OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER
24, RUE BAYARD - PARIS (8e)

G.R. BERRIT

Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée

Observations de surface le long des lignes de navigation

CENTRE D'OCÉANOGRAPHIE
ET DES PÊCHES
POINTE-NOIRE (RÉPUBLIQUE DU CONGO)

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES VARIATIONS SAISONNIERES DANS LE GOLFE DE GUINEE *

OBSERVATIONS DE SURFACE LE LONG DES LIGNES DE NAVIGATION

par

G.R. BERRIT

(Centre d'Océanographie de Pointe Noire)

INTRODUCTION

Six paquebots mixtes desservent régulièrement la côte d'Afrique, de Bordeaux ou Marseille à Pointe-Noire en suivant tous pratiquement toujours la même route (fig.1).

Quatre de ces bâtiments ont effectué régulièrement, de novembre 1957 à novembre 1958 des mesures systématiques de température et des prélèvements d'eau, pour le compte du Centre d'Océanographie et des Pêches de Pointe-Noire. La période de rotation des navires étant pour chacun d'eux de 45 jours environ, on voit que le "rail" a été parcouru deux fois (aller et retour) tous les 11 jours. Compte tenu des défaillances et irrégularités dans les observations, le nombre des mesures est encore suffisant pour donner une image des variations hydrologiques pendant l'année, le long du parcours. La moyenne est d'une observation par mois tous les 20 milles.

En outre, certains cargos rapides de la Compagnie des Chargeurs Réunis (Tessa - Tamba - Talassa - Maroua) relient directement Pointe-Noire à Dakar. Là aussi l'itinéraire des divers bâtiments est pratiquement le même, mais diffère selon que le trajet est effectué de Dakar à Pointe-Noire, ou dans le sens contraire : dans le premier cas, la route suivie est plus au Nord - afin de faire profiter le navire du courant de Guinée; le retour, par contre, s'effectue par une route plus Sud, qui permet d'utiliser le courant Sud-équatorial.

Ces deux trajets ont été exploités séparément. Ils sont parcourus en moyenne une fois par mois et les observations y sont distantes de 60 milles environ.

---

* Manuscrit reçu le 15 juin 1961

Extrait des CAHIERS OCEANOGRAPHIQUES, XIII^{e} année, n° 10, décembre 1961

Les mesures de températures ont été effectuées par lecture au demi-degré d'un thermomètre placé à l'entrée de la conduite de refroidissement des moteurs, à une profondeur de 5 mètres en moyenne.

Un échantillon d'eau prélevé au même moment sur le même circuit, était conservé en bouteille étanche; sa salinité a été mesurée par la méthode de KNUDSEN, avec une précision de ± 0,03 o/oo pour les salinités supérieures à 30 o/oo, ± 0,05 o/oo pour les valeurs plus basses.

Représentation

Le fait que les courriers suivent la même route à quelques milles près, permet de donner une représentation espace-temps des résultats : les points figurant les stations sont portés sur un diagramme à deux axes de coordonnées : on note en abcisses la valeur temps (les jours de l'année) et en ordonnées une valeur espace. On choisit pour celle-ci une latitude ou une longitude selon que le trajet du navire se rapproche davantage d'un méridien ou d'un parallèle. La position de la station ainsi repérée en latitude ou en longitude peut être déduite de la carte, annexée aux diagrammes, qui figure le trajet des bateaux observateurs.

Chaque observation ainsi définie par sa date et sa position est représentée par un point affecté d'une valeur de température (ou de salinité). Il suffit ensuite de tracer les isothermes (ou les isohalines) pour obtenir la figure des variations hydrologiques pendant l'année, le long de la route suivie par les bateaux.

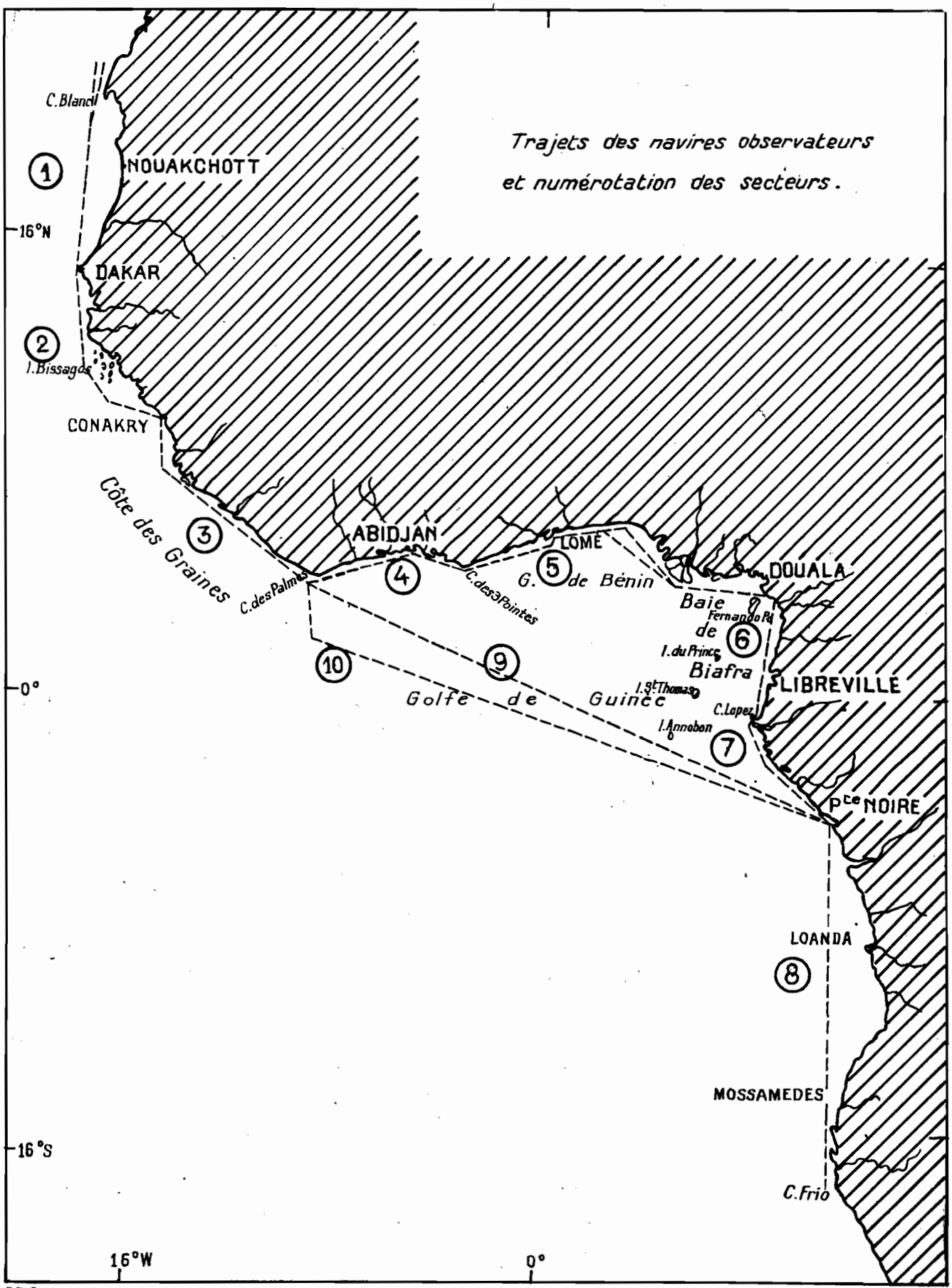
Pour éviter de surcharger les cartes, les indications numériques correspondant aux mesures ont été supprimées, chaque observation restant rappelée par un point.

Un déplacement suivant une parallèle à l'axe des temps donne la variation en un lieu donné au cours de l'année. Le cheminement parallèle aux ordonnées indique pour un certain jour les différentes valeurs des températures ou des salinités le long de la route des navires (fig.2).

Ces diagrammes ne visent pas à une grande précision que les méthodes d'observation utilisées ne permettent pas d'atteindre : si la mesure des salinités est satisfaisante , celle des températures est grossière. Il faut remarquer aussi que les navires ne suivent pas exactement la même route et que l'immersion de la prise d'eau varie quelque peu. Enfin et surtout, nous savons (11) * que d'importantes variations peuvent se produire d'une année à l'autre et que les diagrammes, établis sur une seule année d'observations ne peuvent prétendre qu'à schématiser l'évolution annuelle.

---

* Voir Bibliographie in fine



GR Berrit

Figure 1

G.R. Berrit

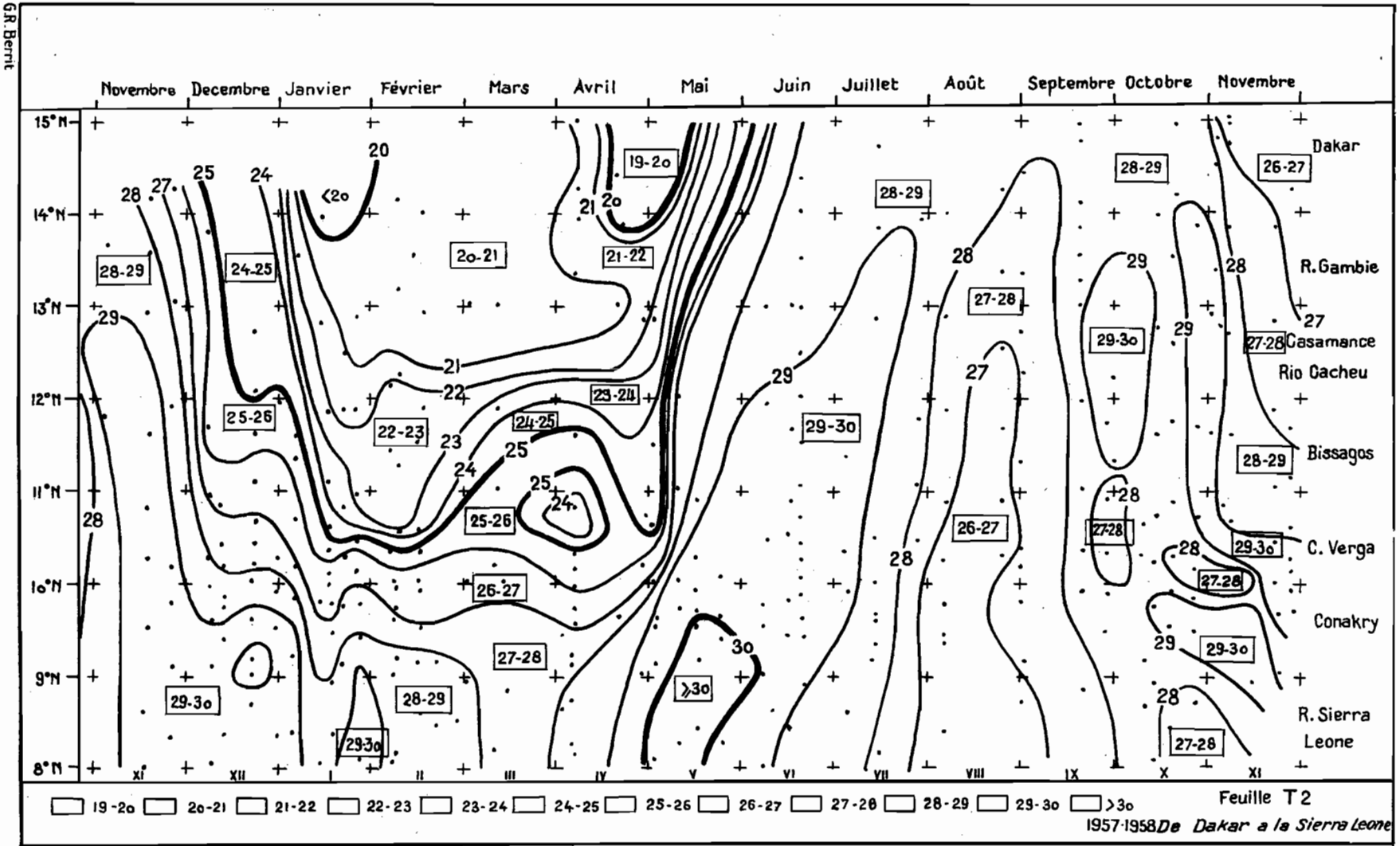


Figure 2

Exemple de représentation. Les températures dans le secteur 2 (Sénégal - Guinée)

Les commentaires ne porteront donc que sur les grandes lignes des variations. Une étude sur plusieurs années serait nécessaire pour distinguer entre les traits de détail de l'évolution ceux qui sont accidentels et ceux qui se reproduisent normalement chaque année.

Les observations ont été groupées en 10 secteurs (fig.1) :

Secteur	I	:	du Cap Blanc à Dakar
	II	:	de Dakar à la Sierra Leone
	III	:	de Freetown au Cap des Palmes
	IV	:	du Cap des Palmes au Cap des Trois Pointes
	V	:	du Cap des Trois Pointes au Cap Formose
	VI	:	du Niger à Bata
	VII	:	de Bata à Pointe-Noire
	VIII	:	de Pointe-Noire au Cap Frio
	IX	:	du Cap des Palmes à Pointe-Noire par le large (route nord)
	X	:	de Pointe-Noire à 2° N 10° W par le large (route Sud).

A chaque secteur correspond un diagramme T (températures) et S (salinités).

Les 8 premiers secteurs sont côtiers, les navires ne s'écartant pas à plus de quelques dizaines de milles vers le large. Il est tout de suite évident que les influences locales s'y marquent de façon sensible, particulièrement en ce qui concerne la salinité. Celle-ci est liée dans une certaine mesure aux précipitations, dans le régime desquelles la proximité de la côte introduit des éléments de discontinuité - C'est ainsi par exemple que la zone Guinée-Libéria est très arrosée mais que, passé le cap des Palmes, les précipitations se font brusquement beaucoup moins fortes, jusqu'aux côtes du Nigéria où on retrouve, en baie de Biafra, une pluviosité abondante - Les déversements d'eaux douces par les fleuves peuvent également se marquer sur les courbes de salinités et même de température - L'influence du Congo par exemple est particulièrement nette. Celle des fleuves camerounais et nigériens est certainement importante aussi mais elle vient s'ajouter à l'action de précipitations abondantes dont on ne peut la distinguer, à l'échelle employée , sur la forme des isohalines.

Les traits généraux des variations saisonnières apparaîtraient plus clairement en haute mer, mais nous ne disposons de mesures que sur deux routes (secteurs 9 et 10), où la densité des observations n'est pas très élevée.

Les mesures portent sur une zone qui va du cap Blanc à Mossamedes - soit presque d'un tropique à l'autre - on verra s'y manifester les rythmes saisonniers des deux hémisphères.

Première Partie

G E N E R A L I T E S*

ALLURE GENERALE DES VARIATIONS SAISONNIERES

Les figures 3 et 4 schématisent, sur le diagramme espace-temps, l'évolution des isothermes de 24° et 27° et celle de l'isohaline de 35 o/oo, du cap Timiris au cap Frio par la Côte.

Températures

On voit qu'en règle générale, l'année se partage en deux périodes, l'une froide, l'autre chaude.

La région du Libéria fait la transition entre deux régimes : le premier, septentrional, qui règne sur les régions au nord du cap Verga, a une saison chaude qui correspond à l'été boréal. Le second, avec une saison chaude pendant l'été austral, gouverne toute la zone à l'est et au sud du cap des Palmes. C'est le régime sud**.

Salinités

Les mouvements de l'isohaline 35 o/oo (fig.4) présentent avec ceux des isothermes une frappante analogie : salinités fortes et basses alternent suivant le même rythme que températures basses et élevées.

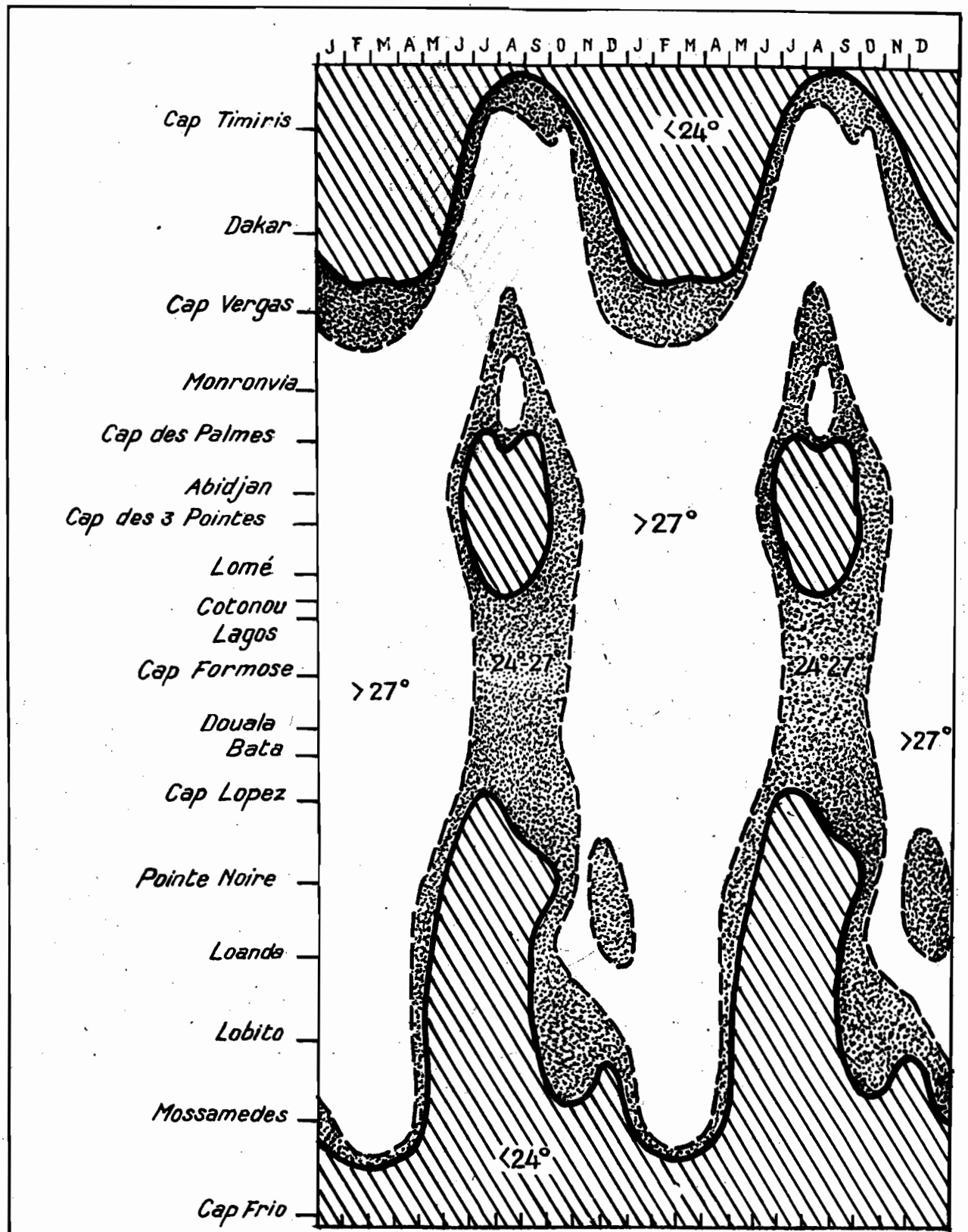
Au nord du cap Verga (régime nord), dessalure de juillet à décembre, en période d'eaux chaudes.

A l'est et au sud du cap des Palmes (régime sud),dessalure de novembre à mai, également en période d'eaux chaudes.

---

* Une seconde partie, à paraître prochainement est consacrée à l'étude régionale.

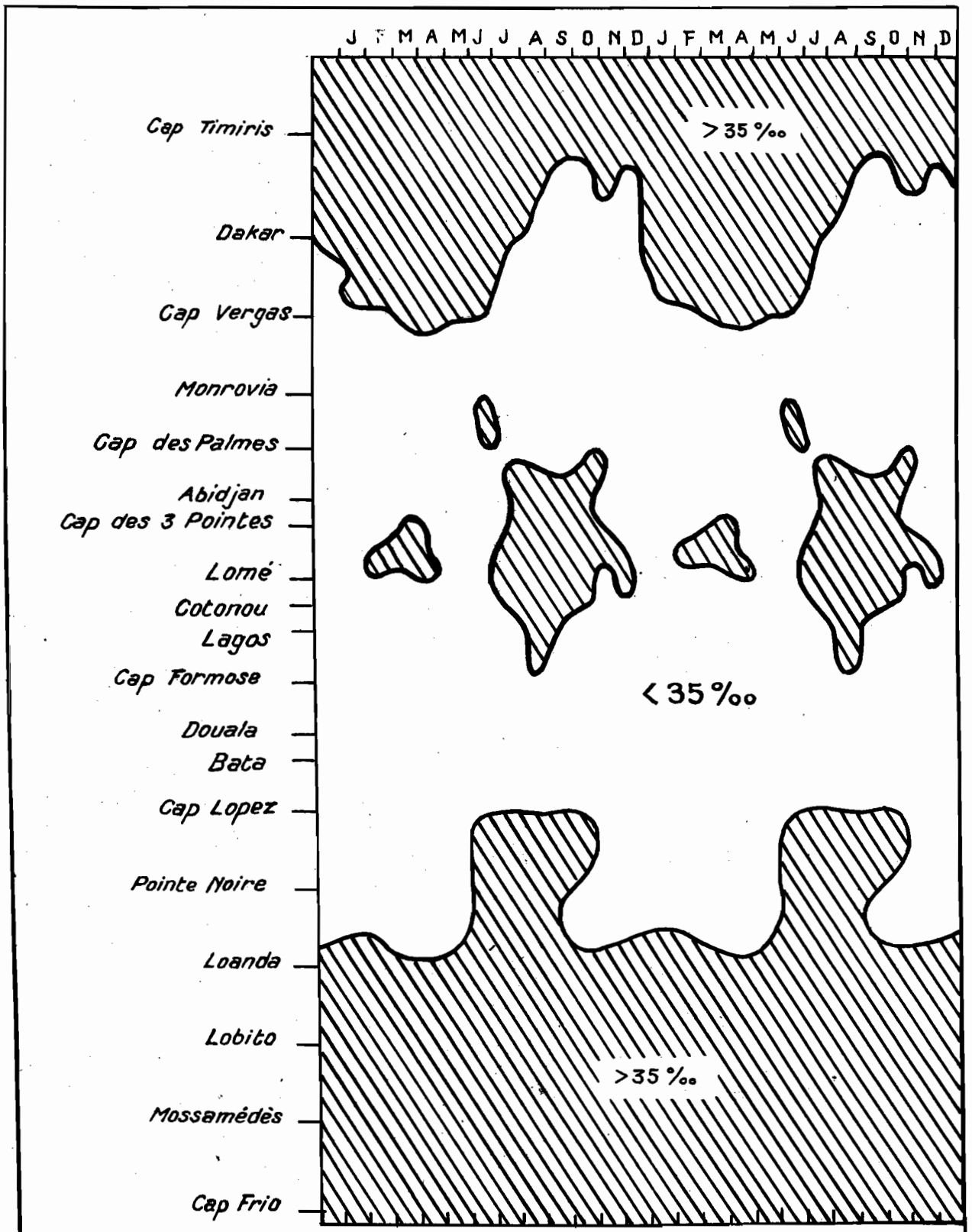
** La frontière indiquée par SCHOTT (1) entre les régimes nord et sud dans l'Atlantique aboutit aux environs de Freetown.



Evolution annuelle des températures
On voit que le régime sud règne jusqu'au Cap Verga

G.R.Berrit

Figure 3



Evolution annuelle des salinités
Centrées sur Monronvia et Douala, deux régions de dessalure permanente

G.R. Berrit

Figure 4

G.R.Berrit

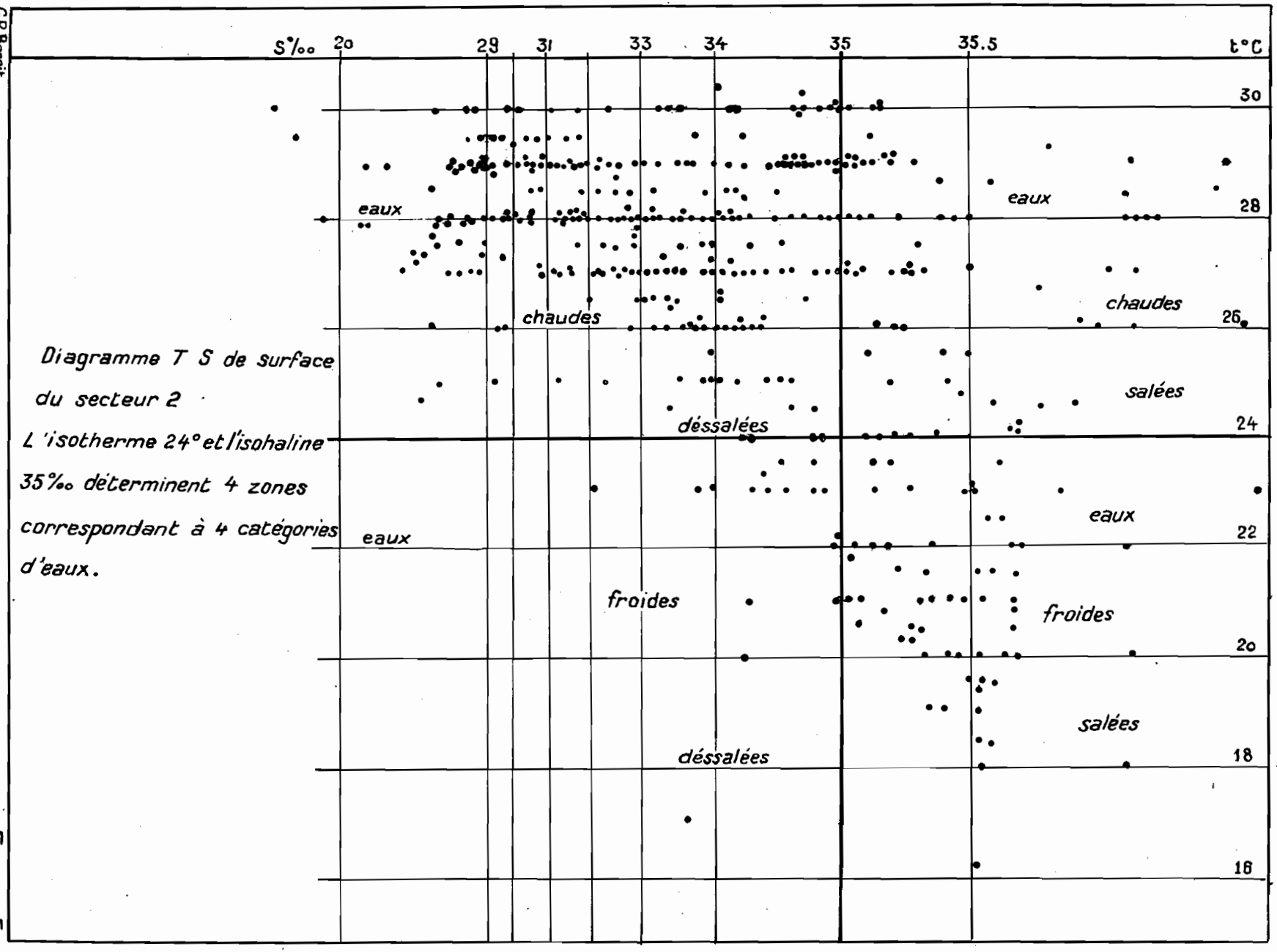
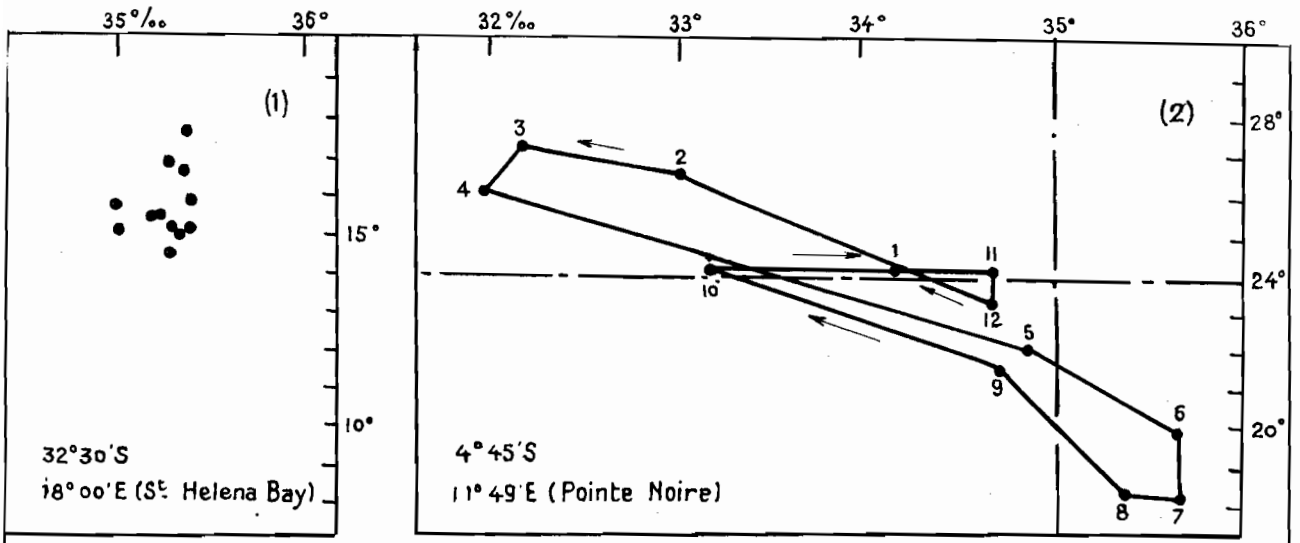
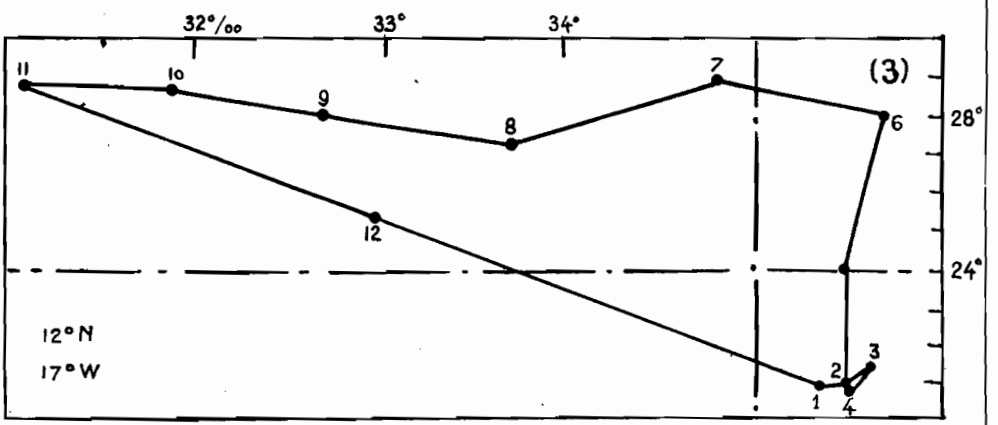


Diagramme T S de surface du secteur 2

L'isotherme 24° et l'isohaline 35‰ déterminent 4 zones correspondant à 4 catégories d'eaux.

