

LES EAUX FROIDES CÔTIÈRES DU GABON À L'ANGOLA SONT-ELLES DUES À UN UPWELLING D'EKMAN ?

GEORGES R. BERRIT

Océanographe de l'O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, Paris 8^e.

RÉSUMÉ

Étude des relations vent température de surface au sud de l'équateur le long des côtes occidentales d'Afrique à l'échelle des carrés Marsden.

Au nord de 15° S, les températures les plus basses accompagnent, non les vents dominants favorables à un upwelling d'Ekman, mais les maximums de fréquence de vents faibles ou nuls et les minimums de vents favorables.

Les upwellings dans cette région ne seraient pas dus aux vents locaux.

Quelques directions d'hypothèses interprétatives sont suggérées.

ABSTRACT

Some doubt exist about the explanation by the Ekman theory of the seasonal intertropical upwellings off the tropical african coasts : winds are weak and fluctuate very slowly from one season to the other.

Ingham (1970 a) demonstrate that cold waters off Mauritania and Senegal are linked with trade winds, but the problem is different off Ivory Coast (Ingham, 1970 b).

We tried to investigate the correlation between wind and temperature in the southern part of the east tropical Atlantic, between Cape Lopez and Cape Fria.

On the basis of historical data of winds (Steigner and Ingham, 1971) and temperatures (Maziaka, 1968) we drew curves of seasonal variations in the Marsden squares along the coast (nos 3341, 3343, 3701, 3703). For the winds, we have taken in account those parallel with the coast, S, SE, or SW. Figures 3 to 6 represent seasonal variations of strong winds (> 10 kn) and of total winds favourable to upwelling. An other curve gives the % of calms.

For the Marsden square 3703 (South of Mossamedes), we found a good agreement between strong winds and low temperatures, like off Mauritania. For the others squares, upwelling coincides with a maximum of calms, a minimum of strong and total winds with the favourable direction.

We conclude that, at the scale of a few hundreds of miles, no « Ekman upwelling » occurs in this area.

Consequently, the motor of inter annual variability is not to be found in local winds but is to be searched into phenomenons of larger scales and in other regions.

We suggest that the upwelling may be « dynamic », caused by undercurrents arriving at the surface. Is cold water the prime cause of change in direction of winds (explaining the mini-scale upwellings depending on the direction of the coast)? The variability of temperatures at seasonal scale, is probably linked with the variability of undercurrents, which depends on influences at the scale of the whole ocean.

