

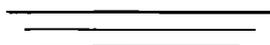
REPUBLIQUE TOGOLAISE

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DES MINES, DE L'ENERGIE
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE

DIVISION DE L'HYDROLOGIE

**ETUDES DES CARACTERISTIQUES
HYDRAULIQUES ET HYDROCHIMIQUES
DU SYSTEME LAGUNAIRE
DU LAC TOGO
PERIODE D'ETIAGE 1981**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE LOME — SECTION D'HYDROLOGIE

B. MILLET



Août 1981

ETUDES DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES ET HYDROCHIMIQUES
DU SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO

PERIODE D'ETIAGE 1981

Août 1981

ERRATA

- Page 58, Figure 25 ,équation de la droite $S=f(X)$.

au lieu de : $S = 6 \cdot 10^{-4}X - 0,0653$

il faut lire: $S = 5,56 \cdot 10^{-4}X + 0,0953$

- Page 60, au paragraphe relatif à la Figure 25, même correction.

REPUBLIQUE TOGOLAISE

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DES MINES, DE L'ENERGIE
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

(O.R.S.T.O.M.)

ETUDES DES CARACTERISTIQUES
HYDRAULIQUES ET HYDROCHIMIQUES
DU SYSTEME LAGUNAIRE
DU LAC TOGO

ETIAGE 1981

B. MILLET

Août 1981

S O M M A I R E

	Page
I - INTRODUCTION	1
II - DESCRIPTION DE L'ETUDE	2
1. ETUDE HYDROLOGIQUE	2
1.1. La situation	2
1.2. Les installations	2
1.2.1. Les installations limnigraphiques	2
1.2.2. Les échelles limnimétriques	3
2. ETUDE HYDROCHIMIQUE	3
2.1. Les objectifs	3
2.2. L'organisation de l'étude	4
2.2.1. Les points de prélèvement	4
2.2.2. La fréquence des prélèvements	4
2.2.3. Méthodologie de l'échantillonnage	4
2.2.4. La représentativité de l'échantillonnage	4
2.3. Les paramètres étudiés	6
2.3.1. Les paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux	6
a - la température	6
b - la transparence	6
c - le pH	6
d - la conductivité	7
e - l'oxygène dissous	7
f - les matières en suspension	7
g - la charge organique des eaux	7
2.3.2. Les paramètres chimiques de la qualité des eaux	8
a - les alcalins	8
b - les alcalino-terreux	8
c - les chlorures	8
d - les sulfates	8
e - l'alcalinité	8
f - les orthophosphates	8
g - le fer dissous	8
h - la silice dissoute	8

	Page
3. ETUDE CLIMATOLOGIQUE	9
3.1. Les objectifs	9
3.2. Description de la station	9
(FIG OA : carte bathymétrique du Lac)	10
(FIG OB-OC : profils en travers sur les lagunes)	11-12
 III. PRESENTATION DES PREMIERS RESULTATS	 13
(période du 24 février au 24 juillet 81)	
 A. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO	 13
1. SITUATION	13
1.1. Généralités	13
1.2. Le Lac TOGO	13
1.3. Le système lagunaire	14
2. NATURE DU FOND	15
3. LES CONDITIONS CLIMATIQUES	15
(Tableau 2 : Les premières données recueillies à la station d'Agbodrafo)	17
4. HYDROLOGIE	18
4.1. Les variations saisonnières du niveau des eaux	18
4.2. Les variations journalières du niveau des eaux	20
4.2.1. Sur le Lac Togo	20
4.2.2. Sur la lagune d'Anèho	20
 B. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO	 22
1. LA TEMPERATURE	22
1.1. Généralités	22
1.2. Variations saisonnières	22
1.3. Variations journalières	23
1.3.1. Exemple caractéristique de l'évolution journa- lière de la température des eaux du Lac TOGO, en plein étiage - le 31-3-81	23
1.3.2. Diagrammes d'évolution journalière	23
1.3.2.1. Présentation des diagrammes	23
(FIG 1 à 5 : diagrammes de température)	24-28

	Page
4. LES VARIATIONS SAISONNIERES DE LA SALINITE DES EAUX	72
(FIG 30 à 38 : cartes d'isosalinité sur le Lac)	73-82
(FIG 39 à 43 : cartes de salinité des lagunes)	83-88
IV - TENTATIVES D'INTERPRETATION DE LA DYNAMIQUE DES EAUX DU LAC TOGO	90
A. LES CARACTERISTIQUES DE L'ETIAGE 1980-1981	90
B. LES FACTEURS DE MISE EN CIRCULATION DES EAUX - LA METHODE D'INVESTIGATION DU TRACAGE SALIN	91
C. LES CARACTERISTIQUES DE LA CIRCULATION DES EAUX DU LAC TOGO, AU COURS DE L'ETIAGE 1981 - (février-juillet)	92
1. LA REMONTEE VERS LE NORD DES EAUX SALEES D'ORIGINE MARINE, A TRAVERS LE LAC TOGO	92
a - la présence d'un coin salé	92
b - l'effet du vent	93
2. LE RETRAIT DU FRONT SALE - L'INFLUENCE DES EAUX CONTINENTALES	93
3. LES VITESSES APPARENTES DE DEPLACEMENT DES EAUX	94
V - PERSPECTIVES D'ETUDE	94
1) La définition d'un bilan hydrologique du système lagunaire	94
2) La tentative d'un bilan hydrochimique du Lac	95
3) La recherche des caractéristiques d'éventuelles relations existant entre la lagune et la mer	95
VI - CONCLUSIONS	96
A N N E X E : Liste (non limitative) des espèces de vertébrés et de crustacés rencontrés en fonc- tion du régime hydrologique du Lac TOGO	97-98

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

I- INTRODUCTION

La Direction de l'Hydraulique et de l'Energie du Ministère Togolais des Travaux Publics, des Mines, de l'Energie et des Ressources Hydrauliques, s'intéresse depuis longtemps à l'approfondissement des connaissances relatives à l'ensemble du Lac Togo et de son complexe lagunaire.

L'étude de ce milieu naturel peut être menée dans le cadre d'une politique de mise en valeur piscicole du Lac, de développement de projets d'aménagement agricoles, et pourra en outre, contribuer à la définition d'un projet d'ouvrage hydraulique visant à contrôler l'ouverture de cet ensemble lagunaire sur la mer.

A la demande de la Direction de l'Hydraulique et de l'Energie, l'ORSTOM apporte son concours technique à la réalisation d'une étude qui a démarré depuis le 5 février 1981, et qui offre deux aspects :

D'une part, un inventaire systématique de la qualité des eaux du Lac Togo et de l'évolution spatiale de cette qualité au cours des cinq mois d'étiage qui ont suivi, cette année, l'ouverture artificielle du cordon lagunaire sur la mer, au niveau d'ANEHO, entre les mois de septembre et décembre 80.

D'autre part, quelques installations limnigraphiques, représentant le support nécessaire à l'étude des caractéristiques hydrologiques du Lac et du complexe lagunaire d'ANEHO.

Dans ce présent rapport, nous nous proposons, après un certain nombre de descriptions méthodologiques, de présenter les premiers résultats relatifs à l'étude de l'étiage 1981, ainsi qu'une tentative d'interprétation de la dynamique des eaux dans le Lac.

II- DESCRIPTION DE L'ETUDE

(cf. carte de situation jointe)

1. ETUDE HYDROLOGIQUE

1.1. La situation

Le Lac Togo se présente, ainsi qu'un grand nombre de systèmes lagunaires du Golfe de Guinée, comme une retenue d'eau continentale, dans une dépression formée vraisemblablement lors de la dernière transgression marine (Nouakchottien du Sénégal ou Flandrien d'Europe), fermée depuis par un cordon lagunaire sableux, perpétuellement entretenu par la décharge des courants marins qui longent la côte d'Ouest en Est. Le Lac Togo est alimenté par deux tributaire : le "Sio" et le "Haho" dans sa partie Nord, et rejoint dans sa partie Sud, par l'intermédiaire de la lagune de Togoville, le complexe lagunaire d'Anèho. Celui-ci, reçoit également dans sa partie Nord les eaux de la lagune de Vogan, alimentée par le "Boko", et communique directement avec le Bas Mono, par l'intermédiaire d'un bras situé dans la partie Est. En outre, l'ouverture artificielle et temporaire du cordon lagunaire à Anèho, vient modifier périodiquement (tous les 2 ou 3 ans) le régime hydrologique de cet ensemble soumis à de nombreuses influences de caractéristiques diverses.

C'est ainsi que le site de la lagune d'ANÈHO nous a semblé propice à l'installation de limnigraphes, permettant de suivre l'évolution du plan d'eau des différents bras de la lagune au rythme des saisons, d'estimer des volumes d'eau échangé avec la mer ou avec le Mono, après l'étalonnage des stations considérées, et enfin, de suivre et de quantifier l'influence des marées, en cas d'ouverture du cordon lagunaire à Anèho, mais également en permanence sur le bras qui reste en relation avec le Bas Mono.

1.2. Les installations

1.2.1. Les installations limnigraphiques

Quatre limnigraphes OTT X hebdomadaires ont été installés.

- a) sur le pont de Zalivé, afin de contrôler les apports de la lagune de Vogan.

- b) sur le pont de Zébé, afin de contrôler les apports du Mono.
- c) le long du bras du Mono, à Sanvi Kondji, afin d'estimer la pente de la ligne d'eau entre Sanvi Kondji et le pont de Zébé, dans le but de suivre l'évolution saisonnière du sens de circulation des eaux entre la lagune d'Anèho et l'embouchure du Mono.
- d) sur le pont d'Anèho, afin de contrôler les apports d'origine marine, le cas échéant.

En outre, l'ensemble de ces quatre limnigraphes permet à tout moment, d'estimer les pentes de ligne d'eau, et de surveiller la circulation des eaux à travers la lagune.

1.2.2. Les échelles limnimétriques

Une batterie d'échelles limnimétriques a été posée à Agbodrafo, dans le Sud du Lac, venant compléter les observations effectuées par la Division de l'Hydrologie Togolaise aux anciennes stations de Kpémé et de Séva-Tonou, et qui permettent, avec 3 lectures quotidiennes, une bonne appréciation des variations journalières et saisonnières du plan d'eau du Lac. Enfin, une autre batterie d'échelles limnimétriques à trois lectures quotidiennes a été installée sur le Haho, à 5 km en amont de son ouverture sur le Lac, afin de permettre un début d'observation des crues avant l'étalonnage prochain de cette station, et l'installation ultérieure d'un limnigraphe.

2. ETUDE HYDROCHIMIQUE

2.1. Les objectifs

Tout particulièrement en cet étiage 1981, les eaux du Lac Togo ont été présumées être de nature très diverse, en raison de l'ouverture du cordon lagunaire d'Anèho sur la mer, de septembre à décembre 1980. Aussi, avons nous envisagé d'effectuer un inventaire systématique de la qualité des eaux, reparti dans l'espace sur l'ensemble du Lac, et dans le temps, sur toute la période d'étiage. Un tel suivi de la qualité chimique des eaux du Lac, permettait de surveiller l'évolution spatiotemporelle d'un éventuel front salé, d'origine marine, de quantifier cette influence et d'en déduire une approche du mode de circulation des eaux dans le Lac.

2.2. L'organisation de l'étude

2.2.1. Les points de prélèvement

Afin d'obtenir une bonne représentativité de l'échantillonnage, nous avons envisagé un réseau très dispersé de points de prélèvement en tenant compte dans un premier temps des seules considérations géographiques dont nous disposons. C'est ainsi qu'un réseau de 16 bouées a été placé sur l'ensemble du Lac, représentant un support pour un éventuel quadrillage plus fin et facilitant les premiers temps le repérage sur le Lac. Des précisions bathymétriques, et des prospections à l'aide d'un conductimètre de terrain, ont conduit à l'élaboration du réseau actuel de 31 points, présenté sur la carte de situation.

2.2.2. La fréquence des prélèvements

En fonction de la disponibilité du Laboratoire d'Analyse du Centre de Lomé, les prélèvements ont été effectués de façon simultanée sur l'ensemble du Lac et de la lagune de Togoville à un rythme mensuel, avec toutefois une interruption pendant le mois d'avril.

Nous envisageons les résultats des campagnes :

- du 24.02.81 correspondant à la décrue du Lac,
- du 31.03.81 correspondant à l'étiage minimum
- du 03.06.81 correspondant à la période de salinité maximale
- du 25.06.81 correspondant à la montée des eaux.
- du 24.07.81 correspondant au début de la période de crue

2.2.3. Méthodologie de l'échantillonnage

A l'aide d'un dispositif simple, à ouverture commandée depuis la surface, deux prélèvements ont été effectués à chaque verticale, à 0,20 cm de la surface et à 0,20 cm du fond après que quelques essais aient montré l'inutilité d'un prélèvement à mi-profondeur.

2.2.4. La représentativité de l'échantillonnage

Des essais d'échantillonnage rapproché effectués le 25.3.81 dans le Sud du Lac, et le 15.4.81 dans le Nord, ont permis d'estimer la représentativité d'une verticale de prélèvement, et les résultats sont reportés dans les tableaux suivants.

A- le 25.3.81 Profondeur de la station : 1,15 mètre

1/ deux prélèvements immédiatement successifs sur la même verticale

Lieu du prélèvement	Variation de conductivité (%)	Variation de salinité (%) (‰ Cl)
en surface	3,5	5,4
mi-profondeur	4	0
en profondeur	0,5	2,0

2/ trois prélèvements successifs à 200 mètres de distance

N° de la verticale	Variation de conductivité (%)			Variation de salinité en (%)		
	1	2	3	1	2	3
Prélèvement en surface	4,1	4,3	0,2	2,8	2,8	5,5
Prélèvement à mi-profondeur	3,5	5,2	3,2	2,9	2,8	5,6
Prélèvement en profondeur	0,3	0,2	0,5	4,2	1,4	2,9

On remarquera le maximum de variation de la conductivité à mi-profondeur, et le minimum en profondeur, zone réputée traditionnellement plus stable.

B- le 15.4.81 Profondeur de la station : 1,20 mètre.

Trois prélèvements successifs à distance variable d'une verticale habituelle dans le Nord du Lac.

	Distance par rapport à la verticale (m)	Variation de conductivité (%)	Variation de salinité (%)
EN SURFACE	200	4,2	3
EN SURFACE	300	5	5,5
EN SURFACE	500	9,3	8,3
EN PROFONDEUR	300	3	5,5

- On déduit de ces tableaux qu'en deçà d'une distance de 300 mètres, la variabilité de l'échantillonnage reste inférieure aux limites imposées par la précision même des analyses, qui sont, respectivement en ce qui concerne la conductivité et la salinité en g/l NaCl, de 5,5 % et de 5 %.
- L'homogénéisation de la salinité sur l'ensemble de la tranche d'eau apparaît déjà. Elle est moins nette pour la conductivité. Ceci restera confirmé à chaque verticale.
- La distance moyenne séparant deux points de prélèvement du réseau habituel étant voisine de 1 000 mètres, on voit que la distance qui n'est pas prospectée entre deux points reste inférieure à 500 mètres, et facilement contrôlable par la méthode des gradients, linéaires sur de courtes distances.

2.3. Les paramètres étudiés

2.3.1. Les paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux

- a - La température : Paramètre essentiel dans l'appréciation de la qualité des eaux, et de ses potentialités hydrobiologiques, la température a été mesurée systématiquement à chaque prélèvement à l'aide d'un thermomètre à mercure au dixième de degré.
- b - La transparence : Déterminée à l'aide d'un disque de SECCHI de 30 cm de diamètre, la transparence a fait l'objet d'un contrôle systématique à partir du 03.6.81. Les variations spatiales et journalières de la transparence ont été observées, en certaines stations choisies.
- c - Le pH : Déterminé à l'aide d'un pH mètre électronique POLYMETRON de Laboratoire, à électrode combinée verre-calomel, de précision 0,05 unité, et de grande fidélité à l'étalonnage. Les mesures ont été effectuées le soir de chaque campagne de prélèvement. Cette méthode pouvant masquer, par son incertitude, certaines variations intéressantes de pH, celui-ci a été déterminé par la suite sur le terrain à l'aide d'une série de disques comparateurs LOVIBOND utilisant des réactions colorimétriques au bleu de bromo-thymol jusqu'à des valeurs de pH = 7,6 et au rouge de méthylcrésol pour les valeurs de pH rencontrées supérieures. Cet appareil, très rapide d'utilisation, permet d'apprécier une valeur sur le terrain, à condition de tenir compte

de l'erreur systématique due à la méthode et à la qualité des produits, et qui a été évaluée à 0,4 unité pH par excès, pour la gamme de valeur considérée grâce à une correspondance établie à plusieurs reprises au laboratoire avec le pH mètre électronique soigneusement étalonné.

- d - La conductivité : Elle représente le paramètre essentiel qui a été utilisé quant à l'investigation de la charge saline des eaux du Lac, et de son évolution spatiale et saisonnière. La conductivité a été mesurée au laboratoire, toujours dans des conditions identiques, à l'aide d'un pont de KOLRAUSH PHILIPS PR 9500 et d'une cellule de platine, le soir même de la campagne de prélèvement. La précision atteint 5,5 % dans les hautes gammes utilisées pour les eaux du Lac pendant la période étudiée.

En outre, un petit conductimètre portatif HOELZLE et CHELIUS, de faible précision dans la gamme de valeurs concernées, a été utilisé avantageusement, dans la détection sur le terrain des variations locales de la conductivité, permettant ainsi dans certains cas des prélèvements supplémentaires dont les résultats se sont avérés fructueux pour l'étude des zones sensibles considérées.

- e - L'oxygène dissous : Ne disposant d'aucun oxymètre électronique, nous avons utilisé sur le terrain la méthode traditionnelle de WINKLER pour surveiller les variations journalières de la teneur en oxygène dissous en deux stations choisies, le 10.7.81. En pratique, la précision espérée est de 0,2 g/l d'oxygène.

- f - Les matières en suspension : Déterminées par la méthode classique des pesées après séchage à 105°C de filtres millipore de 0,45 μ , la MES, a permis d'estimer depuis le 03 juin 81 l'impact de la turbulence mécanique sur les eaux du Lac ainsi que de la reprise de l'écoulement des deux tributaires du Lac, le "Sio" et le "Haho".

- g - La charge organique des eaux : Déterminée depuis le 3 juin 81 par l'oxydation au permanganate en milieu acide à chaud, la charge organique dont une valeur moyenne sera retenue, reste utile pour toutes considérations hydrobiologiques.

2.3.2. Les paramètres chimiques de la qualité des eaux

- a - Les alcalins (Na^+ , K^+) - Le sodium et le potassium ont été dosés par photomètre de flamme avec une précision voisine de 5 %.
- b - Les alcalino terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) - Le calcium et le magnésium ont été dosés par la méthode classique complexo-métrique et titrage à l'EDTA. Précision voisine de 10 %.
- c - Les chlorures (Cl^-) - Les chlorures ont été dosés par la méthode titrimétriques de MOMR, précision de 3 %, vérifiée à l'aide de quelques essais au titrisol.
- d - Les sulfates (SO_4^{2-}) - Les sulfates ont été dosés par la méthode néphélométrique par précipitation de Ba SO_4 , stabilisé au TWEEN 20 mais ces valeurs ne seront conservées qu'à titre indicatif et n'interviendront dans aucun calcul, la précision de la méthode excédant 10 %.
- e - L'alcalinité - Ne concernant essentiellement que les ions bicarbonates, l'alcalinité a été dosée par le titrage classique à l'acide sulfurique N/50 contrôlé au pH mètre étalonné jusqu'à la valeur $\text{pH} = 4,4$.
- f - Les orthophosphates (PO_4^{3-}) - Le dosage des orthophosphates par spectrophotométrie au bleu de Molybdène depuis le 3 juin 81, a permis d'estimer une moyenne sur l'ensemble du Lac, utile pour toutes considérations hydrobiologiques.
- g - Le fer dissous (Fe) - Le dosage du fer dissous par spectrophotométrie à l'orthophénanthroline, depuis le 3 juin 81, permet d'évaluer une moyenne sur l'ensemble du Lac en période d'étiage.
- h - La silice dissoute ($\text{SiO}_4 \text{H}_4$) - Ce paramètre dosé par spectrophotométrie à l'acide silicomolybdique permet d'obtenir à titre indicatif une valeur moyenne de la silice dissoute dans les eaux du Lac, et d'apprécier son évolution saisonnière, mais aucune valeur absolue ne sera retenue dans aucun calcul, étant donné la faible précision de la méthode d'analyse.

3. ETUDE CLIMATOLOGIQUE

3.1. Les objectifs

Nous avons jugé souhaitable de voir aboutir prochainement cette étude générale sur les caractéristiques du Lac Togo, sur un bilan hydrologiques permettant d'approfondir la connaissance de ce type de milieu lagunaire et d'en prévoir éventuellement leur évolution après en avoir défini les paramètres principaux. C'est dans cette optique, qu'il nous a semblé indispensable d'estimer la valeur de l'évaporation sur le plan d'eau du Lac. La méthode d'approche de l'évaporation d'une nappe d'eau libre par l'estimation de l'évapotranspiration potentielle établie à partir de données climatologiques recueillies à une station classique (C. RIOU, Mémoire ORSTOM, 1975) a été retenue.

3.2. Description de la station

Le site d'Agbodrafo a été choisi en raison des caractéristiques favorables qu'il offrait, contre la rive Sud du Lac et directement soumis à une forte influence des vents marins comme l'ensemble du Lac, et grâce aux facilités offertes par la Direction togolaise de la Production Animale qui a mis à notre disposition un terrain propice. Les coordonnées de la station sont 1°31' Est, 6°12' Nord.

La station dispose :

- d'un bac évaporateur enterré d'un mètre carré sur 0,50 m de profondeur, issu d'une version corrigée du bac Colorado et muni d'un pluviomètre au sol situé à proximité.
- d'un pluviomètre à 1,50 m du sol
- d'un héliographe
- d'un abri "type anglais" renfermant :
 - un évaporomètre PICHE (à titre indicatif)
 - un psychromètre classique
 - un thermomètre à maximum
 - un thermomètre à minimum.

Trois lectures quotidiennes depuis le 30 juin 81 ont permis une première approche de l'évaporation sur le Lac, en début de saison humide.

FIG. 0A
CARTE BATHYMETRIQUE
DU LAC TOGO
A L'ETIAGE MINIMUM
LE 31-3-81

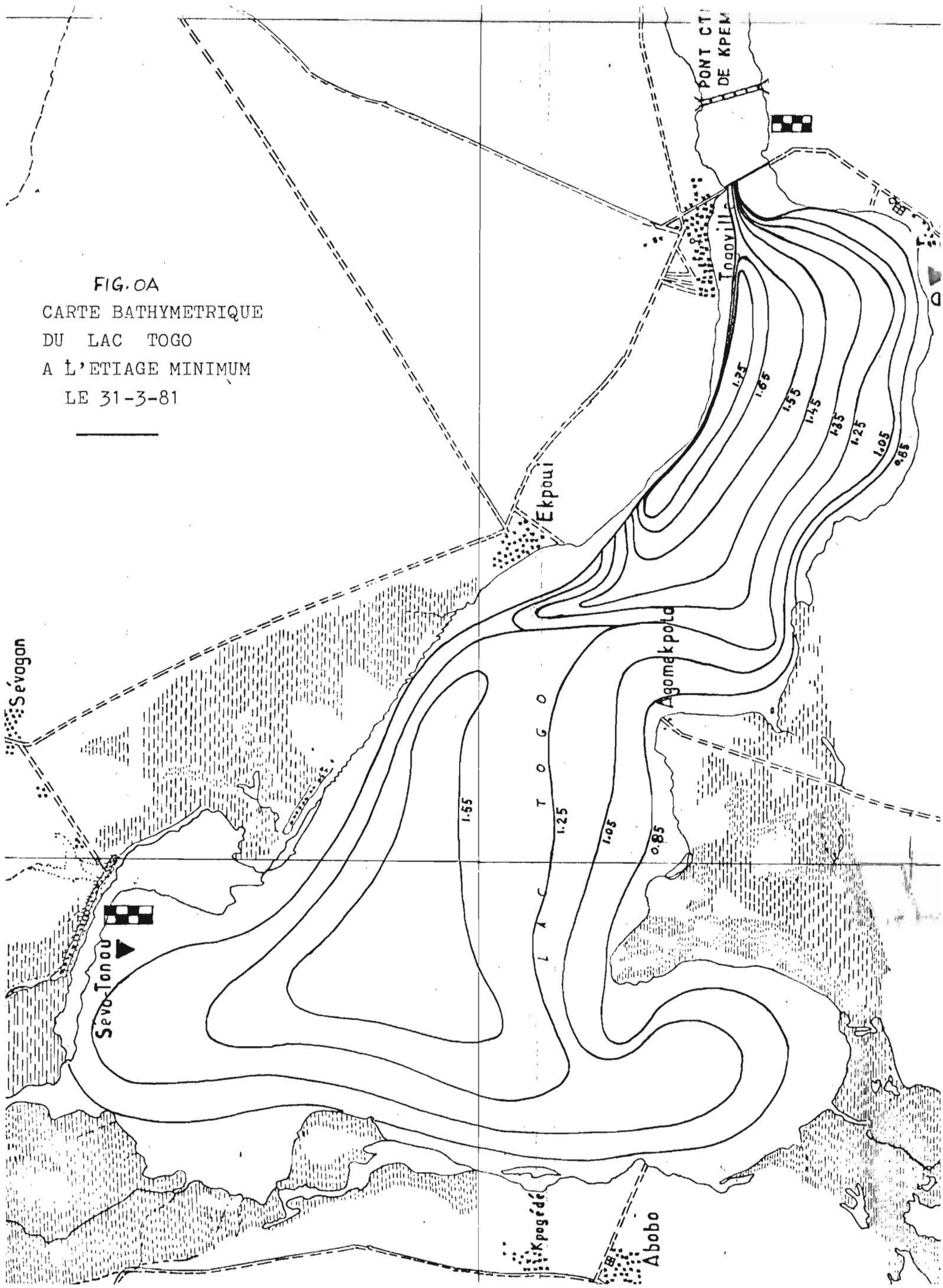
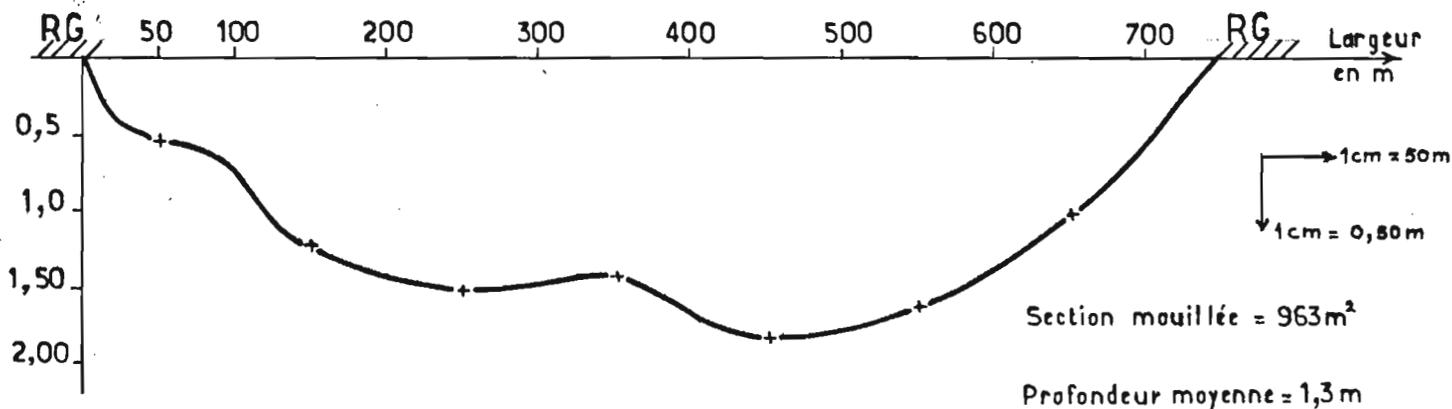


FIG O-B: LAGUNE DE TOGOVILLE PROFIL EN TRAVERS A L'ETIAGE MINIMUM

Section T = Togoville



Section L = Pont CTMB de Kpémé

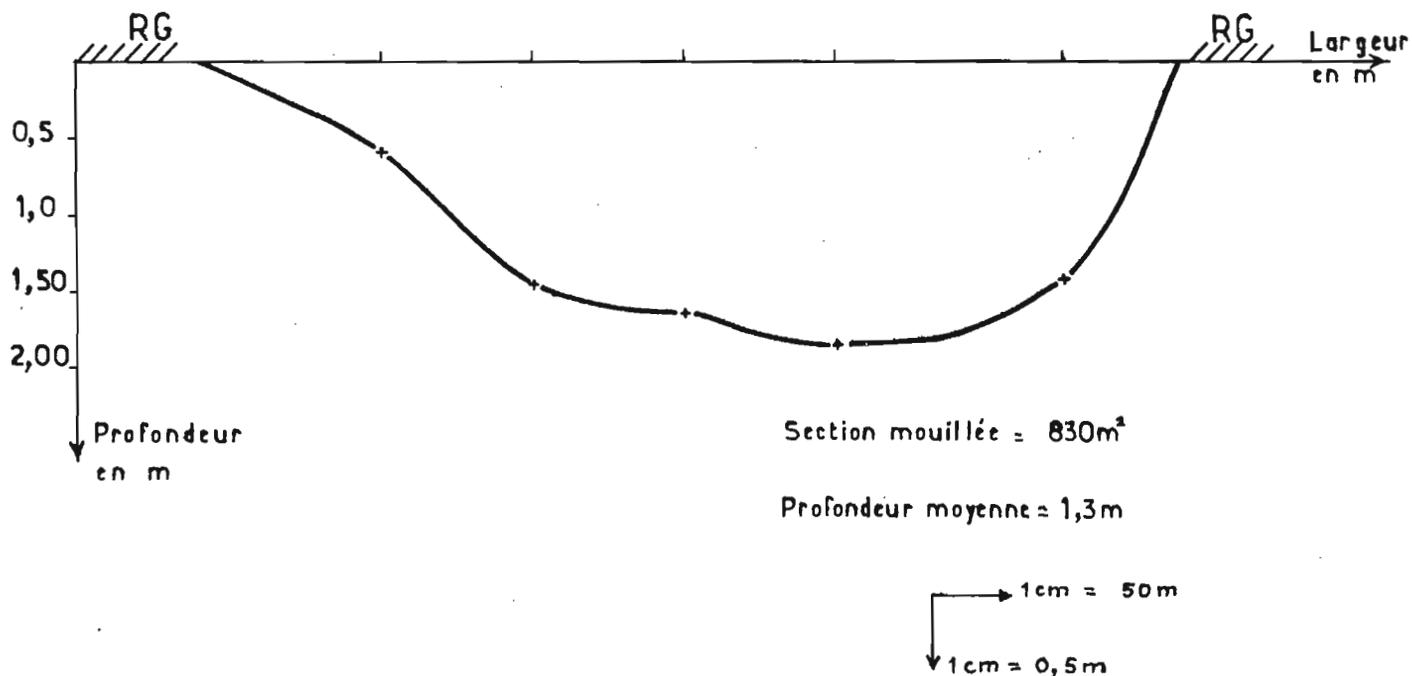
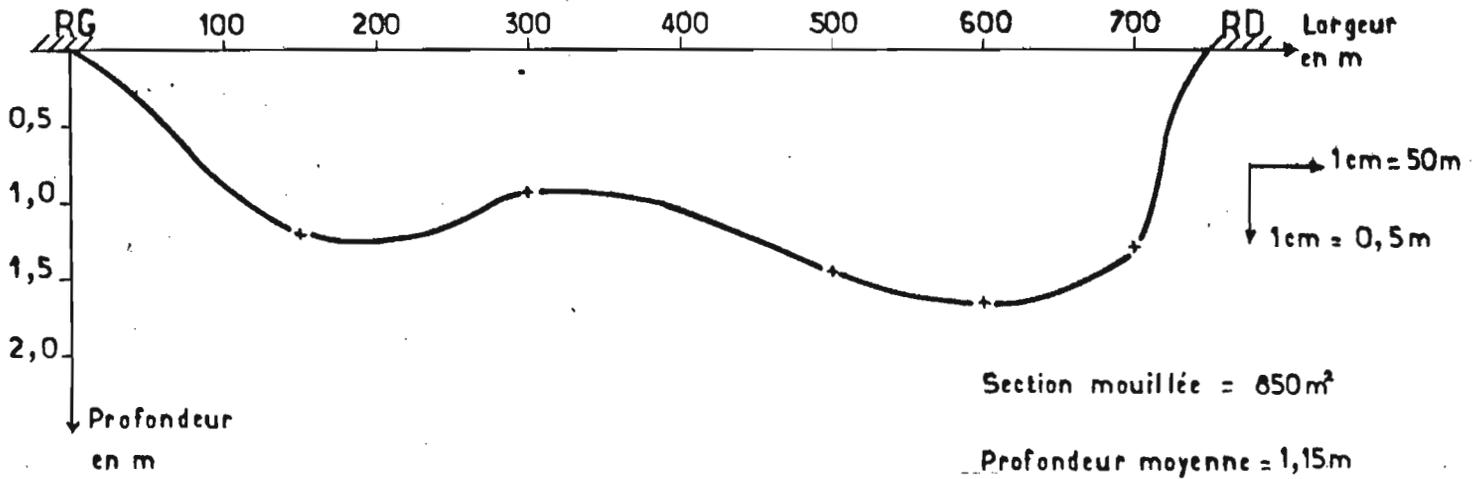
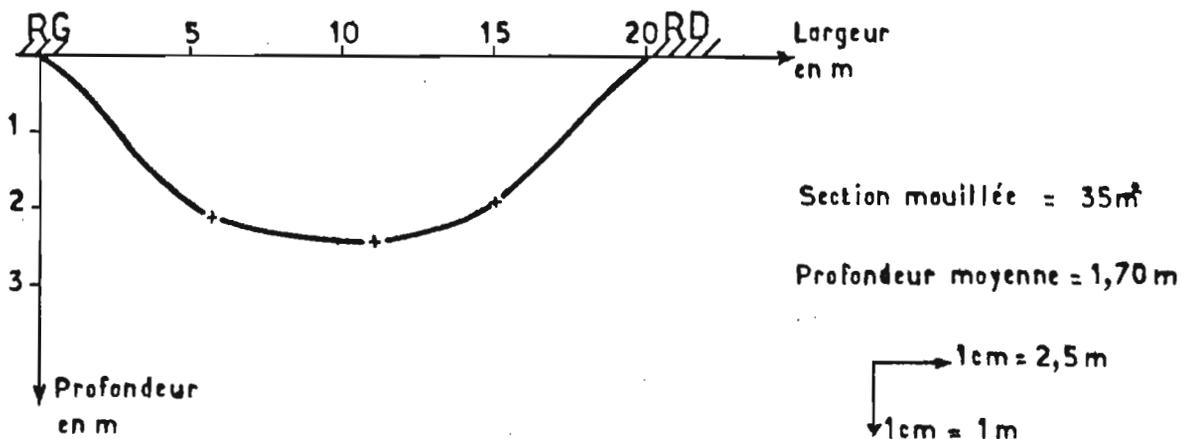


FIG O-C: LAGUNE DE TOGOVILLE PROFIL EN TRAVERS A L'ETIAGE MINIMUM

Section M=Badougbe



LAGUNE d'ANEHO PROFIL EN TRAVERS A L'ETIAGE MINIMUM Pont de Zalivé



III- PRESENTATION DES PREMIERS RESULTATS

(période du 24 février au 24 juillet 81)

A. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO

1. SITUATION

1.1. Généralités

Le Lac Togo constitue une étendue d'eau, étroite, orientée NW, SE, de 13 km dans sa plus grande diagonale NW, SE et 6 km dans sa plus petite NE, SW. Le Lac est prolongé vers le Sud-Est à partir de Togoville par une lagune de 13 km de long, de largeur maximale 900 m et minimale 150 m à l'étiage, qui rejoint au pont de ZEBE, le réseau de bras plus étroits de la lagune d'ANEHO qui reçoit également au pont de ZEBE, les eaux de la lagune de Vogan, bande de 7 km de long et de 1,5 km de largeur maximale dirigée Nord-Sud. Le Lac Togo et l'ensemble de son système lagunaire est alimenté principalement par trois rivières, le Sio et le Haho débouchant, respectivement à l'Ouest et au Nord du Lac Togo, et le Boko de moindre importance, alimentant la lagune de Vogan. Cet ensemble draine un bassin hydrographique de 7170 ± 10 km². Nous excluons le Mono, avec lequel la lagune d'ANEHO communique en permanence par l'intermédiaire d'un bras étroit s'éloignant vers l'Est parallèlement à la mer. Les contours de cet ensemble sont ceux de la carte IGN au 1/50 000^e de 1960, les observations des clichés aériens de la couverture de 1978 n'ayant pas révélées de modification notable.

