

Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan

Vol. III, n° 2, août 1972, pp. 1-30

ETUDE HYDROLOGIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL IVOIRIEN

A. Morlière et J.P. Rebert

R E S U M E

Les auteurs, utilisant les résultats de 26 campagnes effectuées de juillet 1969 à janvier 1972, précisent les situations hydrologiques saisonnières moyennes sur l'ensemble du plateau continental ivoirien. Ils étudient les conditions météorologiques et les mécanismes d'établissement des différentes situations hydrologiques types qu'ils ont définies. A savoir, une période froide liée à un upwelling induit par les vents de juillet à début octobre et une période chaude elle-même subdivisée en deux parties du fait des variations halines: une période à faible salinité en novembre et décembre et une période à forte salinité de janvier à mai, cette dernière pouvant être interrompue par de brusques refroidissements. Ils précisent ensuite les variations saisonnières et géographiques à l'aide de diagrammes spatio-temporels. Ils étudient enfin, l'immersion et l'intensité de la thermocline.

S U M M A R Y

The authors give a picture of the average seasonal hydrographic situations over the Ivorian continental shelf using data provided by 26 cruises carried out from July 1969 to January 1972. They study meteorological conditions and the mechanism of setting of different types of hydrographic seasons defined as follows: a cold period related to an upwelling created by winds from July to early October and a warm period divided in two parts in relation with haline variations: a low salinity period in November and December, and a high salinity period from January to May; this one sometimes cut off by short-timed drops in the temperature. Then precise data are given about seasonal and geographical variations using space-time diagrams: last, depth and intensity of the thermocline are examined.

SOMMAIRE

1 GENERALITES

- 1-1- Introduction
- 1-2- Météorologie
- 1-3- Circulation
- 1-4- Eaux superficielles

2 PERIODE FROIDE

- 2-1- Conditions météorologiques
- 2-2- Mécanismes d'établissement
- 2-3- Caractéristiques hydrologiques
 - 2-3-1- Température
 - 2-3-2- Salinité

3 PERIODE CHAUDE

- 3-1- Conditions météorologiques
- 3-2- Eaux chaudes à faible salinité (novembre-décembre)
 - 3-2-1- Mécanismes d'établissement
 - 3-2-2- Caractéristiques hydrologiques
- 3-3- Eaux chaudes à forte salinité (janvier-mai)
 - 3-3-1- Mécanismes d'établissement
 - 3-3-2- Caractéristiques hydrologiques
 - 3-3-3- Refroidissements

4 VARIATIONS SAISONNIERES

5 THERMOCLINE

6 TRANSPARENCE

7 BIBLIOGRAPHIE

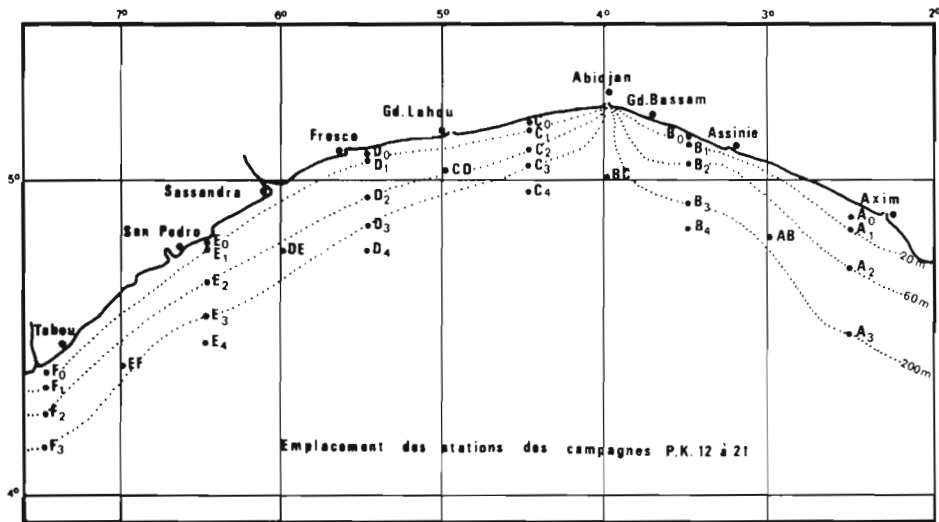
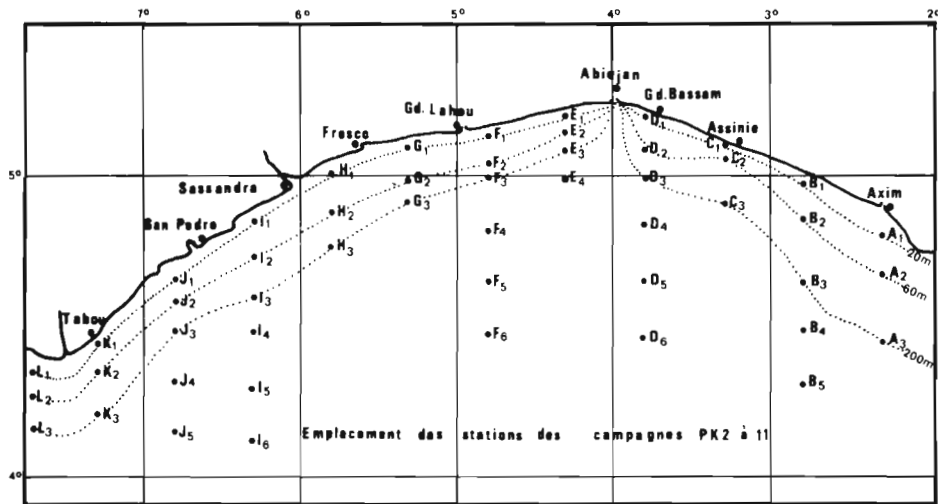


Figure 1: - Position des stations (échelle des latitudes dilatées par rapport à celle des longitudes).

1- GENERALITES

1-1- Introduction

La situation hydrologique générale de la Côte d'Ivoire est connue dans son ensemble après un certain nombre de travaux effectués dans cette région. BERRIT (1961-62) utilisant des observations le long des lignes de navigation a décrit les variations saisonnières de l'hydrologie de surface dans tout le Golfe de Guinée. DONGUY et PRIVE (1964) ont précisé l'évolution de la côte vers l'équateur. VARLET (1958) a fait une étude très détaillée mais disposait presque uniquement de données superficielles et localisées au voisinage immédiat d'Abidjan. MORLIERE (1970) a complété ce dernier travail en définissant un régime hydro-climatique devant Abidjan basé sur des observations réalisées régulièrement sur toute la couche des 20 premiers mètres.

Cependant à mesure que progressaient les travaux entrepris sur la biologie des différentes espèces, les stades primaires et secondaires de la production et les pêches sur le plateau continental ivoirien, il est apparu qu'il pouvait exister de notables différences le long du littoral. D'autre part certains phénomènes propres au milieu physique ne pouvaient s'interpréter en fonction de conditions locales. Le besoin s'est alors fait sentir d'avoir une description plus fine de l'ensemble des conditions de milieu du plateau continental et une meilleure connaissance des différents mécanismes mis en cause. Le but de cette étude est donc de préciser les variations géographiques, au demeurant modestes, des conditions hydrologiques entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois-Pointes au cours du cycle saisonnier.

Elle utilise les résultats obtenus par les campagnes mensuelles dites "PK", effectuées sur l'ensemble du plateau de juillet 1969 à janvier 1972. Chaque campagne comportait un certain nombre de radiales nord-sud : douze jusqu'en juillet 1970, six par la suite. Chaque radiale comportait une station sur les fonds de 20 m, de 60 m, de 200 m et une ou plusieurs autres à 5 ou 10 milles du bord du plateau (voir figure 1).

Nous avons également utilisé les résultats des mesures bi-hebdomadaires à la station côtière d'Abidjan (5°14'N-4°02'W ; fond 20 m).

1-2- Météorologie

LONGHURST (1962) a montré que le profil climatique saisonnier dans le Golfe de Guinée était lié aux migrations du front inter-tropical dont le passage, le long des côtes d'Afrique de l'ouest, provoque l'alternance de saisons sèches et humides.

En mai-juin par suite de l'extension vers le nord des

hautes pressions de l'hémisphère sud, le front intertropical est repoussé vers le nord, et son passage est accompagné de fortes perturbations turbulentes du type tornade résultant de l'instabilité de la zone de contact des masses d'air continentale et océanique ; il provoque sur la Côte d'Ivoire d'abondantes précipitations (voir figure 2) : il y a mousson ; en effet les alizés de SE de l'hémisphère austral, en franchissant l'équateur, prennent une direction SW et sont alors entraînés et renforcés par le système dépressionnaire saharien autour duquel ils vont avoir tendance à s'enrouler.

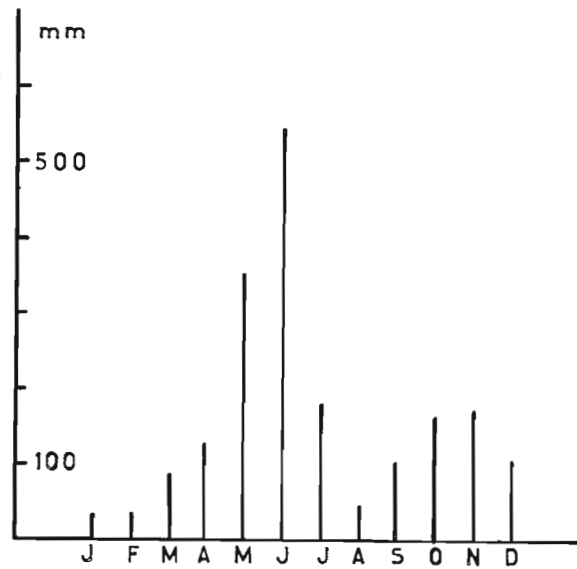


Figure 2: -- Précipitations moyennes sur le littoral ivoirien (Abidjan, Sassandra, Tabou).

En octobre, lors du recul des hautes pressions de l'hémisphère sud, le front intertropical va redescendre vers le sud provoquant de nouvelles précipitations. Suivant la latitude du lieu considéré on observera donc deux saisons des pluies plus ou moins rapprochées.

Le littoral ivoirien est soumis pendant toute l'année au prolongement boréal de l'alizé austral. Ces vents dominants de SW sont favorables à un upwelling sur presque tout le littoral (VERSTRAETE 1970) et en particulier sur la partie ouest, mais ils restent faibles. Leur renforcement lors de l'extension vers le nord des hautes pressions australes provoquera un phénomène d'upwelling de juillet à septembre ; pendant le reste de l'année les remontées d'eau dépendront d'intensifications momentanées des vents du SW.

1-3- Circulation

La circulation sur le plateau continental ivoirien et en particulier devant Grand-Bassam a fait l'objet d'une étude détaillée (LEMASSON - REBERT 1972). Nous en rappelons ici les éléments principaux.

