

12 • Variations spatiale et temporelle de la résurgence ivoiro-ghanéenne

ROBERT ARFI
OLIVIER PEZENNEC
SOULEYMANE CISSOKO

Centre de Recherches Océanographiques, B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire

MARTIN A. MENSAH

Fisheries Department Research & Utilization Branch, Tema, Ghana

RÉSUMÉ

Un upwelling côtier ou résurgence côtière se manifeste saisonnièrement le long du littoral ivoiro-ghanéen, de juin à septembre (Grande Saison Froide, GSF) et secondairement en janvier et février (Petite Saison Froide, PSF). Cette résurgence n'étant pas un upwelling au sens d'Ekman, son intensité ne peut être évaluée à partir des seules données de vent. Un indice par quinzaine basé sur l'écart par rapport à 26°C des valeurs quotidiennes de température est proposé. Les calculs portent sur la période 1970-1987 pour 6 stations de la côte ghanéenne et sur la période 1978-1987 pour 6 stations du littoral ivoirien. Ils fournissent des indices annuels, de GSF et de PSF. La résurgence de GSF apparaît sur tout le littoral étudié, celle de PSF est sensible à toutes les stations ivoiriennes mais, au Ghana, elle ne l'est qu'à Takoradi. Les valeurs les plus élevées de ces indices, en rapport avec des effets de cap, sont observées à Tabou et San Pedro dans l'ouest ivoirien et à Takoradi à l'ouest du Ghana. L'importante disparité spatiale et temporelle des refroidissements observés devant ces deux pays souligne la complexité de la dynamique des eaux côtières de la zone.

ABSTRACT

The upwelling of the Ivoirian and Ghanaian coasts is a seasonal phenomenon. It mainly occurs during the main cold season (GSF) between June and September, secondly from January to February, during the minor cold season (PSF). Resulting of a combination of several mechanisms, the intensity of this coastal upwelling cannot be estimated using wind data. Therefore, a fortnightly index is calculated using the deviation from daily temperature to 26° C. This work was undertaken from 1970 to 1987 for 6 coastal stations of the Ghanaian coastline and between 1978 to 1987 for 6 coastal stations of the Ivoirian shoreline. These indices provide estimates of GSF and PSF upwelling intensity. Coastal upwelling is clearly observed in the entire area during the GSF, but for the PSF this feature is only observed at Takoradi in Ghana and on the whole Ivoirian coast. High values of these indices, related to cape effects, are observed at Tabou and San Pedro (Western Ivory Coast) and Takoradi (Ghana). The spatial and temporal disparity of sea surface cooling is the illustration of the complexity of the Ivoirian and Ghanaian coastal dynamic.

INTRODUCTION

L'hydroclimat du plateau continental ivoiro-ghanéen a d'importantes conséquences sur l'écologie du milieu (potentiel nutritif et production pélagique) et sur les fluctuations d'abondance et de disponibilité de la ressource halieutique. Se développant dans un contexte écologique plutôt oligotrophe lorsque les apports terrigènes sont peu importants (Binet, 1983 a et b) et bien que saisonnière, la résurgence côtière ivoiro-

ghanéenne est suffisamment intense pour enrichir le milieu (Herbland *et al.*, 1983).

Mises en évidence par Varlet (1958) et décrites par Morlière (1970), les saisons «marines» devant Abidjan et le long du littoral ivoirien sont maintenant bien connues. Le cycle annuel est caractérisé par l'alternance d'une Grande Saison «Froide» (juin-octobre) et d'une Grande Saison «Chaude» (novembre-mai), au sein de laquelle se déroule un «épisode froid» (ou Petite Saison Froide) plus ou moins marqué selon le site et l'année. Les remontées d'eaux froides qui intéressent le plateau continental ivoirien ont été décrites par Verstraete (1970) et Morlière et Rébert (1972). Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer le déclenchement et le maintien pendant plusieurs semaines de cette résurgence côtière (Picaut, 1983; Colin, 1988; Colin *et al.*, à paraître). Ces travaux reposent sur l'exploitation de données historiques (campagnes océanographiques dans le golfe de Guinée, température de surface de l'eau de mer relevée par les navires marchands, séries chronologiques de température à la côte). Les températures recueillies quotidiennement au niveau des stations côtières mises en place depuis 1970 au Ghana et 1978 en Côte-d'Ivoire n'ont pas encore fait l'objet d'une étude approfondie, contrairement à ce qui s'est fait en Mauritanie (Arfi, 1987) ou au Sénégal (Portolano, 1987; Roy, 1989). En outre, aucun des travaux portant sur l'hydrologie du golfe de Guinée ne prend réellement en compte la variabilité spatio-temporelle de cette résurgence. La présente étude s'intéresse à cet aspect de

l'upwelling, entre Tabou à l'ouest de la Côte-d'Ivoire et Keta à l'est du Ghana (fig. 1).

L'intensité des remontées d'eaux profondes induites par le vent est couramment décrite au moyen de la composante normale à la côte du transport d'Ekman (Bakun, 1973; Roy, 1989). Mais un tel descripteur s'est avéré insuffisant dans le secteur d'étude (Bakun, 1978). D'autres types d'indice ont alors été proposés:

- un indice annuel, obtenu en multipliant le nombre de quinzaines où la température est inférieure à 26°C par la différence entre 26°C et la température moyenne de chacune de ces quinzaines (ORSTOM/FRU, 1976).

