

## CAMPAGNE CINECA V - CAPRICORNE

## H Y D R O L O G I E

par

B. VOITURIEZ

ORSTOM - CRO d'Abidjan

## 1.- INTRODUCTION

A l'origine une des missions du CAPRICORNE au cours de cette campagne était de faire une description aussi serrée que possible de l'hydrologie de la région étudiée. Mais l'impossibilité d'utiliser la sonde STD0 du fait de l'avarie du treuil à contacts tournants du navire et le recours aux stations hydrologiques ont restreint considérablement l'intérêt d'une telle description que l'on limita finalement à de rapides descriptions de surface pour délimiter les principales régions de remontée d'eaux froides. On ne peut donc espérer avoir une <sup>vue</sup>vue/synoptique de la situation hydrologique à un moment quelconque. On devra se contenter des renseignements partiels qu'apportent les stations hydrologiques sur la structure verticale et les masses d'eau en présence. D'autre part l'absence de mesures de courant rend impossible l'évaluation des échanges horizontaux ou verticaux.

Une des difficultés de l'étude hydrologique de la région du Cap Blanc vient du fait que c'est une région de transition. Récemment HUGHES et BARTON (1974) ont montré qu'au printemps 1969 il y avait au niveau du Cap Blanc une discontinuité dans la distribution de la salinité de surface marquée par un important gradient nord-sud ( $S > 36\text{‰}$  au nord de  $21^{\circ}\text{N}$  et  $S < 36\text{‰}$  au sud de  $21^{\circ}\text{N}$ ). De même en suivant l'évolution des diagrammes TS du sud au nord ils ont montré qu'au large l'eau centrale sud atlantique ne dépassait pas le Cap Blanc alors que près de la côte, donc dans la région d'upwelling, les couches d'eau supérieures représentaient un intermédiaire entre les eaux centrales nord et sud atlantique. En fait ces deux discontinuités, en surface et en sub-surface, sont toutes les deux liées à la progression vers le nord de l'eau centrale de l'atlantique sud; les eaux d'upwelling qui font surface dans la région sud

16 SEP. 1975

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 7720 Ocea.

sont des eaux centrales sud atlantiques ( $S = 35.50$ ,  $T = 15^\circ$  au Cap Timiris en 1972 HERBLAND et al., 1973); celles qui font surface au nord sont des eaux centrales de l'atlantique nord ( $T = 17.22$ ,  $S = 36.26$  NEHRING et al., 1973 à  $23^\circ N$ ). La région du Cap Blanc est donc la région d'upwelling où l'on passe des eaux sud aux eaux nord. La prépondérance de l'une ou l'autre des eaux centrales a une importance pour la production de la région: en effet les eaux centrales sud sont beaucoup plus riches en sels nutritifs que les eaux centrales nord. La progression des eaux sud atlantique vers le nord semble favorisée par l'existence sur la pente continentale d'un sous-courant partant au nord et transportant un minimum de salinité, trace de l'eau centrale sud-Atlantique, que HUGHES et BARTON (1973) ont suivi du Cap Vert jusqu'au Cap Bojador et TOMCZAK (1972) jusqu'à  $28^\circ N$ . A ce minimum de salinité situé sur  $\sigma_t = 26.8$  est souvent associé un minimum de température (HERBLAND et al., 1973).

L'hydrologie de cette région se trouve encore compliquée du fait de la proximité du banc d'Arguin sur lequel une forte évaporation provoque la formation d'eaux très salées qui plongent sous la surface TOMCZAK (1973).

## 2.- HYDROLOGIE DE SURFACE

On a représenté sur la figure (1) les températures de surface mesurées aux 53 stations faites durant la mission entre le 10 mars et 28 mars. Cette carte donne des indications relativement cohérentes qui comparées aux diverses prospections de surface faites entre le 8 et le 19 mars donne des indications sur les remontées d'eau froide. Cette carte montre l'existence de deux régions de remontée d'eau ( $T < 16^\circ C$ ) l'une centrée sur  $21^\circ 25' N$  et  $17^\circ 15' W$  à une quinzaine de milles de la côte, l'autre collée à la côte dans la région du Cap Blanc, mais elle n'indique pas s'il y a continuité entre ces deux régions. La carte des températures de surface établie les 14 et 15 mars (fig.2) semble montrer que la région nord de remontée s'étend en fait vers le sud jusqu'à au moins  $21^\circ N$  sur des fonds compris entre 50 et 200 et la carte établie les 18 et 19 mars suggère qu'elle s'élargit vers le sud en rejoignant la poche d'eau froide du Cap Blanc. En effet à  $19^\circ 50' N$  on observe des températures inférieures à  $16^\circ$  depuis la côte jusqu'à  $17^\circ 50' W$ .

Par rapport à la situation observée le mois précédent (Février 1974) par le CAPRICORNE on peut noter deux différences notables. En février les remontées d'eaux froides formaient une bande continue du Cap Corveiro jusqu'au sud du Cap Blanc, centrée à la rupture du plateau continental sur des fonds compris entre 100 et 200 mètres, alors que toute la côte était baignée par des eaux chaudes et salées (VOITURIEZ, 1974). D'autre part, si dans les deux cas les températures les plus froides atteintes en surface étaient voisines (15.7) il n'en était pas de même de la salinité. En mars il n'a pas été observé de salinité de surface inférieure à 36.10‰ alors qu'en février elle est descendue à 35.85‰. On peut en déduire qu'en mars les eaux centrales de l'atlantique sud entrent pour une moindre part qu'en février dans la composition des eaux qui font surface. Ceci est d'ailleurs confirmé par les teneurs de nitrate observées en surface: elles ne dépassent pas 12  $\mu\text{atg/l}$  en mars alors qu'elles atteignaient 20  $\mu\text{atg/l}$  en février.

### 3.- STRUCTURE VERTICALE

#### 3.1.- LES COUPES

Deux coupes ont été faites au cours de cette campagne. La première (St. 2-9) à peu près perpendiculairement à la côte à une latitude de 21°25N pour avoir une image de la structure de l'upwelling (fig.3); la deuxième (St. 31-38), faite vers le sud-ouest à partir du Cap Corveiro suivait l'axe d'évolution supposé des eaux de remontée (fig.4).

