

Upwelling
 Vents
 Hydrologie
 Série chronologique
 Mauritanie
 Upwelling
 Winds
 Hydrology
 Time series
 Mauritania

Variabilité interannuelle de l'hydrologie d'une région d'upwelling (bouée Bayadère, Cap Blanc, Mauritanie)

Robert ARFI

Centre d'Océanologie de Marseille, Faculté des Sciences de Luminy, case 901, 13288
 Marseille Cedex 9, France.

Reçu le 7/7/86, révisé le 20/10/86, accepté le 27/10/86.

RÉSUMÉ

Les eaux côtières nord-mauritaniennes sont affectées en permanence par des phénomènes de remontées d'eau induits par le régime d'alizés du Nord-Est. L'étude statistique d'une série chronologique des observations des vents à Nouadhibou (péninsule du Cap Blanc) permet de préciser les caractéristiques météorologiques principales de la période 1955-1982 et la variabilité interannuelle des phénomènes hydrodynamiques induits. L'activité de l'upwelling mauritanien a ainsi montré d'importantes fluctuations (1955-1960 : intensité maximale; 1961-1969 : intensité minimale; 1970-1982 : augmentation irrégulière de l'intensité). Sur une série hydrologique (température et salinité au sud du Cap Blanc), on observe une variabilité interannuelle des conditions thermiques selon un découpage temporel semblable à celui déterminé à partir des conditions de vent. Les caractéristiques thermo-halines de la couche superficielle peuvent également différer du schéma d'alternance annuel des Eaux Centrales Nord (saison froide) et Sud (saison chaude) Atlantiques : certaines années présentent en effet des eaux de type plutôt ECSA, d'autres plutôt ECNA. La latitude du Cap Blanc peut ne pas constituer la limite septentrionale d'extension des Eaux Centrales Sud Atlantiques, et la variabilité des conditions météorologiques peut engendrer des conditions hydrologiques également fluctuantes.

Oceanol. Acta, 1987, 10, 2, 151-159.

ABSTRACT

Interannual variability of the hydrology of an upwelling area (Bayadère Buoy, Cape Blanc, Mauritania)

The coastal waters off North Mauritania are permanently affected by upwellings, induced by the Trade winds. The statistical study of time series of wind observations in Nouadhibou (Cape Blanc peninsula) permits specification of the main meteorological characteristics of the period 1955-1982, and the interannual variability of the hydrodynamic phenomena induced. The activity of upwelling has shown very important fluctuations of intensity over several years (1955-1960: maximal intensity; 1961-1969: minimal intensity; 1970-1982: irregular increase of intensity). In an hydrological time series (temperature and salinity) sampled south of Cape Blanc, the interannual variability of the thermal conditions follows the same pattern. Hydrological characteristics of the superficial layer can also differ from the scheme of regular alternation of North (cold season) and South (hot season) Atlantic Central Waters: some years are mostly dominated by SACW, others mostly by NACW. Thus, some years, the Cape Blanc latitude is not the northern limit of SACW extension, and the variability of meteorological situations can induce equally fluctuating hydrological conditions.

Oceanol. Acta, 1987, 10, 2, 151-159.

INTRODUCTION

Le nord-ouest du continent africain est bordé par des eaux côtières réputées pour leur richesse et leur productivité, liées aux phénomènes hydrodynamiques très intenses qui les concernent. Au sein de cet ensemble qui s'étend du Maroc au Sénégal, le littoral nord mauritanien constitue un secteur charnière (Wooster *et al.*, 1976), intéressé en permanence par des remontées d'eau (Schemainda, Nehring, 1975) provoquées par les vents forts et constants du régime d'alizés du Nord-Est, et favorisées par la présence de canyons ou fosses sous-marines à proximité de la côte. Dans cette région de transition entre un secteur au nord du Cap Blanc où l'eau de remontée est essentiellement de l'Eau Centrale Nord Atlantique — ECNA —, et un secteur au sud où l'eau de remontée est principalement de l'Eau Centrale Sud Atlantique — ECSA — (Sverdrup *et al.*, 1942), la zone côtière du Cap Blanc présente des caractéristiques hydrologiques particulières (Tomczak, 1978; Mittelstaedt, 1983). Aux mouvements des masses d'eau liés à la circulation générale et à sa variabilité à grande échelle, s'ajoute l'apparition saisonnière d'une eau tropicale qui envahit progressivement la couche superficielle au cours de la saison chaude (Tomczak, 1977; 1978). Cette juxtaposition de masses d'eau et leurs mouvements saisonniers de remplacement font que les eaux de surface présenteront des caractères différents au cours de l'année (eau de type ECNA ou ECSA en saison d'upwelling actif, eau tropicale en saison d'upwelling peu actif). Les travaux, d'abord généraux (Furnestin, 1959; Berrit, 1961; 1962; Longhurst, 1962; Postel, 1968; Berrit, 1973) puis, plus localisés (Jones, 1972; Fraga, 1974; Mittelstaedt *et al.*, 1975; Pillsbury *et al.*, 1975; Schemainda *et al.*, 1975; Wooster *et al.*, 1976; Barton *et al.*, 1977; Speth *et al.*, 1978; Sedykh, 1979; Speth, Khone, 1983) ont permis de préciser les grandes lignes de l'hydrologie au large du Sahara atlantique. D'autres études concernent la productivité de ces eaux et les facteurs qui en sont la cause (Coste, Slawyk, 1974; Huntsman, Barber, 1977; Codispoti, Friederich, 1978; Jones, Halpern, 1981; Small, Menzies, 1981; Codispoti *et al.*, 1982; Coste, Minas, 1982; Coste *et al.*, 1982; Minas *et al.*, 1982).