1.2. Le Lac TOGO

Une carte bathymétrique (FIG OA) a été établie le 31.3.81 pendant la période d'étiage minimum, ce qui a permis de calculer le volume de la réserve minimum du lac à l'étiage 1981 ainsi que la profondeur moyenne du Lac. Ces résultats sont reportés dans le tableau I récapitulatif. Le Lac Togo apparaît constitué de deux régions principales, une région nord, en forme de cuvette dont le fond se situe à l'altitude -1,305m du Nivellement Général (N.G.) IGN, et d'une région Sud, dont le fond est incliné régulièrement vers le Nord-Est en pente très douce (0,08 %), pour rejoindre une sorte de chenal, orienté NW, SE, longeant la Côte Nord de cette partie du Lac, du village d'Ekpoui jusqu'à Togoville et dont le

fond se situe à l'altitude -1,405 m N.G. L'altitude moyenne du fond du Lac Togo est estimée à -0,835 m N.G.

1.3. Le système lagunaire

Quelques profils en travers de la lagune de Togoville et d'Anèho ont été tracé (FIG OB-OC). La figure OC illustre bien la forme très régulière des profils établis sur les bras de la lagune d'ANEHO. Les figures OC et OD, mettent en évidence la présence d'un chenal qui longe la rive Sud de la lagune et que l'on suit jusqu'à Abati Kopé où la largeur de la lagune diminue de façon importante. Quelques estimations des profondeurs moyennes ont permis les calculs approximatifs du volume de chacune des parties du système lagunaire de Togoville, d'Anèho et de Vogan, qui seront reportés dans le tableau 1 récapitulatif.

	LAC TOGO	LAGUNE TOGOVILLE OUEST	LAGUNE TOGOVILLE EST	LAGUNE ANEHO	LAGUNE VOGAN	TOTAL
S km ²	46,70 ± 0,05	4,90 ± 0,05	1,20 ± 0,05	3,00 ± 0,05	8,00 ± 0,05	63,8 ± 0,2
V. 10 ⁶ m ³	55,05 ± 0,05	6,1 ± 0,3	0,7 ± 0,1	8,3 ± 0,2	6,9 ± 0,3	77,0 ± 1
P moyen m	1,18 ± 0,01	1,25 ± 0,05	0,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	
Volume relatif %	70,8	8,6	0,7	11,6	8,3	

Tableau 1 - Caractéristiques morphologiques de l'ensemble lagunaire du LAC TOGO à l'ETIAGE MINIMUM.

(Superficie S en km², volume (AVRIL 1981) en millions de m³ - Profondeur moyenne en m, volumes relatifs par rapport au volume total de l'ensemble)

Profondeur moyenne (m)	% de la surface totale
P < 1,15	33,3
1,15 ≤ P < 1,45	49
1,45 ≤ P < 1,75	15
P > 1,75	2,7

Tableau 1bis - Répartition proportionnelle des différentes isobathes du LAC TOGO, ramenées à la surface totale du LAC.

2. NATURES DU FOND

Les fonds du Lac Togo ainsi que des lagunes sont essentiellement constitués d'une épaisseur importante de vase épaisse et riche en matière organique dont l'épaisseur dépasse 1,50 mètre de sédiment très meuble, dans les zones centrales du Lac.

Dans d'autres endroits, localisés à proximité des rives Nord les plus exposées aux turbulences, des bandes plus ou moins larges, de matériaux indurés, se présentant comme un agrégats de sédiments très fins au sein d'un ciment pouvant provenir d'un concrétionnement d'origine algale, offrent des zones de hauts fonds dont la profondeur minimale atteint 0,40 m à l'étiage 1981. Ces zones sont présentées en hachuré sur la carte de situation générale.

Des formations de type "beach rock" ont été observées dans la lagune d'ANEHO, à proximité du cordon lagunaire.

3. LES CONDITIONS CLIMATIQUES

D'une manière générale, le Lac Togo est soumis à un climat équatorial de transition.

Aucune correspondance avec les caractéristiques climatologiques enregistrées à la station la plus proche de Lomé n'a été tentée, étant donné son éloignement (40 km) et l'influence très marquée sur l'ensemble du Lac, des vents marins, d'amplitude journalière très régulière, responsable d'une turbulence assez forte en début d'après midi de la surface des eaux du Lac, dont la situation demeure particulièrement côtière.

Nous présentons sur le tableau 2 les résultats des premiers enregistrements de la station météorologique d'Agbodrafo, en service depuis le 30 juin 81.

Nous avons utilisé la formule de PENMAN pour évaluer l'évapotranspiration à partir des données recueillies à la station et se rapprocher d'une estimation de l'évaporation du Lac (RIOU, Mémoire ORSTOM, 1975) :

$$E = \frac{\Delta \frac{Q}{L} + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

avec, $\Delta = \frac{e_a - e_s}{t_a - t_s}$

2. NATURES DU FOND

Les fonds du Lac Togo ainsi que des lagunes sont essentiellement constitués d'une épaisseur importante de vase épaisse et riche en matière organique dont l'épaisseur dépasse 1,50 mètre de sédiment très meuble, dans les zones centrales du Lac.

Dans d'autres endroits, localisés à proximité des rives Nord les plus exposées aux turbulences, des bandes plus ou moins larges, de matériaux indurés, se présentant comme un agrégats de sédiments très fins au sein d'un ciment pouvant provenir d'un concrétionnement d'origine algale, offrent des zones de hauts fonds dont la profondeur minimale atteint 0,40 m à l'étiage 1981. Ces zones sont présentées en hachuré sur la carte de situation générale.

Des formations de type "beach rock" ont été observées dans la lagune d'ANEHO, à proximité du cordon lagunaire.

3. LES CONDITIONS CLIMATIQUES

D'une manière générale, le Lac Togo est soumis à un climat équatorial de transition.

Aucune correspondance avec les caractéristiques climatologiques enregistrées à la station la plus proche de Lomé n'a été tentée, étant donné son éloignement (40 km) et l'influence très marquée sur l'ensemble du Lac, des vents marins, d'amplitude journalière très régulière, responsable d'une turbulence assez forte en début d'après midi de la surface des eaux du Lac, dont la situation demeure particulièrement côtière.

Nous présentons sur le tableau 2 les résultats des premiers enregistrements de la station météorologique d'Agbodrafo, en service depuis le 30 juin 81.

Nous avons utilisé la formule de PENMAN pour évaluer l'évapotranspiration à partir des données recueillies à la station et se rapprocher d'une estimation de l'évaporation du Lac (RIOU, Mémoire ORSTOM, 1975) :

$$E = \frac{\Delta \frac{Q}{L} + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

avec, $\Delta = \frac{e_a - e_s}{t_a - t_s}$

e_a : la tension de vapeur saturante à la température de l'air mesurée sous abri : t_a .

e_s : la tension de vapeur saturante à la température mesurée à la surface du bac : t_s

$$e_a = t_a^3/1386 - t_a^2/286 + 0,71 t_a + 4,8$$

de même pour t_s

(POUYAUD, Cah. ORSTOM, série Hydr. vol.XVI, 2, 1979).

$$\text{avec : } E_a = E_{bac} \frac{(e_a - e_d)}{(e_s - e_d)}$$

La formule de l'évaporation fictive de DALTON, utilisée en l'absence d'anémomètre.

avec : e_d : la tension de vapeur d'eau de l'air sous abri

$$e_d = e_a - \frac{0,79 \text{ Pa}}{1000} (t_a - t_h)$$

La formule psychrométrique (t_h : température "humide")

avec : E_{bac} : la hauteur d'eau évaporée mesurée au bac évaporatoire.

avec : Q : le rayonnement net en joule/cm²/jour.

$$Q = G(1 - a) - \sigma T_a^4 (0,4 - 0,05 \sqrt{e_d})(0,5 + 0,5 \frac{s}{s_0})$$

G : le rayonnement global calculé à l'aide du rayonnement global brut G_0 à l'entrée de l'atmosphère, et les coefficients empiriques de GLOVER.

$$G = G_0 (0,29 \cos \varphi + 0,52 \frac{s}{s_0})$$

s : la durée de l'insolation déterminée sur les héliogrammes quotidiens

s_0 : la durée astronomique du jour.

a : l'albedo considérée égale à 20 %

σ : la constante de Stephan-Boltzman prise égale à $4,9 \cdot 10^{-7}$ joule/cm²/K⁴/jour

T_a : la température absolue de l'air mesurée sous abri.

avec : L : la chaleur latente de vaporisation de l'eau prise égale à $2,508 \cdot 10^6$ joule/kg.

Tableau 2 : Premières données météorologiques recueillies à la station
d'Agbodrafo

Période du 30 juin au 5 août 1981

décades	TEMPERATURE MOYENNE SOUS ABRI °C			EVAPORATION (mm)		PLUVIOMETRIE (mm)
	6 ^h	12 ^h	18 ^h	au Bac	PENMAN	à 1,50 m
du 30-6 au 10-7	24,0	27,2	25,5	3,2	1,2	35,2
du 11-7 au 21-7	24,0	26,5	25,1	5,5	1,9	1,0
du 21-7 au 5-8	23,9	27,3	25,2	5,3	1,4	6,2

Les valeurs de l'évaporation calculées sur le Lac au cours du mois de juillet à partir des données sous abri, sont faibles. Bien que les phénomènes d'évaporation accusent généralement au Togo un net recul au mois de juillet (COLOMBANI-LAMAGAT, 1968) il nous semble que ces valeurs soient déficitaires. La raison en est que les rayonnements nets, calculés à partir des températures de l'air mesurées sous abri sont très faibles, révélant un apport énergétique extérieur à la masse d'air considéré sur la station, autre que le rayonnement global calculé. Cet apport énergétique pourrait provenir de l'air marin dont la température est maintenue, relativement élevée en juillet, et dont les échanges permanents avec la masse d'air au contact du Lac, viendraient perturber les caractéristiques de l'air au niveau de la station d'Agbodrafo située sur le cordon lagunaire sur la rive Sud du Lac. Aussi, serait-il nécessaire, à l'avenir, d'effectuer les mesures de la température de l'air qui est directement au contact des eaux au Lac, afin de limiter au maximum l'influence éventuelle de l'air marin dans l'estimation du bilan radiatif.

4. HYDROLOGIE

4.1. Les variations saisonnières du niveau des eaux

Ces variations ont été observées aux échelles de Séva Tonou au Nord du Lac et de Kpémé, sur la lagune de Togoville, et ont été enregistrées depuis la fin du mois d'avril aux quatre limnigraphes de la lagune d'AMEHO. Le tableau 3 suivant présente les valeurs des marnages observés périodiquement aux différentes échelles du Lac et de la lagune depuis l'étiage minimum - Le tableau 4 présente la comparaison des hauteurs moyennes mensuelles observées sur le Lac depuis le mois de janvier jusqu'au mois de juillet, sur les deux échelles de Kpémé et de Séva Tonou.

LAGUNE d'ANEHO					LAC			
Date	Zalivé	Zébé	Sanvi Kondji	Anãho	X	Seva Tonou	Kpémé	
29.4.81	ETIAGE		MINIMUM					
	+ 4cm	+ 2cm				+ 5 cm	+ 3	
6.5.81	+ 6	+ 6				+ 3	+ 4	
18.5.81	+ 1	+ 2	+ 2	+ 2		0	+ 2	
26.5.81	- 1	- 3	- 3	- 3		+ 4	+ 2	
5.6.81	+ 4	+ 5	+ 4	+ 5		+11	+12	
26.6.81	+18	+25	+23	+25		-	+26	
16.7.81								

Tableau 3 : Comparaison de l'évolution saisonnière des marnages exprimés en cm, observés sur le Lac Togo et la lagune d'ANEHO, pendant la montée des eaux.

MOIS	ALTITUDES MOYENNES DU PLAN D'EAU COTE DU NIVELLEMENT GENERAL IGN (m)			
	KPEME 1981	SEVA TONOU 1981	KPEME 1963	SEVA TONOU 1963
FEVRIER	0,597	0,325	0,567	0,580
MARS	0,529	0,255	0,616	0,590
AVRIL	0,492	0,205	0,623	0,590
MAI	0,587	0,285	0,797	0,690
JUIN	0,702	0,404	1,067	0,860
JUILLET	0,974	-	1,857	1,680

Tableau 4 : Comparaison de l'évolution du plan d'eau du Lac Togo pendant la montée des eaux en 1981 et en 1963 (année de crue maximale observée du Lac)

La pente Nord-Sud du plan d'eau a été estimée à 0,001 % de mars à juillet 1963, et de 0,002 % de février à juillet 1981.

L'étiage minimum a été observé sur les stations du Lac du 29-3 au 30 avril 1981, période au cours de laquelle l'altitude moyenne du plan d'eau du Lac Togo a été estimée à +0,345 m N.G.

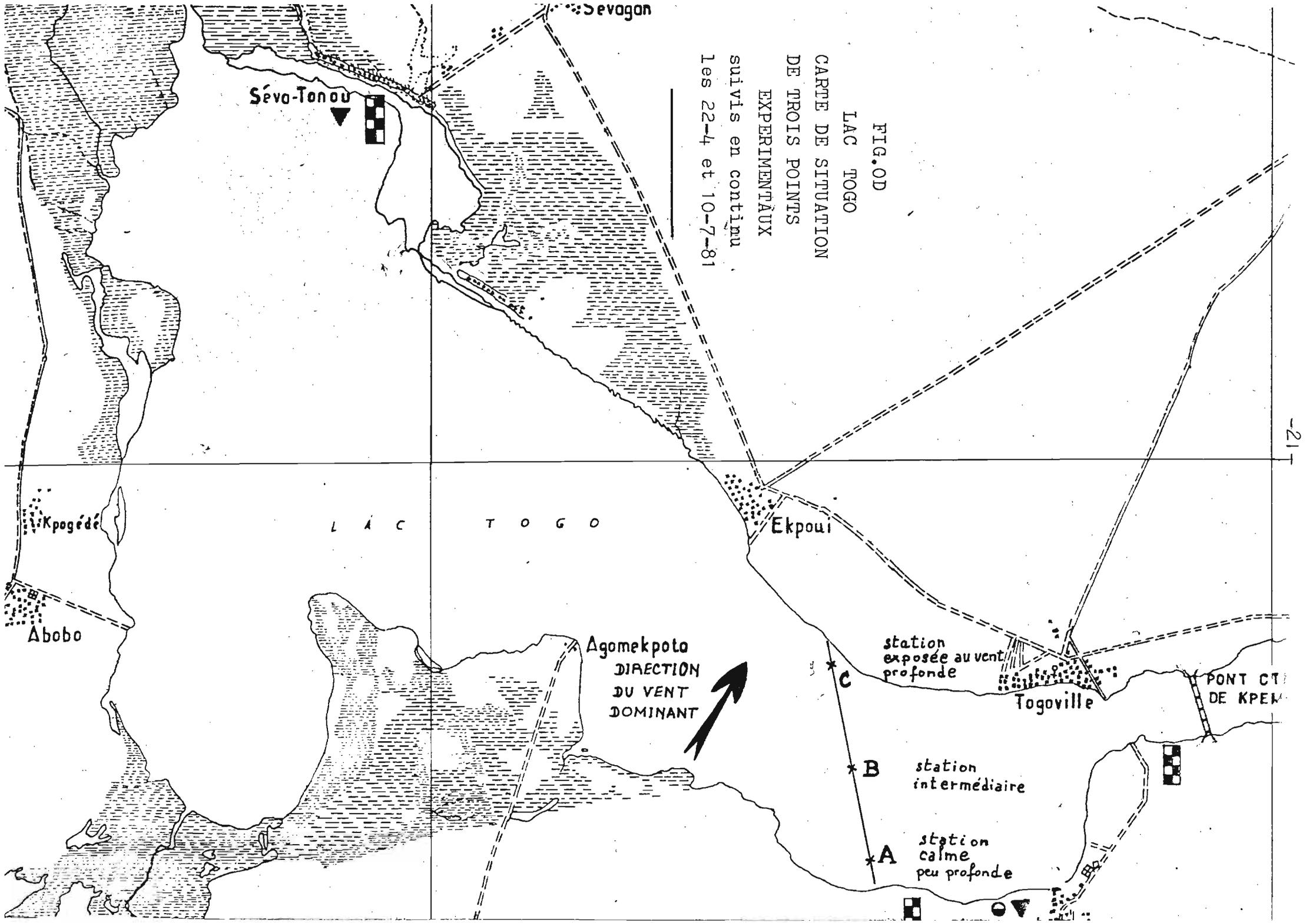
4.2. Les variations journalières du niveau des eaux

4.2.1. Sur le Lac Togo

Située dans une zone très exposée au vent de Sud-Ouest, l'échelle Nord de Seva Tonou présente des variations journalières importantes. Au mois de février, pendant lequel un vent fort a été observé chaque jour, la lecture de 18 heures dépasse en moyenne de 2,7 cm la lecture de 6 heures. Aux autres époques, les variations journalières sont en moyenne de 1,5 cm pouvant atteindre occasionnellement 4 cm. A l'étiage minimum, en avril, les variations moyennes journalières tombent à 0,6 cm. Au contraire, située à l'entrée de la lagune de Togoville, l'échelle de Kpémé est beaucoup plus abritée et ne présente aucune variation journalière systématique.

4.2.2. Sur la lagune d'Anèho

Jusqu'à présent, l'étude des enregistrements limnigraphiques sur la lagune d'Anèho depuis le 29 avril 81, à Zébé et à Zalivé, et depuis le 12 mai 81 à Sanvi Kondji et Anèho, a mis en évidence une très légère variation périodique d'une amplitude moyenne de 2 cm, de période 12 heures, et se manifestant aux quatre stations de la lagune avec un décalage d'une heure régulièrement observée, les jours où l'oscillation périodique apparaît le plus nettement, entre la station d'Anèho et les stations de Zébé et Sanvi Kondji pour lesquelles les oscillations marquent un retard par rapport à Anèho. Ce phénomène ressemble étonnamment à un balancement de marée dont l'influence remonterait progressivement d'Anèho jusqu'au Nord de la lagune avec ce décalage de temps d'une heure observé aux enregistrements. Aucun contact n'étant apparemment visibles avec la mer, on peut émettre l'hypothèse d'une mise en communication de la lagune d'Anèho avec la mer à travers le cordon lagunaire sableux, très étroit à ce niveau, et la nappe que renferme ces sables côtiers. Des études piezométriques sur le cordon lagunaire d'Anèho sont envisagées.



B - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU SYSTEME LAGUNAIRE
DU LAC TOGO.

1. LA TEMPERATURE

1.1. Généralités

Les observations systématiques de la température ont montré d'une part une grande homogénéité spatiale sur l'ensemble du Lac, ainsi qu'une variation journalière très importante. Une stratification thermique a été mise en évidence par l'étude suivie en trois stations présentant des caractéristiques différentes le 22.4.81, et à nouveau en deux de ces stations le 10.7.81. La localisation de ces 3 stations A, B et C est présentée sur la carte FIG 0D, ci-contre. Les conditions d'ensoleillement sont demeurées très stables au cours de ces deux journées.

1.2. Variations saisonnières

Le tableau 5 suivant présente les moyennes saisonnières observées sur le Lac, ainsi que les valeurs extrêmes relatives à chaque période considérée. On y remarquera le net recul de la température lors de la montée des eaux, ce qui est lié au rafraîchissement de l'air ambiant, à la diminution de l'ensoleillement, aux précipitations, et enfin, à partir de la fin juin, à la reprise de l'écoulement des tributaires du Lac et à l'augmentation de l'épaisseur de la tranche d'eau.

	du 19-02-81 au 24-02-81	du 31-3-81 au 15-4-81	du 3-6-81 au 25-6-81	Le 24-7-81
MOYENNE °C :	30,1	30,8	28,2	25,9
VALEUR MAXI :	32	33	30,1	26,4
VALEUR MINI :	29	29,6	27,4	25,3

Tableau 5 : Valeurs moyennes et extrêmes de la température des eaux
du Lac TOGO - de FEVRIER à JUILLET 1981.

L'écart entre les valeurs extrêmes, variable d'une saison à l'autre, pour les raisons précédemment citées, est le fait essentiellement de l'amplitude journalière de la température, minimale le matin et maximale au début de l'après midi.

1.3. Variations journalières

1.3.1. Exemple caractéristique de l'évolution journalière de la température des eaux du Lac Togo, en plein étiage - station B, le 31-3-81

	8 h	14 h
Surface	29,6	31,1
Profondeur	29,8	31,2

- L'amplitude journalière est de 1,5°C, identique sur l'ensemble de la tranche d'eau.

Le 10-7-81

L'amplitude maximale à la surface de l'eau entre 6^h et 18^h est de 1°C
L'amplitude maximale de l'air sous abri entre 6^h et 18^h est de 4,2°C

1.3.2. Diagrammes d'évolution journalière

1.3.2.1. Présentation des diagrammes

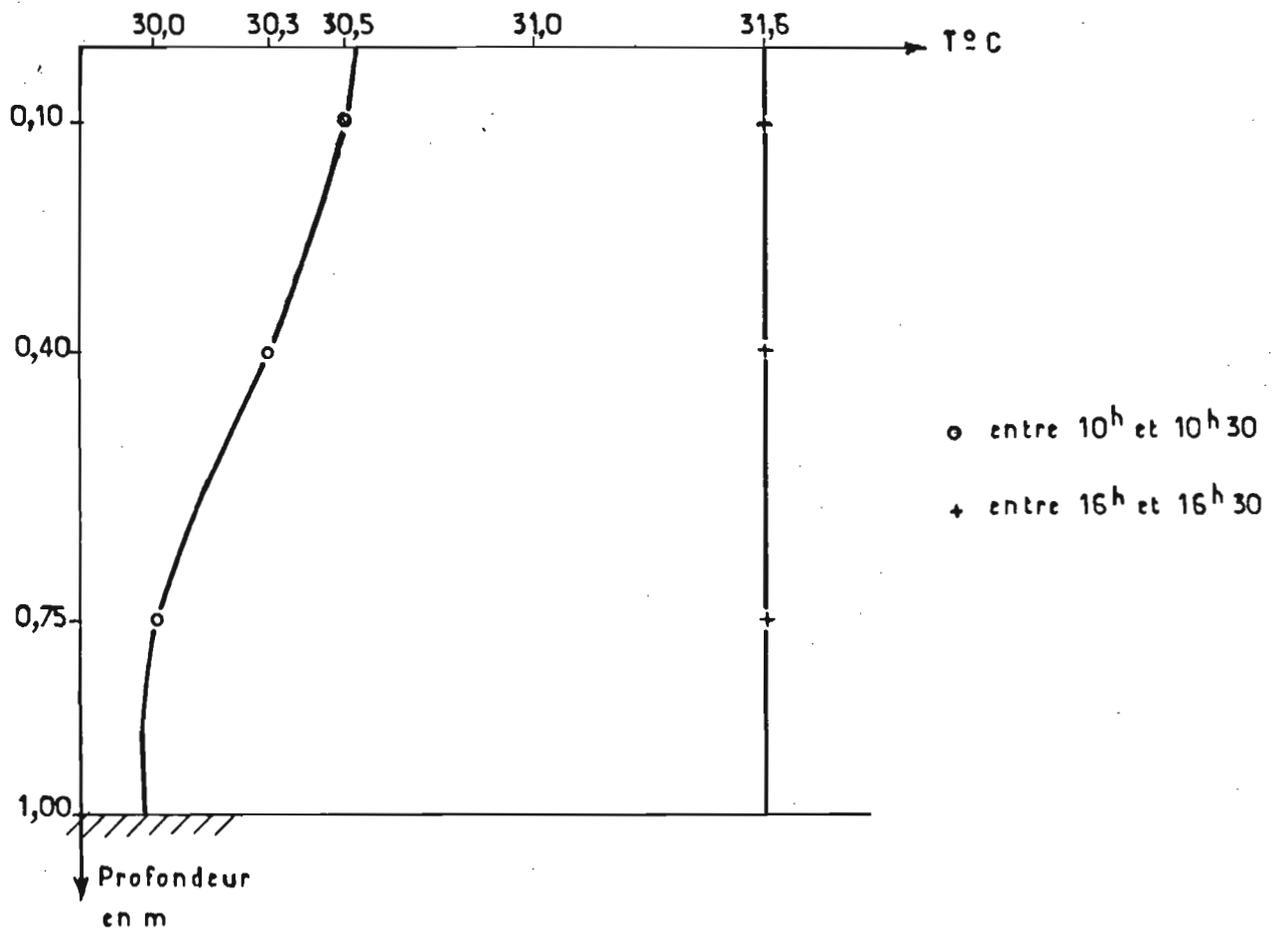
Les figures 1, 2 et 3 présentent l'évolution spatiale et journalière de la température des eaux en trois stations respectivement situées en milieu calme et peu profond, station A, en milieu plus turbulent exposé au vent du Sud-Ouest, et de profondeur moyenne, station B, et en milieu très exposé au vent, à l'endroit le plus profond de la région Sud du Lac, station C, pour la période d'étiage minimal, le 22-4-81.

- Les figures 4 et 5 présentent un même type d'évolution aux stations A et C, en période de montée des eaux, le 10.7.81.

- On a reporté sur chaque diagramme les valeurs de l'amplitude journalière ΔT , ainsi que les valeurs extrêmes de l'amplitude verticale de température, à titre de comparaison spatiale et saisonnière.

Fig:1 Variation journalière de la Température
en période d'Étiage
le 22-4-81

MILIEU TRES CALME
PEU PROFOND



ΔT journalier $1,1^{\circ}\text{C}$ surface

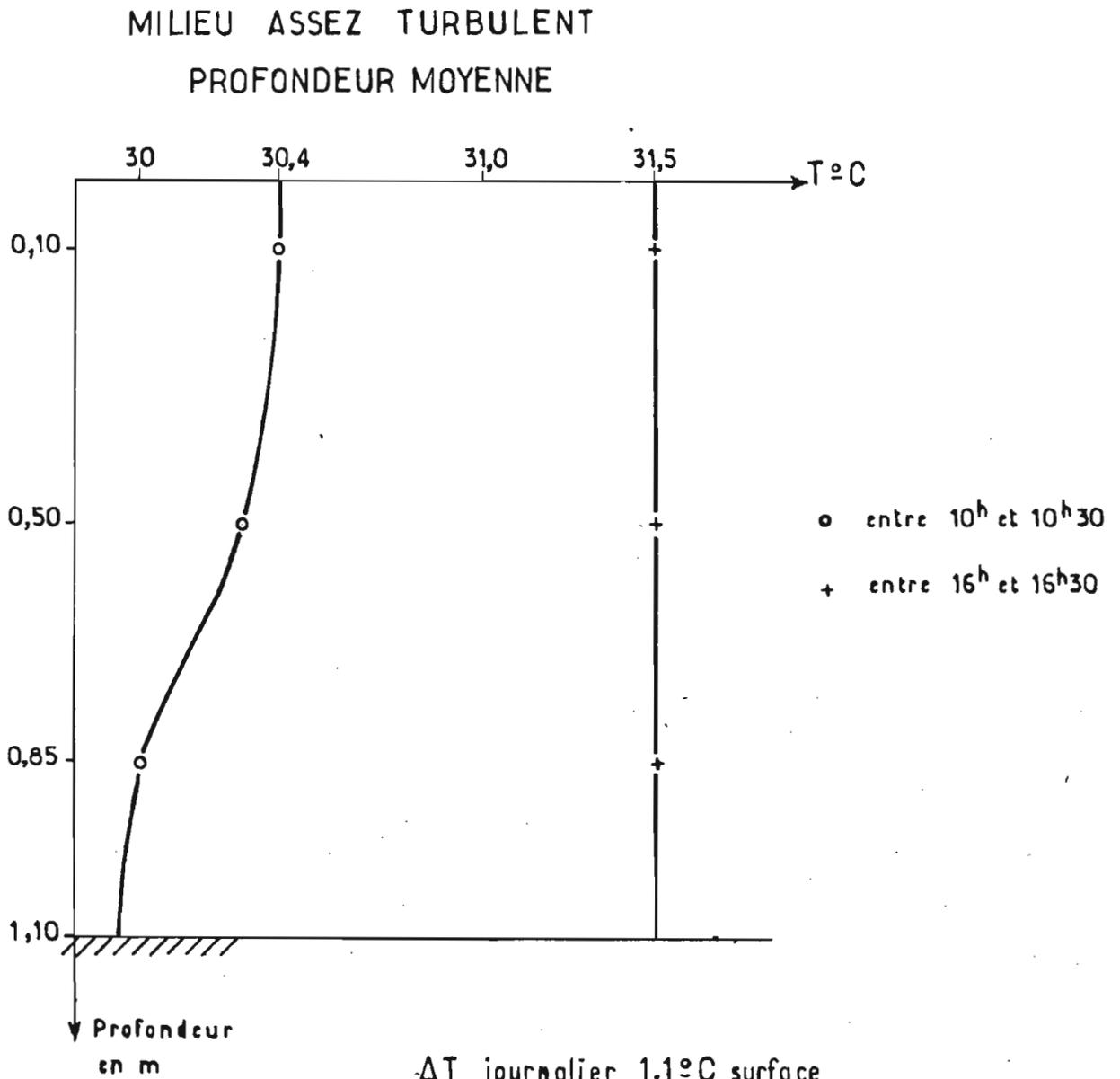
$1,6^{\circ}\text{C}$ profondeur

ΔT vertical maxi = $0,5^{\circ}\text{C}$ matinée

ΔT vertical mini = 0°C après midi

STATION A

Fig:2 Variation journalière de la Température
en période d'Étiage
le 22-4-81



ΔT journalier 1,1°C surface

1,5°C profondeur

ΔT vertical maxi = 0,4°C matinée

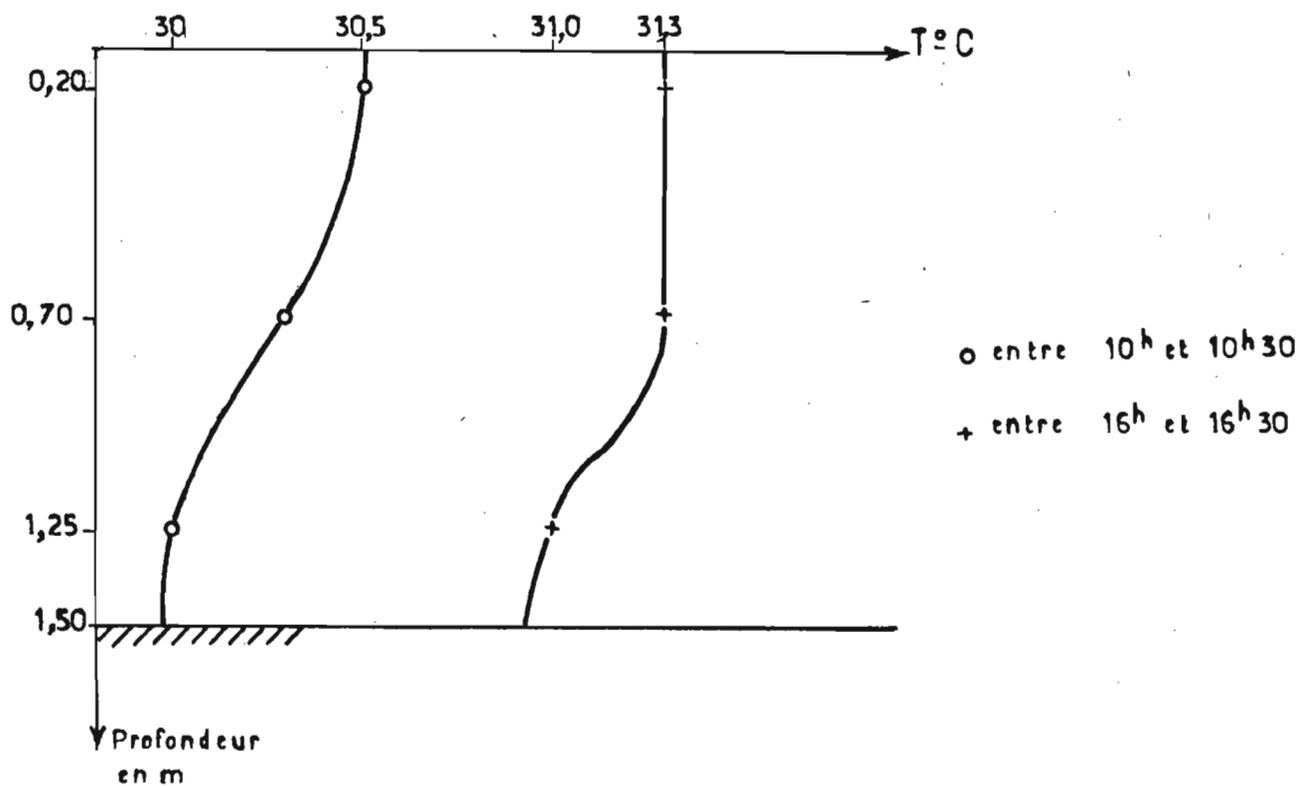
ΔT vertical mini = 0°C après midi

STATION B

FIG. 3

Variation journalière de la Température
en période d'étiage
le 22-4-81

MILIEU TRES TURBULENT
ASSEZ PROFOND



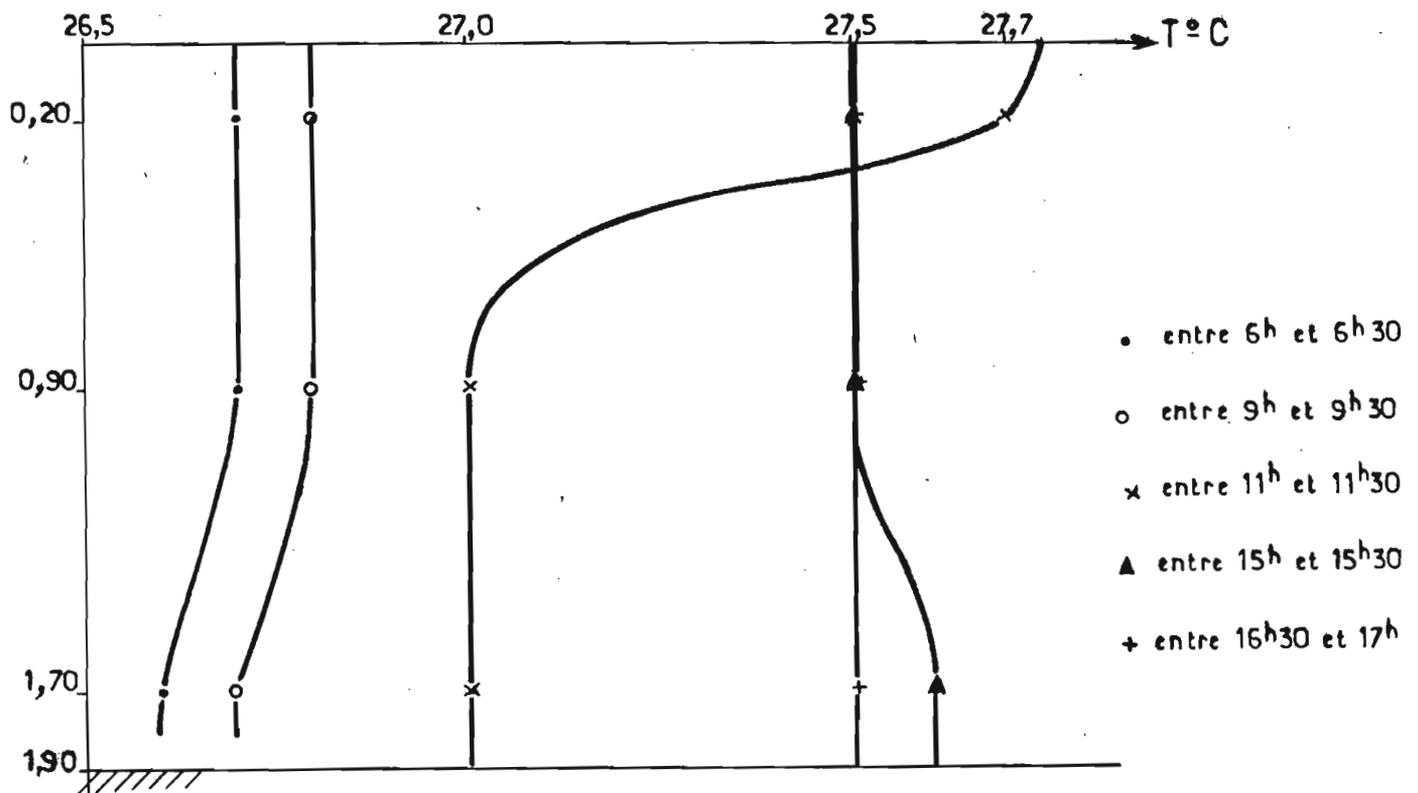
ΔT journalier maxi = 0,8°C surface
1°C profondeur

ΔT vertical maxi = 0,5°C matinée

ΔT vertical mini = 0,3°C après midi

Station C

FIG. 4
Variation journalière de la Température en période de montée
des eaux
le 10-7-81 en milieu calme



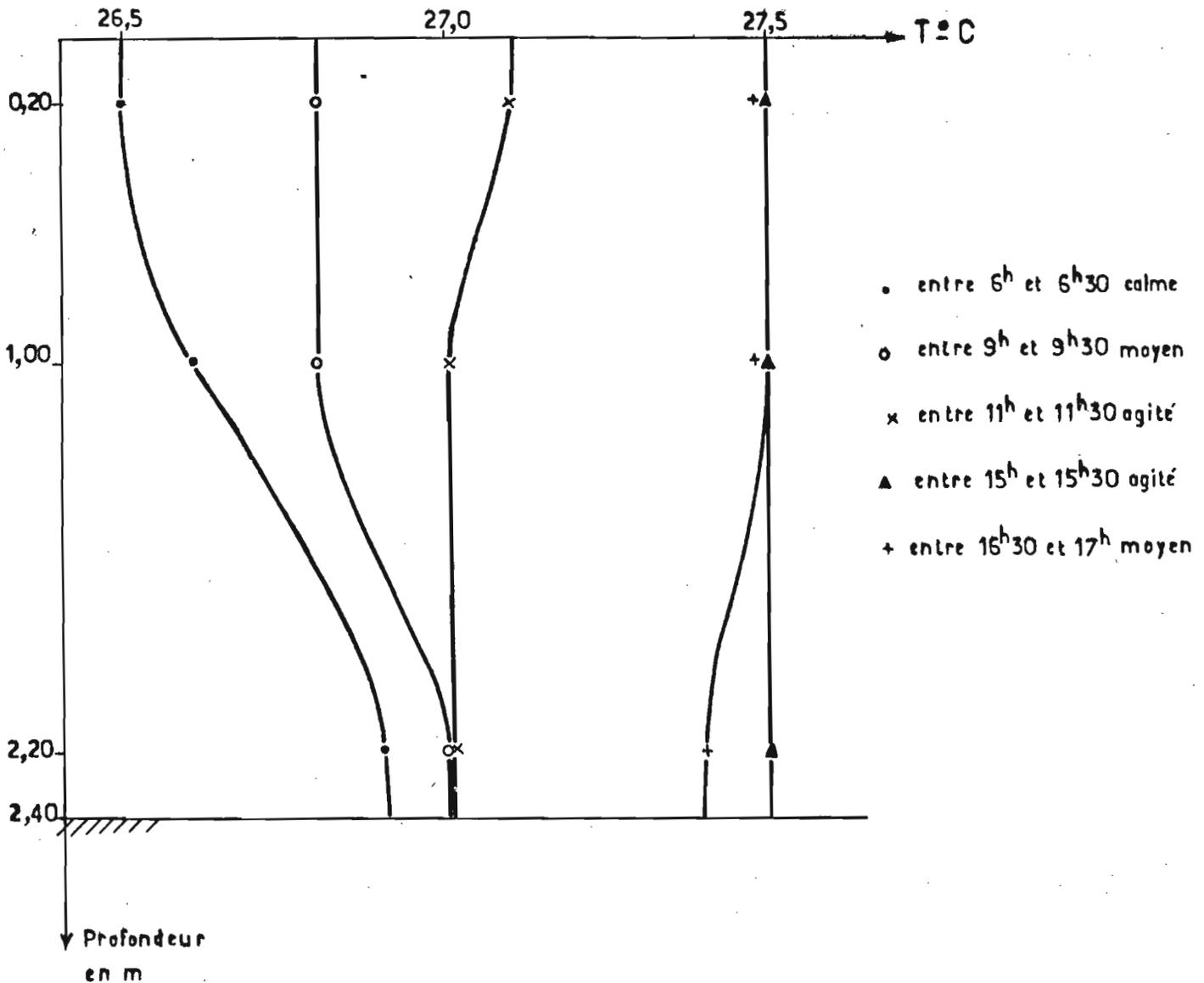
ΔT journalier maxi = 1°C surface
1°C profondeur

ΔT vertical maxi = 0,7°C midi
0°C après midi

Station A

FIG.5

Variation journalière de la Température en période de montée
des eaux
le 10-7-81 en milieu agité



ΔT journalier maxi = 1° C surface
0,6° C profondeur

ΔT vertical maxi = 0,4° C matin

ΔT vertical mini = 0° C après midi

Station C

1.3.2.2. Commentaires

- a - En période d'étiage. L'observation des figures 1, 2 et 3 fait ressortir trois types principaux d'influence :
- l'effet de l'ensoleillement et de l'inertie thermique de la profondeur, qui apparaît dans la différence entre les amplitudes ΔT verticales du matin et du soir, ainsi que dans la forme de la répartition verticale de la température en fonction de la profondeur sur chacun des diagrammes horaires -
 - l'effet des turbulences d'origine mécanique ou convective, qui réduisent jusqu'à parfois annuler la variation verticale de température. Il semble que le brassage de l'air soit également responsable de la relativement faible valeur de l'amplitude journalière maximale à la surface de la station C (FIG 3-5).
 - l'effet de profondeur semble également influencer le maintien d'un écart vertical de température à la station C toute la journée, par perte de l'action solaire directe et atténuation des turbulences en profondeur.

