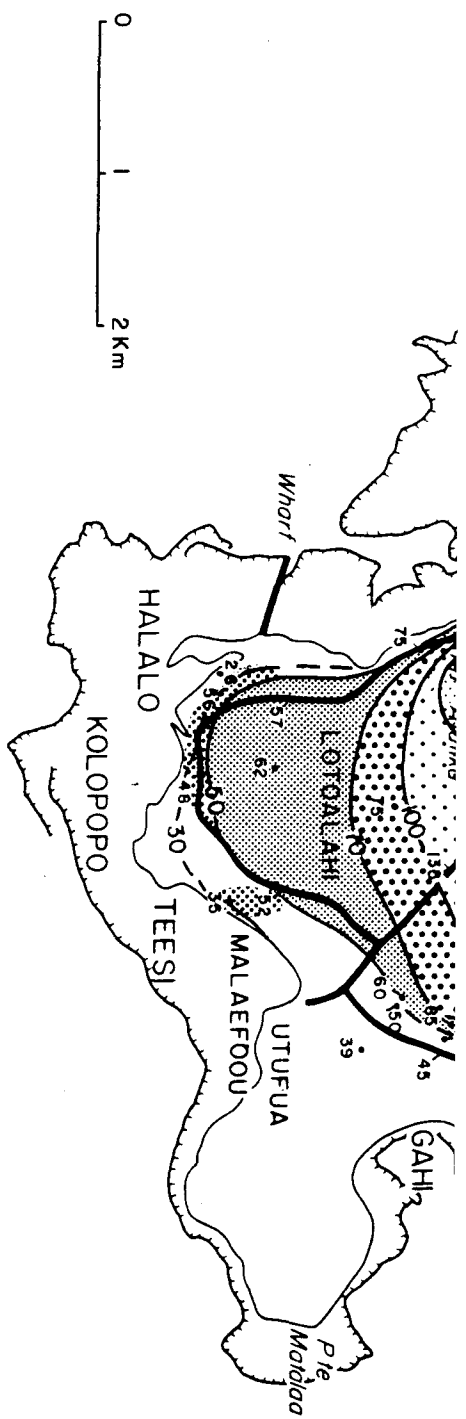
La planche 8 (AB = 200 m) fournit donc une première orientation sur le développement et la distribution du complexe conducteur et à proximité de la mer, sur les éventuelles invasions salées : les zones à résistivités les plus élevées (au delà de 150 Ohm.m) indiqueraient une nette dominante de terrains résistants dans les 50 premiers mètres et un faible développement du complexe conducteur.

Les zones à résistivités très basses (moins de 50 Ohm.m) indiqueraient la présence de terrains salés.

La planche 9, établie avec des longueurs de ligne plus grandes, a pour but de fournir une première orientation sur le développement global des terrains de couverture et sur l'allure de leur substratum imprégné d'eau saumâtre ou salée. Les zones à résistivités plus élevées indiqueraient une forte épaisseur des terrains non salés ; les zones à résistivités plus basses, la faible épaisseur de ces terrains.



Planche N° 8



GEOPHYSIQUE - CARTE DE LA RESISTIVITE EN AB = 200 m

ECHELLE : 1/50 000

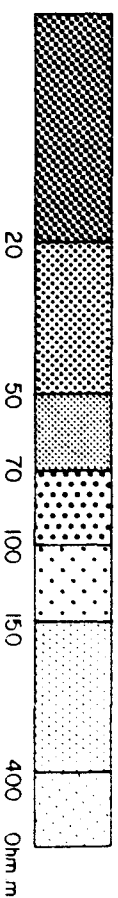
arlab

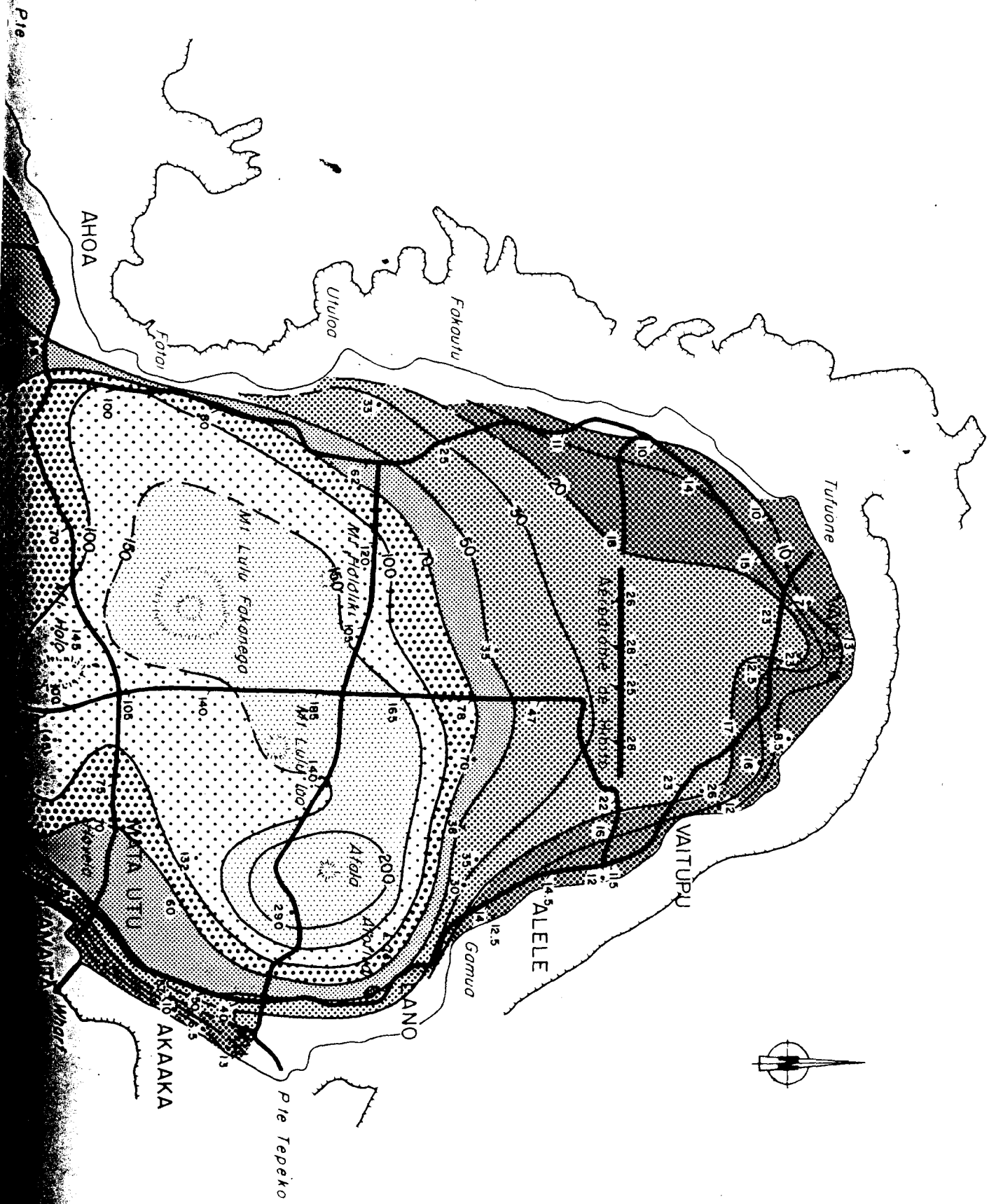
LEGENDE

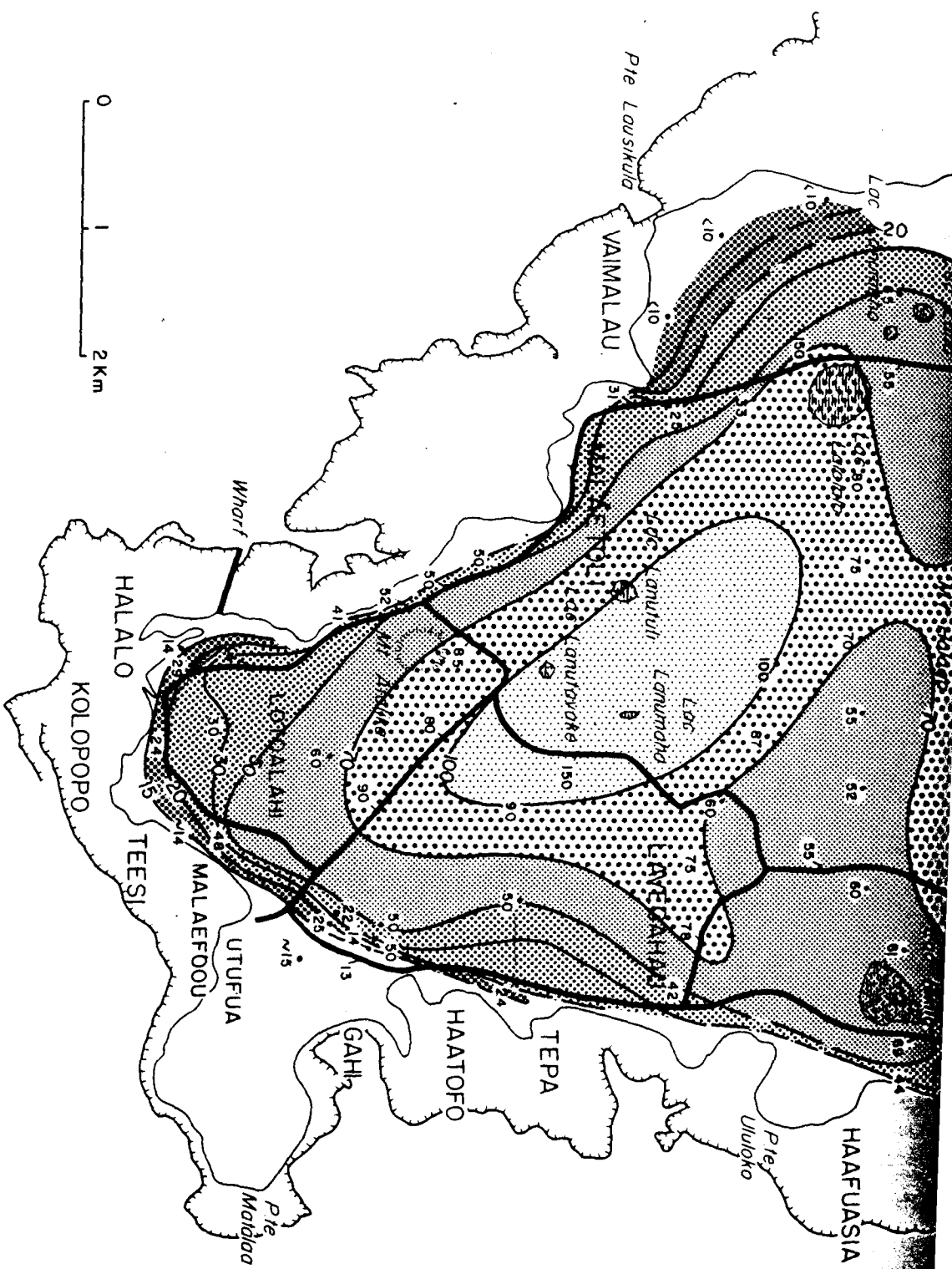
Sondage électrique • Courbe d'égale résistivité et
 Valeur de la résistivité (Ohm.m) en AB = 200 m sa valeur en Ohm.m

—50—

ECHELLE DES RESISTIVITES (Ohm.m)







0 1 2 Km

GEOPHYSIQUE - CARTE DE LA RESISTIVITE EN AB=600m

ECHELLE: 1/50 000

arlab

5.2.1.1 - Carte des résistivités en AB = 200 m (planche 8)

La carte en objet met en évidence une relative uniformité des valeurs de la résistivité, significative d'une situation assez homogène. Les valeurs comprises entre 70 et 150 Ohm.m sont significatives d'une certaine dominante de terrains résistants, assez peu argileux, jusqu'à la profondeur d'investigation.

