

LE pH ET L'ALCALINITE DES EAUX SAUMATRES DE L'ETANG DE BERRE (MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE)

Comparaison avec les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin.

Marc TRAVERS¹⁾ et Ki-Tai KIM²⁾

1) Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie-des-Lions, 13007 Marseille, FRANCE

2) Marine Science Institute, Yeungnam University, 712-749 Gyongsan, Republic of Korea

ABSTRACT: Measurements of pH and alkalinity have been carried out in two brackish lakes related to French Mediterranean Sea and compared with that of four river outlets and nearby seawater. The variations of pH are larger in brackish waters than in seawater and freshwater. Seasonal variations of pH depend on phytoplankton blooms. Values of pH are generally similar at 0 and 4m, but different at 7m. The estimates of pH ranged from 7.6 to 8.7 in Etang de Berre (average: 8.30), from 7.9 to 8.4 in marine water (average 8.13) and from 7.6 to 8.4 in freshwater (average 7.98). The values of alkalinity from two brackish stations ranged from 2.54 to 3.36mEq.l⁻¹ with a weighted average of 2.85mEq.l⁻¹. They decrease during warm season. when the flow of freshwater is very low.

Introduction

Compte tenu des impératifs des processus respiratoires et enzymatiques, les organismes ne peuvent vivre qu'à l'intérieur de certains intervalles de tolérance, pour le pH comme pour les autres facteurs écologiques. Toutefois l'importance de la réserve alcaline des milieux aquatiques leur permet d'amortir considérablement les variations du pH si le milieu n'est pas trop confiné. Il en résulte que les végétaux et animaux aquatiques, surtout marins, n'ont guère besoin de mécanismes de protection ou de compensation à cet égard.

C'est pourquoi l'on observe en général que les relations constatées entre les variations du pH et celles de certaines populations sont plutôt le fait de facteurs eux-mêmes liés au pH, si l'on envisage "l'action" des facteurs sur les organismes. A l'inverse ("réaction"), bien que le milieu soit très fortement tamponné, on constate des fluctuations du pH que l'on peut souvent considérer, surtout en mer, comme révélatrices de modifications des activités biologiques.

Le pH est en effet un paramètre très dépendant de celles-ci. Ses variations saisonnières et nyctémérales sont surtout liées au développement des producteurs primaires qui, le jour, absorbent beaucoup

plus de CO₂ qu'ils n'en rejettent. Or on sait le rôle primordial du système carbonique dans le contrôle du pH des milieux aquatiques. On peut d'ailleurs, dans certaines conditions, évaluer la production phototrophe d'après les variations du pH, en relation avec l'alcalinité (e. g. Raymont & Adams, 1958, Margalef, 1974).

Ayant réalisé aux stations IV et VII, cf. Fig. 1) des estimations de la production primaire selon la méthode du ¹⁴C (Kim, 1983), il était indispensable de connaître la teneur totale du milieu en anhydride carbonique, grâce aux mesures de pH, de température, de salinité et d'alcalinité.

L'alcalinité "totale" de l'eau de mer est la somme des alcalinités dues aux ions hydroxyle (OH⁻), bicarbonates et carbonates (et borates, en mer). L'équilibre CO₂ -bicarbonates (HCO₃⁻) -carbonates (CO₃²⁻) joue en effet le rôle principal dans l'alcalinité du milieu et ce sont en général surtout les bicarbonates qui sont responsables de cette alcalinité

Matériel et Méthodes

Emplacement des stations

L'ensemble des étangs de Berre et Vaïne (Fig. 1) a une superficie d'à peu près 155km². La profondeur est d'environ 6m en moyenne et 10m au maximum.

