

LES EAUX DE LA BAIE D'ALGER **Quelques aspects physico-chimiques et** **environnementaux**

BOULAHIDID M., EDDALIA N., BOUDJELLAL B., et AZZOUZ M.
ISMAL , Sidi Fredj/Plage Ouest, Alger.

R E S U M E

Plusieurs observations ont été réalisées dans la baie d'Alger en mai 1989. Les résultats obtenus indiquent que les caractéristiques physiques et chimiques de la baie sont contrôlées par les eaux du large et par l'apport continental. Ils soulignent aussi l'existence d'eaux d'origines différentes décrivant un mouvement circulaire dans la baie. L'une de ces eaux forme une remontée au centre de la baie. Cette remontée d'eau est induite par le comportement du courant algérien au large. Pendant leur séjour dans la baie, ces eaux se mélangent et se réchauffent légèrement. Les concentrations des sels nutritifs évoquent aussi l'importance de l'activité phytoplanctonique. Ces processus sont à l'origine de la valeur très faible du rapport N/P trouvé. Cette étude suggère que les eaux de la baie se renouvellent aisément. Il n'y a pas d'accumulation ou stockage des apports dissous de pollution. Ces apports se trouvent exportés en dehors de la baie.

A B S T R A C T

Several data have been collected in the Algiers bay on may 1989. The results of those observations indicate that the physical and chemical features of the water are controlled by the open seawater and the continental input. They point out the existence of waters from different sources, which describe a circular movement. One of these waters constitutes an upwelling in the center of the bay. This (middle) coastal upwelling is induced by the behaviour of the Algerian Current. The concentration of nutrients evokes a continental input. Moreover, it underlines an important phytoplanktonic activity. These processes are

responsible for the very low value found for the N/P ratio. This study suggests that the waters in the bay are easily renewed. There is no accumulation or storage of dissolved pollution inputs. These inputs are exported outside the bay.

1. INTRODUCTION

La baie d'Alger est soumise à l'influence directe de deux milieux diamétralement différents.

Elle subit, d'une part l'influence de la ville d'Alger et de sa banlieue, due à l'importance de la densité de la population, à l'importance et à la diversité des activités industrielles et au trafic terrestre et maritime. Elle constitue, de ce fait, un déversoir où se jette quotidiennement une grande quantité d'eaux usées industrielles et ménagères chargées de diverses substances polluantes.

Elle reçoit, d'autre part, l'influence directe du milieu marin du large gouverné par le courant algérien. Ce dernier résulte de la veine d'eau atlantique qui longe les côtes algériennes où il prend sa dénomination. Coulant en surface, l'eau atlantique se différencie nettement de celle méditerranéenne par ses caractéristiques physiques et chimiques. Elle crée entre 0° et 3° E des structures de méandres tourbillonnaires qui évoluent dans le temps et dans l'espace (TAUPIER-LETAGE et MILLOT, 1988). Une branche poursuit sa migration vers les côtes Est induisant toujours des structures dynamiques actives, alors que certaines de ces structures dérivent, surtout à partir de la région d'Alger (3° E), vers le Nord Est (bassin algéro – provençal). Les structures tourbillonnaires créent le long des côtes des phénomènes secondaires de mélange intense, langues d'eau froides et upwelling littoral et côtier identifiables par l'image satellite (MILLOT, 1985; TAUPIER-LETAGE et MILLOT, 1988).

La présente étude essaye, par l'utilisation des paramètres hydrologiques et les sels nutritifs (traceurs marins légers), d'identifier certaines caractéristiques physiques et chimiques de la baie d'Alger. Elle aborde aussi une approche de la compréhension de l'influence des milieux continental et marin au large de la baie.

2. METHODOLOGIE

Les mesures ont été réalisées en mai 1989. Les prélèvements d'eau ont été faits à un mètre en dessous de la surface de l'eau, à un mètre du fond et à des niveaux intermédiaires d'une manière plus ou moins systématique (fig. 1), afin de cerner toute la baie et le plus de processus qui s'y déroulent.