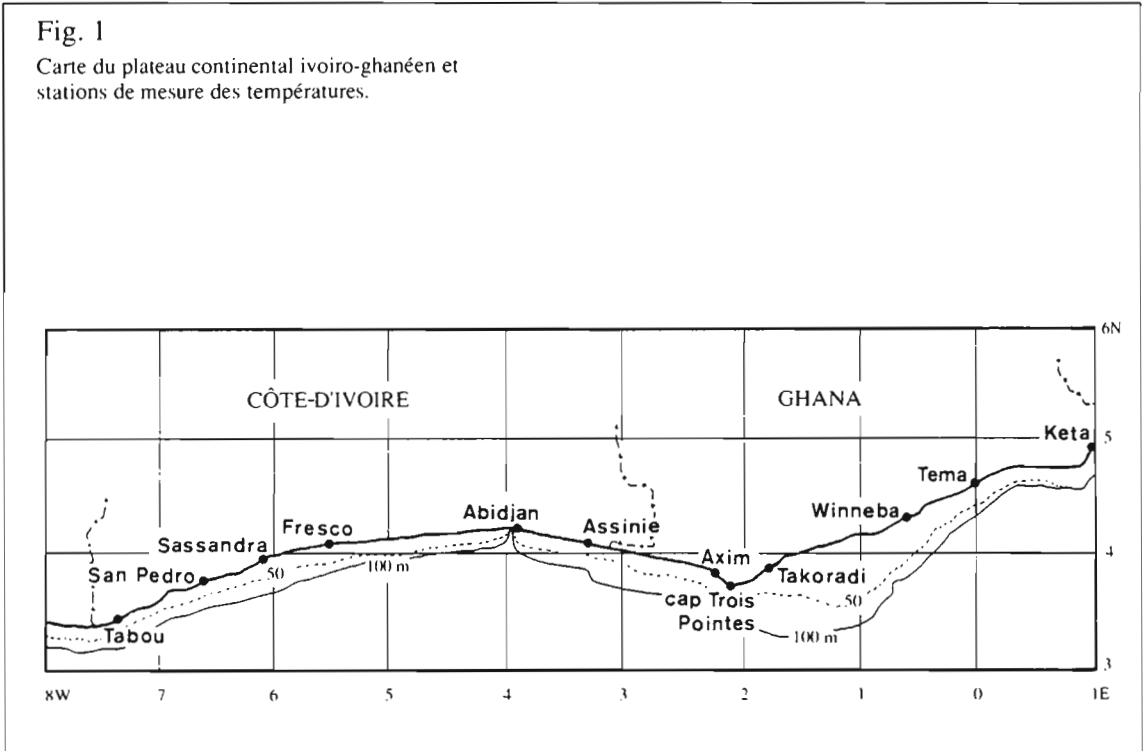
- Binet (1982) utilise ce type d'indice mais le limite à la grande saison froide et fixe le seuil thermique à 24°C.

- à partir des températures relevées par les navires marchands, Cury et Roy (1987) calculent pendant les périodes froides (juillet à septembre et janvier-février) les anomalies thermiques mensuelles par rapport au cycle moyen de la température. La somme de ces anomalies produit un indice annuel.

Afin de mieux connaître la variabilité de la résurgence ivoiro-ghanéenne, une série d'indices par quinzaine a été calculée pour les douze stations dont les données quotidiennes de température sont disponibles. Ce découpage améliore en outre la connaissance des périodes de refroidissement de l'eau. Le seuil de 26°C a été préféré à une température plus basse afin de mieux prendre en compte la chute des températures observée en janvier-février, nettement moins intense que celle qui s'étend de juillet à septembre.

Fig. 1

Carte du plateau continental ivoiro-ghanéen et stations de mesure des températures.



MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les températures sont mesurées quotidiennement entre 7h et 9h TU, en surface et en douze points du littoral de la Côte-d'Ivoire et du Ghana (fig. 1). Les stations sont Tabou, San Pedro, Sassandra, Fresco, Abidjan (Port-Bouet) et Assinie en Côte-d'Ivoire; Axim, cap des Trois-Pointes, Takoradi, Winneba, Tema et Keta au Ghana. Les données ont été vérifiées puis validées, une donnée manquante ou aberrante (supérieure à + 3 fois l'écart-type de la quinzaine considérée) étant remplacée par la valeur moyenne de la quinzaine de même rang et même station.

A partir de ces données quotidiennes disponibles de 1970 à 1987 pour le Ghana et de 1978 à 1987 pour la Côte-d'Ivoire (1982-1987 pour San Pedro, à partir de mi-1978 à Abidjan et Assinie), un indice de l'intensité de la résurgence a été calculé pour chaque quinzaine (deux quinzaines par mois) et chaque station, selon la formule:

$$Iqz = (26 - Mqz) * Nqz \text{ (}^\circ\text{C.j)}$$

avec:

Nqz = nombre de jours de la quinzaine pour lesquels la température est inférieure à 26 °C.

Mqz = moyenne des températures quotidiennes inférieures à 26 °C pour la quinzaine.

On peut ensuite calculer pour chaque station:

- une valeur annuelle Ian, moyenne des Iqz de l'année (tab.1);

- une moyenne par quinzaine, de janvier à décembre, pour toute l'étendue des données disponibles;

- un indice de Petite Saison Froide, Ipsf, moyenne des quatre quinzaines de janvier et février;

- un indice de Grande Saison Froide, Igsf, moyenne des six quinzaines de juillet à septembre.

Ces indices prennent donc en compte la durée des refroidissements (nombre de quinzaines) et leur intensité (écart à 26 °C).

Les données ghanéennes ont été fournies par le Fisheries Department Research and Utilization Branch, Tema; les données ivoiriennes par le Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan.

RÉSULTATS

Description du cycle annuel moyen des températures

A partir de la moyenne des indices des quinzaines de même rang, on peut définir le déroulement d'une année type pour chaque station. Les schémas annuels obtenus sont comparables (fig. 2) et on peut parler d'unicité régionale.