La variabilité temporelle de ces phénomènes et, en particulier, les fluctuations interannuelles des caractéristiques hydrologiques des eaux de la région du Cap Blanc, n'a cependant pas été abordée, faute de pouvoir disposer des données adéquates. Or, ce secteur a connu d'importantes variations des conditions de vent, et donc d'activité de l'upwelling local, au moins au cours de la période 1955-1982 (Arfi, 1985). L'accès aux données hydrologiques (températures et salinités) collectées dans le cadre du programme « stations standards » du Laboratoire des Pêches de Nouadhibou, actuellement Centre National de Recherches Océanographiques et des Pêches (CNROP) permet de s'intéresser aux différentes échelles de variabilité du phénomène, en liaison avec les fluctuations des conditions climatiques locales, dans un secteur peu étudié. En effet, si les campagnes inter-

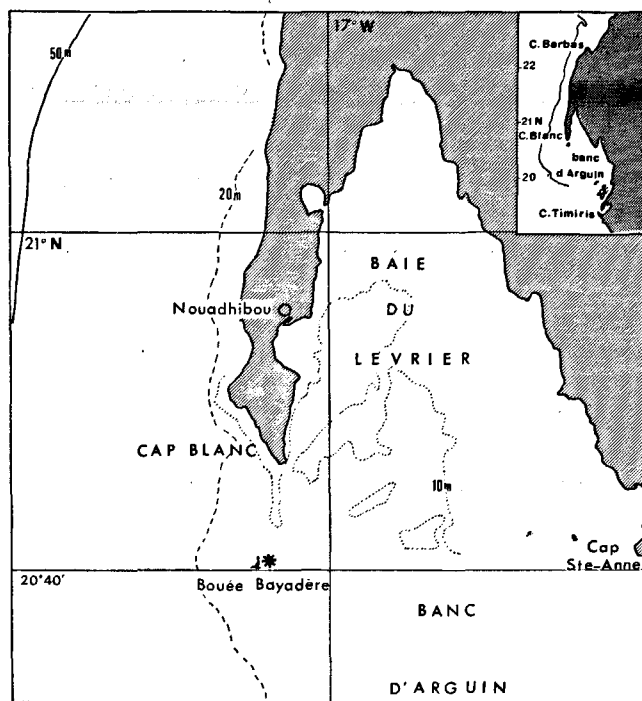


Figure 1
Carte du Nord-Ouest africain et de la péninsule du Cap Blanc (Mauritanie). Localisation de la station de prélèvement à la bouée « Bayadère ».

Map of North-West Africa and the Cape Blanc peninsula (Mauritania). Location of the sampling station, at the "Bayadère" buoy.

nationales ont prospecté les secteurs d'upwelling relativement éloignés de la côte, le programme mauritanien lancé en 1955 concerne la baie du Lévrier et les abords du Cap Blanc (fig. 1). Les données hydrologiques de la station « Bayadère », collectées dans les registres de sortie du chalutier océanographique « Almoravide » (1955-1969), puis dans les rapports du CNROP (1970-1982), permettent d'étudier le cycle hydrologique local et sa variabilité interannuelle, en liaison avec les fluctuations des conditions hydroclimatiques régionales.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données de vent

Les données climatiques utilisées sont celles recueillies à la station météorologique de Nouadhibou (20°56'N, 17°02'W). Sur la période s'étendant de janvier 1955 à décembre 1982, l'occurrence mensuelle (exprimée en jours) des vents sur 5 secteurs géographiques dominants (N à NE, NE à SE, SE à SW, SW à NW et NW à N), comme des vents nuls, a été relevée, ainsi que la vitesse moyenne mensuelle de la composante de vent parallèle à la côte. Les données de base concernent la direction et la vitesse du vent, observées 8 fois par jour à la station, et qui ont été regroupées en secteur géographique d'où soufflent les vents, ce qui permet le calcul du nombre d'heures (et donc de jours) par mois où tel régime de vent était observé. On

détermine alors le transport d'Ekman perpendiculaire à la côte (Wooster *et al.*, 1976) selon la formule :

$$M_y = \frac{\tau}{f}$$

pour des vents de secteur Nord soufflant parallèlement à la côte (la péninsule du Cap Blanc, comme les isobathes du plateau continental, est orientée N-NE à S-SW).

Cet indice, correspondant à un modèle assez simple, peut s'appliquer dans une région aux caractéristiques météorologiques tranchées (Arfi, 1985). Cette expression s'accorde également assez bien avec les variations rapides du transport vers le large, établi à partir de données courantologiques locales (Halpern, 1977).

Les données hydrologiques

Les prélèvements à la station « Bayadère » ont été effectués au moyen de bouteilles à renversement à 20 m de profondeur, et à proximité immédiate de la bouée « Bayadère » (20°40'2N, 17°04'W soit 5 milles au sud du Cap Blanc), sur des fonds de 22 m. Les mesures de température ont été faites à l'aide de thermomètres à renversement; la chlorinité a été déterminée par la méthode de Mohr-Knudsen puis exprimée en salinité. Après examen et validation de ces données (test de Chauvenet), 1 045 valeurs de température (couvrant les périodes s'étendant de janvier 1955 à mai 1960, et de juillet 1962 à décembre 1982) et 625 résultats de salinité (pour des périodes allant de juillet 1962 à septembre 1967, et de juin 1970 à septembre 1976) ont été retenus. Seule la mesure de température a été réalisée lors de chaque sortie, tandis que les prélèvements d'eau destinés à la mesure de la salinité n'ont été effectués que lorsque le dosage pouvait être réalisé. L'échantillonnage effectué sans régularité particulière, mais en fonction de la disponibilité du bateau n'est donc pas régulier au cours des 28 années couvertes par cette étude, et le nombre de données varie selon les années.