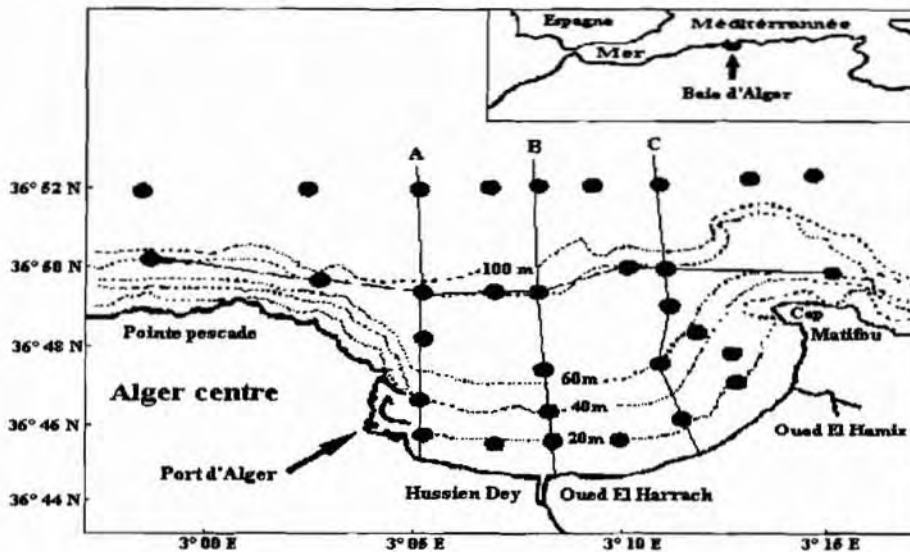


Figure 1 : Positionnement des stations de prélèvement (•) et des sections verticales étudiées (—) dans la baie d'Alger.

Les mesures effectuées concernent la température *in situ*, la salinité, l'oxygène dissous *in situ* (méthode électro-chimique) et les sels nutritifs dissous (nitrates, nitrites, phosphates et silicates) par colorimétrie à flux continu, selon les méthodes décrites par LE CORRE et TREGUER (1976) et BOULAHIDID (1987).

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de MAOUCHE (1987) dans le même site. Cependant, pour les sels nutritifs, la situation dans la baie est différente de celle du large (plus de 30 miles) où, dans presque la même période (mois de juin), RAIMBAULT et al. (1991) et RAIMBAULT et al. (1993) trouvent des concentrations nulles en surface. En outre, nous constatons que les teneurs en phosphates sont relativement élevées et peuvent être dues à des phénomènes spécifiques à la Baie d'Alger.

3. LES MASSES D'EAU

Les valeurs relevées pour la salinité sont assez modérées et même, par fois, assez faibles pour être typiquement méditerranéennes. En surface, des valeurs de salinité inférieures à 36 PSU renseignent sur l'empreinte de l'eau continentale douce. Le reste est presque typique de l'eau atlantique qui longe les côtes algériennes. La salinité de celle-ci au détroit de Gibraltar est de l'ordre de 36.15 PSU (MILLOT, 1987).

Dans les eaux profondes, surtout du côté du large, les valeurs de la salinité sont plus élevées (max. = 37,50 PSU). Elles ne sont ni typiquement méditerranéennes ni typiquement du courant algérien. Vraisemblablement, elles résultent de leur mélange.

Le diagramme température-salinité (fig. 2) montre une distribution linéaire d'un nuage de points plus ou moins diffus. Cette linéarité montre que, d'une manière générale, il y a un seul mélange qui se fait entre les eaux profondes salées et légèrement froides et les eaux de surface moins salées et relativement chaudes.