Deux grandes saisons s'opposent nettement:

- un ensemble «froid», qui s'étend de juin à octobre, avec une intensité maximale entre juillet et septembre: l'indice augmente rapidement à partir de la seconde quinzaine de juin, et diminue tout aussi rapidement dès la seconde quinzaine de septembre. Cette séquence peut être assimilée à la Grande Saison Froide (GSF). Elle est assez peu marquée devant Axim, mais très nette à Takoradi, Tabou et San Pedro;

- un ensemble «chaud» qui s'étend d'octobre à juin, surtout marqué en novembre et en avril. Cette période comprend un épisode froid, la Petite Saison Froide (PSF) qui s'observe en janvier et février. Ce refroidissement est surtout important dans l'ouest ivoirien, entre Tabou et Sassandra. Il est plutôt secondaire à Fresco, Abidjan et Takoradi, et faible pour les autres stations. Ce schéma recoupe, sur l'ensemble du littoral ivoirien, le découpage saisonnier proposé par Morlière (1970). Au Ghana, seul Takoradi présente une PSF marquée. On peut enfin remarquer lors de la première quinzaine d'août, une diminution du refroidissement aux stations comprises entre Tabou et le Cap des Trois-Pointes.

Découpage spatial

Les indices annuels moyens Ian calculés pour chaque station (fig.3a et tab. 1) permettent un découpage du littoral en secteurs où la remontée côtière est plus ou moins active:

- les plus fortes intensités annuelles de la remontée sont notées à Tabou et San Pedro en Côte-d'Ivoire et Takoradi au Ghana;

- la valeur la plus faible correspond à la station d'Axim;
- entre le cap des Palmes et le cap des Trois-Pointes, on remarque une diminution progressive de l'activité de la résurgence. Celle-ci présente une intensité minimale face à la côte ouest du cap des Trois-Pointes.

Les indices de GSF Igsf sont élevés sur l'ensemble du littoral, à l'exception d'Axim (fig. 3b et tab. 2). Les stations où la résurgence est la plus intense sont Tabou, San Pedro et Sassandra en Côte-d'Ivoire, et Takoradi au Ghana. Ces stations sont situées sur des portions du littoral orientées respectivement à 246° et 243° (soit une direction générale ENE- WSW). Au niveau d'Axim, la côte est orientée au 138° (NW - SE).

La PSF (janvier-février) est surtout marquée à Tabou et San Pedro. Les autres stations montrent des indices Ipsf plus faibles, en particulier au Ghana. Les points d'Axim (indice proche de 0°C.j) et de Takoradi se distinguent à nouveau (fig. 3c et tab.3).

Le littoral face à Takoradi présente une résurgence de GSF très active et c'est face à Tabou et San Pedro que la remontée est la plus intense pendant la PSF. Les schémas annuels correspondant à ces stations, caractérisées par des indices annuels moyens comparables, sont donc en définitive assez différents. Au sein d'un ensemble régional ivoiro-ghanéen, une partition géographique peut ainsi être proposée:

- le littoral ivoirien et la côte est du cap des Trois-Pointes sont le siège de deux épisodes «froids», avec une remontée intense de juillet à septembre et une autre moins active en janvier et février;

- le reste du littoral ghanéen, de Winneba à Keta est également concerné par deux épisodes froids, mais la résurgence de PSF est beaucoup moins marquée qu'à l'ouest;

- la côte d'Axim ne présente une résurgence qu'au cours de l'été boréal, avec en outre, une activité nettement plus faible que celle observée aux autres stations.

Fig. 2

Indices moyens par quinzaine; schémas annuels types de Tabou à Keta.

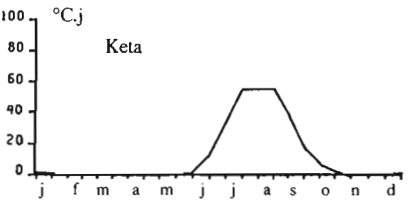
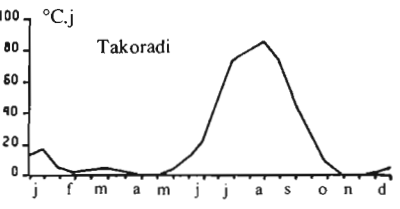
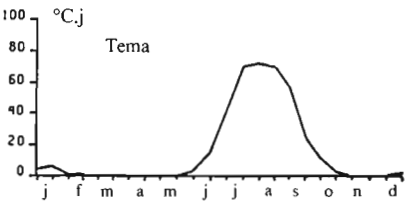
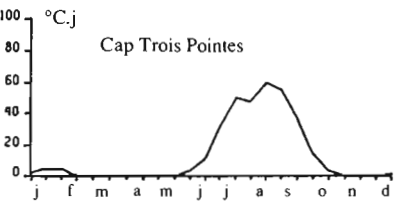
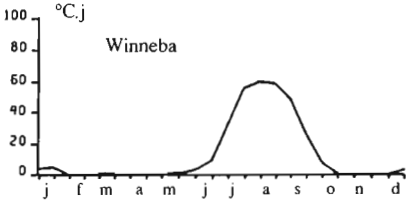
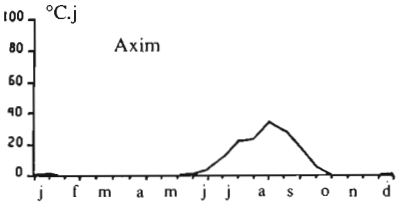
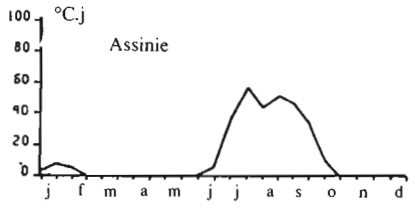
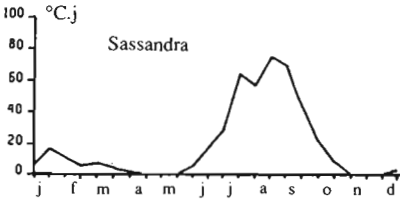
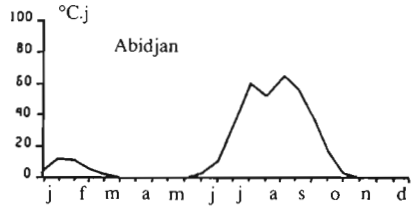
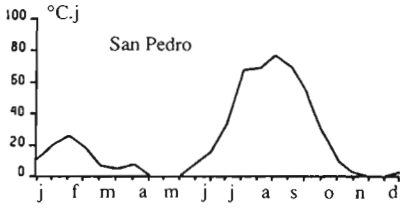
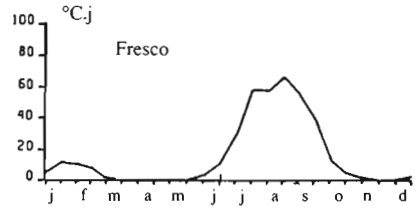
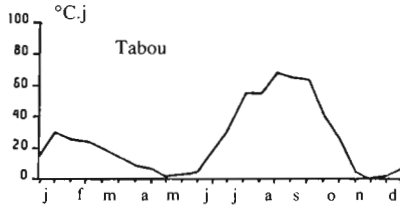