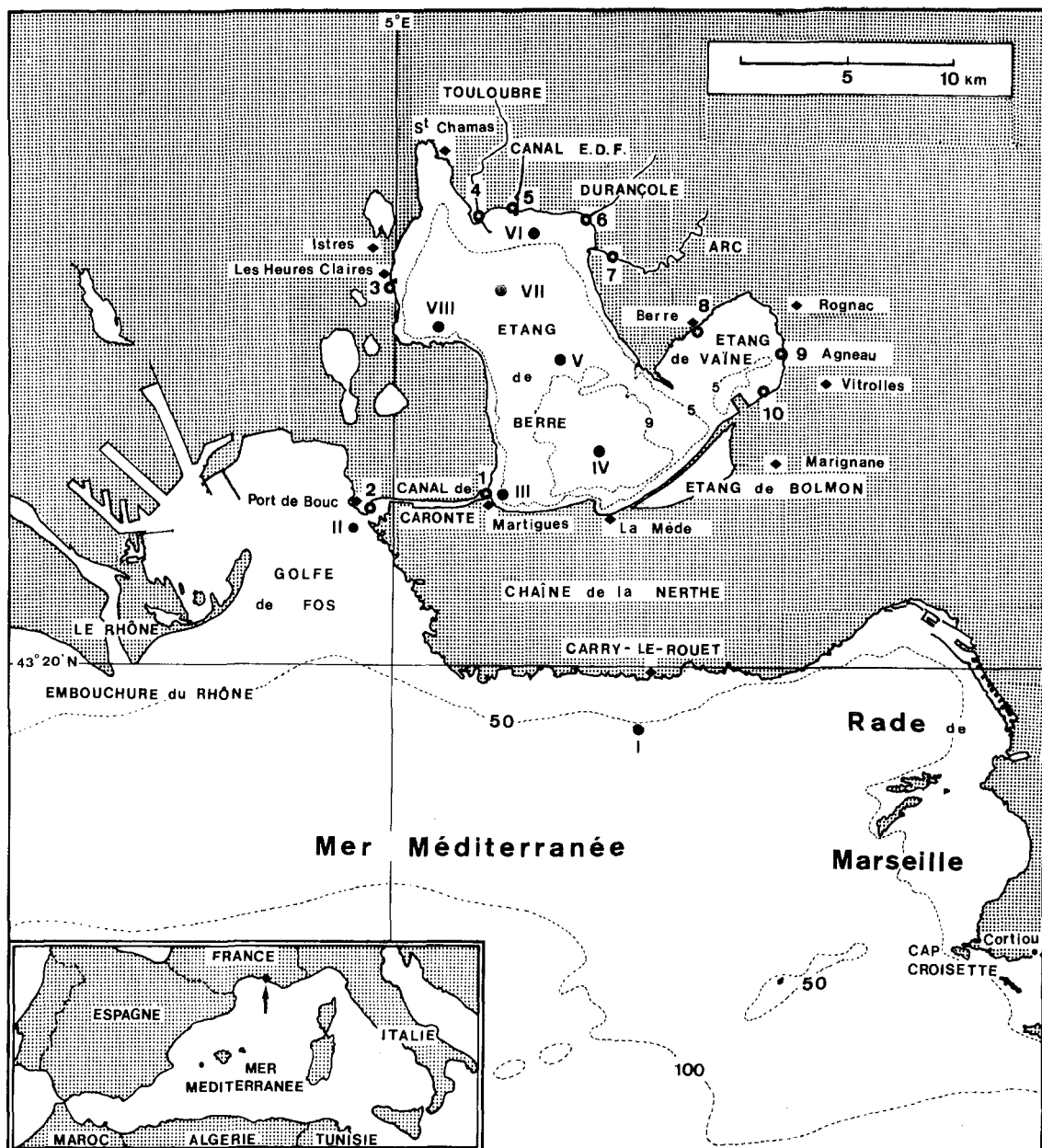


Figure 1. Emplacement des stations de prélèvements

Le volume d'eau est voisin de 10^9 m^3 . Les cours d'eau afférents sont au nombre de quatre, tous situés au NE de l'étang de Berre, tous les 5 km environ (Fig. 1: stations 4, 5, 6 et 7). Les parages de Carry-le-Rouet (station I) ont été choisis comme témoin du milieu marin typique peu perturbé (Kim, 1979). La description détaillée des stations étudiées a été faite dans des articles antérieurs (e. g. Kim, 1982, 1987; Kim et Travers, 1984.). Très schématiquement la salinité,

généralement comprise entre 2 et 4‰, peut remonter à plus de 10‰, de la fin de l'été au début de l'hiver, si le débit de la dérivation de la Durance devient faible ou nul.

Méthodes d'étude

La concentration en ions hydrogène a été mesurée à l'aide d'un pH mètre Metrohm E 448. La solution-tampon pour le standard des échantillons était du

Tritisol-Merck pH 7 avec une précision de $\pm 0,02$. La précision de l'appareil était de $\pm 0,05$.

La mesure de l'alcalinité a été effectuée (Seulement aux stations IV et VII) du 7 mars au 7 novembre 1978 pour en déduire la quantité totale d'anhydride carbonique. L'alcalinité est mesurée selon la méthode de Wattenberg modifiée (1930). Les échantillons sont recueillis dans des flacons de 250ml en verre brun. L'ébullition durant 5 minutes, de 200ml d'échantillon avec 20ml de HCl 0,05N est effectuée dans une fiole avant le dosage. L'acidité restante est dosée avec une solution de NaOH 0,05N, en utilisant une burette Metrohm, et comme indicateur coloré, le rouge de méthyle en solution à 0,1% dans de l'alcool à 60%. Les mesures de standards et d'échantillons sont faites en duplicata. L'alcalinité d'une eau est alors égale au nombre de milliéquivalents d'HCl, et est exprimée en mEq.l^{-1} .

Résultats et interprétation

Le pH et l'alcalinité de l'étang de Berre

Les valeurs du pH mesurées dans l'étang de Berre varient entre 7, 6 et 8, 7, soit un peu plus qu'il n'est habituel en mer mais moins que dans les eaux douces.

Comme le montre la figure 2, il existe incontestablement une évolution de la répartition de ces valeurs au cours de l'année, évolution qui diffère selon les niveaux. En effet, on constate que la valeur est pratiquement la même de 0 à 7m de décembre à mai alors qu'il s'instaure pendant le reste de l'année une distinction très nette entre les mesures effectuées à 0 et 4m, d'une part, et celles de 7m, d'autre part.

Dans la couche superficielle, les valeurs sont les plus élevées en été et les plus faibles en hiver. En revanche à 7m les valeurs minimales sont observées en été ou automne, tandis que la valeur maximale a lieu au printemps. Toutefois cette différence de comportement des deux couches d'eau, très évidente dans la plupart des stations, l'est beaucoup moins au Nord de l'étang, particulièrement à la station VIII (il faut cependant préciser qu'à cette station, le prélèvement profond est fait à 6,5m au lieu de 7m).

À part cette question de structure verticale, les diverses stations diffèrent très peu les unes des autres, tant pour les valeurs du pH que pour leur évolution.

L'évolution de la valeur du pH en surface aux stations 3 et 1, stations littorales à l'écart des arrivées d'eau douce (Fig. 3), se situe sensiblement entre les mêmes limites que pour les stations précédemment étudiées (7,7-8,7 en 3; 8,0-8,6 en 1), autour d'une moyenne générale de 8,3 aux deux stations. Sans

être parfaitement identique à celle qui correspond aux stations VIII et III, cette évolution ne s'en éloigne guère et il faut savoir que les deux types de stations ont été visités à des dates différentes. Notons encore que l'évolution particulière à la station 3, avec un pic en novembre, correspond parfaitement au développement du phytoplancton à cette époque.