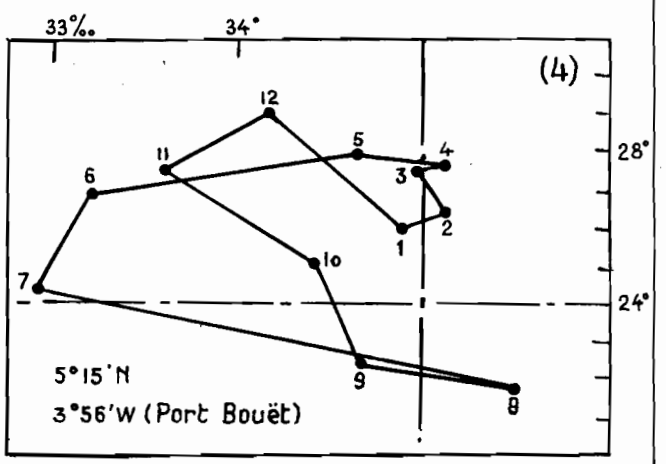
Figure 5





Diagrammes T S saisonniers

En haut à gauche diagramme ramassé ; En haut à droite diagramme allongé , avec 2 catégories d'eau ; au milieu , forme triangle, avec 3 catégories d'eau. En bas cycle à 4 catégories d'eau, forme rectangle.



G.R.Berrit

Figure 6

Entre Monrovia et le cap des Palmes une lentille à plus de 35 o/oo en juin, une autre du Cap des Trois Pointes à Lomé en février-mars-avril rappelent le régime nord.

L'avance extrême vers le nord et vers le sud de l'isohaline de 35 o/oo se produit en période chaude. Les régions atteintes sont Nouakchott pour le nord, St-Paul de Loanda pour le sud.

RELATIONS TEMPERATURES-SALINITES

L'analogie entre les régimes des températures et des salinités conduit à examiner la relation T S de surface. Celle-ci peut être représentée de diverses façons.

a) On peut faire figurer les observations sur un diagramme T S et examiner leur répartition. La figure 5 en donne un exemple pour le secteur 2. On constate que la répartition des points n'est pas uniforme et qu'on peut définir avec les valeurs 24° et 35 o/oo quatre domaines où les points sont diversement concentrés : le plus grand nombre se trouve en haut et à gauche, des quantités encore importantes s'observent dans les deux secteurs de droite, alors que le secteur en bas et à gauche est pratiquement désert.

Cette disposition se trouve, avec plus ou moins de netteté dans toute la région intertropicale côtière.

b) On peut aussi représenter l'évolution saisonnière en portant sur un diagramme T S les valeurs moyennes de chacun des mois. Cette méthode est commode en ce qu'elle condense les indications d'évolution des températures et des salinités et la relation entre ces deux facteurs.

Suivant l'évolution des caractères physico-chimiques au cours de l'année les diagrammes affectent des formes variées (fig.6):

Les points représentés peuvent être :

- très voisins les uns des autres "diagramme ramassé"
- groupés autour de deux pôles : "diagramme allongé"
- aux trois sommets d'un triangle : "diagramme triangulaire"
- représenter plus ou moins un rectangle : "diagramme rectangle".

c) Un troisième procédé consiste à faire figurer sur le même diagramme espace-temps isothermes et isohalines, et à examiner les relations qui ressortent de cette comparaison. On est amené alors à choisir entre les courbes celles qui schématisent le mieux les phénomènes, à déterminer des "valeurs frontières", autrement dit à grouper certaines catégories de valeurs de températures, certaines autres de salinités, puis à étudier les relations entre elles.

CATEGORIES D'EAU

On arrive ainsi à la notion de "catégorie d'eau" qui se révèle nécessaire chaque fois qu'on essaye de décrire les mouvements des eaux de surface, par analogie en profondeur avec les "types d'eau" et les "masses d'eau" beaucoup mieux définis.

Alors que le "type d'eau" est caractérisé par une température et une salinité et figure donc sous la forme d'un point sur le diagramme T S, que la "masse d'eau" définie comme mélange de deux types d'eau est représentée par une droite du T S, la "catégorie" correspond à des eaux dont les points figuratifs sont groupés sur le diagramme T S. La "catégorie d'eau" est donc représentée par une aire, et définie par 4 valeurs (deux pour la température, deux pour la salinité). Le choix des limites est un cas d'espèce et dépend dans une certaine mesure de la façon dont le problème est envisagé, mais il est bien évident que la fécondité de la classification est d'autant plus grande que cette dernière recouvre davantage de phénomènes tels, notamment, que communauté d'origine et pérennité.

Nous avons rangé les eaux de surface que nous étudions ici en 4 catégories seulement, parce qu'une classification plus détaillée aurait compliqué l'exposé, et aussi à cause de la valeur médiocre du matériel utilisé*.

CLASSIFICATION DES EAUX DE SURFACE

Le diagramme T S est divisé en 4 domaines, correspondant à 4 catégories d'eau, par l'isotherme 24° et l'isohaline 35 o/oo.

Sur le diagramme espace-temps l'isotherme de 24° se trouve généralement dans un faisceau qui représente une évolution rapide des températures; les valeurs voisines de 24° sont caractéristiques des zones frontales et des transitions et on trouve, de part et d'autre de cette température, des eaux de caractères différents.

A la température de 24° se trouve souvent associée la salinité de 35 o/oo que nous avons retenue comme second paramètre de définition.

Les eaux se trouvent ainsi classées en 4 catégories :

---

* Nous avons dit plus haut que la précision des mesures était trop faible pour permettre une étude de détail.

En outre, les observations ne portent que sur une année.

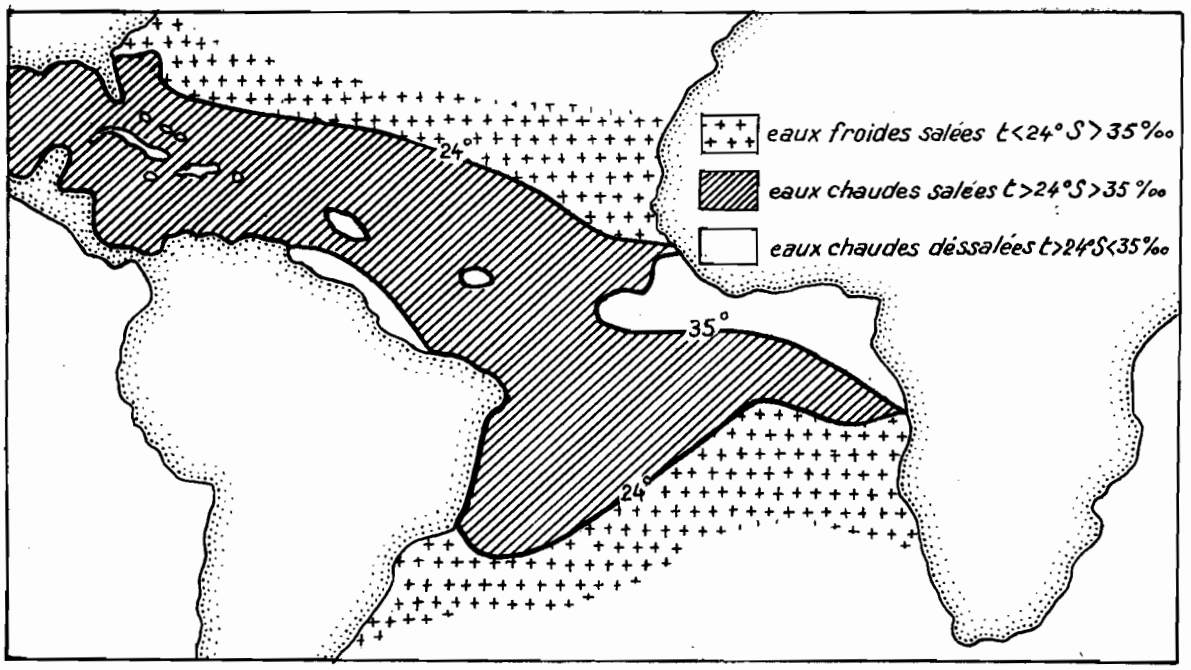


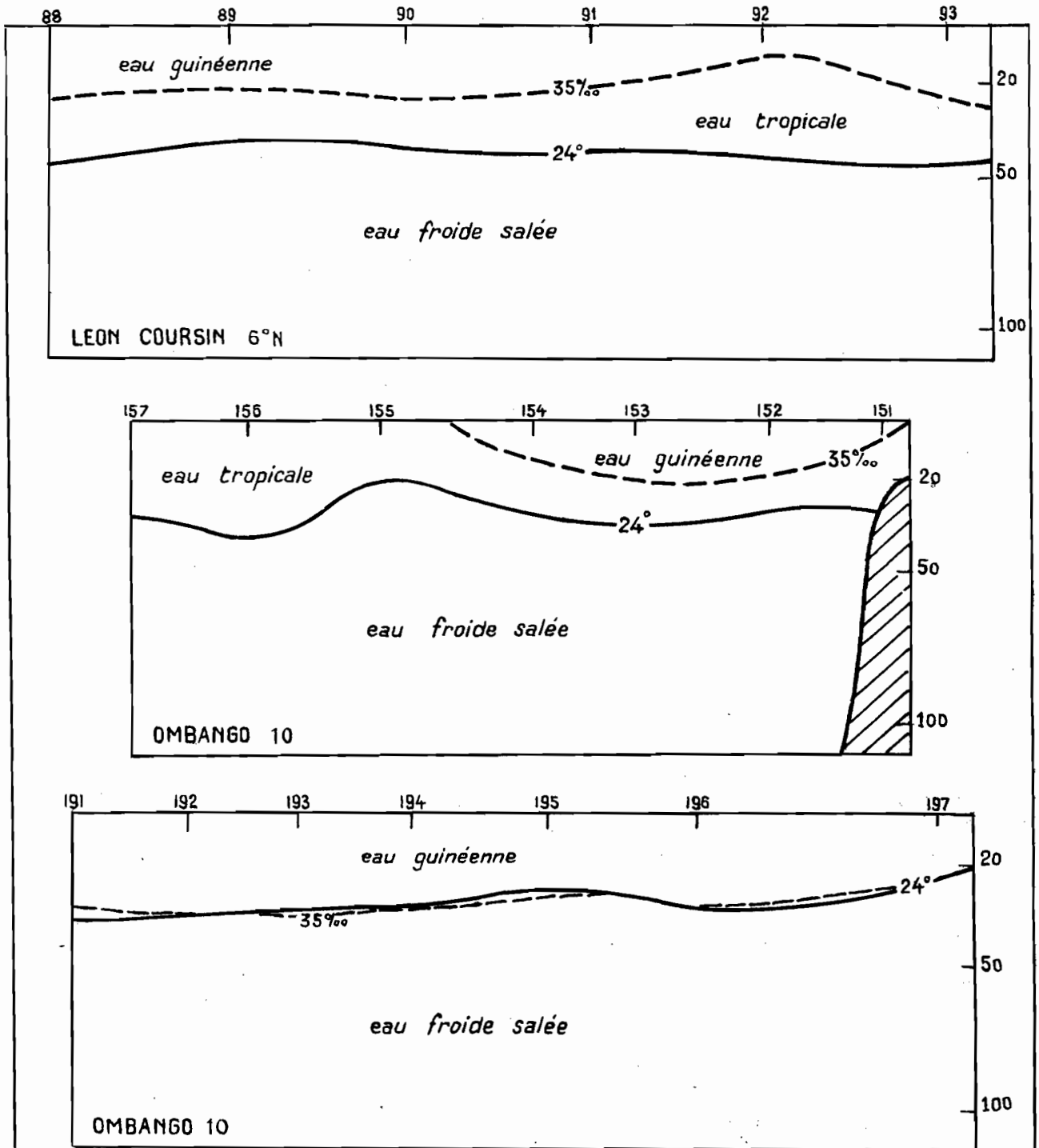
Figure 7. Les grandes catégories d'eau dans l'Atlantique tropical d'après les cartes de Schott des valeurs moyennes annuelles (1)

1 - Eaux C D - chaudes dessalées - t > 24° ; S < 35 o/oo
2 - Eaux C S - chaudes salées - t > 24° ; S > 35 o/oo
3 - Eaux F S - froides salées - t < 24° ; S > 35 o/oo
4 - Eaux F D - froides dessalées - t < 24° ; S < 35 o/oo

La première catégorie, C D, est caractéristique de la zone équatoriale. On la trouve principalement dans le golfe de Guinée avec, pendant une partie de l'année, une extension vers l'Ouest autour de 5° N environ. Nous lui donnons le nom d'"eaux guinéennes". Elles sont formées principalement dans les deux zones de fortes précipitations, région libérienne d'une part, baie de Biafra d'autre part.

Ces eaux ne se trouvent qu'en surface, leur densité étant inférieure à celle de toutes les eaux des autres catégories.

- Les eaux C S que nous appelons aussi "tropicales" règnent largement en surface dans toute la zone inter-tropicale (fig.7) où elles sont formées. Dans cette catégorie se trouvent groupées des eaux d'origine nord et d'autres d'origine sud.

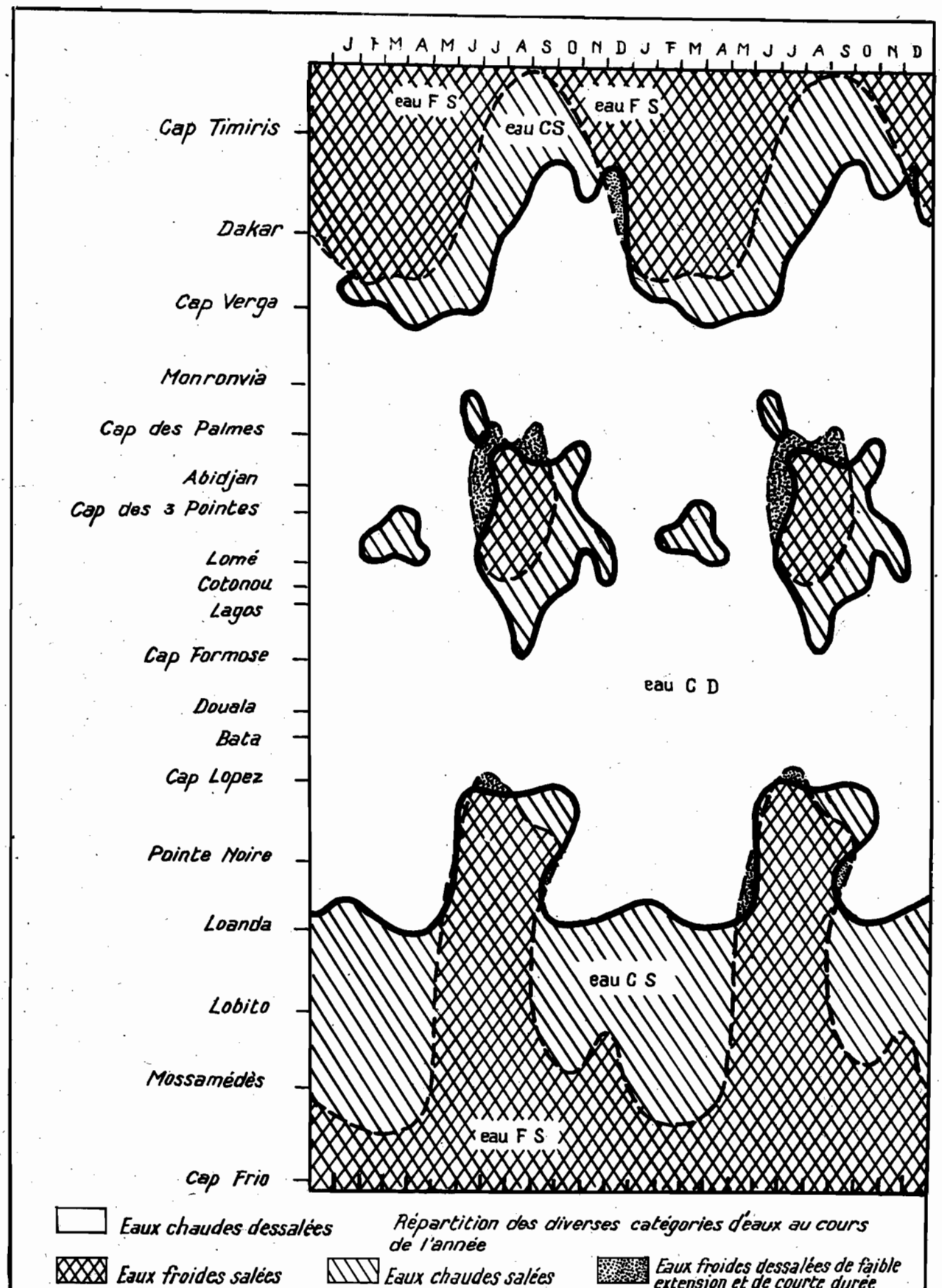


Sur la coupe du haut (4) -(20-23 janvier 1958, 6°N, 18°30'W à 12°30'W), l'eau guinéenne en surface, recouvre une couche d'eau tropicale, elle-même au-dessus de l'eau froide salée. La coupe du milieu (5) -(6-10 novembre 1959, 4°47'S, 11°45'E à 4°59'S, 3°20'E) montre encore les trois catégories simultanément présentes, avec l'eau tropicale en surface dans les parties ouest.

La situation de la coupe du bas (5) -(23-26 novembre 1959, 1°26'N, 7°17'E à 2°18'S, 5°05'E) donne un exemple du cas fréquent où la couche d'eaux tropicales n'existe pas.

G.R.Berrit

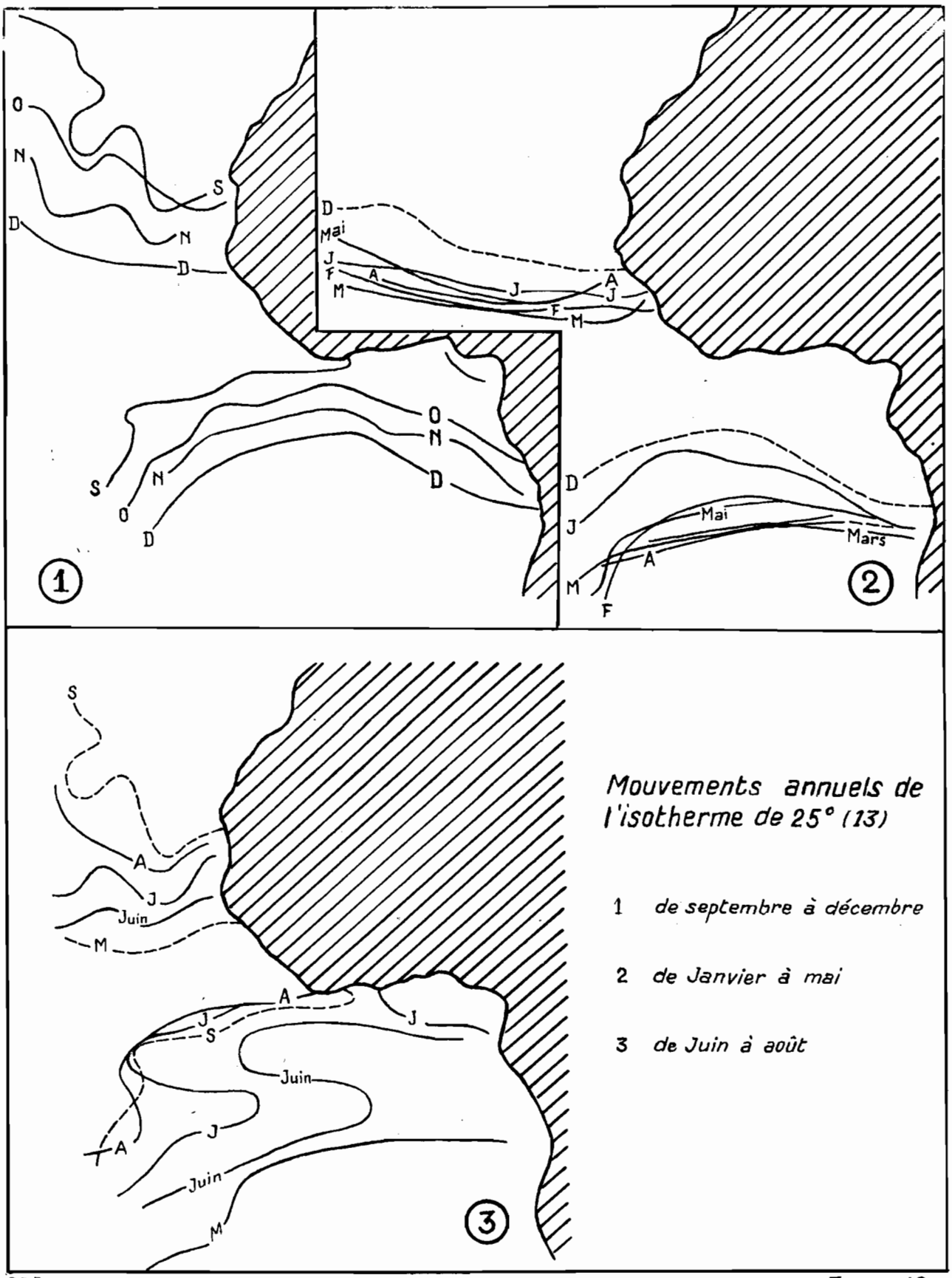
Figure 8



Répartition des diverses catégories d'eaux au cours de l'année

G.R.B.-rit

Figure 9



Mouvements annuels de l'isotherme de 25° (13)

1 *de septembre à décembre*

2 *de Janvier à mai*

3 *de Juin à août*

G.R.Berrit

Figure 10

- Les eaux froides salées se trouvent en surface au nord et au sud des eaux tropicales. Elles se rattachent, sans solution de continuité, pour celles du sud aux eaux du courant de Benguela (nous les nommons alors "bengueliennes") pour celles du nord à la dérive canarienne ("eaux canariennes").

La densité va croissant des eaux C D à C S puis F S. Ces différentes catégories ne s'excluent pas l'une l'autre : en un point donné on peut même les trouver simultanément présentes, la plus légère en surface, les autres au-dessous (fig.8).

Les eaux tropicales ne représentent jamais qu'une couche assez mince quand elles se trouvent surmontées d'eaux guinéennes; leur épaisseur est alors au maximum de l'ordre de 20 m.

Il arrive fréquemment que le passage se fasse directement, dans le sens vertical, des eaux guinéennes aux eaux froides et que l'isotherme 24° coïncide avec l'isohaline 35 o/oo. La figure 8 en donne un exemple qui semble être la règle en baie de Biafra.

Un upwelling ou une divergence amènera en surface d'abord les eaux tropicales, s'il y en a, puis les eaux froides. On observera donc d'abord une légère baisse de température accompagnée d'un net accroissement de la salinité. Ensuite, si le phénomène devient plus intense, la température continuera de décroître alors que la salinité variera relativement peu.

Si les eaux tropicales sont absentes, l'upwelling ou la divergence se manifestera par une chute de température concomitante à une élévation de salinité.

- La quatrième catégorie d'eaux est celle des eaux froides dessalées (F.D.)

De l'examen des diverses représentations du rapport T S se dégage le fait de la rareté et de la faible extension de ces eaux :

Les points situés en dehors de la surface limitée par t = 24° et S = 35 o/oo sont en faible nombre.

Les diagrammes T S sont presque toujours de forme allongée ou triangle, avec 2 ou 3 catégories d'eau. Le diagramme carré et d'eau F D n'apparaissent que dans la région d'Abidjan.

La figure 9 fait ressortir la faible extension géographique ainsi que la courte durée d'apparition des eaux froides et dessalées. Elles n'existent en

fait avec certitude* qu'entre Sassandra et le cap des Trois Pointes, fin juin-début juillet, et dans la zone même de Sassandra, de juillet à septembre. Les autres lentilles qui figurent sur la figure sont plus douteuses. Nous examinerons leur cas dans la seconde partie de ce travail consacré à l'étude régionale.

L'examen de l'origine possible des eaux F D conduit à admettre qu'elles sont formées sur place par un apport d'eau douce, précipitation ou ruissellement, au sein d'eaux froides salées. En effet on ne peut les rattacher à aucune masse suffisamment importante et qui présente des caractères analogues (température de 20 à 24° - salinité inférieure à 35 o/oo). L'isohaline de 35 o/oo correspond en profondeur (300 m) à 10° environ, ce qui exclut l'hypothèse d'un upwelling qui ne saurait d'ailleurs passer inaperçu. On ne trouve d'autres eaux froides dessalées qu'aux latitudes élevées, sans rapport possible avec notre catégorie F D.

Ces eaux se placent, quand elles existent, entre les eaux C D et F S : le passage d'une eau guinéenne à une eau benguelienne se fait, dans ce cas, par un refroidissement suivi d'une hausse de salinité, alors qu'on observe généralement l'évolution inverse (hausse de salinité, puis baisse de température qui correspond à la succession chaude dessalée, chaude salée, froide salée).

LES FAISCEAUX D'ISOTHERMES - FRONTS ET SAISONS MARINES

La classification adoptée a défini 3 catégories d'eaux (la quatrième n'a qu'un caractère épisodique ou accidentel) qui se trouvent, de par le choix de l'isotherme de 24° comme limite, séparées les uns des autres par des régions (ou des "périodes" suivant qu'on examine le diagramme dans le sens espace ou dans le sens temps) de forts gradients de température et de salinité. Ces régions sont des "zones frontales", les périodes sont des "transitions" entre saisons marines**.

---

* Dans le cas assez fréquent, où 24° accompagne 35 o/oo, le tracé des isothermes, assez approximatif à cause de la faible précision des mesures, fait apparaître des zones d'eaux F D ou C S qui ne peuvent être considérées comme significatives que si elles contiennent un nombre suffisant d'observations.