En surface existe pratiquement toute l'année un courant de direction est : le courant de Guinée. Sa vitesse est très variable mais dépasse rarement deux noeuds devant Abidjan ; sur le plateau continental, elle est maximum en fin de saison chaude (avril à juin) et faible en saison froide (août-septembre) alors qu'elle est maximum au large à cette époque. La vitesse moyenne pour l'ensemble de l'année est de 0,5 noeud devant Abidjan.

Le courant de surface peut également porter à l'ouest ; l'ensemble de ces renverses représente environ 15 % des observations. Les renverses se produisent souvent entre janvier et mars et très régulièrement au mois d'octobre où elles coïncident avec le changement de saison.

L'épaisseur de ce courant de surface est faible : elle est en moyenne de 15 m à la côte et atteint 25 m au large ; elle subit des variations saisonnières assez voisines de celles de la couche de surface sans qu'il y ait pour autant coïncidence entre ces deux couches.

Sous le courant de Guinée coule vers l'ouest un contre-courant subsuperficiel dénommé sous-courant ivoirien (LEMASSON-REBERT 1968). Il s'agit d'une veine de courant centrée en général sur le rebord du talus continental et de vitesse maximum moyenne 20 cm/s. Le contre-courant est sujet lui aussi à de fortes variations saisonnières, passant par trois maximums : en février au début de l'upwelling (juin-juillet) et au mois d'octobre.

La situation moyenne calculée devant Grand-Bassam d'après 36 séries de mesures est représentée figure 3. Le débit moyen de ces courants calculé sur le plateau continental d'après les moyennes des mesures est de 100 000 m³/s pour le courant de Guinée et de 200 000 m³/s pour le sous-courant ; la largeur du plateau ayant été limitée arbitrairement à l'isobathe 200 m, ceci représente donc un transport résultant moyen de 100 000 m³/s vers l'ouest sur l'ensemble du plateau. Les variations saisonnières des débits et vitesses maximum devant Grand-Bassam sont représentés figure 4.

En ce qui concerne les variations géographiques le long du littoral ivoirien, nous manquons de mesures pour établir des différences significatives entre les différentes zones. Toutefois le courant de surface est notoirement plus fort au voisinage des caps

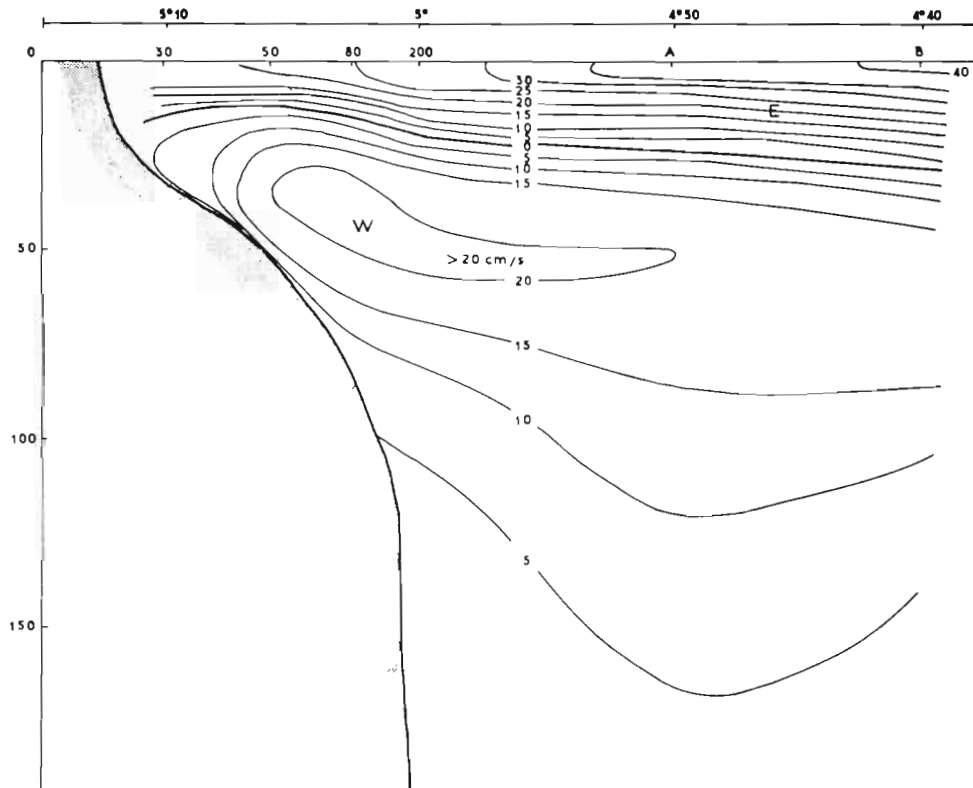


Figure 3: - Courants moyens devant Bassam (3°50'W).

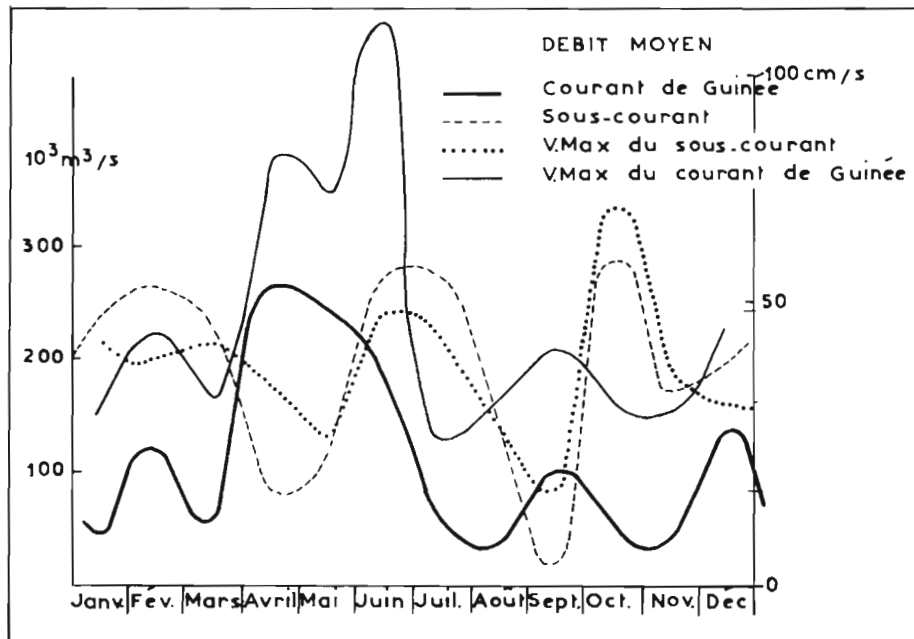


Figure 4: - Debits moyens du courant de Guinée et du sous-courant ivoirien vers 3°50'W.

en particulier devant le Cap des Palmes où existe un fort courant est quasi-permanent. Quand au sous-courant on a toujours observé un renforcement de sa vitesse en même temps que la veine centrale se rapproche de la côte dans la région ouest (Tabou - Sassandra), siège de l'upwelling maximum, phénomène auquel ce contre-courant semble plus ou moins directement lié.

1-4- Les eaux superficielles

Dans les régions équatoriales de l'Atlantique existe en permanence une couche mince d'eau tropicale superficielle dont la température est élevée et la salinité variable ; cette couche recouvre une zone de discontinuité de densité, au-dessous de laquelle se trouve l'eau centrale sud-Atlantique. La couche de surface située au-dessus de la thermocline a une épaisseur variant de 30 à 40 mètres en fonction de la latitude et de la saison.

La thermocline présente un point haut fortement marqué ; le point bas (18° C environ) est accompagné d'un maximum de salinité ($35,8 \text{ ‰}$, dans le golfe ivoirien) dont l'origine subtropicale est à préciser ; il marque une limite peu nette avec l'eau centrale sud-Atlantique. Cette dernière est caractérisée par une décroissance de la température et de la salinité jusque vers 800 m où l'on trouve l'eau Antartique intermédiaire.

BERRIT (1966) a montré qu'il existait en permanence dans le Golfe de Guinée des masses d'eaux chaudes (T supérieure à 24° C) et peu salées (S inférieure à 35 ‰). Les zones de formation de ces eaux "guinéennes" sont : la Baie de Biafra et les côtes du Libéria.

La présence au voisinage de la Côte d'Ivoire d'une de ces zones de formation va fortement influencer l'hydrologie du plateau continental ivoirien où, en fonction des mouvements horizontaux et verticaux liés aux vents et aux courants, vont alterner ces différentes eaux.

Les critères associés de température et de salinité permettent de définir quatre catégories d'eaux distinctes (BERRIT 1961) dont trois sont principalement représentées devant la Côte d'Ivoire. Le cas des eaux froides et peu salées est plus rare, car l'apparition d'eaux froides en surface correspond à des remontées d'eau qui ont également de fortes salinités. Il faut donc la conjonction de phénomènes d'upwelling et de pluies importantes pour les observer.

En ce qui concerne le cycle hydroclimatique devant Abidjan et compte-tenu du critère retenu (température à 10 m) on a pu distinguer les saisons suivantes : une période froide correspondant

à l'hiver austral de juillet à début octobre et une période chaude de novembre à mai (voir figure 5) ; les variations halines permettent de séparer cette dernière en deux saisons bien distinctes : la petite saison chaude de novembre à décembre et la grande saison chaude de janvier à mai avec un refroidissement très bref (deux semaines) mais très caractéristique en janvier : la petite saison froide.

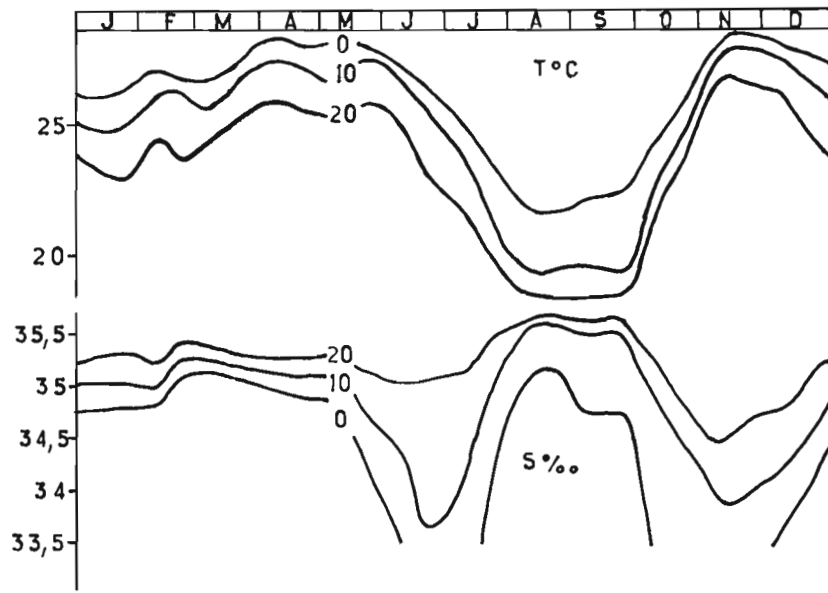


Figure 5: - Valeurs moyennes de température et salinité par 15 jours de 1966 à 1971 à la station côtière d'Abidjan.