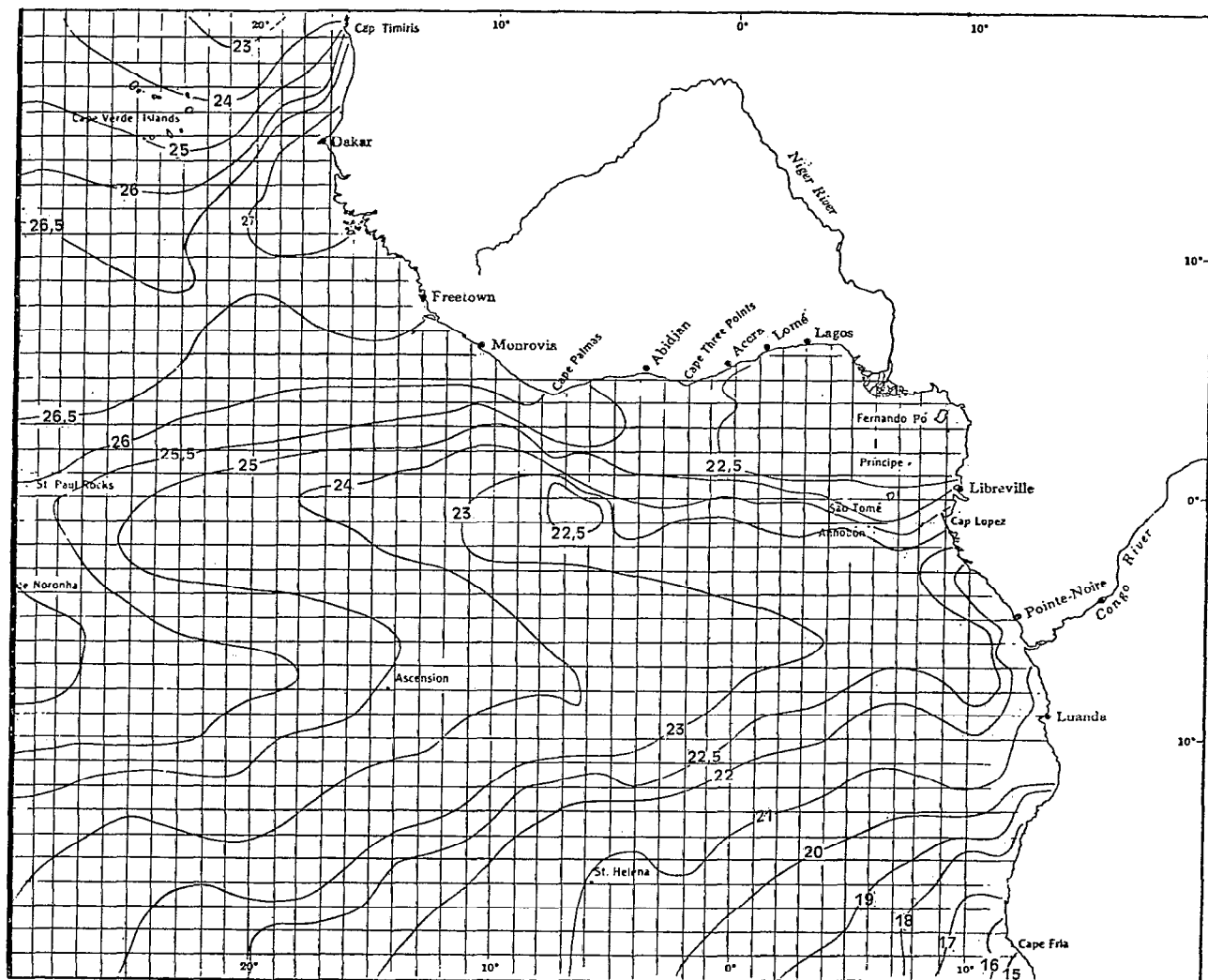


Fig. 1. — Région orientale de l'Atlantique intertropicale. Exemple de distribution des températures de surface en juillet. (D'après MAZEIKA, 1968). East part of the intertropical Atlantic. Example of distribution of surface temperatures in July. (According to MAZEIKA, 1968).

INTRODUCTION

C'est une opinion généralement admise que les eaux froides qui apparaissent saisonnièrement dans certains secteurs de la côte occidentale de l'Afrique intertropicale sont dues à des upwellings et que ceux-ci se rattachent au régime des vents.

Le premier point paraît difficilement contestable : les caractéristiques des eaux froides (notamment T S), l'allure des isolignes sur les radiales perpendiculaires à la côte en périodes froides, et bien d'autres phénomènes, (sous-courants, flux de sels nutritifs etc.) attestent du phénomène.

L'accord est moins bon sur la cause de ces

upwellings. Si bien des chercheurs s'en remettent à l'interprétation la plus courante de l'action d'un vent parallèle à la côte, d'autres sont depuis longtemps troublés par deux constatations : le vent au large des côtes à l'est du 10° W et au nord de 15° S, est souvent très faible en toutes saisons; il varie assez peu en direction au cours de l'année.