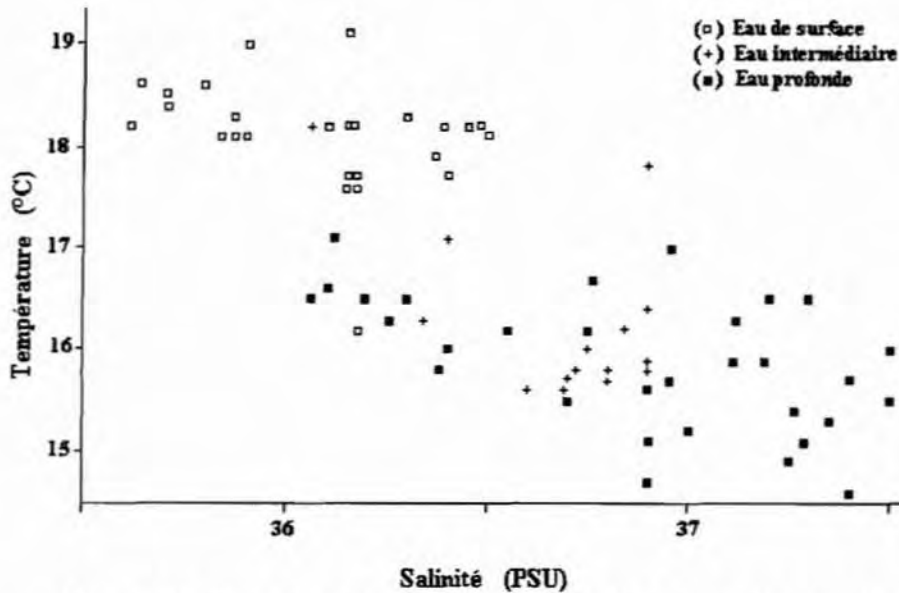


Figure 2 : Diagramme température-salinité des eaux de la baie d'Alger

4. TENEURS EN SELS NUTRITIFS

Les teneurs des eaux de la baie d'Alger en sels nutritifs sont assez significatives comparativement à celles du large (> 30 miles) où les concentrations sont nulles en surface en juin 1990 (RAIMBAULT et al., 1991). Cependant, pour une zone côtière plus ou moins confinée et qui reçoit quotidiennement une grande quantité de matière organique et des sels nutritifs, ces valeurs peuvent être considérées comme faibles, à l'exception des phosphates.

Les valeurs les plus basses sont trouvées en surface presque au centre de la baie, certainement en raison de la consommation biologique, tandis que les valeurs maximales sont trouvées au large à une profondeur de l'ordre de 100 m. Les valeurs les plus élevées en surface sont rencontrées du côté de Hussein Dey et sont certainement dues aux rejets urbains. Des valeurs similaires sont rencontrées aussi du côté du large dans les eaux de surface.

Cependant, celles qui semblent anormales sont les concentrations des phosphates dissous qui sont relativement élevées. Ceci peut être expliqué par l'apport continental riche en phosphates (détergents polyphosphatés) et/ou une diffusion à partir des sédiments marins, du fait que la matière organique des eaux côtières se régénère presque totalement au fond.