Les plages à résistivité plus basse (20 - 70 Ohm.m) sont réduites et localisées dans la zone centrale (S.E. 60 , S.E. 79) et le long de la côte.

Les valeurs à résistivités très basses (moins de 15 Ohm.m) caractéristiques de terrains salés, sont limitées aux secteurs côtiers de VAILALA, AKAAKA, VAIMALAU.

Dans les secteurs de VAILALA et de AKAAKA, ces valeurs apparaissent seulement sur les S.E. réalisés sur la plage, à quelques mètres de la mer ; dans le secteur de VAIMALAU, ces valeurs intéressent au contraire des S.E. situés à 300 - 400 m de la mer (S.E. 90 et 92). Il s'agit donc de l'unique secteur où l'on peut parler d'une invasion salée en cours.

Les valeurs de résistivités très élevées (au delà de 150 Ohm.m) sont significatives selon toute probabilité de la présence d'une forte épaisseur de terrains secs. Elles sont localisées dans les zones comportant des coulées de lave récentes, entre le lac LANO et le lac LANUTAVAKE, et dans la partie centrale de l'île morphologiquement plus élevée, où culminent les monts HOLO, LULU et AFALA.

5.2.1.2 - Carte de la résistivité en AB = 600 m (planche 9)

Dans cette carte également les plages les plus conductrices longent la côte, tandis que dans l'intérieur de l'île, dominant les valeurs plus élevées. L'augmentation des valeurs indiquerait en général une augmentation d'épaisseur entre la zone côtière et l'intérieur de l'île, des terrains saturés en eau douce. Cette augmentation d'épaisseur est lente dans la partie Nord de l'île, où les plages à résistivités relativement basses (20 - 50 Ohm.m) atteignent plus de 3km de large ; elle est par contre particulièrement

brusque le long de la côte Est de l'île où les valeurs de résistivité sont présentes à l'intérieur d'une plage large de moins d'un kilomètre.

Il est possible de déduire de cette observation que l'épaisseur de la lame d'eau douce augmente de façon progressive dans le Nord de l'île, et beaucoup plus brutalement dans le secteur Est.

Dans la partie Sud et Ouest de l'île, on observe des situations intermédiaires.

Les valeurs des résistivités très basses (moins de 15 Ohm.m), caractéristiques de terrains salés dans les 150 m intéressés, et en conséquence peu favorables à une exploitation intensive de la nappe, sont distribuées sur le littoral de la partie Nord de l'île et dans le secteur Ouest de VAIMALAU sur une largeur de 4 à 500 mètres à partir de la côte.

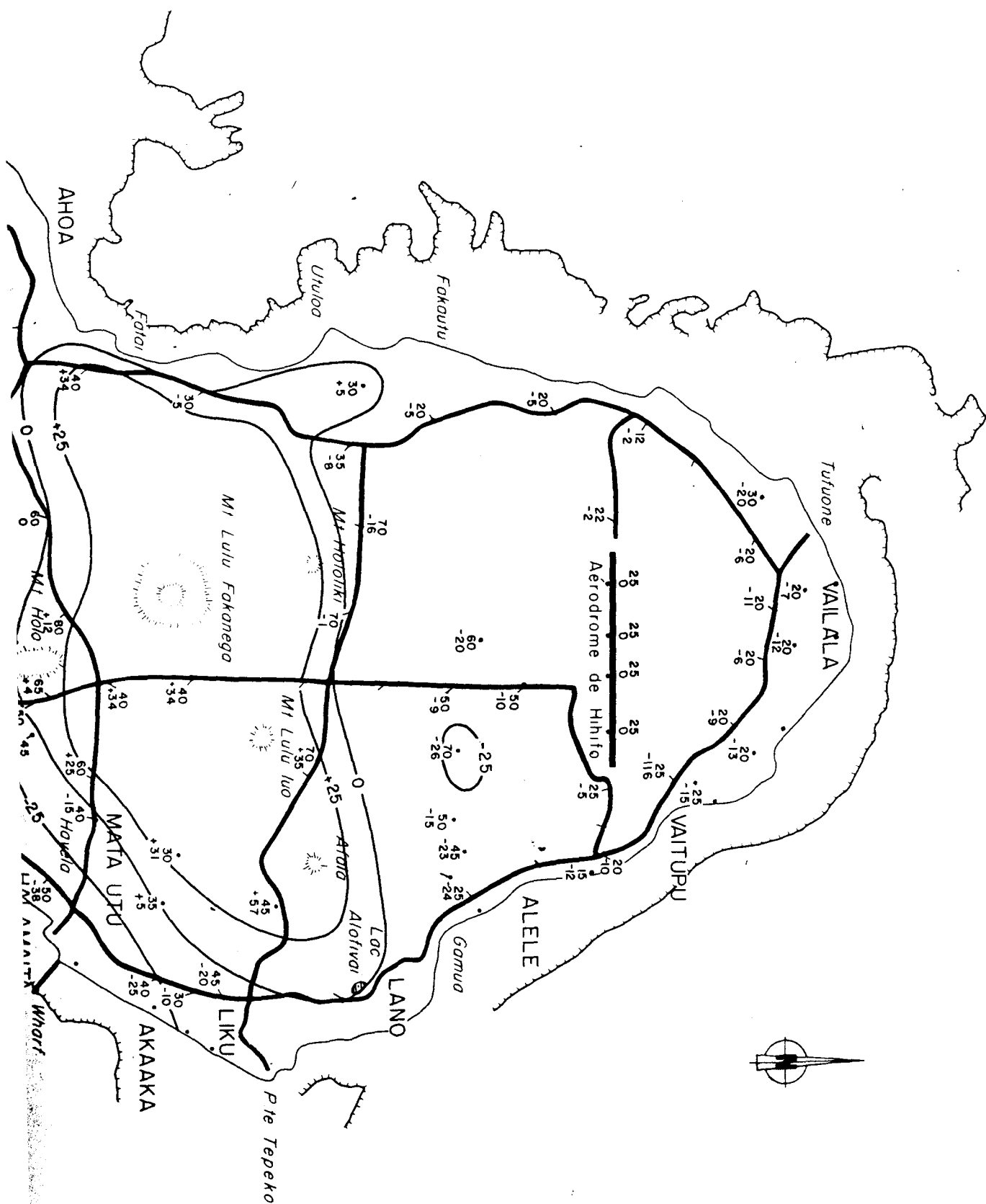
Dans toute la partie centrale de l'île, les résistivités sont comprises entre 70 et 150 Ohm.m ; elles intéressent une vaste zone où l'aquifère est bien développé et où l'exploitation de la nappe est la moins dangereuse. Observons que dans ce cas, les valeurs des résistivités les plus fortes coïncident avec les zones topographiquement élevées des monts LULU - AFALA et avec quelques secteurs de laves récentes.

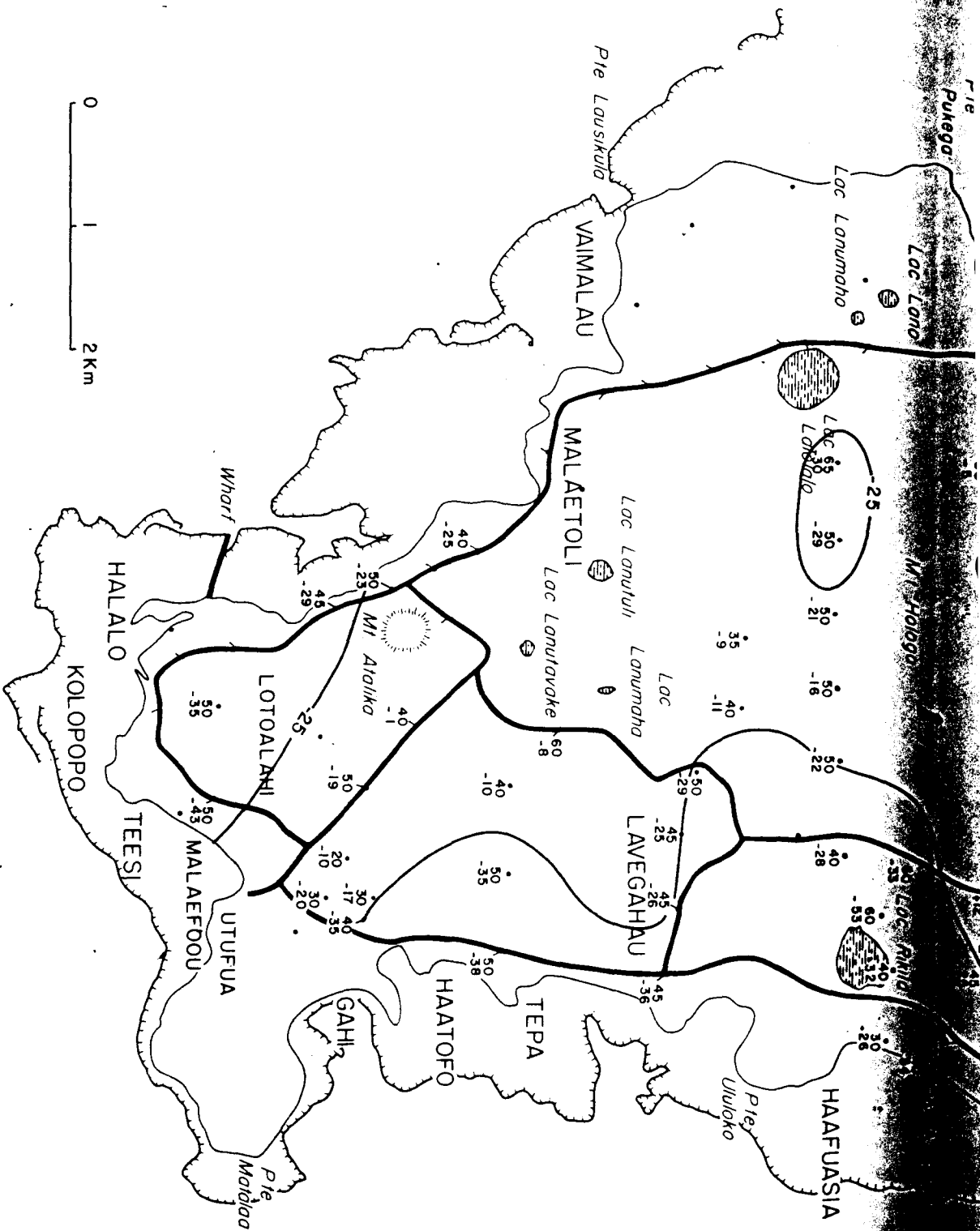
5.2.2 - Développement du complexe conducteur (planche 10)

Ce complexe conducteur correspond probablement à des terrains volcaniques altérés. Le mur de ce complexe suit, en l'atténuant, l'allure topographique. Sa profondeur est de 40 - 50 m dans la partie centrale et dans la partie Sud de l'île, et de 20 à 30 m dans la partie Nord.