RÉSULTATS

Régime de vent

Le littoral saharien entre 15 et 25°N est principalement affecté par un régime d'alizé du Nord-Est; dans le secteur du Cap Blanc, on l'observe tout au long de l'année, prédominant largement sur les autres types de vent. La vitesse moyenne est relativement élevée (entre 6 et 8 m/s). Le cycle annuel est régulier, avec une augmentation progressive des occurrences des vents de N-NE de janvier à août, puis une diminution de septembre à décembre. Entre 1955 et 1982, on remarque cependant, associée à cette dominance, l'alternance marquée de périodes où les vents de N-NE prédominent, avec 60 et 80% des situations, et d'autres où ils représentent un pourcentage plus faible, variant entre 30 et 50% (fig. 2). Trois séquences peuvent être distinguées :

- 1955 à 1961, années de vents de N-NE forts et réguliers (en moyenne 72,3% des observations);
- 1962 à 1969, années où les vents de N-NE ne prédominent plus aussi nettement (49% des observations en moyenne) mais coexistent avec un régime plus diversifié où les vents de N-NW prennent parfois une grande importance (34,9% en moyenne). La vitesse des vents est en nette diminution par rapport à celle de la période précédente;
- 1970 à 1982, avec un retour progressif aux conditions prévalant lors de la première période (les vents de N-NE représentent en moyenne 66,2% des observations).

Ces changements climatologiques concernent toutes les caractéristiques du régime des alizés du Nord-Est (Arfi, 1985) :

- Leur fréquence d'observation a connu de fortes variations :
- 1955-1961 : 22 jours par mois en moyenne;
- 1962-1969 : 15 jours par mois en moyenne;
- 1970-1982 : 20 jours par mois en moyenne.

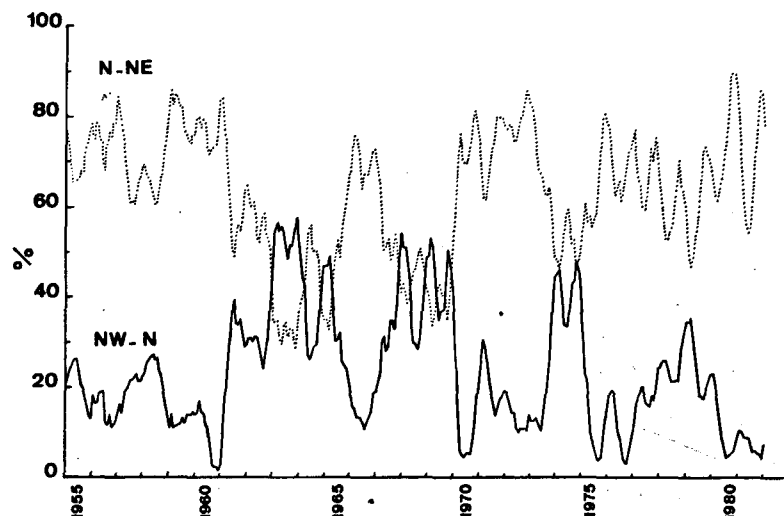


Figure 2
Fréquence d'occurrence mensuelle des vents de secteur N-NE (...) et NW-N (—) observés à Nouadhibou (1955-1982). Moyenne mobile d'ordre 6.
Monthly frequencies of the N-NE (...) and NW-N (—) winds observed at Nouadhibou (1955-1982): running mean of 6th order.

— Les grandes lignes du cycle annuel restent inchangées mais l'amplitude annuelle est moins marquée au cours de la seconde période (les vents de secteur N-NE y ont été observés entre 13 et 17 jours par mois, à comparer aux 17 à 27 jours par mois lors de la première période, et 17 à 23 jours par mois observés lors de la troisième période).

— Mois par mois, la variabilité mensuelle des observations est faible au cours de la période 1955-1961, importante de 1962 à 1969, et tend à diminuer entre 1970 et 1982.

— L'allure du cycle annuel des vitesses des vents reste également inchangée d'une période à l'autre, mais de nettes différences quantitatives apparaissent : les vitesses sont maximales de 1955 à 1961, minimales de 1962 à 1969.

Régime de vent et indice d'upwelling

L'intensité mensuelle du transport d'Ekman est directement proportionnelle à la vitesse et à l'occurrence de la composante de vent parallèle à la côte. Au large de Nouadhibou, l'upwelling montre une activité croissante au cours du premier semestre, et décroissante lors du second semestre. Avec des vitesses faibles, les mois d'hiver sont ceux où l'activité hydrodynamique engendrée par les vents est la moins importante. La différenciation entre les trois périodes définies précédemment va se retrouver au niveau du transport d'Ekman (fig. 3) :

- de 1955 à 1961, l'intensité du transport sera maximale, avec un pic saisonnier marqué (avril-mai-juin) et un renforcement relatif en octobre. L'activité générale croît au début de cette période, puis décroît rapidement à partir de 1960; le transport d'Ekman annuel estimé est compris entre 400 et 800.10⁶ m³ par an et par 10 m de littoral;

- de 1962 à 1969, on observe un important ralentissement de l'activité, quel que soit le mois considéré, mais l'allure générale du cycle annuel reste semblable. Les valeurs du transport annuel sont comprises entre 150 et 400.10⁶ m³ par an et par 10 m de côte; elles décroissent globalement au cours de ces années pour atteindre un minimum en 1969;

- de 1970 à 1982, le cycle annuel est assez proche de celui de la période 1955-1961; en moyenne annuelle, les valeurs demeurent faibles tout au long de cette période, même si l'activité globale augmente par rapport à la période précédente (valeurs annuelles comprises entre 220 et 640.10⁶ m³ par an et par 10 m de côte). Les fluctuations restent fortes d'une année à l'autre.