- b - En période de montée des eaux. Ces trois influences se font sentir de la même façon, avec cependant une accentuation de l'effet de l'ensoleillement et de profondeur, par une diminution de ΔT journalier sur l'ensemble des stations.

L'observation des figures 4 et 5 révèle quelques caractéristiques supplémentaires concernant le rôle du brassage d'air.

En effet, en milieu calme et peu profond, l'échauffement est plus important en surface, et provoque une importante stratification thermique en fin de matinée. Au contraire, en milieu agité et profond l'évolution de la température est beaucoup plus homogène sur l'ensemble de la tranche d'eau, les variations verticales maximales sont plus faibles le matin, et la stratification thermique apparaît à l'inverse de celle des milieux calmes, le matin, à la suite, il semblerait, du brassage nocturne d'un plus important volume d'eau.

2. LA TRANSPARENCE

2.1. Généralités

Les mesures systématiques au disque de SECCHI de 30 cm de diamètre, ont montré l'influence de quatre principaux facteurs intervenant sur la transparence des eaux.

- a - l'agitation mécanique de la surface des eaux intervenant surtout sur les variations journalières de la transparence, ainsi que sur les variations régionales (tableaux 6-7) et (FIG 6-7-8).
- b - la profondeur de la station.
- c - la nature des fonds, qui apparaîtra dans les valeurs élevées de la transparence exprimée en pourcentage de la profondeur, sur les cartes de répartition régionale (FIG 6-7-8), aux stations situées sur des fonds indurés.
- d - la saison, par l'augmentation de la tranche d'eau et la reprise de l'écoulement des tributaires du Lac.

2.2. Présentation des observations

Les tableaux 6 et 7 suivants, comparant la transparence de l'eau aux trois stations A, B et C en fonction de la période de la journée et de la saison, montrent différents phénomènes :

- une diminution de la transparence au cours de la journée à chaque station. Cette diminution étant beaucoup plus élevée dans les zones éventées (41 % à la station C le 10.7.81).
- une diminution de la transparence avec la montée des eaux et la reprise de l'écoulement des tributaires.
- une évolution régionale entre les stations A, B et C, mettant en évidence l'interaction entre la profondeur et l'agitation mécanique de la surface, dépendant de l'exposition au vent.

En effet, si l'on compare les valeurs aux stations A, B et C, du tableau 6, on remarque que la transparence est maximale en B, station profonde moyennement turbulente, tandis qu'elle diminue de 20 à 30 % aux stations extrêmes A et C dont les facteurs dominants influençant la transparence de l'eau sont respectivement, une faible profondeur d'eau sur fond vaseux en A, et une importante agitation mécanique de la tranche d'eau en C.

- Les figures 6-7 et 8, présentent les valeurs de la transparence en pourcentage de la profondeur sur l'ensemble du lac, respectivement à trois époques différentes. Le 3 juin, le 25 juin et le 24 juillet, en tenant compte de la nature des fonds et de la tranche horaire

correspondant à la mesure. On y retrouve, en outre, l'expression de l'ensemble des paramètres précédemment décrits, venant influencer la transparence des eaux.

Caractéristiques de la station	Profondeur (m)	Heure	Transparence ($\pm 0,05$ m) (% de la profondeur)
STATION A très abritée fond vaseux	1,00	11h	0,65 (65 %)
		16h	0,63 (63 %)
STATION B exposée au vent SW clapot moyen fond vaseux	1,10	11h 15	1,00 (90 %)
		16h 15	0,90 (82 %)
STATION C très exposée clapot important fond vaseux	1,50	11h 30	1,00 (66 %)
		16h 30	0,80 (53 %)

Tableau 6 : Comparaison de la transparence des eaux (SECCHI) en trois stations différentes du Lac TOGO, en période d'étiage minimum, le 22-4-81.

Stations	Profondeur (m)	Transparence ($\pm 0,05$ m)				
		6h	9h	11h	15h	16h30
STATION A	2,05	1,50 (73 %)	1,25 (61 %)	1,00 (48 %)	0,90 (44 %)	0,90 (44 %)
STATION C	2,55	2,00 (78 %)	1,50 (59 %)	1,55 (61 %)	1,00 (39 %)	0,95 (37 %)

Tableau 7 : Comparaison de l'évolution journalière de la transparence des eaux (SECCHI), en deux stations différentes du Lac TOGO, en période de montée des eaux, le 10-7-81.

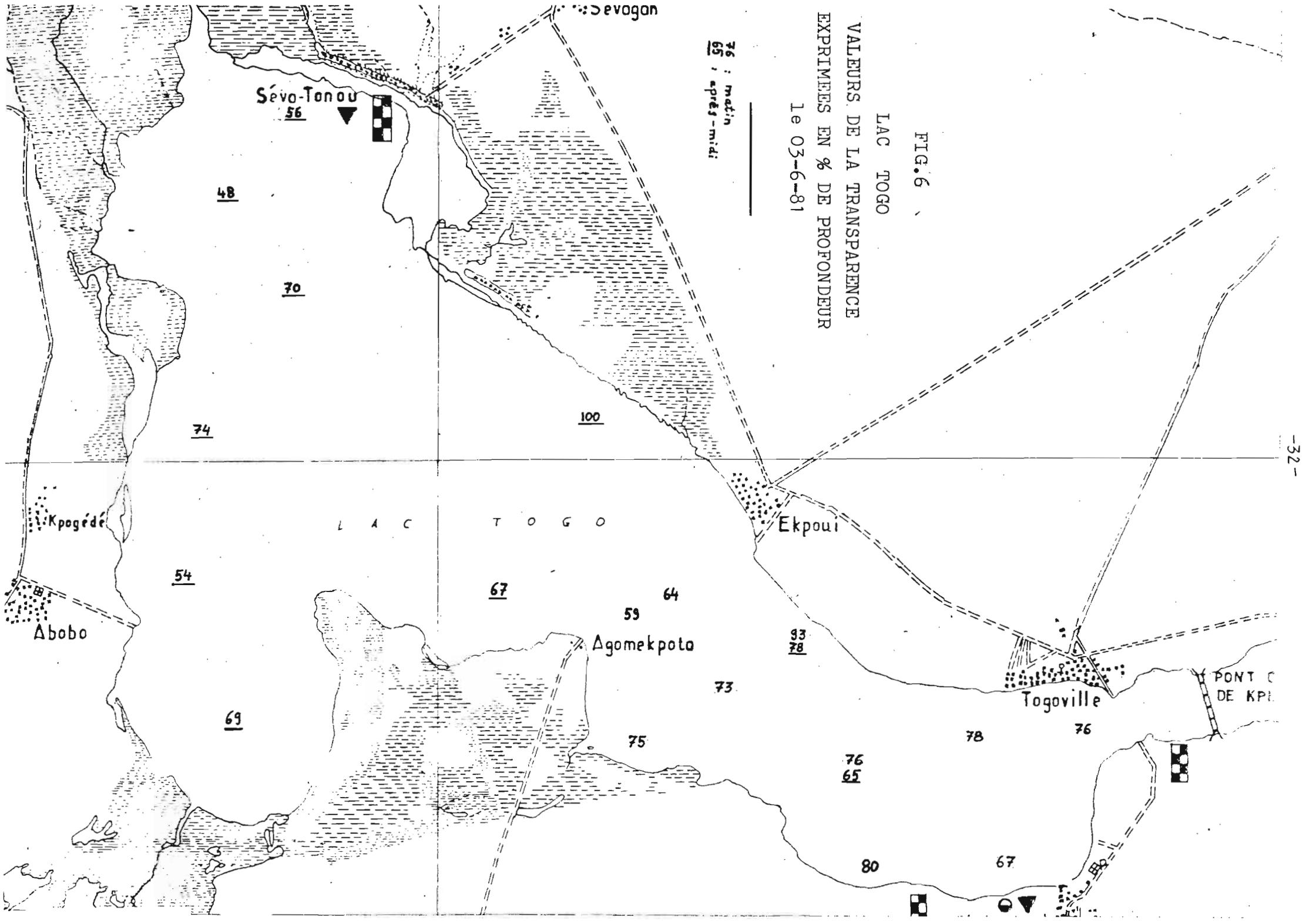
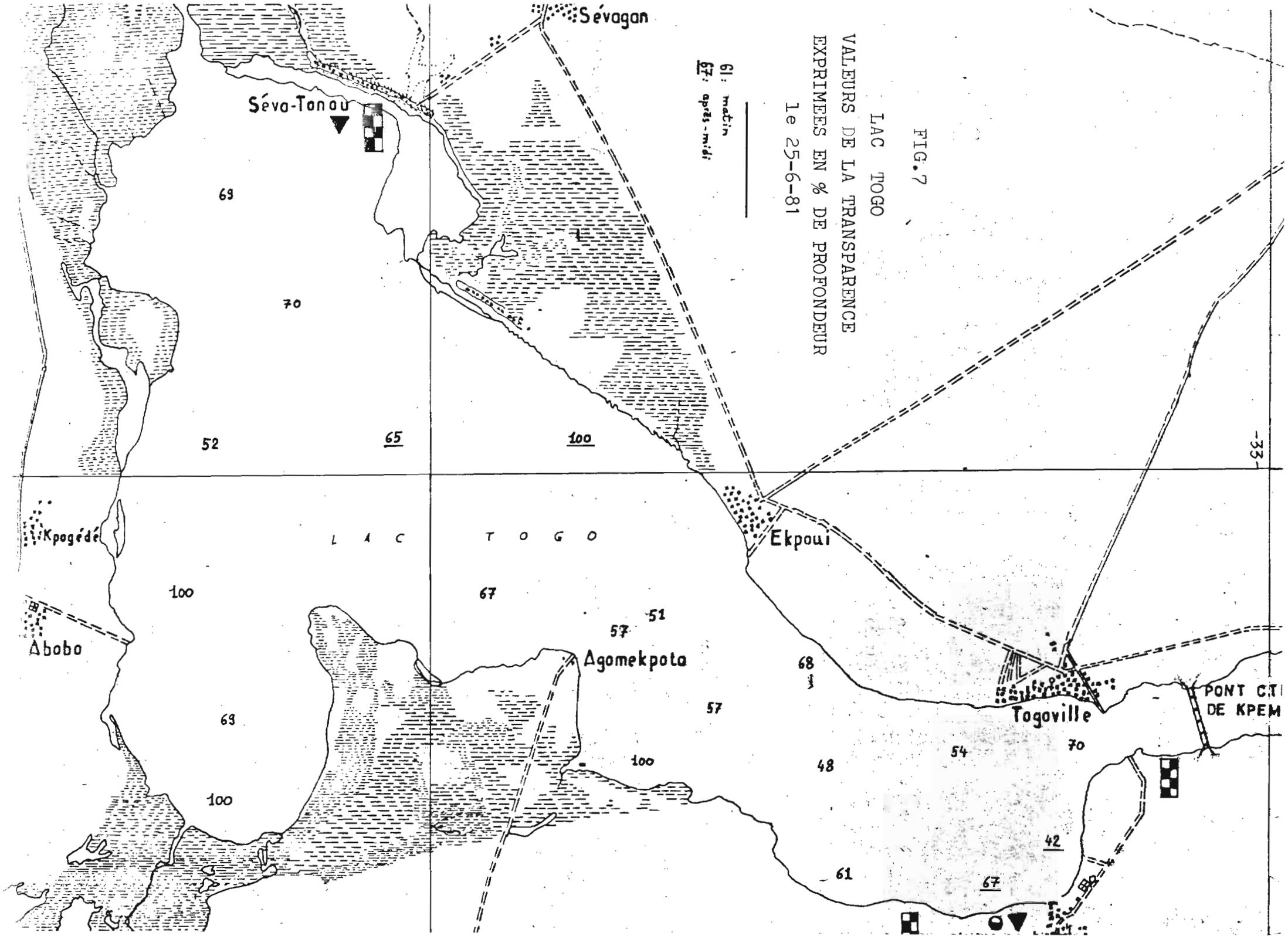
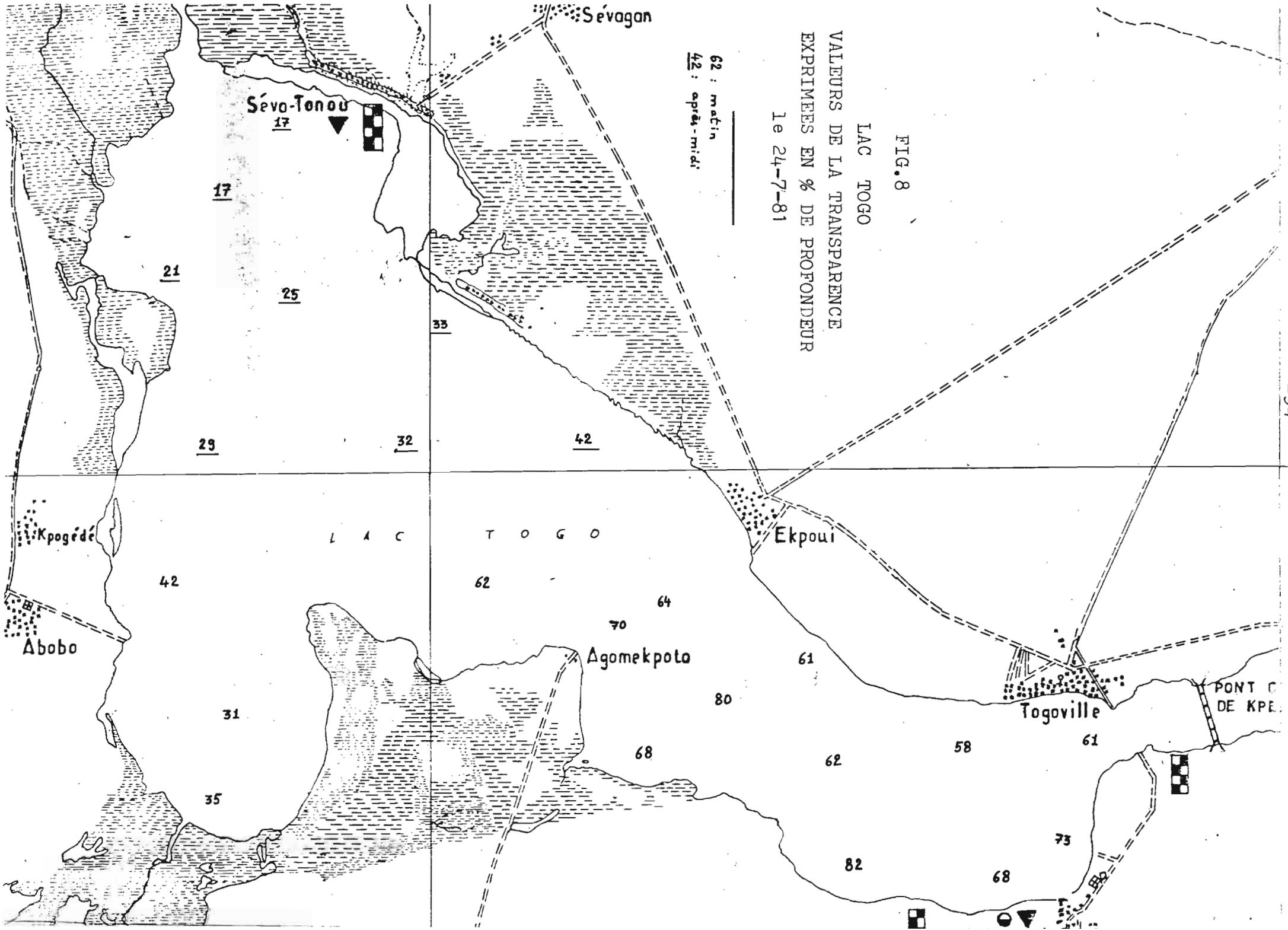


FIG. 7
 LAC TOGO
 VALEURS DE LA TRANSPARENCE
 EXPRIMEES EN % DE PROFONDEUR
 Le 25-6-81





3. LE pH

- Les valeurs de pH ont toujours été réparties de façon très homogène sur l'ensemble du Lac et lagunes à l'étiage. Une diminution de 0,2 unité pH en moyenne est observée dans le Nord du Lac en période de montée des eaux, par rapport aux valeurs de la région Sud.

- Une légère amplitude journalière inférieure à 0,1 unité pH a cependant été observée sur le terrain au cours de l'étude en continu du 10-7-81, se manifestant par une augmentation homogène et synchrone sur toute la tranche d'eau. Une influence de l'activité photosynthétique des organismes planctoniques autotrophes n'est pas à exclure pour interpréter ce petit phénomène.

- Par contre les valeurs de pH subissent d'importantes variations saisonnières. Le tableau 8 présente l'évolution saisonnière de la valeur moyenne du pH, calculée sur l'ensemble du Lac.

SAISON	ETIAGE MARS -AVRIL 81	MONTEE 25 JUIN 81	DES EAUX 24 JUILLET 81
pH	7,9	6,75	7,45

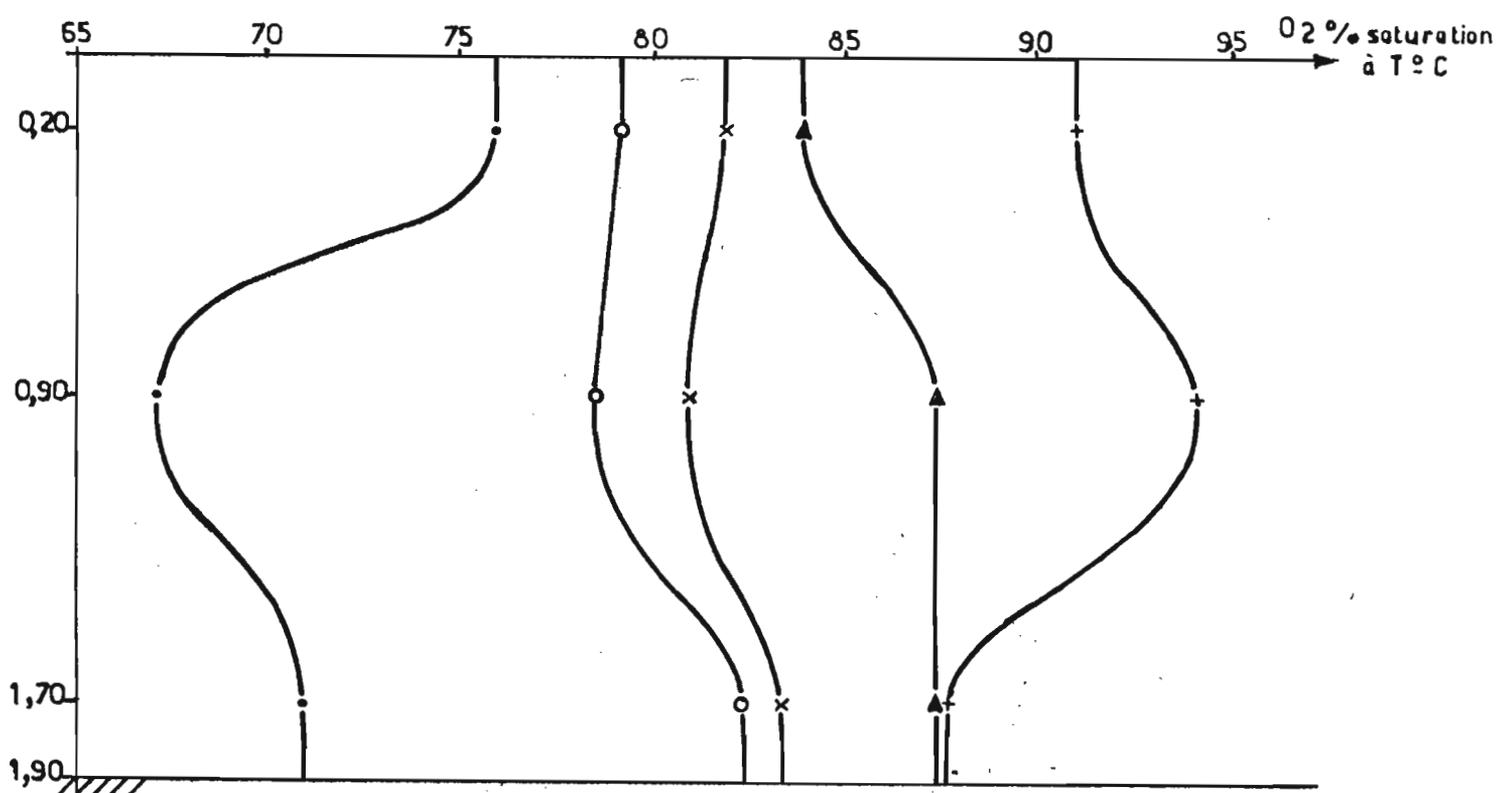
Tableau 8 : Comparaison des valeurs moyennes du pH des eaux de l'ensemble lagunaire du Lac Togo à trois périodes différentes de l'année 1981.

Les valeurs de l'étiage et du 25 juin 81, déterminées au Laboratoire, ont subi la "correction de terrain" de 0,2 unité pH, mise en évidence depuis l'utilisation du pH mètre de terrain LOVIBOND à partir du mois de juillet 1981.

4. L'OXYGENE DISSOUS

Les figures 9 et 10, présentent l'évolution journalière de la teneur en oxygène dissous exprimée en pourcentage de la saturation à la température mesurée de l'eau et à pression normale, aux deux stations de caractéristiques différentes A et C, localisées sur la Figure OD (p.21).

Fig: 9 Variation journalière de la teneur en oxygène dissous
le 10-7-81 en milieu calme

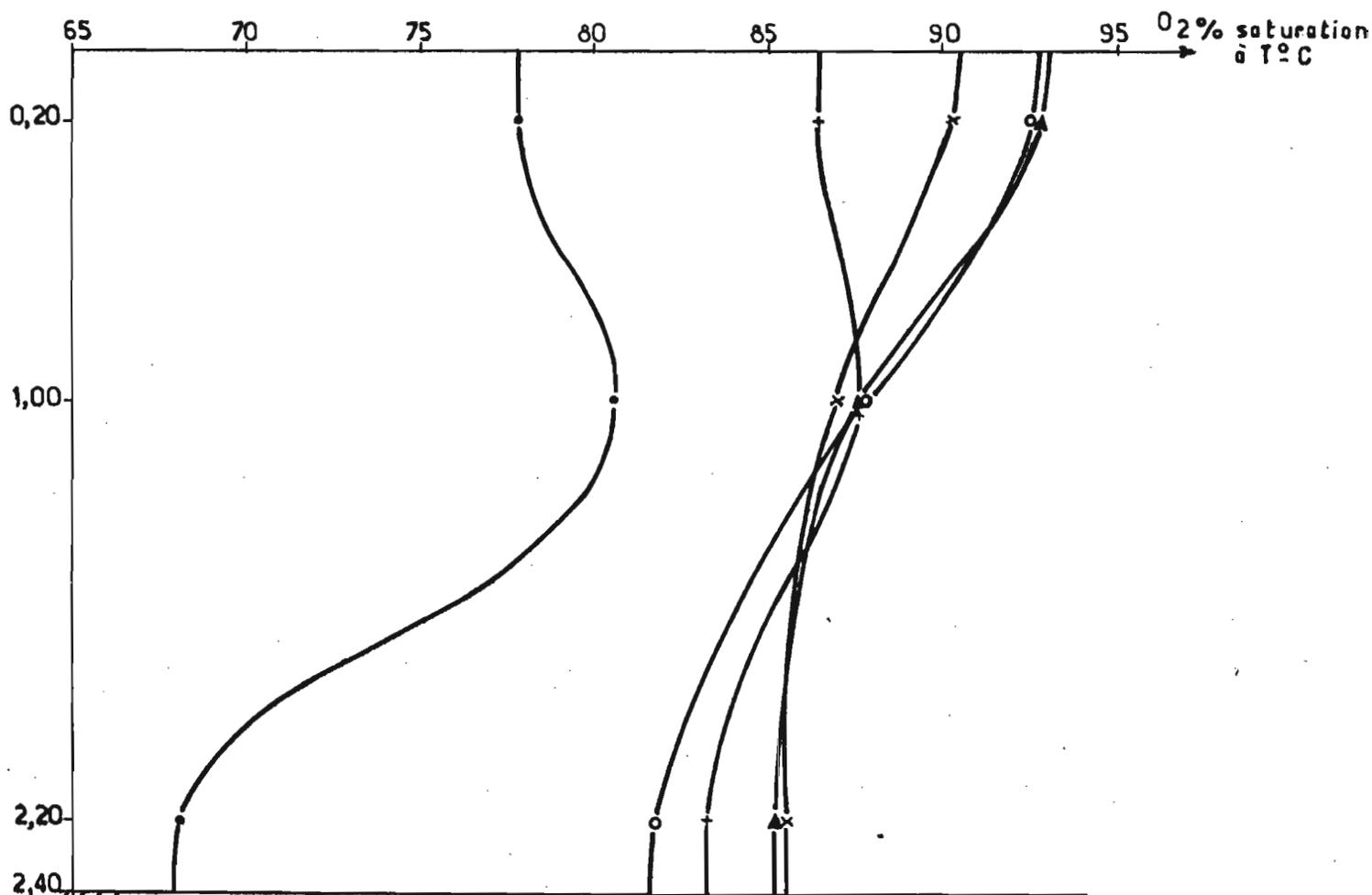


Profondeur
en m

- entre 6^h et 6^h30
- entre 9^h et 9^h30
- × entre 11^h et 11^h30
- ▲ entre 15^h et 15^h30
- + entre 16^h30 et 17^h

STATION A

Fig:10 Variation journalière de la teneur en oxygène dissous
le 10-7-81 en milieu agité



- entre 6^h et 6^h30
- entre 9^h et 9^h30
- × entre 11^h et 11^h30
- ▲ entre 15^h et 15^h30
- + entre 16^h30 et 17^h

STATION C

On en tire quelques observations :

- une augmentation générale des teneurs en O₂ exprimées en % de saturation au cours de la journée.

Variation maximale du % de saturation en O ₂ dissous	Station A	Station C
en surface	+15,1%	+15 %
à mi-profondeur	+27 %	+7,2 %
en profondeur	+16,8%	+17,4%

Tableau des écarts journaliers de la teneur en O₂ dissous, en fonction de la profondeur.

L'Écart maximal est obtenu le soir en milieu calme où l'évolution a été progressive sur toute la tranche d'eau, sous l'effet d'un brassage régulier, reparti de façon homogène sur une tranche d'eau de faible profondeur.

L'Écart maximal est obtenu en milieu de journée à la station C où l'évolution horaire de la surface et de la profondeur n'est pas synchrone, sous l'effet d'un brassage d'intensité variable en surface, et transmis de façon hétérogène sur une tranche d'eau plus profonde.

- une diminution des teneurs en profondeur - phénomène surtout observé à la station C, très sensible à un brassage important en surface.
- l'influence probable d'une activité biologique - ces phénomènes sont surtout mis en évidence par les variations progressives et importantes des teneurs à mi-profondeur à la station A, en milieu calme. Le déficit observé à cet endroit le matin, pourrait être la résultante d'une activité respiratoire nocturne des organismes planctoniques ou des poissons dont la densité est importante à cette station. Ce déficit sera rattrapé au cours de la journée sous l'effet supposé de l'activité photosynthétique des organismes planctoniques pour atteindre en fin d'après midi, la valeur maximale de la tranche d'eau étudiée.
- les teneurs observées jusqu'à présent supérieures à 70 % de saturation restent dans tous les cas très favorables au développement de toute activité piscicole.

5. LES MATIERES EN SUSPENSION

Le tableau 9, présente la comparaison saisonnière des valeurs de la charge en suspension des eaux du Lac Togo, exprimée par la moyenne du poids des matières en suspension en mg/l ainsi que les valeurs extrêmes observées en fonction de la profondeur et de l'heure du prélèvement les 3 juin et 25 juin 1981.

Date	3 JUIN 1981			25 JUIN 1981		
	moyenne 8h - 14h	Valeur maxi	Valeur mini	moyenne 8h - 14h	Valeur maxi	Valeur mini
Surface	96	245	19	29	60	9
Profondeur	82	217	9	49	100	10

Tableau 9 : Comparaison des moyennes et des valeurs extrêmes du poids de matières en suspension exprimé en mg/l, dans les eaux du Lac Togo, observées au cours du mois de JUIN 1981.

- Une diminution de l'ensemble des valeurs semble accompagner la montée des eaux et l'augmentation de la profondeur de la tranche d'eau, ce qui atténue la turbulence des eaux en profondeur au contact des sédiments très meubles.
- L'impact de la charge solide des tributaires en crue sur la charge des eaux du Lac, n'est pas encore sensible aux périodes considérées.

6. L'OXYDABILITE

Quelques mesures de l'oxydabilité à chaud au permanganate ont permis de donner une estimation de l'évolution spatiale et saisonnière de la teneur en matière organique des eaux du Lac Togo.

Le tableau 10 présente les valeurs moyennes de la teneur en matière organique, par région, en période de montée des eaux, les 25 juin et 24 juillet 1981.

	25 JUIN 81	24 JUILLET 81
LAC TOGO	2,3	3,3
LAGUNE de TOGOVILLE	2,1	-
LAGUNE d'ANEHO	1,7	-

Tableau 10 : Comparaison des teneurs moyennes en matières organiques des eaux de l'ensemble lagunaire du Lac Togo, exprimées en mg/l d'oxygène consommé, le 25 juin et le 24 juillet 1981.

On remarquera la nette diminution de la charge organique des eaux dans la lagune, sous l'effet de la sédimentation lacustre essentiellement, ainsi que l'augmentation de cette charge, après la reprise de l'écoulement des tributaires. A titre indicatif, à l'embouchure du Sio, le 24 juillet 81, on relevait des teneurs en matière organique de 5,8 mg/l O₂ en surface et 4,8 mg/l en profondeur.

On remarque également une légère augmentation de la charge organique des eaux en surface, probablement due à une concentration d'organismes planctoniques.

Enfin, on notera que ces valeurs qui seraient largement excessives dans le cas d'une eau de rivière courante, ne sont pas, dans le cas du Lac Togo, à circulation lente sur fond très vaseux, à proprement parlé significatives d'une pollution organique.

7. LA CONDUCTIVITE

7.1. Généralités

La mesure systématique de la conductivité des eaux du Lac Togo et du système lagunaire a mis en évidence quelques caractéristiques :

- a - une grande homogénéité verticale de la conductivité à chaque station. La différence entre la surface et la profondeur n'excédant pas les 5 % d'incertitude tolérée. Toutefois, en période d'évolution rapide de la qualité des eaux, ce qui coïncide avec la montée des eaux, des différences significatives de la conductivité de l'ordre de 20 %

inférieure en surface par rapport à la profondeur, sont apparues aux stations situées au niveau de l'étranglement central du Lac, entre les villages d'Ekpoui et d'Agomekpota.

- b - Une évolution saisonnière de grande amplitude essentiellement due à la progression vers le Nord, d'un front salé, provenant de l'ouverture sur la mer du cordon lagunaire de septembre à décembre 1980. Nous y reviendrons ultérieurement.

Le tableau 11 présente un ordre de grandeur des valeurs de la conductivité des eaux du Lac Togo, en regroupant les moyennes régionales ainsi que les valeurs extrêmes, à deux époques contrastées de l'étude de l'étiage 1981. Le 24 février 81, à la fin de la décrue du Lac, et le 3 juin 81 au début de la montée des eaux.