Comme nous l'avons précisé, il est probable que ce complexe conducteur constitue la partie la plus argileuse et la moins perméable des terrains volcaniques.

Dans les secteurs où le lit de ce complexe est situé au dessus de la cote piézométrique de la nappe, l'aquifère serait entièrement constitué par des formations volcaniques peu altérées ; dans le cas où, au contraire, ce lit





CARTE DU LIT DU COMPLEXE CONDUCTEUR

ECHELLE : 1/50 000

arlab

est situé au dessous de la cote piézométrique, la partie supérieure de l'aquifère serait constituée par des terrains volcaniques partiellement argileux et donc moins perméables. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 2.2.3, la cote piézométrique se situe entre +2 et +12 m environ : dans toute la partie haute de l'île, Monts LULU, HOLO, AFALA, le complexe conducteur atteint 25 à 60 m d'épaisseur et l'aquifère serait donc constitué de terrains volcaniques non altérés. Dans les autres secteurs, ce complexe conducteur s'enfonce jusqu'à des cotes comprises entre 0 et - 40 m environ, et l'aquifère serait en conséquence constitué par des formations volcaniques plus ou moins argileuses. Dans la zone comprise entre l'aérodrome d'HIHIFO et VAILALA, le complexe conducteur est relativement moins développé et la cote de son lit se situe entre 0 et - 15 m : l'aquifère formé par des formations volcaniques altérées serait de ce fait très réduit dans ce secteur.

Signalons que les forages des stations de pompage de MUA et de LOKA, recourent des terrains volcaniques altérés et conducteurs, et que le forage de HOLO intéresse des terrains volcaniques fracturés mais peu altérés du niveau résistant sous jacent.

Enfin, signalons que dans la zone de MALAETOLI et du lac de LAVO, le complexe conducteur n'apparaît pas à cause de la présence de laves très résistantes qui le recouvrent. De la même manière, le complexe conducteur ne peut être cartographié dans quelques secteurs limités sur le littoral.

5.2.3 - Allure du substratum conducteur (planche 11)

Ce substratum correspond à des formations volcaniques saturées en eau saumâtre ou salée.

Le toit du substratum conducteur présente une allure de ménisque avec une profondeur maximum de 200 à 250 m dans la partie centrale de l'île, et une profondeur minimum de 20 à 60 m au voisinage de la mer.

L'approfondissement du substratum conducteur est assez brusque le long de la côte Est ; il est au contraire plus progressif dans la partie

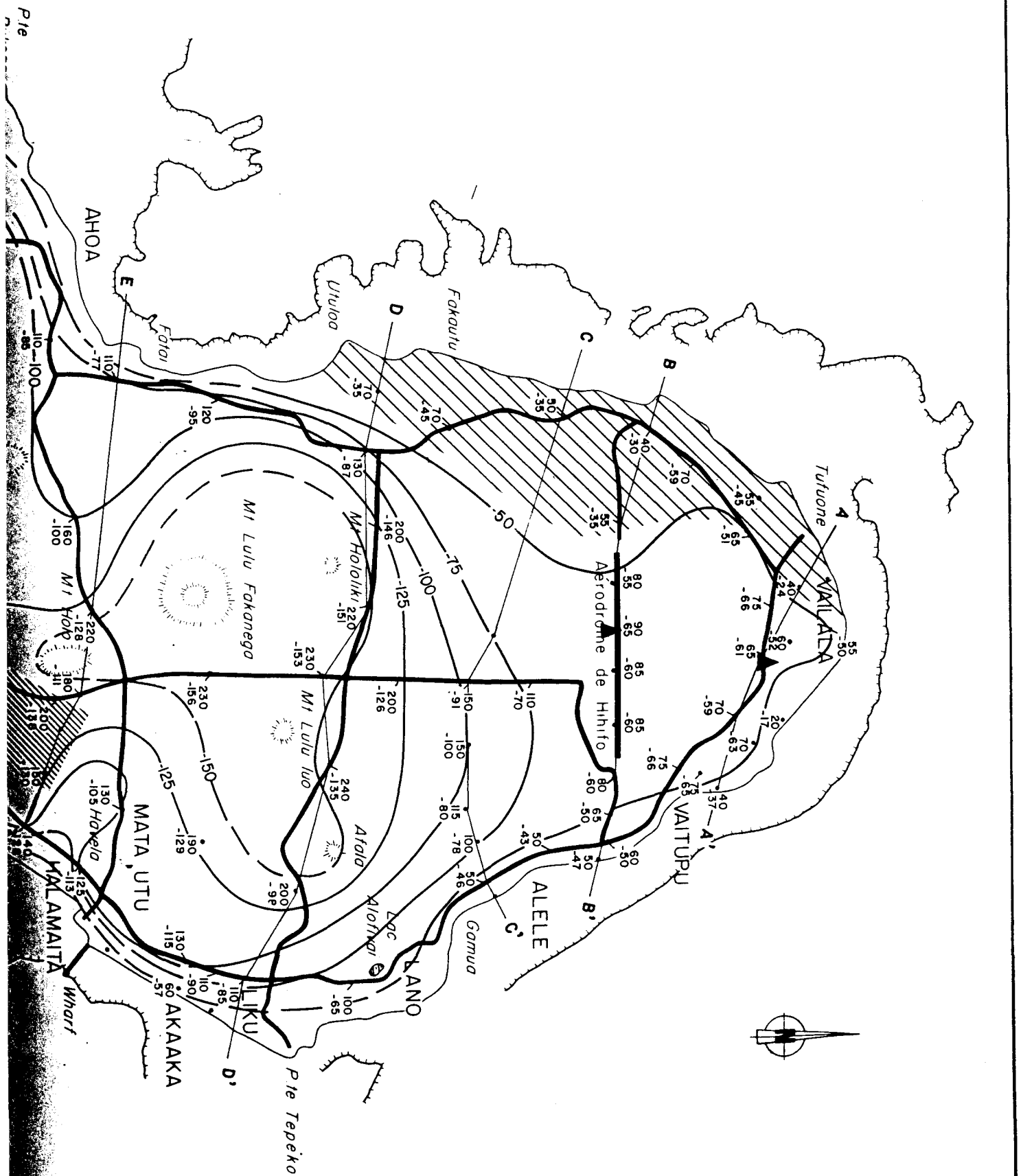
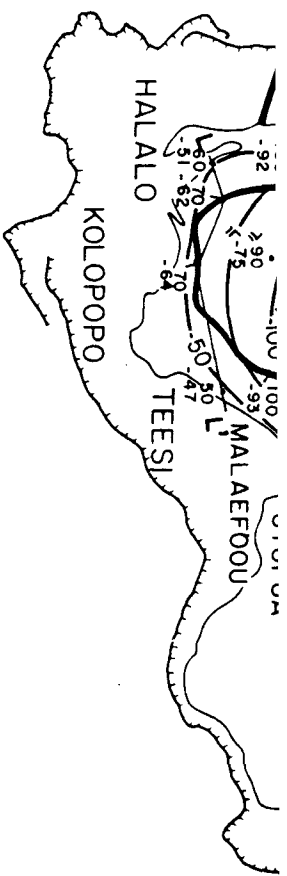
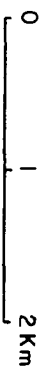


Planche N° 11



CARTE DU TOIT DU SUBSTRATUM CONDUCTEUR

ECHELLE: 1/50 000

arlab

LEGENDE

Sondage électrique	•	Tracé d'un profil et sa dénomination	A — A'
Profondeur du toit du substratum conducteur en mètres	120	Zone favorable pour l'exploitation de la nappe	
Cote du toit du substratum conducteur en mètres	-100	Zone défavorable pour l'exploitation de la nappe	
Courbe de niveau du toit du substratum conducteur et sa valeur en mètres	--50--	Zone à recouvrement très résistant	
Forage proposé	▲		

Nord de l'île, ce qui confirme les observations effectuées sur la carte de résistivité présentée dans la planche 9.

Dans la partie centrale de l'île, le substratum présente une allure très aplatie et sa cote se situe à peu près partout à -120, -150 m.

Plus en détail, nous pouvons distinguer sur la planche 11, les secteurs suivants :

- Un secteur Nord-Ouest, au voisinage des S.E. 12, 17, 29, 38 dans lequel le substratum conducteur se situe à 50 m de profondeur. Ce secteur où la cote piézométrique est probablement très modeste, semble peu favorable à l'implantation de forages profonds.
- Un secteur Sud-Ouest (S.E. 90, 92, 93, 94) où les diagrammes des S.E. ont mis en évidence la présence de couches très conductrices en surface qui pourraient correspondre à des argiles ou à des terrains salés. Ce secteur semble également peu favorable à l'implantation de forages d'exploitation.
Il faudrait ajouter à ces deux secteurs peu favorables à une exploitation de la nappe par forages, tout le littoral de l'île sur une largeur de 150 à 200 m. En effet, le long du littoral le substratum conducteur se trouve à une profondeur relativement modeste et les risques d'invasion salée sont les plus importants.
- Un secteur Nord, compris entre VAILALA et l'aérodrome d'HIHIFO, où le substratum conducteur est relativement peu profond : - 50 à - 70 m. Ce secteur n'est que médiocrement favorable pour l'exploitation des eaux souterraines.
- Un vaste secteur central, situé à l'intérieur de la courbe de niveau - 100, est par contre favorable à l'exploitation de l'aquifère par forages.

Dans ce secteur, nous avons indiqué sur la carte les deux zones où nous conseillons d'effectuer des recherches par forages pour l'exploitation de la nappe profonde.