Ces coupes montrent qu'il est difficile par des moyens classiques d'obtenir des renseignements précis sur la structure d'un upwelling en faisant des coupes. L'échelle du phénomène impose une échelle de travail dans le temps et dans l'espace incompatible avec les moyens dont disposait le CAPRICORNE du fait notamment de l'impossibilité d'utiliser la sonde STD.

On remarquera cependant qu'au vu de la deuxième coupe (St. 31-38) on ne saurait affirmer avoir suivi l'axe de l'évolution des eaux d'upwelling.

On notera enfin, sur la première coupe, à la station 3 entre 200 et 400 mètres la succession d'un maximum et d'un minimum de salinité accompagné d'une inversion de température; et sur la deuxième à la station 36 la présence d'une poche d'eaux froides et peu salées. Ces deux phénomènes liés à la présence d'un sous-courant seront analysés plus loin.

### 3.2.- LES STATIONS FIXES

Deux stations en un point fixe ont été occupées pendant 24 heures la première sur des fonds de 60 mètres par 21°25N et 17°14W (St. 13 à 19), la deuxième sur des fonds de 27 mètres par 20°52N et 17°08W dans les eaux froides voisines du Cap Blanc. A la première station on a observé deux couches séparées par une thermocline située, de façon constante, entre 40 et 50 mètres (fig.5). La couche supérieure s'est réchauffée en fin de station provoquant l'apparition d'une légère thermocline à 15 mètres de profondeur. Cet échauffement n'est pas simplement dû aux variations diurnes; il est en effet, accompagné d'un accroissement de salinité et correspond donc à un mouvement de masse d'eau. En revanche la couche inférieure ne cessa de se refroidir en même temps que la salinité décroît ce qui traduit également un mouvement d'eau. Il n'est, malheureusement, pas possible de connaître la direction de ces mouvements puisque l'on ne connaît pas les gradients horizontaux de salinité et température.

Au deuxième point fixe la colonne d'eau était pratiquement toujours homogène sauf à la station 26 qui, en surface, était nettement plus chaude et plus salée que les autres. Les valeurs observées varient cependant d'une station à l'autre et ces variations peuvent être soit le fait des mouvements du navire soit le fait de mouvements horizontaux ou verticaux de la masse d'eau.

### 3.3.- LES MASSES D'EAU

L'analyse de l'ensemble des diagrammes TS est certainement plus riche d'enseignements que la description de ces coupes. Sur la figure 6 la station 11 représente une station située dans le nord de la zone et la station 38 une station du sud. Sur cette figure sont également représentées les eaux centrales de l'Atlantique Nord (SVERDRUP et al., 1942) et les eaux centrales de l'Atlantique Sud définies à partir des campagnes CINECA du CAPRICORNE et de la Thalassa (Février-Août 1973), de la campagne dome de Guinée du CAPRICORNE (Août 1973) et de celle de l'A. Von HUMBOLDT (1971). On voit qu'en passant du sud au nord le diagramme TS se rapproche de la droite représentant les eaux centrales de l'Atlantique nord mais qu'il en reste différent. La rupture de pente observée sur la station 11 à 13°C est un

phénomène général observé dans cette partie de l'atlantique et qui correspond au mouvement vers le nord des eaux centrales de l'atlantique sud sur  $\sigma_t = 26.8$  (HUGHES et BARTON, 1971). Les observations faites à la sonde dans cette région montrent qu'en général cette rupture correspond à un minimum de salinité et un minimum de température associé particulièrement au sous-courant lié à l'upwelling et portant vers le nord (TOMCZAK, 1972, HERBLAND et al 1973, HUGHES et BARTON, 1974).

Cette structure très particulière peut échapper avec les stations hydrologiques classiques et elle n'apparaît pas, ici, systématiquement. Elle apparaît très nettement à la station 3 où l'inversion de température atteint  $0.6^\circ$  et aussi aux stations 22 et 47 (Fig.7). Ce minimum de salinité est observé aux profondeurs suivantes 240m à la station 3, 249m à la station 22, 190m à la station 47. Si cette structure est spécifique du sous-courant on peut en conclure que ce dernier se situait sur la pente du talus continental à une profondeur de 250 mètres. L'importance relative des eaux de l'atlantique sud dans ce sous-courant est confirmée par sa richesse en sels nutritifs et sa pauvreté en oxygène (fig.8). Il alimente ainsi en eaux particulièrement riches les upwellings situés au nord du Cap Blanc.

C'est ce sous-courant qui est particulièrement visible à la station 3 sur la première coupe à la profondeur de 240m. Les eaux froides et peu salées observées à la station 36 à partir de 120m ont des propriétés ( $\sigma_t = 26.85$ ,  $T = 13.35$ ,  $S = 35.66$ ) voisines de celles du sous-courant à la station 3 ( $\sigma_t = 26.79$ ,  $T = 13.40$ ,  $S = 35.56$ ) et représentent certainement une inclusion des eaux du sous-courant sur le plateau continental.

### 3.4. STABILITE

La stabilité est un facteur important de la production puisque elle favorise le développement du phytoplancton là où la lumière et les sels nutritifs ne sont pas limitants. Dans les régions tropicales à pycnocline permanente les maxima de chlorophylle et de production primaire se situent dans la pycnocline. Dans les régions d'upwelling où les sels nutritifs sont généralement abondants dans la couche euphotique les eaux sont généralement peu stables du fait de l'affaiblissement ou de la disparition de la thermocline.