Région du Lac	Moyenne le 24 février 81	Moyenne en profondeur le 3 juin 81	Valeur maxi mesurée	Valeur mini mesurée
NORD	4 732	15 688	14 346	4 319
CENTRE-EST	6 412	18 419	20 646	5 011
SUD	10 360	20 629	22 460	6 809

Tableau 11 : Comparaison de l'évolution pendant l'étiage 1981 de la conductivité exprimée en $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C , en trois régions du LAC TOGO.

L'augmentation de la conductivité est en valeur moyenne de 230 % dans le Nord du Lac, et de 99 % dans le Sud, au cours de l'étiage 1981.

7.2. Les variations saisonnières de la conductivité

Une série de cartes d'isoconductivité a été tracée sur l'ensemble du Lac Togo, ainsi que pour les lagunes de Togoville et d'Anèho.

- la figure 11 présente la situation sur l'ensemble du Lac Togo le 24 février 1981, à la fin de la période de décrue. La conductivité s'échelonne entre la valeur de $13\,500 \mu\text{mhos/cm}$ à 25°C au Sud-Est, où l'influence des eaux d'origine marine commence à se faire sentir, et la

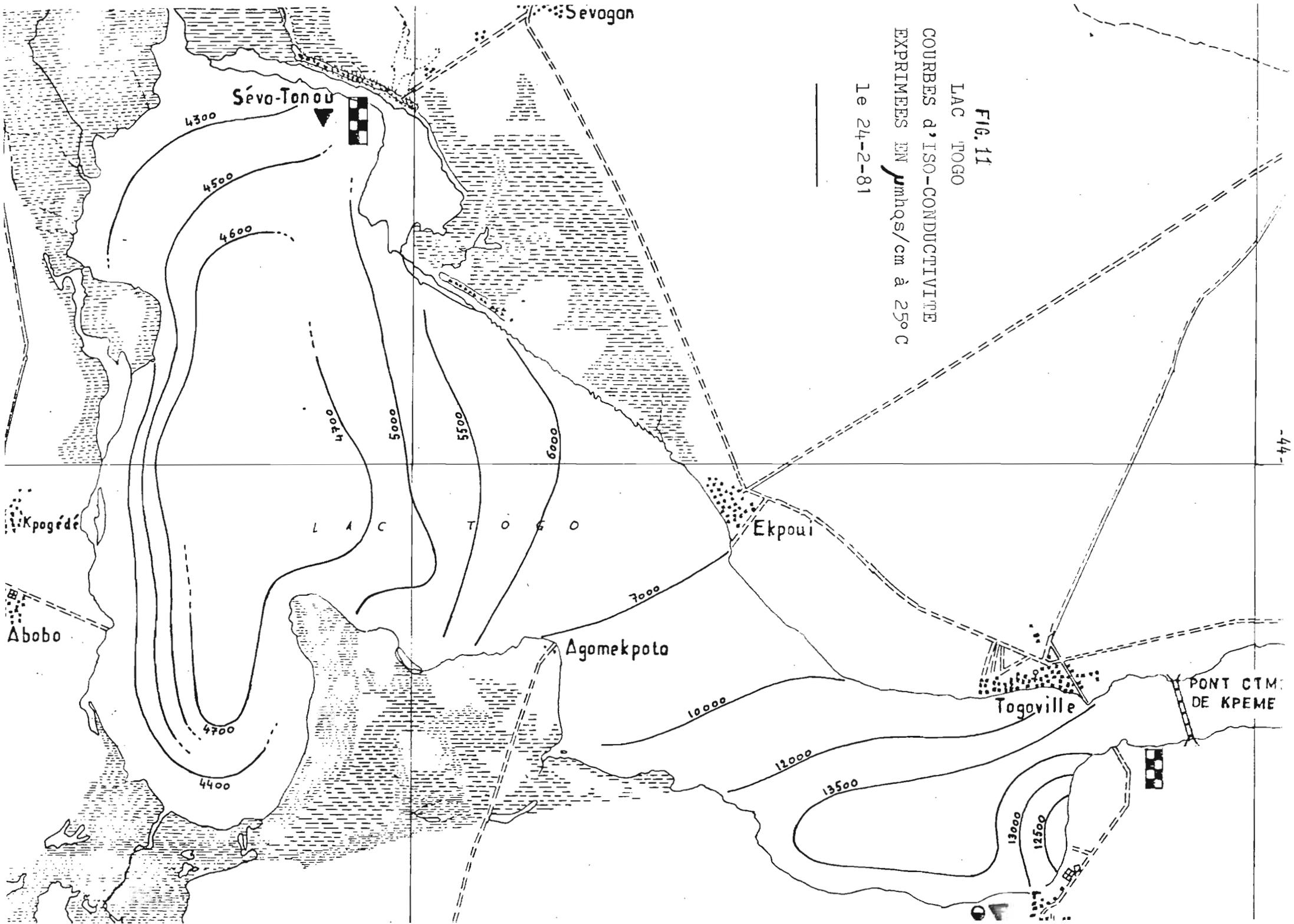
valeur de 4 300 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C au Nord, ce qui représente déjà une valeur élevée par rapport à celles des eaux de précipitation et des tributaires ayant alimenté le Lac.

- la figure 12 présente la situation le 31 mars 1981, en période d'étiage minimal. Les conductivités varient entre 18 500 et 8 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C du Sud vers le Nord. De fortes teneurs de l'ordre de 12 000 et 13 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C apparaissent dans la zone centrale du Lac et à l'Est de la cuvette Nord, au delà du village d'Ekpoui.
- les figures 13 et 14 présentent respectivement les situations en surface et en profondeur le 3 juin 1981. Les conductivités varient du Sud au Nord de 21 700 à 14 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C. Cette situation correspond pour chaque région du Lac, au maximum de la progression de la conductivité observée au cours de l'étiage 1981. Une distinction a été faite entre les valeurs de surface et de profondeur, afin de mettre en évidence la stratification des eaux existante au niveau de la région centrale du Lac.
- les figures 15 et 16 présentent respectivement les situations en surface et en profondeur le 25 juin 1981. La conductivité varie de 19 000 jusqu'à 12 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C du Sud vers le Nord, et marquent un net recul par rapport à la situation précédente du 3 juin. Les premières précipitations ainsi que la montée des eaux du Lac sont observées depuis le début du mois de mai 1981. La distinction entre la surface et la profondeur a été faite pour mettre en évidence une stratification des eaux, plus étendue encore que précédemment.
- la figure 17 présente de façon plus sommaire, les variations de la conductivité des eaux de la rivière Haho, le 09 juillet 1981, après la reprise de son écoulement, le long d'un parcours de 6 km juste à l'amont de son embouchure au Nord du Lac Togo. Les valeurs de la conductivité mesurées le même jour au niveau de l'embouchure, ainsi que sur le reste du Lac sont également reportées sur cette figure.

La conductivité des eaux du Haho varie de 122 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C à 6 km de l'embouchure jusqu'à des valeurs de 2 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C à la surface en un point situé sur le Lac, au niveau de l'embouchure, et de 6 000 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C mesurée à 1 mètre de profondeur à ce même point. Cette stratification verticale de la conductivité se fait sentir également à un point situé à 300 mètres en amont de l'embouchure :

112 umhos/cm en surface, et 397 umhos/cm à 2 mètres de profondeur, et également en un point situé sur le Lac à 500 mètres de l'embouchure : 4 953 umhos/cm en surface, et 10 743 umhos/cm à 1,60 mètre de profondeur.

- les figures 18 et 19 présentent respectivement les situations en surface et en profondeur le 24 juillet 1981. La conductivité varie de 11 000 à 3 000 umhos/cm à 25°C du Sud vers le Nord. Cette période marquée par un net recul des valeurs de conductivité, correspond à une rapide montée des eaux du Lac, accompagnant de fréquentes précipitations ainsi que la reprise de l'écoulement du Sio et du Haho effective depuis les derniers jours du mois de juin. Une légère stratification des eaux est encore observée au centre du Lac.
 - la figure 20 présente les valeurs de la conductivité mesurée le 31 mars 1981 sur la lagune de Togoville, entre Togoville et Abati Kopé. Les valeurs varient entre 18 500 et 27 400 umhos/cm à 25°C d'Ouest en Est.
 - la figure 21 présente les valeurs de la conductivité mesurée le 29 avril 1981 sur la lagune d'Anèho, si la conductivité est à Zalivé du même ordre de grandeur que sur la lagune de Togoville (FIG 19), et atteint son maximum observé sur l'ensemble du système lagunaire à Anèho, elle marque un certain recul si l'on s'éloigne vers l'Est sur le bras qui rejoint le bas Mono.
 - la figure 22 présente la situation sur l'ensemble des lagunes de Togoville et d'Anèho le 3 juin 1981. La conductivité augmente de 23 000 à 31 000 umhos/cm à 25°C entre Togoville et Abati Kopé, pour redescendre à 23 500 umhos/cm à 25°C au niveau de la confluence avec la lagune de VOGAN. Les très fortes valeurs mesurées à Anèho (34 500 umhos/cm à 25°C le 3 juin 81) proviennent de la présence permanente à l'étiage d'eau de mer issue directement de l'ouverture du cordon lagunaire à la fin de l'année 1980, et qui pourrait même être périodiquement renouvelée dans le cas où l'hypothèse de la mise en communication de la lagune avec la mer à travers le cordon lagunaire se trouvait vérifiée.
- On remarquera également la présence d'une variation latérale des conductivités le long d'une même section dans la partie Ouest de la lagune de Togoville.



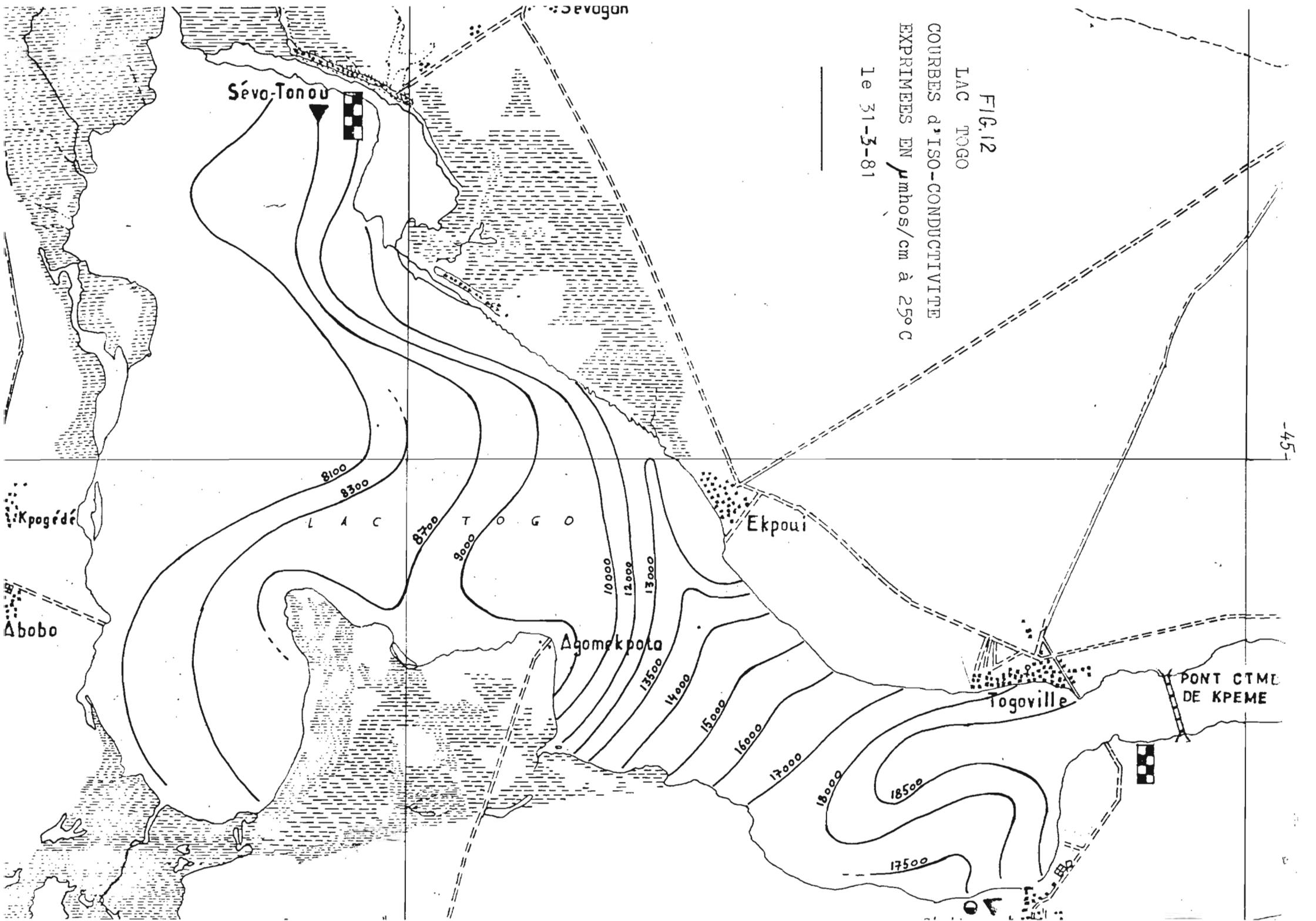
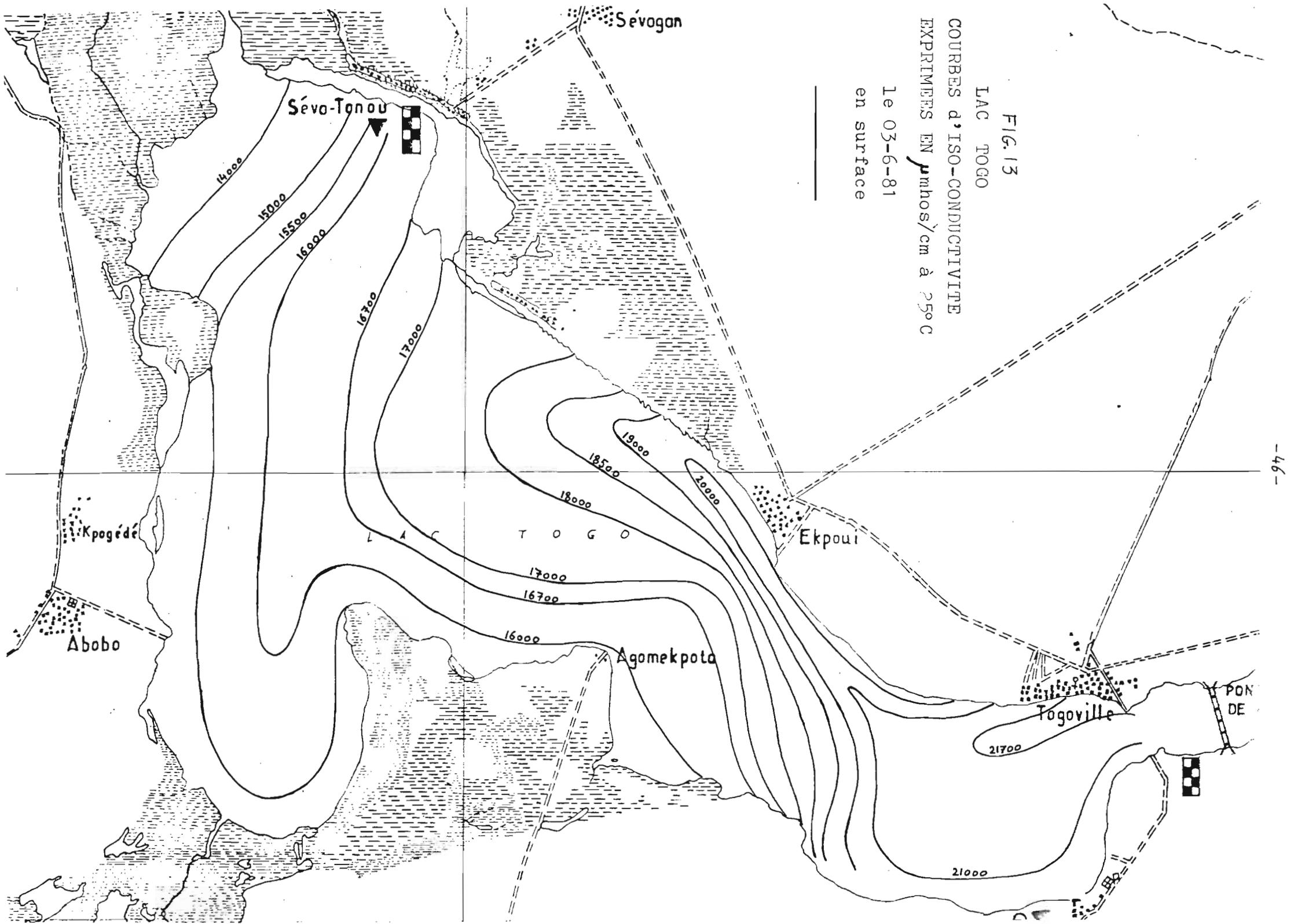


FIG.12
 LAC TOGO
 COURBES d'ISO-CONDUCTIVITE
 EXPRIMEES EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25° C
 Le 31-5-81



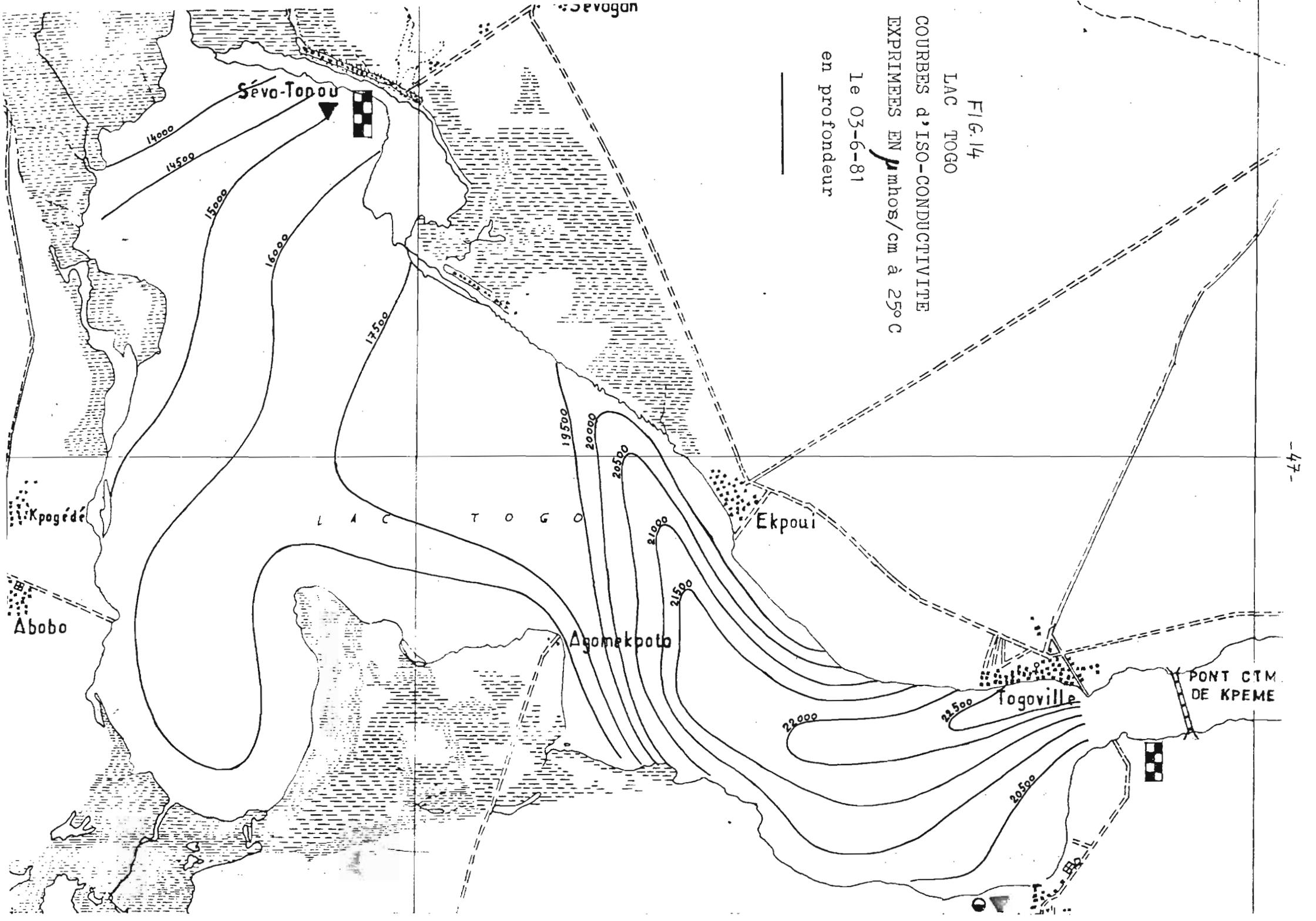
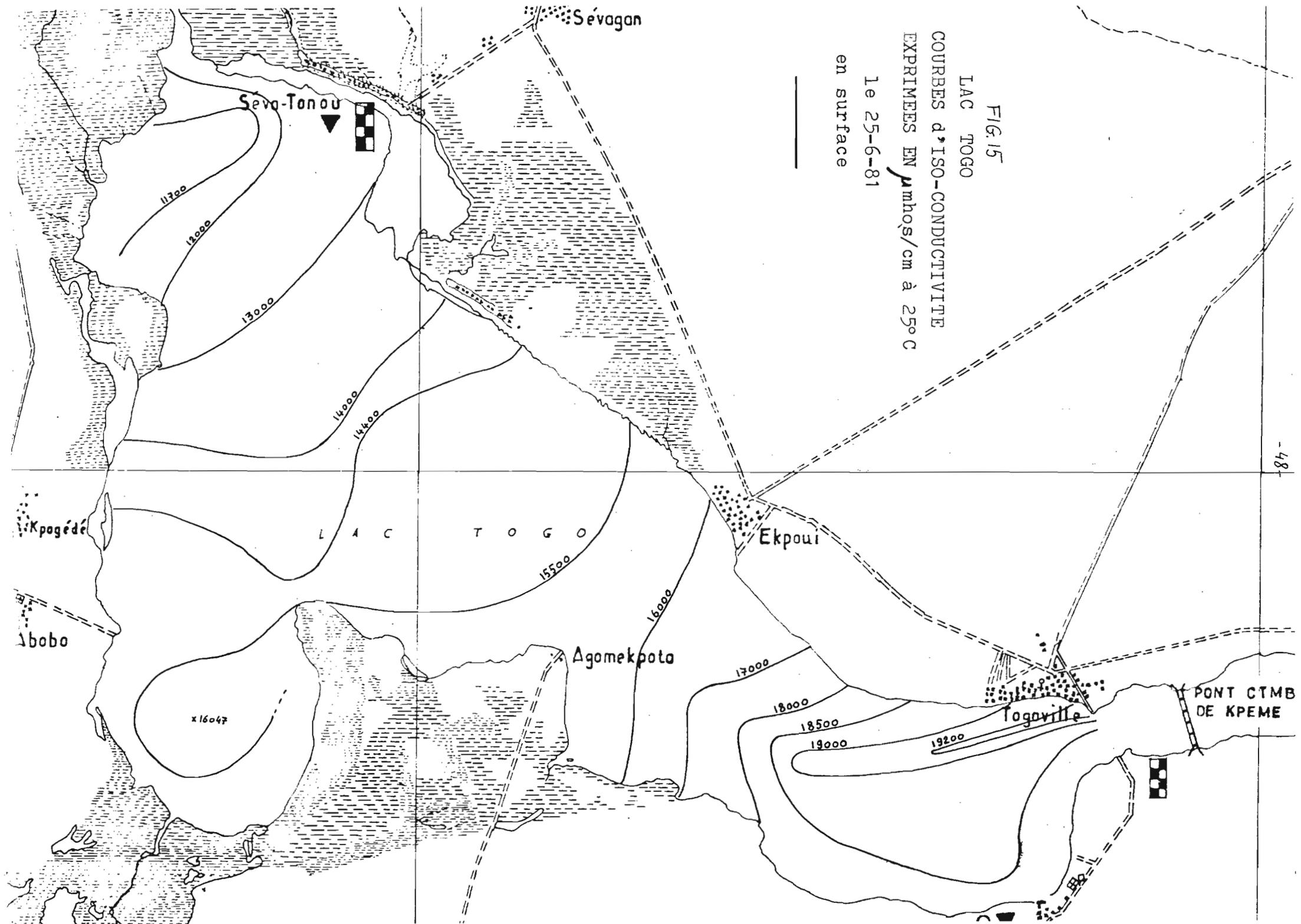


FIG. 15
 LAC TOGO
 COURBES d'ISO-CONDUCTIVITE
 EXPRIEMES EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25° C
 Le 25-6-81
 en surface



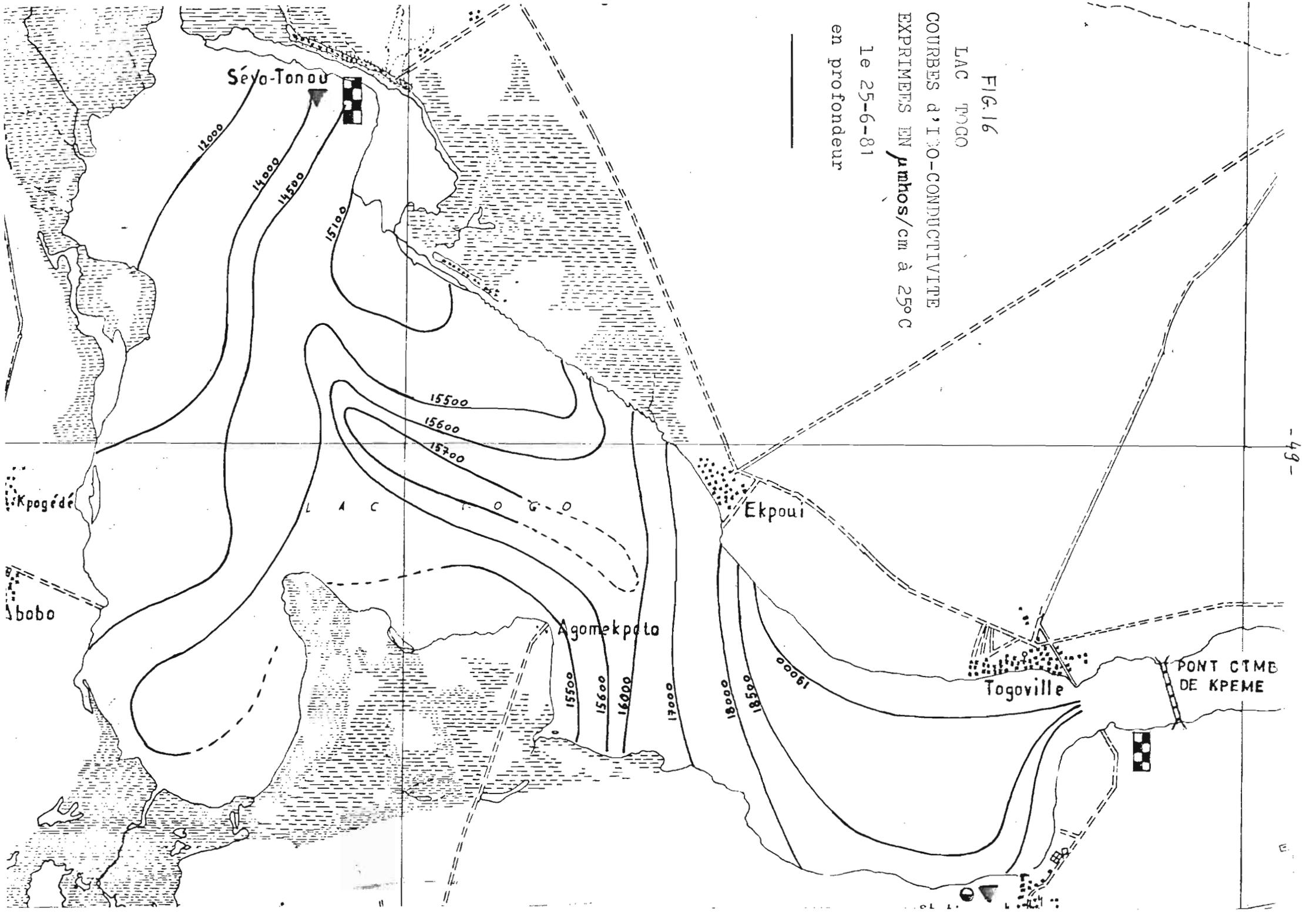


FIG. 16

LAC TOGO

COURBES d'100-CONDUCTIVITE

EXPRIMETS EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C

Le 25-6-81

en profondeur

FIG.17
 VALEURS DE CONDUCTIVITE
 EXPRIMEES EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°
 sur le HAHO et le LAC TOGO
 le 09-7-81

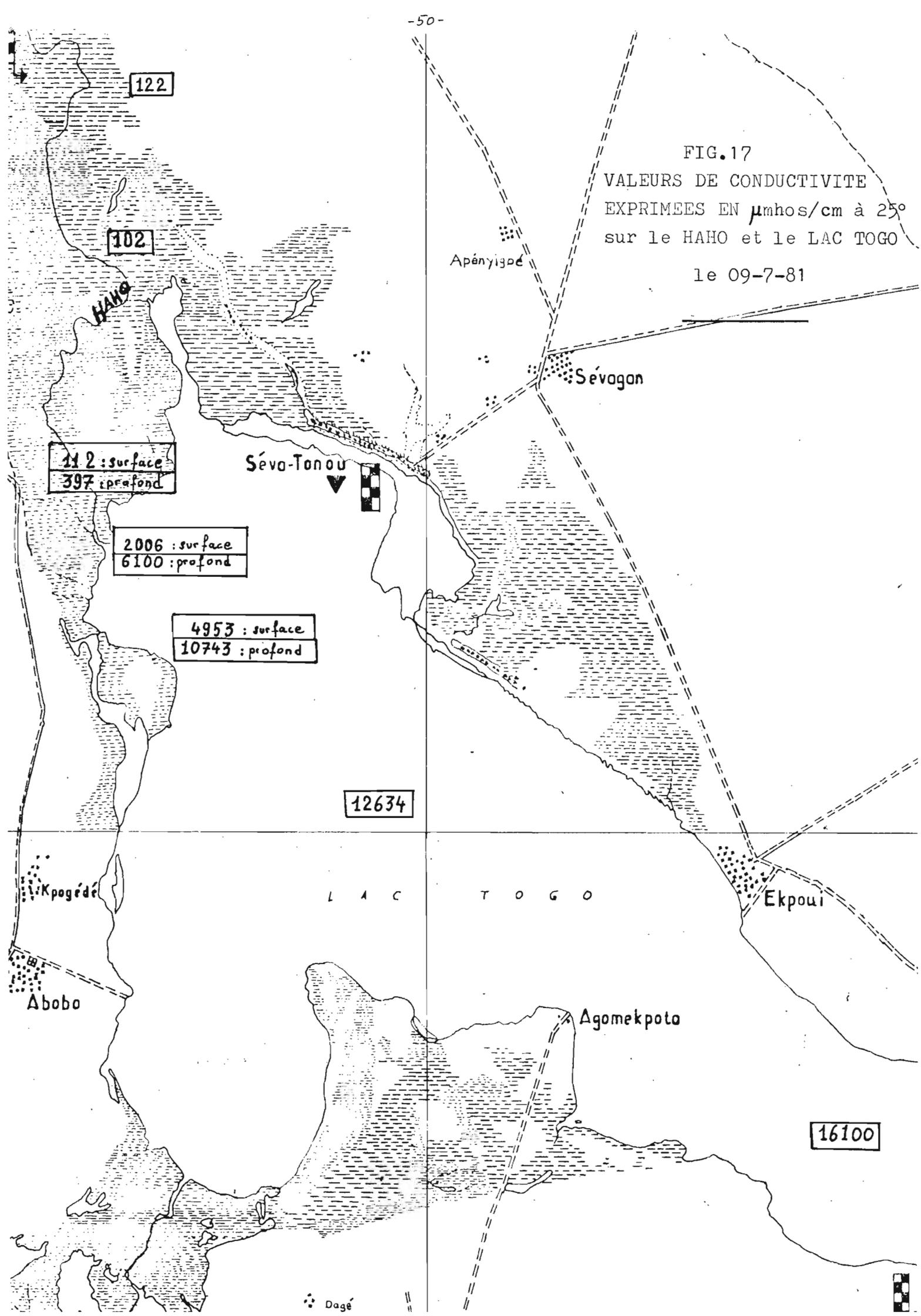


FIG. 18

LAC TOGO

COURBES d'ISO-CONDUCTIVITE
EXPRIMEES EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C

Le 24-7-81
en surface

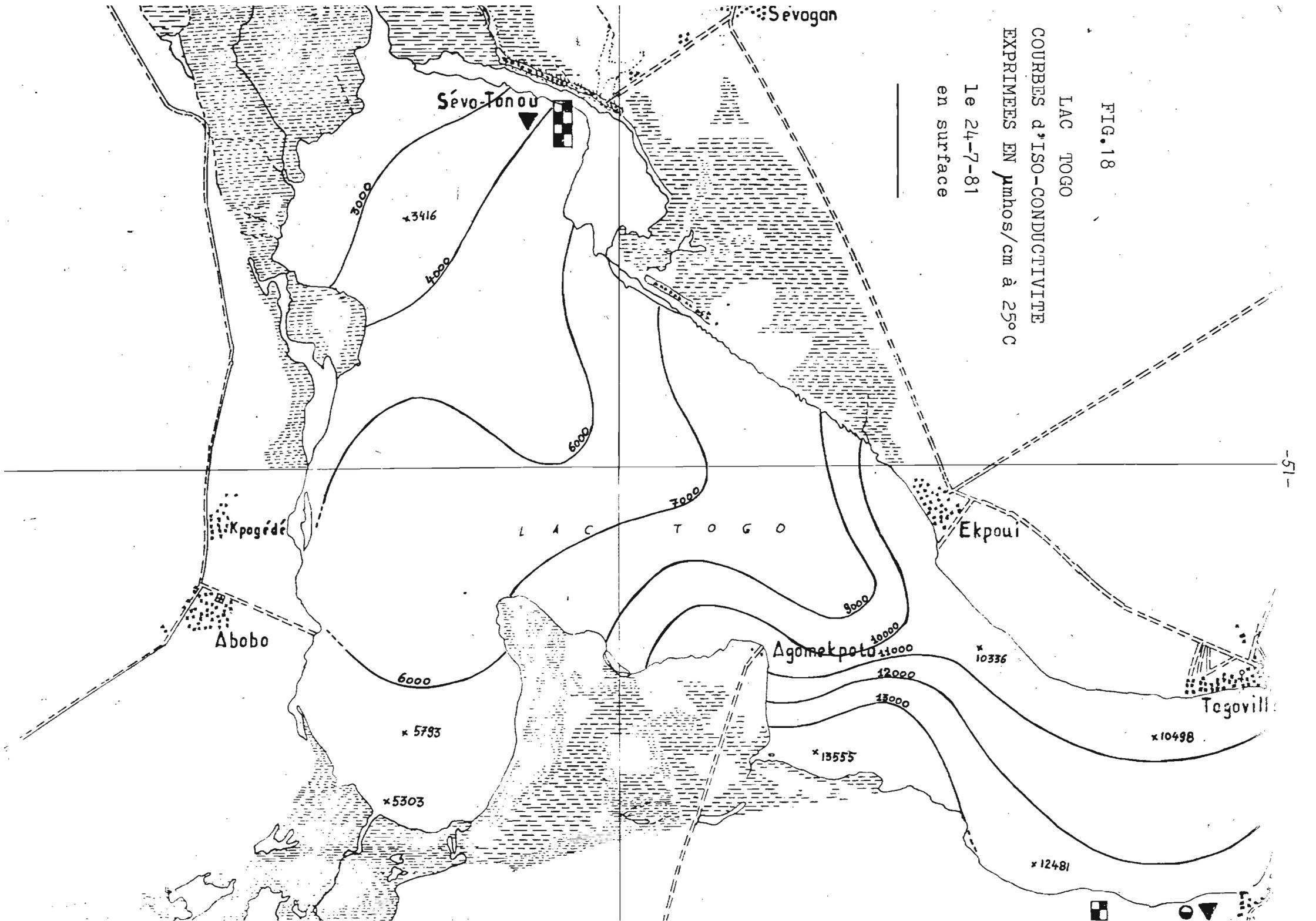
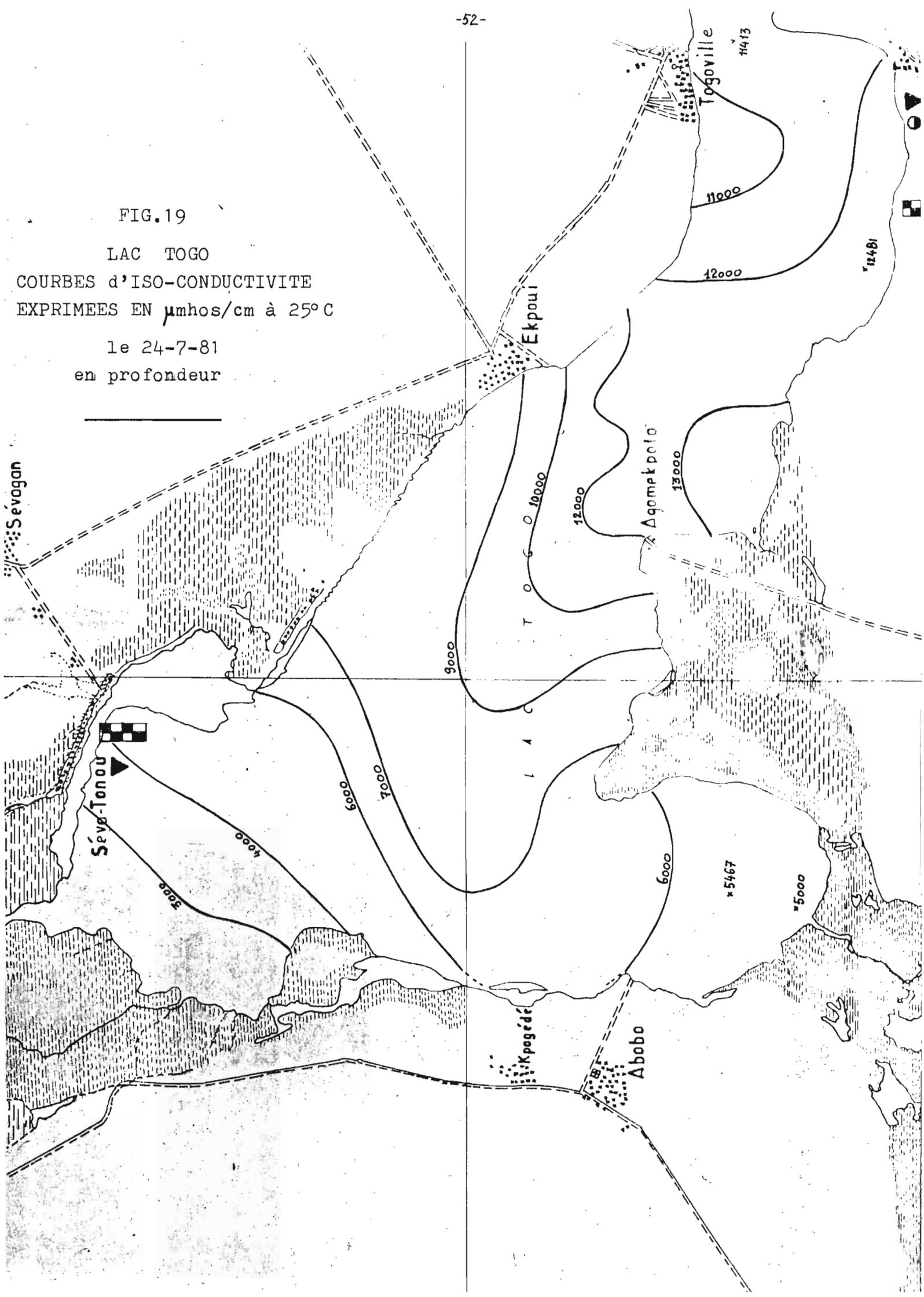