Régime thermique dans le secteur du Cap Blanc

Le cycle thermique annuel et sa variabilité

Le cycle annuel moyen, calculé à partir de l'ensemble des données (fig. 4) permet de définir l'existence de deux saisons thermiques :

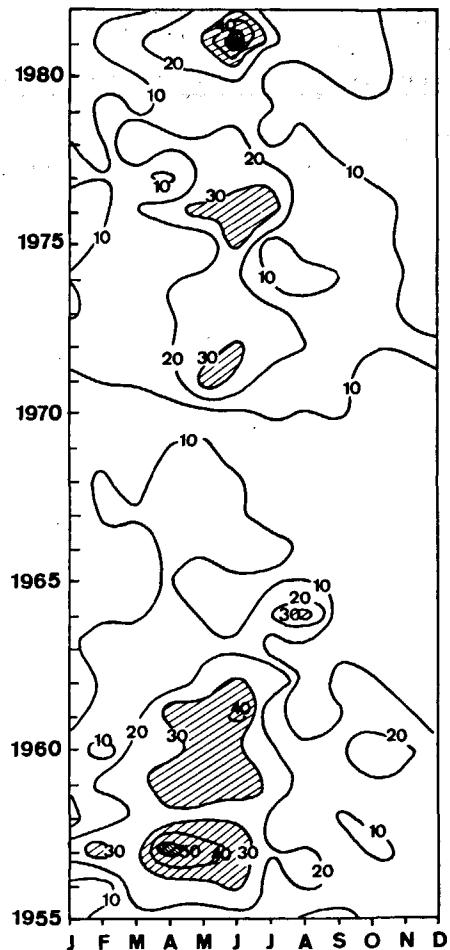


Figure 3

Transport d'Ekman à la latitude de Nouadhibou. Les valeurs sont exprimées en $m^3.s^{-1}.10 m$ de littoral. Les surfaces hachurées correspondent aux valeurs égales ou supérieures à $30 m^3.s^{-1}.10 m$ de littoral.

Ekman transport at the latitude of Nouadhibou. Values are expressed in $m^3.s^{-1}.10 m$ shoreline. Shaded areas correspond to values equal or higher than $30 m^3.s^{-1}.10 m$ shoreline.

- de décembre à juin, une saison « froide », avec des températures moyennes mensuelles inférieures à 18°C, des écarts-types faibles, et donc une variabilité limitée. Les minima thermiques sont relevés en avril et mai, et correspondent à des occurrences et des vitesses de vent de N-NE élevées, et donc plutôt favorables aux remontées d'eau plus froide;

- de juillet à novembre, une saison « chaude », où les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 18 et 21°C. Les écarts-types sont importants (de l'ordre de 2°C), et les valeurs les plus élevées sont observées en août et septembre. Le réchauffement est rapide entre juin et juillet; le refroidissement est également rapide entre septembre et octobre.

La différenciation saisonnière, basée sur des différences thermiques marquées, repose également sur l'existence de deux types de variabilité. Limitée en hiver, la variabilité s'amplifie lors de la saison chaude, car des situations hydrologiques très différentes (et donc des fluctuations de température importantes) peuvent alterner à un rythme rapide. Ces changements sont également liés

à l'activité de l'upwelling. Au cours des 28 années, ce cycle annuel s'est révélé assez régulier dans ses grandes lignes saisonnières (fig. 5). Mais la variabilité interannuelle, déjà mise en évidence du point de vue de l'activité météorologique et des vents, se retrouve au niveau des températures selon le même découpage chronologique.

Évolution thermique en période d'activité maximale de l'upwelling (1955-1961)

L'allure générale du cycle annuel moyen entre 1955 et 1961 correspond, dans ses grandes lignes, à celle de la période 1955-1982. Les caractéristiques saisonnières sont cependant différentes (fig. 6 a) : les températures minimales, toujours observées en avril et mai, sont inférieures d'environ 0,5°C; les températures moyennes sont plus élevées au cours des mois les plus chauds (1 à 1,5°C de plus), mais le refroidissement post-estival est également plus important. On remarque un maximum relatif en février, qui paraît difficile à expliquer; il s'agit peut-être de l'amorce du réchauffement saisonnier, interrompu par l'accroissement d'intensité de l'upwelling.

Évolution thermique en période d'activité minimale de l'upwelling (1962-1969)

L'opposition entre les périodes 1955-1961 et 1962-1969 est nettement marquée du point de vue des caractéristiques saisonnières (fig. 6 b) : les années de forte activité de remontée d'eau montrent des saisons chaudes plus

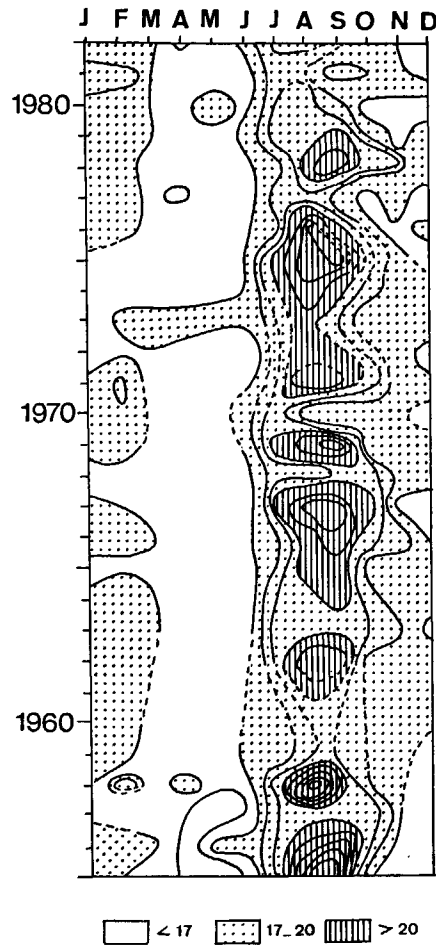


Figure 5
Évolution mensuelle des températures à la bouée « Bayadère » (1955-1982).
Temperature at the "Bayadère" buoy: monthly time series (1955-1982).

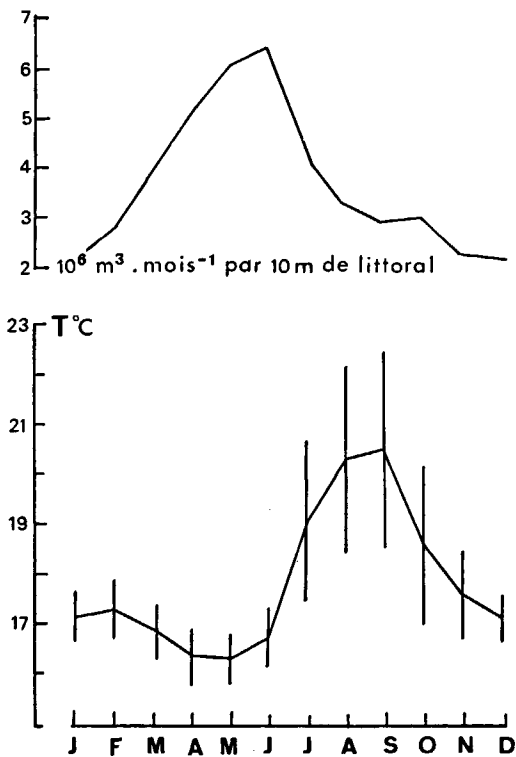


Figure 4
Cycle annuel moyen des températures observées (a) et du transport d'Ekman calculé (b). Période 1955-1982.
Mean annual cycle of temperatures observed (a) and Ekman transport calculated (b). Period 1955-1982.