On trouve bien, en général, une certaine corrélation entre le vent et les températures de surface, mais il ne paraît pas démontré que le phénomène météorologique soit la cause du refroidissement. On peut très bien faire l'hypothèse inverse : le refroidissement engendrerait une zone de relativement hautes pressions qui « corrigerait » le vent,

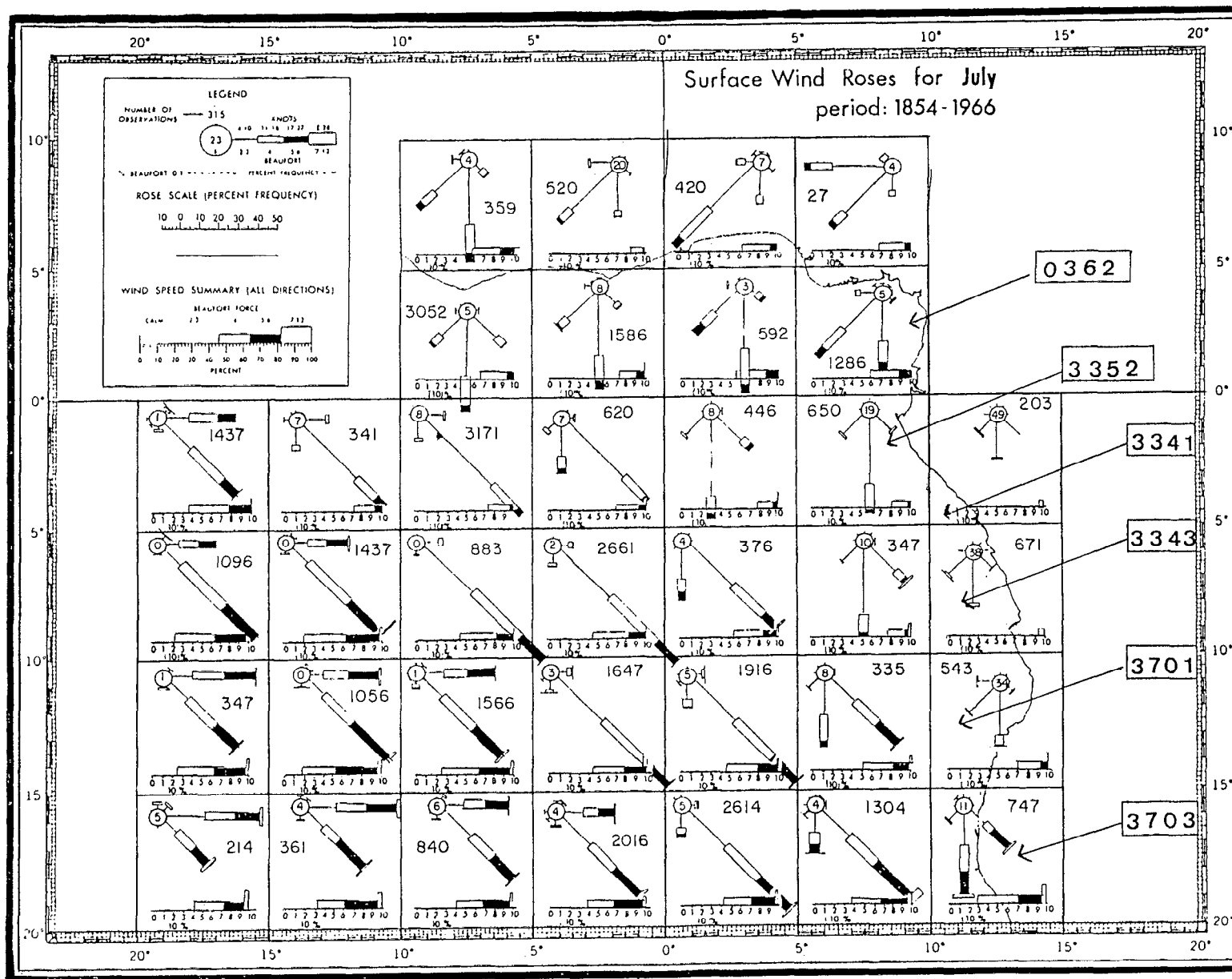


Fig. 2. — Distribution des vents en juillet, d'après STEIGNER et INGHAM, 1971. Les numéros des carrés Marsden sont rappelés en encadrés à droite de la figure. Winds in July, according to STEIGNER and INGHAM (1971). Marsden squares numbers appear in frames on right side of the figure.

et produirait, à l'échelle locale, un upwelling d'Ekman. Une analyse fine des séries de vent et de températures pourrait étayer cette hypothèse, si elle révélait que les séquences de vents favorables à l'upwelling précèdent l'apparition des eaux froides. L'examen de quelques séries d'Abidjan (BERRIT, 1967, non publié) a montré que ce cas pouvait se présenter.