** On appelle également saison dans les zones tempérées à la fois l'été et l'hiver, stables, et les périodes de variation assez lente du printemps et de l'automne. En ce qui concerne la climatologie marine intertropicale, nous préférons réserver le terme de "saisons" aux périodes de stabilité, celui de "transition" étant donné aux périodes d'évolution.

Les saisons, caractérisées par une certaine constance des caractères physico-chimiques, peuvent être, le plus souvent, rattachées à la présence d'une catégorie d'eau. Le changement de saison se fait suivant deux mécanismes qui se combinent dans des proportions variables suivant la position géographique et la courantologie de la région :

1) La variation de surface peut être causée par le remplacement d'une catégorie d'eau par une autre, sous-jacente (upwelling ou divergence), ou superficielle (par le jeu des courants et des dérives).

2) Il peut se produire une évolution, sur place, par action des phénomènes d'évaporation, de précipitation et de diffusion, comme dans le cas d'un lac, sans qu'il y ait remplacement d'une eau par une autre.

Lorsque le premier mécanisme est prépondérant, les variations sont rapides et le changement de saison s'identifie au changement de catégorie d'eau. C'est le cas le plus général.

Il peut arriver que des masses marines de surface jouissent, tout au long de l'année, d'une certaine indépendance vis-à-vis du reste de l'océan et se trouvent cyclées par le jeu des courants. La même catégorie d'eau évolue alors sur place, de façon lente et continue. La baie de Biafra en est un exemple.

La rapidité des variations, attestée par les faisceaux d'isothermes, indique nettement que le premier processus est la règle dans la région que nous étudions : mises à part les deux zones, "Côte des Graines" et "Baie de Biafra", des catégories d'eaux différentes se succèdent au cours de l'année et correspondent à autant de saisons.

En résumé, nous avons dans le golfe de Guinée trois catégories d'eaux dont les positions à un moment donné déterminent les climats et les fronts et dont les mouvements règlent les saisons.

Les fronts et les transitions ne sont que deux aspects de la même discontinuité entre catégories d'eaux différentes.

LES ZONES FRONTALES

Des front thermiques séparent les eaux chaudes, salées ou non, des eaux froides. Leurs mouvements accompagnent celui de la zone intertropicale météorologique de convergence : à partir de mai les masses chaudes sont animées d'un mouvement nord. Elles atteignent leur position extrême en août, puis se mettent à se déplacer vers le sud, rapidement d'abord jusqu'en décembre puis lentement de janvier à avril. La plus grande stabilité relative est celle de la période de janvier à avril; elle correspond à la saison froide en

régime nord, à la saison chaude en régime sud. Relativement moins stable, la période d'août correspond à la saison chaude du nord et à la saison froide du sud (fig.10).

Le front nord des eaux chaudes se déplace entre le cap Blanc et le cap Verga, le front sud entre le cap Frio et le cap Lopez. Des phénomènes secondaires d'upwelling font apparaître, à certaines période de l'année, d'autres fronts entre le cap des Palmes et le cap Formose.

Les déplacements des catégories d'eau, marqués par les mouvements des fronts, différencient les régions et permettent de les classer en fonction des variations saisonnières qu'elles connaissent :

Nous distinguons :

- Les régions d'oscillation du front des eaux chaudes, comprises, approximativement, au nord entre le Tropique du Cancer et 10° N, au sud entre le Tropique du Capricorne et l'Equateur.

- Les zones d'upwelling, du Cap des Palmes à Cotonou.

- Les zones chaudes permanentes de la cote des Graînes et de la baie de Biafra.

C'est cette classification qui fournit le plan de notre étude régionale.

BIBLIOGRAPHIE DE LA PREMIERE PARTIE

(1) - G. SCHOTT : Geographie des Atlantischen Ozeans. Hambourg 1944.

(2) - E. LE DANOIS : L'Atlantique, Histoire et Vie d'un Océan. Paris 1938.

(3) - H.U. SVERDRUP M.W. JOHNSON, R.H. FLEMING. The Oceans New York 1946.

(4) - Stations Hydrologiques effectuées par le "LEON COURSIN", bâtiment de la Mission Hydrographique des Travaux Publics d'A.O.F. Résultats d'observations - Cahiers Océanographiques, XII, 5 (mai 1960) pp.345-356.

(5) G.R. BERRIT, M. ROSSIGNOL, J.P. TROADEC - Campagne 7.8.9.10 de l'"Ombango". Résultats d'Observations - Cahiers Océanographiques, XIII, 5 (mai 1961) pp.319-347.

(6) - Instructions Nautiques -
Afrique - Côte Ouest 1er volume - PARIS 1959
" 2ème " - PARIS 1956

(7) - Vincent CUAZ : 1956 année froide d'après une station hydrologique des côtes de Mauritanie. Les répercussions biologiques - Colloque sur l'Océanographie et les Pêches Maritimes sur la C.O.A. Loanda 20-27 novembre 1957.

(8) - M.E.L. BUYS - The South African Pilchard and Maasbanker, hydrographycal environment and commercial catches 1950 - 1957 -
Division of Fisheries - Invest. Rép. n° 37
PRETORIA 1959.

(9) A. DEFANT - Die Trosphäre des Atlantischen Ozean. Wiss.Erg.Deutsch. Atl.Exp. Meteor 1926-27
Bd VI - I Teil.

(10) - G.R. BERRIT : Esquisse des conditions hydrologiques du plateau continental du Cap Vert à la Gambie.
Bull. I.F.A.N. XIV n° 3 1952, pp.735-761.

(11) - G.R. BERRIT - Les saisons marines à Pointe-Noire
Bull. COEC, X, 6 (juin 1958), pp.335-360.

(12) - G.R. BERRIT : Océanographie Physique - Résultats Scientifiques - Campagne Calypso
Ann. Inst. Océan.T. 37 - 1959, pp.37-73.

(13) - Observations Océan. Metéo. Koninklijk Nederl.
Metéo Inst. Nr 110 - 1931.

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES VARIATIONS SAISONNIERES DANS LE GOLFE DE GUINEE *

OBSERVATIONS DE SURFACE LE LONG DES LIGNES DE NAVIGATION

par

G.R. BERRIT

(Centre d'Océanographie de Pointe Noire)

Deuxième Partie

ETUDE REGIONALE **

La description régionale des conditions hydrologiques le long de la côte d'Afrique, objet de la seconde partie de ce travail, fait une large utilisation des notions de fronts et de saisons. Comme nous l'avons précédemment indiqué, ces traits caractéristiques sont signalés sur les diagrammes espace-temps par des groupements des isolignes.

Géographiquement groupés, c'est-à-dire formant des faisceaux parallèles à l'axe des temps, les isothermes indiquent la présence de zones frontales.

Parallèle à l'axe géographique, le faisceau d'isothermes est l'indice du passage rapide d'un régime thermique à un autre, du remplacement d'une catégorie d'eau par une autre, d'un changement d'hydrosaison, d'une "transition", toutes ces expressions étant pratiquement équivalentes.

Nous avons admis, dans la première partie de ce travail, l'identité saison - catégorie d'eau. Pour la commodité de l'exposé, parce que le facteur température est le plus facilement accessible et aussi celui dont l'influence écologique est sans doute la plus grande, nous examinerons d'abord les saisons chaudes et les saisons froides. Le facteur salinité, intervenant par la suite, distinguera entre les saisons salées et dessalées.

---

* La première partie de cette étude a paru dans les "Cahiers Océanographiques" XIII, 10 (décembre 1961) pp.715-727.

** Manuscrit reçu le 15 mai 1962.

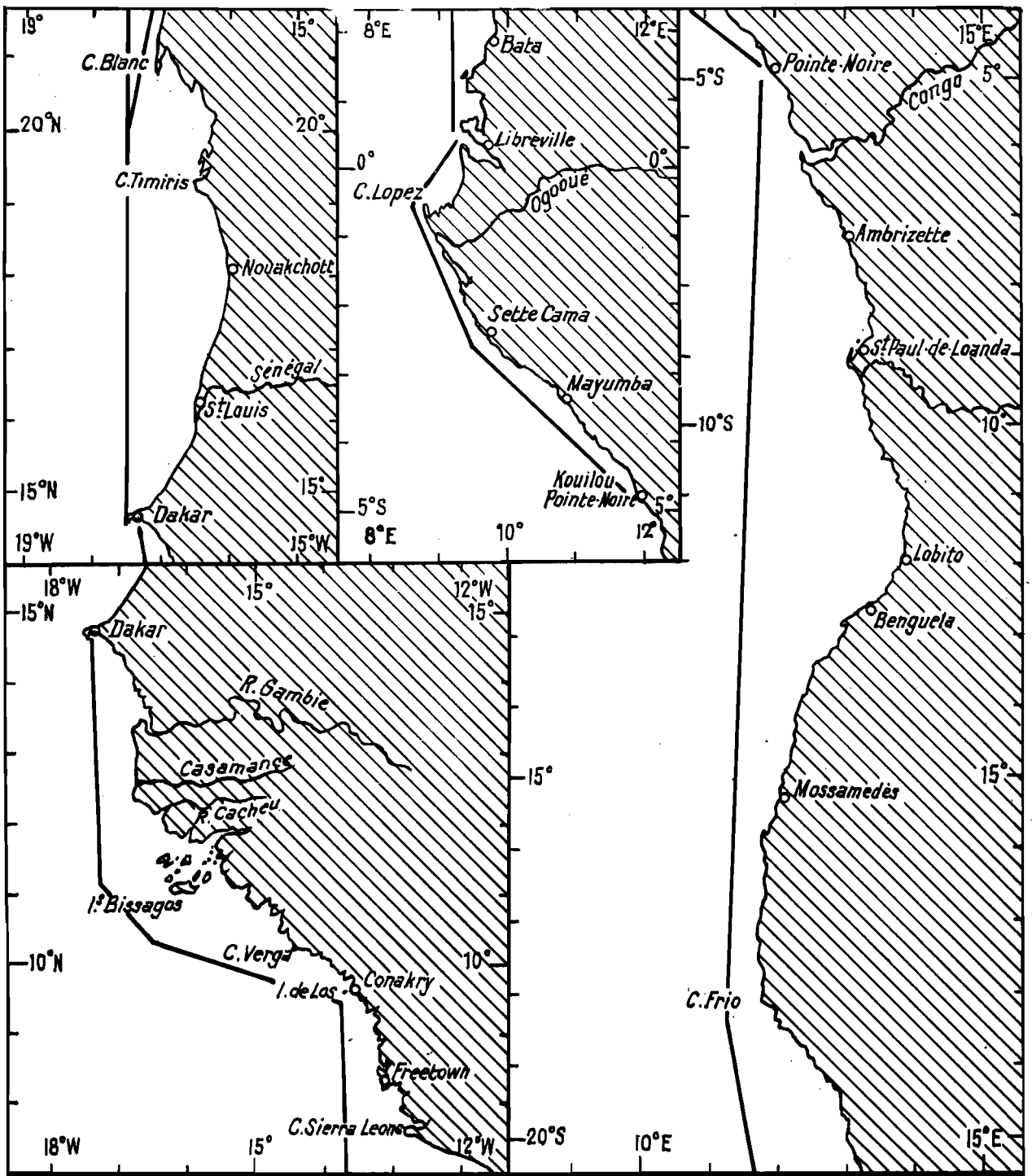
Les températures de saisons chaudes vont de 26° à 30°; au-dessous de 24° on parle de saisons froides; entre 24° et 26° il s'agit généralement de températures de zones frontales ou de transition.

En ce qui concerne les salinités, nous avons choisi (Ière partie) la valeur 35 ‰ pour différencier les "eaux salées" des "eaux dessalées". En valeur absolue les variations de salinité sont beaucoup plus grandes en eaux dessalées qu'en eaux salées, parce que les diverses causes de dessalure varient, en nature et en intensité, suivant la période considérée et la position géographique.

Nous avons vu précédemment que les basses salinités associées à des températures élevées caractérisent les "eaux guinéennes". Au sein de cette catégorie d'eau la variation de salinité est parfois très importante (plusieurs unités de salinité), sur de courtes distances ou dans un laps de temps faible. Les eaux salées, qu'elles soient chaudes ou froides, se distinguent des précédentes par une constance beaucoup plus grande de leur salinité : pour des intervalles de temps ou de distance comparables, l'ordre de grandeur des variations est, en gros, cinq fois moins grand en eaux salées qu'en eaux guinéennes. Notons encore que la variabilité a tendance à augmenter lorsque la salinité diminue et que l'échelle logarithmique des variations de salinité se prête mieux que la linéaire à la représentation des fluctuations halines.

Note : La compréhension des diagrammes de température ou de salinité est grandement facilitée par une présentation en couleurs, qu'il n'a pas été possible de réaliser. Il est conseillé aux lecteurs qui auront à faire usage de ces diagrammes de procéder à cette coloration, en utilisant une gamme de teintes du rouge au violet dans l'ordre des couleurs du spectre solaire avec les gradations suivantes :

Températures		Salinités	
< 20°	violet	> 35,8 ‰	violet foncé
20 - 24	du violet au bleu	35,8 - 35,6	violet
24 - 25	vert	35,6 - 35	du violet au bleu
25 - 26	vert-jaune	35 - 34,5	vert
26 - 27	jaune	34,5 - 34	vert-jaune
27 - 28	orangé	34 - 33	jaune
28 - 29	rouge	33 - 32	orangé
> 29	rouge foncé	32 - 30	de l'orangé au rouge
		< 30	rouge



Echelle de $\frac{1}{10.000.000}$

0 500 Km

Trajets des navires observateurs dans les régions d'oscillation du front des eaux chaudes

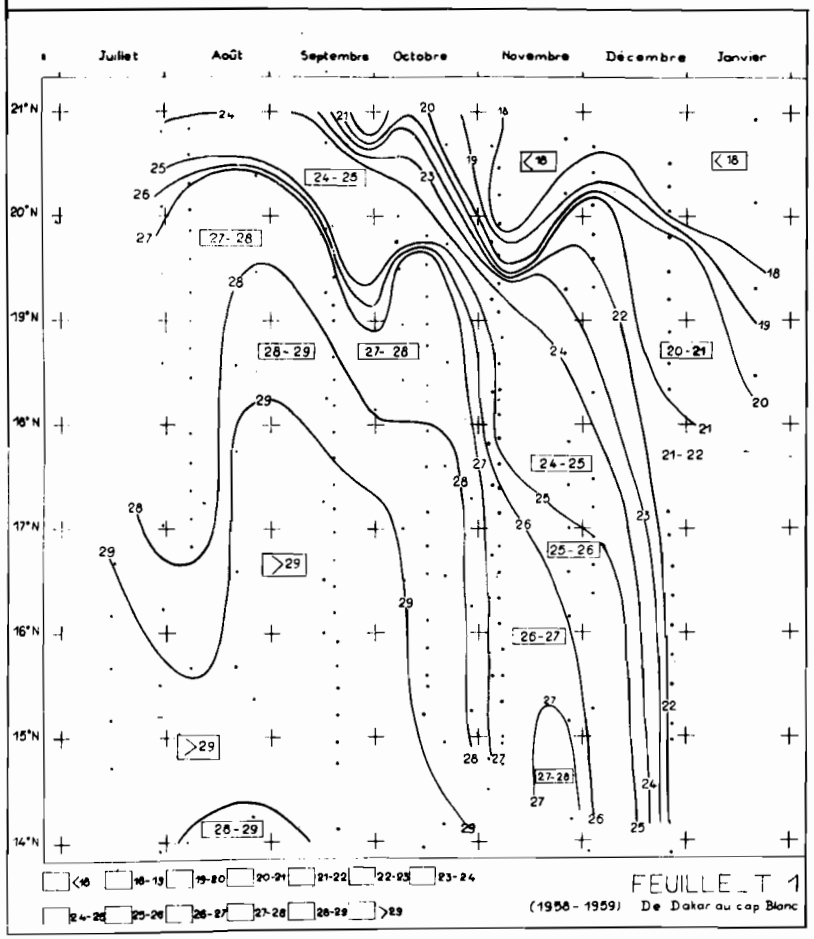
G.R.Berrit

Figure 1

G.R. Berrit

Diagramme Température et diagramme Salinité au Nord de Dakar

Les observations ne couvrent que la période de août à janvier. De août à octobre, front entre le cap Timiris et le cap Blanc. En décembre transition saison chaude - saison froide. Les salinités restent supérieures à 35 ‰ au nord de Nouakchott.



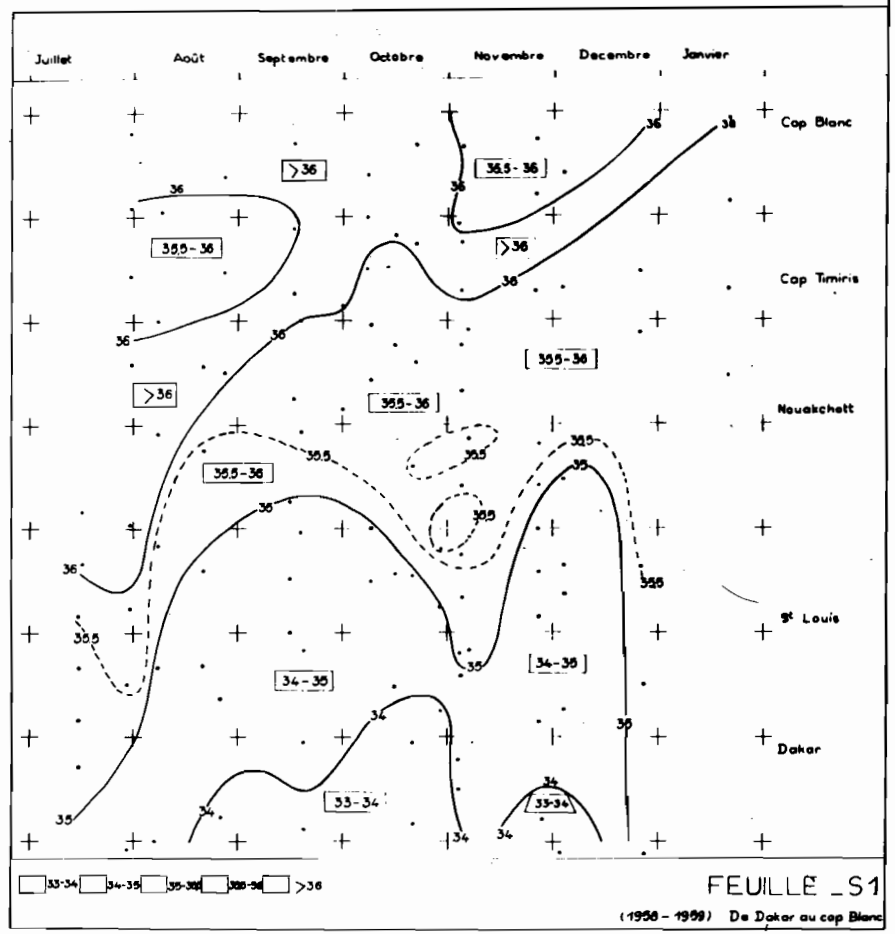


Figure 2

G.R.Berrit

Diagramme thermique sur le trajet Dakar-Sierra Leone

De janvier à avril, eaux froides au Sud de Dakar jusqu'aux îles Bissagos. La zone frontale se place entre le cap Verga et la Casamance.

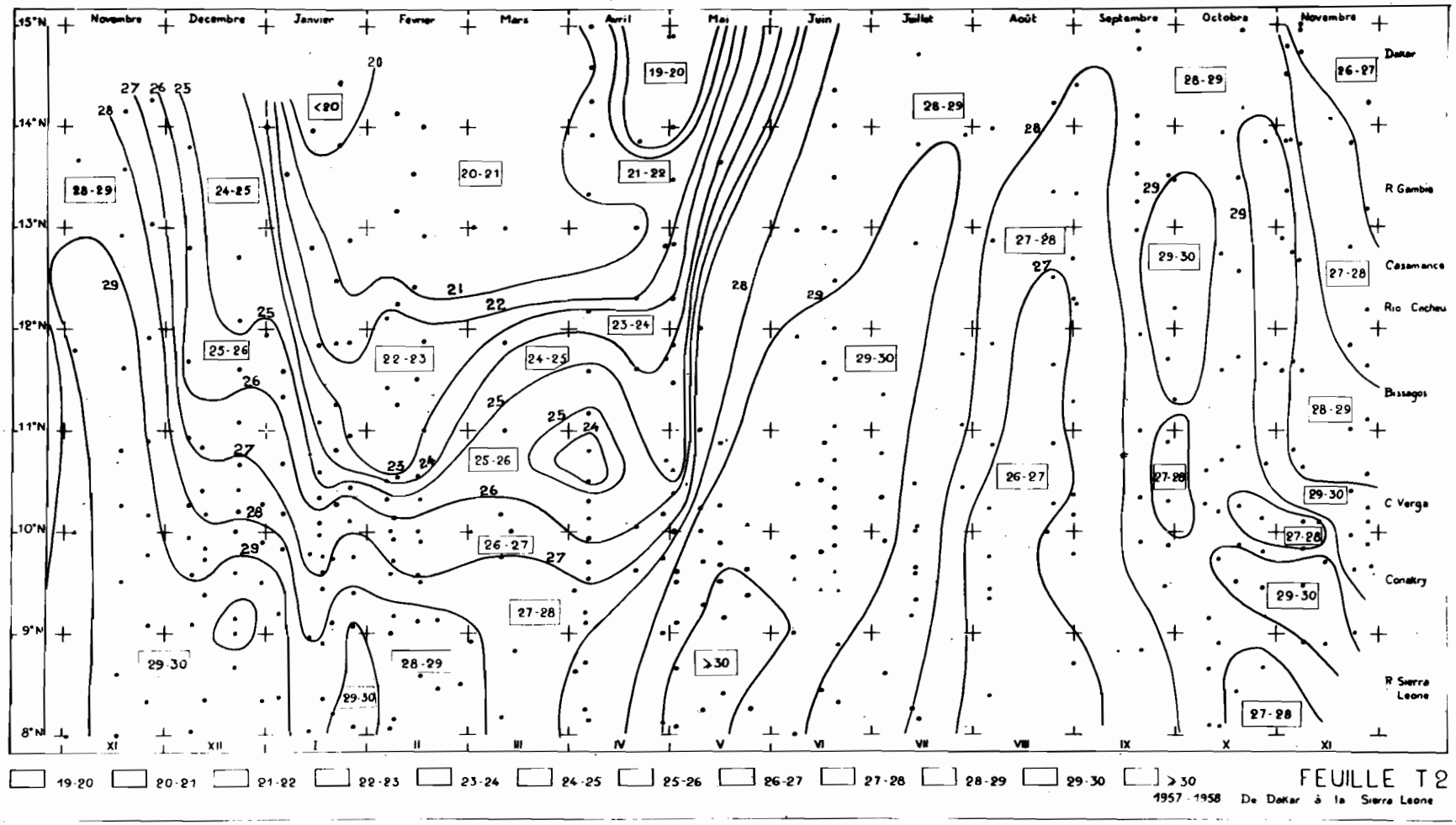


Figure 3

G.R.Berrit

Diagramme halin sur le trajet Dakar-Sierra Leone

Les eaux salées descendent au Sud de Dakar de décembre à juillet. Elles dépassent Conakry en avril.

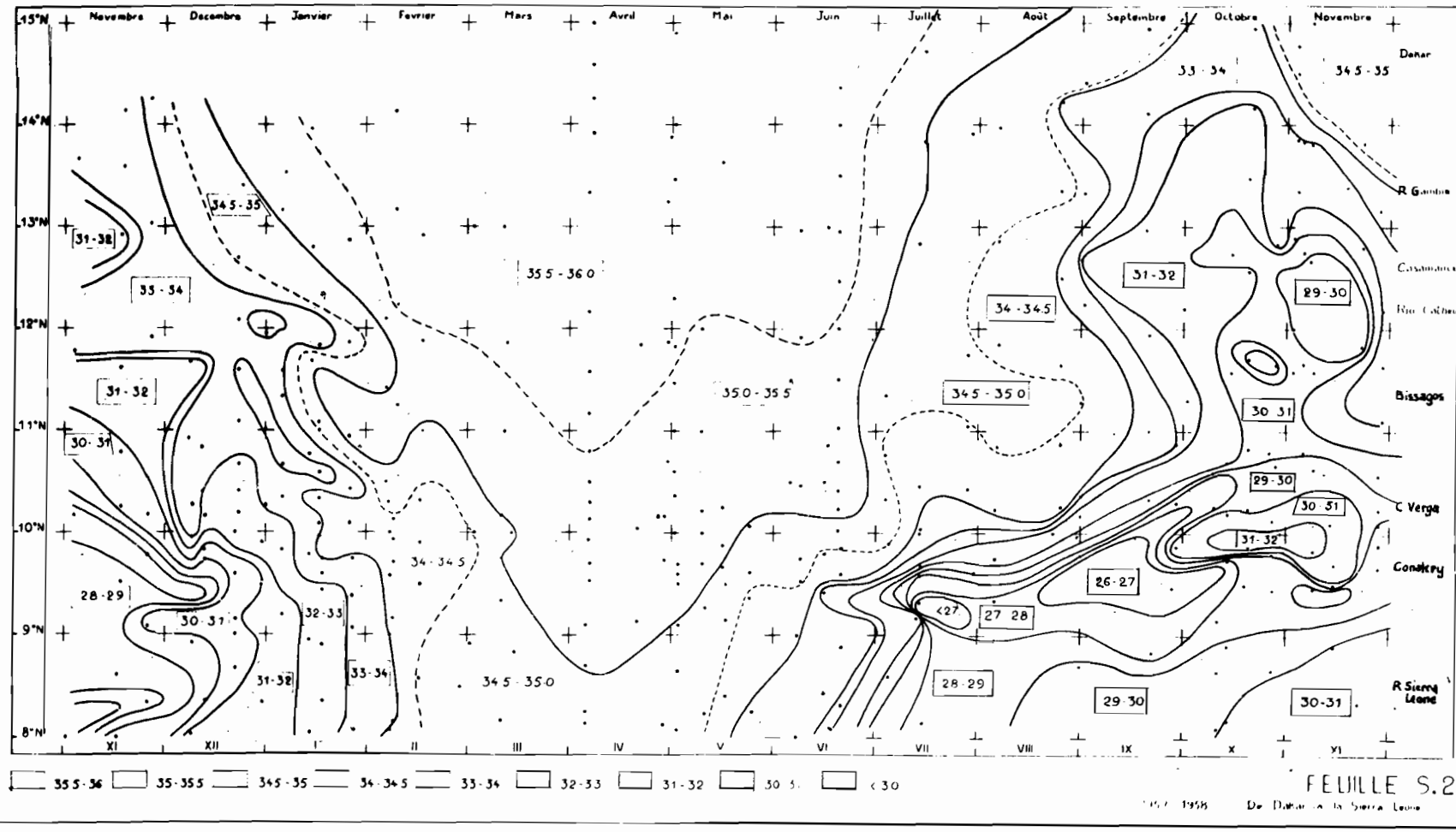
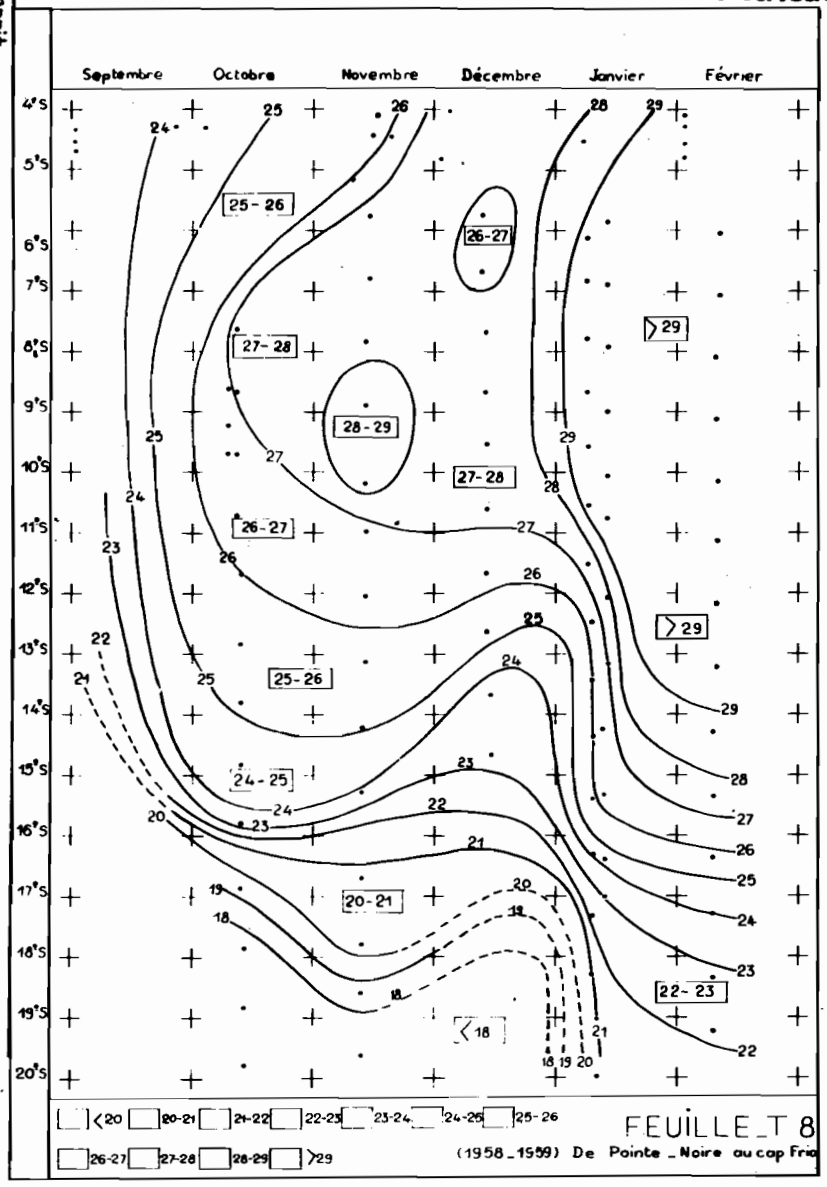