Quant à la station 2 (Port-de-Bouc), elle a des eaux généralement un peu moins basiques que les précédentes (moyenne: 8, 2).

En ce qui concerne l'étang de Berre, aucune étude de la concentration en ions hydrogène des eaux ne semble avoir été réalisée avant ce travail, à l'exception de quelques données recueillies en 1960 (Minas, 1961).

Le 6 décembre 1960, les valeurs de pH observées (Minas, 1961), sont de 8,13 à 0m et de 8,15 à 9,4m aux alentours de la station IV, et ensuite de 8,16 à 0m et 6,7m près de la station VII de l'étang de Berre. On remarque qu'il n'y a pas de différence entre les valeurs superficielles et subsuperficielles, car ces valeurs ont été observées avant la dérivation du canal de la Durance. De toute façon, en général, ces valeurs sont un peu moins importantes que celles observées en 1977 et 1978.

Les valeurs de l'alcalinité de la station IV varient de 2,54 à 3,31 mEq.l^{-1} , avec une moyenne pondérée de 2,84 mEq.l^{-1} et celles de la station VII varient de 2,58 à 3,36 mEq.l^{-1} avec une moyenne pondérée de 2,87 mEq.l^{-1} (Fig. 4).

Il n'y a pas de grandes différences entre les stations IV et VII, quoique les valeurs de la station VII puissent être légèrement plus fortes. Jusqu'à la fin de mai, la répartition des valeurs est très homogène. Une hétérogénéité verticale plus ou moins forte apparaît ensuite.

Minas (1961) a mesuré, le 6 décembre 1960 des valeurs de 2,96 mEq.l^{-1} en surface et 2,75 mEq.l^{-1} à 9,4m dans la région du Sud de l'étang et, d'autre part, 3,12 mEq.l^{-1} à 0m et 2,96 mEq.l^{-1} à 7m dans la région du Nord de l'étang, le 6 décembre 1960.

Aux alentours des stations IV et VII, Minas (1973) a mesuré l'alcalinité de 1965 à 1969. Avant la mise en eau du canal EDF de la Durance, les valeurs étaient comprises entre 2, 5 et 2,8 mEq.l^{-1} , alors qu'ensuite, elles ont pu dépasser 3 mEq.l^{-1} , la plus forte valeur ayant atteint 3,50 mEq.l^{-1} .

Si l'on compare ces valeurs avec celles mesurées en 1978, on retrouve une gamme assez comparable bien que les valeurs dépassent plus fréquemment 3 mEq.l^{-1} . L'élévation d'alcalinité due au débit important