Quoiqu'il en soit de cette hypothèse, il est permis de se demander si la présence des eaux froides, qui affectent de larges étendues au voisinage des côtes, est due — ou non — à l'action du vent. INGHAM (1970 b) a posé la question pour ce qui est de la région au large de la Côte d'Ivoire. Un examen des variations saisonnières des vents et des températures au large des côtes du Gabon, Congo et Angola nous fournit un autre exemple.

LES EAUX FROIDES DEVANT LES CÔTES ORIENTALES DE L'ATLANTIQUE ENTRE LE TROPIQUE DU CAPRICORNE ET L'ÉQUATEUR.

Le schéma des variations saisonnières des conditions hydrologiques superficielles marines le long des côtes occidentales de l'Afrique intertropicale fait apparaître une homologie entre les régions situées, d'une part, entre 8° N et 20° N environ (zone d'alternance n rd) et 1° S et 18° S (zone d'alternance sud) d'autre part; dans chacune de ces régions la variation saisonnière est particulièrement marquée, notamment en température. (BERRIT, 1961 et 1962). Il est bien connu, pour la région nord, que la période de basses températures des eaux des côtes du Sénégal et de la Mauritanie coïncide plus ou moins avec celle des alizés; on a toujours considéré que ces eaux froides résultaient d'un upwelling d'Ekman. INGHAM (1970 a) a examiné, sur les données moyennes de vent et de température, à l'échelle des quadrants Marsden (5° de côté) la corrélation avec les vents forts (plus de 10 nœuds). Il y a un bon accord entre la variation saisonnière des vents favorables à l'upwelling d'Ekman et la présence des eaux froides.

En 1971, Steigner et Ingham ont publié un document donnant la répartition des vents de surface dans l'Atlantique sud tropical oriental. Les auteurs suggèrent que l'interprétation des eaux froides de cette région peut être recherchée dans la variation saisonnière des vents, c'est à dire que l'upwelling serait un upwelling d'Ekman.

Nous nous sommes livré à un essai de vérification de cette suggestion; les résultats ne sont pas ceux qui étaient attendus.

Les données utilisées sont, comme le proposent

Steigner et Ingham, les champs mensuels de vents et les moyennes historiques de températures (MAZEIKA, 1968).

Nous prenons en considération les quadrants Marsden 3341 (0°-5° S), 3343 (5° S-10° S) et 3701 (10°-15° S), (fig. 2) qui couvrent la zone d'alternance sud, et 3703 (Sud Ouest Africain — 15° S-20° S).

Nous avons considéré les vents favorables à l'upwelling : pour les quadrants 3341, 3703 et 3343 les vents de sud et sud-est; pour le quadrant 3701 ceux de sud et de sud-ouest.

Les vents sont faibles toute l'année dans toute la région d'alternance : les valeurs supérieures à 10 nd ne se rencontrent avec des fréquences supérieures à 11 % que dans le quadrant 3352 qui couvre une grande partie de haute mer. Au sud de la région d'alternance (quadrant 3703) ce pourcentage va, selon le mois de l'année de 32 à 60. Au nord, dans la baie de Biafra, les vents forts ont leur fréquence maximum en juin, juillet, août avec plus de 10 %.

Les vents dominants, au sud de l'équateur et jusqu'à 20° S au moins, sont, pour tous les mois de l'année, du sud (un peu plus à l'ouest en octobre et novembre dans le quadrant 3701).

En résumé, des vents faibles, une direction dominante presque constante le long de l'année : ces conditions ne paraissent pas, au premier abord, expliquer l'apparition saisonnière d'upwellings dus aux vents.

Nous allons cependant examiner la variation, au cours de l'année, des pourcentages de vents favorables (sans considération de force), des vents forts et des calmes. La figure 3 (a, b, c) représente ces caractéristiques du champ des vents pour les différents quadrants considérés.