La première est située entre RIKILA et le lac LALOLALO et entre le lac RIKILA et le forage de HOLO. Deux forages, profonds d'une centaine de mètres au maximum pourraient être implantés respectivement au droit du S.E. 76 et du S.E. 80.

La seconde est la pénéplaine de LOTOALAH, siège d'un drainage des eaux souterraines selon la carte piézométrique présentée dans la planche 2. Un forage de recherche, profond d'une centaine de mètres au maximum pourrait être réalisé soit au droit du S.E. 113 (situé à cote plus basse) soit sur le S.E. 104 (caractérisé par une épaisseur plus faible du complexe conducteur).

Comme nous l'avons indiqué, la partie Nord de l'île se présente comme relativement peu favorable à la recherche d'eau profonde. Etant donné la nécessité de fournir de l'eau potable à VAILALA et VAITUPU, deux implantations sont néanmoins proposées pour des forages :

- la première sur le S.E. 19 - Profondeur 50 m au maximum.
- la seconde sur le S.E. 9 - Profondeur 30 m au maximum.

Signalons enfin qu'il existe deux secteurs indiqués sur la planche 11 où il existe une couverture relativement épaisse de terrains très résistants (probablement des laves déshydratées) et où il n'est pas possible de ce fait d'évaluer quantitativement la profondeur du substratum conducteur.

5.2.4 - Distribution des résistivités dans les terrains de couverture et dans le substratum (planche 12 - hors texte)

Les profils géophysiques présentés dans la planche 12 indiquent, en détail, la distribution des résistivités dans les différentes électro-couches individualisées par les S.E. et fournissent leur allure. Ces profils permettent également de visualiser la variation de la résistivité à proximité de la mer.

Les informations les plus importantes à signaler sont les suivantes :

- Le terrain résistant (lave fracturée) a généralement une résistivité plus basse (100 - 150 Ohm.m) vers les bordures Nord et Sud de l'île ; elle est par contre plus élevée dans la partie centrale.
Ceci est peut-être lié à l'importance de la fracturation des laves.
Au droit du S.E. 44, profil D-D', on notera un secteur à résistivité très élevée (500 Ohm.m) qui pourrait correspondre à des laves très peu fracturées et stériles.
- La brusque remontée du substratum conducteur vers la côte Est, où l'aquifère semble exploitable jusqu'à 150 - 200 m de la mer.
Cette remontée est généralement plus douce vers la côte Ouest. Dans la zone des S.E. 16 et 17, profil B-B', et des S.E. 26 et 30, profil C-C', la charge hydraulique semble particulièrement basse.
- Les S.E. réalisés à proximité de la mer le long des profils A-A', B-B', C-C', H-H' montrent une brusque diminution de la résistivité des couches.
Cette variation est probablement l'indice de la présence de terrains saumâtres. Les probables invasions d'eau saumâtre sont mises en évidence par les seuls S.E. exécutés sur la plage, et donc sont extrêmement limitées, mis à part la bordure Ouest du profil H-H' (zone de VAIMALAU) où elles s'étendent vers l'intérieur des terres sur quelques centaines de mètres, et peut être, sur la bordure Est du profil I-I' où une brusque diminution de la résistivité apparaît entre les S.E. 109 et 110, à environ 300 m de distance de la mer.

5.3 - Synthèse et discussion des données géophysiques

La prospection géophysique a mis en évidence une situation relativement uniforme et favorable à la recherche des eaux souterraines.

L'aquifère est constitué de formations volcaniques à conductivité moyenne (30 - 70 Ohm.m), ce qui indiquerait des matériaux altérés et partiellement argileux jusqu'à une profondeur de 40 à 50 m au maximum, et au delà par des terrains volcaniques résistants (100 - 250 Ohm.m) caractéristiques de laves généralement peu altérées.

La prospection géophysique confirme que l'aquifère n'est pas protégé vis-à-vis des pollutions superficielles par le fait qu'il n'existe nulle part de couverture conductrice suffisamment développée.

La puissance globale de l'aquifère saturé en eau douce serait supérieure à 100 m dans la partie centrale et méridionale de l'île et de l'ordre de 50 à 70 m dans sa partie septentrionale.

Les réserves de l'aquifère sont donc importantes. Il est toutefois peu pensable de pouvoir exploiter de façon très importante ces réserves sans provoquer des répercussions sur le délicat équilibre hydrodynamique de l'île. Compte tenu des prélèvements en cours jusqu'à présent modestes (de l'ordre de 3.10^4 m³/an), nous retenons que les quantités encore disponibles sont constituées par les seules eaux souterraines qui se déversent naturellement vers la mer, et qui malheureusement ne sont pas mesurables étant donné le caractère diffus du phénomène.

La surface piézométrique de la nappe ne devrait en aucun cas être abaissée par les pompages en dessous de la cote de la marée haute (soit environ + 2 m) afin d'éliminer tout risque de remontée des eaux salées sous jacentes. En d'autres termes, il faudrait éviter de réaliser de nouveaux captages dans les secteurs où la piézométrie est légèrement supérieure à cette cote limite de + 2 m.

Les secteurs les plus favorables pour la recherche de nouvelles ressources ont été cartographiés et quatre sites de forages conseillés : ces forages pourraient être profonds d'une centaine de mètres au maximum ce qui assurerait probablement un débit intéressant. Deux autres sites de forage moins profonds (30 à 50 m) ont été proposés dans la partie Nord de l'île actuellement déficitaire en eau potable. Cette partie de l'île n'est pas en principe très favorable à l'exploitation des eaux souterraines car la lame d'eau douce est relativement moins importante (50 à 80 m). Il est donc conseillé de limiter les débits le plus possible dans ces secteurs même si les forages ont un bon rendement, et de contrôler la qualité de l'eau régulièrement. Signalons que les eaux pompées dans ces forages seront probablement plus calcaires que celles pompées dans les stations actuelles.

Enfin, les secteurs défavorables à une exploitation des eaux souterraines par forages profonds ont été également cartographiés.

6. LES ESSAIS DE POMPAGE

Les essais de pompage ont été réalisés sur les 2 puits de la station de HIHIFO-LOKA et sur le puits de la station de MUA respectivement le 3 et le 9 mars 1981.

Ils ont été rendus difficiles à cause des contraintes de l'exploitation :

- impossibilité de poursuivre les essais au delà de quelques heures afin de ne pas bloquer l'approvisionnement en eau de l'île.
- difficulté de réglage et de mesure des débits.
- limitation des abaisssements par des dispositifs d'arrêt des pompes à 3,5 m du niveau statique.

Les essais ont été conduits dans tous les cas par paliers de débit jusqu'à stabilisation du niveau dynamique. Régime permanent.

Les courbes caractéristiques de chaque puits sont présentées dans les figures 3 et 4.

On peut observer que les valeurs obtenues lors de l'essai de 1981 sur les puits de la station de LOKA sont en très bon accord avec les mesures effectuées lors des essais de 1977. L'examen des courbes caractéristiques permet de fixer un débit d'exploitation raisonnable pour chaque puits qui pourrait être de 15 m³/h dans le forage LOKA 2, et de 10 m³/h dans le forage de LOKA 1.

En ce qui concerne le forage de MUA, le débit d'exploitation pourrait être fixé à 20 m³/h.