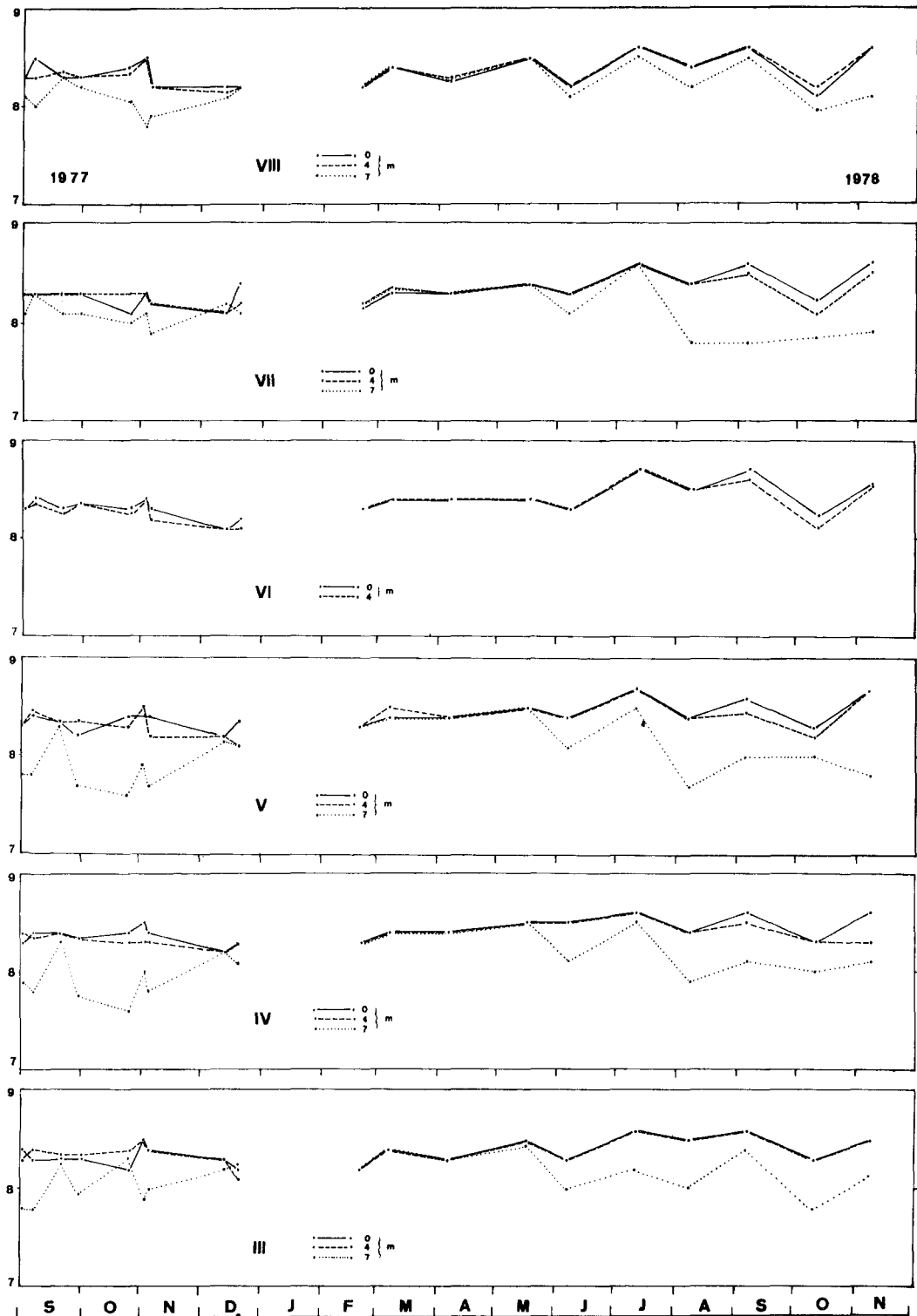


Figure 2. Evolution annuelle du pH de septembre 1977 à novembre 1978 aux stations VIII-III

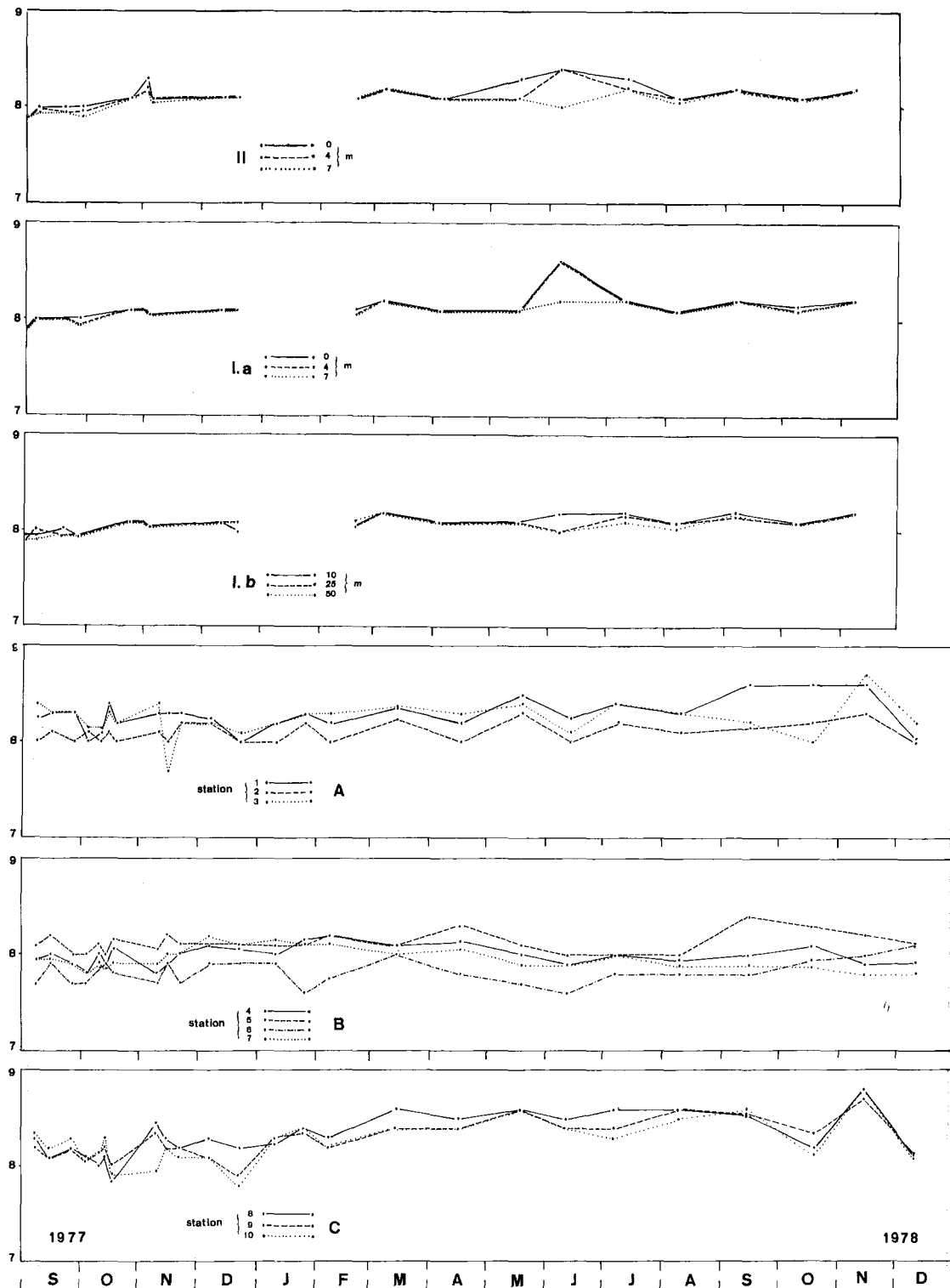


Figure 3. Evolution annuelle du pH de septembre 1977 à décembre 1978 aux stations II et I (a; 0, 4 et 7m; b; 10, 25 et 50m); 1, 2 et 3 (A); 4, 5, 6 et 7 (B); 8, 9 et 10 (c)