Le cycle hydroclimatique ainsi défini est en gros le même pour tout le littoral ivoirien du Cap des Palmes au Cap des Trois-Pointes. Cependant la configuration particulière de la côte impose des conditions différentes aux mécanismes mis en jeu de l'est à l'ouest : il existe pratiquement en permanence (sauf en novembre et décembre) des phénomènes d'upwelling dans l'ouest (région de San Pédro) alors que ces processus n'apparaissent pas dans l'extrême est (de 3° W au Cap des Trois-Pointes) où il y aurait au contraire "piling-up" ; entre ces deux régions extrêmes, on rencontre toutes les situations intermédiaires.

Ces différences géographiques importantes se manifestent par des différences de caractéristiques hydrologiques, mais le cycle saisonnier reste le même sur tout le littoral ; d'où la

démarche suivie au cours de cette étude : étude de la période froide puis étude de la période chaude dans laquelle on distinguera deux parties en fonction des différents caractères halins.

2- PERIODE FROIDE

2-1- Conditions météorologiques

A partir de mai et jusqu'à la mi-juillet, la mousson provoque d'abondantes précipitations qui vont fortement diminuer la salinité de surface : il y a renforcement des vents de SW qui vont se maintenir après le passage des pluies.

Il est à noter que les vents de SW sont dominants pendant toute l'année dans le golfe ivoirien ; l'orientation de la côte fait que ces vents sont générateurs d'upwelling sur la majeure partie du littoral, la région la plus favorable étant la région ouest : du Cap des Palmes à Sassandra où les vents sont presque parallèles à la côte. Mais ces vents sont faibles, les vitesses mesurées à la côte sont pratiquement toujours inférieures à 5 m/s (VERSTRAEETE 1970), c'est seulement pendant des périodes d'intensification de ces vents qu'il pourra y avoir remontée d'eau importante. C'est le cas de juillet à septembre où des phénomènes d'upwelling se développent sur toute la partie ouest du littoral ivoirien.

2-2- Mécanisme d'établissement

Il semble que les remontées d'eau soient dans un premier temps localisées à la zone ouest où l'orientation de la côte est la plus favorable. En juillet 1969, au cours de la PK 2 on observe à 20 m : 15,5° C vers 7°20 W alors que vers 3° W la température est voisine de 20° C (voir figure 6) soit plus de 4° C d'écart entre l'ouest et l'est ; un mois plus tard lorsque la saison peut être considérée comme établie sur tout le plateau la différence entre l'ouest et l'est n'est plus que de 1,5° C environ, la région ouest étant toujours la plus froide (voir figure 6).

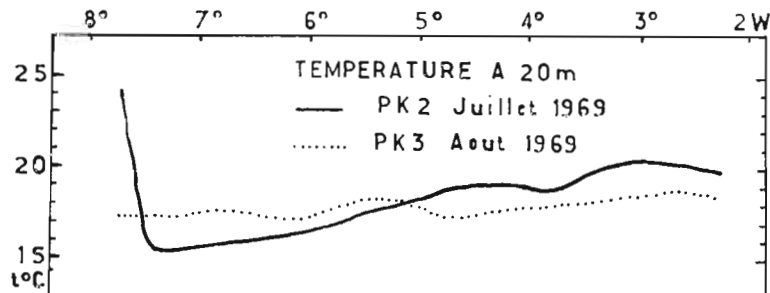


Figure 6: - Exemple de différences géographiques constatées lors de l'établissement de la saison froide (PK2) par rapport à la situation établie (PK3).

On observe le même phénomène en fin de saison, où l'upwelling se maintient plus longtemps dans l'ouest.

L'entraînement des eaux plus froides de l'ouest par le courant de Guinée provoque certainement un refroidissement apparent supplémentaire dans les régions est où les conditions de l'upwelling sont moins favorables.

2-3- Caractéristiques hydrologiques

2-3-1- Température

Pendant cette saison, la température est inférieure à 25° C sur l'ensemble du plateau continental ivoirien. La figure 7 ainsi que les suivantes représentent les situations moyennes de saison froide ; elles ont été établies en calculant les valeurs moyennes de température et de salinité correspondant à toutes les stations faites à l'intérieur de carrés de 1° de côté pendant la période de juillet à septembre. Chaque point représente donc une série de 3 stations répétées 9 fois.

La zone la plus froide est à l'ouest, entre Tabou et Grand-Lahou (7°30 W et 5° W environ) où la température de surface descend au-dessous de 23° C en surface et au-dessous de 20° C à 10 mètres. La température y est plus stable (au cours de la saison et d'une année à l'autre) que dans les zones plus à l'est où les valeurs observées à 10 m par exemple sont plus dispersées.

A l'ouest de cette zone, le réchauffement est très rapide ; au passage du Cap des Palmes, l'isotherme 20° C plonge brusquement d'une vingtaine de mètres (figure 8) tandis que les eaux de surface ont une température supérieure à 25° C. En fait on observe devant ce Cap une zone frontale séparant les eaux d'upwelling froides et salées des eaux "guinéennes" chaudes et de faible salinité qui sont en permanence devant les côtes du Libéria, à l'ouest du Cap. Cette zone frontale qui correspond à la remontée en surface de la thermocline existe pendant toute la saison froide, l'écart de température observé de part et d'autre pouvant atteindre 4 à 5° C en surface.

A l'est de la zone froide, le réchauffement est progressif, les isothermes descendent lentement vers l'est pour atteindre un palier à l'est de Grand-Bassam (3°30 W environ) jusqu'au Cap des Trois-Pointes. L'isotherme 20° C par exemple qui se trouve très près de la surface (6-7 m) vers Tabou - Sassandra plonge lentement vers l'est jusque vers 3°30 W où elle reste vers 20 m jusque vers 2°30 W (figure 8).

La thermocline, très marquée à l'ouest du Cap des Palmes du fait de la couverture d'eaux "guinéennes" est très désagrégée

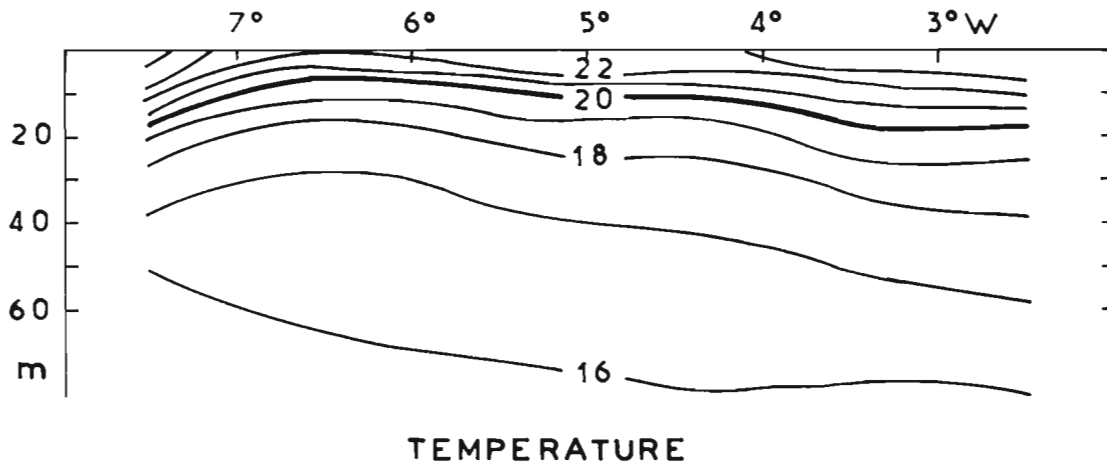


Figure 7: - Situation moyenne de saison froide: température (moyennes des stations par carré de 1° de longitude sur le plateau continental ivoirien).

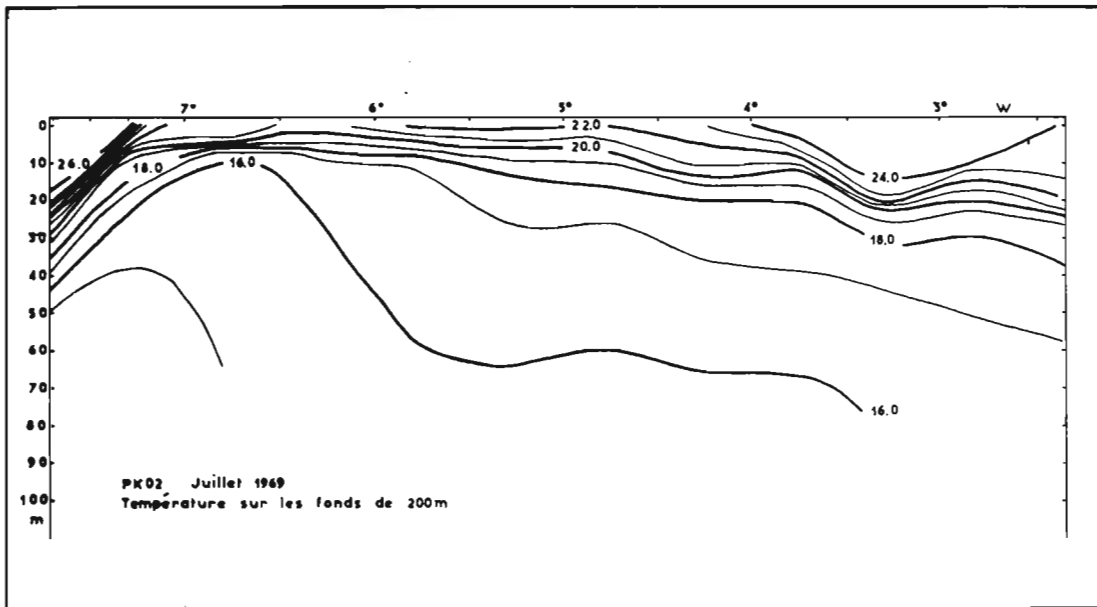


Figure 8: - Exemple type de saison froide: température sur les fonds de 200m - PK2 juillet 1969.

dans la zone d'upwelling et peu marquée voire inexistante sur tout le plateau, sauf dans l'extrême est où elle a tendance à se reformer dans la zone d'accumulation d'eau.

La distribution moyenne des températures aux niveaux 10 et 20 m (figure 10 et 11) indique plus clairement les conditions exactes de saison froide. Si à 10 m le refroidissement est assez uniforme sur tout le littoral jusqu'au delà de Grand-Bassam, au niveau 20 m le refroidissement est strictement localisé dans la partie ouest, l'upwelling n'a donc une extension verticale importante qu'entre Tabou et Sassandra. Son extension horizontale d'après les cartes semble également limitée au plateau continental. En fait la couverture est insuffisante pour préciser les limites de son extension vers le large mais l'entraînement des eaux froides a pu cependant être perceptible jusqu'à 50 milles des côtes dans la région de Sassandra où il semble maximum.