Fig. 3a

Moyenne des indices annuels de Tabou à Keta.
Liste des points de mesure: Tabou (A), San Pedro (B), Sassandra (C), Fresco (D), Abidjan (E), Assinie (F), Axim (G), cap des Trois-Pointes (H), Takoradi (I), Winneba (J), Tema (K) et Keta (L).

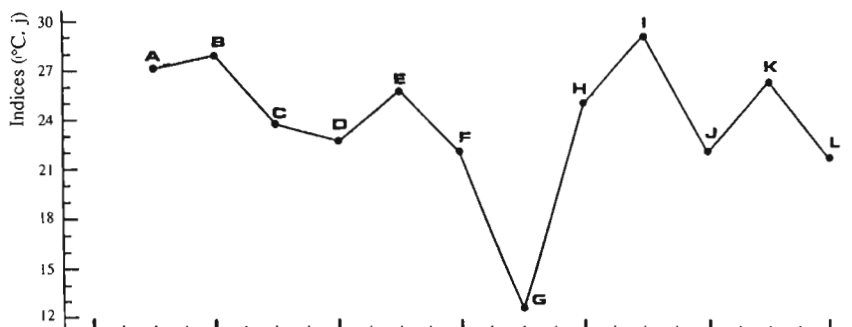


Fig. 3b

Moyenne des indices de Grande Saison Froide de Tabou à Keta (1978-1987).

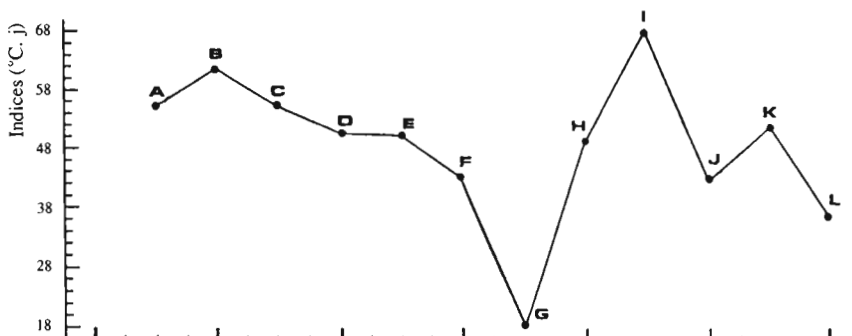


Fig. 3c

Moyenne des indices de Petite Saison Froide de Tabou à Keta (1978-1987).