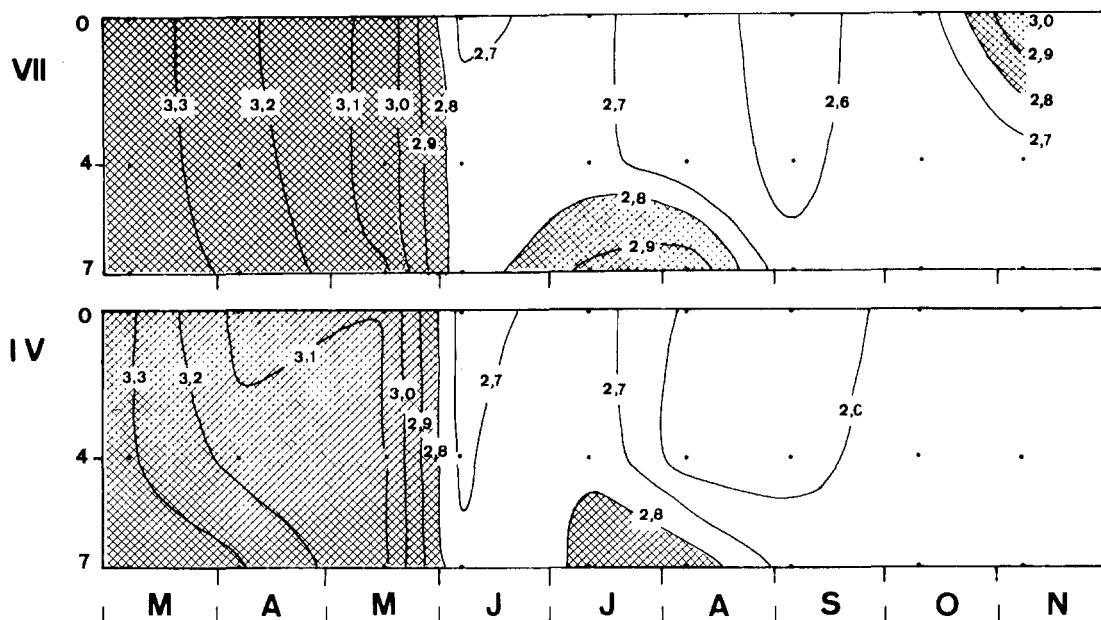


Figure 4. Evolution annuelle de l'alcalinité de mars à novembre 1978 aux stations VII et IV

de la dérivation EDF est souvent bien compensée par l'effet des activités photosynthétiques.

On constate également une assez forte ressemblance entre les cycles annuels décrits par Minas (1973) et nos propres observations. Les maximums et minimums semblent cependant un peu plus précoces en 1978 qu'en 1965-69 (ils étaient alors le plus souvent situés respectivement au printemps et en septembre-octobre, parfois même en novembre).

pH de l'étang de Vaine

Les valeurs du pH des stations 8, 9 et 10, variant de 7,8 à 8,8 ne sont pas éloignées de celles de l'étang de Berre. Elles présentent un cycle saisonnier assez net.

On constate sur la figure 3C que les valeurs mesurées à la station 8 sont souvent légèrement plus élevées que celles des stations 9 et 10. Cette différence apparaît aussi grâce aux moyennes qui s'élèvent respectivement à 8,44, 8,35 et 8,35 aux stations 8, 9 et 10. Ce décalage des variations a probablement son origine dans l'influence du mistral, vent dominant de NW, qui agit plus fortement sur les stations 9 et 10 que sur la station 8. La turbulence verticale résultant de cette influence abaisse le pH par mélange des eaux de surface avec les eaux sous-jacentes plus acides.

pH des eaux douces

Le tableau ci-dessous montre les valeurs extrêmes

et moyennes générales du pH des eaux, mesurées dans les 4 cours d'eau afférents au cours des deux années.

Les valeurs des cours d'eau afférents sont plutôt faibles par rapport à celles de l'étang de Berre.

Les valeurs concernant la Durance sont presque toujours les plus élevées tandis que celles de la Durançole sont relativement faibles par rapport aux autres cours d'eau. Les valeurs des stations 4 et 7 (Touloubre et Arc) sont comparables, bien que le pH de la Touloubre dépasse le plus souvent celui de l'Arc.

Il faut remarquer que la valeur maximale (8,4) observée dans la Durance, au mois de septembre 1978, correspond au débit minimal de la dérivation et par conséquent à une élévation de la salinité au point de mesure.

Il n'apparaît aucune variation saisonnière des valeurs du pH des 4 cours d'eau afférents.

Il n'existe que très peu de données antérieures sur les eaux étudiées. Minas (1961) a mesuré, en décembre 1960, 8,20 dans l'Arc et 8,22 dans la Touloubre; et, en janvier 1961: 8,02 dans la Durançole. Ces valeurs isolées sont plutôt un peu plus élevées que les résultats présentés ici. Au contraire, la valeur de 7,6 citée par Kiener (1978) pour la Durançole, est relativement basse, mais confirme le faiblesse particulière du pH de cette rivière.

pH de l'eau de mer

Golfe de Fos (Station II): les valeurs du pH dans

le golfe de Fos (station II) oscillent entre 7, 9 et 8, 4, mais la plupart se situent autour de 8, 1 et 8, 2 autour d'une moyenne pondérée de 8, 13 et sont très voisines de celles de la station 1. Pourtant les valeurs mesurées en surface sont souvent analogues à celles de l'étang de Berre.

Il n'apparaît pas de variations saisonnières bien définies et les valeurs ne diminuent guère de 0 à 7 m, sauf lors des dessalures très accentuées observées en juin-juillet 1978.

Aucune mesure antérieure du pH n'avait été faite dans le golfe de Fos.