Certains indices concernant la circulation ont fait émettre l'hypothèse que l'upwelling créait deux cellules de divergence, l'une située près de la côte, l'autre au-dessus du rebord du plateau continental. Ceci ne peut être confirmé par les résultats tout au moins dans la partie ouest. Pour l'ensemble des campagnes, au niveau 10 m, la température la plus élevée a pratiquement toujours été observée sur les fonds de 200 m et la plus basse sur les fonds de 20 m ce qui montre que les conséquences de l'upwelling sont plus sensibles à la côte. Pour la zone à l'est d'Abidjan, l'action de l'upwelling se fait sentir de façon moins côtière, on note un pourcentage égal d'observations de température minimum sur les fonds de 20 et 60 m ; dans l'extrême est le pourcentage d'observations de température minimum sur les fonds de 200 m n'est plus négligeable donc, vers l'est, les manifestations de l'upwelling ont tendance à se décoller de la côte. Un tel mécanisme, s'il existe ne se produit donc que dans la zone la moins favorable à l'upwelling, ce qui est d'ailleurs conforme à la théorie (VERSTRAETE - 1970).

2-3-2- Salinité

La salinité est plus élevée pendant la période froide que pendant le reste de l'année. Ce phénomène est une conséquence directe de l'upwelling qui apporte en surface les eaux froides du maximum de salinité d'origine subtropicale qui est situé juste sous la thermocline. Cependant il existe des différences sensibles entre la distribution des salinités en surface (voir figure 13) et celle des températures (voir figure 9). En effet, alors que le fait que l'upwelling soit côtier entraîne une augmentation de la température des eaux vers le large, les salinités restent plus faibles à la côte et augmentent vers le large. Ceci est dû au fait que, bien que la

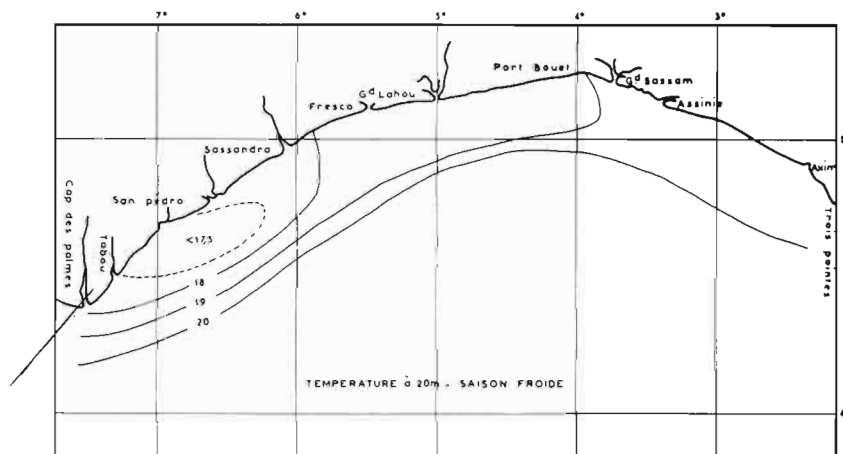
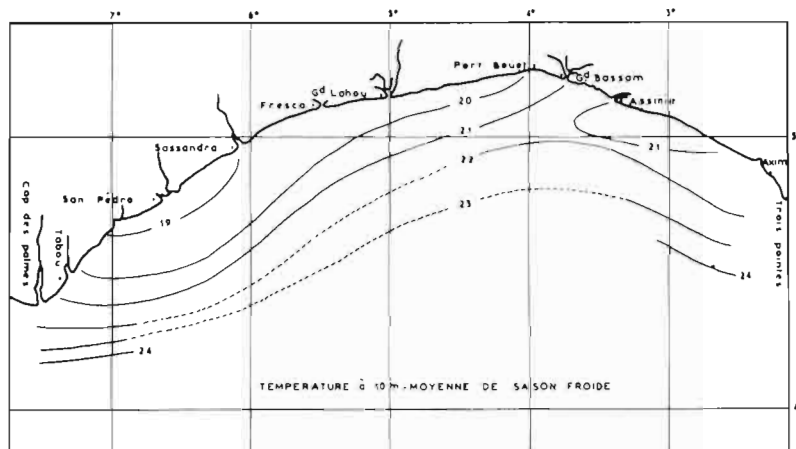
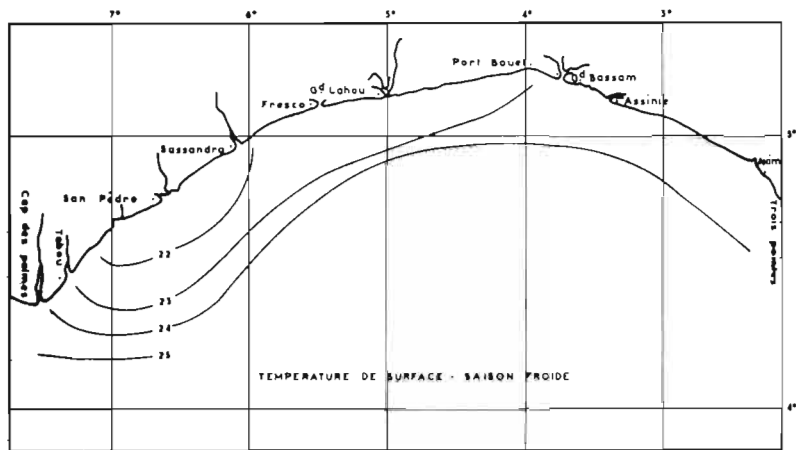


Figure 9, 10, 11:- Cartes des températures moyennes de saison froide à 0, 10 et 20 mètres.

saison froide soit en moyenne sur le littoral une saison sèche, on se trouve en période de début des crues des fleuves, d'où la formation d'importantes dessalures côtières aux principales embouchures. Ces valeurs se répercutent sur la moyenne calculée. En pratique on relèvera surtout des salinités de surface extrêmement variables au cours de cette saison. Ce phénomène est néanmoins assez superficiel et dans les vingt premiers mètres le gradient de salinité est élevé; on passe de 34.4‰ en surface à 35.2‰ à 10 m, et 35.6‰ à 20 m, alors que sur les 50 m suivants la salinité varie peu autour de 35.7‰ (figure 12).

La stratification des 20 premiers mètres reste sensiblement la même d'est en ouest, si ce n'est au niveau du Cap des Palmes, où il y a recouvrement par les eaux "guinéennes" d'où apparition en surface d'un front halin extrêmement marqué vers Tabou.

Au-dessous, la couche du maximum de salinité présente une évolution d'est en ouest. Pour cette saison, sur l'ensemble du plateau, ce maximum se trouve entre 20 et 40 m; il diminue de l'est vers l'ouest; il est de 35.8‰ au Cap des Trois - Pointes et est inférieur à 35.7‰ au Cap des Palmes. La campagne PK2 fournit un exemple de ce phénomène (figure 14).

Cette couche à salinité maximum se présente sous forme de langue s'amincissant d'est en ouest: la couche de salinité 35.7 a 50 m d'épaisseur au Cap des Trois - Pointes, elle a 30 m devant Grand-Lahou, 15 m devant Tabou et est inexistante devant le Cap des Palmes.

Cette structure est directement liée à l'écoulement d'est en ouest du sous - courant ivoirien. En effet le maximum de salinité est approximativement situé au niveau de la veine centrale du contre-courant ouest. Il doit donc décroître par diffusion au cours de déplacement d'est en ouest. Mais alors qu'en saison chaude ce phénomène est imperceptible à l'échelle de la Côte d'Ivoire car le maximum est profond et situé sous la couche à forte stabilité de la thermocline, en saison froide le maximum est proche de la surface dans une zone à forts gradients tant horizontaux que verticaux de courant et de stratification faible. Il en résulte un mélange intense avec les eaux de surface et une décroissance rapide de ce maximum vers l'ouest.

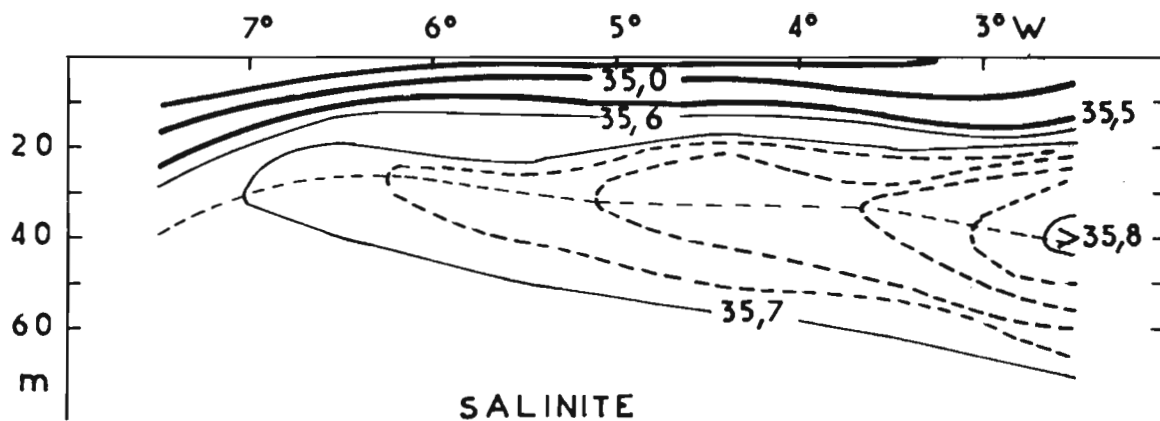


Figure 12: - Situation moyenne de saison froide: salinité (moyennes des stations par carré de 1° de longitude sur le plateau continental ivoirien).