Il est donc intéressant de délimiter les zones les plus stables pour analyser l'impact qu'elles peuvent avoir sur le phytoplancton. Cette stabilité a été évaluée simplement à partir du gradient vertical de densité par la formule  $s = \frac{1}{\rho \sigma_3} \left( \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{g}{2} \right)$  où  $\rho$  est la densité,  $g$  l'accélération de la pesanteur et  $C$  la vitesse du son. En appliquant ainsi cette formule à toutes les stations on arrive dans de très nombreux cas à des expressions négatives sur toute la colonne d'eau même là où le gradient vertical positif de densité est maximum. Ceci revient à dire qu'il n'y a en fait pas de pycnocline et que la stabilité est nulle sur toute la colonne d'eau. C'est le cas des stations suivantes:

Stations à stabilité nulle:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 37, 38, 40, 42

Pour les autres stations il existe une pycnocline suffisamment marquée pour que l'on y observe un maximum de stabilité. Dans le tableau 1 sont indiqués les maximums de stabilité et leur profondeur. Sauf aux dernières stations ces valeurs sont assez faibles. On remarquera que les stations de la première coupe (2-9) ne figurent pas dans ce tableau alors que celles de la deuxième (31-38) y figurent sauf les deux dernières. Lors de la première coupe sur le plateau continental les eaux sont parfaitement homogènes et plus au large le gradient vertical de densité est très faible. Dans la deuxième coupe, une pycnocline s'est établie sur le plateau continental et le gradient de densité est très faible aux stations plus profondes (fig.9). Au cours de la première station fixe (St.13-19) la pycnocline sépare les deux couches observées précédemment et la stabilité y croit à mesure que la couche inférieure se refroidit. Au deuxième point fixe (St.23-30) un maximum de stabilité apparaît nettement seulement à la station 26. Pour les autres stations la pycnocline est très proche de la surface et correspond à un réchauffement de surface et vraisemblablement à un affaiblissement des remontées d'eaux froides.

TABLEAU I

Stations	Maximum de stabilité $10^6 \times m^{-1}$	Profondeur (m)
11	2.1	77-101
13	4.7	40-50
14	4.7	40-50
15	6.4	40-50
16	6.8	40-50
17	8.4	40-50
18	8.9	40-50
19	9.8	40-50
26	4.6	5-10
31	15.8	15-20
32	10.5	15-20
33	5.8	50-55
34	6.9	30-40
35	7.6	77-85
36	5.9	39-49
39	10.1	0-10
41	14.9	8-16
43	4.4	20-30
44	3.4	5-10
45	1.3	10-20
46	1.6	5-10
47	8	5-10
48	28	5-10
49	7	0-10
50	17	5-10
51	52	5-10
52	35	10-15
53	30	5-10
54	70	8-17

BIBLIOGRAPHIE

- HERBLAND (A.), LE BORGNE (R.) et VOITURIEZ (B.), 1973.-- Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie.  
Doc. Scient. - C.R.O. Abidjan, IV (1)
- HUGHES (P.) et BARTON (E.D.), 1974.-- Stratification and water mass structure in the upwelling area off north west Africa in April/May 1969.  
Deep Sea Res., 21 (8)
- SVERDRUP (H.U.), JOHNSON (M.) et FLEMING (R.H.), 1942.-- The Oceans.
- TOMEZAK (M.) Jr., 1972.-- Problems of Physical Oceanography in Coastal upwelling Investigations.  
Geoforum, 11, pp.23-34
- TOMEZAK (M.) Jr., 1973.-- An investigation into the occurrence and development of cold water patches in the upwelling regions of N.W. Africa (Meteor-Cruise 19).  
"Meteor" Forschungsergebnisse, A, 13, pp. 1-42
- VOITURIEZ (B.), DUFOUR (Ph.) et LE BORGNE (R.), 1974.-- Preliminary results on R/V CAPRICORNE 7402 Cruise in Cape Blanc.  
CUEA Newsletter, 3-5