COURBES CARACTERISTIQUES

FIGURE 3

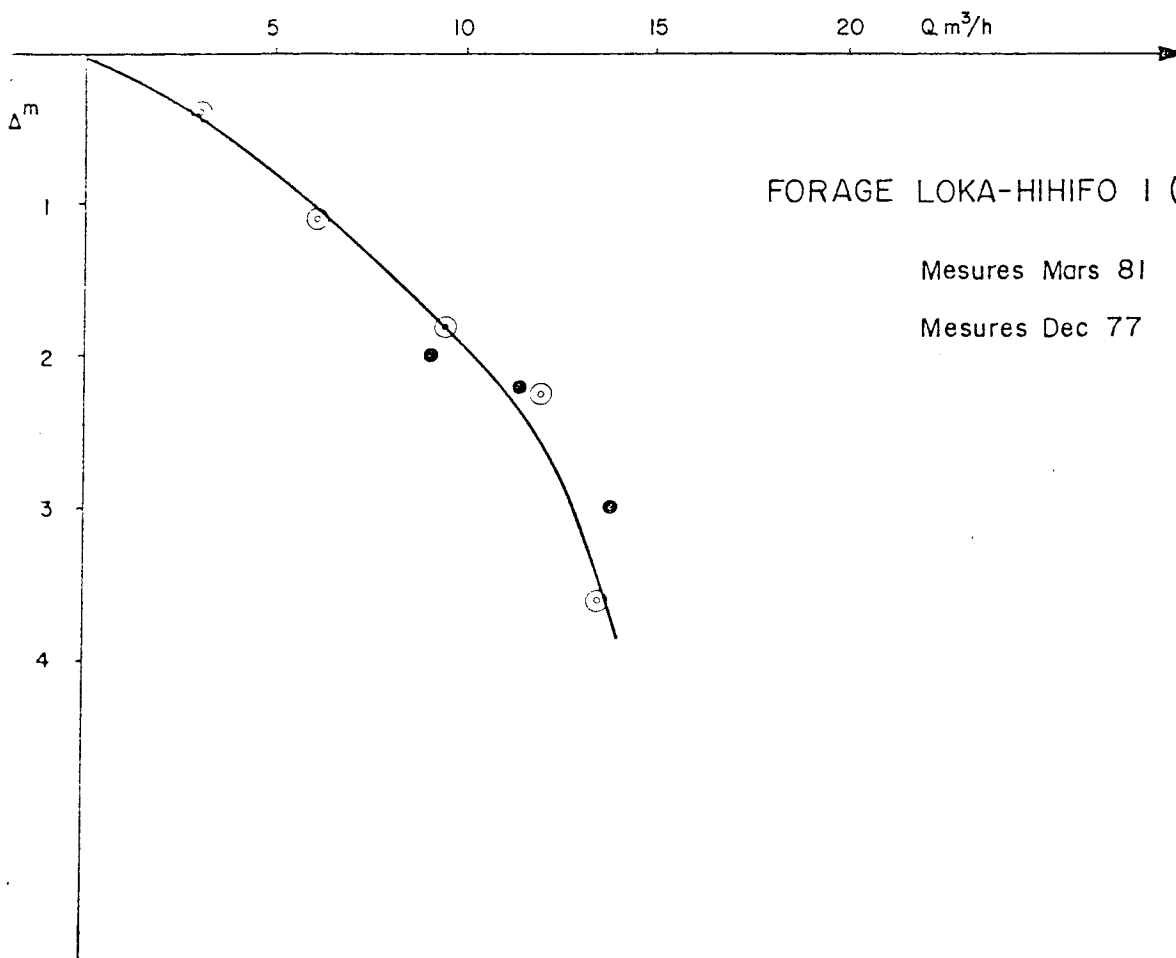
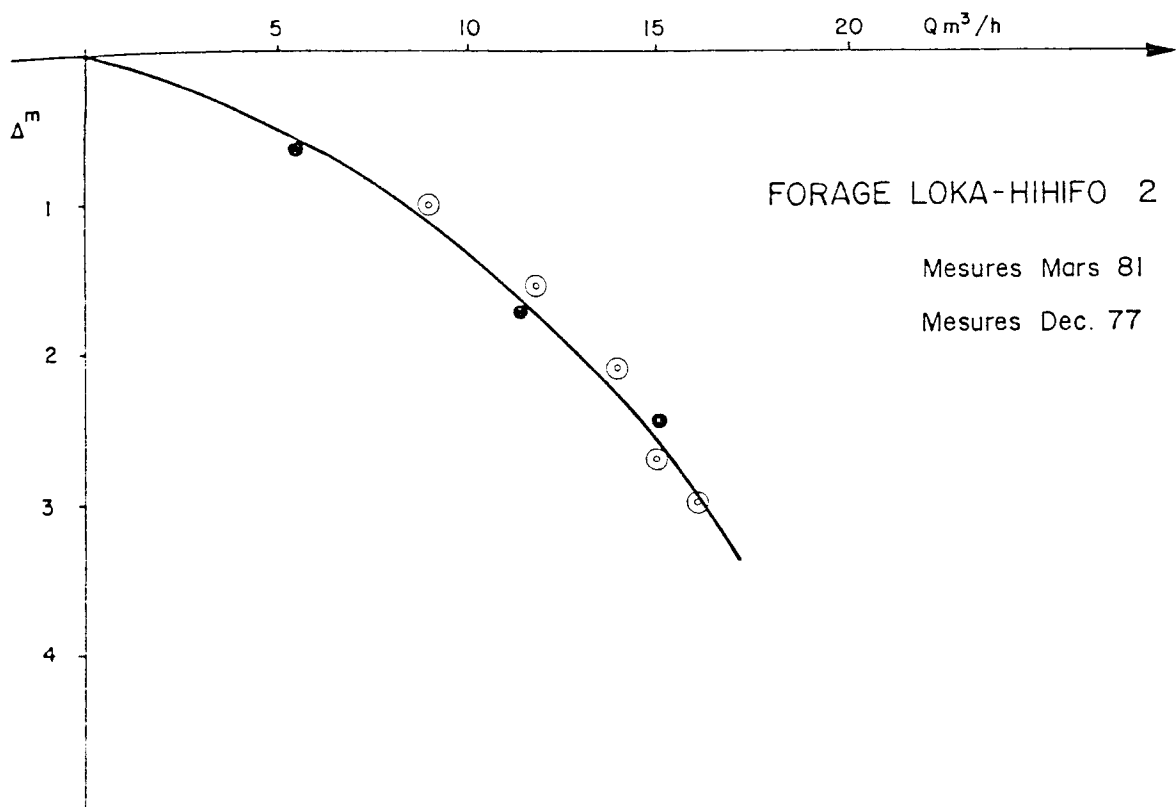
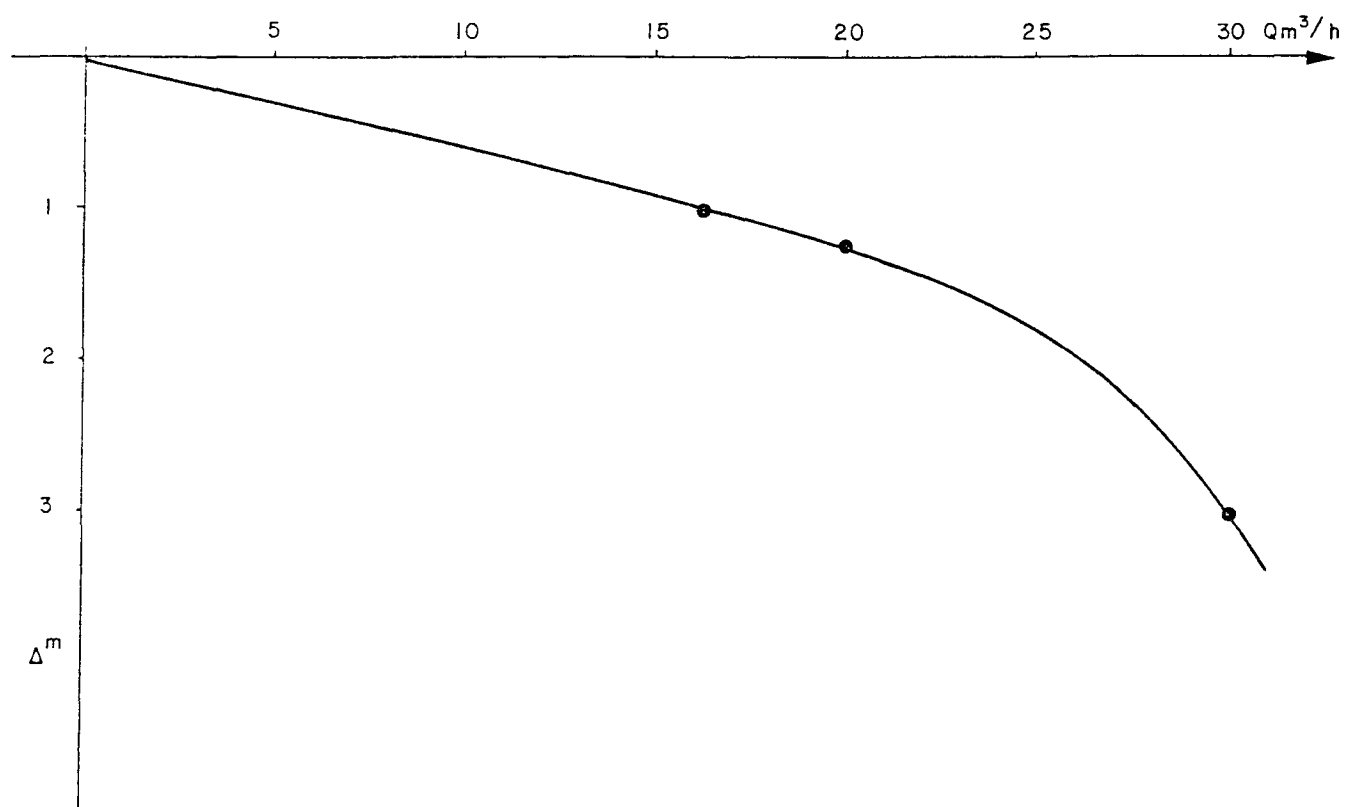


FIGURE 4

COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE MUA



7. SIMULATION NUMERIQUE DE L'ACCROISSEMENT DES PRELEVEMENTS ET DE SES REPERCUSSIONS SUR L'AQUIFERE

L'objet de cette présente phase de l'étude est d'évaluer les risques d'une augmentation des prélèvements par forages.

Ces risques sont de deux natures :

- ils concernent d'une part l'épuisement éventuel de la ressource en eau ;
- ils concernent aussi la qualité de l'eau qui pourrait se détériorer, soit par intrusion latérale d'eau de mer dans l'aquifère, soit par remontée de l'eau salée formant le substratum de l'aquifère doux actuellement exploité.

7.1 - Données disponibles

7.1.1 - Caractéristiques géométriques de l'aquifère

L'étude géophysique a confirmé que l'île de Wallis, sur toute son étendue, renferme un aquifère doux limité latéralement par la mer, et à son mur, par des formations aquifères salées.

L'aquifère doux est composé de 2 ensembles superposés que l'interprétation de la campagne de géophysique a permis de mettre en évidence. De haut en bas, ces 2 ensembles sont les suivants :

- un complexe conducteur relativement peu perméable de 30 à 50 m d'épaisseur ;
- des terrains résistants très homogènes dont l'épaisseur peut atteindre 150 m et dont les qualités hydrogéologiques sont meilleures.

7.1.2 - Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

La piézométrie est connue dans le secteur Sud de l'île et le long de la côte Ouest et Nord.

Des transmissivités peuvent être estimées à partir des essais effectués dans le cadre de la présente étude : en effet, la pente de la tangente à l'origine des courbes (cf. figures 3 et 4),

$$\text{Rabatement} = f(\text{débit pompé})$$

permet d'évaluer ce paramètre en faisant abstraction des pertes de charge dans le forage considéré. Pour les 2 forages de LOKA-HIHIF0, on peut estimer la transmissivité à $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Celle évaluée au forage de MUA est de l'ordre de $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ces valeurs sont certainement sous-estimées pour les deux raisons suivantes :

- la pénétration de l'aquifère par les forages n'est que de quelques mètres ;
- les forages captent principalement l'eau contenue dans le complexe conducteur peu perméable.

L'existence de l'aquifère résistant sous-jacent aux réserves très importantes est certainement la cause de l'obtention rapide d'un régime pseudo-permanent pour chaque pallier de débit.

Il est donc certain que les transmissivités estimées précédemment peuvent être caractérisées par la relation suivante :

$$T_{\text{complexe conducteur}} < T_{\text{estimée}} \ll T_{\text{aquifère résistant}}$$

Il faut noter, par ailleurs, que le forage de H0L0 dont les caractéristiques hydrodynamiques connues paraissent excellentes, capte l'aquifère résistant.

En effet, le SE 64 montre l'absence du complexe conducteur dans ce secteur. Les performances de ce forage sont de plus accrues par la proximité du lac RIKILA.

7.2 - Distribution des transmissivités

En vue de mettre en oeuvre un outil mathématique permettant de prévoir le comportement de l'aquifère soumis à des prélèvements complémentaires, il est nécessaire d'établir une carte des transmissivités à partir des données recueillies lors de la campagne de terrain.