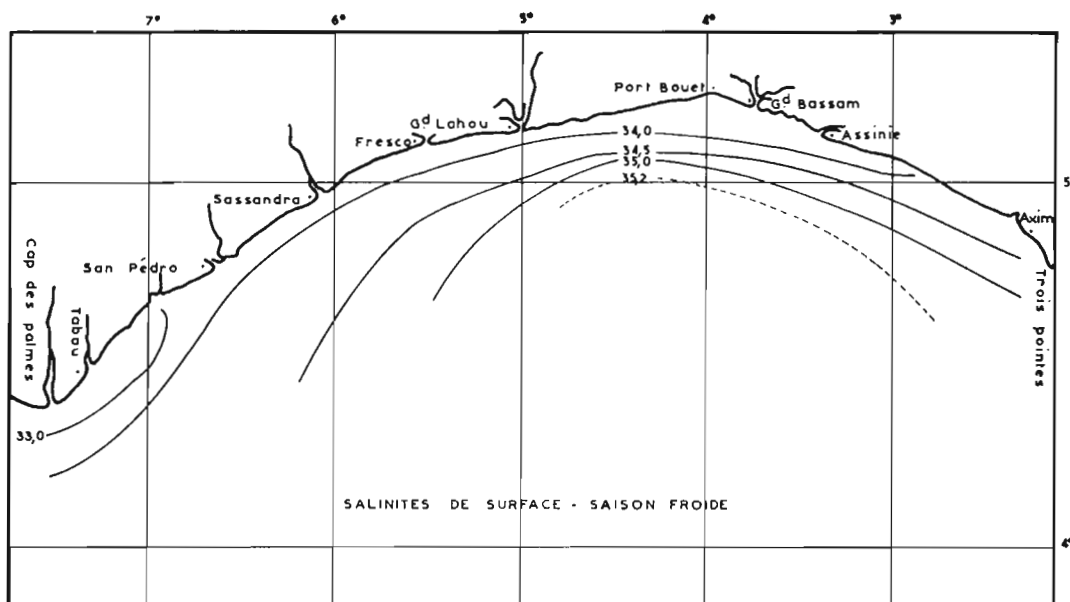


Figure 13: - Carte de la salinité de surface en saison froide

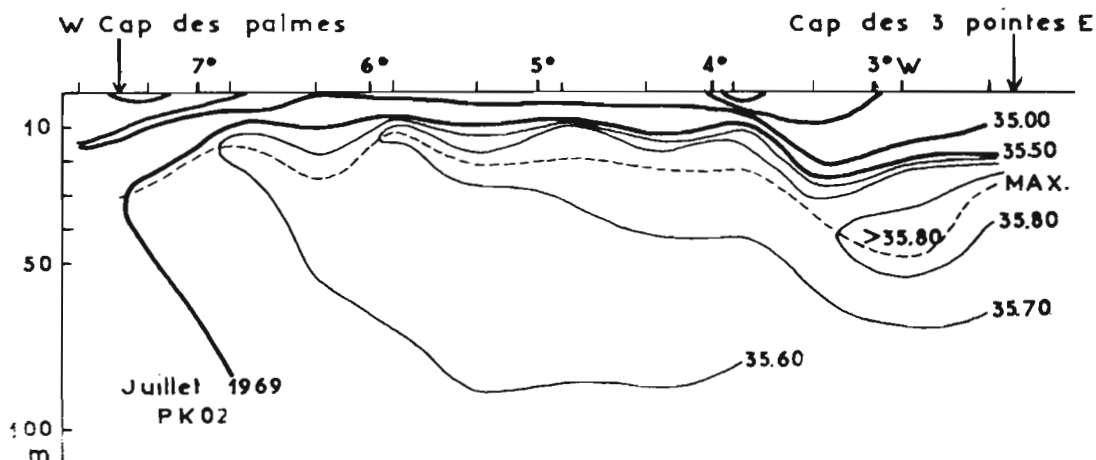


Figure 14: - Exemple type de saison froide: salinité sur les fonds de 200m - PK2 juillet 1969.

3- PERIODE CHAUDE

3-1- Conditions météorologiques

Les vents de SW diminuent d'intensité en octobre et seront désormais trop faibles pour déclencher des remontées d'eaux aussi importantes que pendant la période froide, cependant des phénomènes d'upwelling pourront se développer lors d'intensifications passagères des vents favorables. C'est le cas dans la période de janvier à avril où l'on observe des refroidissements brefs : les petites saisons froides (MORLIERE - 1970).

Cette diminution des vents correspond au replis vers le sud du front intertropical et à une nouvelle période de précipitations. Il y a en même temps, d'octobre à novembre, crue des principaux fleuves ivoiriens.

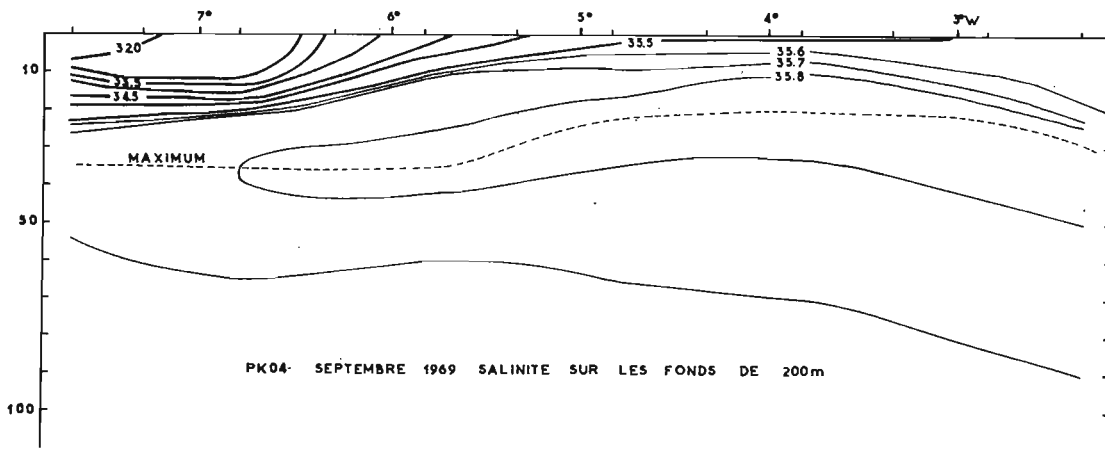


Figure 16: - Exemple de recouvrement des eaux d'upwelling par les eaux d'origine libérienne en septembre.

3-2- Eaux chaudes et peu salées (novembre - décembre)

3-2-1- Mécanisme d'établissement

Dès le mois de septembre des eaux à faible salinité (inférieure à 34‰) commencent à recouvrir les eaux d'upwelling dans l'ouest de la Côte d'Ivoire. Le phénomène est très superficiel et localisé à l'extrême ouest mais provoque une différence sensible entre les salinités de surface et les salinités à 10 m (voir figure 16). On peut admettre que les eaux "guinéennes" pénètrent progressivement et en surface le littoral ivoirien, dans la dernière phase de la saison froide ; dès que l'upwelling cesse, ces eaux envahissent le plateau continental.

En octobre, au moment de l'établissement de ces eaux, le courant de Guinée est inexistant à la côte et c'est au contraire un courant portant à l'ouest que l'on observe (LEMASSON et REBERT 1972) ; le problème se pose donc de savoir quel est le trajet emprunté par les eaux "guinéennes" pour s'établir sur le plateau ivoirien. DONGUY (1964) a émis l'hypothèse d'une origine est pour ces eaux qui on le sait (BERRIT - 1966) existent en permanence au fond du Golfe de Guinée ; elles arriveraient donc entraînées par ce courant ouest. L'hypothèse paraît cependant peu vraisemblable étant donné l'éloignement de la source est, et l'existence devant les côtes du Ghana de remontées d'eau importantes qui entravent la progression éventuelle vers l'ouest des eaux de la Baie de Biafra pendant toute la saison froide.

Il semble plus satisfaisant d'admettre une origine ouest pour ces eaux ; la circulation de surface dans le golfe ivoirien est à cette époque de type cyclonique avec un courant ouest au voisinage de la côte et un courant est (courant de Guinée) au large. Ces eaux issues des côtes du Libéria seraient donc entraînées vers l'est par le courant de Guinée au niveau du Cap des Palmes, puis reprises par le courant ouest au niveau du Cap des Trois-Pointes et se répandraient alors sur le littoral.

La période novembre - décembre est remarquable par sa stabilité : les vents sont très faibles et une couche d'eau légère recouvre une eau plus dense. D'autre part, l'existence d'eaux de salinité faible à la côte sera favorisée par les précipitations et les crues des fleuves en octobre et novembre.

3-2-2- Caractéristiques hydrologiques

De novembre à décembre, la structure est entièrement originale et différente de celle qui existe le reste de l'année ; dans l'ouest en particulier tout upwelling a disparu pour laisser place à une épaisse couche d'eau chaude. La couche de couverture chaude (T. supérieure à 26° C), à faible salinité (S. inférieure à 35‰) qui recouvre alors l'ensemble du plateau continental a une épaisseur moyenne de 30 m (figure 17). La température varie de 25-26° C à 30 m à plus de 28° C en surface ; la salinité, inférieure à 34‰ en surface est de 35‰ à 30 m et varie peu en dessous. Cette couche d'eau légère crée une situation stable à thermocline profonde.

L'isotherme 24° C qui se trouve dans le haut de la thermocline indique une diminution générale de l'épaisseur de la couche de surface vers l'ouest et vers le large (voir figure 18). La topographie de cette isotherme suggère un transport général vers l'ouest des eaux de surface ; à la hauteur de Tabou ce transport s'infléchirait vers le sud et serait associé à une convergence.

3-3- Eaux chaudes à salinité forte (janvier à mai)

3-3-1- Mécanismes d'établissement

A la fin décembre, la disparition des eaux "guinéennes" marque la fin d'une période de stabilité, elles sont remplacées par des eaux tropicales superficielles à température élevée et salinité voisine de 35‰, transportées par le courant de Guinée. Cette disparition qui correspond à la fin de la saison des pluies et à la décrue des fleuves est progressive mais un autre phénomène vient s'y superposer qui renforce la distinction entre ces deux parties de la saison chaude ; c'est l'apparition en janvier de refroidissements sub-superficiels dont on discutera par la suite.

3-3-2- Caractéristiques hydrologiques

De janvier à mai, la température et la salinité restent élevées, créant une situation de saison chaude laquelle peut cependant être interrompue par de brefs refroidissements. Dans les dix premiers mètres la température est supérieure à 27° C et la salinité voisine de 35‰ (voir figure 19). Au-dessous, la température ne varie pas de la même façon suivant le fond : sur les petits

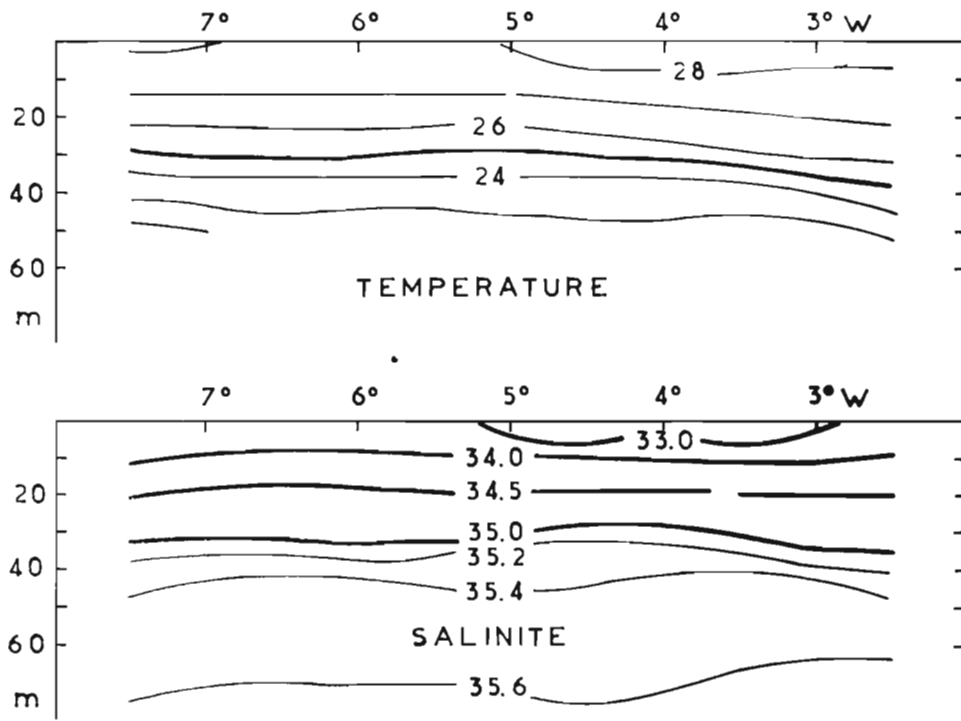


Figure 17: - Situation moyenne de petite saison chaude: novembre-décembre (moyennes des stations par carré de 1° de longitude sur le plateau continental ivoirien).