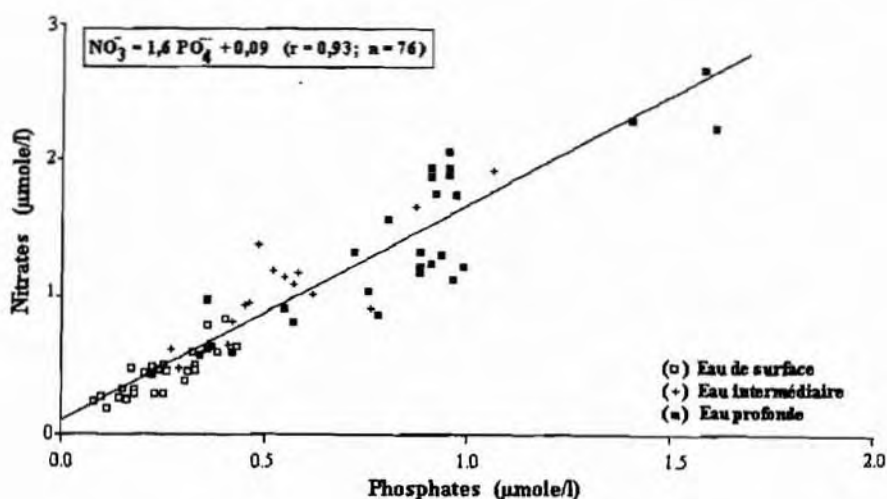


Figure 3 : Diagramme de corrélation entre les nitrates et les phosphates dans la baie d'Alger.

La corrélation entre les nitrates et les phosphates donne la distribution linéaire connue ($r = 0.93$). L'équation qui définit cette relation est (fig. 3) :

$$\text{NO}_3^- = 1.6 \text{ PO}_4^{3-} + 0.092$$

Cette équation diffère de celle généralement connue par :

- Le rapport N/P = 1.6 qui est très faible. Il est dix (10) fois moins que celui admis pour l'océan de surface global (REDFIELD et al., 1963; TAKAHASHI et al., 1985; MINSTER et BOULAHIDID, 1987; BOULAHIDID et MINSTER, 1989).
- La valeur de l'ordonnée à l'origine est presque nulle mais positive. Donc la droite de régression linéaire passe presque par l'origine (fig.3). Cependant, en général, l'ordonnée à l'origine est négative. Ce qui a été expliqué très souvent par le facteur limitant de l'azote (nitrates).

Cette perturbation dans la relation nitrates-phosphates peut être expliquée par l'effet combiné de l'assimilation intensive des sels nutritifs et par les teneurs élevées des phosphates mentionnés précédemment.

5. DISTRIBUTION SPATIALE DES PARAMETRES ETUDIES

5.1. Distribution horizontale

Dans les eaux de surface, nous avons établi des cartes de répartition horizontale de certains paramètres. Pour la salinité (fig. 4a), on remarque une diminution plus ou moins régulière du large vers la côte. Cette diminution est perturbée pour un noyau ayant un petit maximum (36.5 PSU) presque à mi-distance entre Cap Matifou et la Pointe Pescade. Ce noyau ne peut indiquer qu'une source d'eau profonde plus salée. On constate aussi que les eaux les moins salées (< 36 PSU) se trouvent du côté de Hussein Dey et surtout une langue d'eau qui s'étend de l'embouchure de l'oued El Harrach vers l'Est de la baie. Ces salinités qui ne sont pas méditerranéennes renseignent sur l'apport continental en eau douce. Celle-ci, par l'effet de densité s'étale en surface en se mélangeant progressivement avec l'eau de mer.

La configuration des isohalins suggère un flux d'eau superficiel en provenance du large se dirigeant vers la côte sous l'effet du vent. Ce flux se dévie ensuite vers la partie Est de la baie pour enfin ressortir du côté de Cap Matifou.

La distribution de la température montre une variation dans un intervalle très limité (17-19 °C). Cette variation n'est relativement importante qu'à l'Ouest de Cap Matifou, où il y a le gradient thermique le plus élevé. A cet endroit, les isothermes, comme les isohalins, forment un noyau qui rappelle une source d'eau froide (17 °C) (fig. 4b). Un examen de la variation de la température à l'échelle de la baie, au niveau du noyau d'eau froide (minimum de température) vers la côte puis vers Cap Matifou, évoque le même sens de la circulation des eaux superficielles révélé par la variation de la salinité. Ceci nous amène à dire que les eaux se réchauffent légèrement pendant leur séjour dans la baie par le mélange avec les eaux de la baie et les eaux d'origine continentale et aussi par le contact avec l'atmosphère.