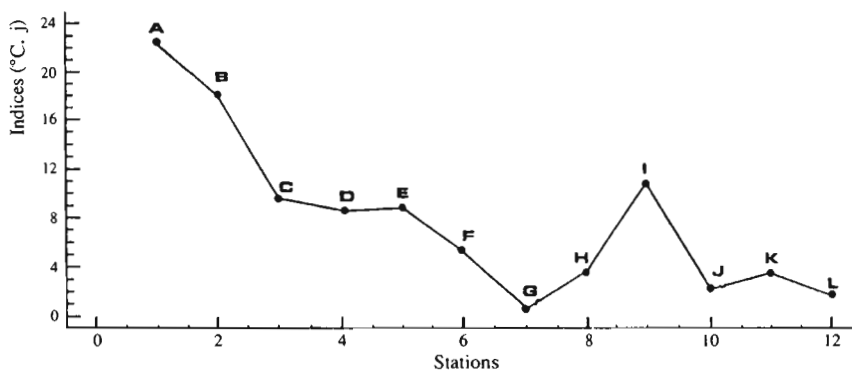


Tableau 1

Indices annuels moyens de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	M.GH	ETGH	M.CI	ETCI
70							16.6	22.0	32.8	24.0	25.5	26.7	24.6	5.4		
71							23.2	35.7	30.7	32.2	33.2	24.3	29.9	5.0		
72							21.8	19.8	28.0	30.2	32.0	24.1	26.0	4.8		
73							14.8	28.8	19.6	24.0	22.1	16.1	20.9	5.2		
74							14.3	15.5	26.8	21.7	26.4	26.9	21.9	5.8		
75							23.5	34.5	32.5	29.0	41.9	28.8	31.7	6.3		
76							27.4	37.4	45.0	24.9	35.5	30.1	33.4	7.4		
77							12.9	22.9	32.5	23.2	23.8	21.2	22.8	6.3		
78	33.5		32.2	23.9			12.5	37.1	35.5	23.9	32.8	31.6	28.9	9.2	29.9	5.2
79	29.7		26.9	21.9	18.6	16.2	10.8	16.0	22.5	22.1	12.3	12.0	16.0	5.2	22.7	5.6
80	34.4		30.5	31.7	21.6	15.0	11.4	20.0	27.7	19.8	21.0	16.1	19.3	5.4	26.6	8.1
81	31.6		23.2	22.9	26.2	24.1	10.0	26.9	24.6	19.5	20.1	18.0	19.9	5.9	25.6	3.6
82	26.4	31.2	27.4	20.9	27.9	25.1	12.5	30.2	28.8	30.4	40.1	29.2	28.5	8.9	26.5	3.4
83	16.9	22.5	23.4	23.8	22.8	20.1	10.9	20.7	26.7	21.1	21.1	25.0	20.9	5.5	21.6	2.6
84	22.4	29.0	22.7	23.0	36.0	33.6	11.0	37.5	35.8	23.2	33.6	27.7	28.1	9.9	27.8	6.0
85	29.0	29.5	22.8	24.9	28.3	26.7	13.7	25.3	35.3	19.3	32.5	23.1	24.9	8.1	26.9	2.6
86	22.9	29.1	12.8	18.0	30.9	28.4	21.7	26.3	34.1	32.0	36.3	27.0	29.6	5.5	23.7	7.1
87	24.8	26.7	16.2	17.4	19.8	10.0	10.1	11.3	20.8	9.4	14.2	8.2	12.3	4.6	19.2	6.1
MOY.	27.2	28.0	23.8	22.8	25.8	22.1	12.5	25.1	29.2	22.1	26.4	21.8				
ECT.	5.5	3.1	6.0	4.0	5.6	7.4	3.5	8.5	5.7	6.3	9.8	7.8				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 24 quinzaines, par année et par station.

MOY. : moyenne sur la période 78-87.

ECT. : écart-type sur la période 78-87.

M.CI et ETCI: moyenne et écart-type des stations ivoiriennes.

M.GH et ETGH : moyenne et écart-type des stations ghanéennes

Tableau 2

Indices moyens de Grande Saison Froide de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	M.GH	ETGH	M.CI	ETCI
70							21.6	28.7	69.5	55.2	49.2	38.8	43.8	17.7		
71							35.7	60.0	71.3	65.6	64.7	53.4	58.4	12.7		
72							28.9	35.7	75.2	57.1	62.9	52.4	52.0	17.2		
73							23.5	49.0	53.0	34.4	44.6	34.1	39.8	11.0		
74							22.8	24.5	57.8	33.7	56.1	46.5	40.2	15.5		
75							32.1	63.2	72.6	57.6	73.5	59.8	59.8	15.1		
76							40.1	74.4	95.8	61.9	78.8	66.3	69.5	18.6		
77							20.8	56.9	77.9	47.8	62.0	47.9	52.2	19.0		
78	65.5		84.4	63.2			19.7	61.5	83.6	49.8	65.9	48.3	54.8	21.4	71.0	11.6
79	59.5		59.4	46.9	37.1	27.5	14.1	30.9	42.9	45.9	21.9	21.0	29.5	12.8	46.1	14.0
80	74.8		65.9	63.4	46.9	38.4	18.9	41.7	62.6	34.1	40.7	29.4	37.9	14.7	57.9	14.8
81	68.5		55.4	50.9	49.7	40.4	15.8	50.4	64.3	34.2	41.9	30.7	39.6	16.8	53.0	10.2
82	59.3	77.8	66.5	56.3	64.1	54.1	23.2	67.6	82.3	57.5	70.5	46.6	58.0	20.9	63.0	8.6
83	39.6	55.0	55.2	43.2	48.4	41.8	17.4	46.8	73.8	52.0	59.2	47.3	49.4	18.6	47.2	6.8
84	45.9	67.3	53.2	51.0	56.4	52.9	16.9	57.7	74.1	38.1	58.7	40.0	47.6	20.1	54.4	7.2
85	64.1	72.5	59.2	55.0	61.7	63.1	21.6	59.4	77.6	41.8	63.9	36.7	50.2	20.5	62.6	5.8
86	35.1	54.4	27.5	48.4	64.4	54.7	25.5	56.7	86.1	57.6	78.1	57.9	60.3	21.1	47.9	14.1
87	39.5	43.2	26.6	28.2	23.4	13.9	11.0	19.7	32.7	13.0	15.2	7.2	16.5	9.0	29.1	10.7
MOY.	55.2	61.7	55.3	50.6	50.2	43.0	18.4	49.2	68.0	42.4	51.6	36.5				
ECT.	14.0	13.0	17.4	10.3	13.6	15.3	4.3	14.9	17.8	13.5	20.9	14.9				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 6 quinzaines de la Grande Saison Froide, par année et par station.

Tableau 3

Indices moyens de Petite Saison Froide de Tabou à Keta.