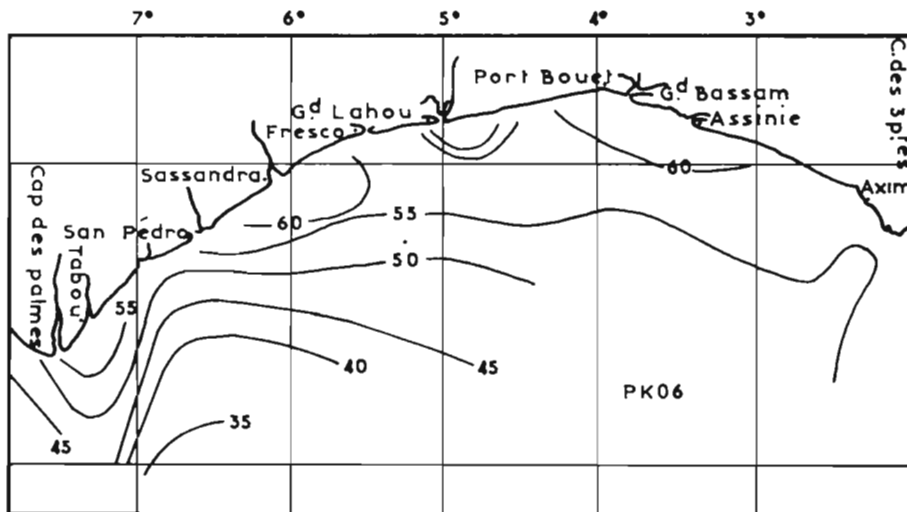


Figure 18: - Topographie de l'isotherme 24°C - (PK 6).

Fonds la température à 20 m est de 25° C environ alors que sur les fonds plus grands elle est supérieure à 26° C à la même profondeur. Donc sous la couche de surface très chaude et homogène qui recouvre l'ensemble du plateau, les eaux sont sensiblement plus froides à la côte qu'au large. Ce phénomène est d'ailleurs quasi permanent puisque, même en l'absence d'upwelling, du fait de la circulation générale de surface vers l'est, l'ajustement géostrophique de la structure des eaux entraîne une légère pente de l'ensemble des isoplèthes vers le large. La seule époque de l'année où on peut observer le phénomène inverse est la période octobre-novembre dont les caractéristiques viennent d'être décrites.

La couche de surface atteint son épaisseur maximum au mois d'avril-mai avant la période d'upwelling. Son épaisseur est alors d'une quarantaine de mètres.

La salinité présente un gradient important entre 10 et 20 m puis varie lentement au-dessous.

3-3-3- Refroidissements

La deuxième partie de la saison chaude est interrompue par toute une série de brusques refroidissements. Le premier a lieu très régulièrement en janvier si bien qu'on a pu le qualifier de petite saison froide. Ils peuvent se poursuivre jusqu'en mars ou avril avec une intensité très variable. Ils constitueraient la seule marque d'influence boréale sur les conditions hydrologiques de la région étudiée qui, largement ouverte sur l'Atlantique sud, et bien que située dans l'hémisphère nord, a un cycle hydroclimatique de type austral.

Ces refroidissements ne sont pratiquement pas sensibles en surface mais sont observés tous les ans aux niveaux inférieurs de la station côtière d'Abidjan où les mesures sont faites deux fois par semaine. On est donc conduit à les attribuer à des phénomènes d'upwelling côtier de faible amplitude, c'est-à-dire sans transport de la thermocline jusqu'en surface. L'influence de l'upwelling est cependant perceptible en surface d'après la distribution des salinités : on observe fréquemment à cette époque des salinités qui diminuent légèrement vers le large ce qui indique un faible transport superficiel vers le large.

Les vents sont relativement faibles à cette époque. Cependant VARLET (1958) a montré qu'il y avait renforcement des vents de SW à W de janvier à avril (voir figure 20).

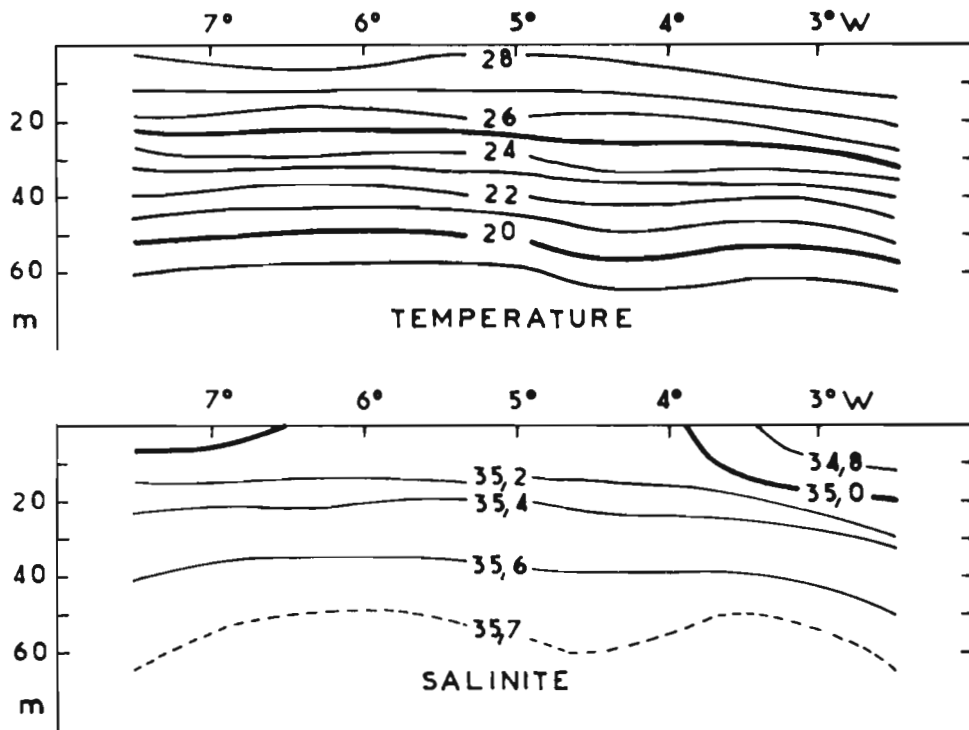


Figure 19: - Situation moyenne de grande saison chaude: janvier-mai (moyennes des stations par carré de 1° de longitude sur le plateau continental ivoirien)

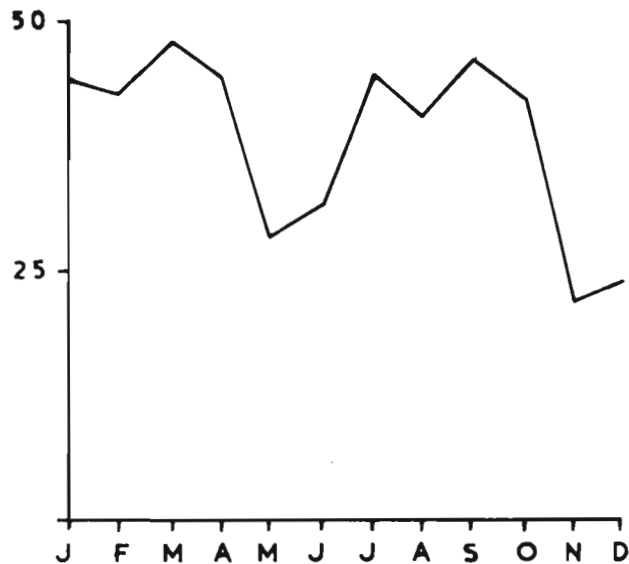


Figure 20: - Fréquence des directions de vents de SW à W en %.

Notons en outre que la disparition de la couche de surface à faible salinité, en réduisant la stabilité verticale globale contribue, toutes choses égales d'ailleurs, à créer des conditions plus favorables à des remontées d'eaux. L'importance de ce dernier facteur est cependant difficile à évaluer.

Ces upwellings observés à Abidjan se produisent vraisemblablement de la même façon dans la région ouest. Mais le manque de mesures continues ne permet pas de l'affirmer. Au cours des campagnes PK nous n'avons pu observer qu'un seul refroidissement du fait de la brièveté du phénomène et de la faible fréquence des campagnes. La PK 8 qui a eu lieu du 24 au 27 février 1970 montre sur les petits fonds une différence de 4° C et de 0,6‰ entre l'ouest et l'est d'Abidjan (figure 21) ; on a mesuré à 10 m : 24° C vers 6° W (Sassandra), 25° C vers 5° W (Grand-Lahou) et plus de 28° C entre 3°30 et 2° W (de Grand-Bassam au Cap des Trois-Pointes).

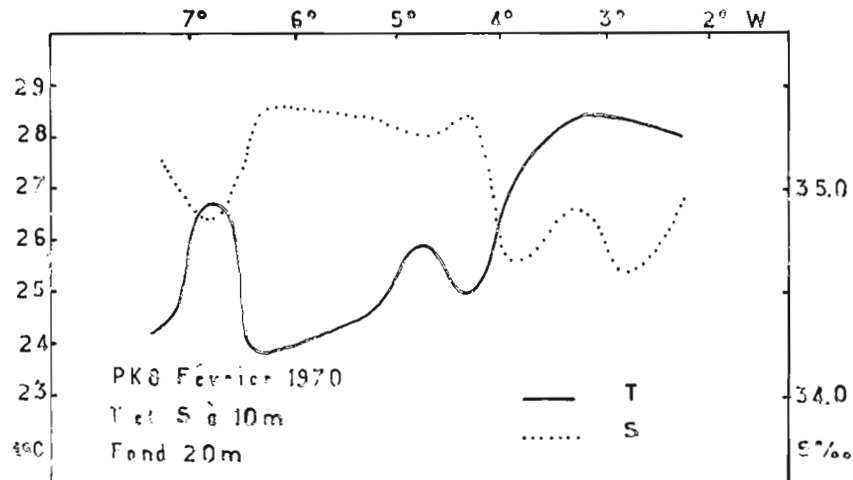


Figure 21: - Exemple de refroidissement du type saison froide.