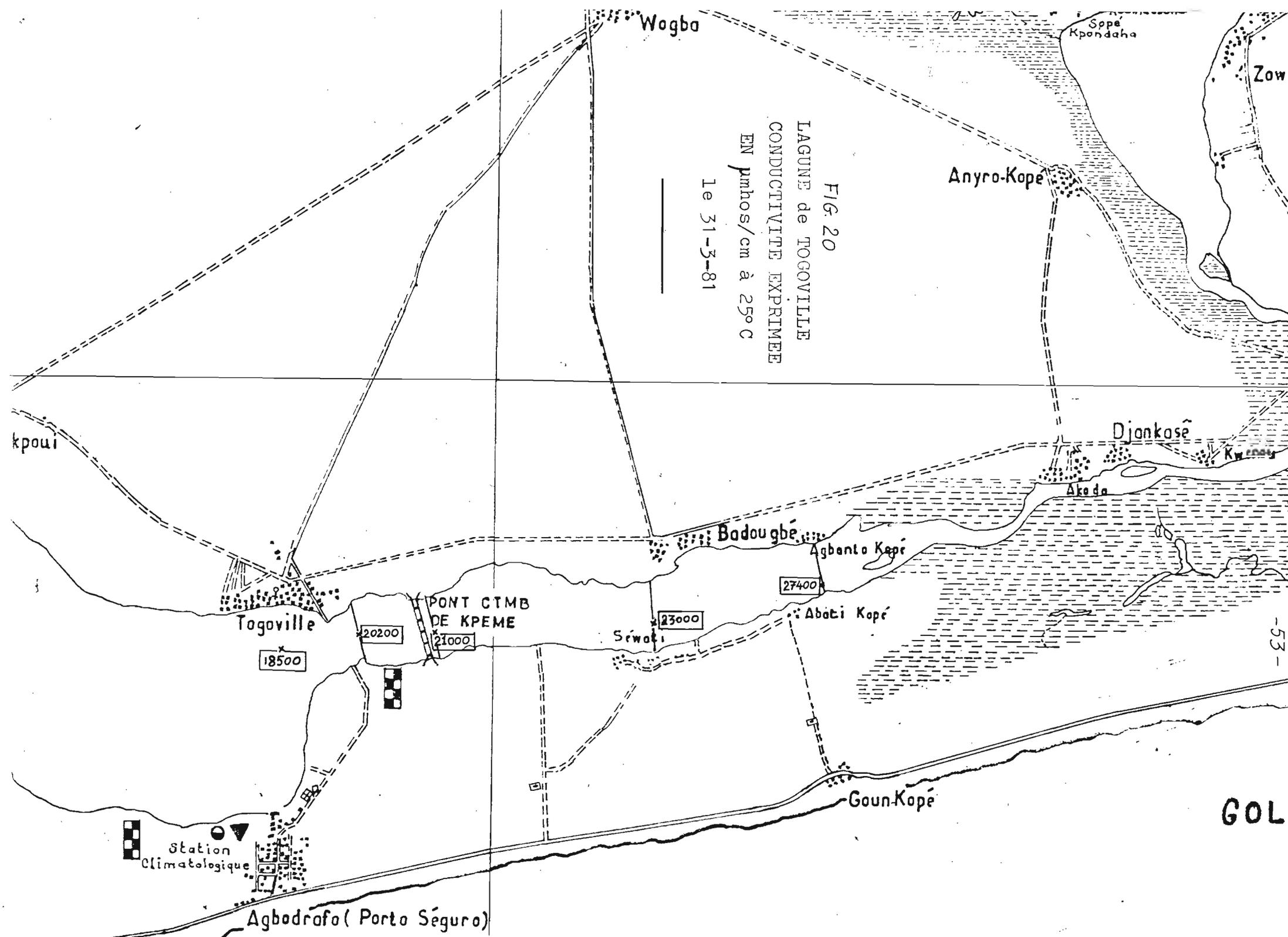
FIG.19

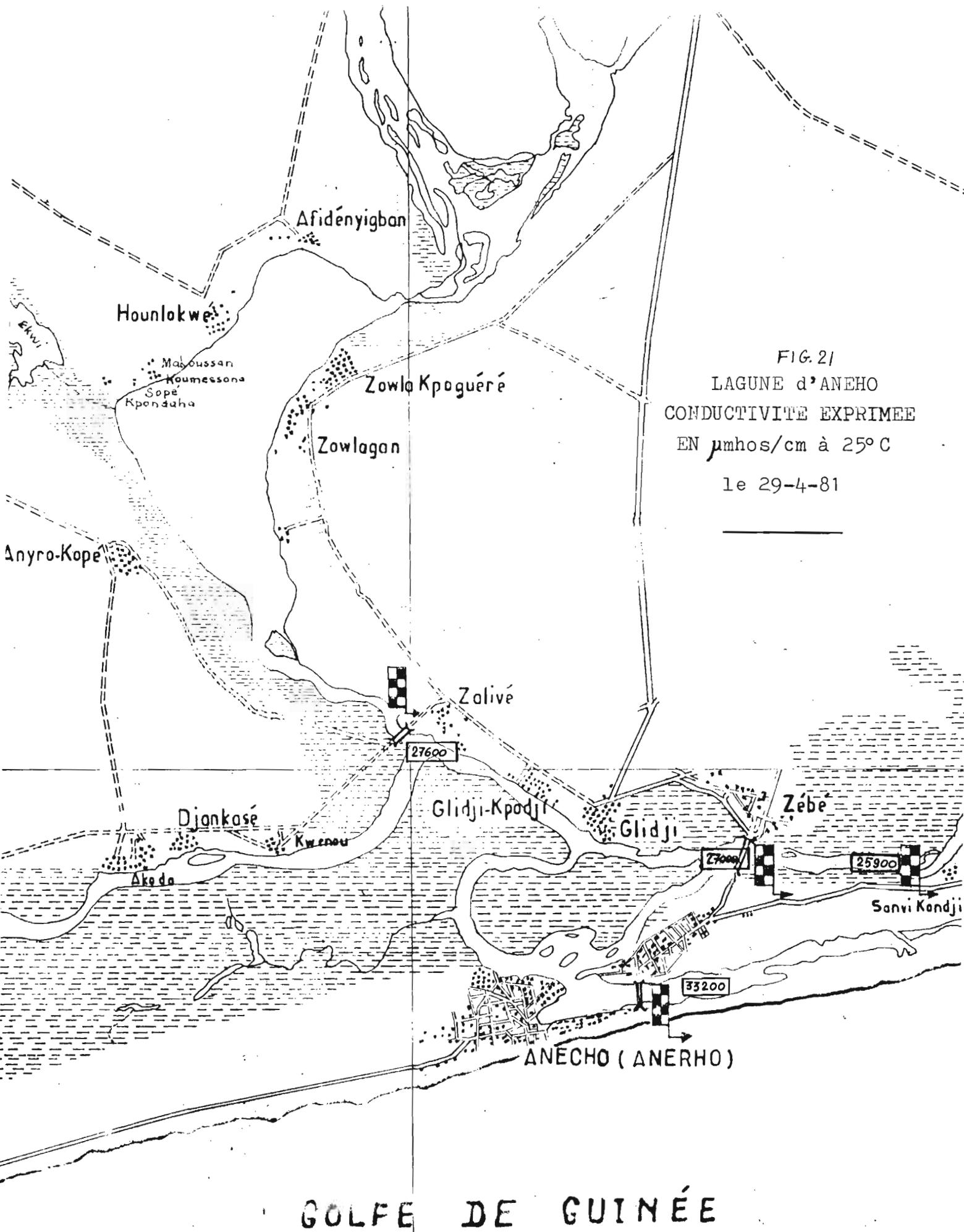
LAC TOGO

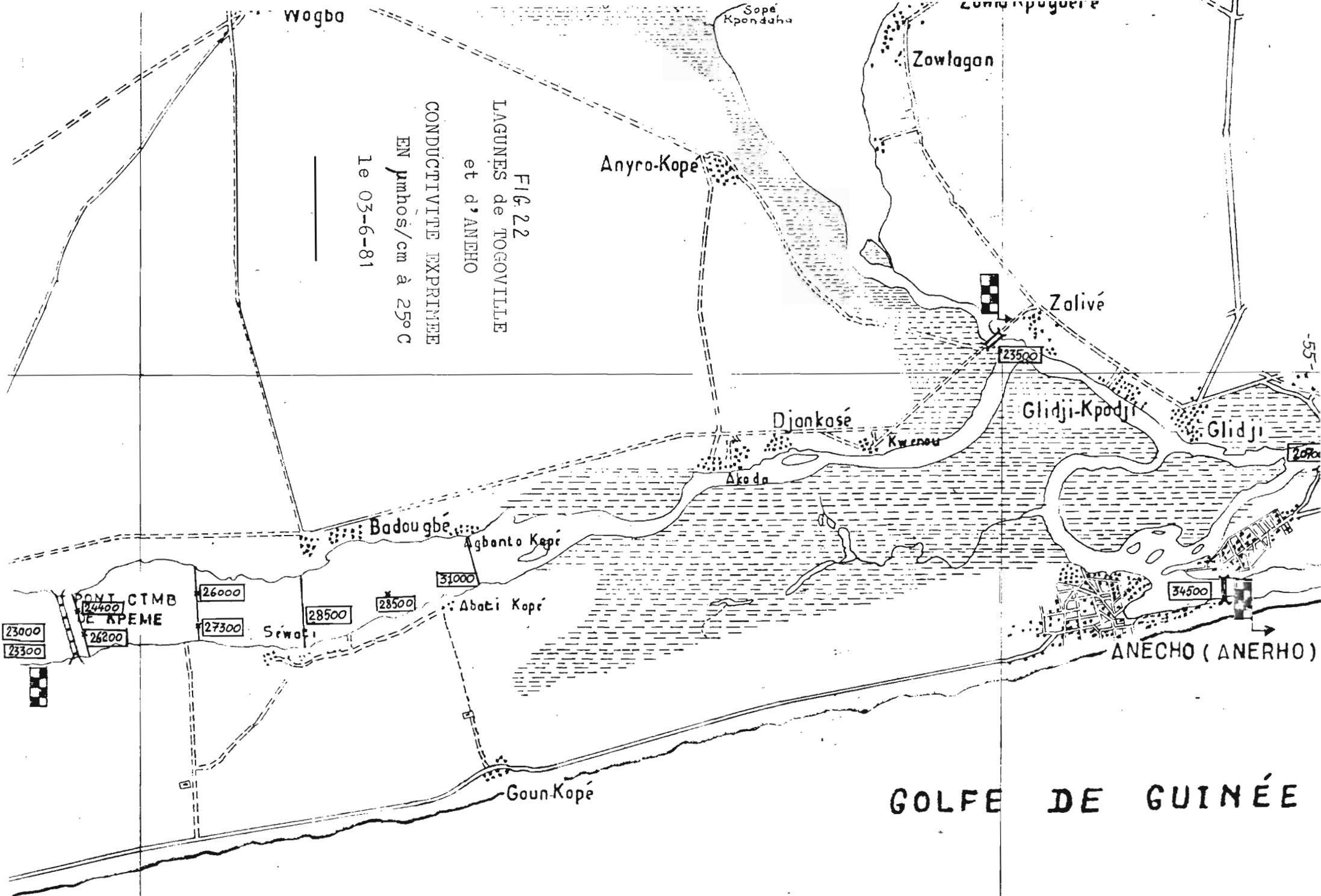
COURBES d'ISO-CONDUCTIVITE
EXPRIMEES EN $\mu\text{hos/cm}$ à 25°C

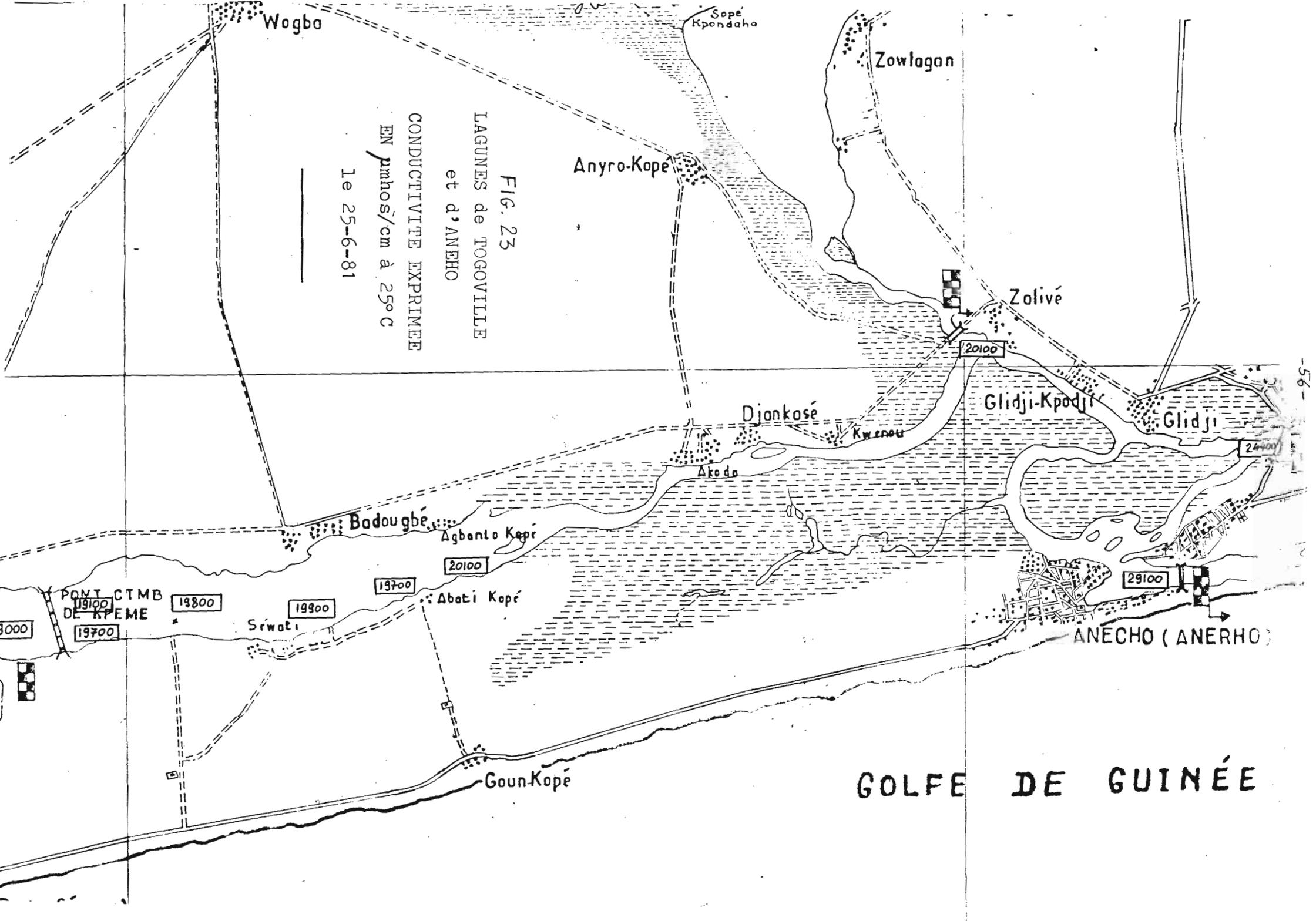
le 24-7-81
en profondeur











Wogbo

Sopé
Kpondaha

Zowlagon

FIG. 23
LAGUNES de TOGOVILLE
et d'ANEHO
CONDUCTIVITE EXPRIIMEE
EN $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C
Le 25-6-81

Anyro-Kope

Zolivé

20100

Djankosé

Glidji-Kpodji

Glidji

Kw enou

24400

Ako da

Badougbe

Agbento Kope

20100

PONT CTMB
DE KPEME

19800

19700

19900

Abati Kope

Srwati

29100

ANECHO (ANERHO)

Goun-Kopé

GOLFE DE GUINÉE

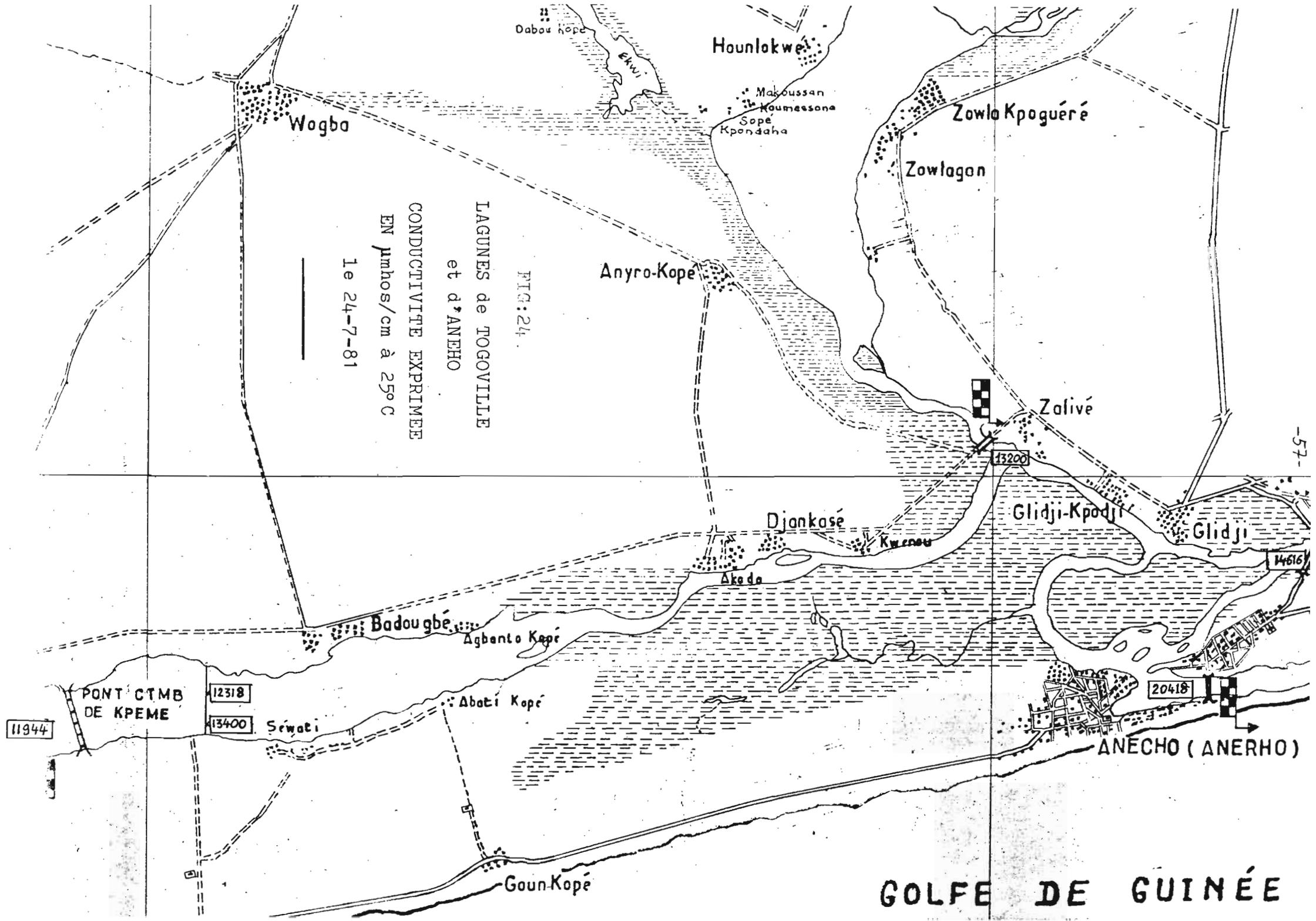


Fig: 25 Droite de variation entre la conductivité (en $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C)
 et la Salinite (en g/l NaCl) des eaux du Lac Togo
 Pendant les 5 mois d'été 1981
 (Février - Juin)

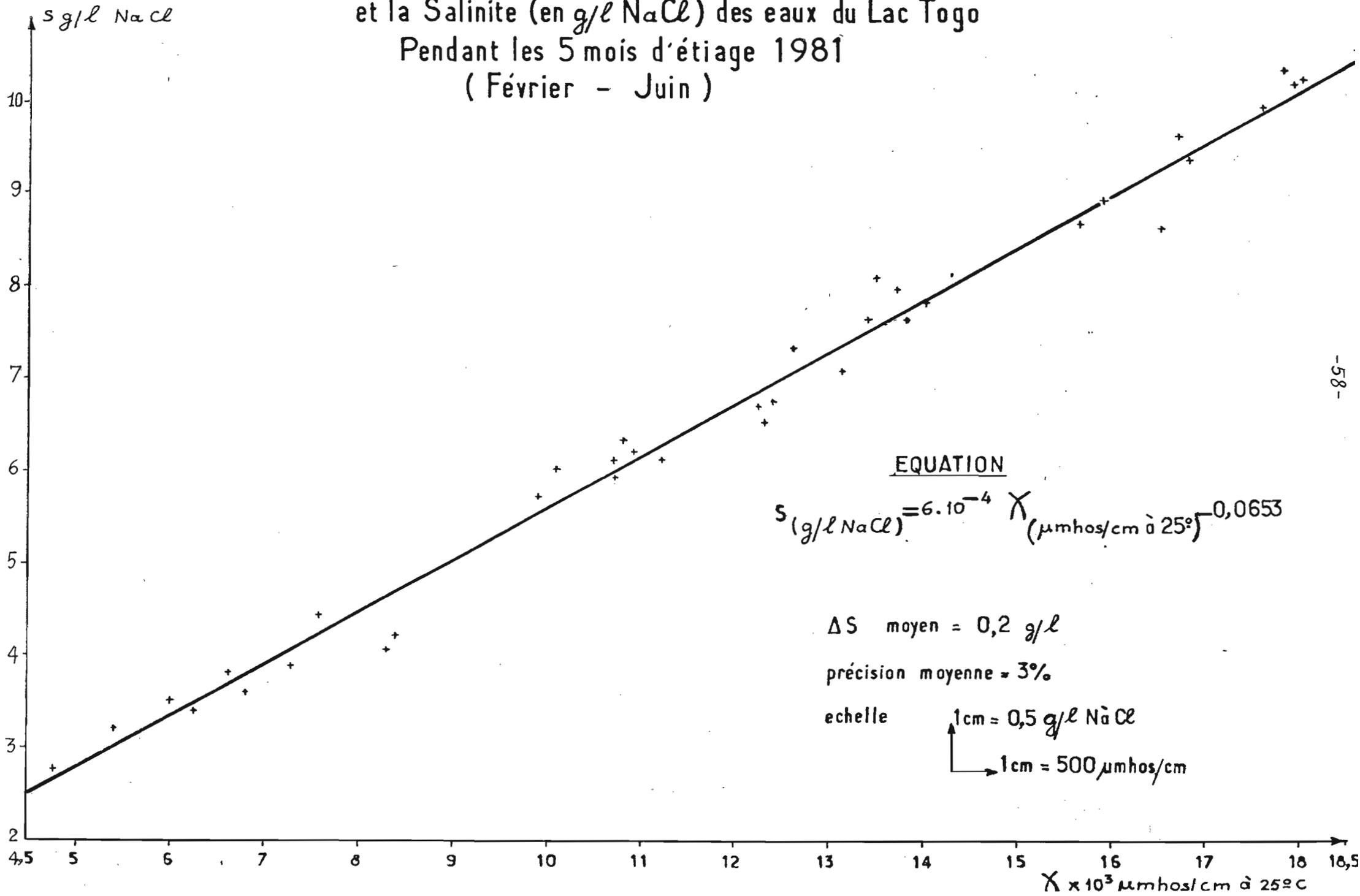
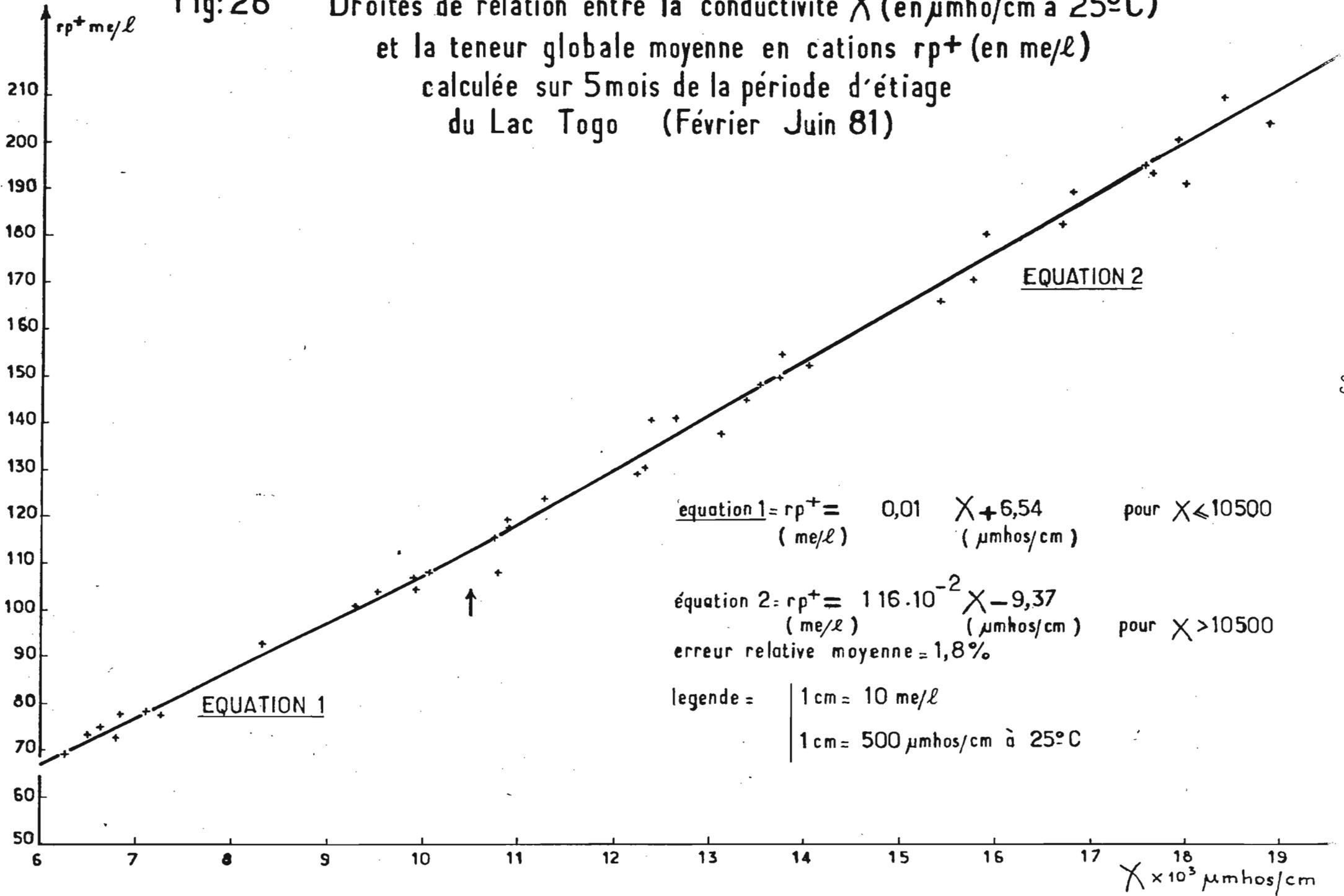


Fig:26

Droites de relation entre la conductivité χ (en $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C)
 et la teneur globale moyenne en cations r_{p^+} (en me/l)
 calculée sur 5 mois de la période d'étiage
 du Lac Togo (Février Juin 81)



- la figure 23 présente la situation sur l'ensemble des lagunes de Togoville et d'Anèho le 25 juin 1981. La conductivité augmente de 19 000 à 20 100 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C sur la lagune de Togoville, puis continue d'augmenter sur la lagune d'Anèho jusqu'à la valeur de 29 100 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C mesurée à Anèho, mais qui est déjà en recul par rapport à la mesure du 3 juin 1981.
- la figure 24 présente la situation sur l'ensemble des lagunes de Togoville et d'Anèho, le 24 juillet 1981. La conductivité varie de 11 900 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C niveau de Togoville, jusqu'à la valeur maximale de 20 400 $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C à Anèho. Ces valeurs sont en nette régression par rapport à la période d'étiage.

On retrouve les variations latérales de conductivité sur la lagune de Togoville.

7.3. Les relations entre la conductivité et la salure des eaux du Lac Togo

Deux tentatives de corrélation des mesures de la conductivité des eaux du Lac Togo ont été effectuées avec :

- d'une part la salinité des eaux exprimée en gramme par litre de chlorure de sodium, en tenant compte du fait que les eaux de la lagune avaient subi une forte influence marine lors de l'ouverture du cordon lagunaire à la fin de l'année 1980.
- d'autre part, la salure cationique globale, rp^+ , regroupant les teneurs exprimées en milliéquivalents par litre, des ions sodium, potassium, calcium et magnésium.
- la figure 25 présente la droite de régression entre la salinité des eaux S (g/l NaCl) et la conductivité X ($\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C)

$$S = 6.10^{-4}X - 0,0653$$

- la figure 26 présente les deux droites de régression entre la teneur globale en cation rp^+ (me/l) et la conductivité des eaux.

$$\text{pour } X \leq 10\,500 \mu\text{mhos/cm à } 25^\circ\text{C} : rp^+ = 0,01 X + 6,54$$

$$\text{pour } X > 10\,500 \mu\text{mhos/cm à } 25^\circ\text{C} : rp^+ = 1,16.10^{-2} X - 9,37$$

On remarquera la bonne précision obtenue dans ces types de corrélation pour le cas des eaux du Lac Togo à l'étiage 1981, et tout

spécialement en ce qui concerne la corrélation avec la teneur en cations $\text{rp}^+(\text{me/l})$, qui intègre un plus grand nombre de paramètres que pour la corrélation avec la salinité en chlorure de sodium.

C - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX DU SYSTEME LAGUNAIRE DU LAC TOGO

La composition chimique des eaux du Lac Togo et de son ensemble lagunaire a fait l'objet d'une surveillance systématique sur l'ensemble du plan d'eau, au cours de la période d'étiage, afin de saisir les caractéristiques et variations saisonnières de la qualité des eaux, qui n'a été définie qu'à l'aide des principaux paramètres élémentaires, représentatifs de la chimie des eaux ; il s'agit du dosage des ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , du fer et de la silice dissoute.

Le tableau 12 présente l'ensemble des valeurs moyennes établies pour les principaux cations et anions, dans différentes régions du Lac Togo, à l'issue des campagnes de prélèvement du 24 février, 31 mars, 3 juin, 25 juin et 24 juillet 1981.

Nous nous proposons, dans cette partie, de présenter les résultats relatifs à chacun des paramètres étudiés, puis d'envisager les variations spatio-temporelles des teneurs cationiques relatives, et enfin, les variations saisonnières de la salinité des eaux exprimée en g/l de chlorure de sodium, sur toute l'étendue du Lac TOGO.

1. LES TENEURS IONIQUES SPECIFIQUES

(cf. tableau 12, pp.65-66)

1.1. Les cations

Les ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} ont fait l'objet d'analyses systématiques au cours de l'étiage 1981.

a - Les teneurs en sodium, exprimées en moyenne saisonnière, calculée sur l'ensemble du Lac, augmente de 60 me/l le 24 février, jusqu'à la valeur maximale de 137 me/l le 3 juin 1981, ce qui indiquerait l'influence d'une eau très chargée d'origine marine. Les teneurs mesurées sur les eaux du Haho le 09 juillet 81 sont en moyenne de 0,36 me/l en amont de l'embouchure.

- b - Les moyennes des teneurs en potassium calculées comme précédemment sur l'ensemble du Lac, augmentent de 1,2 me/l le 24 février jusqu'à la valeur maximale de 2,6 me/l le 3 juin 1981. Les teneurs mesurées le 9 juillet 81 sur les eaux du Haho sont en moyenne de 0,42 me/l en amont de l'embouchure.
- c - Les moyennes des teneurs en calcium, calculées sur l'ensemble du Lac, augmentent de 3,7 me/l le 24 février, jusqu'à la valeur maximale de 7,6 me/l le 3 juin 1981. Les teneurs mesurées en amont sur les eaux du Haho le 09 juillet 81 sont en moyenne de 0,7 me/l.
- d - Les moyennes des teneurs en magnésium, sur l'ensemble du Lac, augmentent de 16 me/l le 24 février jusqu'à la valeur maximale de 36 me/l le 3 juin 1981. La valeur moyenne des eaux du Haho en l'amont de l'embouchure le 09 juillet 1981 est de 1,42 me/l. Cette dernière valeur se rapproche de celles couramment rencontrées sur des cours d'eau de régions sédimentaires calciques. La dureté totale des eaux du Haho, exprimée en calcium, est estimée à 42,5 mg/l Ca, qui est une valeur relativement peu élevée, caractéristique des cours d'eau à bassin essentiellement sur socle cristallin, enrichis par des apports provenant de régions sédimentaires, catégorie à laquelle le Haho peut être rattaché. La dureté totale moyenne des eaux du Lac Togo varie de 400 à 870 mg/l Ca, ce qui accompagne le caractère fortement saumâtre de ces eaux.
- e - Les teneurs en fer dissous ont été évaluées à 0,05 mg/l en moyenne sur l'ensemble du Lac et des lagunes, jusqu'au 26 juin 81 sans de grande variation régionale. Par contre on observe une nette augmentation de teneurs en fer dissous qui atteignent 0,5 mg/l en moyenne dans le Nord du Lac, le 24 juillet 1981, après la reprise de l'écoulement des tributaires, par rapport à la moyenne obtenue dans le Sud du Lac, le même jour, qui est de 0,16 mg/l. La teneur moyenne obtenue sur le Haho le 09 juillet 1981 est de 0,77 mg/l.