Figure 4

G.R.Berrit

Diagramme thermique et diagramme halin de Pointe-Noire au Cap Frio

Observations de septembre à février



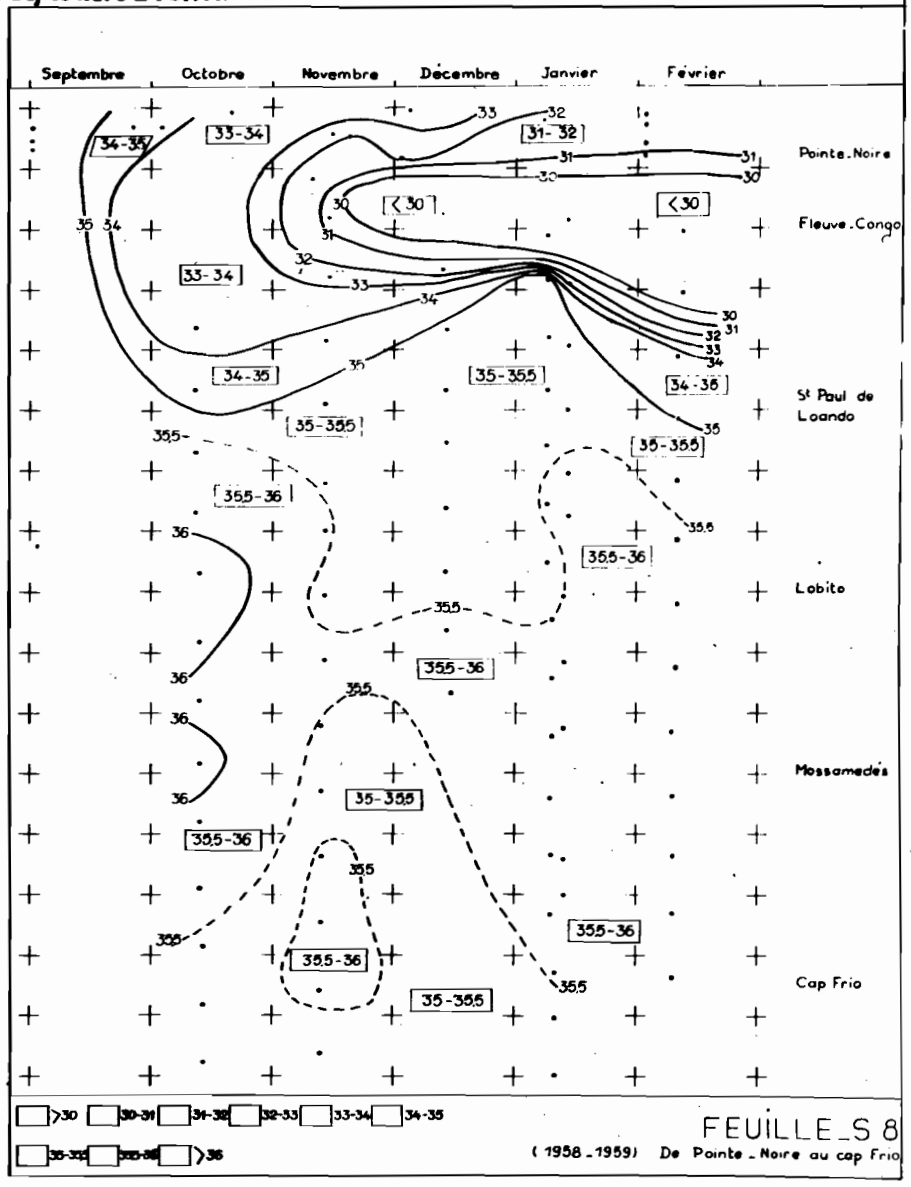
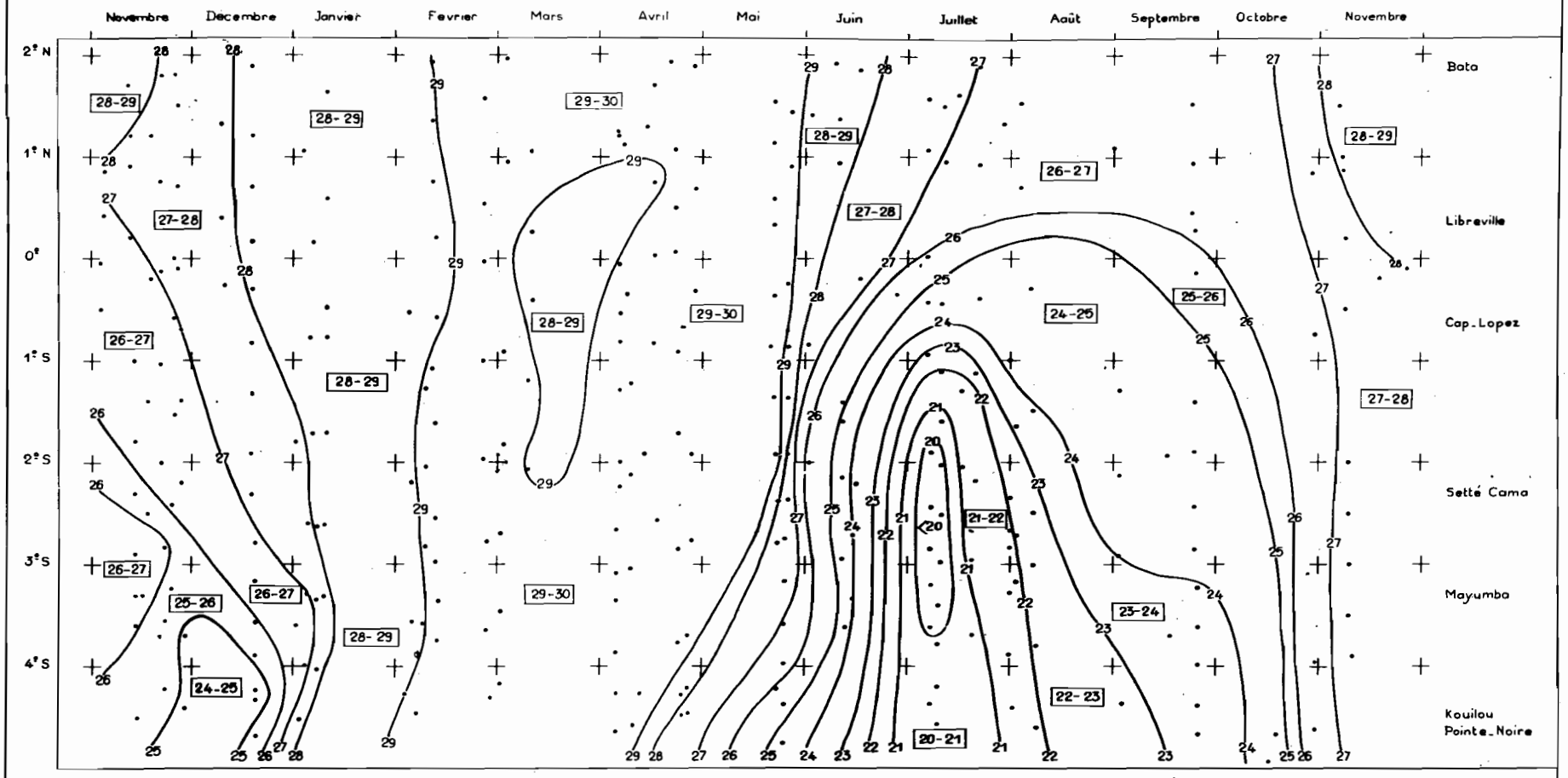


Figure 5

dR Berrit

Diagramme thermique de Bata à Pointe-Noire

Eaux froides à Pointe-Noire de juin à septembre. Le cap Lopez est la limite nord de l'isotherme 24°.



FEUILLET 7

(1956-1957) De Bata à Pointe-Noire

Figure 6

I - LES REGIONS D'OSCILLATION DU FRONT DES EAUX CHAUDES

(Mauritanie - Sénégal - Guinée - Angola - Congo - Gabon)

Il existe deux régions homologues - une pour chaque hémisphère - qui sont occupées une partie de l'année par les eaux chaudes, guinéennes ou tropicales, alors que le reste du temps elles se rattachent à l'un des deux systèmes de courants froids, courant des Canaries au nord, courant de Benguela au sud.

T E M P E R A T U R E S

Plusieurs faisceaux d'isothermes déterminent les zones et les périodes d'eaux chaudes et d'eaux froides. Ils sont groupés généralement autour de celui de 24° (fig.2,3,5,6).

Les eaux chaudes (catégorie C S et C D) occupent toute l'année la région située au sud du Cap Verga et se développent dans le Nord de juin à décembre jusqu'à atteindre le Cap Blanc (en août).

Les eaux froides règnent toute l'année au nord du Cap Blanc. En décembre leur domaine s'étend rapidement vers le Sud et dépasse les Bissagos en janvier. La situation reste à peu près stationnaire jusqu'en mai où l'isotherme de 24° remonte vers le Nord.

L'évolution dans la zone sud est tout à fait analogue, avec un décalage de six mois :

- En mai, alors que les eaux chaudes se développent vers le Nord dans la région mauritanienne, elles subissent dans l'hémisphère sud un mouvement, dirigé aussi vers le Nord, qui les amène à s'établir, en juillet, à la latitude du Cap Lopez, très près de l'équateur.

- Fin septembre, début octobre, l'isotherme de 24° descend vers le Sud et s'installe vers 16° 17°S, c'est-à-dire entre Mossamedès et le Cap Frio, pendant que, dans le Nord, mais deux mois plus tard, il s'établit au sud des Bissagos.

Le résultat de ces mouvements des fronts des eaux chaudes est de déterminer des saisons décalées en gros de six mois :

La saison chaude, qui règne de juin à décembre dans le Nord, s'étend au Sud, d'octobre à mai; la saison froide couvre, au Sud, les mois de juin à septembre, au Nord de décembre à mai.

Variations thermiques annuelles

Région nord

La variation thermique est maximale entre 14°N et 16°N avec un ordre de grandeur de 10°. A Dakar, la différence extrême des moyennes mensuelles de surface est de 10°7.

D'après des observations exécutées au voisinage de la côte (2)* dans la région de St-Louis, le maximum de surface est de 28° en septembre, le minimum de 16° et l'amplitude de variation de 12°.

Dans la région du Cap Blanc (15), à l'entrée de la baie du Cansado, la différence des moyennes mensuelles est de 6°. L'amplitude mesurée par la différence entre les maximums et minimums absolus est en général voisine de 8°.

Au sud de Dakar l'amplitude de variation thermique décroît le long de la côte. D'après nos observations elle est à Dakar de 10° environ, 8° aux Bissagos, 5° au Cap Verga, 4° à la Rivière Sierra Leone.

Région sud

Pour la région correspondante de l'hémisphère sud, on a mesuré à Pointe-Noire près de la côte (3) un maximum mensuel moyen de 28°1, un minimum de 19°4, soit une amplitude de variation moyenne de 8°7. Mais les différences entre maximums et minimums observées sont de :

12°3 en 1954
12°4 en 1955
10°5 en 1956
11°8 en 1957

La figure 6 donne une indication de 9° toujours pour Pointe-Noire. La région Mayumba-Sette Cama est un peu plus froide et l'amplitude y est un peu plus grande.

Au nord du Cap Lopez, on n'a plus que 6° et 4° à Libreville.

Au sud de Pointe-Noire, les mesures manquent mais il semble que la région à forte amplitude de variation thermique (>8°) s'étend jusqu'à Mossamedès, sur 15° de latitude (de 0° à 15°S), beaucoup plus que dans l'hémisphère nord où elle couvre 6° seulement (de 12°N à 18°N environ).

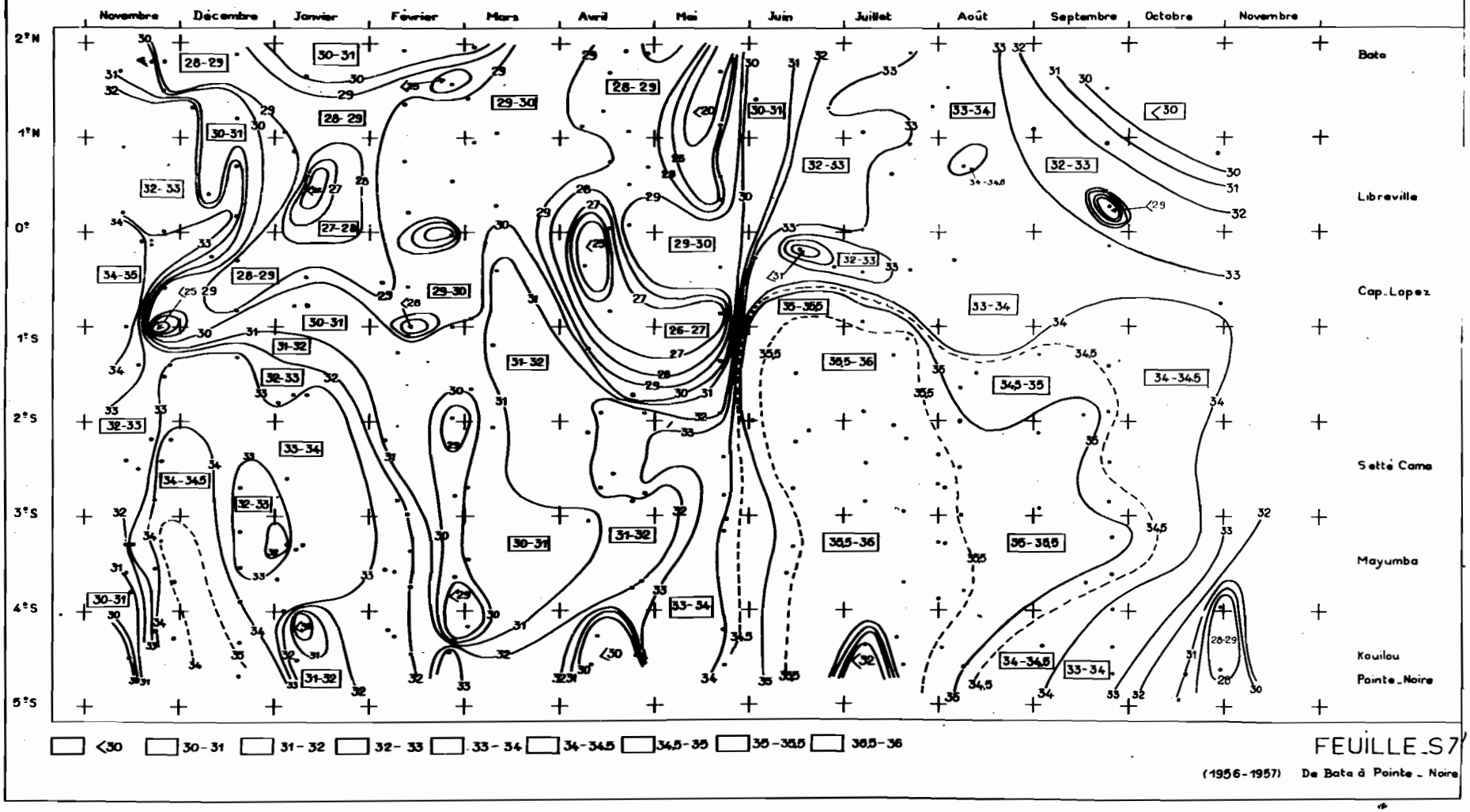
---

* Voir la note en bas de la page 643

G.R. Berrit

Diagramme halin de Bata à Pointe-Noire .

. Eaux salées de juin à septembre à Mayumba



FEUILLE_S7

(1956-1957) De Bata à Pointe_Noire

Figure 7

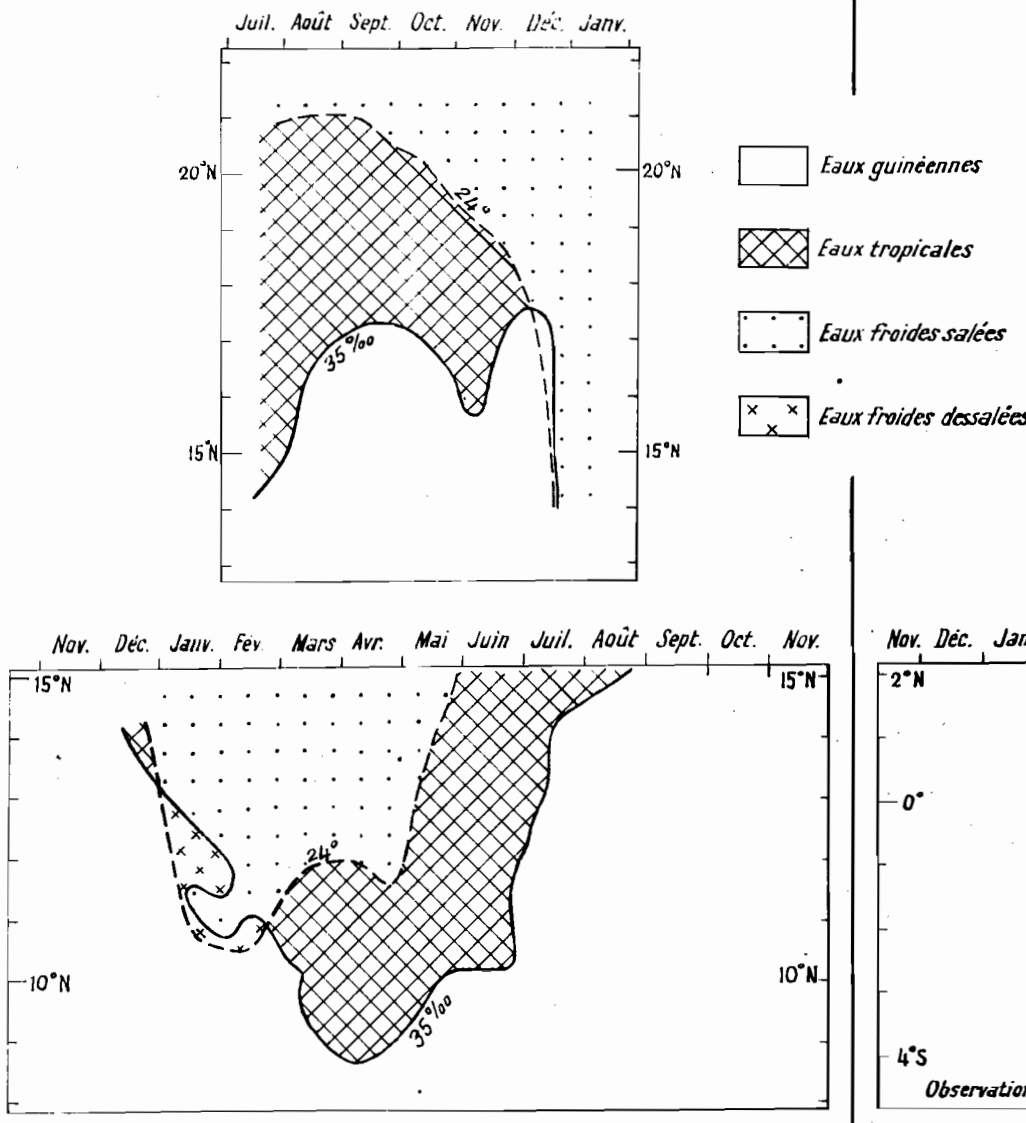


Figure 8. *Les catégories d'eaux dans la zone nord d'oscillation du front des eaux chaudes.*

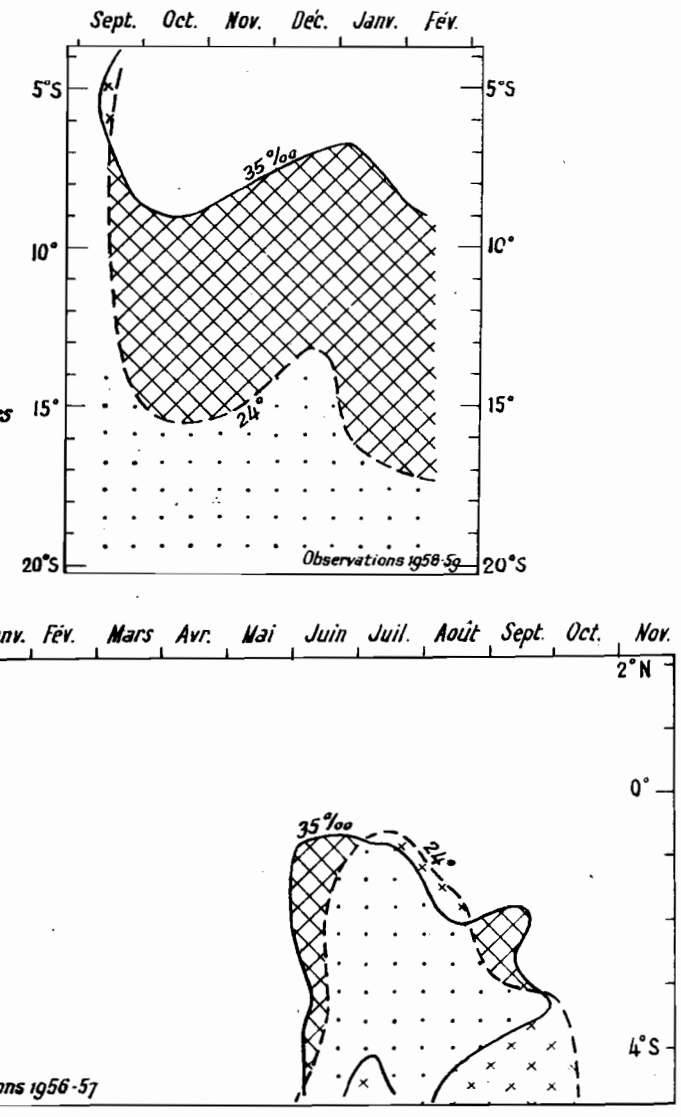


Figure 9. *Les catégories d'eaux dans la zone sud d'oscillation du front des eaux chaudes.*

Figures 8 et 9

S A L I N I T E S

Si nous considérons maintenant les diagrammes de salinités, (fig.2,4,5,7) nous constatons la présence alternée d'eaux salées (> 35 ‰) et dessalées (< 35 ‰).

Les eaux salées arrivent avec les basses températures, en juin pour l'hémisphère sud, en décembre pour l'hémisphère nord, mais le régime des fortes salinités se maintient au-delà de la période froide : on trouve en règle générale des eaux de la catégorie C S (chaudes salées), entre les eaux froides F S (mauritaniennes ou bengueliennes) et les eaux guinéennes. Ces eaux C S sont particulièrement étendues de mai à novembre dans le Nord, de septembre à mai dans le Sud (c'est-à-dire pendant la saison chaude); en saison froide elles sont beaucoup plus réduites et vont même jusqu'à disparaître complètement au moment du passage de la saison chaude à la saison froide (en décembre-janvier dans le Nord, fig.8).

Nous aurons en conséquence deux sortes de fronts :

- ceux où la salinité varie peu,
- ceux qui coïncident plus ou moins avec un front salin.

La salinité des eaux C S et celle des eaux F S, toujours supérieure à 35 ‰ (par définition), ne dépasse pas, pour les premières 36 ‰, pour les secondes 36,3 ‰. Les eaux C D par contraste connaissent de fortes variations au-dessous de 35 ‰.

Il en résulte que, dans les zônes soumises à une alternance d'eaux C S et F S, règneront des salinités assez stables allant de 35 à 36 ‰ approximativement; c'est le cas de la région au nord de Nouakchott et de son homologue au sud de St. Paul de Loanda.

Les variations annuelles sont beaucoup plus marquées dans les autres zones où se succèdent les trois catégories d'eau. La dessalure maximale des eaux guinéennes augmente dans la direction de l'Equateur et l'amplitude annuelle de variation saline, qui est de 2 ‰ dans la région de Dakar atteint et dépasse 6 ‰ au sud de la Casamance. On trouve des valeurs analogues entre le cap Lopez et St. Paul de Loanda.

LES FRONTS

Pour chacune des deux régions homologues il existe deux fronts, l'un de saison froide, le plus proche de l'Equateur, l'autre de saison chaude dans la région du tropique.

Pour la région nord, ce sont les fronts de Mauritanie et de Guinée, pour la région sud le front d'Angola et celui du Gabon.

- Front Mauritanien

De juin à décembre 1958 (fig.2), en période de saison chaude boréale, on a observé deux fronts entre le cap Timiris et le cap Blanc. Le premier correspondrait au groupement des isothermes 27° - 26° - 25°, le second à 23° - 21° - 20°.

La zone frontale mauritanienne est toujours très marquée. Elle apparaît nettement sur les enregistrements relevés par les navires observateurs (fig.10), avec des variations de températures de l'ordre du degré sur quelques milles. Il lui correspond une région de pêche bien connue.

L'homologue sud du front de Mauritanie est le front d'Angola (fig.5), dans la région Mossamedès-cap Frio, sur lequel nous sommes moins bien renseignés.

Nos observations dans ce secteur sont trop espacées pour faire ressortir les traits de détail. Elles ne portent d'ailleurs que sur la période d'octobre à février.

Il semble, d'après quelques enregistrements (fig.10), que l'allure de la zone frontale est analogue à celle de Mauritanie, avec une variation thermique brutale.

Au maximum de développement des eaux froides vers l'Equateur correspondent les deux fronts homologues de Guinée et du Gabon. L'étude de leur évolution au cours de la saison froide serait intéressante : surtout marqués en début de saison, ils paraissent s'étaler ensuite jusqu'à représenter une large zone où la température croît régulièrement dans la direction de l'Equateur.

Le front guinéen (fig.4)* se place, de janvier à mai entre les îles de Los et la Casamance.

Il est particulièrement net en début de période froide (janvier-février).

En janvier et février l'isohaline de 35 ‰ se trouve dans la région du front : plus tard dans la saison, en mars et avril, elle descend

---

* Une certaine déformation est introduite dans la portion inférieure des figures 3 et 4 par le mode de représentation qui projette le trajet sur un méridien.

jusqu'au niveau de la Sierra Leone et on trouve ainsi, au sud du front, une large bande d'eau salée chaude* (fig.8).

Ce front guinéen est fréquenté depuis quelques années par les flottilles thonières.

Le front gabonais s'accroche au cap Lopez. Comme son homologue guinéen, il paraît plus marqué en début de saison froide. Il a été observé à plusieurs reprises, par deux fois en juin, puis en août, par des campagnes hydrologiques dont les résultats viennent à l'appui des indications de surface (1, 7, 8).

De plus, la zone de Pointe-Noire à Bata ayant été choisie pour mettre au point la routine des observations, nous disposons, outre les indications de 1956-1957, de résultats portant sur la période 1955-1956. La comparaison des figures fait ressortir un schéma général identique, et des différences de détail.