Pelletier et Lebel (1980) ont mesuré les valeurs de pH dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et constaté qu'elles sont d'autant plus faibles que celles de la salinité sont plus fortes et les eaux plus proches du fond. Toutes ces observations correspondent également aux résultats obtenus dans le golfe de Fos pendant l'étude présente.

Carry-le-Rouet (Station I): les valeurs de pH dans les parages de Carry-le-Rouet varient seulement entre 7, 9 et 8, 2 sauf exceptions (en surface et à 4m, 6 juin 1978). La plupart des données se groupent autour de 8,1, valeur typique du milieu marin.

La valeur la plus élevée (8, 6 en surface, 6 juin 1978) a été observée lors d'une forte dilution d'origine rhodanienne. A ce moment-là, la grande abondance du phytoplancton (nombre de cellules $3,57 \times 10^7 \text{ l}^{-1}$; chlorophylle a, 47, 01 $\mu\text{g.l}^{-1}$) a certainement contribué à élever la valeur du pH.

Au contraire, lors de la grande pauvreté du phytoplancton (1000 à 5000 cell.l^{-1} ; 0 à 0,3 $\mu\text{g chl. a.l}^{-1}$);

la valeur du pH est de 7, 9 seulement (1^{er} septembre 1977).

Discussion et conclusions

Les variations du pH dans l'étang de Berre sont relativement importantes, temporellement et verticalement, en comparaison de celles des eaux douces et de l'eau de mer; dans l'ensemble, les valeurs obtenues dans les eaux saumâtres sont plus fortes que dans les autres milieux. Cette différence est encore plus nette si l'on considère uniquement les eaux de surface, comme en témoigne la figure 5.

L'allure quasi-parabolique du graphique 1978 (celui de 1977 étant limité aux quatre derniers mois de l'année) montre assez bien la réduction du pH au Nord et au Sud de l'étang par rapport aux valeurs atteintes au centre. Cette diminution peut être attribuée dans les deux cas au mélange avec les milieux voisins de pH plus faible: d'une part, l'eau de mer qui entre par le chenal de Caronte, d'autre part les eaux douces, de pH moyen variant entre 8, 1 et 7, 8. Cette influence est cependant relativement limitée puisque la Durance, dont les apports sont de beaucoup les plus abondants, présente le pH le plus élevé et qu'en outre ces divers affluents ont un pH assez fort pour des eaux douces car elles drainent des régions essentiellement calcaires.

On constate (Fig. 5) que dans toutes les stations des divers types de milieux les valeurs de 1978 sont supérieures à celles de 1977. Certes la comparaison est délicate puisque ces dernières ne portent que sur la fin de l'année. Il est cependant intéressant de cons-

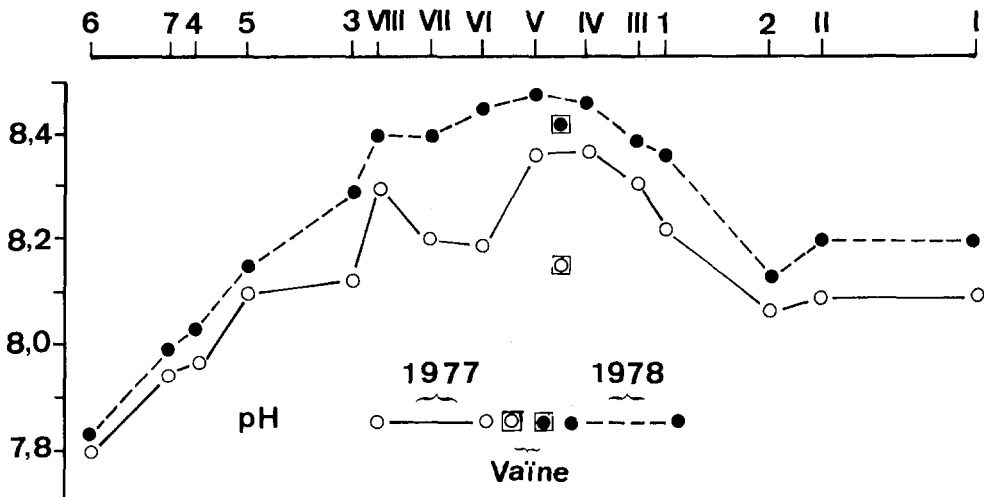


Figure 5. Valeurs moyennes du pH en surface dans la plupart des stations étudiées (en 1977: moyenne de septembre à décembre; en 1978: moyenne annuelle)