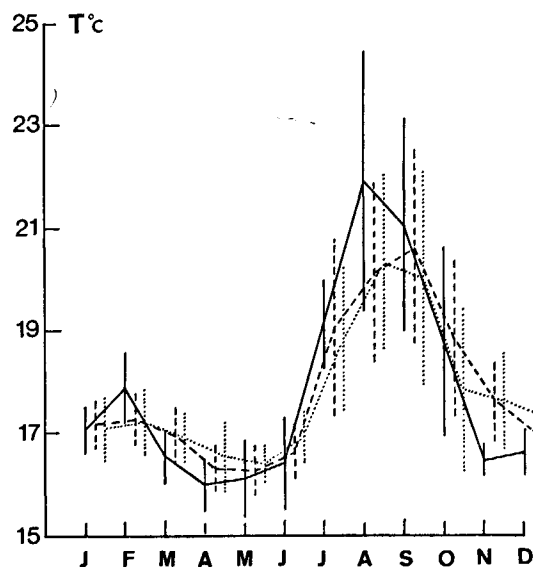


Figure 6
Cycle annuel moyen des températures observées entre 1955 et 1961 (a : —), 1962 et 1969 (b : ----) et 1970 et 1982 (c :). Les courbes sont décalées.
Mean annual cycle of temperatures observed between 1955 and 1961 (a : —), 1962 and 1969 (b : ----) and 1970 and 1982 (c :). Curves are displaced.

chaudes, et des saisons froides plus froides que les années où l'upwelling présente une plus faible intensité. Ceci est reflété par l'amplitude thermique moyenne de la première période (5,9°C), nettement plus élevée que celle de la seconde (4,6°C). Un régime de vents forts (et donc induisant des remontées intenses d'eau plus profonde) est également un régime de vent régulier. Quand les alizés de N-NE sont installés (saison froide), l'eau superficielle est remplacée par des eaux plus froides, et le caractère « froid » de la saison est alors renforcé. En saison chaude, les intrusions en surface d'eau plus profonde sont plus rares, et les moyennes thermiques seront plus élevées. Lorsque les vents sont faibles, ils sont irréguliers : l'upwelling, moins intense, refroidit donc moins les eaux de surface en saison froide, mais, plus irrégulier, il aurait un effet plus marqué au cours de la saison chaude.

Évolution thermique en période d'activité irrégulière de l'upwelling (1970-1982)

Le cycle annuel moyen, comme la dynamique thermique de cette période, ressemble à ce qui a été observé au cours de la période précédente (fig. 6 c), mais quelques différences subsistent :

- la saison froide est relativement moins froide,
- la saison chaude est légèrement moins chaude.

L'amplitude thermique moyenne (3,9°C) est encore plus faible que celle observée au cours de la période précédente.

Régime hydrologique dans le secteur du Cap Blanc (période 1962-1967)

A partir des données de température et de salinité acquises entre juillet 1962 et septembre 1967 (533 valeurs), il est possible d'aborder l'évolution de la chronique hydrologique en fonction de ce que l'on sait des conditions météorologiques de cette période (alizés de N-NE faibles et irréguliers). Le cycle annuel moyen est bien marqué (fig. 7), même si la variabilité demeure importante. La salinité moyenne varie dans des limites assez étroites (35,87 au minimum, 36,28 au maximum), tandis que les températures moyennes s'étagent entre 16 et 21°C. La saison froide (de décembre à juin) est caractérisée par des températures variant peu autour de 16,5°C, et le passage à la saison chaude se fait entre les mois de juin et juillet.

Le cycle T/S annuel moyen

La station échantillonnée est, sur une année « moyenne », concernée par une succession de masses d'eau d'origine et de caractéristiques différentes :

- de janvier à mai, l'activité de remontée augmente, les eaux arrivant dans la couche superficielle sont de type Eau Centrale Nord Atlantique, avec un mélange progressivement plus important d'Eau Centrale Sud Atlantique;
- juin est un mois charnière : les alizés sont encore forts et favorisent l'activité de remontée, mais le balancement saisonnier de la circulation générale amène dans

le secteur du Cap Blanc des eaux aux caractéristiques ECSA plus marquées (en particulier la salinité) ;

— au cours des mois d'été, l'activité de l'upwelling faiblit progressivement. Le secteur au sud du Cap Blanc est envahi par des eaux tropicales, qui peuvent remonter assez haut en latitude, et recouvrent l'Eau Centrale Sud Atlantique dont le niveau superficiel tend à descendre. Dans la zone du Cap Blanc, il semble difficile de préciser à partir des données disponibles si l'eau observée en surface correspond au type tropical (eau plus chaude, moins salée), ou à un réchauffement atmosphérique local de l'eau occupant la couche superficielle à cette époque (qui est d'origine ECSA). La position côtière de la station, comme la forte variabilité des données empêche de trancher en faveur de l'une ou l'autre possibilité ;

— novembre et décembre sont des mois où l'upwelling est peu intense. Le balancement inverse de la circulation générale tend à faire refluer les eaux chaudes vers le Sud, et les remplace progressivement par des eaux froides et plus salées.