Il faut comparer l'allure de ces courbes avec les données des températures de surface, étant admis que les eaux les plus froides sont les indicateurs des upwellings et devraient, dans le cas d'un upwelling d'Ekman, correspondre à des maximums de vents favorables.

Considérons d'abord le quadrant 3701 (10-15° S) qui contient notamment les stations côtières de Lobito et Lucira pour lesquelles l'hydroclimat a été étudié sur une période de 5 ans (BERRIT et DIAS). Le cycle annuel des températures tiré de ces études est en bon accord avec les moyennes de MAZEIKA (1960) et de BÖHNECKE (1938). Les mois les plus froids sont ceux du troisième trimestre (fig. 3 c). La figure 3 c représente les variations annuelles du pourcentage des vents favorables à un upwelling (Sud+Sud-Ouest), le pourcentage de ces mêmes vents dont la force est supérieure à 10 nd, et les pourcentages de calmes.

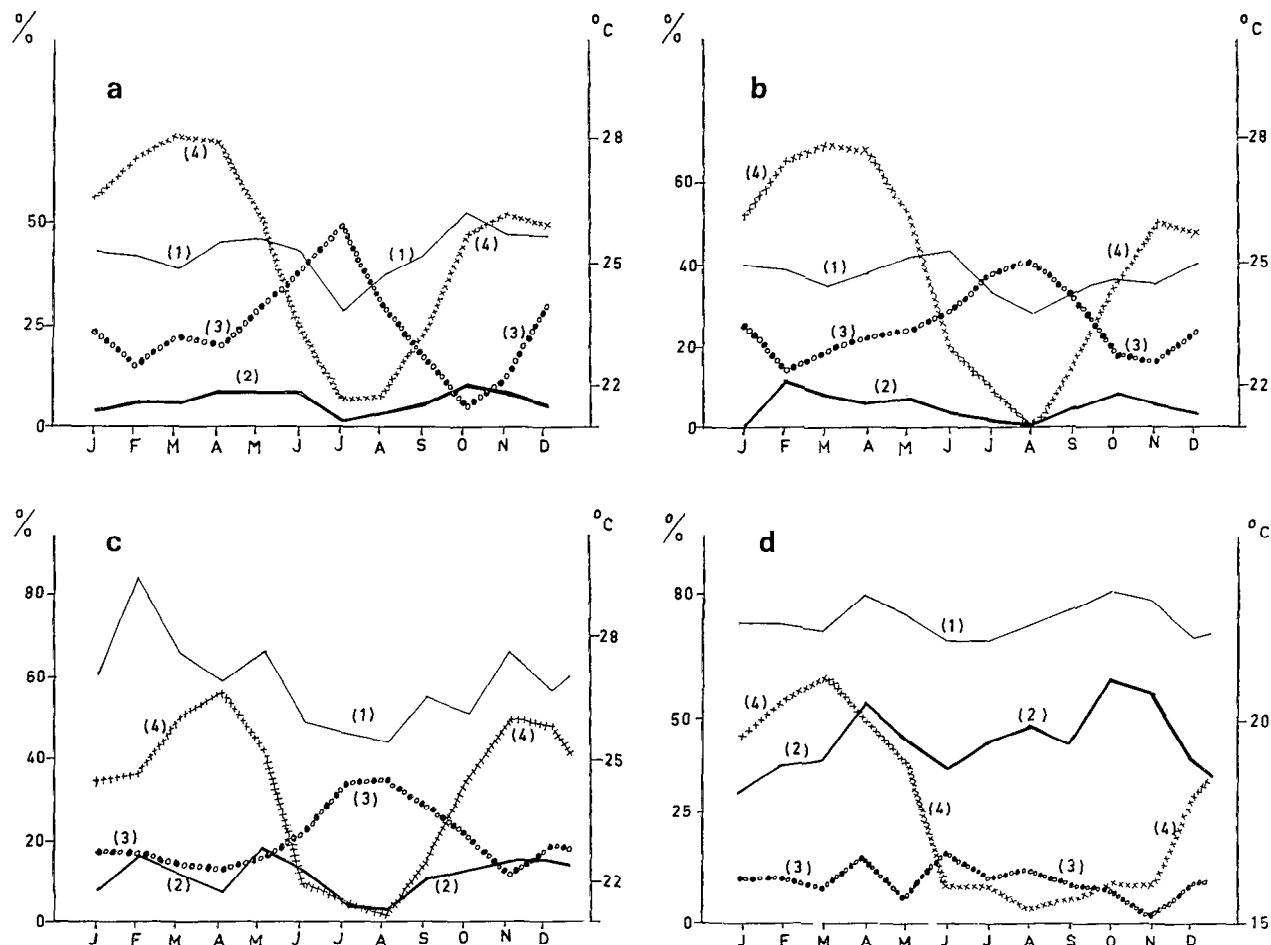


Fig. 3. — Comparaison de la température de surface et des vents dominants. a : quadrant Marsden 3341, Mayumba ; b : quadrant Marsden 3343, Loanda ; c : quadrant Marsden 3710, Lobito ; d : quadrant Marsden 3703, Sud-Ouest africain. Pour les quadrants Marsden qui couvrent les côtes du Gabon à l'Angola (fig. 3a, b, c), les diagrammes sont analogues : aux températures (4) basses de juin à octobre correspond un maximum de vents calmes (3) ; les vents forts (2) sont rares ; le total des vents favorables à l'upwelling (1) est marqué par un minimum de fréquence en saison froide. Le quadrant 3703 (Sud-Ouest Africain, fig. 3 d) est différent ; faible pourcentage de calmes ; vents forts de fréquence élevée et maximum en période d'eau froide ; environ 70% de vents favorables en direction à l'upwelling. Comparison of the surface temperature and of the winds. For the Marsden-squares of the coasts of Gabon to Angola, the graphs are similar (fig. 3a, b, c), during the cold season, maximum of the frequency of calms (3) ; minimum of strong (2) or total (1) winds favourable for upwelling. Curves (4) represent the variations of temperature. Off the coasts of South West Africa (fig. 3d) the situation is different : high frequency of total (1) or strong (2) favourable winds, with a maximum in cold season. Calms are rare.