Le refroidissement atteindra par la suite des valeurs plus importantes dans l'est puisque des températures inférieures à 24° C à 10 m ont été enregistrées à la station côtière début mars.

Ces situations entraînent d'importantes différences géographiques du milieu. Ceci joint au fait que leur apparition, leur durée et leur intensité sont très variables, contribue à faire des mois de janvier à mars une période aux caractéristiques très irrégulières.

4- VARIATIONS SAISONNIERES

Les saisons venant d'être décrites dans leur ensemble, il serait intéressant de situer leur évolution dans le temps et dans l'espace de façon plus précise. Nous avons donc construit des graphiques spatio-temporels pour les deux principaux paramètres, température et salinité, les seuls pour lesquels nous disposons de données assez nombreuses pour permettre un tel traitement. Ces graphiques (figure 22 à 27) ont été construits de la façon suivante : les moyennes ont été calculées à chaque niveau pour chaque radiale sur le plateau continental (c'est-à-dire trois stations) ; les moyennes sont ensuite regroupées par mois (0 à 3 radiales) et par degré de longitude (1 ou 2 radiales). Chaque point représente donc une valeur moyenne par mois sur une certaine surface de plateau continental. On se gardera bien toutefois d'accorder un crédit trop important à ces graphiques. En effet, vu la variabilité des phénomènes, ils sont construits à partir d'un nombre tout fait insuffisant de mesures pour qu'on puisse à proprement parler les qualifier de moyennes. Plusieurs mois ne sont représentés que par une seule série de mesures et deux mois consécutifs peuvent provenir d'années différentes. Pour le mois de décembre en outre on ne dispose que de données de surface.

Cependant ces figures ont l'avantage de fournir un résumé rapide de la situation et permettent de dégager quelques faits intéressants. Les limites zonales de l'upwelling sont mises clairement en évidence. Le maximum a lieu entre 6° et 7° W. Il culmine en août en surface mais aux niveaux inférieurs il semble stable de juillet à septembre. Le maximum de saison chaude a lieu en avril-mai où les températures sont plus élevées qu'au cours du mois de novembre à tous les niveaux.

Il en ressort tout aussi nettement que la petite saison froide a son origine à l'ouest. Elle est assez morcelée aux niveaux supérieurs mais très nette à partir du niveau 20 m. C'est à cette époque que l'on peut observer les plus grandes différences de températures sur le plateau continental (jusqu'à 5° C entre l'est et l'ouest à 20 m). Notons un refroidissement superficiel en mars dans l'extrême ouest qui peut être dû à une arrivée d'eau froide d'origine extra-ivoirienne. Il peut s'agir d'eau ayant subi un upwelling devant le Libéria ce qui a déjà été noté par DONGUY (1968). Ce dernier, en effet, a rencontré au cours d'une campagne effectuée entre 4° et 12° W, en février, deux zones bien distinctes de 4° à 6° W (à l'est de Sassandra) il a trouvé une zone chaude et

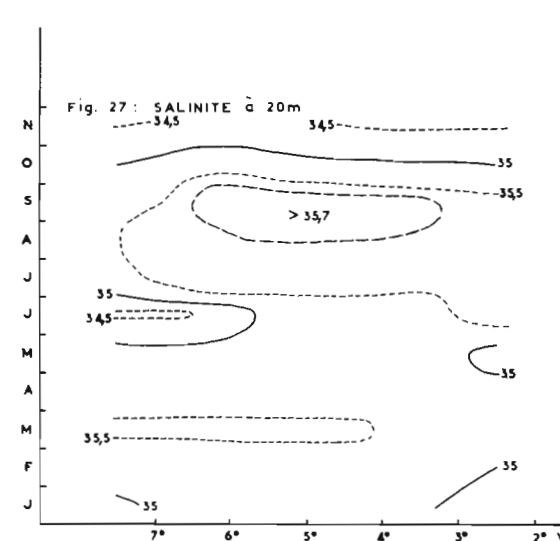
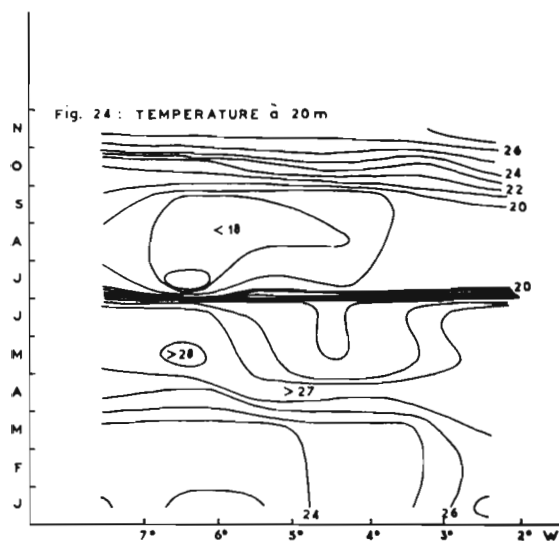
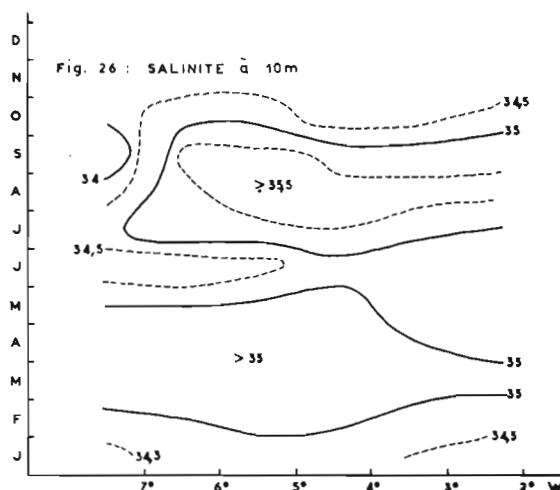
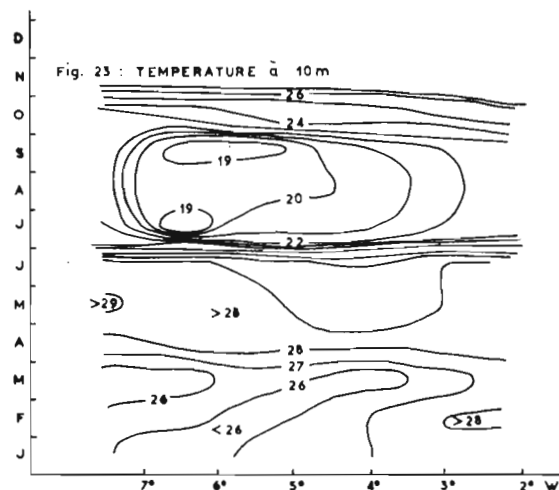
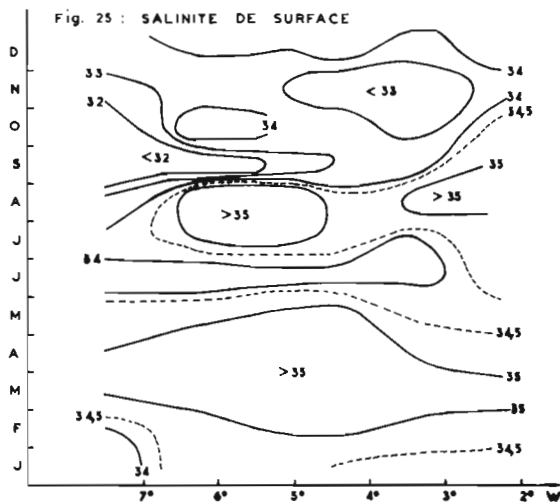
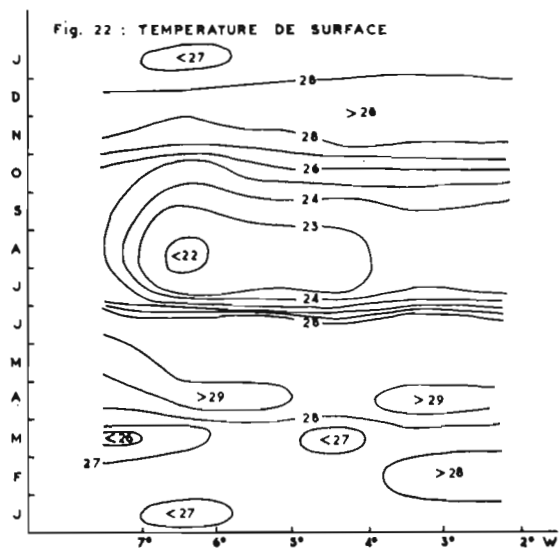


Figure 22 à 27: - Diagrammes spatio-temporels: températures et salinités à 0, 10 et 20m.

stable, de 6°30 à 10°30 W une zone plus froide et qu'il a considérée comme une région d'upwelling étant donné la structure hydrologique et la direction des vents parallèle aux côtes du Libéria pendant cette période.

Il semble donc, d'après DONGUY, que les petites saisons froides soient des prolongements d'upwelling existant devant le Libéria et à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Ce ne serait donc pas un phénomène proprement ivoirien.

Le schéma des salinités est plus complexe. Les arrivées d'eaux à faibles salinités d'origine libérienne débutent au mois d'août et se poursuivent jusqu'en février dans l'ouest. La dessalure reste très superficielle jusqu'en octobre, mais prend en novembre une extension verticale importante du fait de l'arrivée des eaux "guinéennes" (figure 25 - 26 - 27).

Le maximum de salinité en saison froide est, nous l'avons vu plus haut, plus élevé à l'est qu'à l'ouest (35,8 et 35,6‰); il semble que le contraire apparaisse sur ces graphiques, en fait l'immersion de ce maximum diminue de l'est vers l'ouest, il apparaît donc sur les diagrammes à 10 et 20 m dans l'ouest alors qu'il n'apparaît pas dans l'est car plus profond (40 m).

Pendant la période chaude, la partie est est toujours plus salée sauf en novembre où, en surface (figure 25), des eaux moins salées peuvent être observées vers 4° W, conséquence des crues locales ou des mouvements ouest des eaux qui ont été décrits plus haut.

La saison des pluies de juin est marquée par une dessalure superficielle importante qui est plus sensible et plus profonde dans l'ouest où les précipitations sont plus abondantes.