Variabilité interannuelle du cycle T/S

Quatre années (1963 à 1966) permettent de suivre la variabilité interannuelle des caractéristiques des masses d'eau (fig. 8) :

— 1963 (fig. 8 a) est une année où la proportion d'Eau Centrale Sud Atlantique est particulièrement élevée dans l'eau de remontée. La salinité y varie peu, à l'exception du mois de mars (influence plus nette de l'eau de type ECNA), et seule l'évolution thermique fait vraiment ressortir le cycle hydrologique annuel. C'est une des années où les vents de NW-N ont été les plus fréquents (près de 60% des occurrences), et donc l'activité de l'upwelling particulièrement limitée, les vitesses de vent liées à ce régime étant plus faibles ;

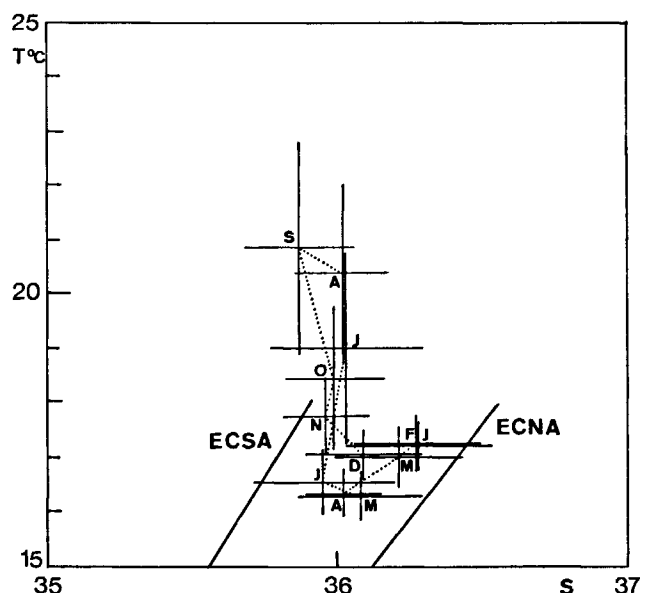
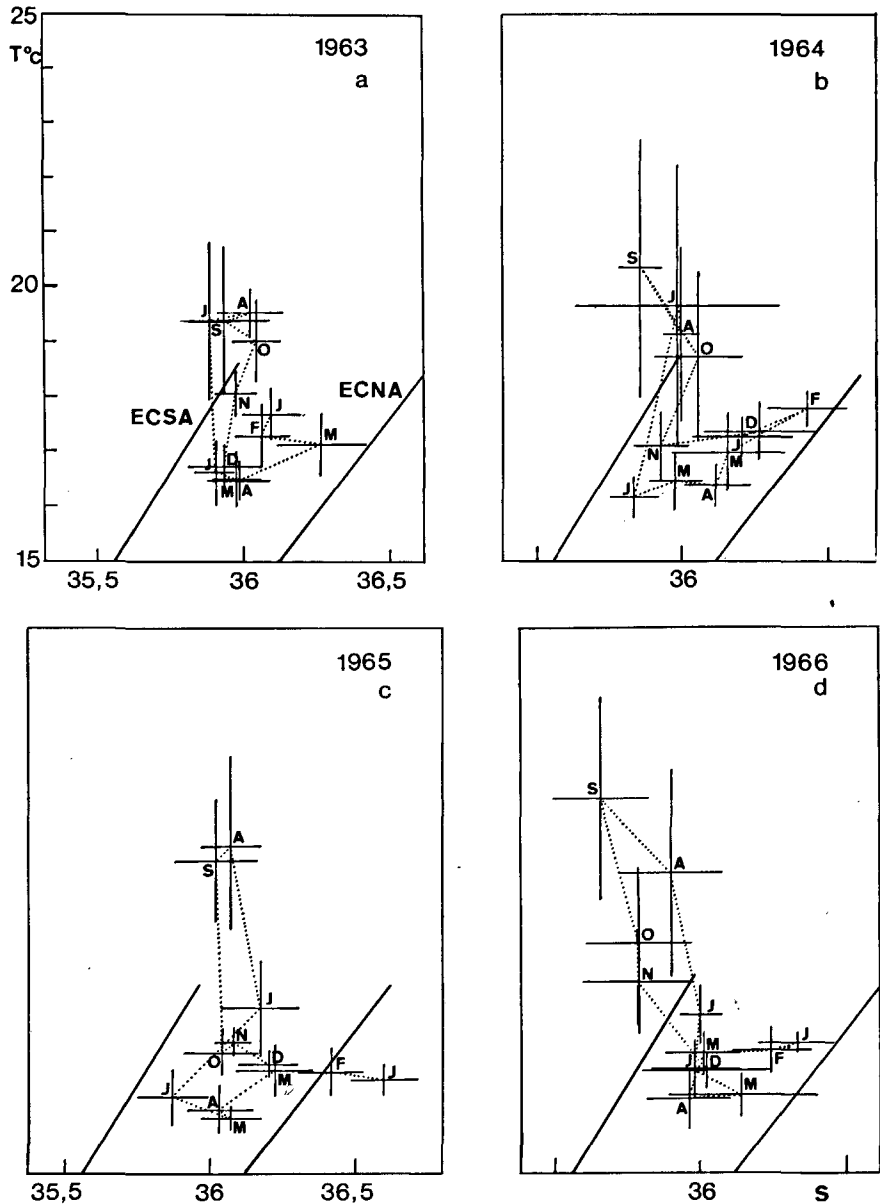


Figure 7

Diagramme T/S : évolution saisonnière des caractéristiques des eaux (valeurs moyennes et écarts-type), période 1955-1982.

T/S diagram: seasonal evolution of water characteristics (mean values and standard-deviation), 1955-1982 period.

Figure 8
 Diagramme T/S : évolution saisonnière des caractéristiques des eaux entre 1963 et 1966 (valeurs moyennes et écarts-type).
 T/S diagram: seasonal evolution of water characteristics (mean values and standard-deviation), between 1963 and 1966.