Les variations des concentrations des sels nutritifs en surface n'évoque ni la source d'eau profonde ni le sens de la circulation au sein de la baie. Leur répartition est très irrégulière et évoque plutôt une source de

pollution urbaine du côté de Hussein Dey et peut être aussi de l'oued El Hamiz (cas des phosphates fig. 4c). Elle évoque aussi, du fait que ces sels forment un substrat chimique de base pour la chaîne trophique marine, une consommation très importante par le phytoplancton surtout au centre de la baie. Notons que la période d'observation correspond à celle de la floraison printanière (mai 1989).

5.2. Distribution verticale des paramètres étudiés

Entre Cap Matifou et la Pointe Pescade, nous avons établi une section latitudinale pour certains paramètres. Cette section traverse l'endroit où une source d'eau profonde a été révélée par la distribution horizontale de la température et de la salinité.

La figure 5 montre cette section pour la salinité, la température et les phosphates. Les trois paramètres (ainsi que d'autres non montrés ici) sont en accord et montrent une nette remontée d'eau profonde. Cette eau est caractérisée par une salinité supérieure à 37,25 PSU, une température inférieure à 15 °C et une concentration en phosphate, nitrate et silicate supérieure à 1, à 2 et à 3 $\mu\text{mol/l}$, respectivement.

D'autres sections longitudinales (fig. 6) ont été établies pour la salinité entre la côte et le large. Ces sections montrent nettement la remontée d'eau qui est beaucoup plus distincte dans la section de la radiale B passant par le centre de la baie. Les sections des radiales B et C évoquent que la remontée d'eau s'étale en profondeur vers l'Est et elle est inexistante du côté Ouest. Par ailleurs, ces sections montrent que les eaux ayant les salinités les plus faibles sont superficielles et côtières.

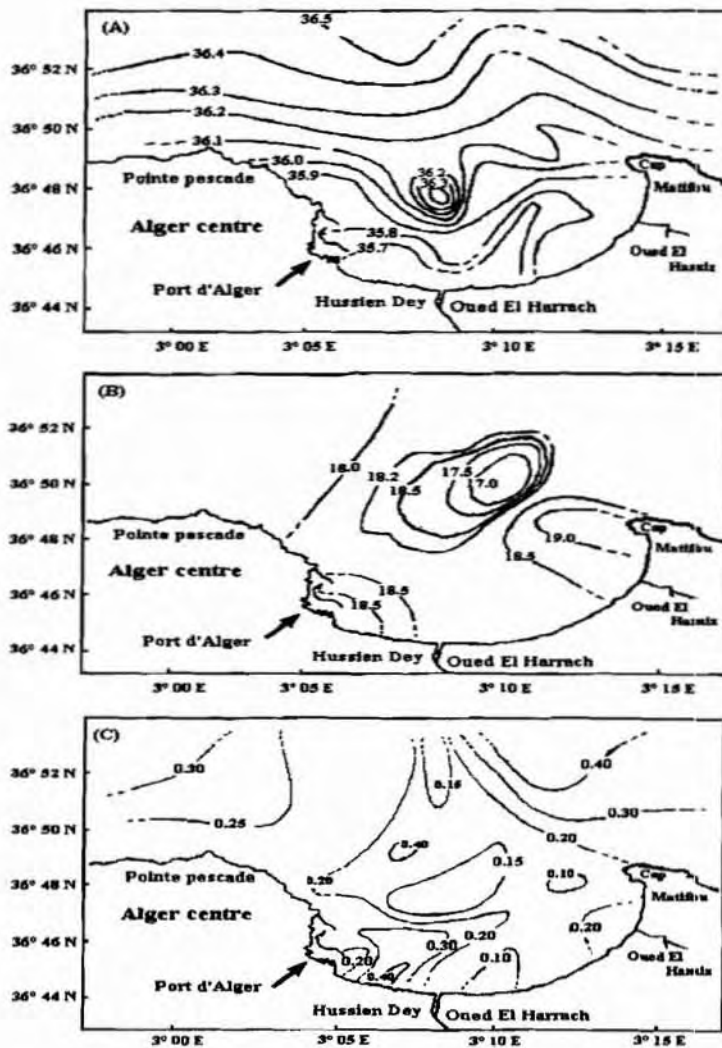


Figure 4 : Distribution (A) de la salinité (PSU), (B) de la température (°C) et (C) des phosphates ($\mu\text{mole/l}$) dans les eaux de surface de la baie d'Alger