LES SAISONS

Hémisphère nord

Au sud de Dakar, le passage des eaux froides aux eaux chaudes est marqué par un faisceau d'isothermes peu incliné sur l'axe des temps: le changement de saison se fait, entre le cap Verga et Dakar, à peu près à la même époque: la température dépasse les 24° au début de mai au Rio Cacheu, vers le 15 à la Rivière Gambie, fin mai à Dakar (en 1958).

La saison chaude règne ensuite, avec des eaux d'abord salées puis dessalées jusqu'en novembre-décembre, où la température diminue rapidement jusqu'à atteindre son niveau de saison froide.

Au nord de Nouakchott et jusqu'au cap Blanc, la saison chaude ne connaît que des eaux salées. La température tombe au-dessous de 24° à la fin d'octobre au cap Timiris, début décembre à Nouakchott, courant décembre de Saint-Louis aux Bissagos (1958).

---

* Quant aux eaux dessalées froides de la figure 8, elles ne sont représentées que par 7 observations :

23 m	33,80 ‰	m/s	"G^{al} Leclerc"	21 m	34,95 ‰	m/s	"G^{al} Mangin"
23	34,62	"	" "	23,5	34,82	"	"Calais"
23	34,72	"	" "	23	34,33	"	"G^{al} Leclerc"
				22	34,96	"	" "

Hémisphère sud

La limite nord des eaux froides est le cap Lopez: la limite sud des eaux chaudes se place un peu au nord du cap Frio.

Le domaine des eaux guinéennes a sa frontière sud à Saint-Paul de Loanda.

La saison chaude a commencé, en 1957, avec le passage de l'isotherme de 24°, fin juillet à Sette-Cama - fin septembre à Mayumba - vers le 15 octobre à Pointe-Noire. En 1958 elle débutait en septembre de Pointe-Noire jusqu'à Mossamedès.

Au point de vue des rapports températures - salinités et des catégories d'eau, la situation paraît assez confuse entre Pointe-Noire et le cap Lopez (fig.9): les eaux bengueliennes se trouvent bordées d'eaux tropicales en juin et aussi en septembre de Sette-Cama à Mayumba - mais aussi d'eaux froides dessalées en juillet-août du cap Lopez à Sette-Cama et en août-septembre de Mayumba à Pointe-Noire.

Les diagrammes de 1955-1956 ont une allure analogue: les eaux bengueliennes sont bordées d'eaux tropicales ou d'eaux froides dessalées.

La présence d'eaux froides dessalées est attestée en outre par un trop grand nombre d'observations sur plusieurs années pour qu'on puisse douter de leur existence.

Ces eaux sont peu épaisses : les quelques stations dont nous disposons* indiquent que la dessalure affecte moins de 10 m d'épaisseur à l'exception cependant de la station Ombango 90 proche de cap Lopez où on a trouvé à 10 m une salinité de moins de 35 ‰ en relation certaine avec les écoulements de l'Ogooué.

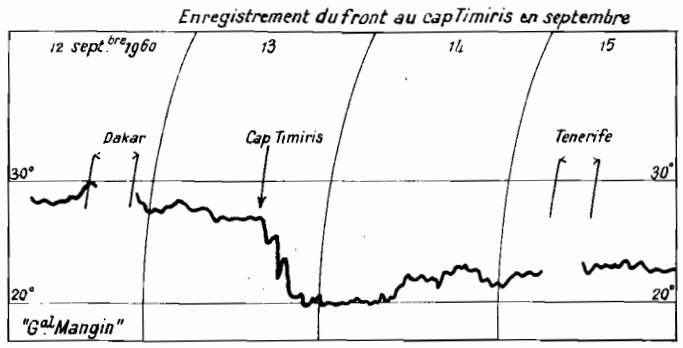
La saison chaude dure jusqu'en mai. La transition marquée par le faisceau des isothermes 27° à 24°, a couvert, en 1957, la première quinzaine de juin du cap Lopez à Mayumba, en retard d'une dizaine de jours sur la région de Pointe-Noire.

Nous n'avons pas d'observations sur la fin de la saison chaude plus au Sud. Cependant une mission effectuée du 19 au 23 avril 1959 (4) a permis d'observer la présence d'eaux guinéennes jusqu'à St-Paul de Loanda.

La transition se place donc en mai, puisque juin est, nous le savons par ailleurs, un mois de saison froide.

---

* 3 du "Baldaque de Silva" en 1951, 4 de l'"Ombango" en 1956; tout un autre groupe d'observations est à rattacher au Fleuve Congo.



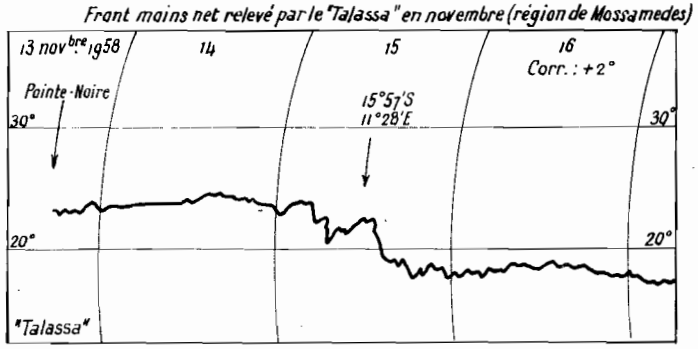
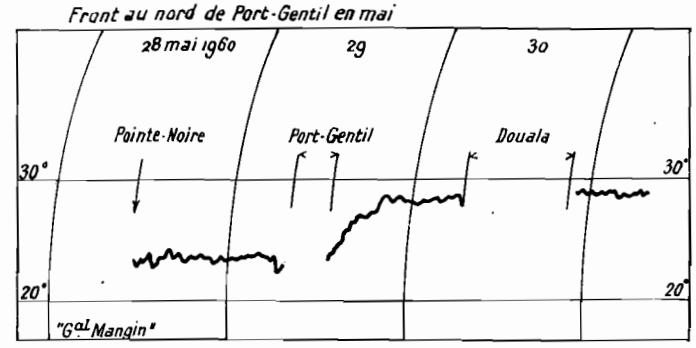


Figure 10. *Les fronts des eaux chaudes à leurs périodes d'éloignement maximal de l'équateur*



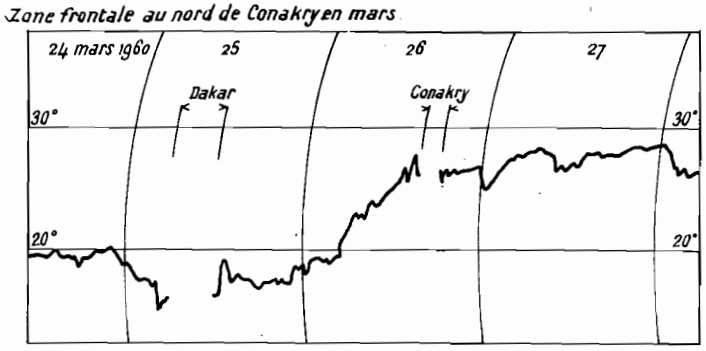
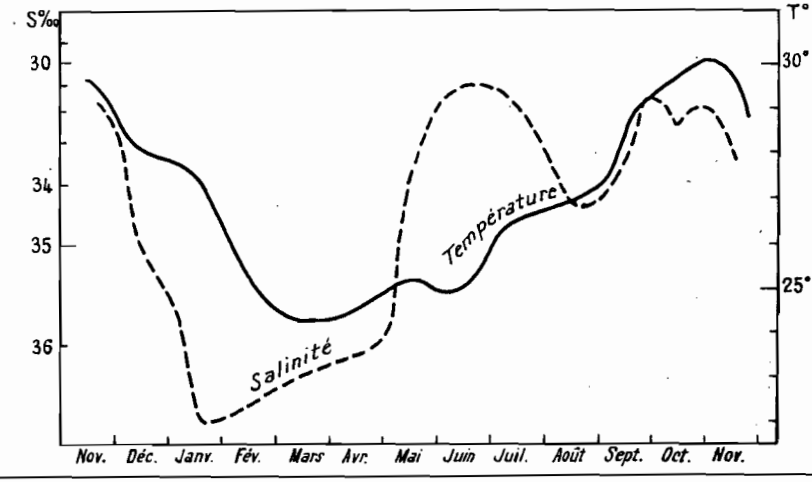


Figure 11. *Avancée extrême des eaux froides*

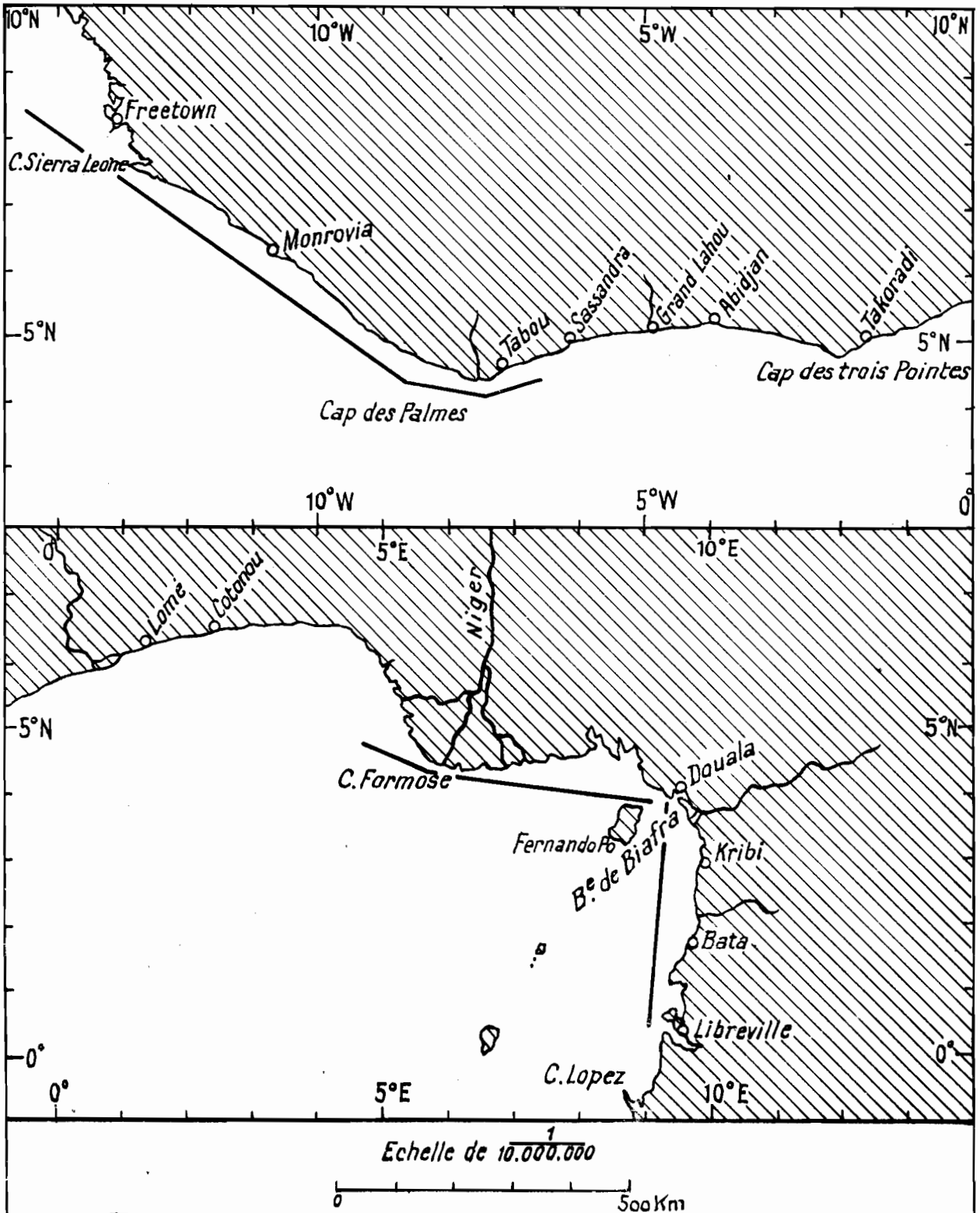
Figure 12

Courbes de variations thermiques et halines par 12°N



La salinité augmente très vite en décembre-janvier. En mai elle décroît rapidement

Figures 10 à 12



Trajets des navires observateurs dans la région libérienne et dans la baie de Biafra

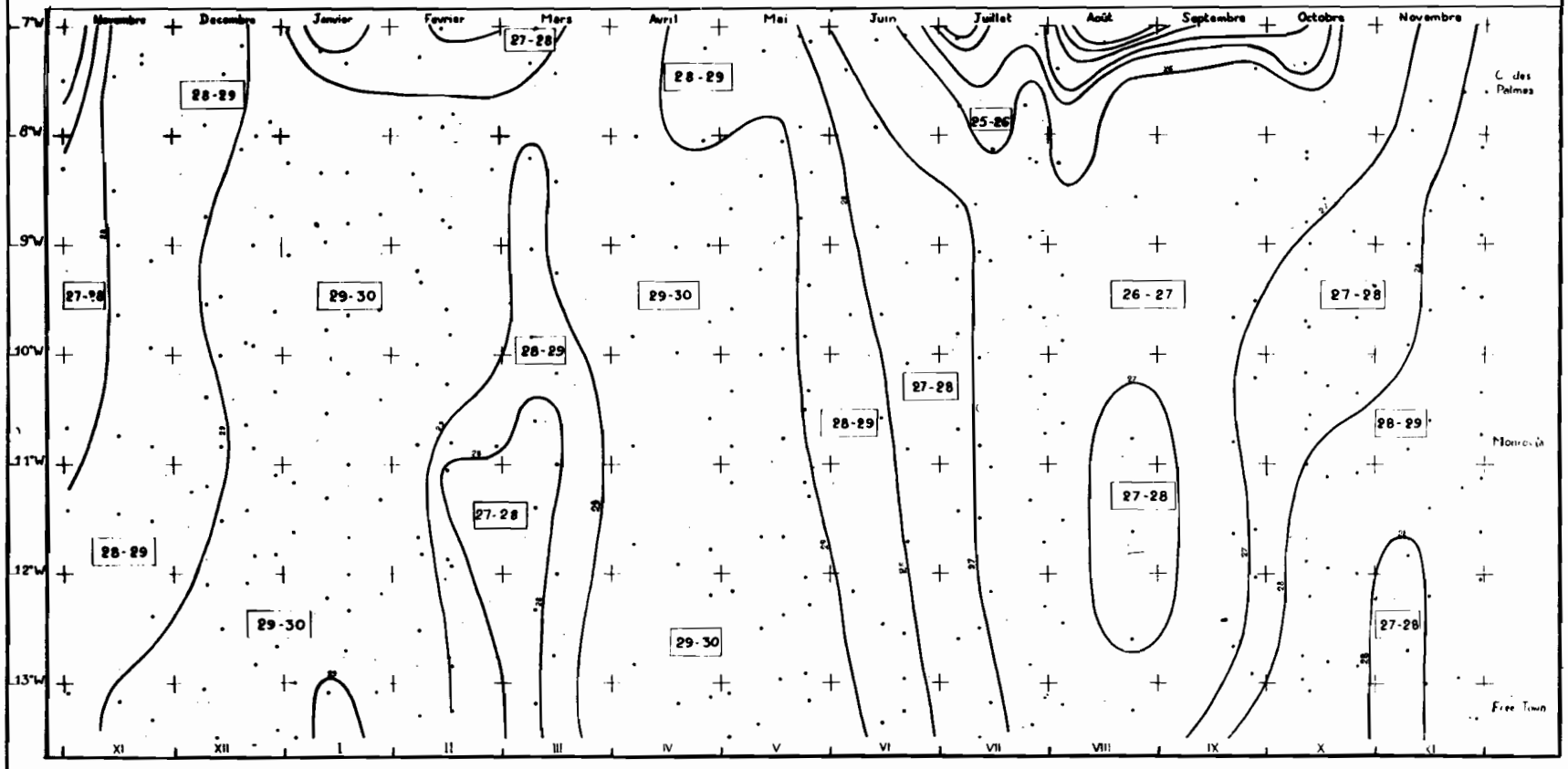
G.R. Berrit

Figure 13

G.R.Berrit

Diagramme thermique du cap des Palmes à Freetown

Températures élevées, réseau lâche des isothermes



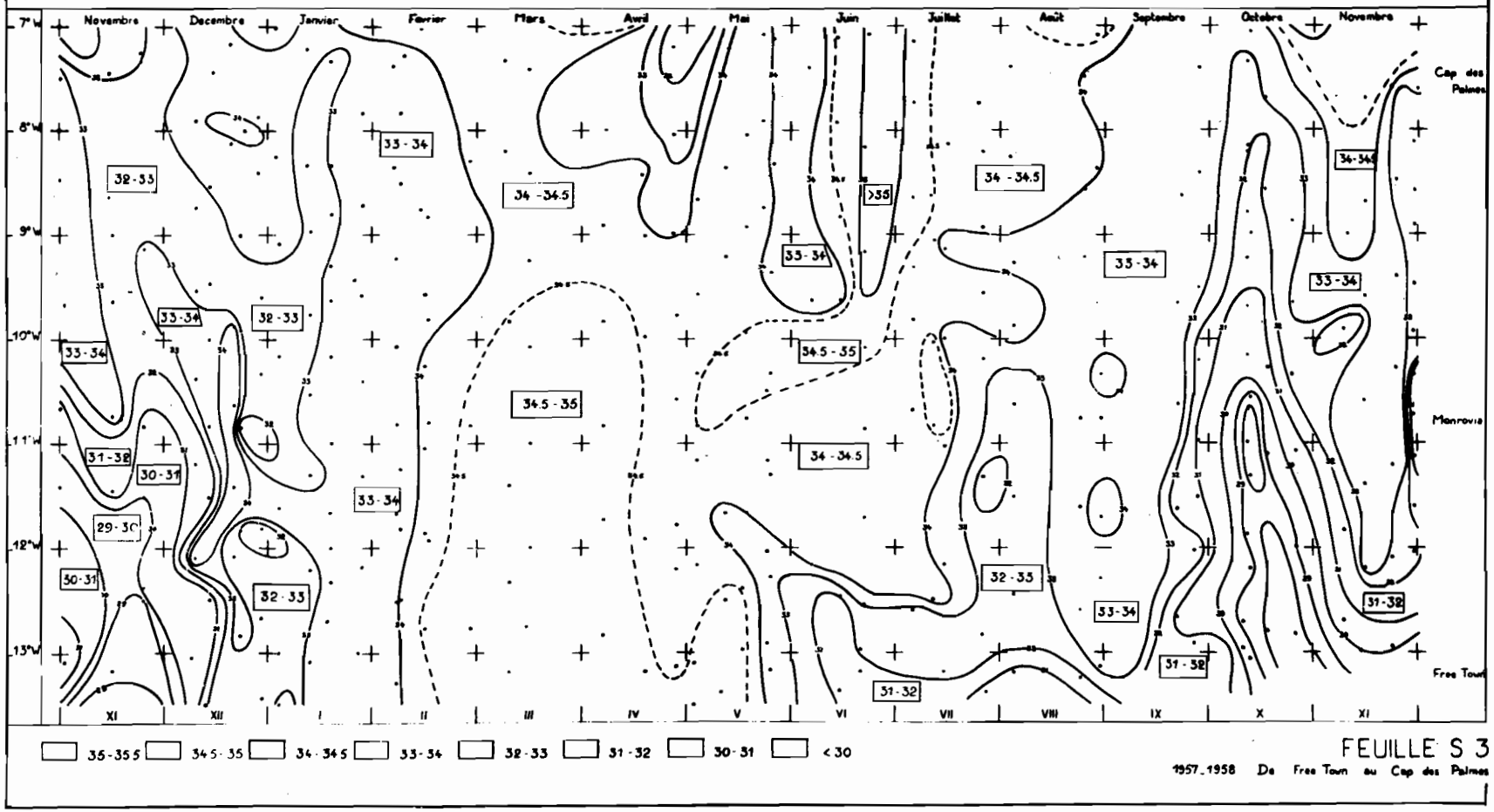
FEUILLE T 3

1957 - 1958 De Free Town au Cap des Palmes

Figure 14

G.R.Berrit

Diagramme halin du cap des Palmes à Freetown



FEUILLE S 3

1957_1958 De Free Town au Cap des Palmes

Figure 15

G.R. Berrit

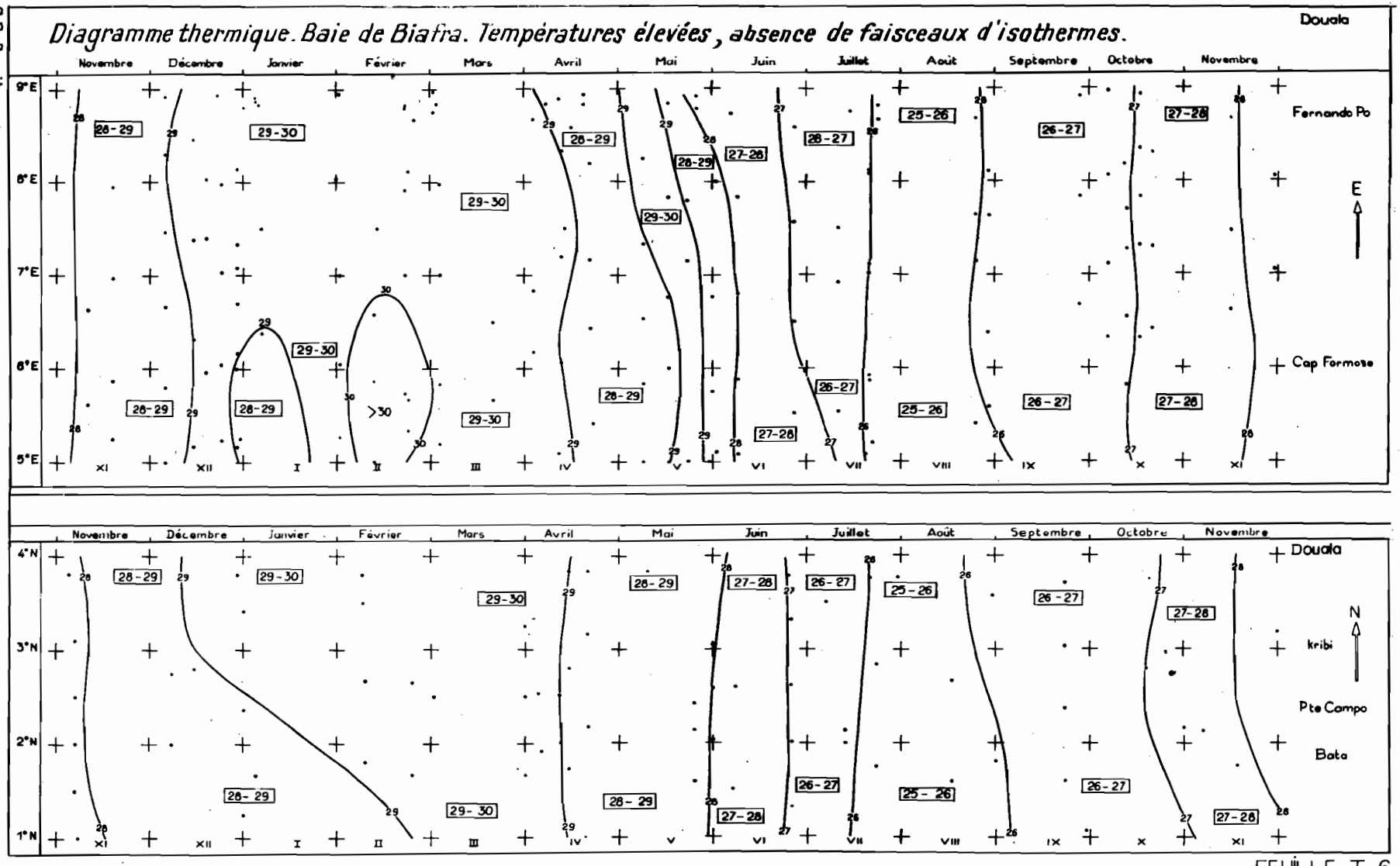


Figure 16

FEUILLE_T 6

(1957_1958) Du Niger à Bata

G.R. Berrit

Diagramme halin des trajets dans la zone d'eaux chaudes permanentes de la baie de Biafra.

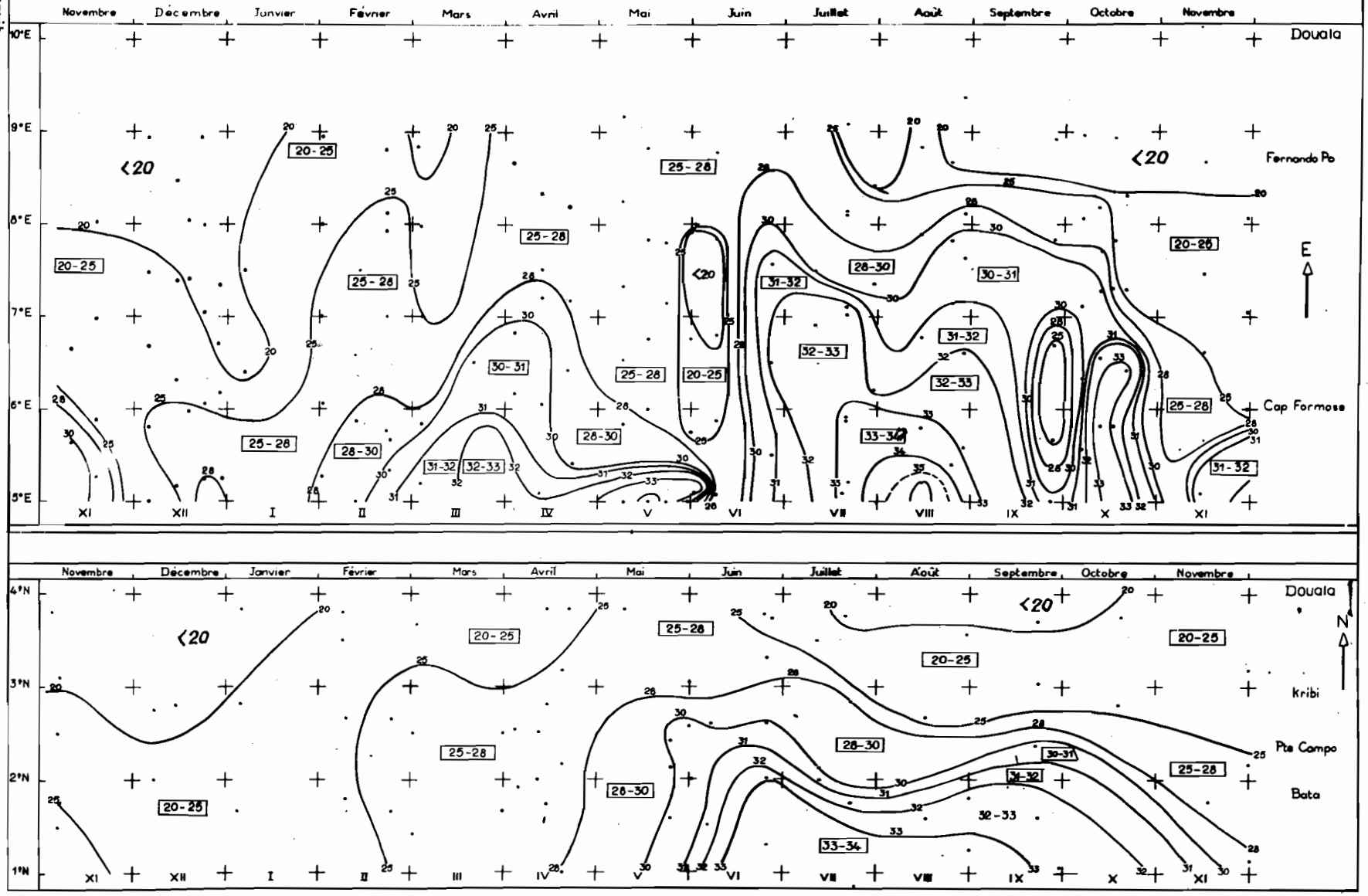


Figure 17

FEUILLE_S6

(1957_1958) Du Niger à Bata

TABLEAU ANALOGIQUE

	nord	sud
Extension extrême des eaux chaudes	Cap Blanc (limite N de l'isotherme 24°)	Cap Frio (limite S de l'isotherme 24°)
Extension extrême des eaux dessalées	Nouakchott (limite N de 35 o/oo)	St. Paul de Loanda (limite S de 35 o/oo)
Extension minimale des eaux chaudes	Cap Verga (limite S de 24°)	Cap Lopez (limite N de 24°)
Extension minimale des eaux dessalées	Rivière Sierra-Leone (limite S de 35 o/oo)	Cap Lopez (limite N de 35 o/oo)

II - LES ZONES D'EAUX CHAUDES PERMANENTES

Du cap Verga au cap des Palmes, d'une part, de Cotonou au cap Lopez d'autre part, on rencontre toute l'année des températures de surface supérieures à 24°. Ces deux régions ont en commun, outre leurs températures relativement constantes et élevées, des valeurs faibles de la salinité. Ce sont les deux domaines où l'on trouve l'eau guinéenne de façon permanente. Nous donnons au premier le nom de "région libérienne", au second celui "région de la Baie de Biafra".