— 1964 (fig. 8 b) montre au contraire des caractéristiques hydrologiques plus contrastées; la saison froide montre des salinités plutôt élevées de décembre à avril (l'eau de type ECNA domine), et ce n'est qu'à partir du mois de mai que l'on observe une nette augmentation de la proportion de l'eau de type ECSA. L'augmentation de température est importante entre juin et juillet, et cette eau plus chaude restera installée jusqu'en novembre au sud du Cap Blanc. Cette année 1964 présente des vents irréguliers, avec une relative dominance des vents de secteur N-NE;

— 1965 (fig. 8 c) montre encore l'importance de la présence d'Eau Centrale Nord Atlantique. Cette situation s'observe de décembre à avril; en janvier et février, les valeurs de salinité et de température sont telles que l'eau présente des caractéristiques typiquement ECNA. Au cours de la saison chaude, seuls les mois d'août et de septembre sont intéressés par de l'eau tropicale ou de type ECSA réchauffée sur place. Les vents diffèrent peu de ceux observés l'année précédente;

— 1966 (fig. 8 d) est une année où l'on retrouve, comme en 1963, de l'eau essentiellement constituée à partir

d'Eau Centrale Sud Atlantique. C'est aussi une année où les vents, bien que soufflant du secteur N-NE, ont été particulièrement faibles. L'envahissement du secteur par les eaux chaudes (ou le rapide réchauffement local des eaux superficielles en place au début de la saison chaude) est facilité par la situation météorologique.

L'existence de cette variabilité interannuelle des caractéristiques hydrologiques montre que les situations sont rarement tranchées : au lieu de l'alternance supposée régulière des masses d'Eau Centrale Nord et Sud Atlantique, on remarque plutôt la dominance des caractères ECSA, plus (1964, 1965) ou moins (1963, 1966) atténués par l'importance de l'intrusion des masses d'eau plus septentrionales. Il est vrai que ces années figurent parmi celles où l'activité de l'upwelling était la moins importante, en raison de la faiblesse et de l'irrégularité des alizés de N-NE. On peut supposer que cette variabilité s'atténue en situation météorologique « classique » (alizés du N-NE forts et réguliers). L'importance prise par les Eaux Centrales Nord Atlantiques est, en effet, lié à celle que prend, au cours de la période considérée, ces vents de secteur N-NE : actifs, ils favorisent la

persistance des ECNA et entravent la progression vers le nord des ECSA puis de l'eau tropicale en saison chaude. Quand les vents sont plutôt de secteur NW-N, la progression vers le Sud des ECNA en saison froide est limitée, et l'extension vers le Nord des eaux plus chaudes est favorisée.

CONCLUSIONS

Dans le secteur du Cap Blanc, les caractéristiques hydrologiques montrent une importante variabilité. Cette zone d'affrontement et d'alternance de masses d'eau (Fraga, 1973; Mittelstaedt, 1976; Tomczak, 1977), est soumise à des conditions de vent particulières (Speth, Detlefsen, 1982; Speth, Khone, 1983), qui entraînent des conséquences importantes pour l'hydrodynamisme (Schemainda, Nehring, 1975) et la productivité primaire (Codispoti *et al.*, 1982; Coste, Minas, 1982; Minas *et al.*, 1982). Ces eaux sont sous l'influence de plusieurs facteurs, qui peuvent en modifier rapidement les caractéristiques thermo-halines et les potentialités trophiques. Selon la saison et l'intensité des vents de secteur N-NE, on aura dans la couche superficielle des eaux de remontées relativement plus salées (ECNA), ou des eaux relativement moins salées (ECSA); ces dernières sont également plus riches en éléments nutritifs (Fraga, 1974). Aux fluctuations rapides et de grande amplitude dues à l'irruption de masses d'eau d'origines diverses dans un contexte hydrologique donné, vont s'ajouter les changements saisonniers interrannuels, liés aux fluctuations du régime de vent, beaucoup plus importantes qu'on ne le supposait (Arfi, 1985), accentuant ainsi la variabilité du milieu. Les données exploitées dans ce travail concernent une situation côtière : les conditions observées ne reflètent donc pas exactement ce qui se passe plus au large. Le lissage introduit par l'emploi de valeurs mensuelles moyennes, fait que la variabilité à court terme peut difficilement être appréhendée. Or, de tels phénomènes (non uniformité du champ de vent, pulsations des alizés, évolution géographique et méandres des zones de contact entre

les différentes masses d'eau) sont observés dans ce secteur de transition (Mittelstaedt, 1983), rendant plus complexe encore le régime hydrologique de la région. Ils interviendront dans les changements observés, comme les importants changements climatiques survenus au cours de la période étudiée dans la région nord-mauritanienne.

Si l'upwelling est en effet permanent tout au long de la période 1955-1982, son intensité a présenté de fortes différences d'une année à l'autre, d'abord forte mais déclinant progressivement (1955-1961), puis minimale (1962-1969), et enfin croissant lentement, avec d'importantes variations (1970-1982). Ces fluctuations interrannuelles marquées au niveau de l'intensité ne semblent pas entraîner de conséquences importantes sur le cycle thermique, l'évolution des températures dans ce secteur d'affrontement de masses d'eau étant plutôt caractérisée par l'importance de la variabilité à court terme. Le manque de données de salinité limite enfin la connaissance de la variabilité des caractéristiques des masses d'eau en présence, à l'exception de la période 1963-1967 où les données sont disponibles. Au cours de ces années où l'intensité de l'upwelling était limitée, le schéma d'alternance régulière des Eaux Centrales Nord et Sud Atlantique (Tomczak, 1977; 1978) se retrouve de manière très atténuée, l'Eau Centrale Sud Atlantique occupant une place prépondérante, parfois même au cours de la saison froide. Le rôle régulateur de cette alternance joué par le phénomène d'upwelling semble dépendre de l'intensité de son activité : on peut supposer qu'au cours de cette période de régime d'alizé affaibli, le front entre les deux types d'eau ne s'est pas situé à la latitude du Cap Blanc.

Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre de la coopération franco-mauritanienne. Je tiens à remercier M^{me} M.-C. Bonin pour la réalisation de l'iconographie.