1.2. Les anions

- a - Les moyennes des teneurs en chlorure calculées sur l'ensemble du Lac, varient de 71,6 me/l le 24 février jusqu'à la valeur maximale de 168 me/l le 3 juin 1981. La teneur moyenne mesurée le 9 juillet sur les eaux du Haho, en amont de l'embouchure, a été évaluée 3,6 me/l,

ce qui reste une valeur particulièrement élevée dans le cas d'un cours d'eau continental. Une telle teneur en chlorure dans les eaux d'un tributaire du Lac, est surprenante, et nécessitera de fréquents contrôles, au cours de la prochaine période de hautes eaux.

- b - Les moyennes des teneurs en sulfates, calculées sur l'ensemble du Lac, augmentent de 3,7 me/l le 24 février, jusqu'à la valeur maximale de 6,3 me/l le 3 juin 1981. Ces teneurs très élevées, accompagnent le caractère fortement saumâtre des eaux du Lac Togo.
- c - Les teneurs moyennes des eaux du Lac Togo en bicarbonate sont faibles, et décroissent régulièrement au cours de l'étude depuis une valeur de 1,59 me/l le 24 février, jusqu'à une valeur de 0,93 me/l le 24 juillet 1981. Les eaux de la lagune d'Anèho présentent toujours une alcalinité légèrement plus élevée que les eaux du Lac. Les eaux du Haho présentent le 9 juillet 81 une teneur moyenne en bicarbonate de 1,88 me/l ce qui est conforme aux valeurs généralement rencontrées dans le cours inférieur des rivières à substrat acide.
- d - La teneur en orthophosphates, mesurée sur l'ensemble du Lac et des lagunes à l'issue des prélèvements des 3 juin, 25 juin et 24 juillet 1981 est constante sur toute l'étendue du plan d'eau et leur valeur moyenne a été estimée à $6 \cdot 10^{-3}$ me/l, ce qui représente une valeur relativement forte, correspondant habituellement à des milieux de forte productivité, atteignant la limite mentionnée par le "Water quality Criteria" (1968) au-delà de laquelle, les milieux naturels à circulation lente sont suspectés d'entrophisation, ou de pollution. A proximité des embouchures du Sio et du Haho, peu de temps après la reprise de l'écoulement, des teneurs de l'ordre de 10^{-2} me/l très élevées, ont été localement relevées.

Toutefois, il n'est pas surprenant de rencontrer de fortes teneurs en orthophosphate dans les eaux du Lac Togo situé immédiatement au Sud de la zone d'exploitation à ciel ouvert d'un minerai particulièrement riche en phosphate, susceptible à priori d'influencer fortement la qualité des eaux de ruissellement alimentant le Haho dans cette dernière partie de son cours. L'étude des teneurs en orthophosphates des eaux du Lac Togo et de ses tributaires sera poursuivie en période de crue.

e - Une approche des teneurs en azote des eaux du Lac a été effectuée par le Centre de Recherches Halieutiques d'Agbodrafo, en période de montée des eaux et dans la partie Sud du Lac, en milieu calme, à l'aide d'une trousse de terrain HACH.

Les précisions de ces méthodes d'analyse sont de 3,5 à 4 %, pour les nitrates, de 5 à 10 % pour les nitrites, et de 5 % pour l'azote ammoniacal.

Les teneurs en nitrate ont été estimées à 8,8 mg/l ;

Les teneurs en nitrite à 66 µg/l et les teneurs en azote ammoniacal à 0,52 mg/l en surface et à 0,65 mg/l en profondeur. Ces valeurs sont assez fortes par rapport à celles rencontrées habituellement dans les eaux naturelles, et tout particulièrement en ce qui concerne l'azote ammoniacal qui augmente en profondeur. Ces résultats ne sauraient être encore l'objet d'aucune interprétation en raison de leur caractère trop instantané et localisé, mais sont à mettre en corrélation avec la richesse constatée des eaux du Lac en matière organique dont les teneurs augmentent en période de montée des eaux.

2. LA SILICE DISSOUE

Le relevé systématique des teneurs en silice dissoute dans les eaux de l'ensemble lagunaire du Lac Togo a montré une grande homogénéité dans la répartition spatiale des valeurs sur le Lac, qu'elle que soit la saison, et une nette diminution de ces valeurs dans les lagunes de Togoville et d'Anèho. La teneur moyenne des eaux du Lac depuis le mois de février jusqu'au mois de juin est de 17,5 mg/l. Sur la lagune de Togoville, entre le mois de mars et mois de juin, la teneur moyenne tombe à 9,6 mg/l et à 8 mg/l sur la lagune d'Anèho.

Une évolution saisonnière des teneurs en silice dissoute a également été remarquée à toutes les stations. Les teneurs augmentent pendant le mois de mars, et la valeur moyenne maximale pour le Lac seul, est celle obtenue à l'issue de la campagne du 31 mars 1981, à savoir 23 mg/l. Les teneurs ne cessent de diminuer par la suite, et la valeur moyenne minimale pour le Lac seul, relevée jusqu'à présent à l'issue de la campagne du 25 juin 1981, est de 14,2 mg/l.

Tableau 12 : Evolutions régionales et saisonnières des valeurs moyennes des principaux paramètres de la qualité chimique des eaux du système lagunaire du Lac Togo, au cours de l'étiage 1981.

24 FEVRIER 81		FIN DE LA DECRUE						
région du LAC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	me/l
NORD	40,7	0,7	2,9	10	45,8	2,0	1,60	
CENTRE-OUEST	38,2	0,8	3	13	49,3	2,4	1,58	
CENTRE-EST	56,4	1,2	3,4	15,3	71,4	3,6	1,57	
SUD	105,1	2,1	5,5	25,3	120	6,8	1,63	
LAGUNE ANEHO	308	7	14,8	86,7	427	14,2	1,83	

31 MARS 81		ETIAGE MINIMUM						
région du LAC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	me/l
NORD	74,4	1,1	4,8	19,7	87,4	3,1	1,54	
CENTRE-OUEST	68,7	1,4	4,3	17,3	74,4	2,9	1,51	
CENTRE-EST	86,7	1,7	5	21,7	97,5	3,9	1,51	
SUD	145	2,8	7,1	35	151,6	7,2	1,6	
LAGUNE TOGOVILLE	174,3	4,3	9	45,6	190	5,4	1,58	
LAGUNE ANEHO		5,4	11,2	65,8	312	10,8	1,62	

3 JUIN 81		PROGRESSION MAXIMALE DE LA SALINITE						
région du LAC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	me/l
NORD	117,1	2,3	7,0	31,2	144,5	5	1,30	
CENTRE-OUEST	125,0	2,4	7,4	34,6	154,4	5,5	1,35	
CENTRE-EST	144,1	2,8	7,8	36,7	177	6,8	1,36	
SUD	163	3,1	8,4	41,7	197	7,8	1,33	
LAGUNE TOGOVILLE	239	4,7	10,7	59	278	12,1	1,4	
LAGUNE ANEHO	260	5,5	11	60,4	279	13,8	1,5	

Tableau 12 (suite)

25 JUIN 81		DEBUT DE LA MONTEE DES EAUX						
région du LAC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻		HCO ₃ ⁻	me/l
NORD	102,7	1,8	5,4	24,2	124		0,9	
CENTRE-OUEST	118,7	2,4	6,6	30,8	134		0,92	
CENTRE-EST	127,4	2,4	5,7	26,6	150		0,95	
SUD	150	2,9	7,8	37,2	176		1,10	
LAGUNE TOGOVILLE	164	3,3	8,1	40,2	198		1,1	
LAGUNE ANEHO	217	4,4	9,6	52,4	257		1,26	

09 JUILLET 81		INFLUENCE DE L'ECOULEMENT DU HAHO						
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻		HCO ₃ ⁻	me/l
HAHO 6 km en amont	0,35	0,4	0,07	1,4	3,6		1,9	
HAHO 300 mètres embouchure	0,56	0,5	0,18	1,2	3,5		0,8	
LAC NORD	40,8	1,1	2,5	13,2	53,5		1,5	
LAC CENTRE et SUD	109	2,5	6,1	28	140		1,3	

24 JUILLET 81		DEBUT DE LA PERIODE DE CRUE						
région du LAC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻		HCO ₃ ⁻	me/l
NORD	27,1	0,7	2,0	7,0	35,2		0,95	
CENTRE-OUEST	40,2	1,0	2,7	10,5	52,8		0,91	
CENTRE-EST	70,6	1,6	4,4	18,2	91,8		0,92	
SUD	86,6	1,9	5,2	22,5	111,5		0,95	
LAGUNE TOGOVILLE	88,8	2,0	5,3	22,8	117,8		0,92	
LAGUNE ANEHO	123,2	2,7	6,6	31,7	156,6		1,03	

FIG. 27
 LAC TOGO
 TENEURS IONIQUES
 RELATIVES EN CATIONS
 Le 24-2-81

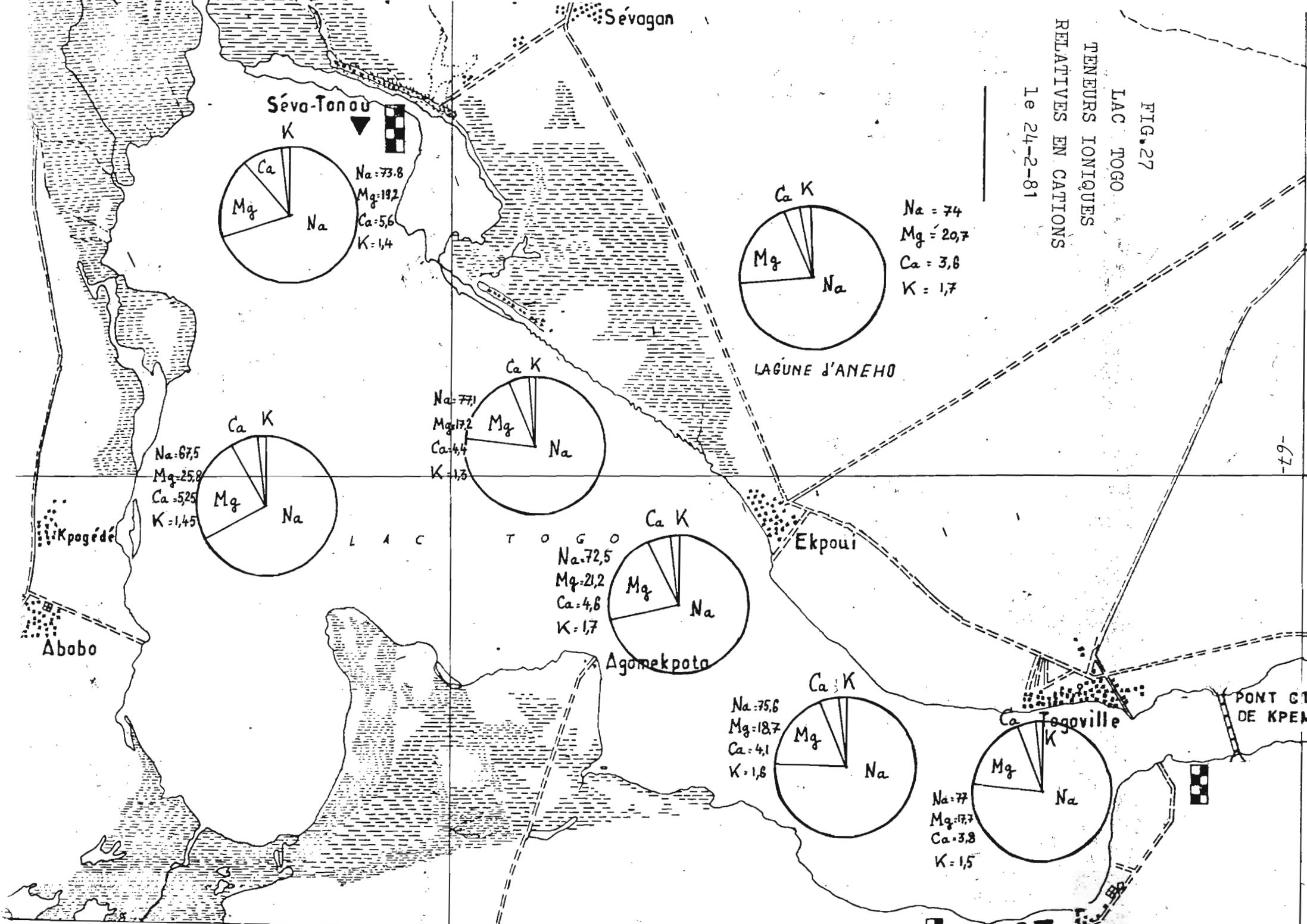


FIG. 28
 LAC TOGO
 TENEURS IONIQUES
 RELATIVES EN CATIONS
 Le 25-6-81

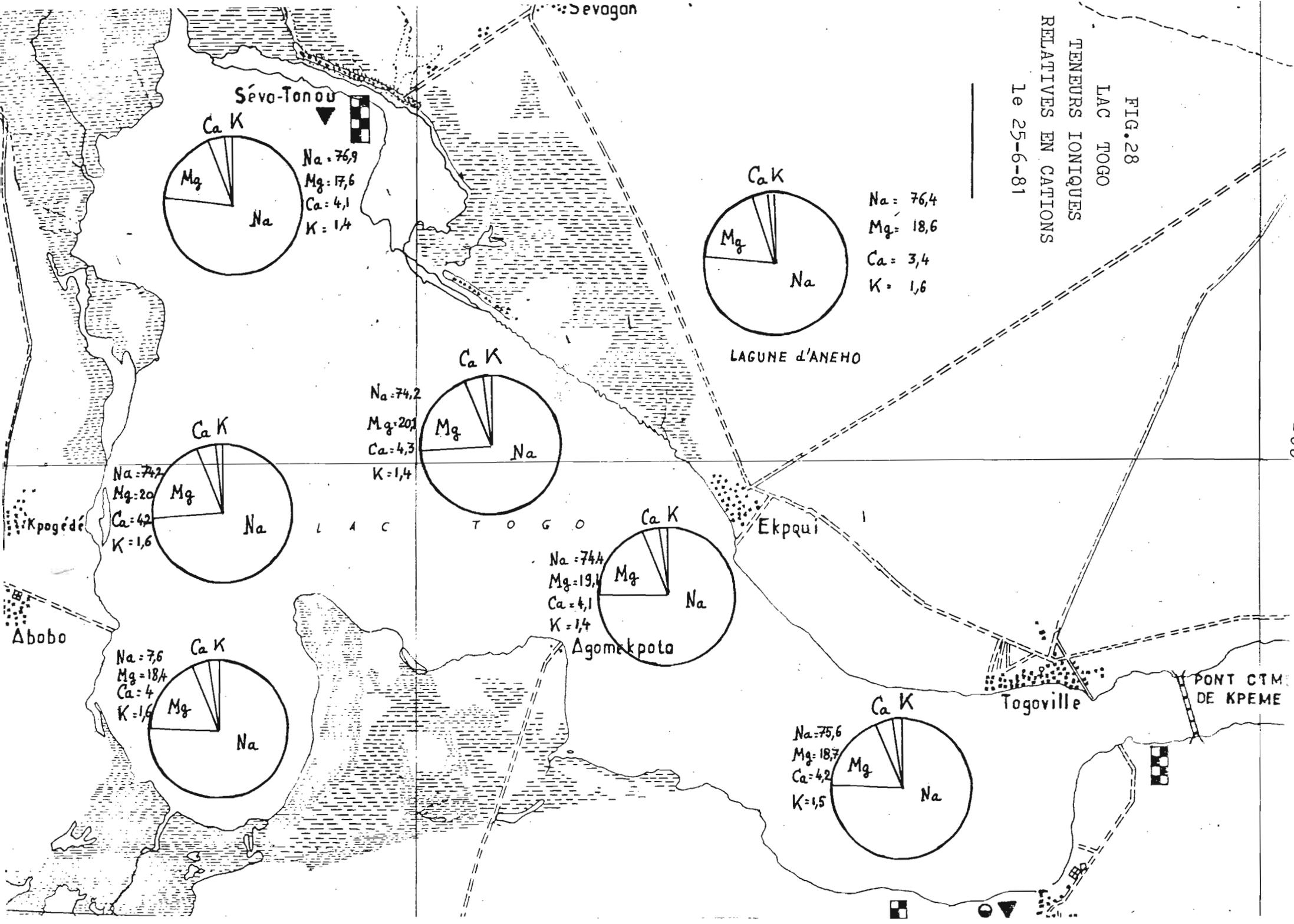
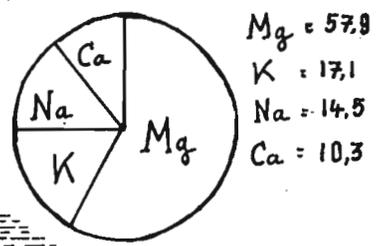


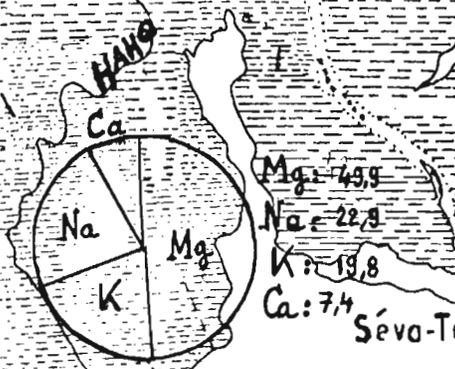
FIG.29
HAHO ET LAC TOGO
TENEURS IONIQUES
RELATIVES EN CATIONS
1e 09-7-81



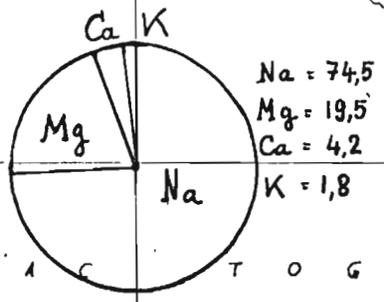
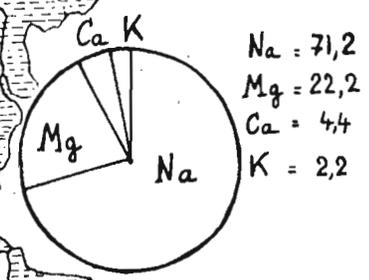
HAHO

Apényigbé

Sévogon



Sévo-Tonou



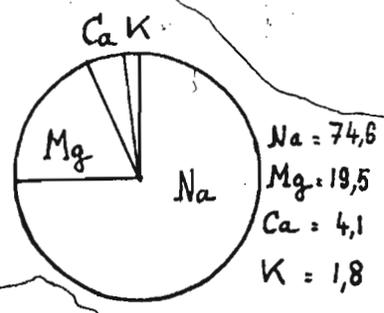
L A C T O G O

Ekpoui

Kpogédé

Abobo

Agomekpoto



Dagé

3. LES TENEURS RELATIVES EN CATIONS

(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

Nous avons vu, dans la correspondance étroite entre la conductivité et la salure ionique des eaux du Lac Togo (FIG 26), que les cations majeurs, sodium, potassium, calcium et magnésium, pouvaient constituer une bonne représentation de la qualité chimique de ces eaux saumâtres. Nous avons alors considéré les proportions relatives de chacun de ces cations, par rapport à la charge ionique globale en cation rp^+ (me/l) ainsi que leurs évolutions au cours de la période d'étiage 1981, afin de mettre en évidence, l'éventuelle confrontation de masses d'eau de type différent.

La figure 27, présente la composition relative en cations des eaux du Lac Togo et de la lagune d'Anèho (dans l'encadré), le 24 février 1981. On remarque une légère diminution de la proportion en sodium, au fur et à mesure que l'on remonte vers le Nord-Ouest du Lac. Cette diminution accompagne une augmentation de magnésium, et, dans une plus faible mesure, de calcium. Le potassium reste pratiquement partout dans la même proportion. Une certaine disparité des eaux apparaît entre les régions Centre-Ouest et Centre-Est du Lac, cette dernière présentant des eaux dont la nature chimique se rapproche de celle des eaux de la région Sud. Les eaux de la lagune sont d'une nature qui se rapproche de celle des eaux de la région Centrale du Lac. Entre ces deux régions, les eaux apparaissent "enrichie" en sodium.

La figure 28, présente la situation de la composition relative des eaux en cations le 25 juin 81, à la fin de la période d'étiage.

On remarquera une nette tendance à l'homogénéisation de la nature des eaux sur l'ensemble du Lac. La proportion du potassium apparaît toujours invariable, et les proportions du calcium des eaux du Nord du Lac, rejoignent les valeurs rencontrées dans le Sud en début d'étiage. Une légère augmentation des proportions en sodium se fait sentir aux extrémités Nord et Ouest du Lac, où la composition des eaux rejoint celle observée simultanément dans la lagune d'Anèho.

La figure 29, présente une comparaison de la nature des eaux du Haho, après la reprise de son écoulement, et de celle du Lac, le 9 juillet 1981.

Les eaux du Haho apparaissent nettement de nature essentiellement magnésienne, avec des proportions équilibrées en alcalins : eau de type Mg K Na Ca.

On observe une inversion de ces proportions relatives dès l'embouchure sur le Lac où la nature des eaux devient essentiellement sodique, magnésienne, avec un net recul des proportions en potassium : eau de type Na Mg Ca K. Le long du cours inférieur du Haho, de 6 km en amont jusqu'à un point situé à 300 mètres de son embouchure sur le Lac, on observe une augmentation des proportions en sodium, tout d'abord progressive au détriment du magnésium, principalement, accompagnée d'une régression progressive de moindre ampleur du calcium, tandis que la proportion des ions potassium reste inchangée : eau de type intermédiaire Mg Na K Ca. Puis, dès que l'on franchit l'ouverture du Haho sur le Lac, on observe une augmentation très forte de la proportion en sodium accompagnée de la chute brutale des proportions en magnésium et potassium, tandis que le calcium continue sa régression régulièrement.

Enfin, sur le Lac, on notera la légère augmentation relative du sodium jusque dans la cuvette Nord du Lac, à partir de laquelle, la composition relative en cation demeure inchangée jusque dans le Sud du Lac.

Les variations saisonnières de la composition relative des eaux en cations, ne sont vraiment remarquées que dans les extrémités Nord et Ouest du Lac où la proportion en sodium augmente nettement au cours de la période d'étiage. Une homogénéisation de la nature des eaux entre les zones Est et Ouest de la partie centrale du Lac, et entre la partie centrale et la partie Sud, apparaît également assez nettement (FIG 27-28).

Ainsi cette étude comparative permettra de souligner trois caractéristiques principales relatives à la composition chimique des eaux du Lac Togo.

a - La présence dans le Lac d'une masse d'eau unique de nature saumâtre dont la stabilité apparaît dans la constance de sa composition ionique relative en cation, et à laquelle se trouve confrontée la masse d'eau continentale des tributaires (jusqu'à présent, seul le Haho a été prospecté), dont la nature magnésienne équilibrée en alcalins évolue très brutalement au niveau même de l'embouchure.

- b - La présence d'une certaine polarité Nord-Sud sur le Lac, marquée par une légère évolution croissante de la composition en sodium des extrémités Nord et Ouest du Lac, jusqu'à la lagune de Togoville, mettant en évidence la nature saumâtre plus marquée des eaux de la lagune, susceptibles d'influencer les eaux du Lac.
- c - L'existence vraisemblable de phénomènes de circulation et de brassage des eaux dans le Lac, mise en évidence par la progressive disparition de la polarité Nord-Sud des eaux du Lac dont la composition relative en cation tend à s'homogénéiser sur l'ensemble du Lac, pour revêtir un caractère de plus en plus saumâtre, à dominance sodique renforcée, au cours de la période d'étiage.

Il convient toutefois d'interpréter les teneurs ioniques relatives avec une grande prudence, sachant que toute augmentation relative d'un ion peut être due à la diminution relative d'autres ions de la solution, et inversement.

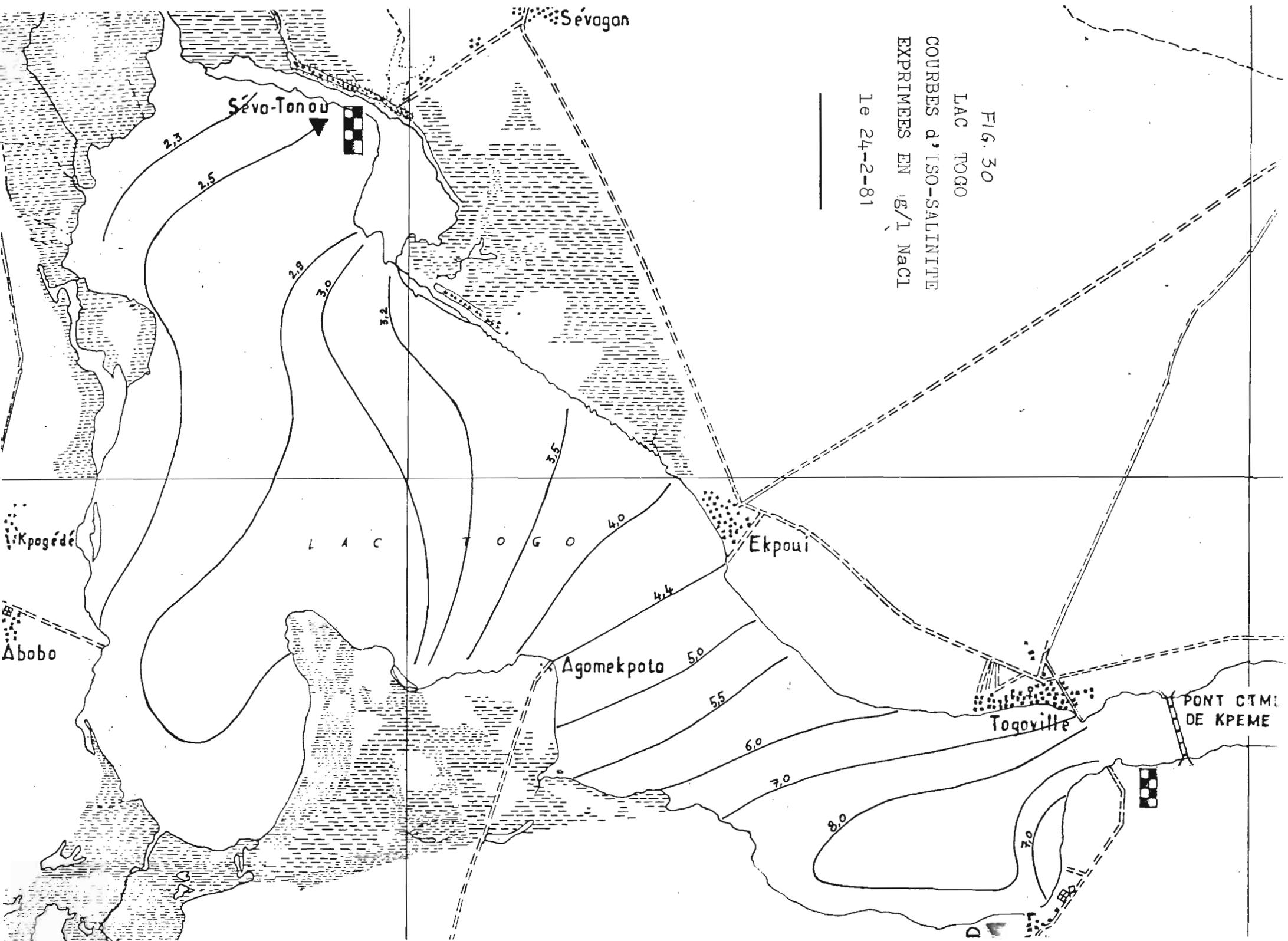
4. LES VARIATIONS SAISONNIERES DE LA SALINITE DES EAUX

L'évolution saisonnière de la conductivité des eaux du système lagunaire du Lac Togo, au cours de l'étiage 1981, ainsi que la relativement bonne corrélation mise en évidence entre la conductivité des eaux et leur salinité exprimée en gramme par litre de chlorure de sodium, nous a conduit à suivre l'évolution de cette salinité à différentes époques sur l'ensemble du Lac et des lagunes entre le 24 février et le 24 juillet 1981.

Les résultats sont présentés sous forme de courbes d'iso-salinité (g/l Na Cl) tracées sur le Lac (FIG 30 à 37), et de cartes établies pour chacune des lagunes (FIG 38 à 42).

La figure 30, présente l'aspect des courbes d'iso-salinité sur l'ensemble du Lac Togo le 24 février 1981, à la fin de la décrue du Lac. La salinité diminue de 8 g/l au Sud, jusqu'à 2,3 g/l Na Cl dans le Nord avec un gradient de variation décroissant du Sud vers le Nord.

On remarquera la forme de ces courbes d'iso-salinité qui se succèdent perpendiculairement aux rives sur l'ensemble du Lac exceptée dans la zone Sud-Est, où l'on notera la forme allongée de la courbe 8 g/l, ainsi que la diminution de la salinité à 7 g/l à l'extrémité Sud-Est du Lac.



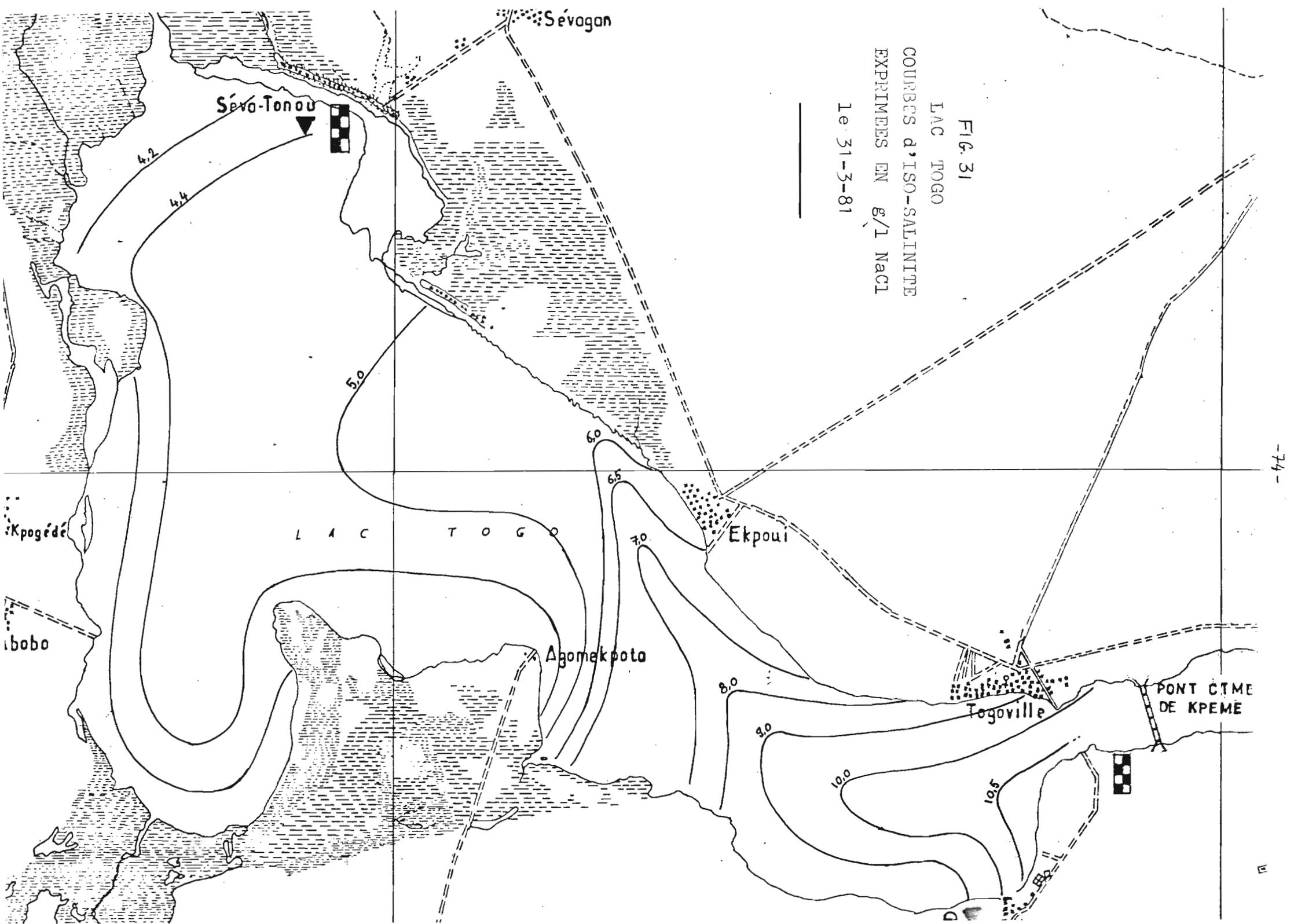


FIG. 31

LAC TOGO

COURBES d'ISO-SALINITE
EXPRIMEES EN g/l NaCl

1 cm = 31-3-81

FIG. 32
LAC TOGO
COURBES d'ISO-SALINITE
EXPRIMEES EN g/l NaCl
Le 03-6-81
en surface