Année	Tabou	S.Pedro	Sassand.	Fresco	Abidjan	Assinie	Axim	Cap 3 P	Takoradi	Winneba	Tema	Keta	MGH	ETGH	M.CI	ETCI
70							0.0	0.0	3.5	9.6	0.8	0.2	2.4	3.8		
71							0.2	0.3	1.4	3.2	2.1	0.5	1.3	1.2		
72							0.0	0.4	11.2	5.0	7.9	2.0	4.4	4.5		
73							0.5	0.4	7.3	0.0	3.1	2.3	2.3	2.7		
74							2.3	0.5	5.6	1.3	2.6	1.2	2.3	1.8		
75							2.2	0.3	1.0	0.1	0.2	0.6	0.7	0.8		
76							0.4	7.7	18.6	5.4	6.3	3.5	7.0	6.2		
77							0.0	1.9	14.1	2.4	3.4	1.1	4.6	4.8		
78	19.6		8.3	2.6			0.0	0.5	6.4	0.0	0.6	0.0	1.3	2.5	10.2	8.7
79	31.2		17.4	17.4	8.2	4.5	0.0	3.6	23.7	1.4	7.5	1.6	6.3	8.9	15.7	10.3
80	24.6		14.2	12.1	8.6	4.0	0.5	2.2	10.4	0.9	2.2	0.8	2.8	3.8	12.7	7.7
81	26.5		14.3	8.7	8.1	5.2	0.7	2.9	9.5	2.1	3.5	1.6	3.4	3.2	12.6	8.5
82	25.2	13.0	10.3	6.9	3.0	1.5	0.7	3.2	5.7	3.0	0.6	0.5	2.3	2.1	10.0	8.6
83	10.8	6.4	1.7	9.3	3.8	2.2	3.6	1.9	2.8	5.1	5.3	7.4	4.4	2.0	5.7	3.8
84	8.4	4.9	4.0	1.1	1.8	0.5	0.1	0.4	5.5	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2	3.5	3.0
85	19.1	17.6	10.1	7.5	11.4	10.8	0.0	3.9	9.2	4.8	6.5	2.5	4.5	3.2	12.8	4.6
86	31.3	35.1	13.6	3.1	19.6	14.2	0.0	11.6	18.3	4.7	6.8	2.4	7.3	6.7	19.5	12.0
87	26.4	31.4	2.3	17.3	15.0	4.4	0.0	5.5	16.1	0.7	2.4	0.0	4.1	6.2	16.0	11.2
MOY.	22.3	18.1	9.6	8.6	8.8	5.3	0.6	3.6	10.8	2.2	3.5	1.7				
ECT.	7.8	12.7	5.5	5.7	5.8	4.5	1.1	3.2	6.6	2.0	2.8	2.2				

Chaque valeur représente la moyenne des indices des 4 quinzaines de la Petite Saison Froide, par année et par station.

Variabilité interannuelle

L'étude des variations interannuelles permet également de distinguer trois zones géographiques:

- le littoral ouest ivoirien, de Tabou à Fresco;
- le littoral est ivoirien, d'Abidjan à Assinie;
- le littoral du Ghana.

Les anomalies (résidus par rapport à la moyenne) des indices annuels pour l'ensemble des stations de chacune des trois zones montrent la succession d'années aux caractéristiques très différentes (fig. 4a):

- pour la période 1970-1977 (données du Ghana uniquement), on distingue des années à résurgence assez peu active (1973 et 1974) et des années à résurgence intense (1975 et 1976);

- l'indice annuel était particulièrement élevé en 1985-1986 à Abidjan et Assinie, comme le long du littoral ghanéen, et particulièrement faible en 1979 et 198;

- l'ouest ivoirien présente deux périodes nettement distinctes: 1978 à 1982 étaient des années à résurgence plutôt intense, 1983 à 1987 des années à résurgence plutôt peu active.

Ces caractéristiques se retrouvent lors de l'étude des indices saisonniers (fig. 4b et c): les résurgences de GSF ont été particulièrement intenses en 1971-1972, 1975-1976, 1978, 1982-1983 et 1985-1986 au Ghana (et pour la période où les données sont disponibles, dans l'est ivoirien), peu actives en 1973, 1974, 1979, 1981 et 1987. Dans l'ouest ivoirien, la situation est différente et on peut distinguer des séquences de remontée active

(1978 à 1982 et 1985) et des séquences de remontée peu intense (1983-1984 et 1986), voire exceptionnellement faible (1987).

Le long du littoral ghanéen, la PSF n'est marquée qu'à Takoradi et plus particulièrement en 1976, 1979 et 1986. En Côte-d'Ivoire, les années 1978 et 1980 à 1984 sont caractérisées par des PSF peu importantes, sauf exception locale (comme par exemple, face à Fresco en 1984). Au sein de la séquence 1978-1987, l'année 1979 s'individualise avec des anomalies fortement positives de Tabou à Fresco et à Takoradi. L'année 1987, si particulière du point de vue de la GSF, est caractérisée par une PSF plutôt importante, y compris aux stations du cap des Trois-Pointes et de Takoradi, mais très peu marquée à Sassandra.

DISCUSSION

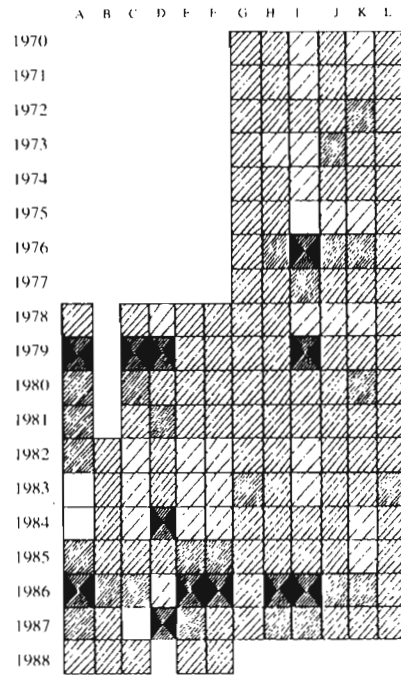
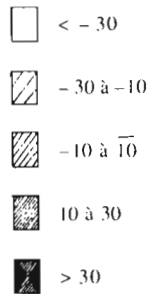
Les températures étant mesurées à la côte, la résurgence n'est détectée que lorsque les eaux froides atteignent la couche la plus superficielle de l'océan. Les indices utilisés peuvent donc sous-estimer l'intensité des événements froids.