Dans le cas de la présente étude et en l'absence d'information quantitative concernant l'aquifère résistant, on considère que :

$$T \text{ estimée} = T \text{ aquifère résistant.}$$

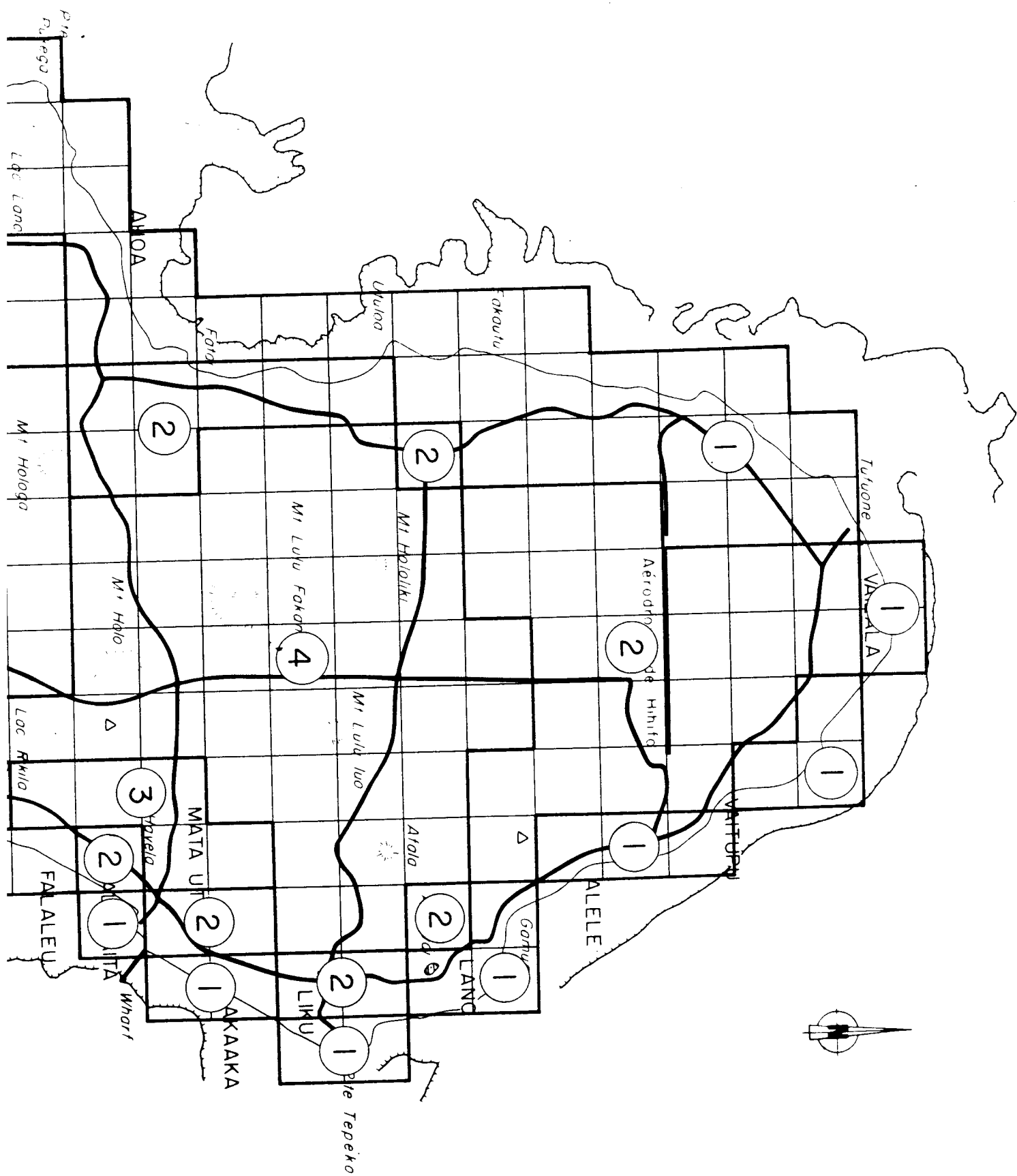
Les transmissivités estimées sont ensuite extrapolées à l'ensemble de l'île en s'appuyant sur les coupes obtenues par l'interprétation de la campagne géophysique (cf. planche n° 12).

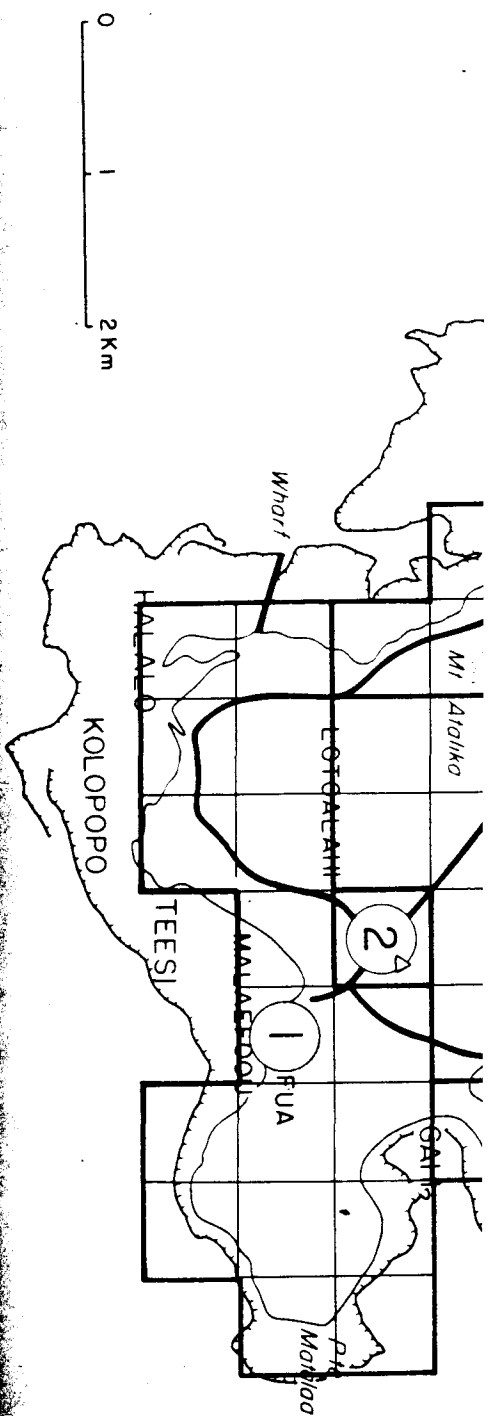
La carte des transmissivités ainsi obtenue est présentée sur la planche n° 13.

Cette manière de procéder accentuera l'influence des prélèvements complémentaires. Mais, étant donné que la présente étude n'a pas pour but de tester la capacité maximum des prélèvements dans l'île, mais seulement de vérifier que des prélèvements complémentaires limités n'entraîneront pas une dégradation de la ressource en eaux, les résultats obtenus permettront de vérifier, avec une bonne marge de sécurité, que l'accroissement des pompages n'a pas d'effet néfaste sur le comportement de l'aquifère.

7.3 - Méthode utilisée

En régime stabilisé, l'écoulement bidimensionnel est régi par l'équation de la diffusivité :





CARTE DES TRANSMISSIVITES

ECHELLE: 1/50 000

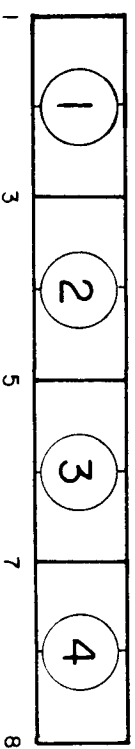
arlab

LEGENDE

Forage



ECHELLE DES TRANSMISSIVITES ($10^{-3} m^2/s$)



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q = 0$$

où h est le potentiel hydraulique,

T_x et T_y la transmissivité suivant les axes Ox et Oy ,

q le débit prélevé ou injecté par unité de surface.

Cette équation traduit la conservation de la masse d'eau dans l'unité de volume de l'aquifère.

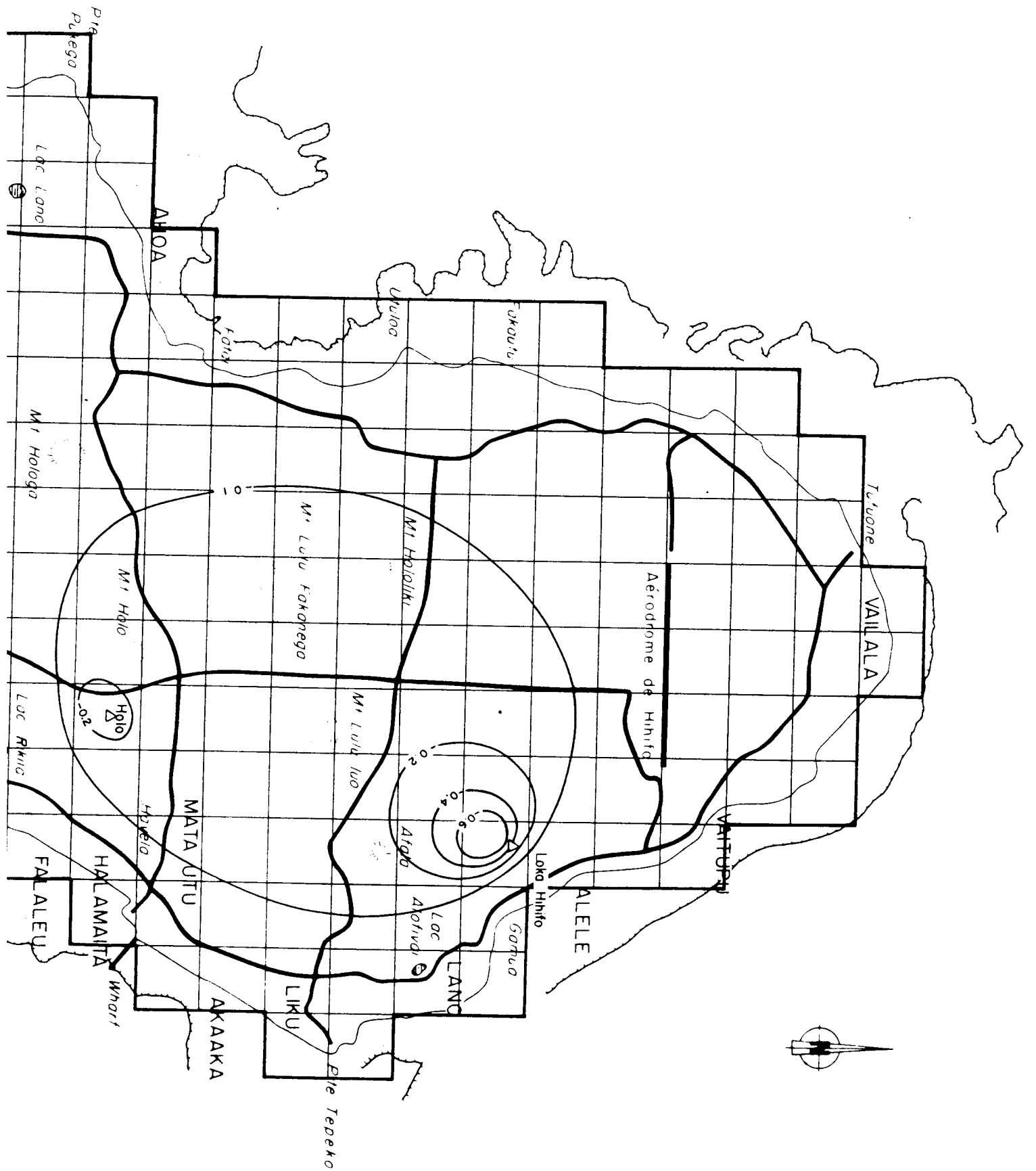
La méthode mathématique choisie pour l'intégration numérique de cette équation est une méthode discrète utilisant les différences finies. La discrétisation de l'aquifère se fait au moyen de mailles carrées de 254 m de côté dans le cas présent (cf. planche n° 13). Le nombre de ces mailles est de 239.

