

# UN MODELE INTERESSANT : LES ETANGS SAUMATRES DE BERRE ET VAIN (MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE) L'HYDROLOGIE, LE PHYTOPLANCTON ET LA PRODUCTION

Ki-Tai KIM<sup>1)</sup> et Marc TRAVERS<sup>2)</sup>

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

2) Station Marine d'Endoume, Rue de la Batterie-des-Lions 13007 Marseille, France

---

**ABSTRACT:** From December 1976 to December 1978 hydrological and planktonical researches, measurements of primary production and photosynthetic efficiency have been carried out in two brackish lakes: Etang de Berre and Etang de Vaine located in the north-west Mediterranean Sea and in the region of Carry-le-Rouet, about 25km East of the Estuary of the River Rhône near Marseilles.

Physico-chemical and biological parameters were measured for this study: climatical parameters, water temperature, salinity, density, pH, alcalinity, dissolved oxygen (% saturation), phosphate, nitrate, nitrite, silicate, photosynthetic pigments, phaeopigments, specific composition and biomass of phytoplankton, primary pelagic production etc. This note is to be related with more detailed and specific ones yet published or to be published in this review or elsewhere. It presents general characters of environments and methods, as well as the main results obtained.

---

## 1. Présentation générale\*

L'étang de Berre, relié au golfe de Fos par l'étroit canal de Caronte, se trouve à proximité de Marseille et de l'embouchure du fleuve Rhône, à peu près à mi-longueur de la côte française méditerranéenne. (Fig. 1)

Depuis mars 1966, une grande partie des eaux de la Durance, important affluent du Rhône, se déversent dans l'étang de Berre par le canal d'une usine hydro-électrique (E. D. F.), près de Saint-Chamas, sur la rive nord de l'étang. Par suite de cette dérivation, les caractères (stables) de l'écosystème (Chevalier, 1916; Schachter, 1952 et 1954; Nisbet *et al.*, 1958; Nisbet et Schachter, 1961; H. J. Minas, 1961; M. Minas, 1965) ont été peu à peu modifiés, pour aboutir à un changement complet du milieu. Aujourd'hui, les conditions demeurent très instables. Dans l'étang de

Berre, qui pouvait jadis être considéré comme une partie presque isolée de la mer Méditerranée, l'influence de cette modification du milieu a eu très rapidement des conséquences considérables.

En ce qui concerne les facteurs écologiques principaux, les étangs de Berre et Vaine sont des milieux saumâtres qui subissent diverses influences naturelles ou artificielles.

Les principaux facteurs sont les suivants:

— Apports d'eaux douces: Ils sont essentiellement ceux de la Durance, de l'Arc, de la Durance et de la Touloubre. Le débit de la dérivation de l'usine hydro-électrique d'E. D. F. atteint 300m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup> pendant la saison humide; le milieu est alors extrêmement des-salé. Au contraire, en saison sèche, il peut être nul; l'évaporation n'étant plus alors compensée par les apports d'eau douce, la salinité des eaux de l'étang s'élève.

---

\* Le présent article est à relier, pour les compléter, aux diverses publications parues ou à paraître sous le nom des mêmes auteurs sur les sujets évoqués ici: Kim (1979, 1980 a, b, 1981, 1982 a, b, 1983, 1988); Kim et Travers (1983, 1984, 1985 a, b, c, d, 1990); Travers et Kim (1985 a, b, 1986, 1988 a, b, 1990) etc.

— Le canal de Caronte, reliant l'étang à la mer, permet la formation de courants de marée, alternés quatre fois par jour, qui activent les échanges d'eaux saumâtres et marines. Le passage de gros navires peut également jouer un rôle dans le mélange des eaux.

— Mistral et Vent d'Est: les vents fréquents et souvent forts peuvent rapidement homogénéiser le milieu. En outre ils peuvent remettre en suspension les particules déposées sur le fond et permettre à une partie d'entre elles de quitter l'étang.

— Communication avec l'étang de Vaïne: il n'y a guère de courants permanents dans l'étang de Vaïne, ce qui lui permet d'être beaucoup plus riche en phytoplancton que l'étang de Berre et d'être une sorte de fournisseur de ce dernier, à cet égard.

— Pollutions: l'abondance des industries, en particulier pétrolières, le passage des bateaux, les rejets thermiques et les pollutions agricoles apportées par les eaux de ruissellement, et les déversements d'eaux usées des nombreuses agglomérations urbaines qui entourent l'étang, constituent autant de sources de pollutions de toutes natures qui ont une grande influence sur la vie dans l'étang.