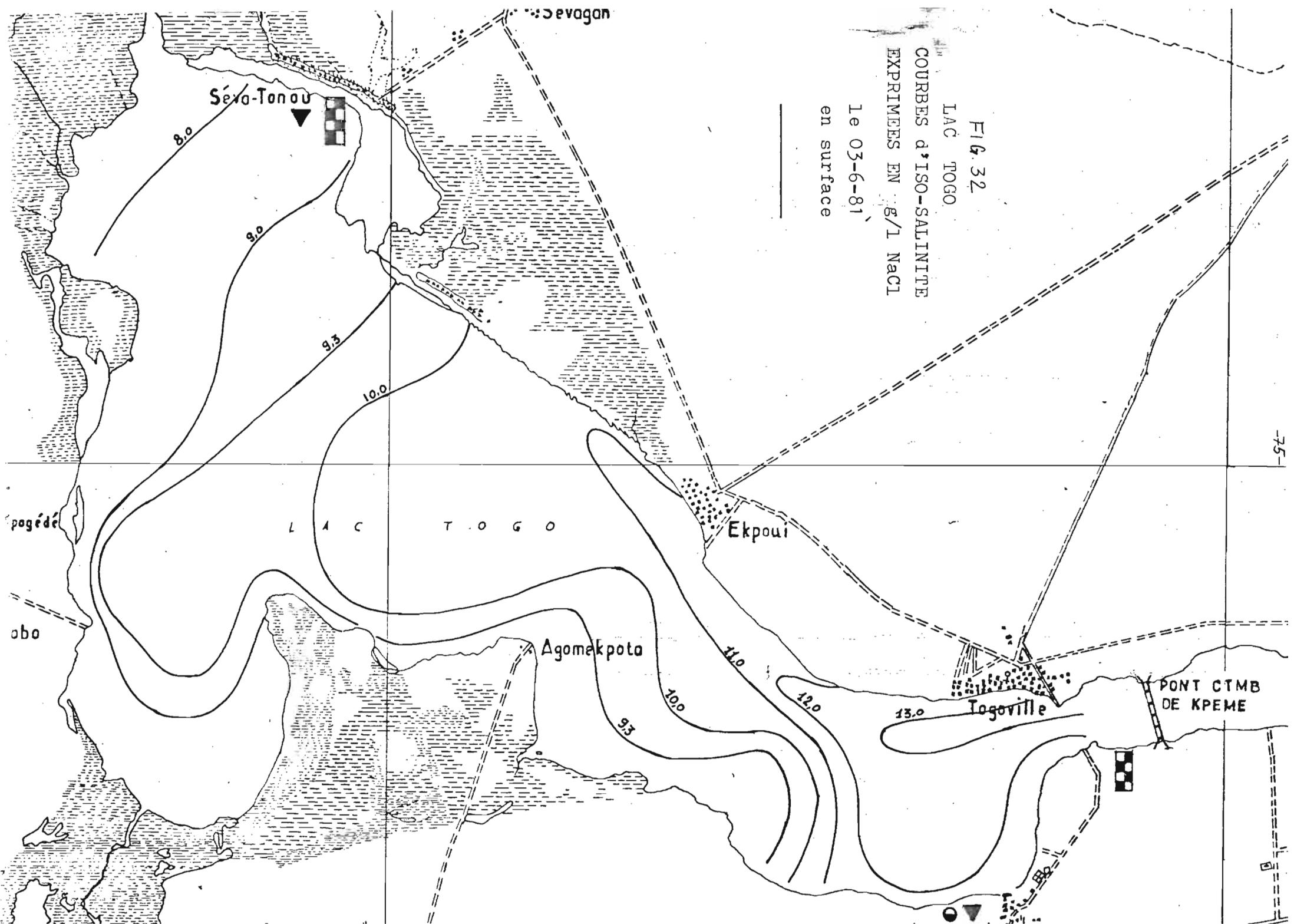
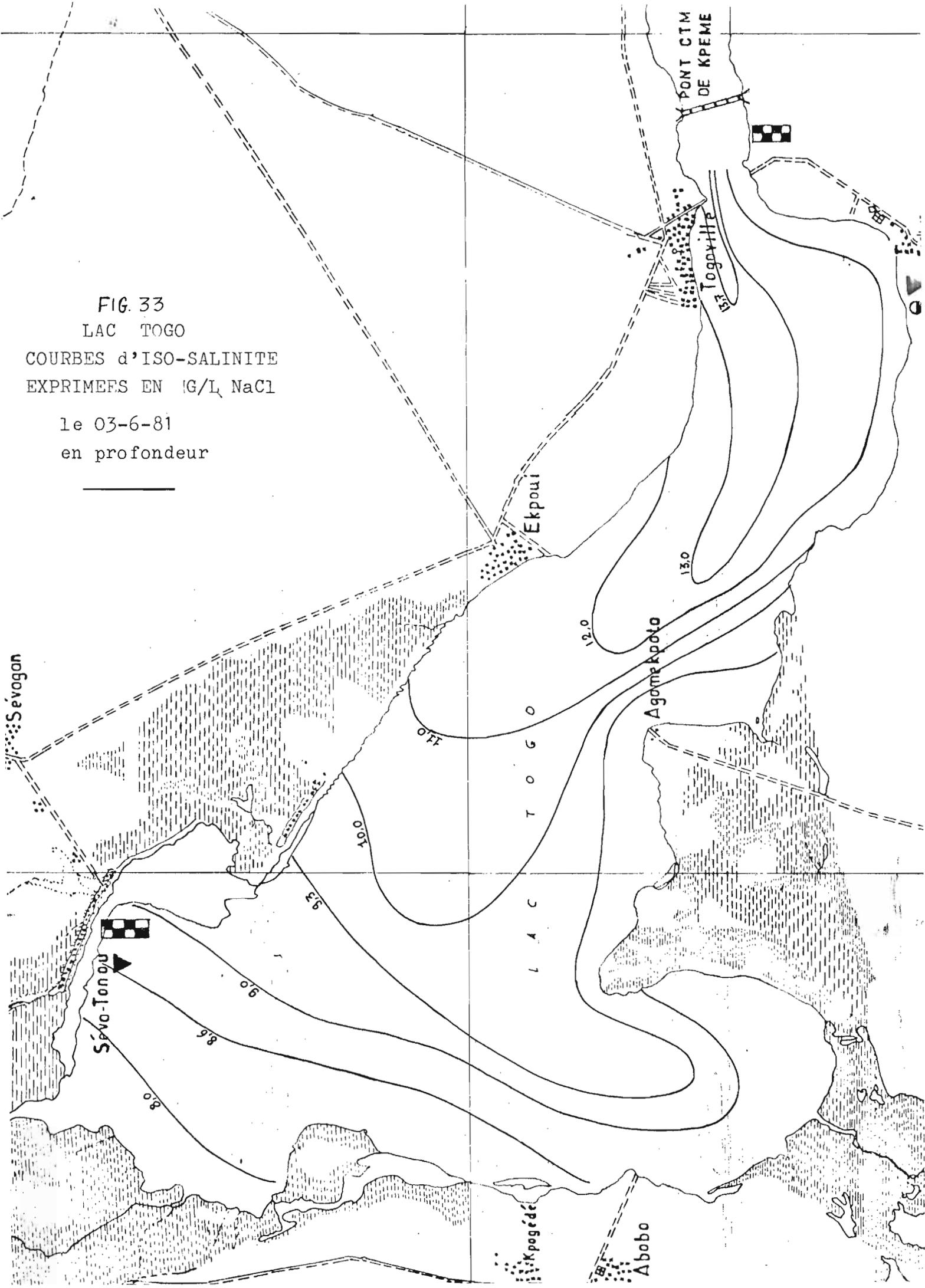


FIG. 33
LAC TOGO
COURBES d'ISO-SALINITE
EXPRIMEES EN (G/L NaCl
le 03-6-81
en profondeur



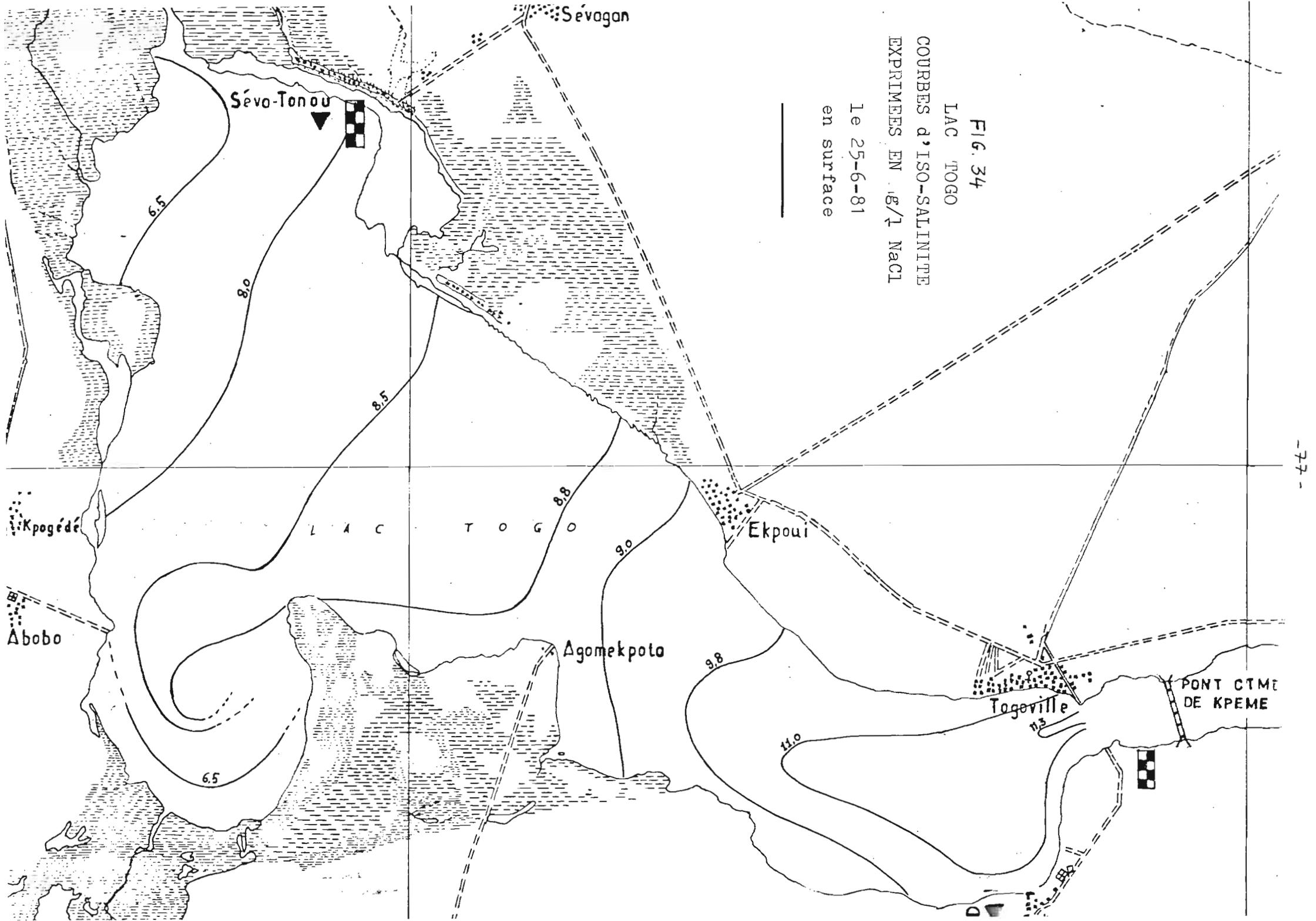


FIG. 34
 LAC TOGO
 COURBES d'ISO-SALINITE
 EXPRIMEES EN g/l NaCl
 Le 25-6-81

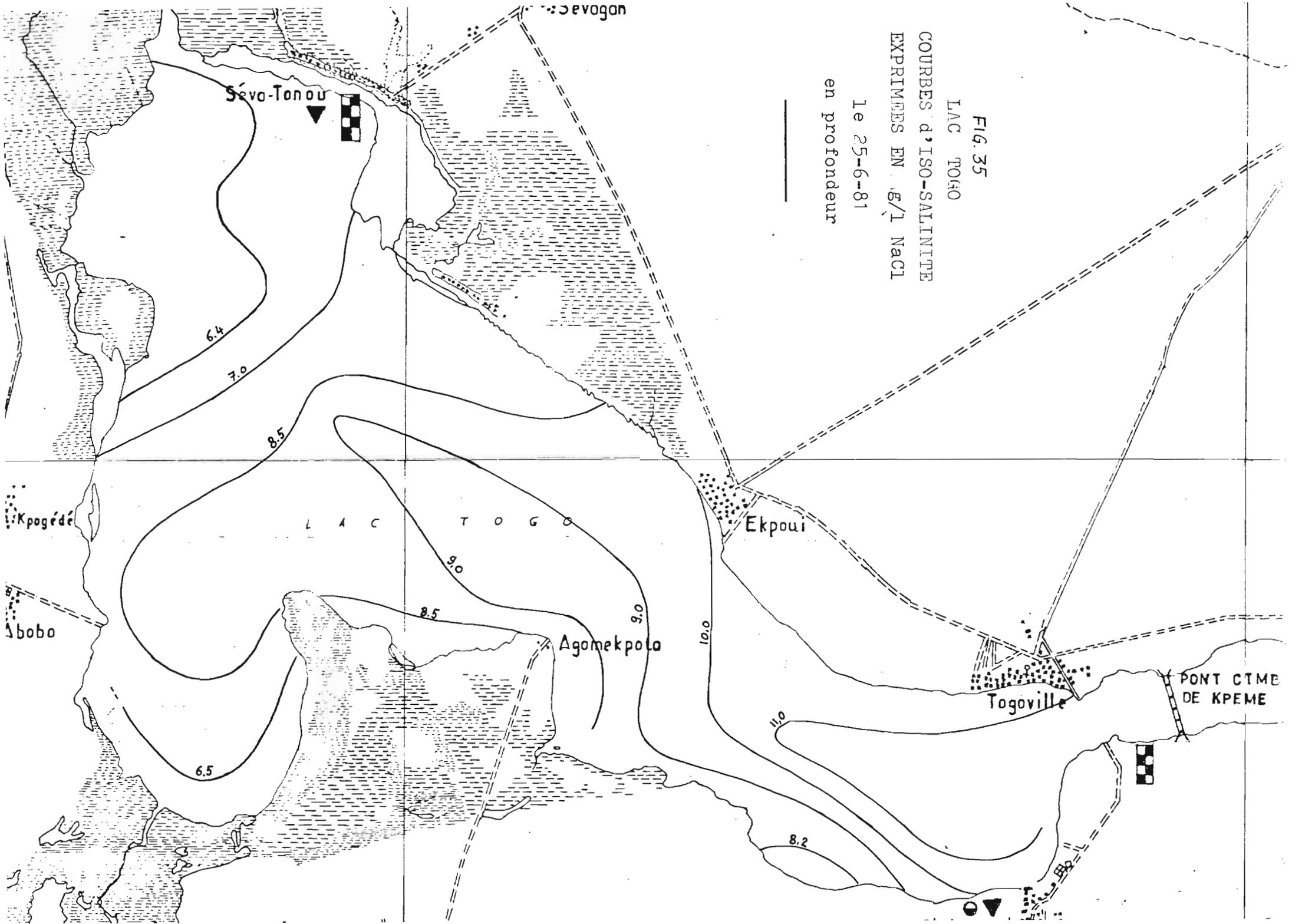
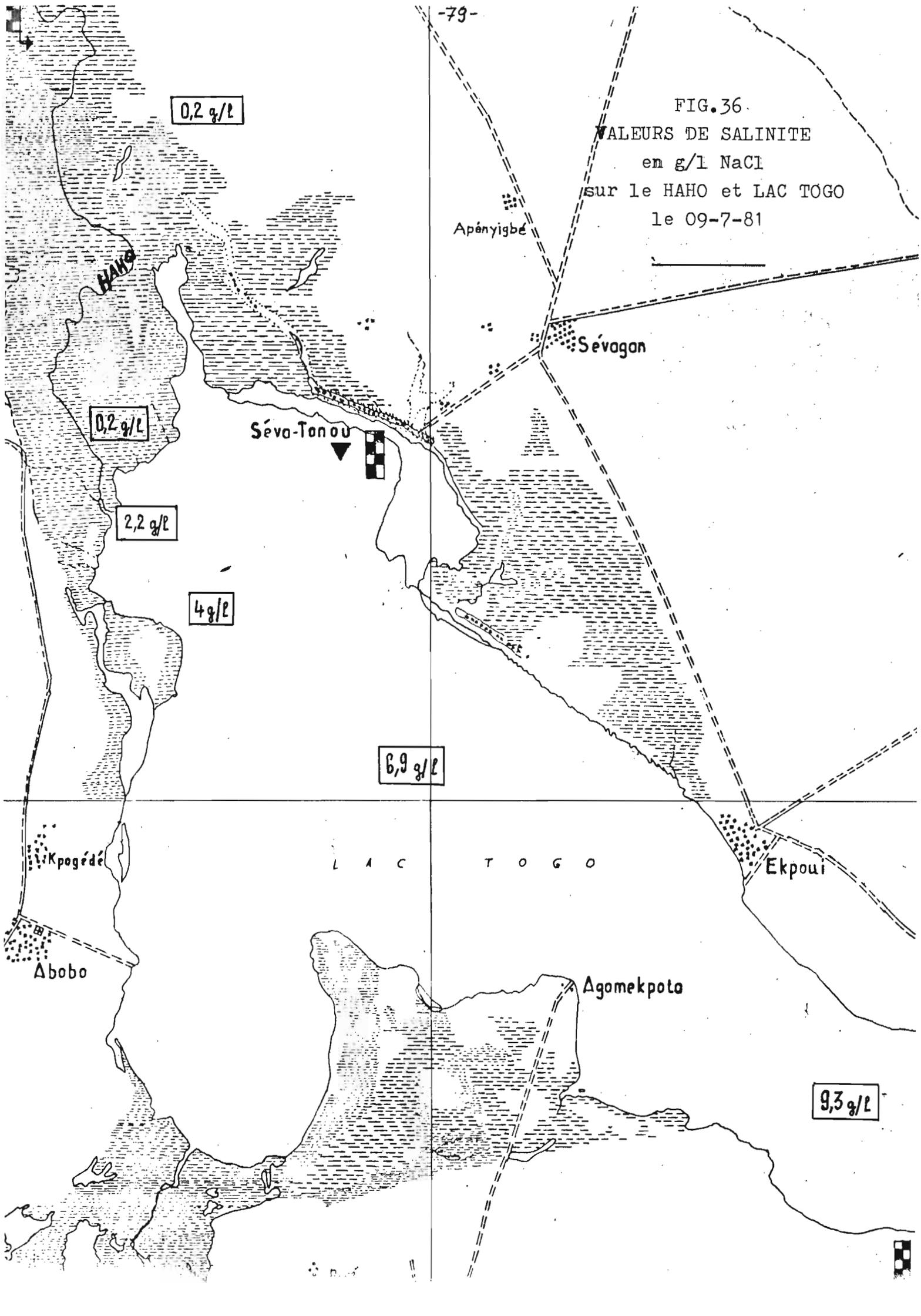


FIG. 36
VALEURS DE SALINITE
en g/l NaCl
sur le HAHO et LAC TOGO
le 09-7-81



La figure 31, présente les courbes d'iso-salinité sur le Lac, le 31 mars 1981, pendant la période d'étiage minimum.

La salinité varie de 10 g/l au Sud jusqu'à 4,2 g/l dans le Nord et 4 g/l à l'extrémité Sud-Ouest du Lac.

Les courbes se présentent de façon nettement incurvée, vers le Nord, dans la partie Sud du Lac et vers l'Ouest, dans la partie centrale.

Les figures 32 et 33, présentent les courbes d'iso-salinité sur le Lac le 3 juin 1981 respectivement en surface et en profondeur.

Les valeurs de la salinité des eaux diminuent de 13 g/l jusqu'à 8 g/l du Sud vers le Nord du Lac.

Les courbes d'iso-salinité s'allongent et deviennent parallèles aux rives, particulièrement au niveau du rétrécissement entre Agomekpota et Ekpoui marquant l'entrée dans la cuvette Nord du Lac.

On note également une extension vers le Nord des courbes d'iso-salinité élevée, plus importante en profondeur qu'en surface, et ce phénomène est particulièrement net en ce qui concerne les courbes 13, 12 et 11 g/l, présentes au Sud et dans le centre du Lac.

Les figures 34 et 35, présentent respectivement en surface et en profondeur, les courbes d'iso-salinité le 25 juin 1981, au début de la montée des eaux, au moment de la reprise de l'écoulement du Sio et du Haho.

La salinité varie de 11 g/l jusqu'à 6,5 g/l du Sud vers le Nord.

Les courbes d'iso-salinité apparaissent à nouveau plus étendue vers le Nord en ce qui concerne les eaux profondes, au niveau des parties Sud et Centrale du Lac, mais cette tendance semble s'inverser dans le Nord du Lac, où les isoconductivité 8 g/l et 6,5 g/l, sont situées plus au Nord en surface qu'en profondeur.

La figure 36, présente l'évolution de la salinité mesurée le 09 juillet 1981 depuis 6 km en amont de l'embouchure du Haho sur le Lac, jusque dans le Sud du Lac.

La salinité, égale à 0,2 g/l dans les eaux du Haho, passe brutalement en 500 mètres à 2,2 g/l au niveau de l'ouverture du Haho sur le Lac, puis à 4 g/l à 500 mètres plus au Sud, pour atteindre 9,3 g/l dans la partie Sud du Lac.

FIG. 37
 LAC TOGO
 COURBES d'ISO-SALINITE
 EXPRIMEES EN g/l NaCl
 le 24-7-81
 en surface

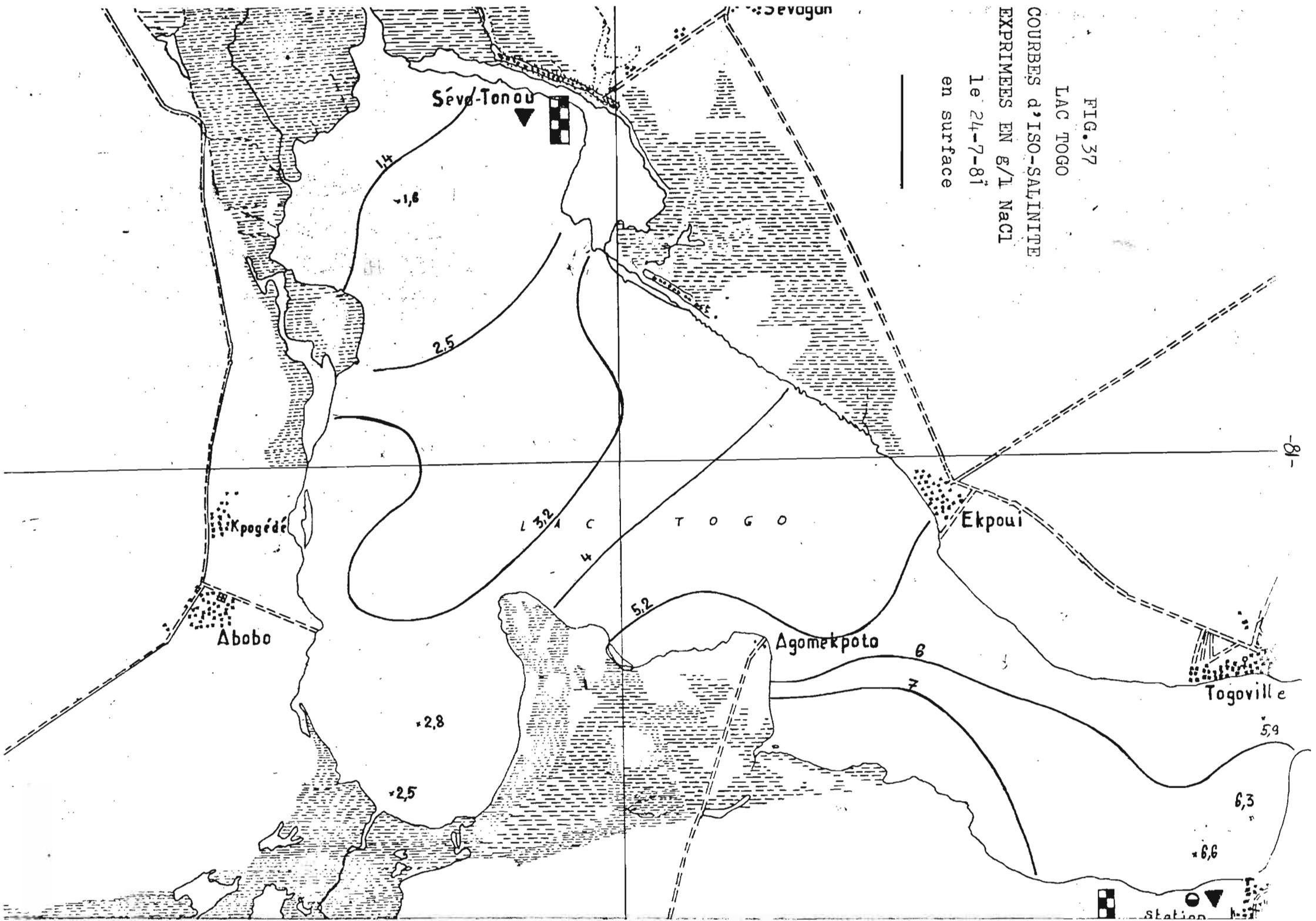
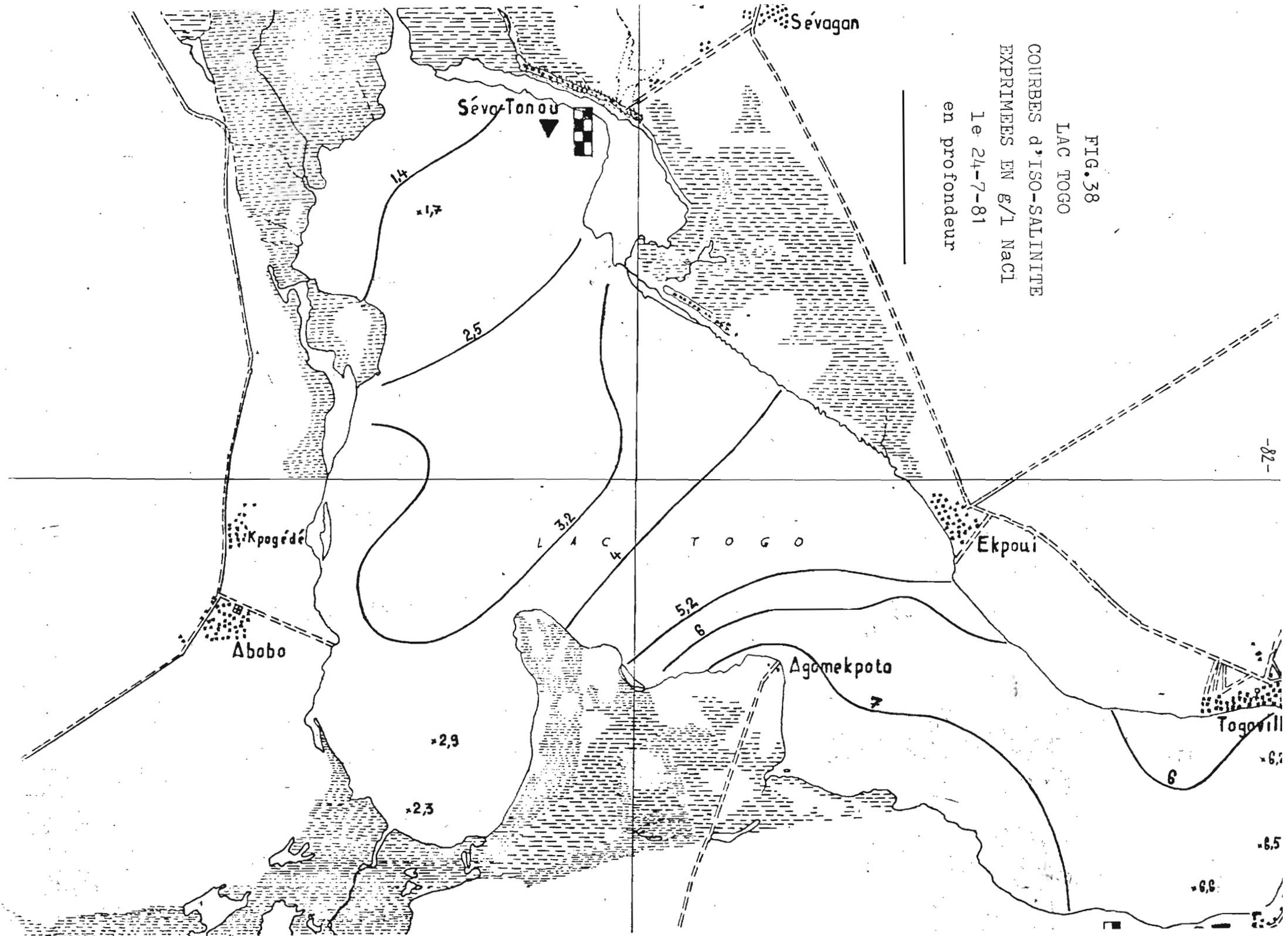
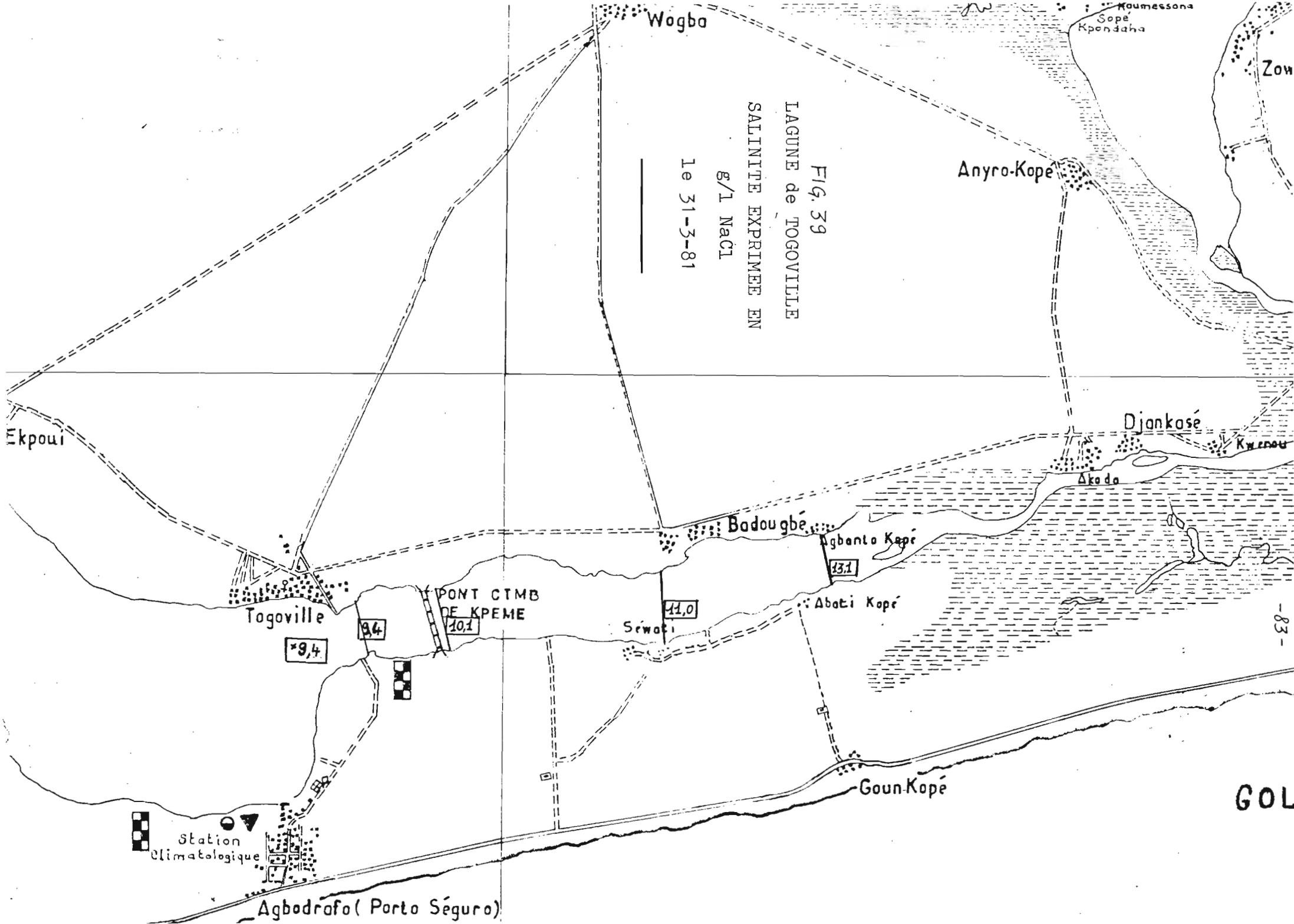


FIG. 38
 LAC TOGO
 COURBES d'ISO-SALINITE
 EXPRIMEES EN g/l NaCl
 le 24-7-81
 en profondeur





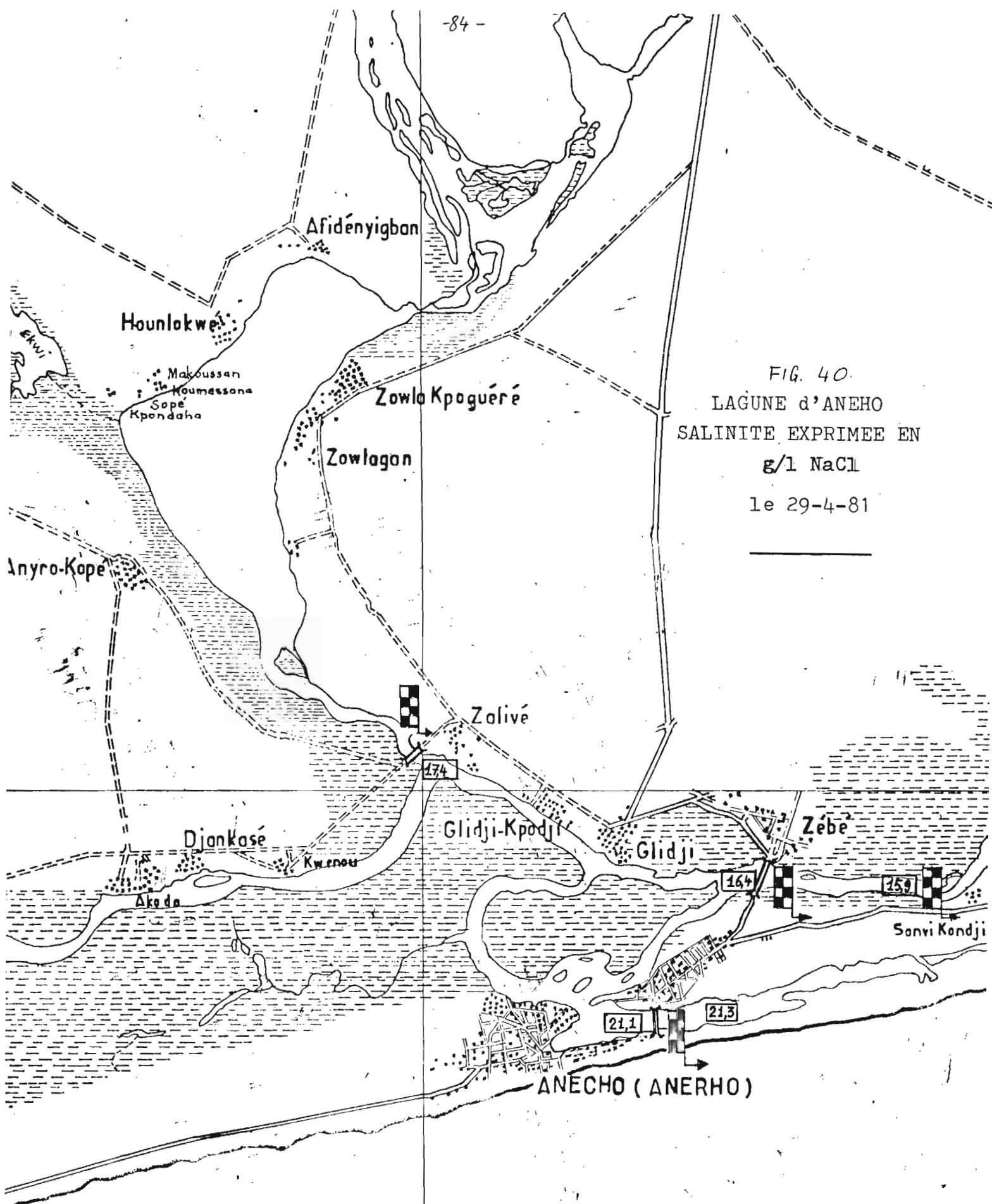
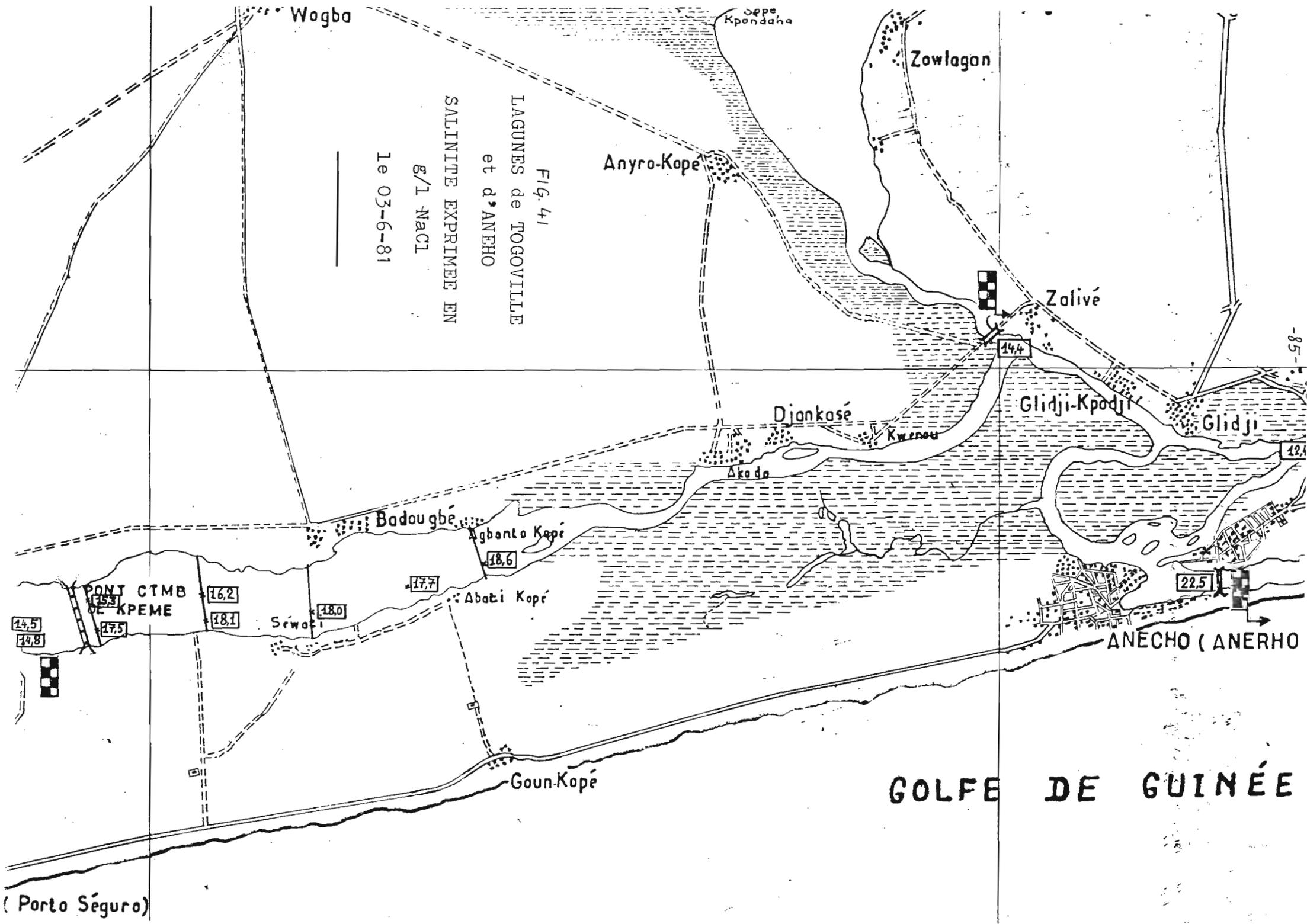


FIG. 40
 LAGUNE d'ANEHO
 SALINITE EXPRIMEE EN
 g/l NaCl
 le 29-4-81

GOLFE DE GUINÉE



Wogbo

Kope Kpondaha

Zowlogon

Anyro-Kope

FIG. 41
LAGUNES DE TOGOVILLE
et d'ANEHO
SALINITE EXPRIMEE EN
g/l NaCl
1e 03-6-81

Zolivé

14.4

Djanaké

Glidji-Kpodji

Glidji

12.1

Akoda

Kwenou

Badougbe

Agbanta Kope

18.6

Abati Kope

17.7

Serwat

18.0

PONT CTMB
DE KPEME

16.2

18.1

14.5
14.8

15.3

17.5

ANECHO (ANERHO)

22.5

Goun-Kope

GOLFE DE GUINÉE

(Porto Séguero)

Les figures 37 et 38, présentent les courbes d'isosalinité sur le Lac le 24 juillet 1981, respectivement en surface et en profondeur, en début de période de crue du Lac, un mois après la reprise de l'écoulement du Sio et du Haho.