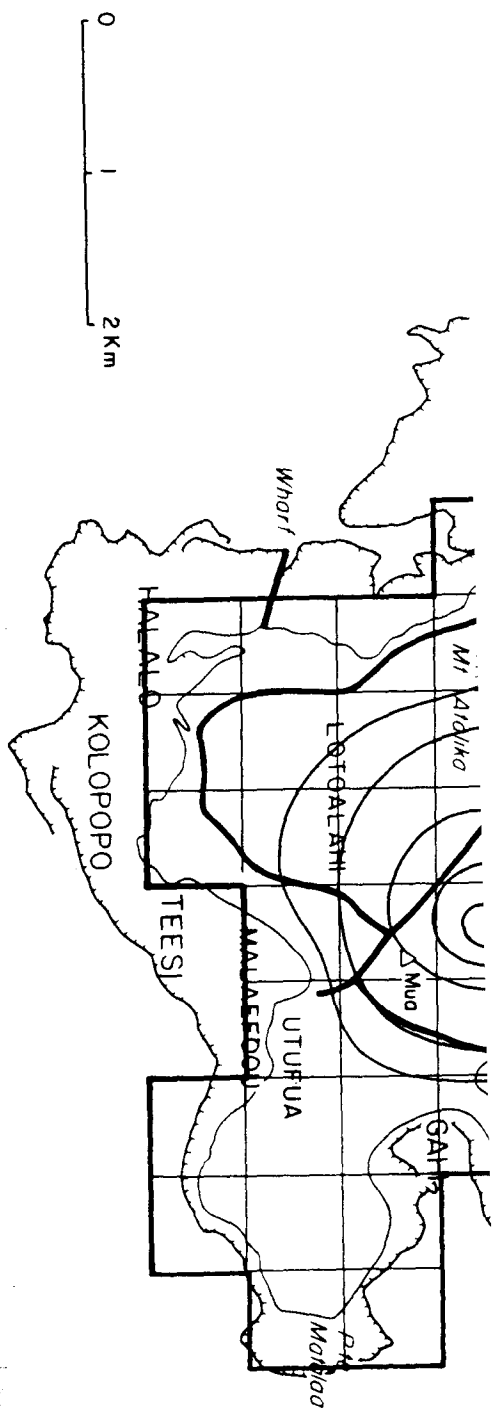
Les conditions aux limites de l'aquifère sont simulées par des potentiels imposés sur la périphérie de l'île. Les mailles correspondant aux lacs de RIKILA et de LANUTULI ont aussi été représentés par des potentiels imposés.

7.4 - Mise en oeuvre

On vérifie, dans un premier temps, que, compte tenu des caractéristiques géométriques prises en compte, les abaissements de la nappe dûs aux prélèvements actuels sont correctement représentés.

La planche 14 fournit les résultats de cette simulation. Les abaissements calculés sont sensiblement plus faibles que ceux mesurés au niveau du puits même si l'on fait abstraction des pertes de charge dans ces ouvrages. En effet, on démontre que, du fait de la discrétisation de l'aquifère, l'abaissement, calculé à l'intérieur d'une maille de côté a , est celui qui peut être observé sur le terrain à la distance $0.2 a$ du puits pompé.





ABAISSSEMENTS PIEZOMETRIQUES - POMPAGE ACTUELS

ECHELLE: 1 / 50 000

arlab

LEGENDE

Forage Δ Courbe d'iso-abaisssement et valeur en mètre

0.8

Si Δ est le rabattement observé dans le puits de pompage, corrigé des pertes de charge de l'ouvrage,

Δx est le rabattement à une distance x du puits pompé,

r , le rayon de l'ouvrage pompé,

x , la distance du point d'observation au puits pompé,

Q , le débit pompé,

T , la transmissivité de l'aquifère,

Δ et Δx sont liés, à tout instant, par la relation suivante :

$$\Delta - \Delta x = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{x^2}{r^2}$$

Le rabattement dans la maille MUA doit être de 0.6 m pour un pompage de 32 m³/h ; dans la maille représentant la station de LOKA-HIHIF0, il doit être de 0.85 m. Ces valeurs sont en parfaite concordance avec les résultats du calcul présenté sur la planche n° 14.

On sait par ailleurs que le pompage de 50 m³/h à la station de H0LO entraîne un rabattement de 20 à 30 cm. Ce qui est aussi en conformité avec les résultats du calcul. Ce dernier résultat n'a pu, cependant, être obtenu qu'en étendant la plage de forte transmissivité vers le sud, dans le secteur H0LO-Lac RIKILA (cf. planche n° 13).

Cette modification peut être justifiée par le fort drainage entre le lac et la station mis en évidence lors de la campagne piézométrique, ainsi que par l'absence du complexe résistant dans le secteur.

7.5 - Application

Compte tenu des résultats de la campagne de terrain, on a procédé à la simulation de pompages supplémentaires situés dans les 2 zones favorables pour l'exploitation de la nappe, ainsi que dans le secteur Nord de l'île compte tenu de la demande en eau (5.2.3 p. 25).

Les emplacements retenus sont ceux figurés sur la planche n° 11.

7.5.1 - Scénario 1

Les prélèvements simulés sont les suivants :

- région de VAILALA et VAITUPU : forage Nord 5 m³/h
forage Sud 5 m³/h
- zone favorable Nord : forage Ouest 20 m³/h
forage Est 20 m³/h
- zone favorable Sud : forage Nord 10 m³/h
forage Sud 10 m³/h

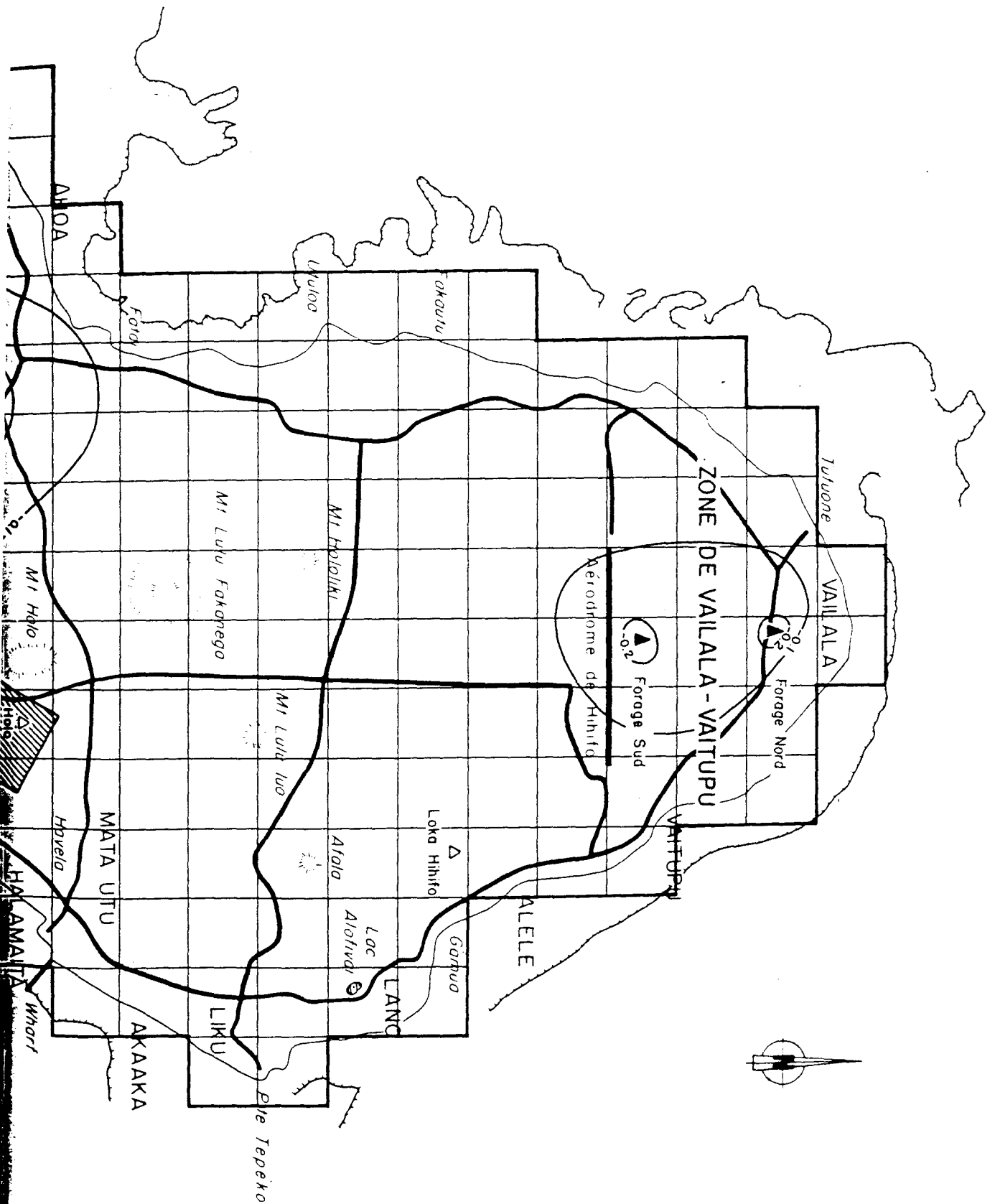
Sur la planche n° 15 sont représentés les abaissments piézométriques entraînés par ce système d'exploitation.