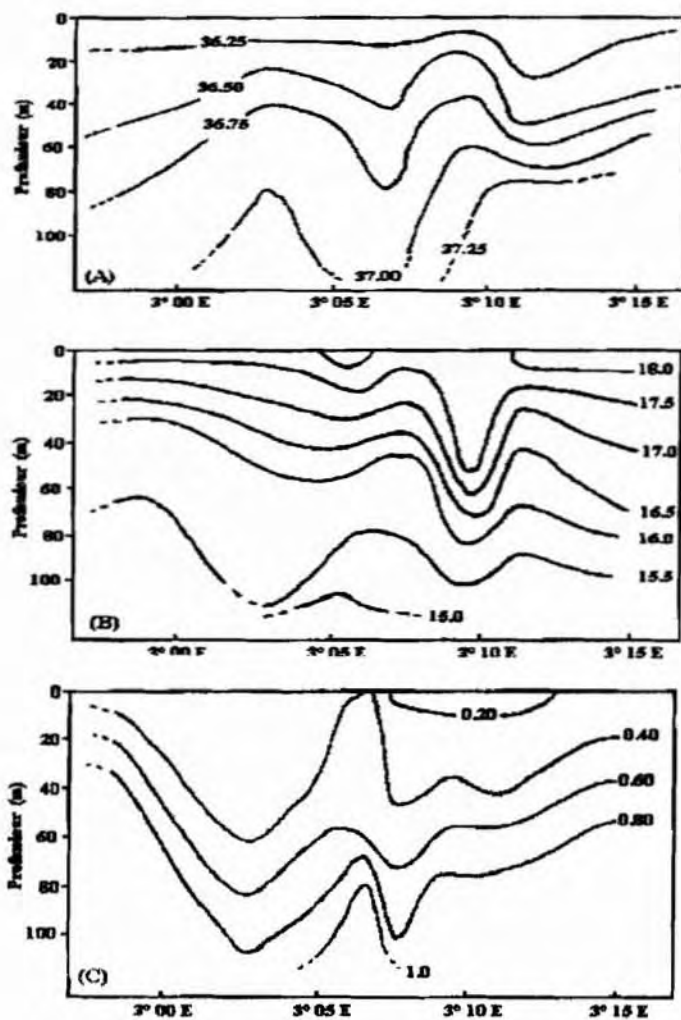


Figure 5 : Distribution verticale (A) de la salinité (PSU), (B) de la température (°C) et (C) des phosphates (μmole/l) le long de la section Cap Matifiou - Pointe Pescade