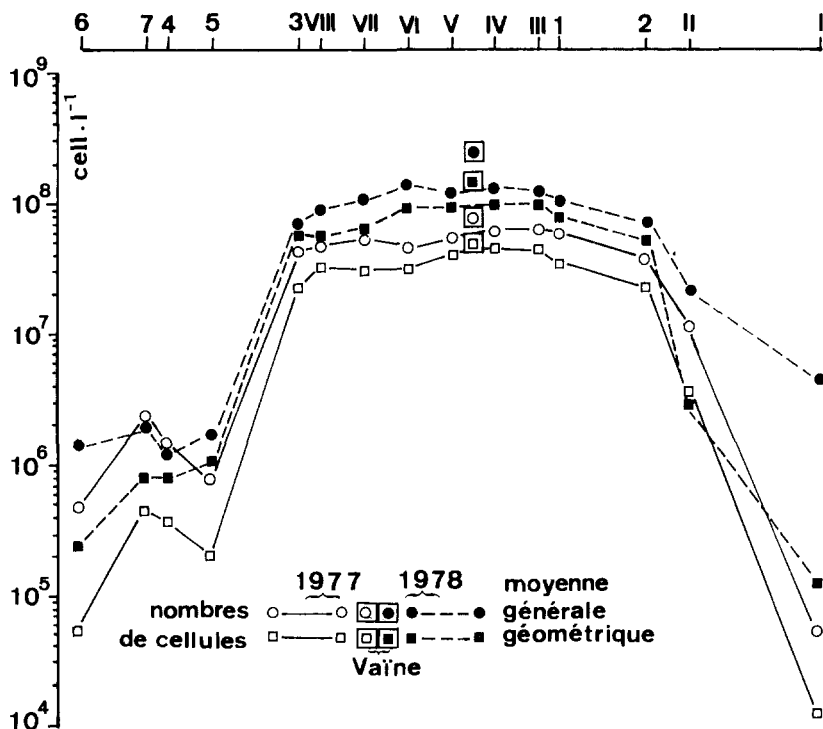


Figure 6. Densité des populations phytoplanctoniques dans la plupart des stations étudiées en 1977 et 1978 (moyennes annuelles de surface).

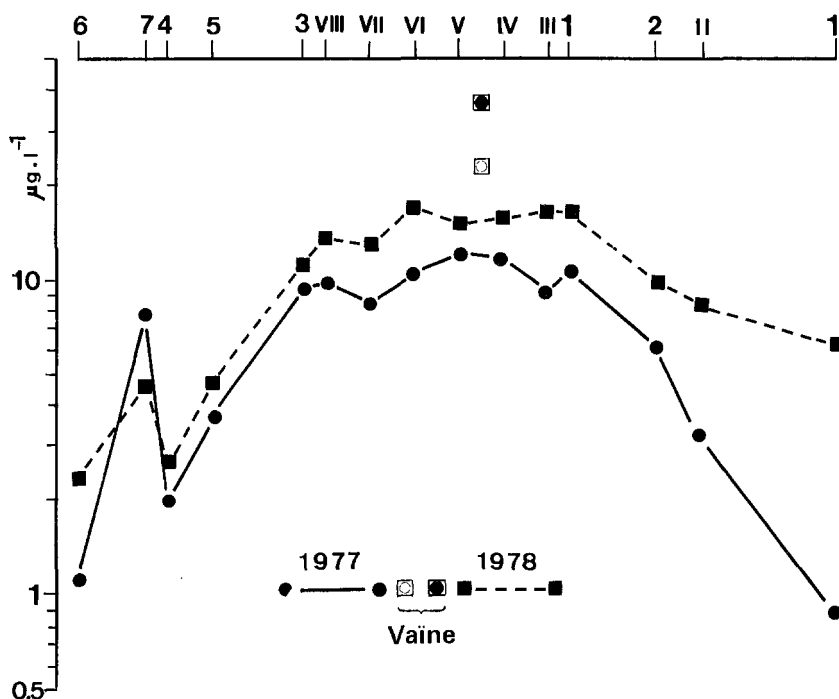


Figure 7. Teneur de l'eau en chlorophylle a dans la plupart des stations étudiées en 1977 et 1978 (moyennes annuelles de surface)

tater qu'on retrouve exactement les mêmes tendances générales, aussi bien pour les comparaisons entre milieux ou stations que pour la comparaison interannuelle, lorsqu'on observe la teneur en chlorophylle a planctonique ou la densité des populations phytoplanctoniques, évaluée par la méthode d'Utermöhl (Kim et Travers, 1984; ici même: Fig. 6 et 7). Or ces deux paramètres sont évidemment directement liés à la production phototrophe pélagique, ce qui explique cette forte corrélation positive avec les fluctuations de la valeur du pH, surtout si l'on sait que la production primaire benthique est très minoritaire dans les milieux étudiés, par rapport à la production planctonique.

Par ailleurs, on s'est rendu compte du rôle très important joué par le métabolisme gazeux dans le contrôle du pH du milieu. En l'absence de mesure directe de la teneur en CO_2 , il est intéressant d'utiliser les données concernant l'oxygène (Travers et Kim, 1986) pour comparer leur distribution à celle du pH. On observe alors (Fig. 8) une corrélation positive assez nette entre pH et oxygène dissous dans deux stations

types de l'étang de Berre.

Les mesures d'alcalinité ont été effectuées sur des échantillons d'eau prélevés aux stations IV et VII pour évaluer la quantité de CO_2 total, paramètre nécessaire au calcul de la production primaire par la méthode au carbone 14. L'alcalinité dépend de la quantité d'eau douce apportée par la dérivation de la Durance: elle montre de fortes valeurs quand la dessalure est importante et, en revanche, de plus faibles valeurs quand la salinité remonte, à partir du mois de juillet. C'est en août et septembre que les valeurs sont en effet les plus faibles à cause de la nette élévation de la salinité, du fait du fort ensoleillement et du faible débit de la dérivation. Elles se rapprochent alors de la norme habituelle en eau de mer: 2, 4 mEq.l⁻¹ (selon Margalef, 1974, e.g.)