\*  
\* \*



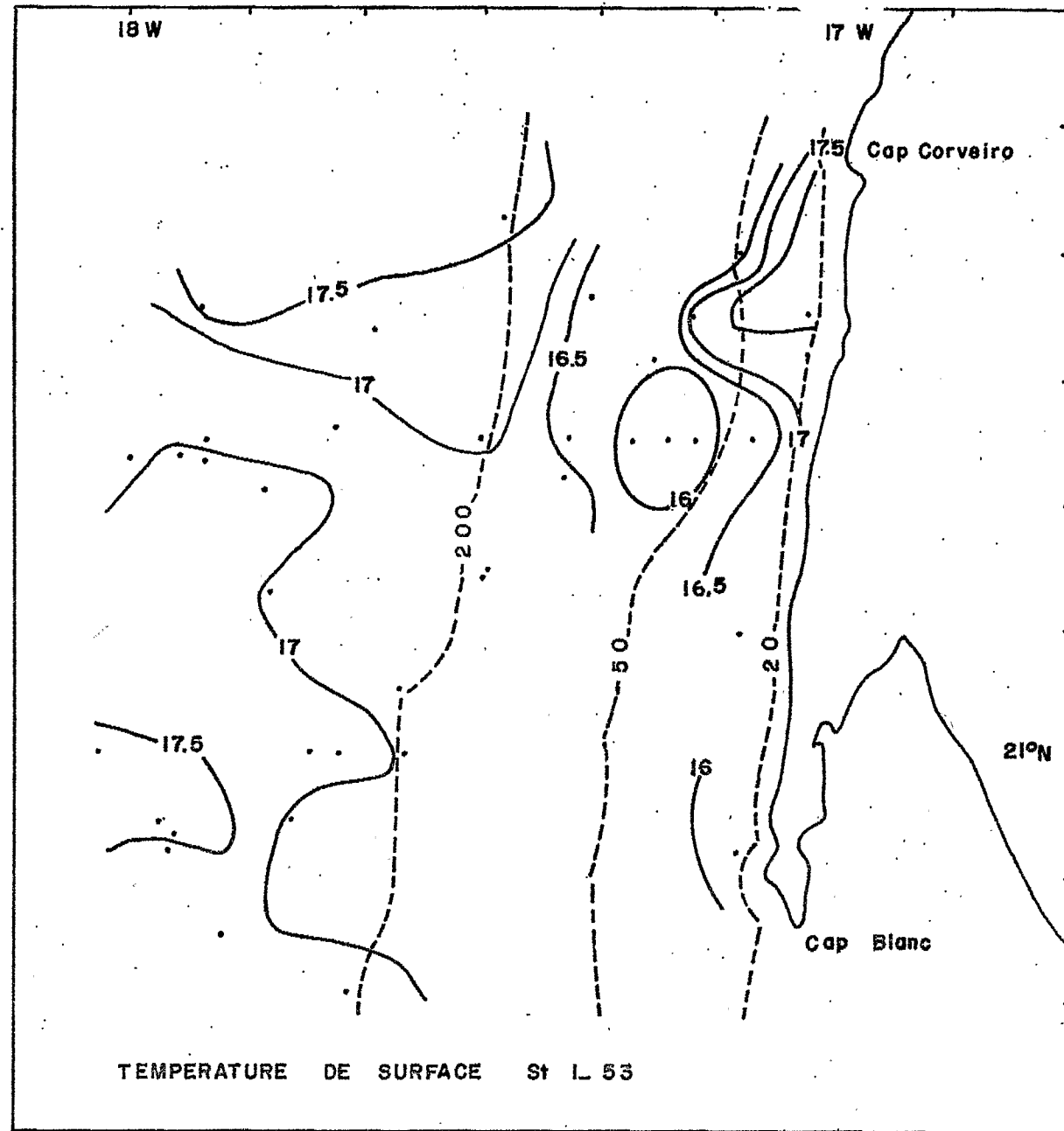


Fig. 1

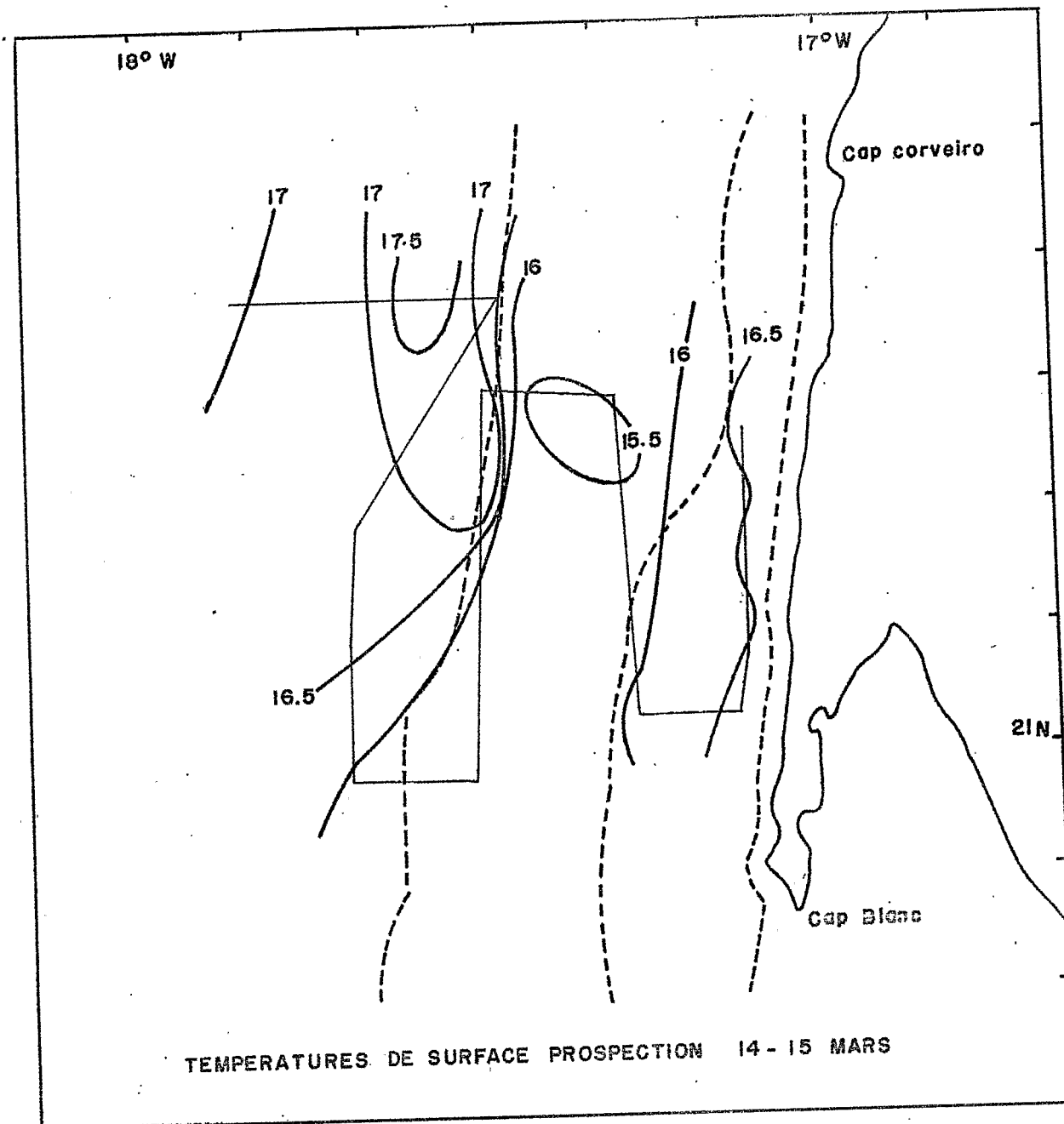