Choix de l'indice

En raison de la nature de la résurgence ivoiro-ghanéenne, on ne pouvait utiliser l'indice lié au transport d'Ekman. Nous avons donc employé un paramètre dont le choix peut être discuté:

Fig. 4c

Variabilité spatio-temporelle de l'indice de Petite Saison Froide



- tout d'abord, cet indice n'est pas comparable à ceux utilisés pour d'autres sites de remontées côtières; tout au plus, pourra-t-on décrire l'intensité des phénomènes;

- les températures utilisées sont mesurées à la côte. Cette technique, aisée et adaptée aux contraintes du terrain, peut cependant introduire un biais dans l'estimation des températures plus au large (décalage temporel, influence des particularités locales...). Néanmoins, une étude non présentée ici a montré que les températures à la côte relevées à Abidjan-Port-Bouet sont généralement plus froides (de l'ordre de 1°C) que celles mesurées au large d'Abidjan. Les deux séries présentent une corrélation significative ($r=0,93^{***}$, $n=157$). En outre, lors du programme FOCAL, les températures mesurées à la côte et le long d'une radiale nord-sud vers le large ne montraient pas de différences notables, si ce n'est une tendance à être plus froides près du littoral (Colin, 1988). Les résultats acquis à la côte diffèrent donc peu de ceux obtenus au large et l'évolution thermique ainsi définie reflète assez bien les conditions thermiques régnant au dessus du plateau continental, en particulier pour ce qui se rapporte aux situations de transition;

- le choix du seuil de température (26°C) n'est pas arbitraire: cette valeur est en effet très proche de la moyenne annuelle pour chacune des stations étudiées. Utiliser une valeur plus basse (Binet, 1982) aurait eu pour effet d'occulter partiellement ou totalement la

«Petite Saison Froide»;

- afin de respecter le pas de temps des données de débarquement des pêcheries locales, la quinzaine a été prise comme base de calcul de l'intensité de la remontée. Ce choix peut être contesté dans un milieu où la variabilité à haute fréquence des températures en surface est élevée et un pas d'une semaine serait peut-être plus approprié. Toutefois cette unité coïncide avec l'onde de 14,7 jours mise en évidence par Picaut et Verstraete (1979) dans la progression d'est en ouest de l'upwelling;

- la délimitation temporelle de la PSF et de la GSF se fait sur des critères arbitraires. Dans la plupart des situations, ce découpage se révèle adéquat. Pour les stations qui présentent de forts indices, le découpage saisonnier est parfois imparfait car la résurgence peut être observée sur de plus longues périodes. Dans ce cas, l'indice saisonnier est sous-évalué. On pourrait alors utiliser un indice global, intégrant les différences positives ou négatives à 26°C, ce qui permettrait de mieux prendre en compte les situations de transition.

Variabilité spatio-temporelle

Les fluctuations interannuelles de l'indice d'activité de la résurgence ivoiro-ghanéenne sont importantes. On observe une succession d'années aux caractéristiques différentes (1987 étant, en l'occurrence, une année très particulière). Cette variabilité semble être liée aux variations d'intensité de la Petite Saison Froide. Cette

dernière n'est marquée qu'à Tabou et San Pedro qui présentent de forts indices annuels. De Sassandra à Abidjan et face à Takoradi, la résurgence est présente en janvier et février, mais beaucoup moins active qu'à l'ouest de Sassandra. A Assinie et le long du littoral ghanéen (à l'exception de Takoradi), on est en présence de brefs et peu intenses épisodes froids. L'ensemble géographique du cap des Trois-Pointes (d'Axim à Takoradi, au sens large) montre donc, sur une courte distance, une très forte diversité hydrologique.

Pour la seule GSF, on peut distinguer certaines années où la résurgence était particulièrement active (1971-1972 et 1975-1976 au Ghana, 1978 et 1982 sur l'ensemble de la région) ou particulièrement faible (1973-1974 au Ghana, 1979 et 1987 sur tout le littoral). Mais la variabilité spatio-temporelle est très importante et il est difficile d'établir des regroupements de séquences ou de portions de côte.

Influence de la morphologie côtière

Le déclenchement et le maintien durant plusieurs semaines de la remontée côtière ivoiro-ghanéenne ne sont pas liés qu'aux vents. Les mécanismes sont différents de ceux qui engendrent les upwellings au sens d'Ekman (Picaut, 1983; Colin, 1988; Colin *et al.*, à paraître) et des particularités locales peuvent renforcer la résurgence. La présence des caps des Palmes et des Trois-Pointes favorise la remontée, d'autant plus que la côte prend à ces endroits une orientation ouest-sud-ouest. Or, Colin *et al.* (à paraître) signalent qu'en début de GSF et pour la durée de cette période, les vents à la côte passent du secteur sud-ouest à l'ouest-sud-ouest, ce qui renforce l'action du vent sur ces portions de littoral. L'accélération du courant de Guinée, nette à partir du mois de mai (Colin, 1988), le voisinage des caps et la direction du vent qui devient parallèle à la côte concourent donc à augmenter localement l'intensité de la remontée côtière. A l'inverse, la côte d'Axim, orientée au nord-ouest/sud-est, est située en amont du point de vue du transit du courant de Guinée. Il y aurait une accumulation d'eau à la côte qui limite considérablement l'activité de la résurgence (Marchal et Picaut, 1977). D'autres facteurs (hauteur de la thermocline, largeur du plateau continental, présence d'un canyon sous-marin, courants et sous-courants saisonniers sur le plateau continental, débouché temporaire d'un fleuve important...) peuvent également influencer sur l'intensité locale de la remontée.

CONCLUSION

Si la résurgence côtière ivoiro-ghanéenne n'est pas comparable en intensité à celles du Maroc-Mauritanie et de l'Angola, ce phénomène est néanmoins d'une grande importance pour le milieu néritique de la partie centrale du golfe de Guinée. La résurgence participe en effet à l'enrichissement de la masse d'eau dans un secteur tropical oligotrophe.