L'un et l'autre correspondent aux plus fortes précipitations enregistrées à la côte (9).

Régime des températures

La permanence d'une unique catégorie d'eaux, les eaux guinéennes, a pour conséquence l'absence de faisceaux d'isothermes, donc de zones frontales et de transitions. Les variations sont lentes et progressives, les saisons mal définies.

En Baie de Biafra (fig.16), les températures dépassent toute l'année les 25°. Le réseau des isothermes est lâche. La courbe thermique (fig.18) exprime l'influence exclusive du régime sud : maximum en février-mars, minimum en août.

L'amplitude de variation est faible, inférieure généralement à 4°.

Le schéma général dans la région libérienne (fig.14) est analogue: prédominance des températures élevées, absence de faisceaux d'isothermes. Les eaux sont un peu plus chaudes qu'en Baie de Biafra : elles se maintiennent toute l'année au-dessus de 26° à l'ouest du Cap des Palmes, sauf quelques incursions en juillet-août-septembre d'eaux plus froides débordant le Cap et à rattacher à celles de la région des upwellings.

De janvier à mai, la température dépasse 29°.

L'allure générale de la courbe thermique (fig.18) est celle du régime sud, mais il s'y superpose des minimums et des maximums secondaires qui se rattachent au rythme saisonnier de l'hémisphère nord. La région libérienne est la zone de passage du régime septentrional (caractérisé par une saison froide centrée sur février et une saison chaude sur septembre) au régime méridional (saison froide centrée sur août, chaude sur mars). On peut y relever les influences de ces deux régimes qui se superposent pour donner aux variations saisonnières un rythme rapide, mais assez peu sensible parce que les amplitudes restent faibles (la température varie de moins de 5° dans l'année): en mars on observe un rafraîchissement qui se marque jusqu'au cap des Palmes et correspond à l'extrême prolongement du régime nord. Cette baisse de température se place à peu près au milieu d'une période chaude qui s'étend (entre les isothermes 28°) de mi-novembre à mi-mai et correspond au régime sud.

La saison chaude du nord ne se marque pas nettement sur le diagramme des températures. Juillet-août-septembre sont les mois les plus frais de l'année avec moins de 27°. Notons cependant en août-septembre entre Monrovia et Freetown des températures supérieures à 27° qui sont probablement la trace de la saison chaude de l'hémisphère nord.

Régime des salinités

L'analogie d'évolution entre les deux régions est beaucoup plus lointaine pour les salinités que pour les températures.

La région libérienne est nettement moins dessalée : le minimum est de 28 ‰ et on trouve pendant la moitié de l'année des salinités supérieures à 34 ‰. En Baie de Biafra on mesure moins de 20 ‰ en novembre-décembre-janvier de Fernando Po à Kribi. Il faut, pour dépasser 34 ‰ en surface déborder le cap Formose vers l'Ouest ou descendre à l'Equateur, vers le Sud, c'est-à-dire, dans l'un comme dans l'autre cas, sortir de la Baie de Biafra proprement dite.

On peut remarquer, à cette occasion, que les précipitations en Baie de Biafra paraissent être nettement plus importantes que dans la région

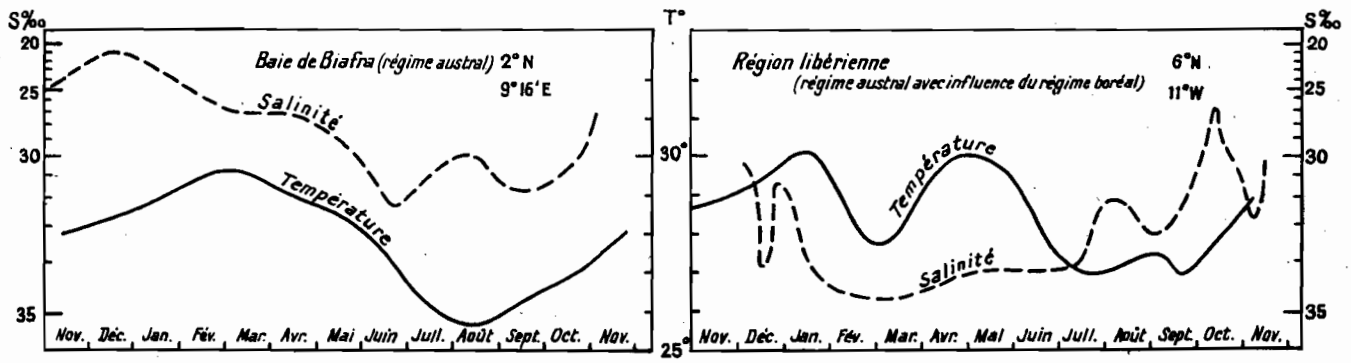


Figure 18. *Variations thermiques et halines.*

libérienne et que le système de courant tend à maintenir sur place les eaux superficielles de la baie, alors que celles de la côte libérienne sont soumises à une dérive plus ou moins parallèle à la côte et qui les entraîne généralement vers le sud-est.

Si, en Baie de Biafra, la variation des températures est simple, celle des salinités traduit des influences en provenance de l'Ouest et du Sud: entre Douala et le Cap Lopez, le régime est qualitativement le même que plus au Sud: eaux plus salées quand la température est plus basse, maximum en saison froide, faibles valeurs (moins de 28 ‰) de novembre à avril, correspondant aux eaux les plus chaudes. De Douala à Cotonou, les influences de l'Ouest (celles de la région des upwellings) se manifestent sur les salinités: si les régimes thermiques des régions de balancement des fronts et des régions d'upwelling sont à peu près identiques, les régimes halins sont sensiblement différents, notamment par l'existence d'un maximum secondaire en février-mars-avril, et la présence, de juillet à octobre, d'eau tropicale en bordure des eaux froides salées, dans la région Lomé-Cotonou. On rencontre cette eau tropicale jusqu'à 5°E et les salinités relativement fortes rencontrées entre Cotonou et le Cap Formose de juillet à octobre sont à imputer à son influence.

Le troisième chapitre de cette étude intitulée "les zones d'upwelling" paraîtra dans le prochain numéro des "Cahiers Océanographiques". La bibliographie de l'étude entière signalée par des numéros entre parenthèses, sera publiée in fine.

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES VARIATIONS SAISONNIERES DANS LE GOLFE DE GUINEE *

OBSERVATIONS DE SURFACE LE LONG DES LIGNES DE NAVIGATION

par

G.R. BERRIT

(Centre d'Océanographie de Pointe Noire)

Deuxième Partie

E T U D E R E G I O N A L E **

(suite et fin)

III - LES ZONES D'UPWELLING

La portion de la côte comprise entre le Cap des Palmes et la région de Cotonou (fig.19) connaît un climat particulier, bien différent de ceux des zones limitrophes du Libéria et de la baie de Biafra. Le cycle saisonnier rappelle celui des zones d'oscillation du front des eaux chaudes, avec un régime de température du type austral (fig.25).

On considère généralement que ces régions sont le siège de phénomènes d'upwelling (13) et F. VARLET (14) a proposé pour Abidjan une explication basée sur le régime des vents de mousson.

Les températures

Les faisceaux d'isothermes (fig.20 et 21) délimitent de juin à octobre, entre le Cap des Palmes et Cotonou, une zone de basses températures. L'eau est chaude (plus de 27°) le reste de l'année, avec cependant une légère baisse en janvier-février dans le secteur Sassandra-Abidjan.

---

* Manuscrit reçu le 15 mai 1962

** La première partie de cette étude a paru dans les "Cahiers Océanographiques", XIII, 10 (décembre 1961) pp.715-727. Le début de la deuxième partie a paru dans les "Cahiers Océanographiques", XIV, 9 (novembre 1962) pp.633-643.

Extrait des CAHIERS OCEANOGRAPHIQUES, XIVe année, n°10, décembre 1962

Il semble que les zones les plus froides se trouvent à l'Est de chacun des deux caps, entre Tabou et Grand Lahou d'une part, dans la région Takoradi-Accra d'autre part. La côte, dans les deux cas, prend à partir de chacun des caps une direction à peu près Est-Nord-Est. D'après la théorie des upwellings côtiers, les remontées d'eaux froides seraient donc provoquées par des vents d'Ouest-Sud-Ouest.

L'amplitude de la variation thermique annuelle est principalement influencée par l'intensité de l'upwelling, le maximum de température étant partout à peu près le même.

Nos diagrammes 1957-1958 nous donnent :

- 9° dans la zone de Sassandra
- 8° par 3°W
- 8° dans la région d'Accra et Lomé
- 5° à Cotonou.

L'écart des moyennes mensuelles est de 6°2 à Abidjan (Port Bouët), 5°7 à Lomé, 2°8 à Cotonou. Les températures minimales et maximales sont respectivement d'environ 21° et 29° (14).

Les salinités (figures 22 et 23)

On a observé deux maximums de salinité, l'un en août-septembre, le plus accusé, correspondant aux eaux froides, l'autre en mars.

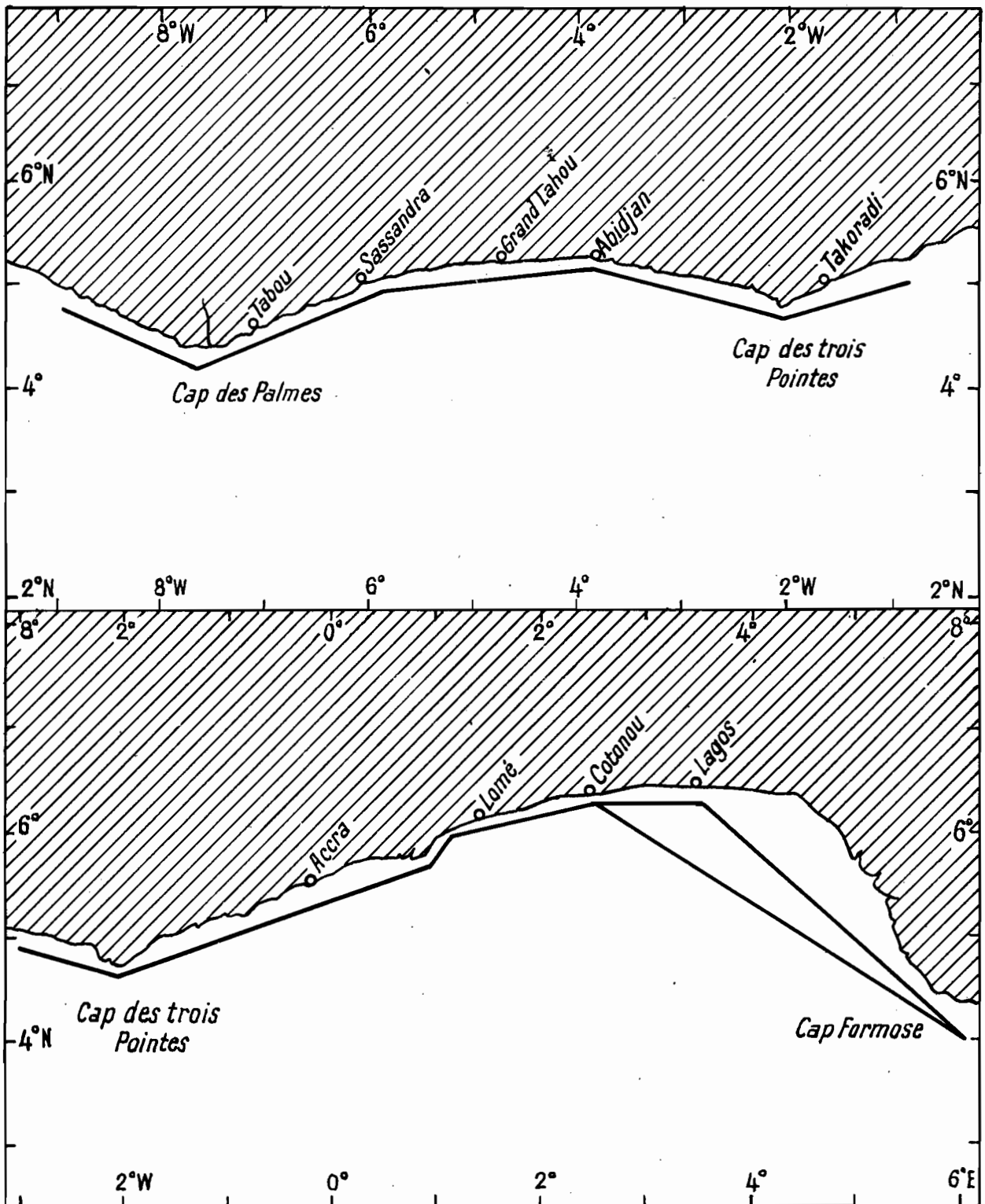
La salinité paraît plus élevée dans la région située à l'Est du Cap des Trois Pointes qu'à l'Ouest. Les maximums se placent entre 35 o/oo et 36 o/oo et l'amplitude de variation annuelle est déterminée principalement par la valeur des minimums qui peuvent descendre au-dessous de 30 o/oo.

Les zones frontales

De juin à octobre, des zones frontales séparent les eaux froides de la région des upwellings des eaux chaudes permanentes situées à l'Ouest et à l'Est.

Dans la direction de la Baie de Biafra, le passage paraît être assez graduel. La température croît depuis le minimum du Cap des Trois Pointes jusqu'à Cotonou (fig.24). La comparaison des courbes de température à Cotonou et Lomé (fig.25) conduit à faire passer entre ces deux villes la frontière entre la zone d'eaux chaudes permanentes de la Baie de Biafra et la région des upwellings.

Du côté Ouest par contre, on trouve réunis entre le Cap des Palmes et Tabou les isothermes de 22° à 26°. La netteté du Front est attestée par les thermogrammes de surface (fig.24).



Echelle de $6.\frac{1}{400.000}$

0 100 200 300 400 Km

Trajets des navires observateurs dans les zones d'upwelling.

G.R. Berrit

Figure 19

G.R. Berrit

Diagramme thermique du Cap des Palmes au Cap des trois Pointes

Deux périodes de refroidissement : janvier et février - et surtout de juin à octobre.
Transition rapide en juin . Front à l'Est du Cap des Palmes.

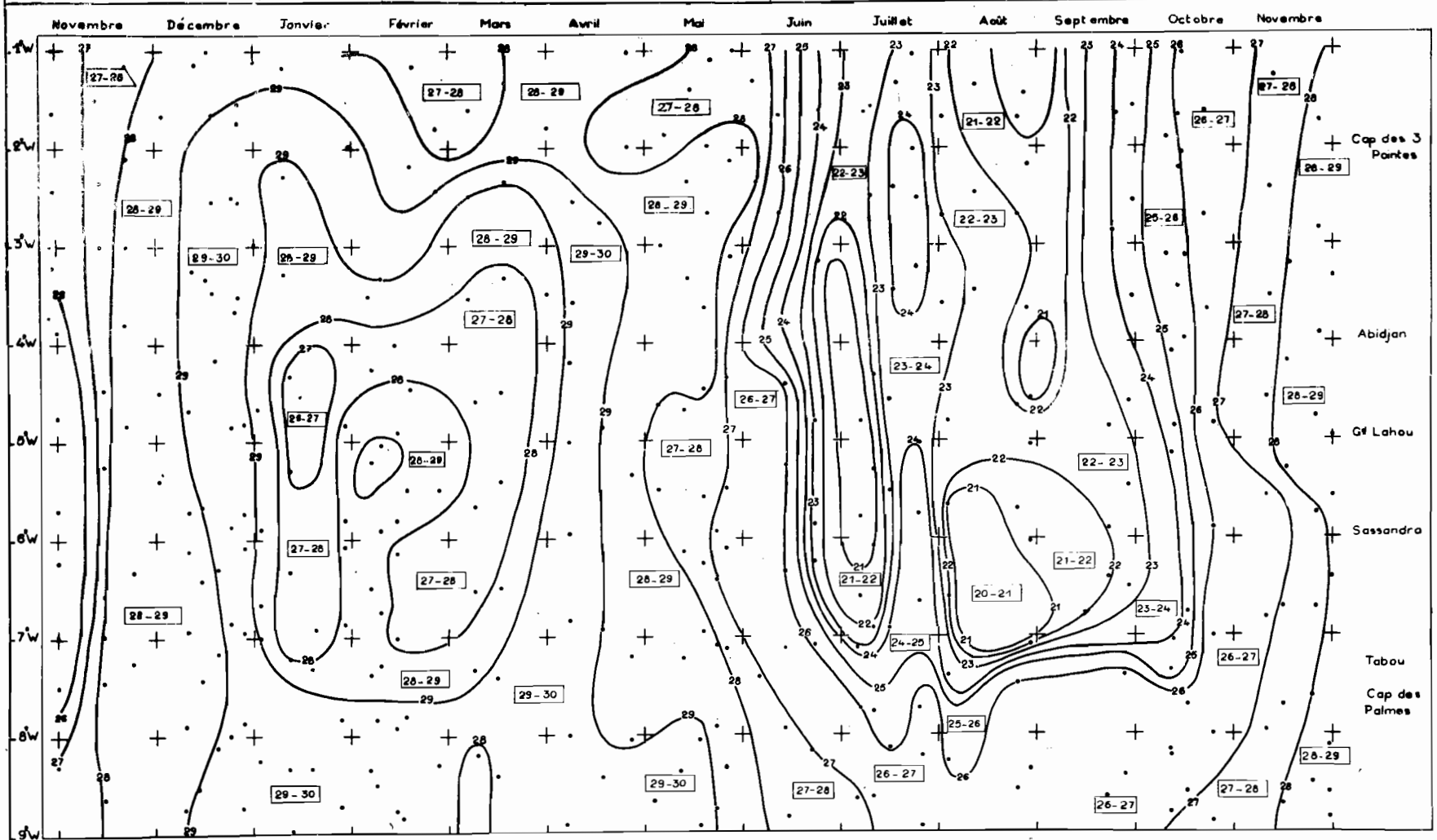


Figure 20

G.R.Berrit

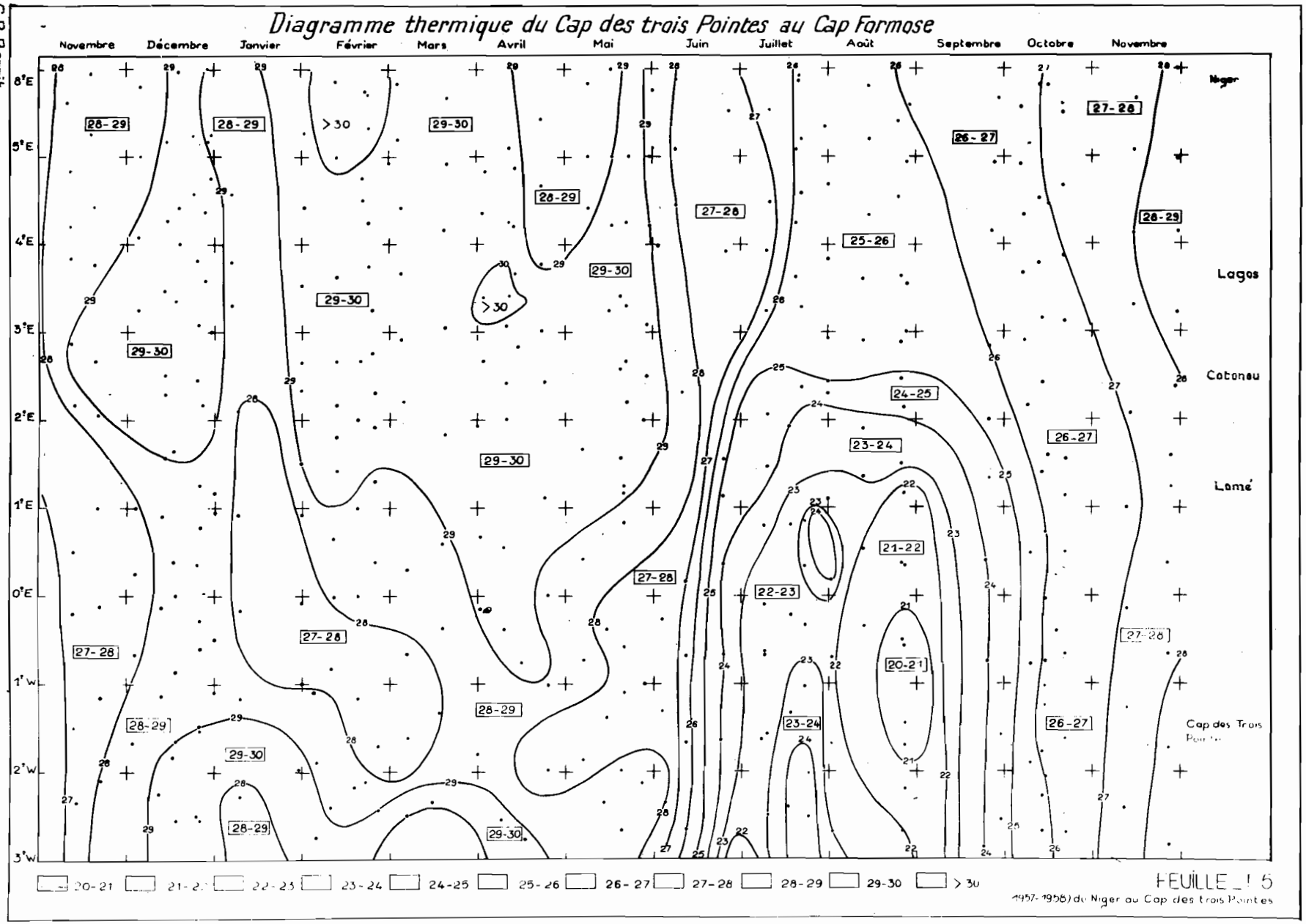


Figure 21

G.R.Berrit

Diagramme des salinités du Cap des trois Pointes au Cap des Palmes

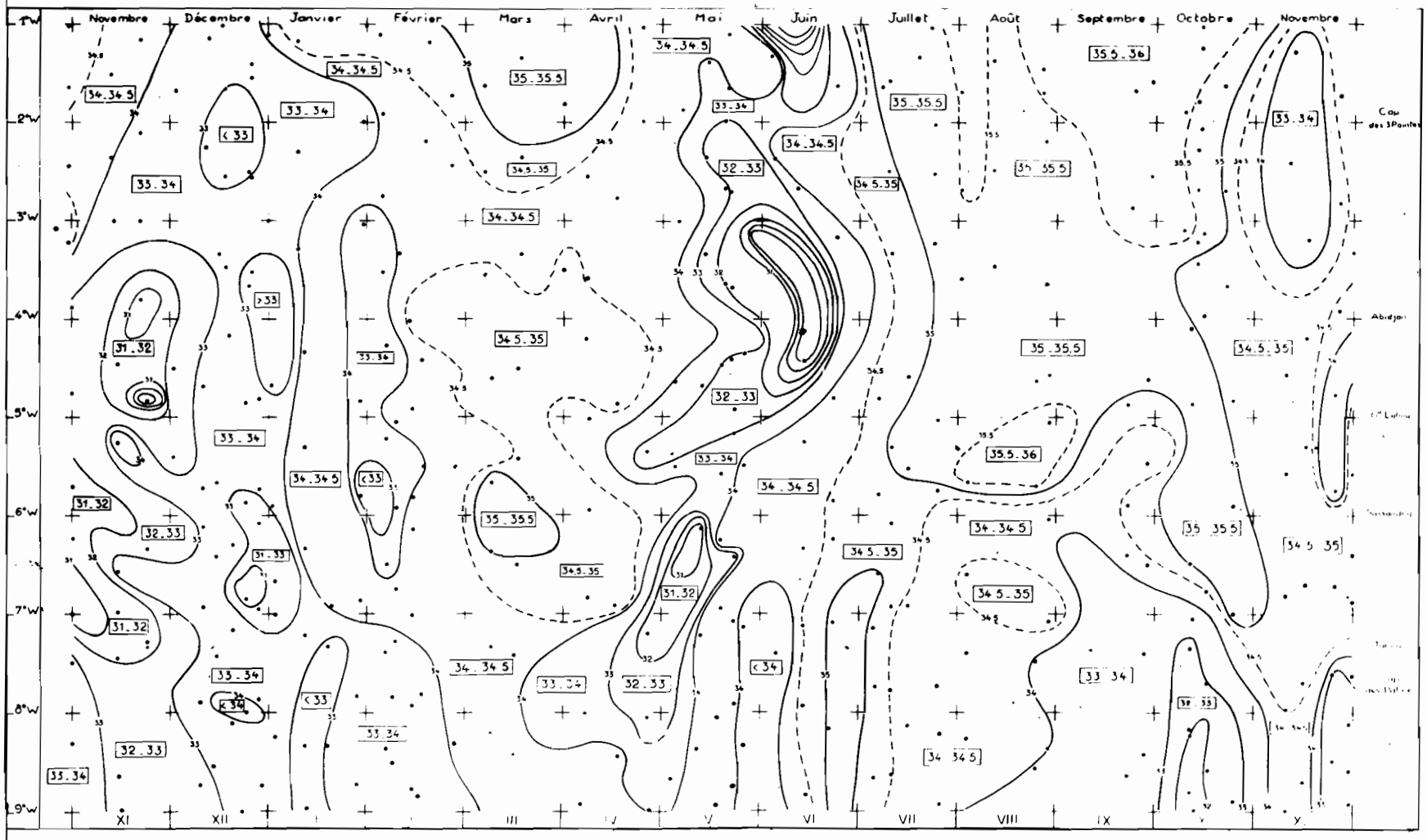


Figure 22

G.R.Berrit

Diagramme des salinités du Cap des trois Pointes au Cap Formose

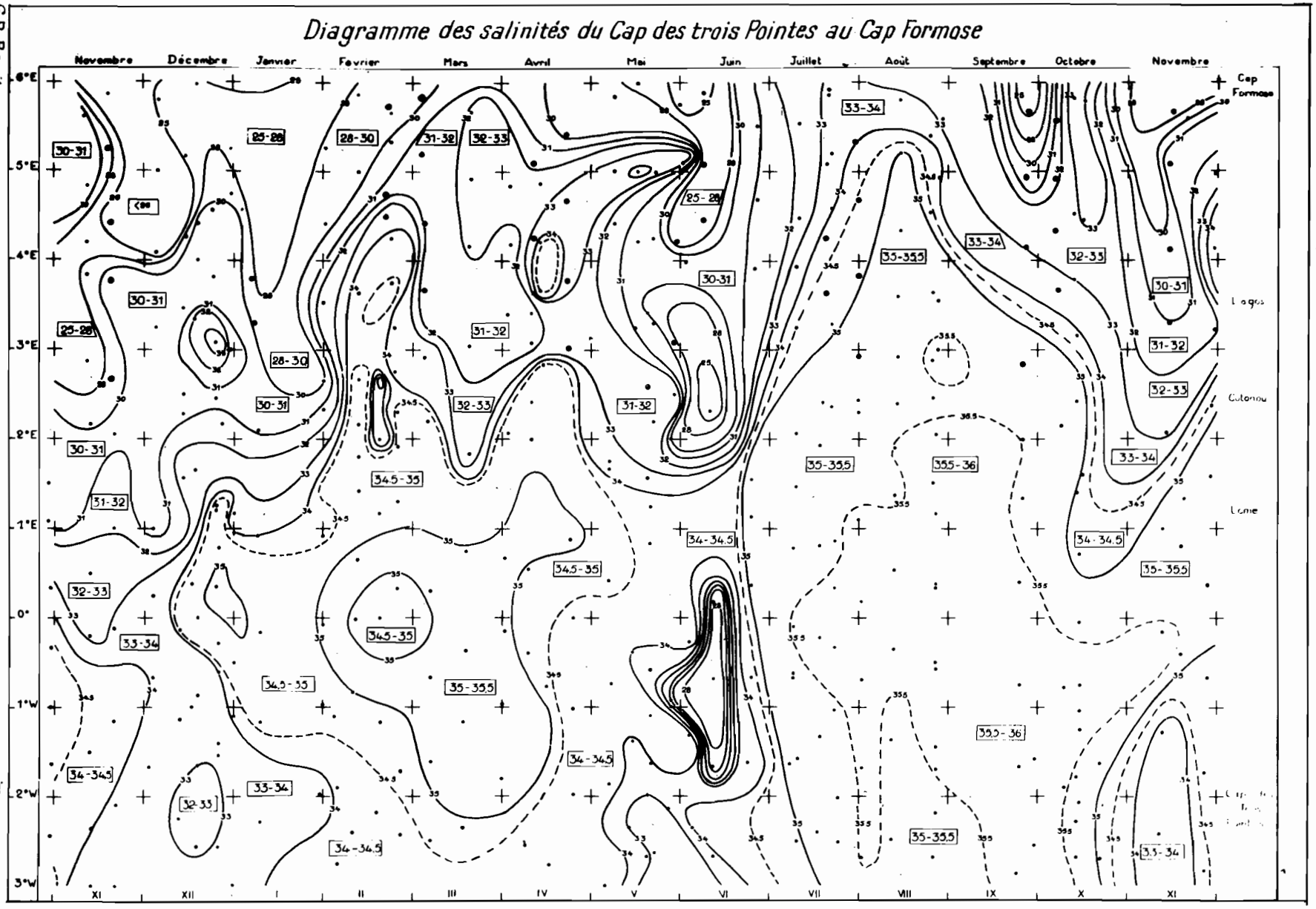


Figure 23

FEUILLE S5

1957 1958 du Cap Formose au Cap des Trois Pointes

Enregistrement du front au cap des Palmes en septembre

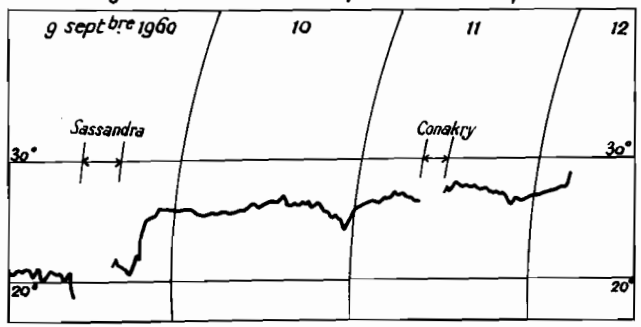


Figure 24

Le passage de la zone des eaux chaudes permanentes de la baie de Biafra à la zone des upwellings se fait graduellement