Fig. 2

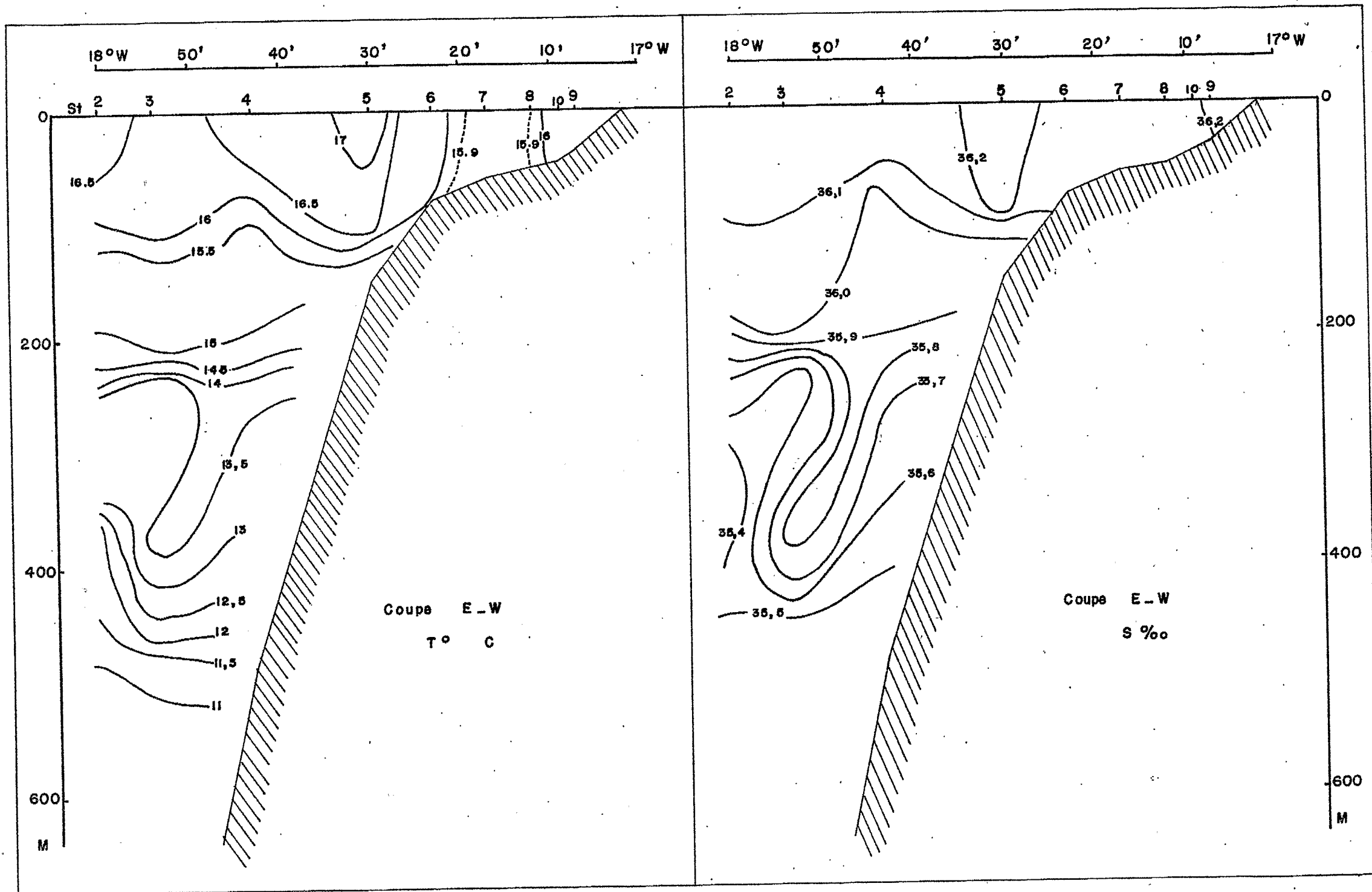


Fig. 3

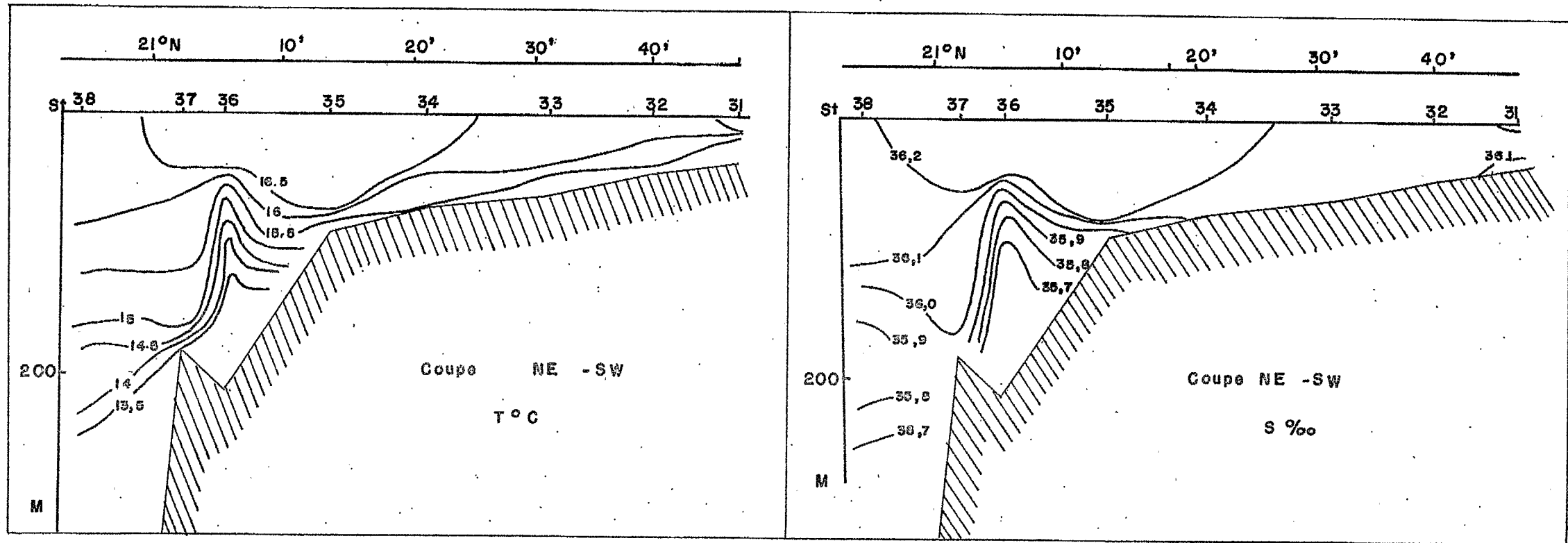


Fig. 4