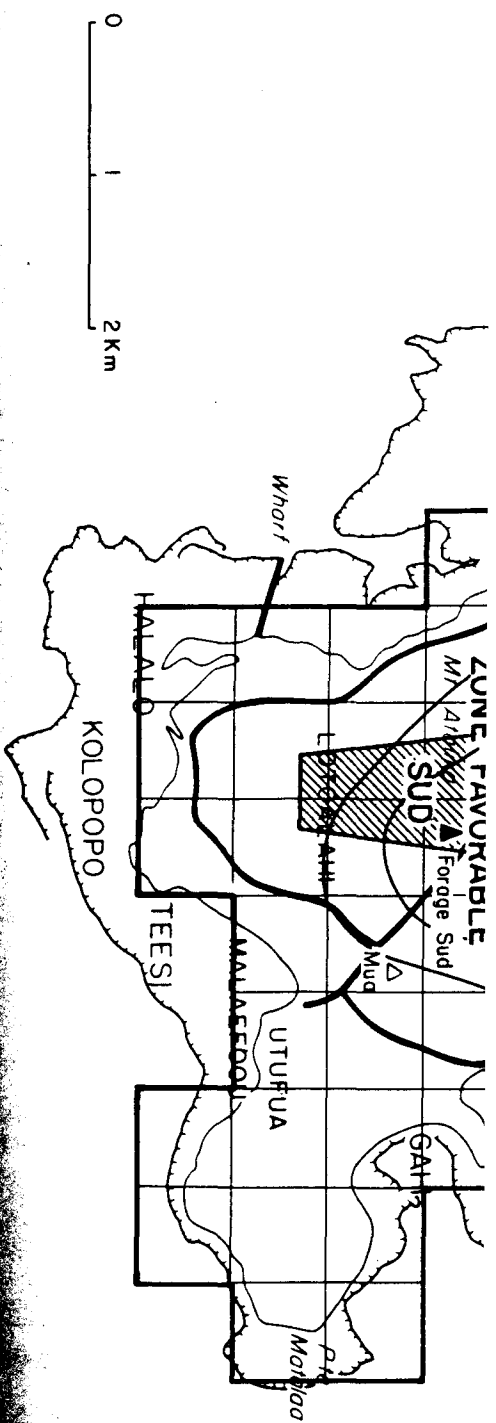
Dans la région de VAILALA et VAITUPU, les abaissments maximum sont de l'ordre de 0.2 cm, ce qui, compte tenu de l'équilibre entre l'eau douce et l'eau salée, ne devrait pas entraîner une remontée du substratum salé supérieure à 8 m.

Dans la zone favorable Nord, il apparait que le forage Est bénéficierait certainement d'une recharge à partir du lac RIKILA. L'abaissement dans la zone du forage Ouest serait de l'ordre de 0.60 . Cet abaissement entraînerait une remontée de 24 m du substratum salé qui n'aurait aucun effet sur la préservation de la qualité de l'aquifère, compte tenu de son épaisseur supérieure à 130 mètres.

L'exploitation des forages Nord et Sud de la zone favorable Sud entraînerait respectivement des abaissments de 0.40 et 0.30 m, ce qui entraînerait des remontées du substratum salé de 16 et 12 mètres.

Il apparait donc, à la lumière de ces résultats, que les prélèvements proposés n'entraîneraient pas de dégradations importantes de la situation piézométrique, et que la qualité physico-chimique de l'eau resterait inchangée.





ABAISSSEMENTS PIEZOMETRIQUES - SCENARIO 1

ECHELLE: 1/50 000

orlab

LEGENDE

- Forage existant Δ Zone favorable
- Forage proposé \blacktriangle Courbe d'iso-abaissement et valeur en mètre

7.5.2 - Scénario 2

Les résultats du scénario 1 montrent que les pompages de la zone favorable Nord peuvent être augmentés sans entraîner de dommages pour l'aquifère.

Dans cette zone, on a porté le débit des 2 forages à 30 m³/h, les autres forages conservant le même débit. L'abaissement maximum calculé (cf. planche n° 16) serait de l'ordre de 1.0 m entraînant une remontée du substratum salé de 40 m ce qui est supportable compte tenu de l'épaisseur de l'aquifère.

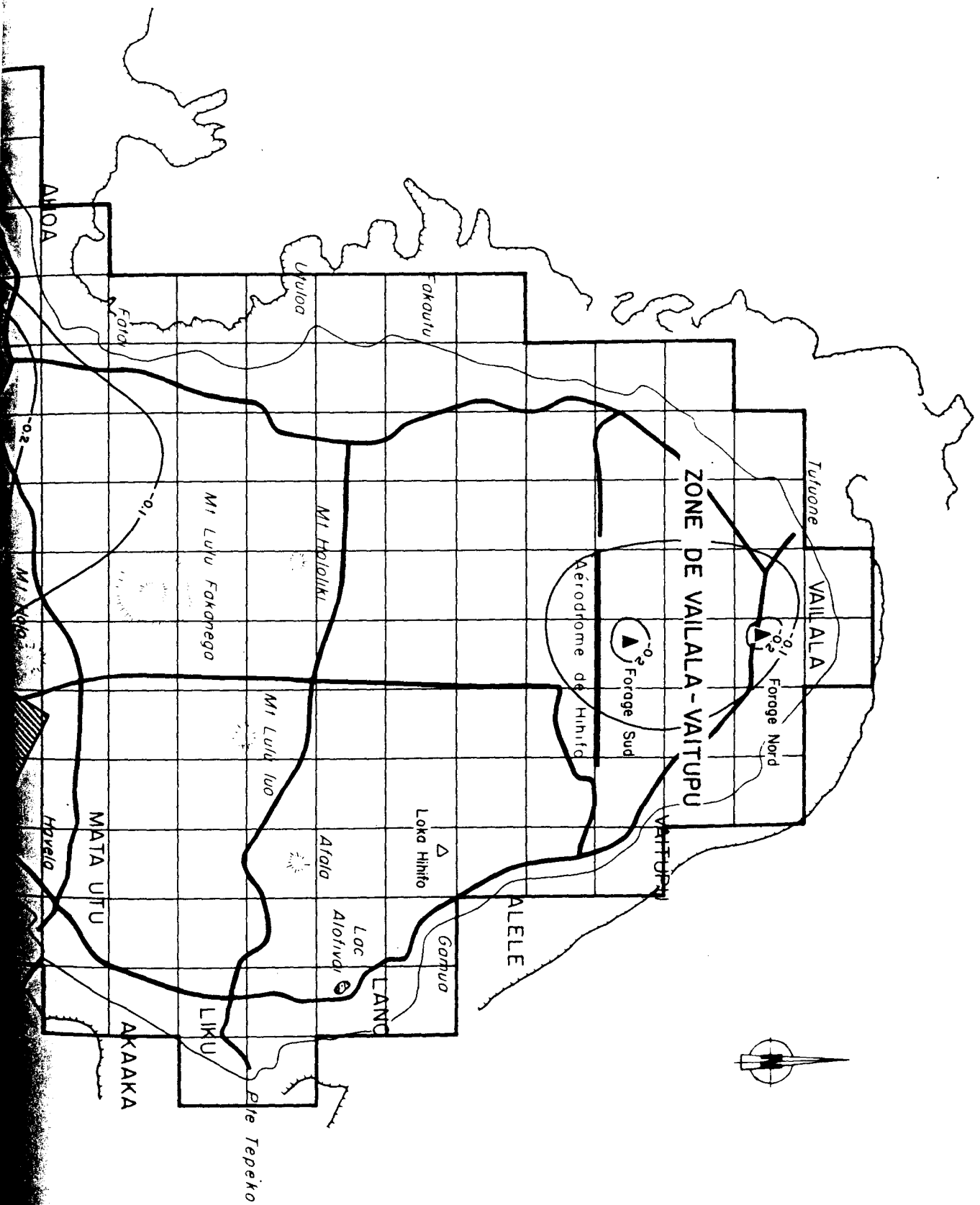
7.6 - Discussion et conclusion des simulations numériques de l'accroissement des prélèvements

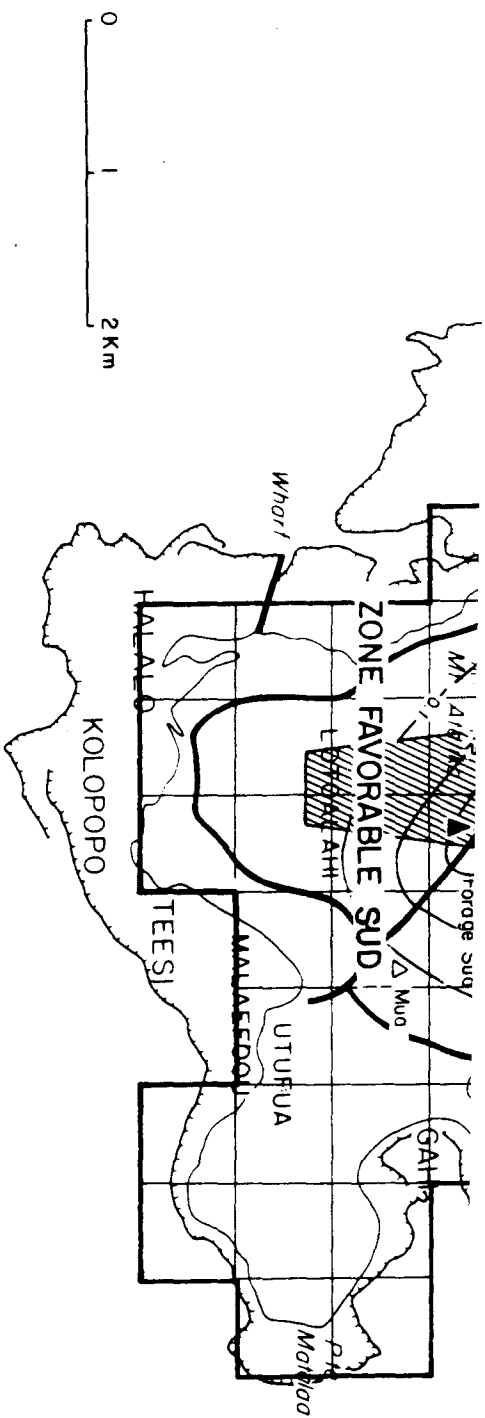
Dans cette phase de l'étude, on a procédé à l'élaboration d'un outil numérique permettant d'appréhender les conséquences sur l'aquifère de l'accroissement des prélèvements. Cet outil a été construit à partir des résultats de l'interprétation des mesures de terrain. En l'absence d'une connaissance très précise des transmissivités, un schéma volontairement pessimiste a été adopté. Ceci a permis de tester, avec un fort coefficient de sécurité, les effets de l'accroissement des prélèvements.

Ces nouveaux pompages ont été implantés dans les zones favorables mises en évidence lors de la campagne de terrain, ainsi que dans le secteur Nord de l'île pour satisfaire la demande locale en eau.

Il apparaît que dans ce dernier secteur, peu favorable à l'exploitation, il est possible d'extraire un débit de 10 m³/h réparti en 2 forages.

Dans le secteur Sud de l'île, le prélèvement actuel de l'ordre de 30 m³/h peut être porté à 50 m³/h au moyen de 2 forages situés à l'Ouest de la station existante à MUA.





ABAISSEMENTS PIEZOMETRIQUES - SCENARIO 2

ECHELLE: 1/50 000

orlab

LEGENDE

- | | | | |
|-----------------|---|--|---|
| Forage existant | △ | Zone favorable |  |
| Forage proposé | ▲ | Courbe d'iso-abaissement
et valeur en mètre |  |

Enfin, dans une zone située entre le lac LALOLALO et le lac RIKILA, un prélèvement de 60 m³/h peut être envisagé au moyen de 2 forages. Cette dernière zone, en particulier le secteur proche du lac RIKILA, est la plus favorable à l'exploitation des ressources en eaux souterraines.