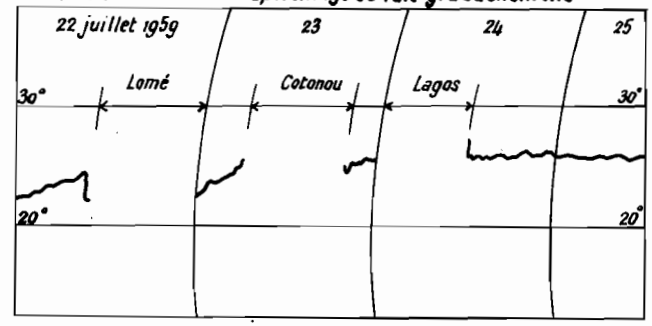
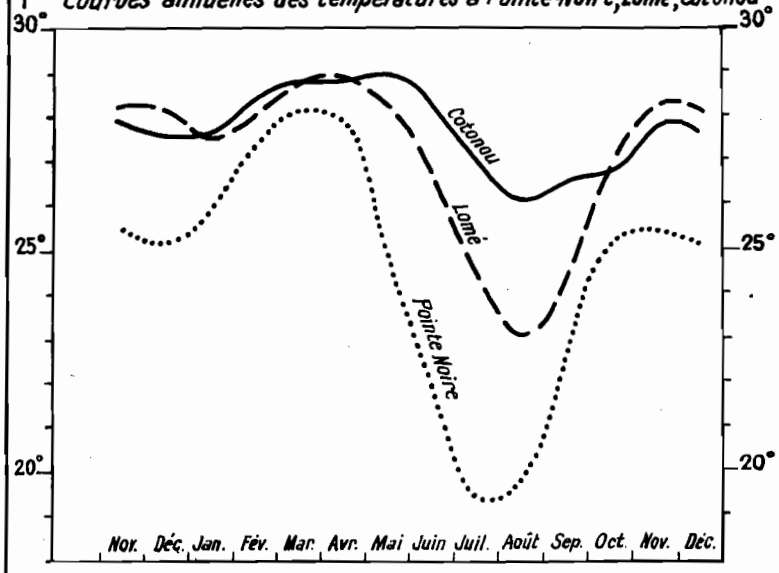


Figure 25

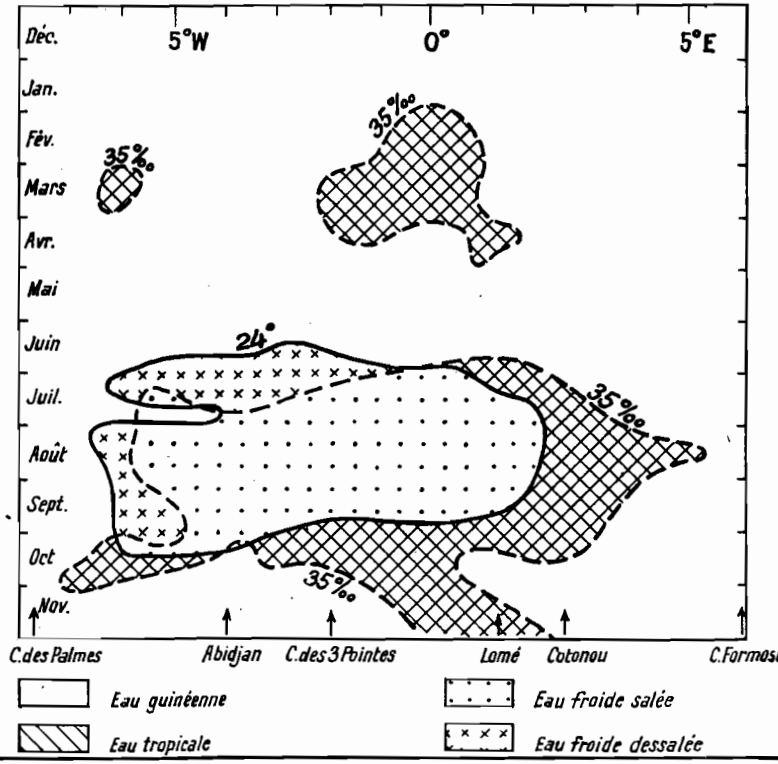
Courbes annuelles des températures à Pointe-Noire, Lomé, Cotonou



Les courbes de Pointe-Noire et Lomé ont la même allure, traduisant l'analogie des rythmes saisonniers dans les zones d'upwelling et dans les régions d'oscillation des fronts.
Cette analogie subsiste à Cotonou, mais considérablement atténuée.

Figure 26

Les catégories d'eau dans la région des upwellings



Figures 24 à 26

La différence d'allure des deux zones frontales, l'une fort nette - celle de l'Ouest - l'autre diffuse, peut s'expliquer par la génération des eaux froides et le système des courants, parallèles à la côte :

Le mécanisme générateur de l'upwelling est l'entraînement vers le large de l'eau de surface, par action des vents du secteur Ouest - Sud - Ouest. Les zones d'upwelling actif sont celles où la côte a une direction parallèle à ces vents, soit du Cap des Palmes à Grand Lahou et du Cap des Trois Pointes à Lomé. Le refroidissement dans la zone Grand Lahou-Cap des Trois Pointes n'est dû, probablement, qu'à un entraînement de l'eau froide par le courant Est.

Au Cap des Palmes, la masse d'eau chaude libérienne se trouve en contact avec une masse froide résultant d'un upwelling actif - et entretenu - d'où la création d'un front net au niveau du Cap. Entre Lomé et Cotonou par contre, c'est une masse froide dérivée de l'upwelling qui est portée vers l'Est où elle rencontre les eaux chaudes de la Baie de Biafra. Dans le cas du front Ouest, le minimum de température est très proche des eaux chaudes; à l'Est il en est fort éloigné.

Les saisons et les catégories d'eau

On distingue une période froide, de juin à octobre, et une saison chaude de novembre à mai. Ce rythme est celui des régions australes et une comparaison des courbes de variation thermique à Lomé et à Pointe-Noire (fig.25) est particulièrement éloquente.

De mai à décembre, le régime des températures paraît être le même dans toute la zone des upwellings, mais, de janvier à avril on observe des différences entre les régions situées à l'Est et à l'Ouest du méridien 1°W :

à l'Ouest, on trouve en janvier-mars un minimum secondaire de température,

à l'Est, à la même période, on a un maximum absolu.

Tout se passe comme si le régime boréal se faisait encore sentir, avec un refroidissement de janvier à mai, jusqu'à peu près au Cap des Trois Pointes; les régions du Ghana, Togo, Dahomey, Nigéria, subissent par contre sans conteste le régime sud pur.

Les changements de saison ont lieu simultanément sur toute l'étendue de la zone des upwellings, du Cap des Palmes à Lomé: les faisceaux d'isothermes qui marquent les transitions de juin et de septembre-octobre sont en effet à peu près parallèles à l'axe géographique.

En ce qui concerne les catégories d'eaux, la superposition (fig.26) des diagrammes T et S, fait apparaître outre les 3 précédemment rencontrées, une quatrième, celle des eaux froides dessalées.

Les eaux guinéennes occupent de novembre à juin toute la région des upwellings à l'exception de deux lentilles d'eau tropicale en février-mars.

On trouve les eaux froides salées en juillet-août-septembre. Elles sont bordées à l'Est d'eaux tropicales; ces dernières apparaissent également en octobre, entre la période des eaux froides salées et celle des eaux guinéennes.

Les eaux froides dessalées ont été observées d'une part en juin-juillet de 0° à 6°W, d'autre part en août et septembre sur une soixantaine de milles, de part et d'autre de 6°W, c'est-à-dire dans la région de Sassandra. Or il pleut en juin-juillet, alors que la température de l'eau est déjà tombée au-dessous de 24°. Juin est même le mois le plus arrosé de l'année, avec plus de 400 mm entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes. D'autre part, la période de août-septembre, octobre est celle de la grande crue pour la rivière Sassandra (1). Les eaux froides dessalées sont donc probablement à expliquer par les précipitations et par les apports fluviatiles d'eau douce dans des eaux froides dont la salinité, normalement supérieure à 35 o/oo, se trouve amenée en surface à une valeur inférieure.

o
o o

IV - OBSERVATIONS EN HAUTE MER

Les deux lignes d'observations du large*, voisines l'une de l'autre, donnent du phénomène saisonnier une image dépouillée des influences côtières.

Les deux trajets (fig.28) correspondent aux routes Dakar-Pointe-Noire et Pointe-Noire-Dakar. Les navires se rendant dans le Sud cherchent à utiliser le Courant de Guinée ou à éviter le Courant Sud-Equatorial; ils adoptent la Route Nord, qui rejoint directement le Cap des Palmes à Pointe-Noire. Au cours du voyage de retour il s'agit au contraire de profiter du Courant Sud-Equatorial le plus longtemps possible: la Route Sud va de Pointe-Noire à un point situé à 120 milles environ dans le sud du Cap des Palmes.

Températures (figure 29 et 30)

Les isothermes ont une allure générale parallèle à l'axe géographique, surtout sur la ligne sud; les températures varient donc peu, le long de la route, à un instant donné. Autrement dit aucune des deux routes ne rencontre de zone frontale importante ou de longue durée.

Des faisceaux d'isothermes apparaissent cependant sur la Route Nord, moins nettement sur la Route Sud, indices de quelques fronts localisés ou peu

---

* Les observations sont moins serrées que pour les lignes côtières: une série pour un peu plus de un mois.

G.R. Berrit

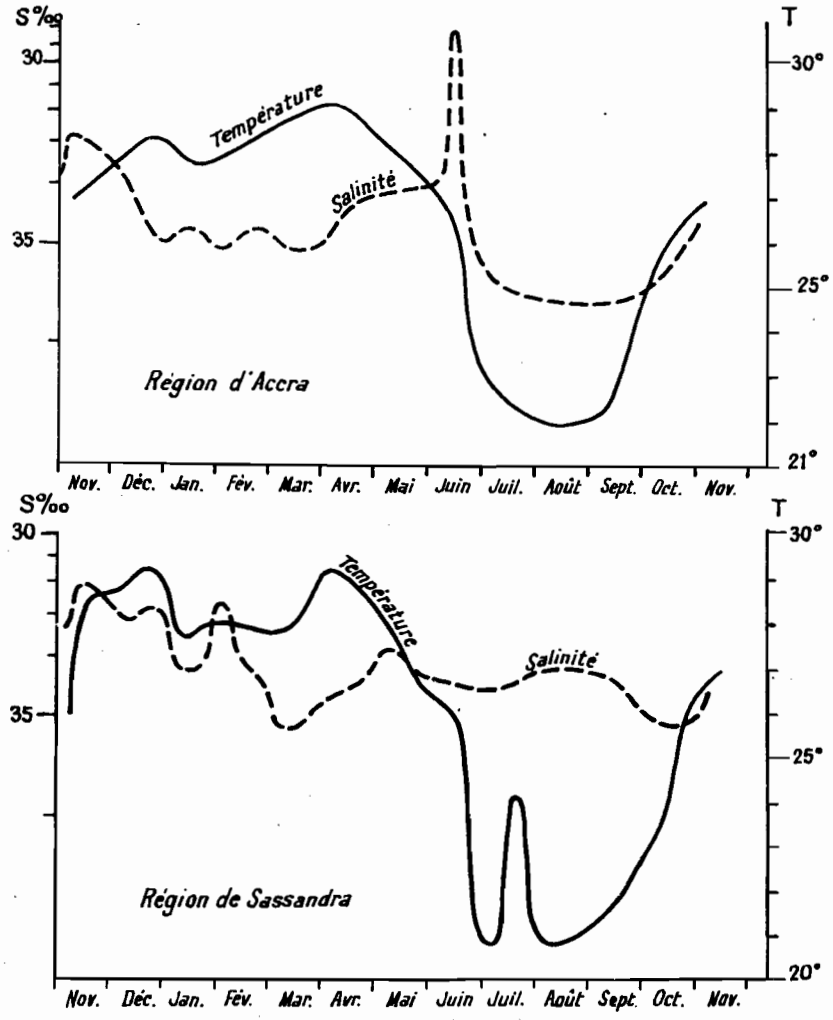


Figure 27

Variations thermiques et halines dans les régions d'Accra et de Sassandra.

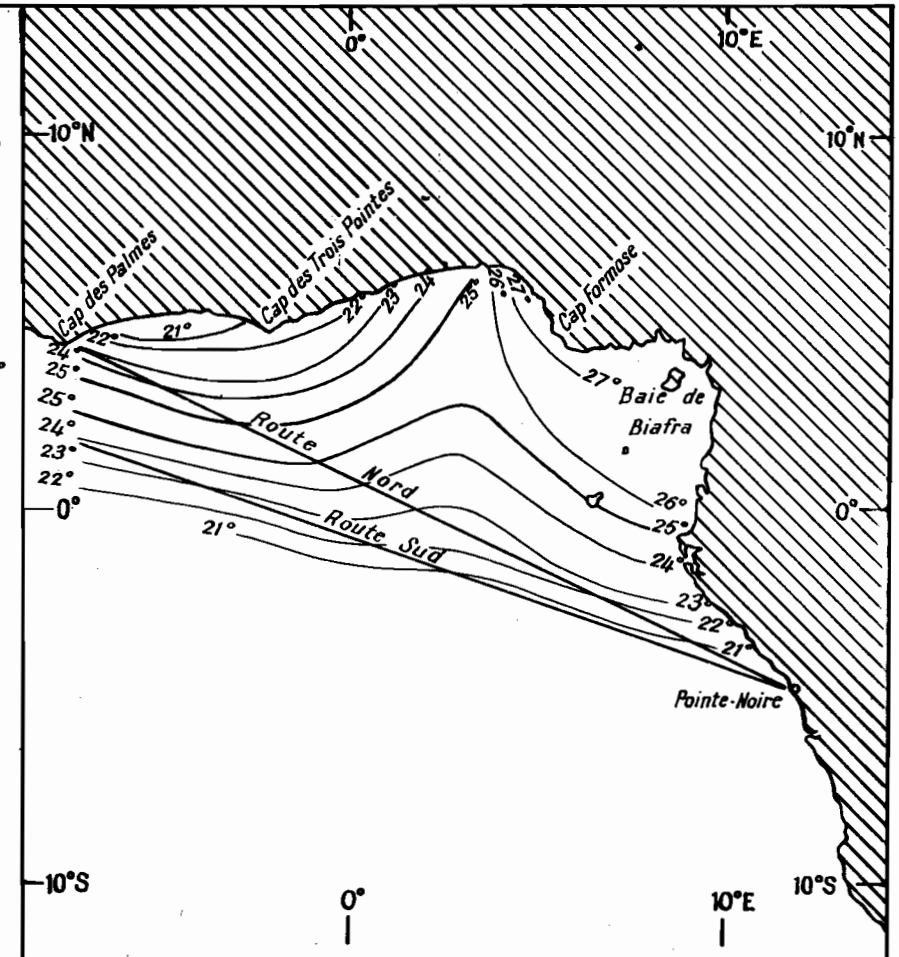


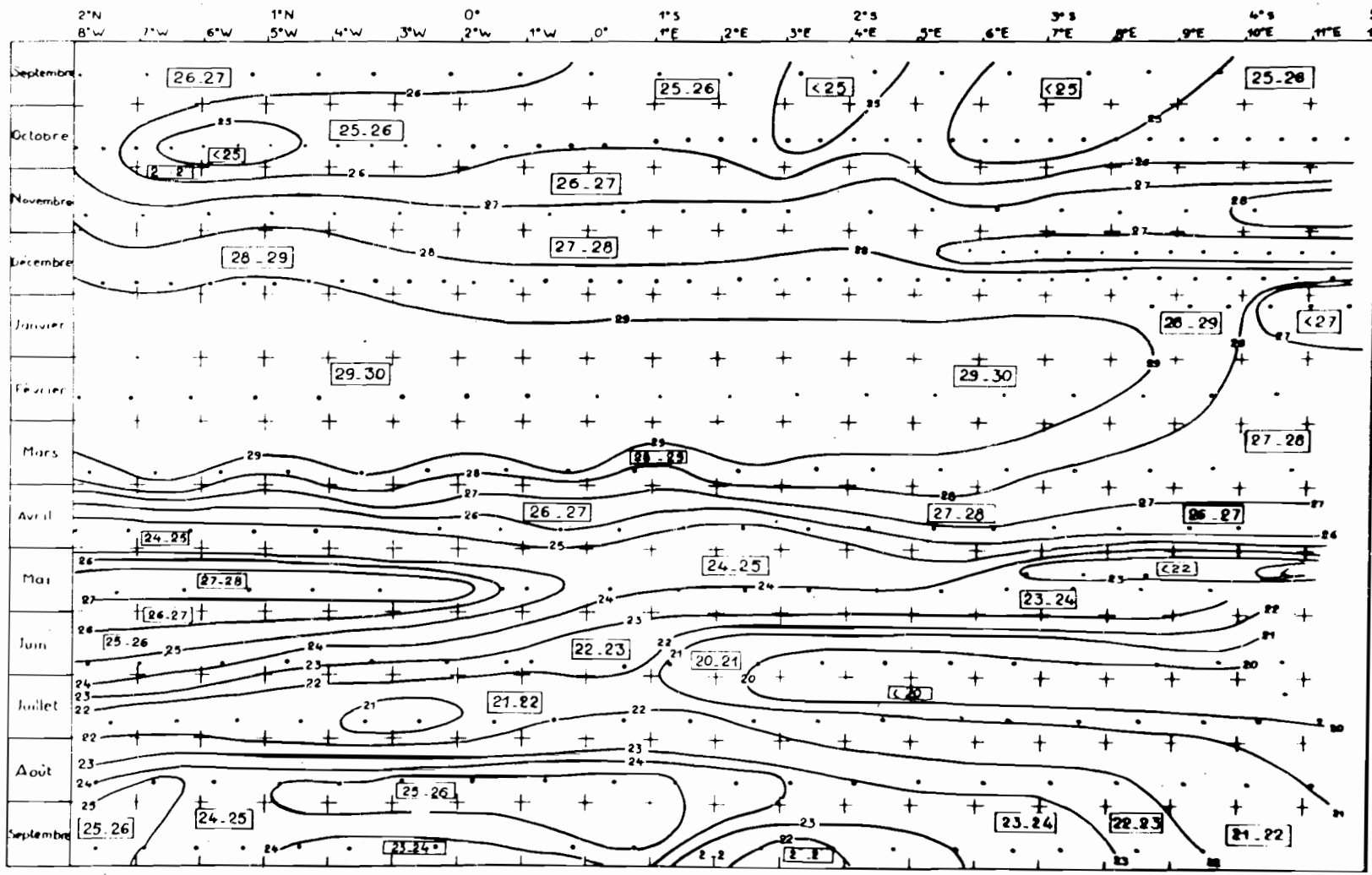
Figure 28

Trajets de haute mer. Les navires adoptent deux routes différentes à l'aller et au retour pour éviter les courants contraires. Les isothermes représentent la situation approximative au début de juillet.