RÉFÉRENCES

- Arfi R., 1985. Variabilité interannuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eau dans le secteur du Cap Blanc (Mauritanie), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, 12, 1969-1978.
- Barton E.D., Huyer A., Smith R.L., 1977. Temporal variation observed in the hydrographic regime near Cabo Corveiro in the Northwest African upwelling region, February to April 1974, *Deep-Sea Res.*, **24**, 7-24.
- Bertré G.R., 1961. Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Première partie : généralités, *Cah. Océanogr.*, **13**, 715-727.
- Bertré G.R., 1962. Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Deuxième partie : étude régionale, *Cah. Océanogr.*, **14**, 719-729.
- Bertré G.R., 1973. Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique oriental. État des connaissances et perspectives, *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, 3^e sér., **148**, 85-99.
- Codispoti L.A., Friederich G.E., 1978. Local and mesoscale influences on nutrient variability in the Northwest African upwelling region near Cabo Corveiro, *Deep-Sea Res.*, **25**, 751-770.
- Codispoti L.A., Friederich G.E., 1978. Local and mesoscale influences on nutrient variability in the Northwest African upwelling region near Cabo Corveiro, *Deep-Sea Res.*, **25**, 751-770.
- Coste B., Slawyk G., 1974. Structures de répartition superficielle des sels nutritifs dans une zone d'upwelling (cap Corveiro, Sahara espagnol), *Téthys*, **6**, 123-132.
- Coste B., Minas H.J., 1982. Analyse des facteurs régissant la distribution des sels nutritifs dans la zone de remontée d'eau des côtes mauritaniennes, *Oceanol. Acta*, **5**, 3, 315-324.
- Coste B., Nival P., Minas H.J., 1982. Analyse des relations entre les conditions hydrologiques, les sels nutritifs et la chlorophylle des eaux superficielles d'une zone d'upwelling (côtes de Mauritanie, mars-avril 1974), *R. PV Cons. Inter. Explor. Mer*, **180**, 108-113.
- Fraga F., 1973. Oceanografía química de la region de afloramiento del noroeste de Africa. I, *Res. Exp. Ci. B/O Cornide*, **2**, 13-52.
- Fraga F., 1974. Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauritanie, *Téthys*, **6**, 5-10.
- Furnestin J., 1959. Hydrologie du Maroc atlantique, *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, **23**, 5-78.
- Halpern D., 1977. Description of wind and of upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off Northwest Africa during March and April 1974, *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 422-430.
- Huntsman S.A., Barber R.T., 1977. Primary production off Northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions, *Deep-Sea Res.*, **24**, 25-33.
- Jones B.H., Halpern D., 1981. Biological and physical aspects of a coastal upwelling event observed during March-April 1974 off Northwest Africa, *Deep-Sea Res.*, **28**, 71-81.
- Jones P.G.W., 1972. The variability of oceanographic observations off the coast of NW Africa, *Deep-Sea Res.*, **19**, 405-431.
- Longhurst A.R., 1962. A review of oceanography of the gulf of Guinea, *Bull. IFAN*, sér. A3, **24**, 633-663.
- Minas H.J., Codispoti L.A., Dugdale R.C., 1982. Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa, *Rapp. PV Cons. Inter. Explor. Mer*, **180**, 148-183.
- Mittelstaedt E., 1976. On the currents along the Northwest African coast South of 22° North, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, **29**, 97-117.
- Mittelstaedt E., 1983. The upwelling area off Northwest Africa. A description of phenomena related to coastal upwelling, *Progr. Oceanogr.*, **12**, 307-331.
- Mittelstaedt E., Pillsbury R.D., Smith R.L., 1975. Flow patterns in the northwest african upwelling area. Result of measurements along 21°40'N during February-April 1974, Joint I, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, **28**, 145-167.
- Pillsbury R.D., Bottero J.S., Still R.E., Mittelstaedt E., 1975. Wind, currents and temperature off Northwest Africa along 21°40'N during Joint I, February-April 1974, Data Rep., Oregon State Univ., 62.
- Postel E., 1968. Hydrologie et biogéographie marines dans l'ouest africain, in : *West African International Atlas*, OAU/IFAN, Dakar, 13-A.
- Schemainda R., Nehring D., 1975. The annual cycle of the space-temporal dislocation of the Northwest African upwelling region, Comm. N° 42, 3rd Inter. Symp. Upwelling Ecosystems, 25-27, August 1975, Kiel.
- Schemainda R., Nehring D., Schultz S., 1975. Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential des nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-1973, *Geod. Geophys. Ver.*, **4**, 16, 85 p.
- Sedykh K.A., 1979. Étude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique du Nord-Ouest par l'Atlant-Niro, Doc. FAO/COPAGE, 78/11, 93-99.
- Small L.F., Menzies D.M., 1981. Patterns of primary productivity and biomass in a coastal upwelling region, *Deep-Sea Res.*, **28**, 123-149.
- Speth P., Detlefsen H., 1982. Meteorological influences on upwelling off Northwest Africa, *Rapp. PV Cons. Inter. Explor. Mer*, **180**, 29-34.
- Speth P., Khone A., 1983. The relationship between sea surface temperatures and winds off Northwest Africa and Portugal, *Océanogr. Trop.*, **18**, 69-80.
- Speth P., Detlefsen H., Siert H.W., 1978. Meteorological influence on upwelling off Northwest Africa, *Dtsch. Hydrogr. Z.*, ser. A, **31**, 95-104.
- Sverdrup H.U., Johnson M.V., Fleming R.H., ed., 1942. *The oceans*, Prentice Hall, 1087 p.
- Tomczak M. Jr., 1977. Continuous measurements of near-surface temperature and salinity in the NW African upwelling region between Canary Islands and Cap Vert during winter of 1971-1972, *Deep-Sea Res.*, **24**, 1103-1119.
- Tomczak M. Jr., 1978. L'origine et la distribution de l'eau remontée à la surface au large de la côte nord-ouest africaine, *Annal. Hydrogr.*, sér. 5, **6**, 5-14.
- Wooster W.S., Bakun A., Mc Lain D.R., 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic, *J. Mar. Res.*, **34**, 131-141.