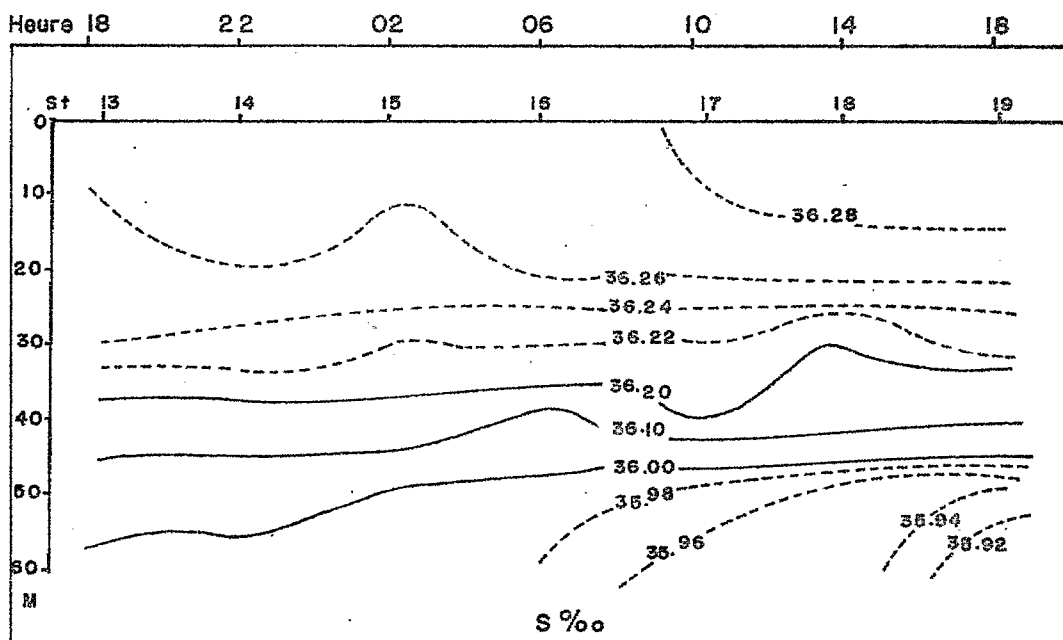
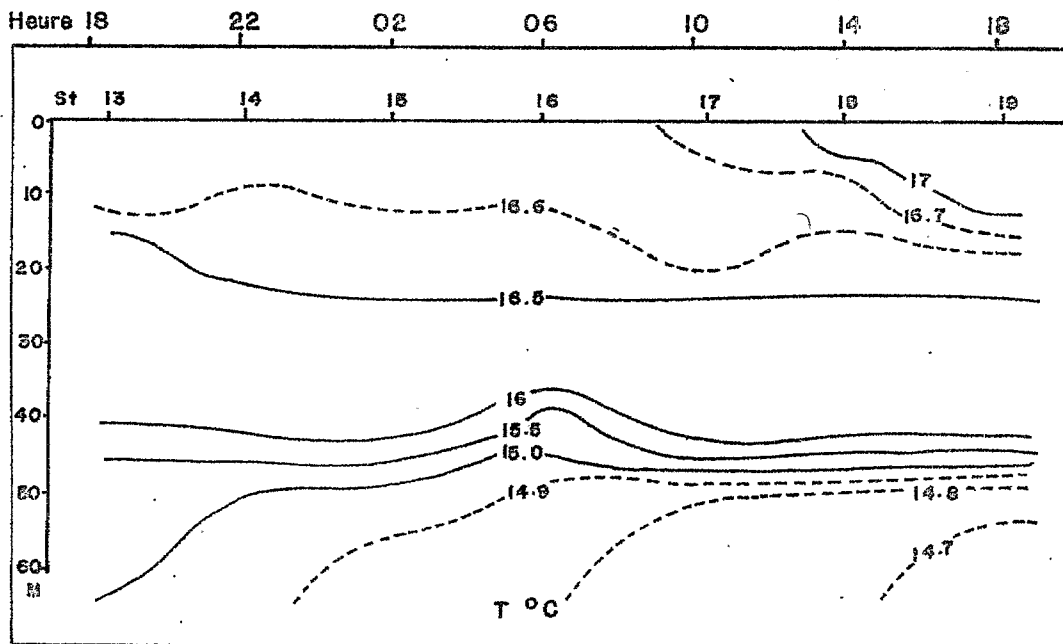


Fig. 5 Première station fixe.