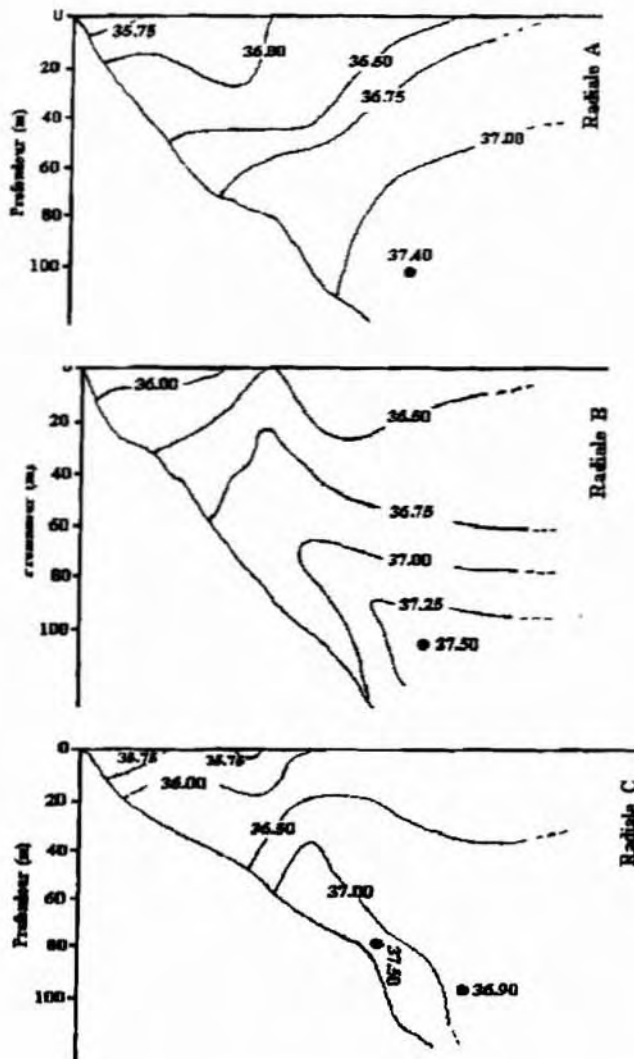


Figure 6 : Distribution verticale de la salinité le long de trois radiales côte-large dans la baie d'Alger

6. ORIGINE DES EAUX MARINES DE LA BAIE D'ALGER

En dehors de l'apport continental en eau douce qui a donné des salinités inférieures à 36 PSU, les caractéristiques des eaux de la baie permettent d'évoquer deux origines. L'une, formée des eaux de surface et intermédiaires ayant une salinité allant jusqu'à 36,80 PSU et qui pénètrent dans la Baie sous l'effet du vent. Celle-ci ne peut être que l'eau Atlantique légèrement mélangée avec l'eau Méditerranéenne le long de son parcours.

La remontée d'eau profonde forme la deuxième origine. Cette eau a une salinité allant jusqu'à 37,5 PSU et une température minimale de l'ordre de 14,6 °C. D'après ces caractéristiques, comparées aux données de la campagne MEDIPROD VI (BOURNOT et al., 1991), cette eau provient d'une profondeur de l'ordre de 100 m. Donc l'origine de la résurgence côtière n'est pas assez profonde et n'atteint pas la couche riche en sels nutritifs qui se situe à environ 300 m de profondeur. Ceci serait en accord avec l'idée que la divergence entre les tourbillons anticycloniques côtiers, qui ne sont pas très profonds, induit des remontées d'eaux côtières (TAUPIER-LETAGE et MILLOT, 1988). D'après ces mêmes auteurs, l'extension verticale de ces remontées d'eau est de l'ordre de l'épaisseur de l'eau Atlantique. Ils signalent aussi l'importance du mélange d'eau qui se produit lors des remontées d'eaux côtières. Ce qui explique les salinités de l'ordre de 37 PSU et ce qui se passe dans la baie d'Alger.

BERNARD (1958), in MILLOT (1985), note que *"l'eau de la baie d'Alger est de plus en plus Atlantique tandis qu'avant 1956 elle était surtout méditerranéenne"*. MILLOT (1985) commente cette remarque comme une mauvaise interprétation des observations et introduit la notion de la variabilité spatio-temporelle qui caractérise les eaux côtières et littorales le long des côtes algériennes.

Nos données, très limitées dans le temps et dans l'espace, accusent la présence de l'eau Atlantique et d'une eau ni atlantique ni méditerranéenne, mais qui résulte d'un mélange plus ou moins avancé. En outre, ces données signalent aussi un apport en eau continentale non négligeable qui adouci en partie les eaux de la baie.

Les caractéristiques des eaux de la baie d'Alger confirment les observations de MILLOT (1987) sur la circulation de l'eau Levantine. Celle-ci n'atteint pas les côtes et ne fait pas partie des résurgences côtières.