5- THERMOCLINE

La thermocline est un paramètre dont l'étude est essentielle en ce qui concerne les conditions de milieu. Les deux caractéristiques les plus importantes sont sa profondeur qui déterminera la position des couches riches en sels nutritifs par rapport à la zone euphotique, et son intensité (c'est-à-dire le gradient thermique) bon indicateur de la stabilité des eaux donc des possibilités de mélange entre les couches. De la combinaison de ces deux facteurs

dépendra en fait la richesse réelle des eaux. Une étude complète de la thermocline sur le plateau continental est cependant très difficile à mener d'après les données des campagnes PK. En effet, cette thermocline se présente rarement ici sous la forme idéale d'une zone à décroissance très rapide. Elle est fréquemment morcelée, affectant une forme en gradin, ou absente, comme c'est le cas en saison froide. D'autre part, si le point haut est en général assez facile à déterminer il n'en va pas de même du point bas, la thermocline rejoignant en général la zone des eaux froides sans discontinuité importante.

Pour pallier ces difficultés on a choisi l'isotherme 24° C qui se trouve en général dans le haut de la thermocline et l'isotherme 20° C qui se trouve vers le bas et on les a représentés graphiquement suivant le même principe que pour les températures (figures 28 et 29). On a choisi toutefois ces isothermes sur les fonds de 60 m, qui représentent un point moyen du plateau continental, car des difficultés supplémentaires s'ajoutent si on veut faire la moyenne sur les trois stations.

La topographie spatio-temporelle de ces isothermes représentera donc en gros celle du haut et du bas de la thermocline. En calculant le gradient thermique moyen entre ces deux isothermes, on obtient de même une représentation approximative de l'intensité de cette thermocline. Cependant, il s'agira d'un gradient minimum car les gradients observés dans la partie haute de la thermocline peuvent être bien supérieurs à ces valeurs et dépasser, à certaines saisons, 1° C par mètre sur quelques mètres. D'autre part l'intensité a l'inconvénient de ne pas être définie lorsque l'isotherme 24° C est absente c'est-à-dire pendant pratiquement toute la saison froide. Toutefois on sait qu'à cette époque elle est faible sur pratiquement tout le plateau continental.

La topographie de l'isotherme 24° C indique à nouveau que l'extension verticale de la couche de surface est maximum au mois de novembre (supérieure à 40 m) alors qu'elle peut être relativement faible en mai où apparaît un relèvement de l'isotherme au milieu du littoral.

La petite saison froide est surtout sensible en janvier au niveau de l'isotherme 20° C et des mois de janvier à mars au niveau de l'isotherme 24° C.

Enfin la topographie de l'isotherme 20° C met en relief les accumulations d'eaux qui se produisent entre 4° W et le Cap des

Trois Pointes, particulièrement en saison chaude, mais fréquemment aussi en saison froide où l'accumulation est plus visible.

La stabilité des eaux de surface, dont l'intensité de la thermocline peut être considérée, comme un indice, est donc minimum en saison froide et maximum en novembre dans toute la partie ouest ; c'est d'ailleurs au niveau du Cap des Palmes qu'on observe les plus forts gradients (supérieurs à 0.5°C en avril). Un second minimum a lieu en mars, c'est-à-dire en fin de petite saison froide ; la stabilité est encore forte en janvier ce qui indique que ces petites périodes d'upwelling mettent un certain temps avant de détruire la thermocline.

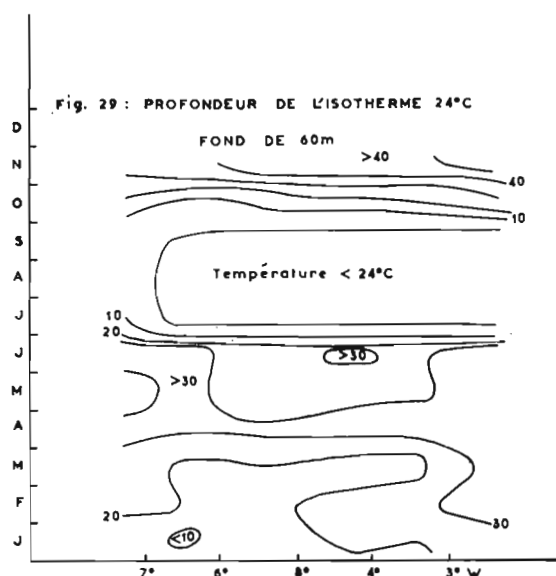
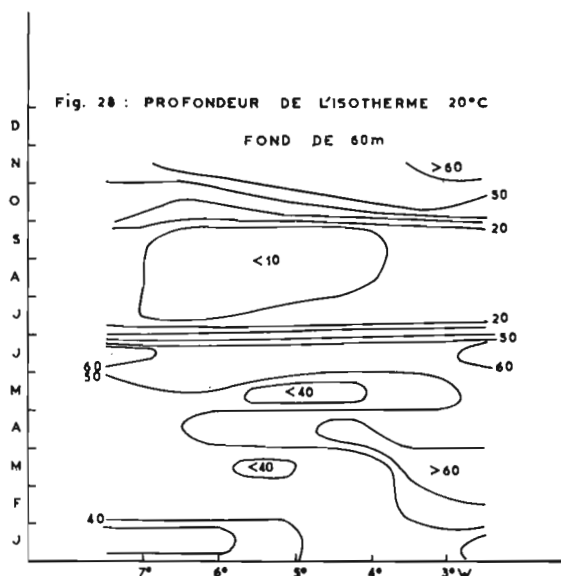


Figure 28 et 29: - Topographie spatio-temporelle des isothermes 20 et 24°C sur les fonds de 60 mètres.

6- TRANSPARENCE

Toutes les données de transparence que nous utilisons ont été évaluées au disque de Secchi. Pour l'ensemble des campagnes PK, les résultats des mesures de transparence sont très disparates et difficilement utilisables pour essayer de définir une situation moyenne ; de plus bon nombre de stations ont été faites de nuit. Nous avons donc utilisé l'ensemble des résultats obtenus à la station côtière d'Abidjan de 1966 à 1971. Il faut noter que cette station, proche de la côte, sera particulièrement sensible aux apports terrigènes bien que choisie à l'ouest d'une embouchure dans une zone de courant dominant est.

Nous avons porté sur un même graphique (figure 30) les valeurs moyennes de la transparence Secchi et les hauteurs moyennes de précipitations à Abidjan ; les origines étant choisies pour que le maximum de transparence et le minimum de précipitations coïncident.

Le graphique montre que la turbidité des eaux est directement liée aux précipitations ; les différences observées de juillet à septembre proviennent du développement phytoplanctonique lié à l'upwelling qui diminue de façon importante la transparence des eaux. En octobre - novembre ce sont les crues des fleuves qui viennent à cette époque augmenter la turbidité des eaux.

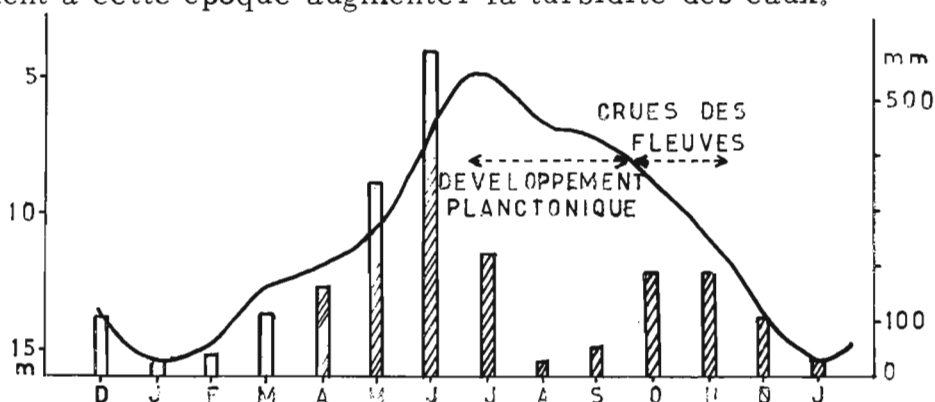


Figure 30: - Comparaison entre la transparence moyenne observée à la station océanique d'Abidjan de 1966 à 1971 et les précipitations moyennes à Abidjan.

C'est en janvier - février, pendant la petite saison froide, que la transparence est la plus grande (supérieure à 15 m). C'est une période sans précipitation ; les fleuves ayant alors leur débit minimum, il n'y a donc aucun apport terrigène. D'autre part l'upwelling de petite saison froide est trop bref, en général, pour permettre un développement planctonique suffisant pour altérer la transparence.

La turbidité est maximum (immersion Secchi 5 m environ) en juillet ; en effet, aux apports terrigènes importants de la saison des pluies de juin, vient s'ajouter un bloom phytoplanctonique lié au développement de l'upwelling de saison froide. Elle restera importante jusqu'à la fin de cette saison (immersion Secchi inférieure à 7 m). Quand l'upwelling cesse, la turbidité a tendance à diminuer, cependant une petite saison de pluie et les crues correspondantes des principaux fleuves provoquent des apports

terrigènes et maintiennent la transparence à une valeur faible (voisine de 10 m).

7- BIBLIOGRAPHIE

- BERRIT, G. R. (1962) - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Bull. Infor. C. O. E. C., 14, 10.
- BERRIT, G. R. (1966) - Les eaux dessalées du Golfe de Guinée. Doc. Scient. Pro. Centre Rech. Océano. Abidjan, 9
- DONGUY, J. R. et PRIVE, M (1964) - Les conditions de l'Atlantique entre Abidjan et l'équateur. Bull. Infor. C. O. E. C., 16, 3.
- DONGUY, J. R. et PRIVE, M (1968) - Esquisse du régime hydrologique au large de la côte des Graines et de la Côte d'Ivoire entre Abidjan et Monrovia. Cah. ORSTOM, Ser. Océano., vol VI, n° 2.
- ELDIN, M (1971) - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire - Le climat. Mémoires ORSTOM, n° 50 - 1971.
- GIRARD, G ; SIRCOULIN, J ; TOUCHEBEUF, P. (1971) - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire - Aperçu sur les régimes hydrologiques - Mémoires ORSTOM, n° 50 - 1971.
- INGHAM, M. C. (1970) - Coastal upwelling in the northwestern gulf of Guinée. Bull. Mar. Sci. 20, 1.
- LEMASSON, L et REBERT, J. P. (1968) - Observations de courants sur le plateau continental ivoirien- Mise en évidence d'un sous-courant. Doc. Sci. Prov. Centre Rech. Océano. Abidjan, 22.
- LEMASSON, L et REBERT, J. P. (1972) - Les courants dans le golfe ivoirien. (A paraître dans Cah. ORSTOM, Ser. Océano.)
- MORLIERE, A (1970) - Les saisons marines devant Abidjan. Doc. Scient. Centre Rech. Océano. Abidjan, vol 1, n° 2.
- VARLET, F (1958) - Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. Etudes Eburnéennes, 7, pp 97-222.
- VERSTRAETE, J. M. (1970) - Etude quantitative de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien. Doc. Scient. Centre Rech. Océano. Abidjan vol 1, n° 3.
- LONGHURST, A. R. (1962) - Review of the oceanography of the Gulf of Guinea. Bull. IFAN, 24, 3, pp. 633-663.