On constate : — qu'au troisième trimestre (eaux froides, upwelling), le pourcentage de vents de direction favorable est *minimum* ;

— que, parmi ces vents, le pourcentage de vents forts est aussi *minimum* ;

— que le pourcentage de calmes passe par un *maximum* (qui atteint 35 en août).

Ces trois observations se recoupent pour indiquer qu'à l'échelle considérée (le quadrant, c'est à dire en gros un carré de 300 milles de côté), la période

du troisième trimestre est la moins favorable à l'établissement d'un upwelling d'Ekman.

Les mêmes diagrammes tracés pour les quadrants 3343 (Luanda) et 3341 (Mayumba) donnent les mêmes résultats : vents relativement plus faibles en saisons froides (maximum de calmes, minimum de vents forts) soit minimum de vents favorables (fig. 3 a, b).

Les situations éventuellement favorables à un upwelling d'Ekman, exprimées en pourcentage de

vents favorables sont, dans le quadrant 3343 (Loanda) inférieures à 50 % pour chacun des mois de l'année. En 3341 (Mayumba), elles ne dépassent 50 % qu'en octobre (52 %). Les pourcentages sont encore plus faibles (nous venons de le voir) pendant les périodes d'upwelling. Dans le quadrant 3701 (Lobito), où la direction de la côte nous a fait choisir la somme des pourcentages de vents de sud et de sud-ouest comme pourcentage de vents favorables, celui-ci peut dépasser 80 (en février). Un upwelling d'Ekman serait possible peut être de novembre à mars. D'avril à septembre le pourcentage de situations de vents favorables est inférieur ou voisin de 50; c'est précisément la période où les eaux sont les plus froides qui apparaît comme celle où l'upwelling d'Ekman est le moins probable.

A contrario nous examinons ce qui se passe au sud de Mossamedès, dans le quadrant 3703 (fig. 3 d).