Mais les basses valeurs constatées en juin et en août-septembre surtout dans la couche superficielle, semblent directement liées à de très importants développements phytoplanctoniques (Kim et Travers, 1984) puisant largement dans les réserves du système CO_2 . Au contraire, les valeurs élevées constatées au-

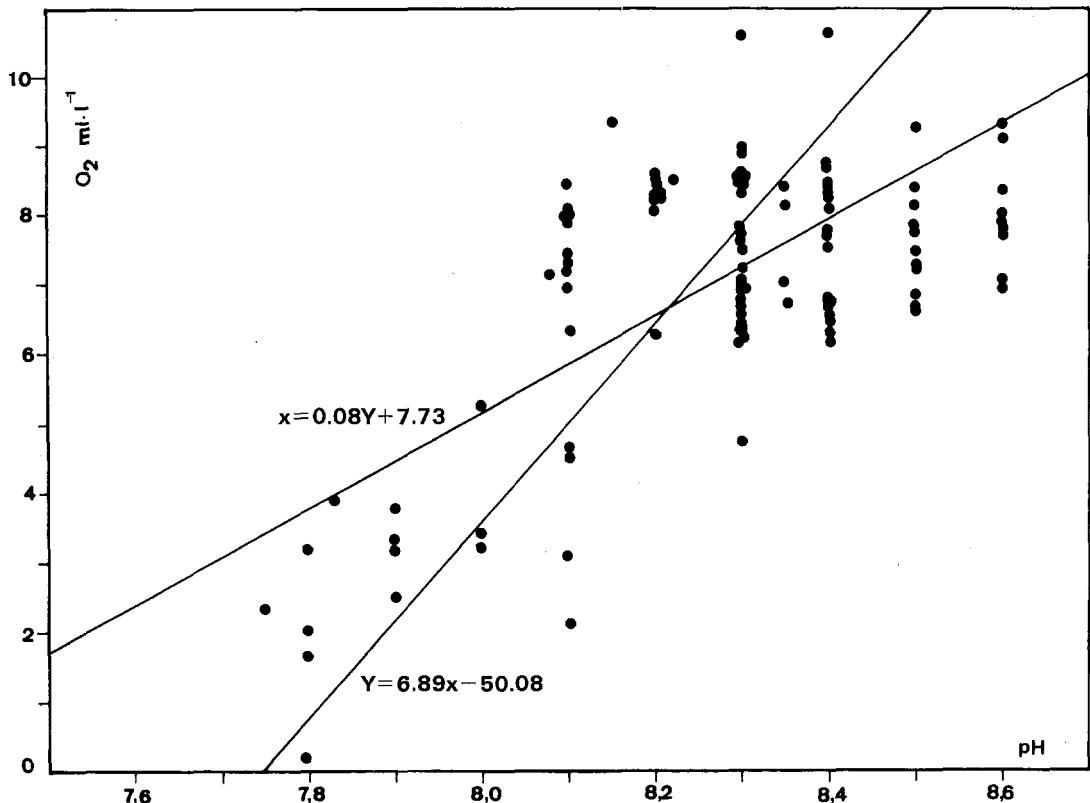


Figure 8. Relation entre pH et teneur en oxygène dissous dans les eaux saumâtres (données brutes de chaque niveau-0, 4 et 7m-des stations IV et VII de septembre 1977 à novembre 1978.

dessus du fond peuvent être consécutives aux intensités processus de dégradation de la matière organique.

Références

- Kiener A., 1978. Ecologie, physiologie et économie des eaux saumâtres. Masson, Paris: 220p.
- Kim K.-T. 1979. Contribution à l'étude de l'écosystème pélagique dans les parages de Carry-le-Rouet (Méditerranée nord-occidentale) 1. Caractères physiques et chimiques du milieu. *Téthys* 9(2) : 149–165.
- Kim K.-T., 1982. La température des eaux des étangs de Berre et de Vaïne en relation avec celle des cours d'eau afférents et du milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale). *Ibid.*, 10(4) : 291–302.
- Kim K.-T., 1983. Production primaire pélagique de l'étang de Berre en 1977 et 1978. Comparaison avec le milieu marin (Méditerranée nord-occidentale). *Mar. Biol.*, 73(3) : 325–341.
- Kim K.-T., Travers M., 1984. Le phytoplancton des étangs de Berre et Vaïne (Méditerranée nord-occidentale). *Int Revue ges. Hydrobiol.*, 69(3) : 361–388.
- Kim K.-T., Travers M., 1987. La salinité et la densité des eaux des étangs de Berre et de Vaïne (Méditerranée nord-occidentale). Relations avec celles des cours d'eau afférents et du milieu marin voisin. *Mar. Nat.*, 1(1);37–58.
- Margalef R., 1974. *Ecologica*. Omega, Barcelona. 951 p.
- Minas H. J., 1961. Etude comparée de quelques facteurs physicochimiques des eaux portuaires et des eaux du golfe de Marseille. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume.*, 34(Bull. 21) : 5–58.
- Minas M., 1973. Sur la synthèse et la dégradation de la matière organique dans l'écosystème de l'étang de Berre. Dynamique et bilans. Rapports avec le régime hydrologique. Univ. Aix-Marseille, Thèse Doct. Etat, 1–339.
- Morris A. W., 1978. Chemical processes in estuaries: the importance of pH and its variability, p. 179–187 in: Krumbein W. E., ed., *Environmental biogeochemistry and geomicrobiology*. Ann Arbor Science, Ann. Arbor: 1055p.
- Pellatier E., Lebel J., 1980. La mesure du pH en milieu estuarien sur l'échelle NBS. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37 : 703–706.
- Raymont J. E. G., Adams M. N. E., 1958. Studies on the mass culture of *Haemodactylum*. *Limnol. Oceanogr.*, 3(2) : 119–136.
- Travers M., Kim K.-T., 1986. L'oxygène dissous dans une lagune eutrophisée à salinité variable (Etang de Berre; Méditerranée nord-occidentale) et dans les eaux douces et marines adjacentes. *J. oceanol. Soc. Korea*, 21(4), 211–228.
- Wattenberg, 1930. Über die Bestimmung der Alkalinität des Meerwassers. *Ann. Hydrogr. marit. Meteorol. Jahrg.*, 58 : 227–282.

This article was presented by professor M. Travers.
It was accepted for printing on 1 September 1990.