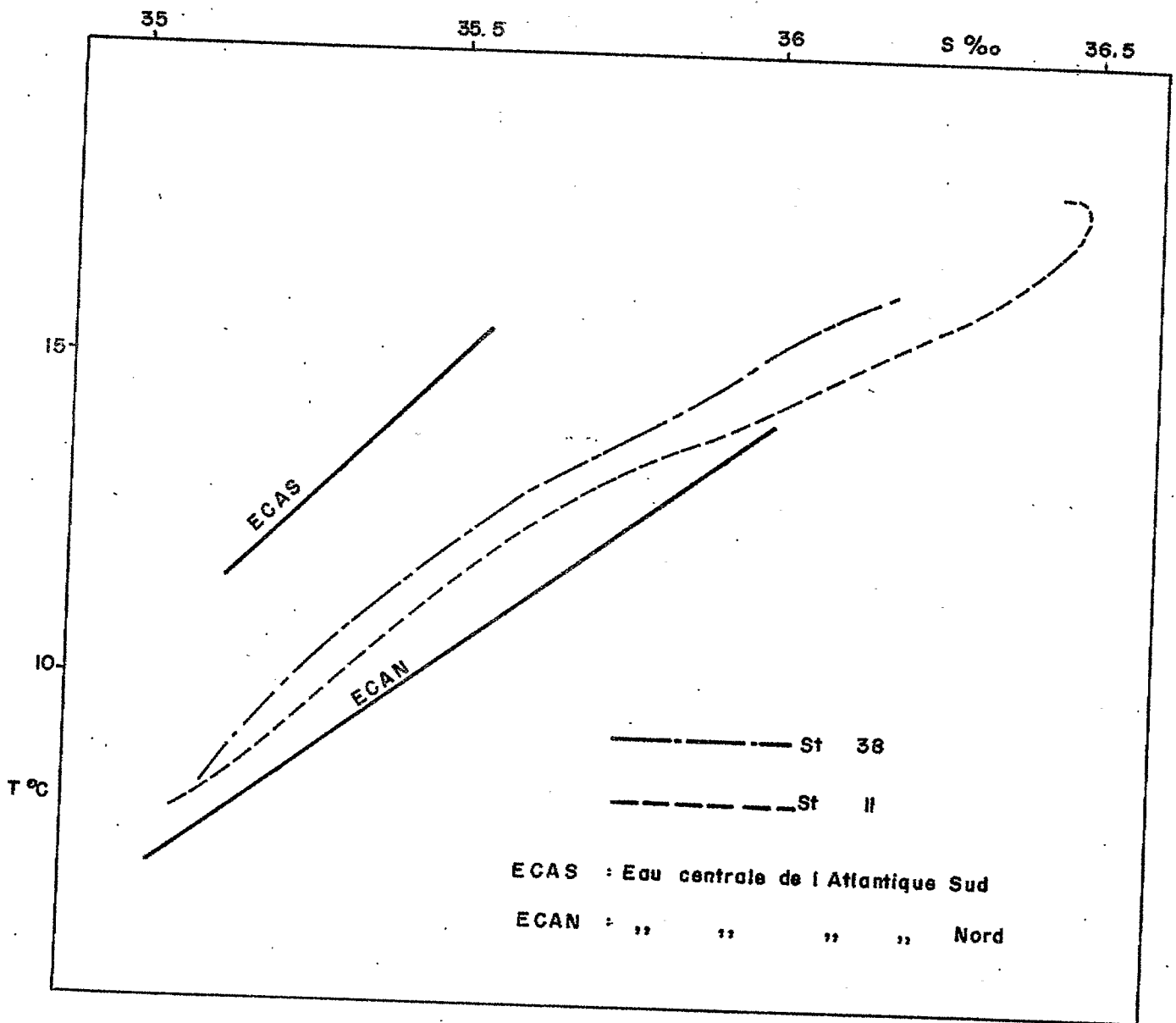


Fig. 6

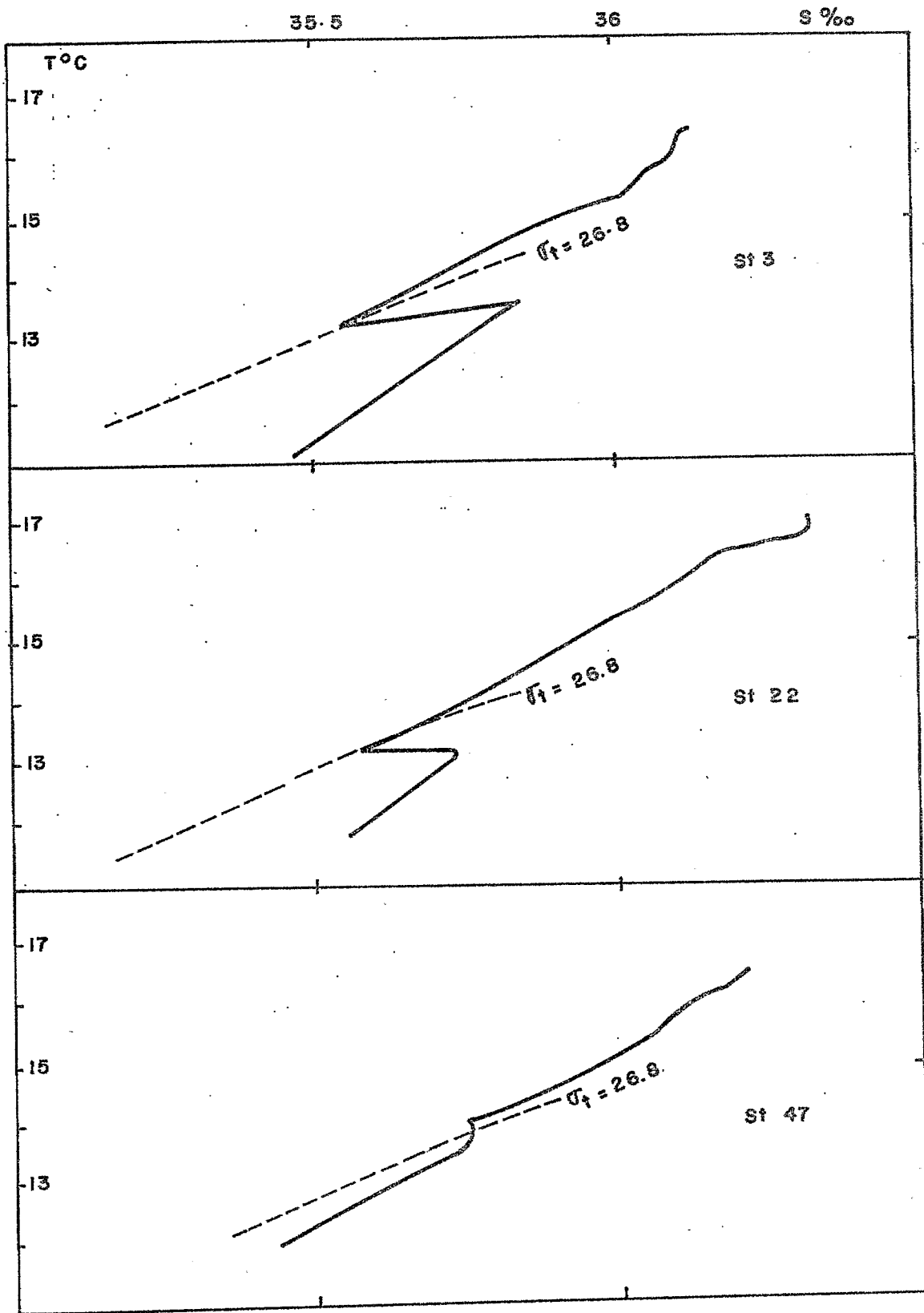


Fig. 7