La salinité varie de 7 g/l dans la zone Ouest de la partie Sud du Lac, jusqu'à 1,4 g/l à l'extrémité Nord du Lac.

Les courbes d'isosalinité ont tendance à s'incurver vers le Sud, à l'inverse de ce qu'était leur aspect au cours de l'étiage, et on remarquera, dans la partie Sud du Lac, un gradient de salinité orienté d'Ouest en Est, inverse par rapport à la période d'étiage.

Une légère stratification des eaux apparaît dans les parties centrale et sud du Lac, où l'isosalinité 6 g/l remonte jusqu'au-delà du village d'Agomekpota, en profondeur.

La figure 39, présente les valeurs de la salinité des eaux en g/l Na Cl dans la lagune de Togoville, le 31 mars 1981.

La salinité augmente au fur et à mesure que l'on descend la lagune d'Ouest en Est de 9,4 g/l devant Togoville, jusqu'à 13,1 g/l au niveau de Abati Kopé.

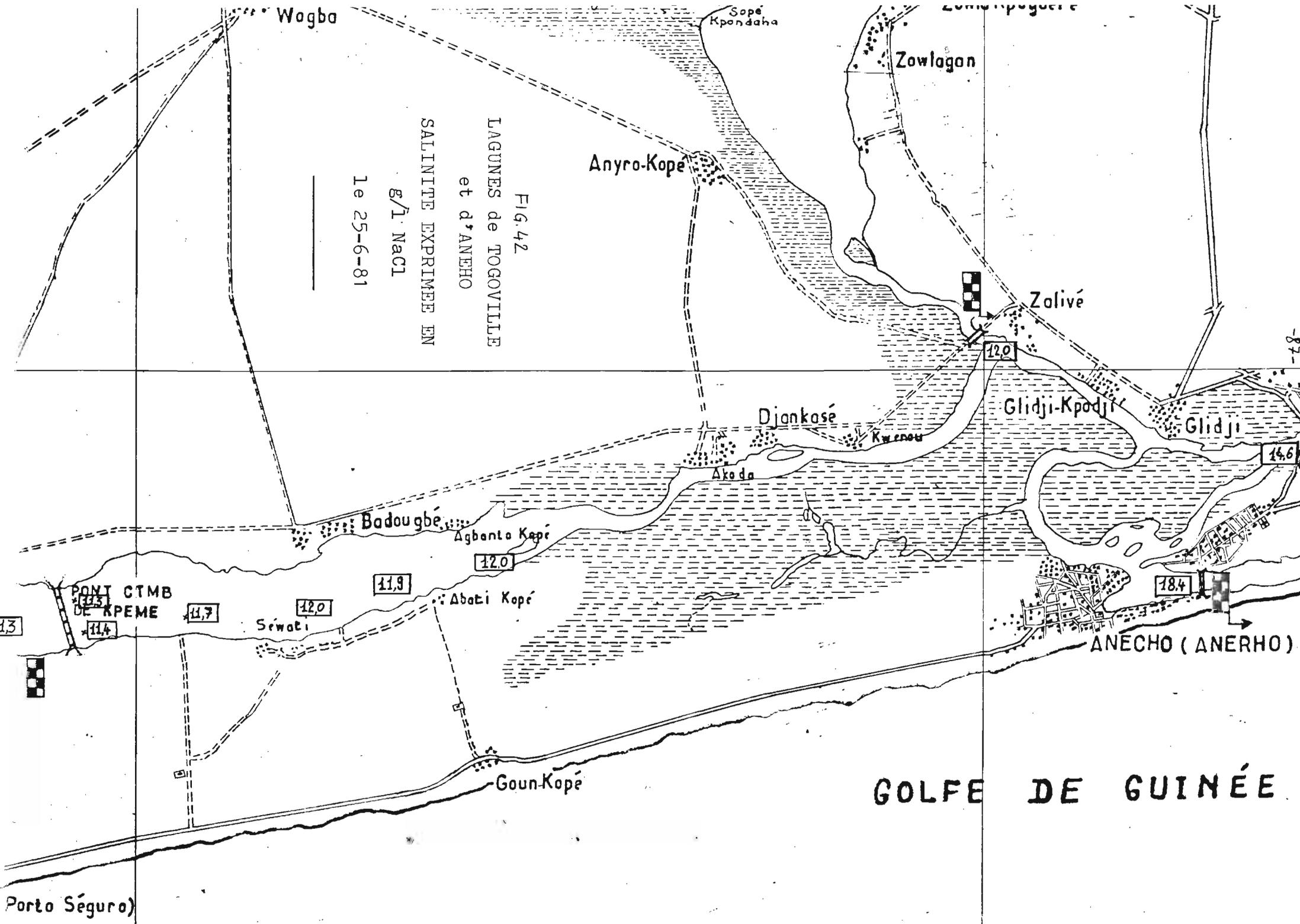
La figure 40, présente les valeurs de la salinité des eaux de la lagune d'Anèho, le 29 avril 1981.

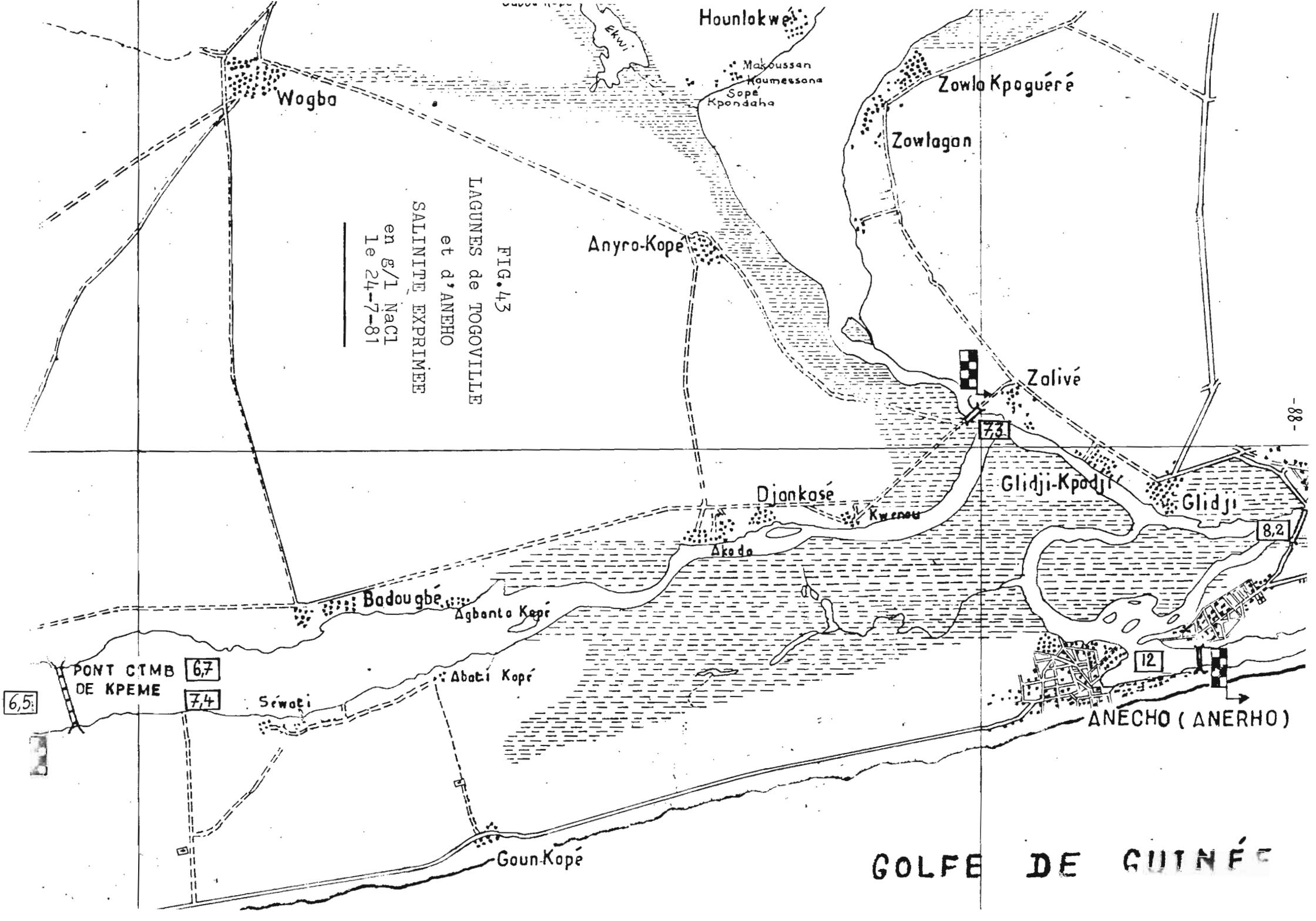
La salinité augmente de 17,4 g/l au confluent des lagunes de Togoville et de Vogan, jusqu'à 21,3 g/l, au niveau du cordon lagunaire à Anèho, avec une regression au fur et à mesure que l'on s'éloigne sur le bras du Mono vers l'Est.

La figure 41, présente les valeurs de la salinité sur l'ensemble des lagunes de Togoville et de Vogan le 3 juin 1981, où les valeurs maximales de salinité au cours de l'étiage ont été relevées.

La salinité diminue de 22,5 g/l Na Cl au niveau d'Anèho jusqu'à 14,5 g/l à l'extrémité Ouest de la lagune de Togoville. On remarquera le gradient latéral de salinité observé dans la partie Ouest de la lagune de Togoville.

Les figures 42 et 43, présentent la diminution de la salinité des eaux des lagunes de Togoville et d'Anèho, au cours de la période de montée des eaux, respectivement le 25 juin et le 24 juillet 1981.





La salinité diminue de 18,4 g/l à 11,3 g/l d'Est en Ouest le 25 juin, et de 12 g/l jusqu'à 6,5 g/l le 24 juillet, entre Anèho et Togoville.

On notera la disparition de la légère régression de salinité qui était encore observée au début du mois de juin au Nord et à l'Est de la lagune d'Anèho, par rapport à la lagune de Togoville, et le Sud de la lagune d'Anèho.

Les teneurs semblent en effet s'être homogénéisées au cours du mois de juin entre le centre de la lagune de Togoville, au niveau de Abati Kopé, et son extrémité Est, au niveau de Zébé. Ce phénomène pourrait être la résultante d'une influence tardive des eaux plus chargées d'Anèho ou de la lagune de Togoville, à Zébé et à Zalivé, où l'influence du bras du Mono se fait probablement longtemps sentir.

L'étude de l'évolution de la salinité au cours de l'étiage 1981, permet de remarquer le caractère polytypique des eaux du Lac Togo.

Le tableau 13 résume l'évolution du caractère salin des eaux des principales régions du Lac au cours de l'étiage 1981. La définition de ces différentes régions du Lac a tenu compte d'une polarité Est-Ouest constamment observée sur le Lac Togo quant à la qualité des eaux.

PERIODES ETIAGE 1981 REGIONS DU LAC	FEVRIER (fin décrue)	MARS (étiage minimum)	JUIN (salinité maximale)	JUILLET (début décrue)
NORD-OUEST	β oligohalines 2,6 %	α oligohalines 4,2 %	β mésohalines 8,8 %	β oligohalines 2,5 %
CENTRE	α oligohalines 3,8 %	β mésohalines 5,8 %	α mésohalines 10,5 %	β mésohalines 5,3 %
SUD-EST	β mésohalines 6,9 %	β mésohalines 9,2 %	α mésohalines 12,8 %	β mésohalines 6,6 %

Tableau 13 : Evolution saisonnière et régionale des caractéristiques des eaux du Lac Togo au cours de l'étiage 1981.

Les eaux du Lac n'ont conservé un caractère saumâtre sensu-stricto ($S \geq 5 \%$), pendant toute la période d'étiage, que dans la région Sud-Est, et les eaux de la région Ouest n'ont perdu leur caractère oligohalin que pendant les deux mois qui suivirent la période d'étiage minimum.

Les eaux des lagunes sont toujours demeurées mésohalines de février à juillet 1981, et des eaux polyhalines n'ont seulement été rencontrées qu'au niveau d'Aného de février à juin 1981. Les valeurs et la répartition de la salinité relevées au cours de l'étiage 1981 sur l'ensemble lagunaire du Lac Togo sont tout à fait similaires à celles observées sur le Lac Nokoué au cours de l'étiage 1980 (février-mars) après l'ouverture du chenal de Cotonou (TEXIER-COLLEUIL, 1980).

IV - TENTATIVES D'INTERPRETATION DE LA DYNAMIQUE DES EAUX DU LAC TOGO.

A - LES CARACTERISTIQUES DE L'ETIAGE 1980-1981

Devant la menace d'inondation de certains villages riverains du Lac, le cordon lagunaire a été mis en communication avec la mer, à la fin du mois de septembre 1980. La fermeture naturelle du cordon sous l'action de la mer et des courants côtiers, s'est achevée au mois de décembre suivant.

Pendant ces ^{trois} mois d'ouverture de la lagune, des échanges avec l'eau de mer se sont produits lors de la décrue du Lac, facilités par le balancement des marées.

De tels échanges avec la mer ne pouvaient rester sans conséquence, quant à la qualité des eaux du Lac Togo, qui se trouverait à l'étiage au début de l'année 1981, en milieu fermé et stable.

C'est ainsi que nous avons donné la priorité aux études hydro-chimiques du Lac Togo, dans le but de suivre l'évolution de la qualité des eaux du Lac et de quantifier l'influence de l'ouverture du cordon sur la mer, mais également, de pouvoir observer, par traçage salin, les caractéristiques régionales et saisonnières de la circulation des eaux dans le Lac, resté en milieu fermé du début de l'étude en février 1981, jusqu'à la reprise de l'écoulement des tributaires à la fin de juin 1981.

B - LES FACTEURS DE MISE EN CIRCULATION DES EAUX -
LA METHODE D'INVESTIGATION DU TRACAGE SALIN -

Les mouvements de circulation au sein d'une masse d'eau naturelle, stable, ce qui est supposé être le cas du Lac Togo à l'étiage, sont produits sous l'effet principal de l'agitation mécanique par les vents de la surface du plan d'eau, et qui peut être transmise plus ou moins jusqu'en profondeur, et sous l'effet de convections thermiques, surtout sensibles dans ces milieux holomictiques à faibles profondeurs. L'action prolongée d'un vent assez fort et régulier, ce qui est le cas du vent marin de secteur Sud-Ouest, sur le Lac Togo, au cours de la période d'é-tude, peut permettre la formation de courants linéaires, localisés, et surtout sensibles en surface.

Des mélanges entre des eaux de compositions chimiques différentes s'établissent progressivement à la faveur de ces turbulences mécaniques ou convectives, pour s'homogénéiser, ou non, sur toute l'é-paisseur de la tranche d'eau, et pour se développer différemment sur l'ensemble du plan d'eau en fonction des conditions locales, et régionales de l'éventation et de la morphologie du Lac.

En suivant l'évolution spatiale de certaines caractéristiques chimiques des eaux, il est donc possible de mettre en évidence les mou-vements de circulation des masses d'eau, ainsi que leurs caractéristiques régionales et saisonnières.

On rappellera que cette méthode n'est concevable que si l'on considère que les vitesses de diffusion des ions en solution ne sont pas significativement différentes des vitesses de déplacement des eaux, dans les limites des précisions liées aux analyses chimiques (5 % pour la salinité et la conductivité). On supposera ainsi que les constantes de temps des phénomènes de diffusion des ions sont très largement supé-rieures aux temps de résidence des eaux dans les différentes parties du Lac (M.A. ROCHE, 1980).

En ce qui concerne le Lac Togo, nous avons considéré l'évo-lution saisonnière des courbes d'isoconductivité (cf. § III-B-7, et FIG 11 à 19), et des courbes d'isosalinité exprimée en g/l Na Cl (cf. § III-C-4, et FIG 30 à 38), qui ont été tracées sur l'ensemble du plan d'eau à cinq époques différentes entre le 24 février et le 24 juillet 81.

Les incurvations de ces courbes et leur localisation variable d'une époque à une autre sur le Lac, ont permis de suivre les tendances et les caractéristiques de la circulation des eaux, avec parfois une distinction entre la surface et la profondeur.

Etant donné la faible superficie du Lac Togo, et son apparente homogénéité climatique, nous n'avons pas tenu compte de facteur de correction régional de la salinité des eaux, relatif aux phénomènes d'évaporation et de précipitation, qui ont été supposés homogènes sur le Lac.

C - LES CARACTERISTIQUES DE LA CIRCULATION DES EAUX DU LAC TOGO, AU COURS DE L'ETIAGE 1981 (FEVRIER-JUILLET)

Nous nous proposons de regrouper ici quelques observations suggérées par l'étude des cartes d'isoconductivité et d'isosalinité (FIG 11 à 19 et 30 à 38).

1. LA REMONTEE VERS LE NORD DES EAUX SALEES D'ORIGINE MARINE A TRAVERS LE LAC TOGO

Pressentie dès l'étude des diagrammes de composition relative en cation (cf. § III-C-3 et FIG 27-28-29), une influence des eaux à caractère sodique dominant, fortement salées, d'origine très probablement marine, et se développant progressivement au cours de l'étiage, jusqu'au Nord du Lac à partir de la lagune de Togoville, est confirmée par l'étude de la progression vers le Nord des courbes d'isoconductivité et d'isosalinité définies périodiquement sur le Lac.

a - La présence d'un "coin salé" :

Lors du débouché des eaux salées de la lagune dans la partie Sud du Lac, on remarque la présence d'un coin salé se développant dès le 24 février (FIG 11 et 30) à travers la partie Sud du Lac, que l'on voit progresser vers le Nord, plus rapidement le long de la côte Ouest, faisant face au débouché de la lagune, puis, un peu plus tard, envahir la cuvette Nord du Lac en longeant la côte Est au niveau du village d'Ekpoui et au-delà (FIG 12 et 31 du 31 mars 1981, FIG 13 et 32 du 3 juin 1981).

b - L'effet du vent :

Principal facteur de mise en mouvement des eaux du Lac, l'action du vent de secteur Sud-Ouest, permanent sur le Lac à l'époque considérée aura deux conséquences :

- Tout d'abord, latéralement, le brassage plus important des eaux dans la partie Est du Lac, permettant la progression plus rapide de la salinité des eaux le long de la côte Est de la cuvette-Nord du Lac.

- Ensuite, verticalement, un léger entrainement vers le Nord-Est, de la tranche d'eau superficielle, mis en évidence par la progression plus rapide de la salinité dans la couche d'eau profonde. Ce phénomène apparaît nettement dans la partie centrale du Lac le 31 mars 1981 (FIG 13 et 14). Une stratification des eaux apparaît également le 25 juin 1981 (FIG 15 et 16), mais l'influence des précipitations n'est plus à exclure à cette époque, dans l'interprétation de ce phénomène.

2. LE RETRAIT DU FRONT SALE - L'INFLUENCE DES EAUX CONTINENTALES

Sensible à partir du 25 juin 1981, dès le début de la montée des eaux (FIG 15 et 16, 34 et 35), la régression de la salinité est le fait de l'action conjuguée des précipitations, et des apports du Sio et du Haho.

La circulation des eaux présentent à cette époque deux caractéristiques.

a - Un début d'écoulement vers le Sud marqué par le fléchissement des courbes d'isoconductivité et d'isosalinité au Nord du Lac (FIG 15 et 34), puis sur l'ensemble du Lac le 24 juillet 1981 (FIG 17 et 37).

On remarquera ici encore, l'inertie de la masse d'eau en profondeur (FIG 16 et 35, 18 et 38) ainsi que le déplacement préférentiel des eaux le long de la côte Est de la partie centrale et Sud du Lac (FIG 17-18 et 37).

b - La présence de "poche" d'eau rémanente en profondeur, témoin de la progression de la salinité des eaux à l'étiage, et apparaissant devant l'embouchure du Sio, et au milieu de la cuvette centrale du Lac, au début de la montée des eaux (FIG 16 et 35).

3. LES VITESSES APPARENTES DE DEPLACEMENT DES EAUX

Si nous supposons que la salinité des eaux ne progresse que sous l'action des mélanges d'eau conditionnés par les effets du vent, à savoir brassage vertical de la branche d'eau, et entrainement latéral des eaux plus rapide en surface, nous pouvons calculer des vitesses moyennes apparentes de déplacement des eaux, en comparant la progression des courbes d'isoconductivité sur le Lac à différentes époques.

Une estimation des vitesses moyennes résultantes de déplacement des eaux dans le Lac Togo a ainsi été faite. Au début de l'étiage, entre le 24 février et le 31 mars 1981, les vitesses sont évaluées à 67 m/jour dirigées vers le Nord dans la partie Sud du Lac, et 160 m/jour vers le Nord, le long de la côte Est de la partie centrale du Lac. Enfin, jusqu'à la progression maximale vers le Nord de la salinité, entre le 31 mars et le 3 juin 1981, la vitesse a été évaluée à 115 m/jour le long de la côte Est. Par la suite, la méthode n'est plus crédible, en raison de l'influence des précipitations intervenant sur le Lac, et pour lesquelles aucune correction n'a été faite.

V - PERSPECTIVES D'ETUDE

A l'issue de cette étude d'étiage qui apporte quelques éléments concernant essentiellement la morphologie de cet ensemble lagunaire et quelques caractéristiques chimiques de ses eaux, confrontées au début de l'année 1981 à une influence marine, nous pouvons définir plus précisément les études qu'il serait souhaitable d'envisager sur ce milieu, dans un avenir proche afin d'en approfondir la connaissance. Ces études sont de trois types :

1) La définition d'un bilan hydrologique du système lagunaire

- Stade avancé des études hydrologiques engagées sur l'ensemble lagunaire du Lac Togo, un bilan hydrologique permettrait de découvrir et de quantifier tous les principaux éléments contrôlant le régime hydrologique de ce système complexe. La connaissance des paramètres d'un tel bilan exigera :

= l'évaluation la plus précise possible des lames d'eau précipitées sur le Lac -

= l'amélioration de l'estimation de la lame d'eau évaporée -
= l'étalonnage des stations de contrôle des tributaires du Lac
(en priorité, le Haho et la lagune de Vogan), et des exutoires du système
(occasionnellement le Mono et/ou la mer) afin de calculer les volumes
écoulés.

A plus long terme, si ce milieu peut être réputé en équilibre
stationnaire, le bilan hydrologique établi sur plusieurs années pourra
conduire à l'estimation du temps de résidence des eaux dans le Lac.

2) La tentative d'un bilan hydrochimique du Lac

La définition d'un tel bilan est très utile quant à l'estima-
tion de la charge minérale stockée dans les eaux du Lac, et surtout la
détermination du volume d'eau éventuellement perdu par infiltration. Mais
toutes ces calculs sont assujettis au fait de pouvoir considérer le Lac
à l'état d'équilibre stationnaire, ce qui reste encore impossible à dé-
terminer sur un laps de temps si court, sur ce milieu soumis à des
influences marines irrégulières.

3) La recherche des caractéristiques d'éventuelles relations existant entre la lagune et la mer

Pressenties en raison de l'étroitesse du cordon lagunaire
sableux au niveau d'Anèho, particulièrement, et de la répercussion sen-
sible sur la lagune d'Anèho d'un battement du niveau des eaux, susceptible
de provenir de la transmission d'un effet de marée à travers le cordon
lagunaire, ces éventuelles relations pourraient être recherchées par le
biais d'études piezométriques, voire même isotopiques (^2H , ^3H , ^{18}O)
sur la nappe phréatique des sables côtiers.

V - CONCLUSIONS

Ces six premiers mois d'étude du système lagunaire du Lac Togo, ont permis, tout en mettant au point une méthodologie d'approche de la qualité des eaux, en harmonie avec les moyens analytiques disponibles au Centre ORSTOM de Lomé, de suivre les caractéristiques de la salinité des eaux du Lac en cette période particulière de l'étiage 1981, et de procéder à un certain nombre d'installations limnigraphiques et météorologiques dont les enregistrements seront précieux au cours des années à venir.

Il serait en effet très souhaitable que cette étude préliminaire puisse être poursuivie au cours de plusieurs années, afin d'aboutir à l'établissement d'un bilan hydrologique, et de pouvoir comparer les caractéristiques de la qualité des eaux du système entre les années d'ouverture et les années de fermeture du cordon sur la mer.

Le système lagunaire du Lac Togo est un bon exemple parmi les milieux saumâtres du même type fréquemment rencontrés le long de la côte sableuse du Golfe de Guinée. La connaissance de ses caractéristiques hydrologiques, chimiques, ses relations avec la nappe côtière et la mer, ainsi que son régime d'évaporation peu connu sous de tel climat, mérite d'être approfondie.

Ces études pourront être menées, conjointement à des études hydrobiologiques quantitatives, dans le cadre d'une politique de mise en valeur, essentiellement piscicole, de ce milieu naturel, et contribuer le cas échéant, à la définition de projets d'aménagements agricoles, et d'ouvrages hydrauliques visant à contrôler son ouverture sur la mer.

On donnera en ANNEXE un premier inventaire, sommaire, des espèces principales de poissons et de crustacés, rencontrées dans le Lac Togo en fonction de son régime hydrologique ainsi que des principales techniques de pêche pratiquées sur le Lac (enquête personnelle auprès du Centre de Recherches Halieutiques d'Agbodrafo).

A N N E X E

Liste des espèces de vertébrés et de crustacés rencontrées en fonction du régime hydrologique du Lac TCCO.

I. Espèces permanentes sur l'ensemble du Lac :

- Tilapia zilli (cyclidé)
- Tilapia heudeloti
- Hemichomis fasciatus (id.)
- Chrysichthys walkeri (bagridé)
- Chrysichthys negro digitatus (abonde surtout en saison humide)
- Parophio cephalus obscurulus (ophiocéphalidé)
- Hepsetus odoe (characidé)
- Clarias lazera (claridé)

II. Espèces n'apparaissant qu'à l'étiage dans la zone centrale du Lac :
(février-août)

- Hemimastax fimbriata (clupiidé)
- Mugile cephalus (mugilidé)
- Mugile capito
- Cynoglossus senegalensis (cynoglossidé)
- Trachynotus maxillosus (gobiidé)
- Pristipoma sp.
- Callinectes et Penaeus duorarum

NB. Ces espèces d'origine marine ou saumâtre ne se développent dans le système lagunaire qu'à la faveur de l'ouverture du cordon sableux d'Anêho, qui n'est réalisée qu'une fois tous les deux ans en moyenne, en fonction de la menace de crue. Cette discontinuité dans le temps des relations entre la lagune et la mer, explique la raréfaction progressive des espèces pré-citées, au cours de l'année qui suit la fermeture du cordon. L'ouverture artificielle du cordon ne dure qu'environ quatre mois, en raison de l'ensablement très rapide entretenu par les courants marins.

III. Espèces n'apparaissant qu'à la saison des pluies (juillet), dans la partie centrale du Lac, et rencontrées jusqu'en décembre.

- Malapecturus electricus
- Ctenopoma guntheri (alabantidé) abondant

-Heterotis niloticus (osteoglossidé)	abondant
-Gnathonemus sp. (mormyridé)	
-Synodontis batensoda (mochokidé)	abondant
-Synodontis schall	
-Gymnarchus (gymnarchidé) esp : niloticus	
-Polypterus senegalus (polypteridé)	
-Macrobrachium	
-Protopterus aneichtens (dipneuste)	

IV. Techniques de pêche :

- A l'étiage, pêche à l'épervier, en de petits acadjas, au filet maillan.
- A la montée des eaux, filet maillan, nasse de grillage en zone inondée, palangre tendue ou ligne.

NB : La présente liste n'est pas limitative.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

CARMOUZE J.P. (1969)

La salure globale et les salures spécifiques des eaux du Lac Tchad.
Cah. ORSTOM - sér. Hydrobiologie - vol.III, n° 2, 1969.

CARMOUZE J.P. (1973)

Régulation hydrique et saline du Lac Tchad.
Cah. ORSTOM. sér. Hydrobiologie - vol.VII, n° 1, 1973.

CARMOUZE J.P. (1976)

Les grands traits de l'hydrologie et de l'hydrochimie du Lac Tchad.
Cah. ORSTOM - sér. Hydrobiologie - vol. X, n° 1, 1976.

COLOMBANI J. (1967)

Note sur les mesures de transport solide en solution et de qualité
des eaux effectuées au TOGO de 1965 à 1967.
ORSTOM - Centre de Lomé.

COLOMBANI J., LAMAGAT J.P. (1968)

Etude de l'évaporation au Togo.
ORSTOM - Centre de Lomé.

DUSSART B. (1966)

Limnologie - L'étude des eaux continentales.
Ganthier-Villars, Edit. Paris.

FONTES J.C. (1976)

Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles : quelques aspects.
Thèse Doctorat d'Etat - Univ. Paris VI - Octobre 1976.

I G N (1960)

Lomé 1b, 1d, 2a-2c (feuilles NB-31 XIV)
Carte au 1/50 000 du TOGO.

KIENER (1978)

Ecologie - Physiologie et économie des eaux saumâtres.
Masson, Edit. Paris.

LABORATOIRE DU C.T.G.R.E.F. (1980)

Division Pêche et Pisciculture
Méthodes d'Analyses - Note interne - Paris.

MISBET M., VERNEAUX J. (1970)

Composantes chimiques des eaux courantes.

Annales de Limnologie, t. 6, fasc. 2, 1970, pp. 161-190.

POUYAUD B. (1979)

Etude de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien :
le Lac de BAM (Haute-Volta).

Cah. ORSTOM - sér. Hydrologie - vol.XVI, n° 2, 1979.

RIOU C. (1970)

Evaporation en bac, et évapotranspiration potentielle.

Expression de l'évaporation d'une petite nappe d'eau en fonction
des données sous abri.

Cah. ORSTOM - sér. Hydrologie - vol.VII, n° 3, 1970.

RIOU C. (1972)

Etude de l'évaporation en Afrique Centrale.

Cah. ORSTOM - sér. Hydrologie - vol.IX, n° 2, 1972.

RIOU C. (1975)

La détermination pratique de l'évaporation.

Mémoire ORSTOM - n° 80, Paris, 1975.

ROCHE M.A. (1969)

Evolution dans l'espace et le temps de la conductivité électrique
des eaux du Lac Tchad, d'après les résultats de 1908, 1957,
1962 à Mars 1968.

Cah. ORSTOM - sér. Hydrologie - vol.VI, n° 1, 1969.

ROCHE H.A. (1980)

Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydro-
logique du Lac Tchad.

Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 117, Paris, 1980.

TEXIER H., DOSSOU C., COLLEUIL B. (1979)

Etude de l'environnement lagunaire du domaine margino-littoral
Sud-Béninois - Etude hydrologique préliminaire du Lac Nokoué.
Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine. Bordeaux, n° 25, pp.149-166.

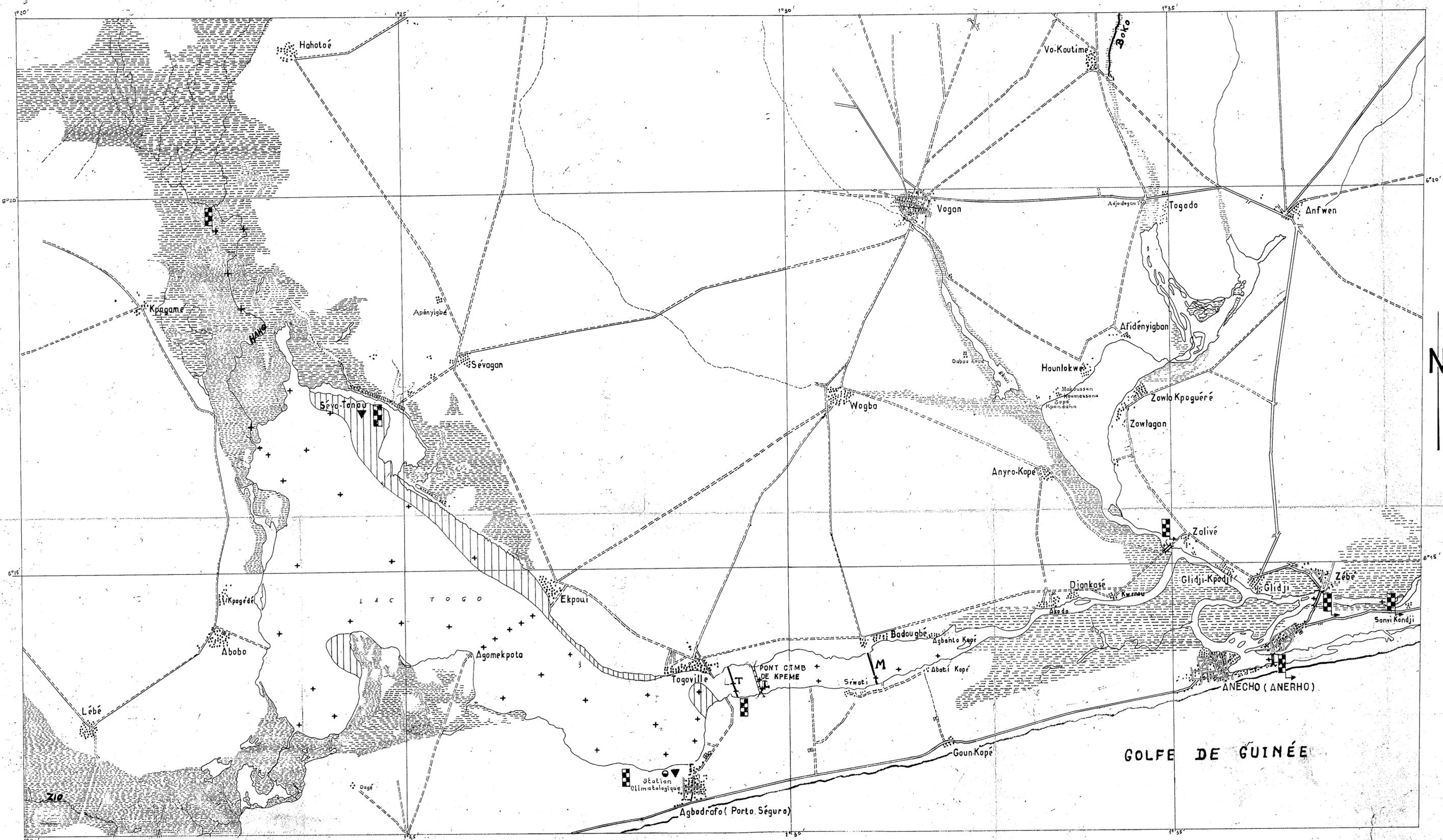
TEXIER H., COLLEUIL B., PROFIZI J.P., DOSSOU C. (1980)

Le Lac Nokoué, environnement du domaine margino-littoral
Sud-Béninois : Bathymétrie, lithofaciès, salinité, mollusques
et peuplements végétaux.
Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine. Bordeaux, n° 28, pp.115-142.

UNIVERSITE PARIS VI (1980)

Laboratoire du Centre de Recherches Géodynamiques de THONON.
Méthodes d'Analyses - Note interne - Thonon.

I ΔC TOGO
 FT I AGINE D'ANEHO
 ECHEI F: 1/50.000



LEGENDE

- Batterie d'échelles Limnimétriques
- Limnigraphe
- Station climatologique
- Pluviomètre
- Zone inondée
- Zone de fond induré
- Station de prélèvement
- Section définie sur la lagune.