Figures 27 et 28

G.R.Berrit

Les températures le long de la Route Sud

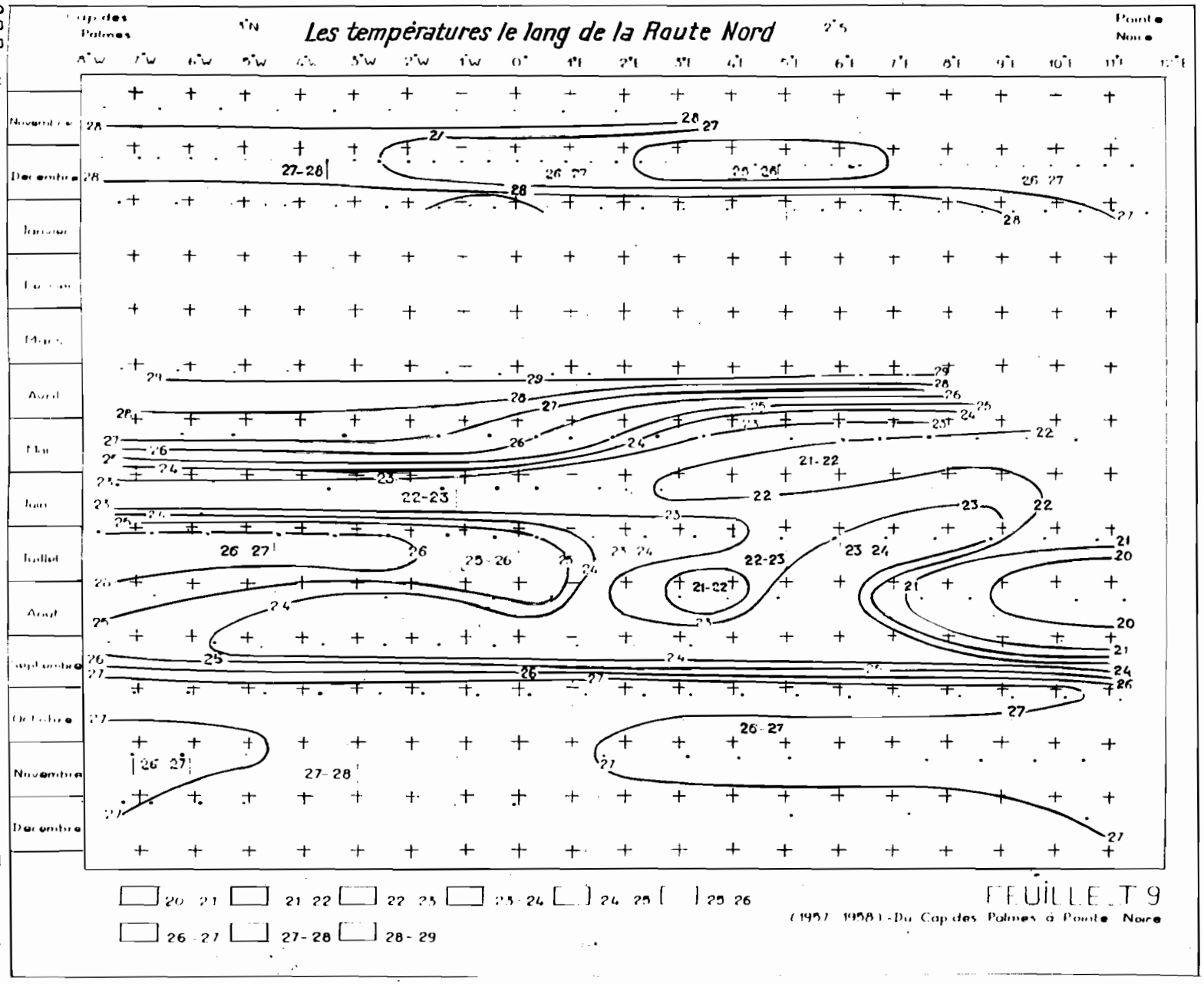


FEUILLE_T_10

De Pointe-Noire à 2°N-8°W

Figure 29

G.R.Berrit



FEUILLET 9

(1957 1958) - Du Cap des Palmes à Pointe Noire

Figure 30

G.R. Berrit

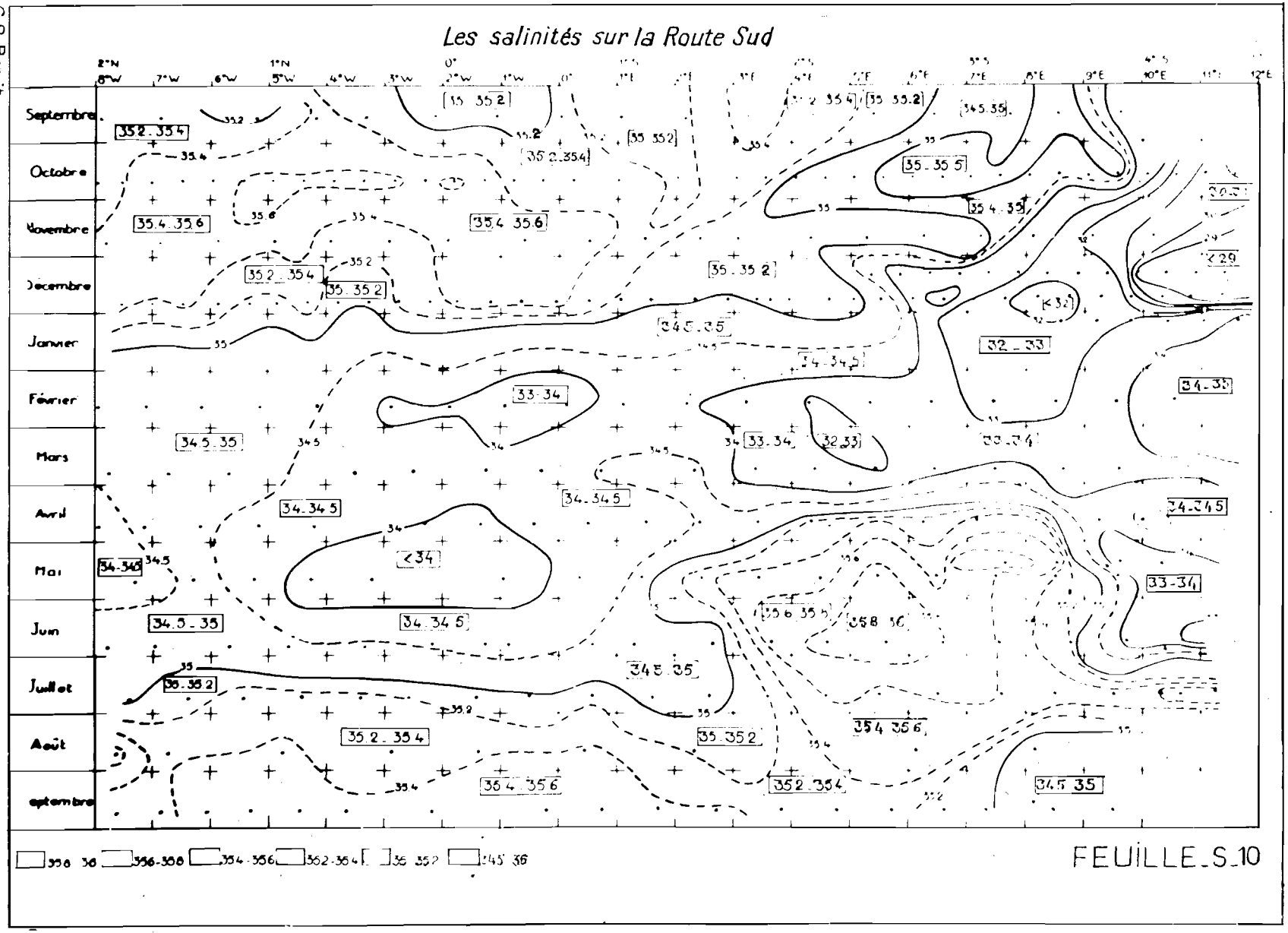


Figure 31

G.R.Berrit

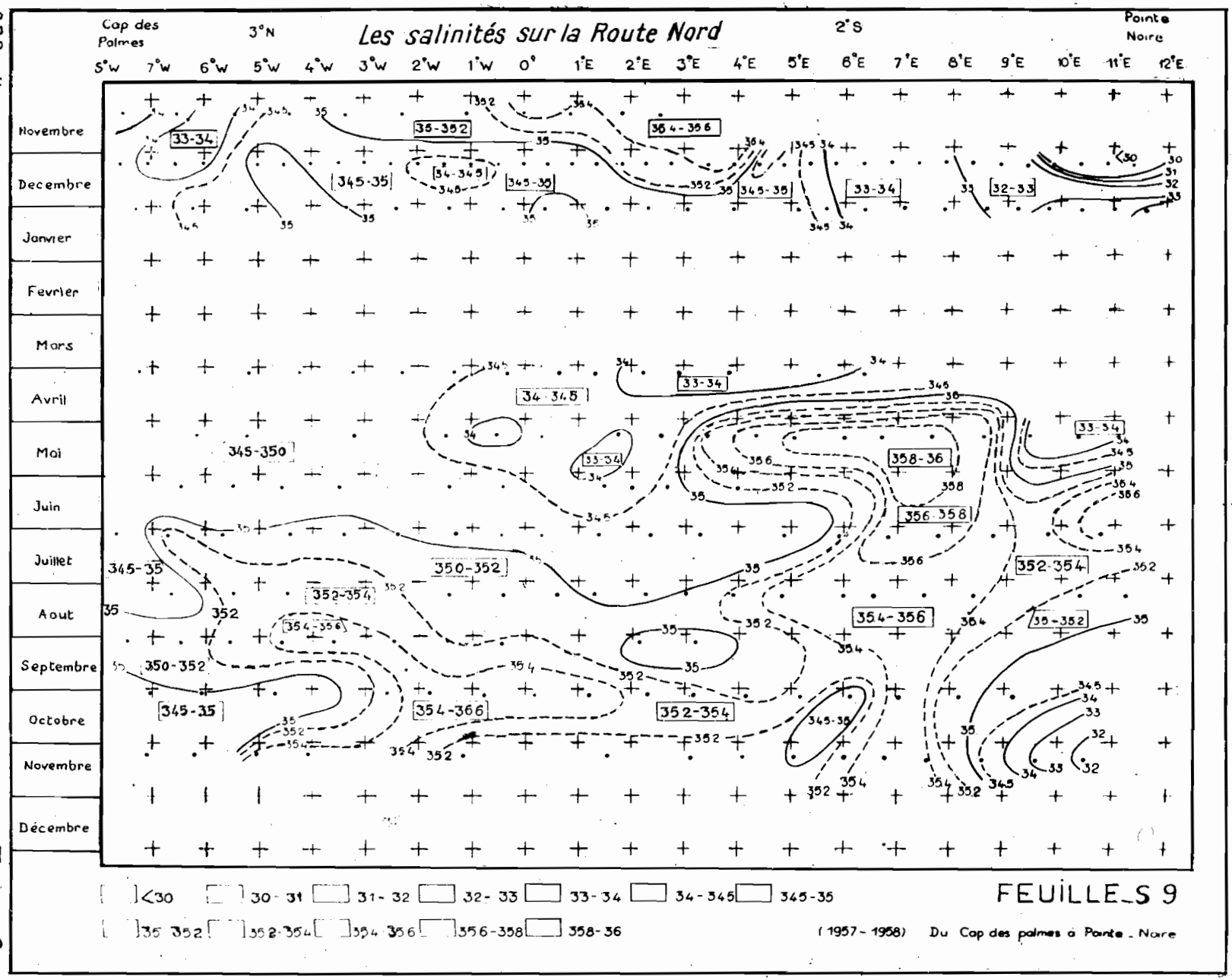
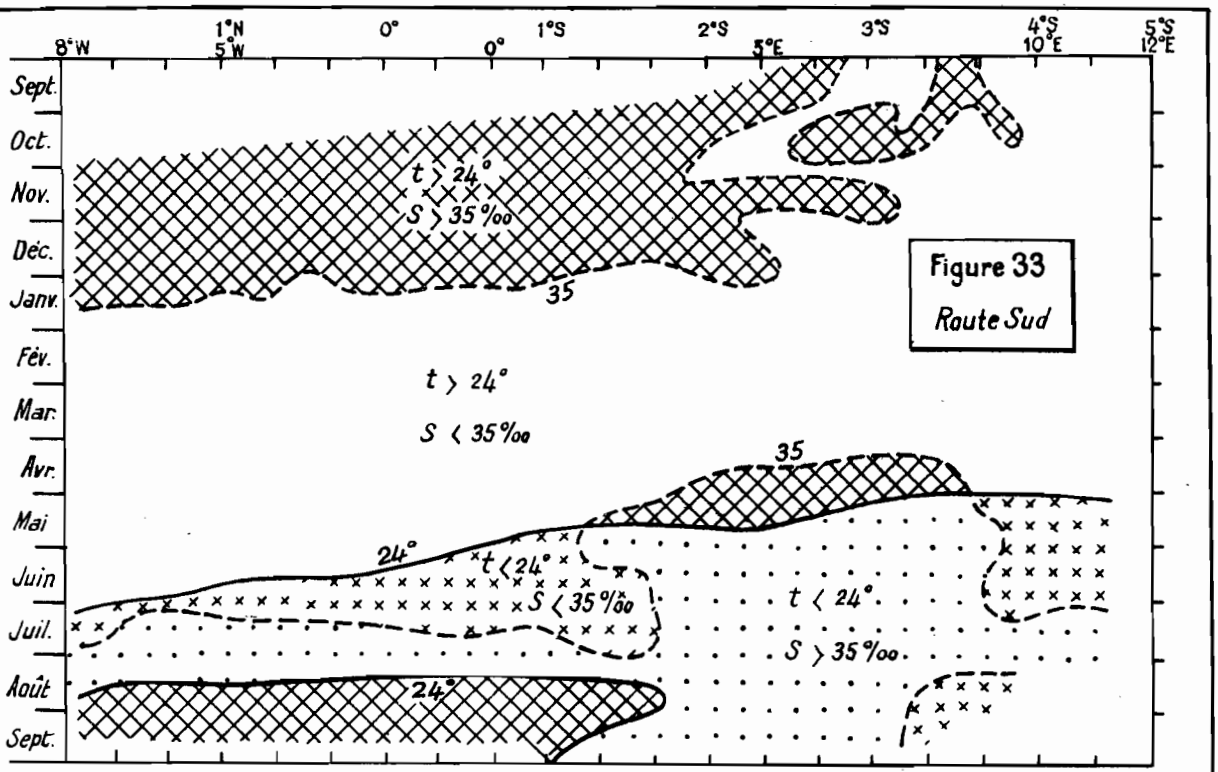
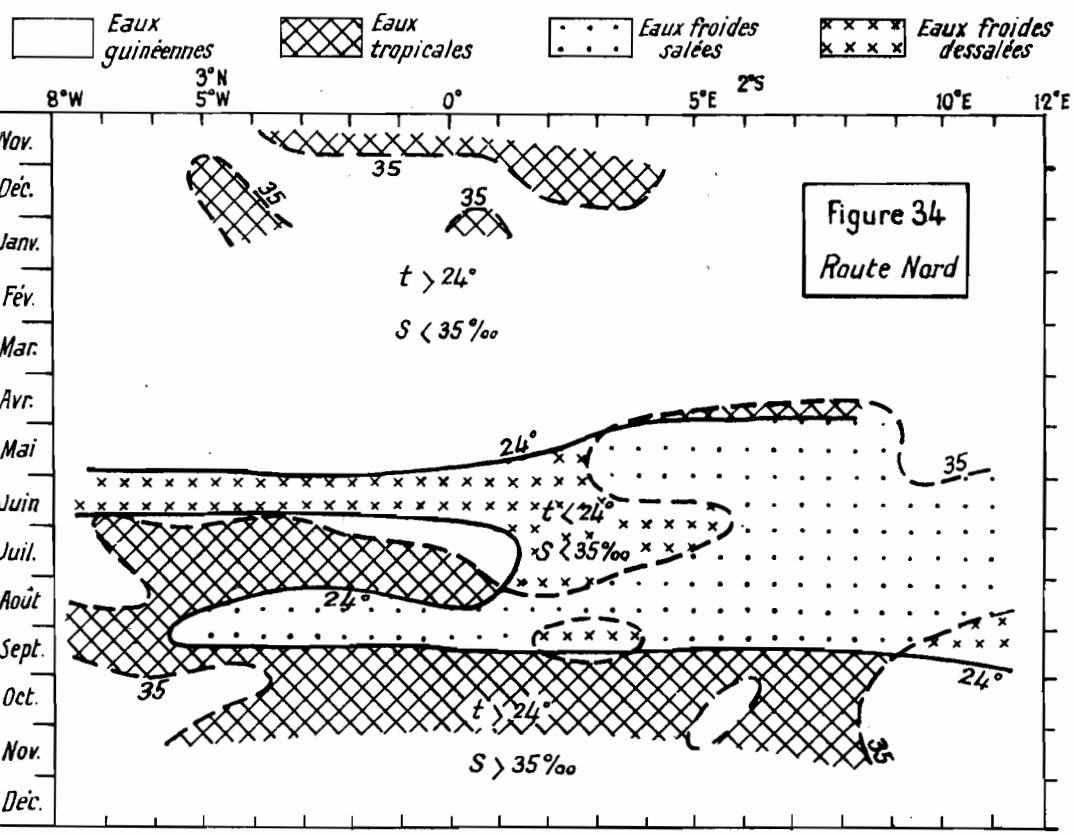


Figure 32





Les catégories d'eau sur les routes Sud et Nord

G.R. Berrit

Figures 33 et 34

durables, mais aussi marqués de transitions (faisceaux parallèles à l'axe des temps).

Les températures les plus élevées se rencontrent en janvier-février-mars - les plus basses en juin-juillet-août. Le régime est donc du type austral.

Un examen plus détaillé amène à distinguer deux zones, de part et d'autre du méridien 1°E (Route Sud) ou 2°E (Route Nord): à l'Est règne le régime austral pur, avec saison chaude de novembre à avril, transitions fin avril-début mai, puis eaux froides jusqu'à la transition de septembre; à l'Ouest se superpose à ce schéma un maximum secondaire, en mai-juin sur la Route Sud, en juillet sur la Route Nord.

En longitude, la partie occidentale des trajets correspond en gros aux régions d'upwelling, où on a noté, fin juillet, un maximum secondaire de température, du Cap des Palmes au Cap des Trois Pointes.

L'amplitude de la variation thermique annuelle est déterminée par les valeurs minimales, les maximums étant partout de 29° environ. Sur la Route Sud, jusqu'à 2°E, le minimum est inférieur à 20°, d'où une amplitude de 9° à 10°. Sur le reste du parcours, elle n'est plus que de 8° environ. Les valeurs sont un peu plus faibles sur la Route Nord.

Salinités (figures 31 et 32)

Comme pour les températures, on distingue sur la Route Sud, une région occidentale et une autre orientale, cette dernière divisée en zone côtière et zone du large.

La zone côtière s'étend jusqu'à 9°E. C'est la région de Pointe-Noire, caractérisée par des salinités généralement basses, qui ne dépassent 35 o/oo que pendant la saison froide, en juillet*.

- plus au large, et jusqu'à 1°E, on rencontre, en saison froide, de mai à septembre, des eaux salées, avec un maximum voisin de 36 o/oo de 5°E à 6°E. Les basses salinités se placent en saison chaude, de novembre à avril. On trouve encore des valeurs inférieures à 34 o/oo jusqu'à 3°E (en février et mars).

- sur la portion occidentale du parcours, le régime est le suivant :

  - de juillet à janvier, salinités supérieures à 35 o/oo
  - de janvier à juin, salinités inférieures à 35 o/oo

---

* Nous savons par ailleurs que les salinités sont plus fortes très près de la côte, où elles dépassent 35 o/oo de mai à septembre (3).

Le maximum, de l'ordre de 35 o/oo, se place en octobre. Il y a un minimum en février et un autre en mai.

Sur la Route Nord, nous manquons d'observations en février et mars, et en novembre et décembre.

Le schéma est analogue. On distingue encore les trois zones, mais la limite entre les régions est et ouest se trouve plus à l'est. De même le maximum de salinité se trouve entre 7°E et 8°E au lieu de 5°E - 6°E pour la Route Sud. En mai-juin on observe également entre 1°W et 3°E de basses salinités, qui correspondent à celles notées sur la Route Sud.

La baisse de salinité en février est en accord avec ce que nous avons de la saison chaude australe. Celle de mai-juin se rattache probablement aux basses salinités de la région des upwellings observées à la même période et approximativement aux mêmes longitudes.

L'amplitude des variations halines annuelles sur la Route Sud est de 4 à 8 o/oo dans la région côtière, avec des maximums voisins de 36 o/oo et des minimums qui peuvent descendre au-dessous de 29 o/oo. Plus au large, elle tombe au-dessous de 3 o/oo et peut même être inférieure à 1,5 o/oo. Sur la Route Nord, pour laquelle les observations incomplètes ne permettent pas d'avancer de chiffres, les amplitudes de variation sont probablement supérieures à celles de la Route Sud.

Fronts, transitions, saisons

Les rares zones frontales qui se trouvent sur les deux routes de haute mer ont une existence assez brève :

- en mai, pendant une quinzaine de jours au maximum, entre 1°E et 2°W la Route Sud traverse les isothermes 24°, 25°, 26°, 27°.

- en juin-juillet, pendant un mois environ, toujours sur la Route Sud, groupement, entre 3°E et 0°, de 20°, 21°, 22°. Cette zone frontale qui se retrouve entre 9°E et 7°E sur la Route Nord paraît orientée en gros parallèlement à l'Equateur. Elle se raccorde au front gabonais, comme l'indique la figure 28 qui représente la situation approximative au début de juillet. Les routes Nord et Sud attaquent le front sous un angle faible qui ne permet qu'une estimation très grossière du gradient horizontal de température.

Les transitions et les saisons sont plus lisibles sur les diagrammes, où apparaissent des faisceaux d'isothermes parallèles à l'axe géographique.

Fin août-début septembre, le passage de la saison froide à la saison chaude se fait rapidement, de 24° à plus de 27°, sur la Route Nord. Sur la Route Sud, où les eaux sont plus froides, le réchauffement est progressif et moins important.

En avril-mai, la fin de la saison chaude paraît étalée sur deux à trois semaines pendant lesquelles la température passe de 27° à moins de 24°. D'après le diagramme de la Route Nord, la transition se produirait dès avril dans la région ouest, un mois plus tôt que dans la région est. En ce qui concerne la zone côtière, nous savons que la transition se place en mai (3).

D'après la figure 29, l'isotherme de 24° est franchi fin avril entre 11°E et 7°E, puis de plus en plus tard quand on va vers l'Ouest: mi-mai de 5°E à 1°E, courant juin de 1°W à 8°W. La transition est plus longue que sur la Route Nord: autrement dit la saison froide est de plus en plus tardive quand on suit l'une des deux routes vers l'Ouest.

Les catégories d'eau

Les 4 catégories d'eau sont représentées (fig.33 et 34).

- L'eau guinéenne de septembre à mai dans la zone côtière, de octobre-janvier à avril dans la zone est, de janvier à juin dans la zone ouest.

- L'eau tropicale de septembre à janvier sur tout le trajet, à l'exception de la zone côtière, et aussi dans la région est en avril-mai, dans le mois qui précède la saison froide.

- L'eau froide salée, particulièrement dans la région est, de mai à septembre, et en juillet-août à l'Ouest.

- Enfin l'eau froide dessalée, sur des étendues et pendant des périodes importantes :

en juin et surtout juillet à l'Ouest de 5°E (Route Nord) et de 4°E (Route Sud); dans la zone côtière, principalement sur la Route Sud.

Les eaux froides dessalées de la zone côtière* sont vraisemblablement dues à des apports fluviatiles d'eau douce, et principalement à l'eau du Congo.

Origine des eaux froides dessalées

Nous avons vu plus haut, à plusieurs reprises, que les eaux froides dessalées ne sont rattachées à aucune autre masse analogue et ne peuvent résulter que de phénomènes locaux, refroidissement d'une eau guinéenne ou dessalure d'une eau froide salée.

On pourrait penser que les eaux froides dessalées du large résultent d'une divergence qui amènerait en surface des eaux guinéennes refroidies au

---

* Voir Première Partie - Généralités - Classification des eaux de surface.

G.R. Berrit

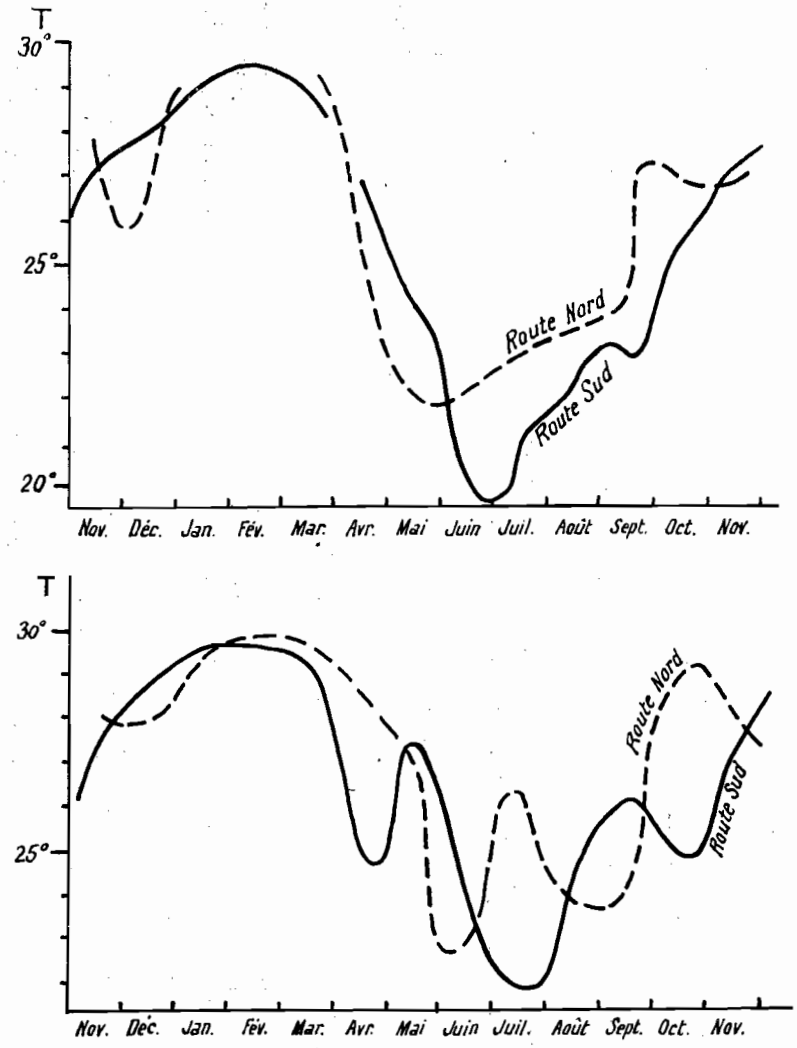


Figure 35

Courbes de variation thermique.

En haut, région orientale (5°E) : les courbes sont relativement simples.

En bas, région occidentale (4°W) : même allure générale, mais influences secondaires.

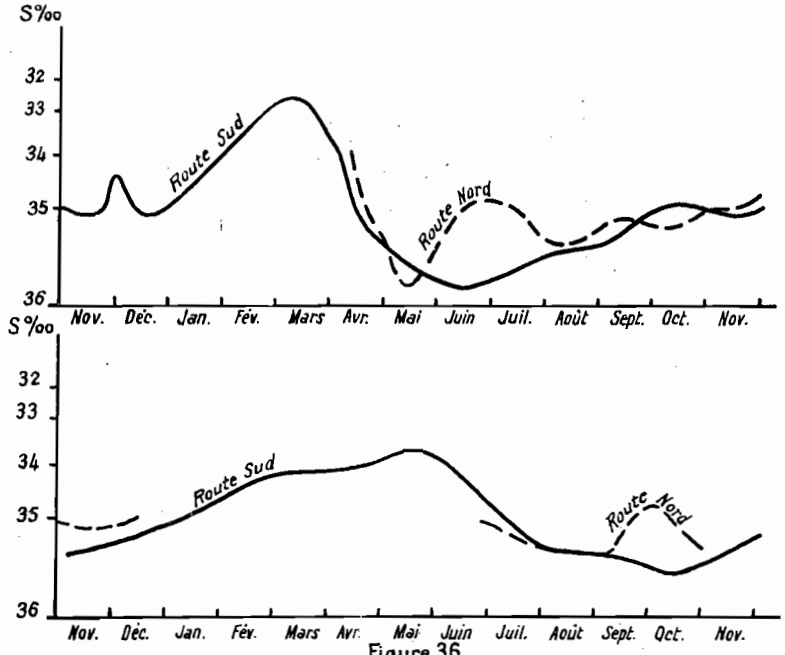


Figure 36

Courbes de variation haline.

En haut, région orientale (5°E) ; en bas, région occidentale (4°W).

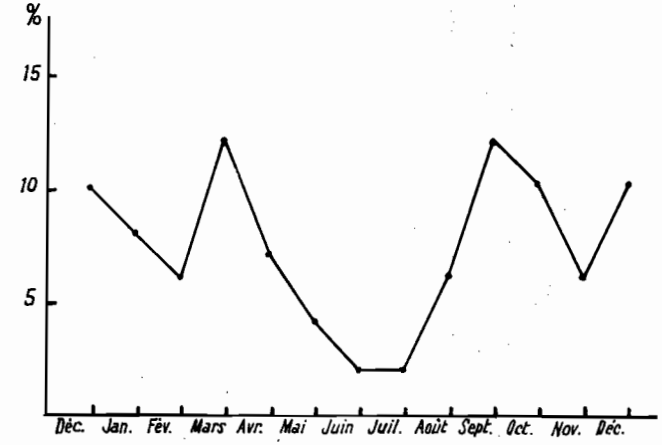


Figure 37

Pourcentage de vents accompagnés de pluie dans la région Est-équatoriale du Golfe de Guinée (11). Noter les faibles pourcentages en juin et surtout en juillet à l'époque où ont été observées les eaux froides dessalées.

Figures 35 à 37

niveau de la thermocline.Ceci supposerait la succession, dans le sens vertical, eau guinéenne-eau froide dessalée-eau froide salée. Or, dans la région considérée, les observations hydrologiques disponibles* (exécutées il est vrai à une période différente de l'année) sont conformes au schéma général de passage vertical des eaux guinéennes aux eaux froides salées par l'intermédiaire d'une couche d'eau tropicale.

L'hypothèse de la divergence étant écartée, il reste celle d'une action de surface.

On peut remarquer que les eaux dessalées froides se trouvent en bordure de la zone d'eaux guinéennes permanentes de la Baie de Biafra, où on les retrouve près de la côte (fig.9) - On pense alors à les rattacher à celles-ci, dont elles dériveraient par refroidissement; mais les températures sont vraiment très éloignées de celles des eaux guinéennes (elles atteignent 20°). Par contre les salinités ne descendent pas au-dessous de 34,5 o/oo et l'hypothèse d'une dilution par des précipitations paraît à priori la plus probable. Mais les périodes d'eau froide dessalée ne paraissent pas correspondre à un maximum de pluviosité; au contraire, juin et surtout juillet paraissent être normalement des mois secs dans tout le Golfe de Guinée (fig.37).

Il est exclu qu'une série de hasards ait introduit des valeurs aberrantes : la présence de cette catégorie d'eau est attestée par 19 observations en provenance de 3 navires différents. Les températures vont de 20° à 24°, les salinités de 34 o/oo à 35 o/oo. Toutes les observations sont de 1958.

L'explication la plus probable reste celle d'une dilution de l'eau froide salée par de l'eau guinéenne, ce qui implique dans la zone en cause des mélanges particulièrement actifs.

REMERCIEMENTS

L'auteur adresse ses remerciements aux Commandants et aux Officiers des m/s "Mangin", "Foch", "Foucauld", "Brazza", "Tessa","Tamba", "Talassa", "Maroua", "Calais", "Boulogne", à l'obligeante et sympathique collaboration desquels il doit d'avoir pu réunir les observations et le matériel nécessaires pour cette étude.

---

* "Meteor" St.233 du 27 novembre 1926 (18)
"Léon Coursin" St.152 à 156, novembre 1960 (12)

BIBLIOGRAPHIE

I - Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer - Année 1957 - O.R.S.T.O.M. PARIS - 1959

2 - J. ARNOUX : Contribution à l'étude hydrologique des eaux côtières à St-Louis du Sénégal - Colloque CCTA - Loanda 1957.

3 - G.R. BERRIT : Les saisons marines à Pointe-Noire - Bulletin d'Information du COEC, X, 6 (juin 1958), pp.335-360.

4 - G.R. BERRIT : Etude des conditions hydrologiques en fin de saison chaude, de Pointe-Noire à Loanda - Cahiers Océanographiques, XIII, 7 (juillet-août 1961), pp.452-461.

5 - G.R. BERRIT : Résultats Scientifiques des Campagnes de la "Calypso" - Fasc. IV - Océanographie Physique - Ann. Inst. Océan. T. 37-1959, pp. 37-73.

6 - G.R. BERRIT : Cartes des Variations Saisonnières des conditions hydrologiques le long de la côte d'AEF. Colloque CCTA, Loanda 1957.

7 - G.R. BERRIT, M.ROSSIGNOL, J.P.TROADEC : Campagnes 7,8,9,10 de l'"Ombango" - Cahiers Océanographiques XIII, 5 (mai 1961), pp.319-347.

8 - Campagne n° 7 de l'"Ombango" - Cahiers Océanographiques XIII, 1 (janvier 1961), pp.47-58.

9 - Cartes pluviométriques moyennes des Territoires Français de l'Afrique Noire - Extraits des Annales des Services Météorologiques de la France d'Outre-Mer - Territoire de l'A.E.F. et du Cameroun - Paris 1955.

10 - Instructions Nautiques - Côte Ouest d'Afrique - 2ème volume - Paris 1943.

11 - Marine Climatic Atlas of the World. US Navy, Navaer 50 - I C 531 - Washington - 1958.

12 - Résultats d'observations - Stations hydrologiques effectuées par le Léon Coursin - Cahiers Océanographiques XII, 5 (mai 1960), pp. 345-356; XII, 7 (juillet 1960), pp.493-505.

13 - SCHOTT : Geographie des Atlantischen Ozeans - Hambourg 1944.

14 - VARIET : Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan - Etudes Eburnéennes - VII - 1958, pp.97-222.

15 - L. VINCENT CUAZ : Hydrodynamie de la Baie du Lévrier - Colloque CCTA - Loanda 1957.

16 - L. VINCENT CUAZ : 1956, Année froide d'après une station hydrologique des côtes de Mauritanie - Colloque CCTA - Loanda 1957.

17 - L. VINCENT CUAZ : Quelques températures de surface relevées sur les lieux de pêche le long des côtes de Mauritanie - Colloque CTA - Loanda - 20-27 novembre 1957.

18 - G. WÜST : Das ozeanographische Beobachtungsmaterial Wiss. Erg. Deutsche Exp. Meteor 1925 - 27, Bd IV, 2. Teil - 1932.