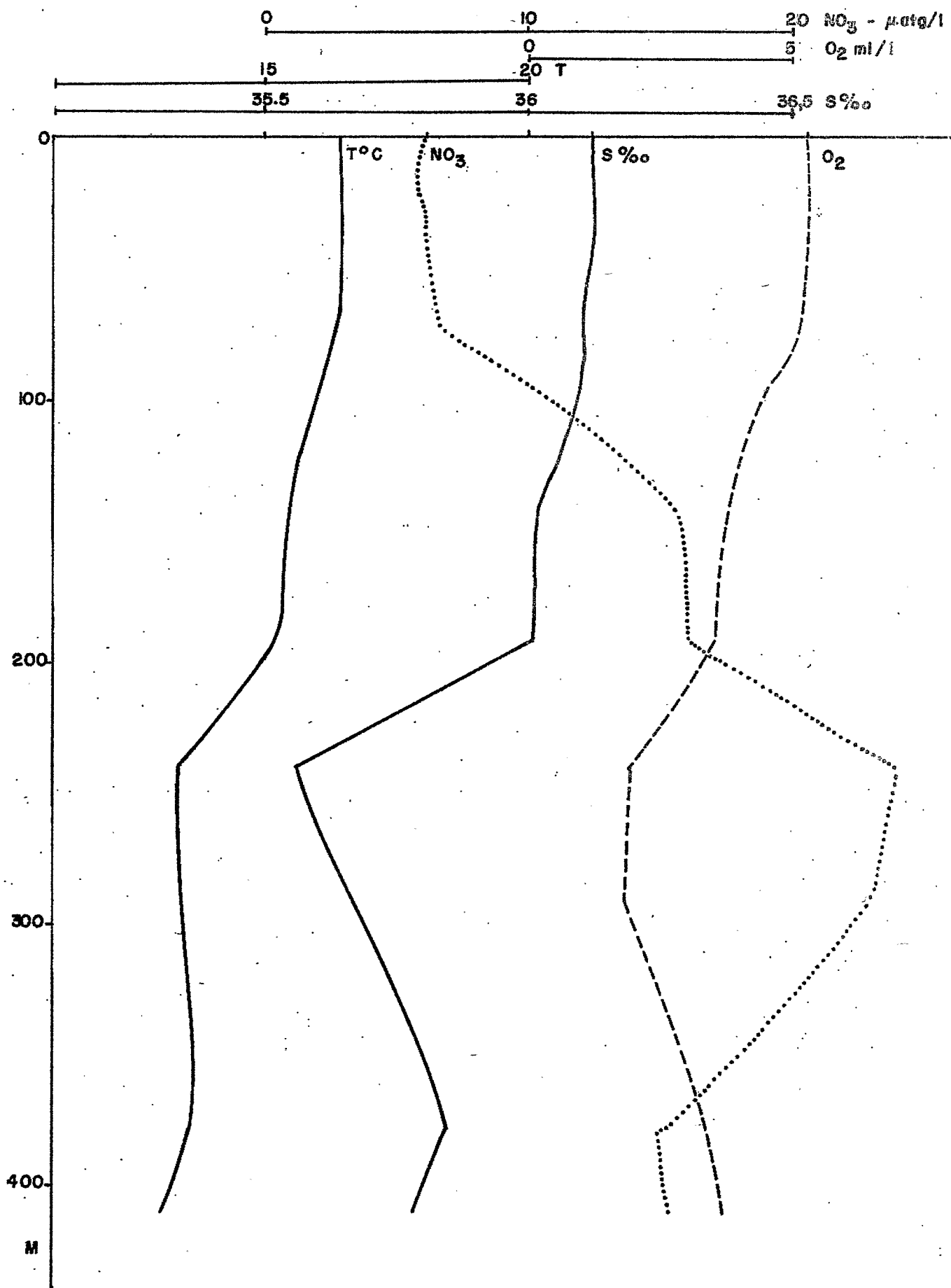


Fig. 8



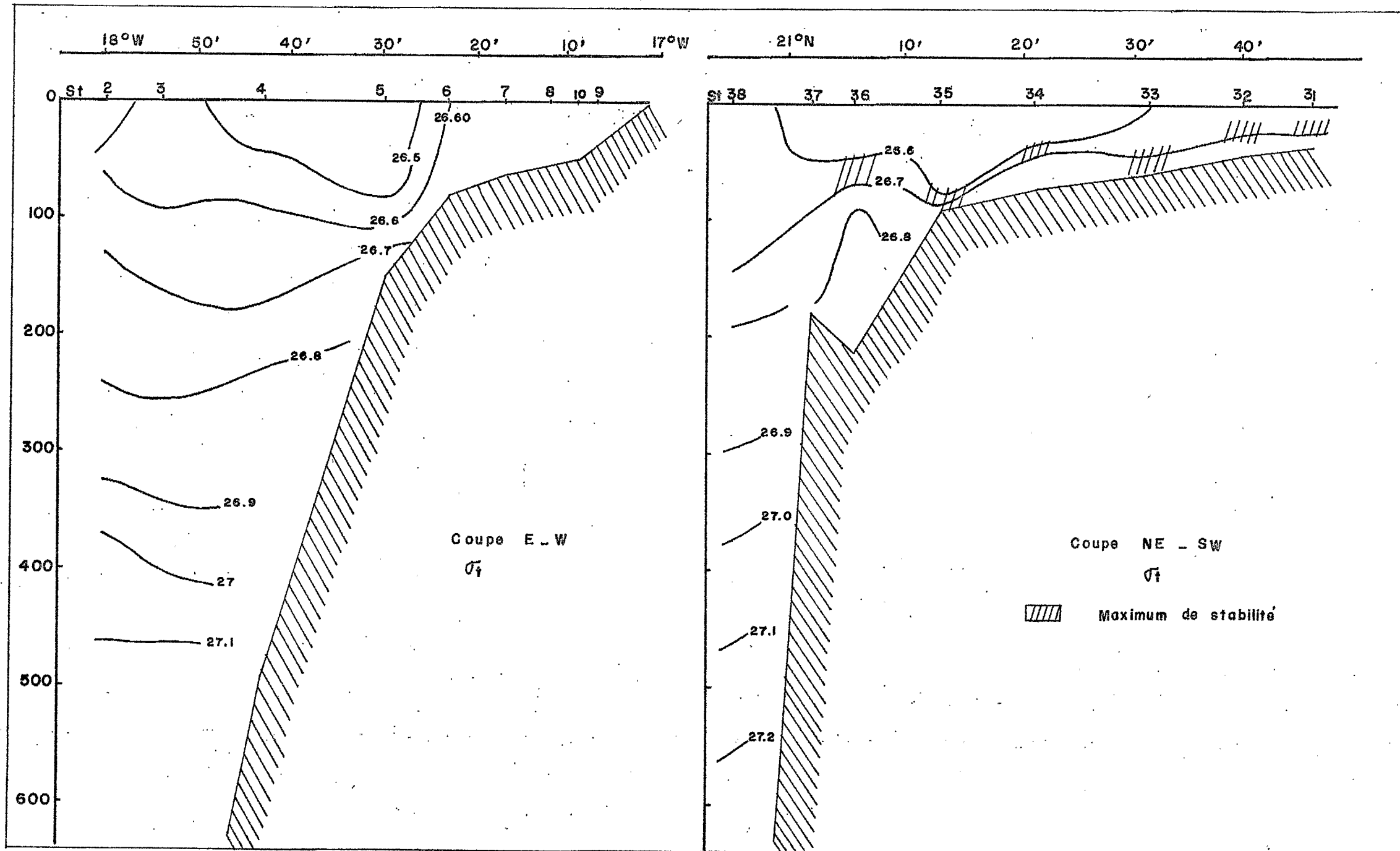


Fig. 9