7. CONCLUSION

La baie d'Alger est le siège d'un mélange qui se fait entre trois eaux d'origines différentes. Une eau superficielle ayant les caractéristiques de l'eau Atlantique, une eau qui remonte d'une profondeur supérieure à 100 m au centre de la baie et enfin une eau continentale. Cependant, l'importance des flux de masse reste à quantifier. Ces eaux décrivent un mouvement circulaire conditionné par la forme de la baie. Pendant leur séjour dans la baie, ces eaux se réchauffent légèrement.

La partie sud Ouest de la baie forme une zone abritée où les eaux sont assez stables. Ce qui explique en partie l'état de la pollution dans le port.

Les concentrations en sels nutritifs suggèrent un apport continental certain en ces composés. Elles évoquent aussi l'importance de l'activité phytoplanctonique surtout en cette saison. Ces deux facteurs peuvent être à l'origine du rapport N/P très faible (1,6).

Cette étude suggère que les eaux de la baie se renouvellent aisément. Cependant, le temps de séjour, qui ne doit pas être important, reste à estimer. Ceci nous amène à conclure qu'une pollution importante de l'eau ou une eutrophisation dans la baie sont à écarter. En effet, une grande partie de la quantité des substances polluantes (surtout les formes dissoutes) déversées quotidiennement dans la baie, au lieu d'être accumulées, se trouvent exportées en dehors de la baie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERNARD F., 1958.-** Short note. Cah. Oceanogr., 10 (8), 448, 1958.
- BOULAHDID M., 1987.-** Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer, étude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. Thèse de Doctorat d'université, Université de Paris VII, 266p.
- BOULAHDID M. et MINSTER J.F., 1989.-** Oxygen consumption and nutrients regeneration ratios along isopycnal horizon in the Pacific Ocean. Marine Chemistry, 26, 133-153.
- BOURNOT C., COSTE B., TAILLEZ D., BENZOHR M. et MINAS H.J., 1991.-** Mesure de la température et de la salinité. Campagne MEDIPROD VI (Juin 1990). C.O.F. N°16-1991,176p.
- LE CORRE P. et TREGUER P., 1976.-** Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse de Doctorat ès-sciences, U.B.O., Brest, 490p.
- MAUCHE S., 1987.-** Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'Alger. Approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse de Doctorat, IST, USTHB, 213p.
- MILLOT C., 1985.-** Some features of the Algerian current. J. Geophys. Res., vol. 90, NO C4, 7169-7176.
- MILLOT C., 1987.-** The circulation of the Levantine water in the Algerian basin. J. Geophys. Res., vol. 92, NO C8, 8265-8276.
- MINSTER J.F. et BOULAHDID M., 1987.-** Redfield ratios along isopycnal surfaces - a complementary study. Deep Sea Res.,34(12), 1981-2003.

- RAIMBAULT P., BOULAHID M., BOUDJELLAL B., DALLIERE T. et SOUVERMEZOGLOU C., 1991.-** Analyse des sels nutritifs. Campagne MEDIPROD VI, Campagnes Océanographiques Françaises N° 16-1991, IFREMER, 11-13p.
- RAIMBAULT P., COSTE B., BOULAHID M. et BOUDJELLAL B., 1993.-** Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the southwestern Mediterranean Sea (Algerian Current). *Deep Sea Res.*, Vol. 40, N° 4, 791-804.
- REDFIELD A.C. KETCHUM B.M. et RICHARDS F.A., 1963.-** The influence of organisms on the composition of seawater. In: *the sea*, Hill, M.N., (ed.) vol. 2, New York, Interscience Press, 26-77P.
- TAKAHASHI T., BROECKKER W.S. et LANGER S., 1985.-** Redfield ratios based on chemical data from isopycnal surfaces. *J. Geophys. Res.*, 90, 6907.
- TAUPIER-LETAGE I. et MILLOT C., 1988.-** Surface circulation in the Algerian basin during 1984. *Oceanologica Acta*. Minas J.H. et Nival P. (Edit.), 79-85p.