Cette région (de 15° S à 20° S) connaît l'upwelling pendant toute l'année; le fait est bien connu et apparaît clairement sur les tracés d'isothermes moyens de surface (Mazeika). Le pourcentage de vents favorables y est toute l'année supérieur à 80, dont 32 à 60 dépassent la vitesse de 10 nœuds.

Nous ne trouvons plus, au sud de 15° S, les arguments qui, pour les régions plus au nord, jettent un doute sur l'interprétation par la théorie d'Ekman de l'apparition d'eaux froides côtières.

CONCLUSION

En conclusion, l'étude comparée des régimes saisonniers des vents et des températures dans la zone d'alternance sud, à une échelle de plusieurs centaines de milles et du mois, non seulement ne confirme pas l'hypothèse d'un upwelling d'Ekman comme explication des eaux froides qui s'y rencontrent une partie de l'année, mais donne des arguments en faveur de la thèse contraire : le moteur de ces

upwellings ne serait pas l'établissement saisonnier de vents favorables à ce phénomène (toujours aux mêmes échelles).

Ce résultat a une certaine importance : si le moteur était le vent, à une échelle moyenne, c'est dans les fluctuations météorologiques à cette même échelle qu'il faudrait rechercher la source des variabilités hydroclimatiques inter annuelles qui affectent les périodes d'eaux froides. Si ce n'est pas le cas — comme il semble — il convient de rechercher le moteur le plus plausible de l'upwelling, de le localiser géographiquement et d'en fixer l'échelle (le moteur est, sans aucun doute météorologique, à un certain niveau de la chaîne interprétative).

Si la théorie d'Ekman figure dans tous les manuels classiques, les théoriciens ne semblent pas avoir élaboré d'explications facilement accessibles aux praticiens pour ce qui est des autres interprétations possibles des montées d'eaux plus ou moins profondes. On parle parfois d'« upwelling géostrophique », d'« effets de cap », de l'influence de la topographie du fond... Il n'est pas niabile que des mouvements verticaux affectant des masses d'eau importantes peuvent trouver leur interprétation dans des modifications de la circulation horizontale, celle là résultant d'une variation du champ de masse ou en étant la cause. Ces modifications elles mêmes sont certes, dans tous les cas, d'origine météorologique, au sens le plus large du terme, mais le problème est de savoir où, et à quelle échelle, se produit le phénomène météorologique dont la variation engendre celle du phénomène océanique : dans l'hypothèse d'Ekman expliquant les upwellings côtiers, il s'agit d'une variation du vent dans le même secteur et à la même échelle que la montée d'eau. Dans une hypothèse géostrophique, le domaine géographique peut être tout à fait différent et l'échelle sans commune mesure avec celle de l'upwelling.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 6 juillet 1976

RÉFÉRENCES

- BERRIT (G. R.) & DIAS (A. C.). Sous presse. — Hydroclimatologie des régions côtières de l'Angola. Description des variations saisonnières à Lobito et Lucira. *Cahiers O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*
- BÖHNECKE (G.), 1938. — Temperatur, Salzgehalt und Dichte an der Oberfläche des Atlantischen Ozeans. *Deuts. Atl. Exp. Met.* 1925; *Wiss. Erg. Bd. 5; 2. Lief.* 62 p.
- INGHAM (M. C.), 1970 a. — Wind and sea surface temperature off Mauritania. *Contr. n° 154, Bureau of Comm. Fish. Trop. Atl.; Biol. Lab. Miami*, 55-58.
- INGHAM (M. C.), 1970 b. — Coastal upwelling in the north-western Gulf of Guinea. *Bull. Mar. Science* (20) : 1-34.
- MAZEIKA (P.), 1968. — Mean monthly sea surface temperatures and zonal anomalies of the tropical Atlantic. *Amer. Geogr. Soc.; Serial Atlas of Mar. Envir. Folio* 16.
- STEIGNER (J. M.) & INGHAM (M. C.), 1971. — Surface winds of southern tropical Atlantic. *NOAA Techn. Rep. NMFS SSRF 643 Contr. 204 Trop. Lab. Miami*, 20 p.