L'activité de la résurgence paraît s'accroître là où des facteurs favorisent le mouvement ascendant de la masse d'eau. La présence ou l'absence de ces facteurs permet

de différencier un littoral où la remontée est intense et un littoral où l'activité est plus limitée, voire très faible. Les remontées d'eaux profondes qui affectent la côte ivoiro-ghanéenne présentent une forte variabilité à différentes échelles de temps et d'espace. Ces processus environnementaux complexes, irréguliers et difficiles à appréhender ont une grande influence sur un écosystème pélagique instable et par nature changeant.

DISCUSSION

FONTENEAU: Quelle est la position actuelle des spécialistes sur la nature de l'upwelling ivoiro-ghanéen: onde internes, vents, divergences, etc... ?

PEZENNEC: Cet upwelling serait le résultat d'interactions complexes entre les ondes internes, le vent et la divergence due au courant de Guinée.

ROY: Aucune des différentes théories émises à ce jour n'a en réalité permis de rendre compte du phénomène dans son ensemble. Cet upwelling est, je crois, le résultat des différents processus rappelés par Pezennec. De plus, les contributions respectives de chacun d'entre eux peuvent varier d'une année à l'autre.

HERBLAND: Dans son article sur l'upwelling de Côte-d'Ivoire, Colin (1988) montre que les vents locaux sont assez forts pour générer l'upwelling. Les études antérieures utilisaient les vents mesurés à la côte qui ne seraient pas représentatifs des vents sur le plateau continental.

ROY: Son étude ne porte cependant que sur deux cycles annuels. Les données de vents des bateaux marchands n'ont pas, non plus, permis de trouver de corrélations significatives entre le vent et l'upwelling.

MARCHAL: L'influence du vent ne peut cependant être niée.

OUDOT: Au cours de la grande saison froide, la situation au cap des Trois-Pointes et au cap des Palmes est sensiblement identique, mais pourquoi la Petite Saison Froide au Ghana est-elle moins intense ?

PEZENNEC: Peut-être en raison de la largeur du plateau continental au niveau de Takoradi.

BINET: Avez-vous des données permettant de voir si la Petite Saison Froide était aussi intense au Ghana qu'à Abidjan au début des années 1970 ?

PEZENNEC: Nous n'avons pas les données pour faire cette comparaison mais elles existent certainement.

DIAW: Quelles sont les implications des différences observées dans la dynamique des upwellings pour les stocks ivoiro-ghanéens ?

PEZENNEC: Les zones les plus favorables sont à l'est du cap des Palmes et du cap des Trois Pointes. L'est du cap des Trois Pointes a toujours été une zone d'abondance des sardinelles alors que l'est du cap des Palmes semble le devenir depuis le début des années quatre-vingt.

MARCHAL: Il y a eu des modifications importantes dans la pêche, notamment en ce qui concerne l'abondance de *S. aurita* depuis le début des années 1980. Le problème est de savoir si ces modifications relèvent de changements au niveau de la population ou uniquement de causes physiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Arfi, R. 1987. Variabilité interannuelle de l'hydrologie d'une région d'upwelling (bouée Bayadère, Cap-blanc, Mauritanie). *Oceanologica Acta*, 10(2): 151-159.
- Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103p.
- Bakun, A. 1978. Guinea Current upwelling. *Nature*, 271: 147-150.
- Binet, D. 1982. Influence des variations climatiques sur la pêche des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes: relation sécheresse-surpêche. *Oceanologica Acta*, 5(4): 443-452.
- Binet, D. 1983a. Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwelling saisonniers dans le Golfe de Guinée. *Océanogr. trop.*, 18 (2): 331-335.
- Binet, D. 1983b. Zooplancton des régions côtières à upwellings saisonniers du Golfe de Guinée. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Océanogr.*, 18(2): 357-380.
- Colin, C. 1988. Coastal upwelling events in front of the Ivory Coast during the FOCAL program. *Oceanologica Acta*, 10(2): 125-138.
- Colin C., Y. Gallardo, R. Chuchla et S. Cissoko. A paraître. Synthèse du plateau continental de Côte d'Ivoire (environnements climatique et océanographique). In: *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire*. 1. Le milieu marin. Leloeuff, Marchal, Amon Kotias (éds.), ORSTOM.
- Cury, P. et C. Roy. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire: une approche globale. *Oceanologica Acta*, 10 (3): 347-358.
- Herbland, A., R. Le Borgne, A. Le Bouteiller, et B. Voituriez. 1983. Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. *Océanogr. Trop.*, 18(2): 249-293
- Marchal, E.G. et J. Picaut. 1977. Répartition et abondance évaluées par échantillonnage des poissons du plateau ivoiro-ghanéen en relation avec les upwellings locaux. *J. Rech. Océanogr.*, 2(4): 39-57.
- Morlière, A. 1970. Les saisons marines devant Abidjan. *Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan*, 1: 1-15.
- Morlière, A. et J.P. Rébert. 1972. Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan*, 3: 1-30.
- ORSTOM/FRU, 1976. Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S.aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. FRU (Tema) et CRO (Abidjan). Document ORSTOM, 62 p.

- Picaut, J. 1983. Propagation of the seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 13: 18-37.
- Picaut, J. et J.M. Verstraete. 1979. Propagation of a 14.7 day wave along the Northern coast of the Guinea Gulf. *J. Phys. Oceanogr.*, 9: 136-149.
- Portolano, P. 1987. Analyse des séries vents-température de la mer en surface le long des côtes sénégalaises. *Océanogr. Trop.*, 21(2): 205-227.
- Roy, C. 1989. Fluctuations des vents et variabilité de l'upwelling devant les côtes du Sénégal. *Oceanologica Acta.*, 12 (4): 361-369.
- Varlet, F. 1958. Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. *Etudes Eburnéennes*, 7: 97-222.
- Verstraete, J.M. 1970. Etude quantitative de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien. *Doc. Scient. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan*, 1(3): 1- 17.