D'un point de vue hydrologique, on constate que l'étang de Berre présente les caractères d'un milieu saumâtre, variant selon les lieux et les profondeurs, mais toujours intermédiaires entre ceux de l'eau douce et ceux de l'eau de mer.

La salinité de l'étang de Berre, auparavant assez réduite, s'est accrue de plus en plus au cours du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle à la suite des élargissements et approfondissements successifs du canal de Caronte (Villeneuve, 1821-1829; Collot, 1882; Chevalier, 1917; Mars, 1961; Minas, 1973). L'étang montrait alors des caractères de plus en plus proches de ceux d'un écosystème néritique marin.

L'hydrologie de l'étang de Berre a déjà fait l'objet de nombreuses études: Villeneuve (1825), Gourret (1902), Chevalier (1916), Schachter (1952, 1954), Nisbet *et al.* (1958), Nisbet et Schachter (1961), H. J. Minas (1961), M. Minas (1965a, 1968, 1970, 1974, 1976 a, b, c), Bourgoïn (1966), Febvre et Mars (1966) Blanc *et al.* (1967), Kiener et Longuemare (1967, 1968), Kerambrun et Szeikielda (1969), Kiener (1969). Parmi ces auteurs, Blanc *et al.* (1967), puis Minas (1973) ont étudié en même temps la production primaire.

Les travaux sur l'hydrologie et la production primaire de l'étang de Berre effectués par M. Minas, pendant la période s'étendant de mai 1965 à octobre 1969, sont particulièrement intéressants par leur am-

pleur et par le fait qu'ils ont commencé avant la dérivation d'eau douce dans l'étang de Berre et se sont poursuivis après celle-ci.

Actuellement l'écosystème de l'étang se caractérise par des variations spatio-temporelles liées à l'abondance du déversement de la Durance ainsi qu'à l'influence des eaux marines dans les eaux proches du fond de la partie sud de l'étang.

Les caractéristiques hydrologiques des eaux peuvent être soit homogènes, soit hétérogènes en fonction des facteurs météorologiques et des courants. En voici quelques exemples typiques. La répartition verticale de la température des eaux est parfois hétérogène, à cause des eaux relativement froides de la Durance, en provenance des Alpes, montagnes très élevées. L'influence du vent puissant (mistral) et des marées, dont les effets parviennent à l'étang par le canal de Caronte, joue temporairement un grand rôle en provoquant, soit un mélange horizontal des milieux sous l'effet d'un courant temporaire, soit un brassage vertical des milieux. Selon la valeur de la salinité, on peut souvent distinguer en surface des couches oligohalines (0,5-3 ‰) ou éventuellement méiomésahalines (3-10 ‰) et, près des fonds, des couches pléiomésahalines (10-18 ‰) voire polyhalines (18-30 ‰). D'autre part, selon la teneur en oxygène dissous, on peut différencier des eaux suroxygénées (jusqu'à plus de 150% de saturation) et des eaux sous-saturées pouvant même être anoxiques: au-delà de 5m de profondeur dans l'étang de Berre, il n'y a généralement pas assez d'oxygène pour la vie du macrobenthos aérobie (en général, quasi-anoxie).

Les eaux des étangs de Berre et de Vaïne constituent des milieux très particuliers, autrefois presque marins, mais en ce moment, extrêmement dessalés. Ces milieux sont exposés à des pollutions industrielles complexes: eaux usées des raffineries de pétrole de Berre et de la Mède, pollutions variées dues aux usines de Rognac, Vitrolles et Marignane. Ces étangs reçoivent aussi des canaux agricoles et des pollutions urbaines venant de villes toutes proches comme Martigues, Istres, Saint-Chamas, Berre, Marignane etc., ou de villes plus éloignées dont les rejets, plus ou moins traités, sont convoyés par la Touloubre (Salon-de-Provence, Miramas) ou par l'Arc (Aix-en-Provence, Gardanne, etc.)

Les organismes qui vivent ou ont vécu dans l'étang de Berre sont très inégalement connus. Les peuplements benthiques ont fait l'objet de travaux relativement plus nombreux que les autres, et ceci bien avant la dérivation de la Durance (benthos végétal: Gourret,

1902; Huvé et Huvé, 1954; Huvé, 1960, etc.; benthos animal: Marion, 1887b; Gourret, 1901; Mars, 1948, 1966; Ezzat, 1964; Ledoyer, 1962, 1966, 1968).

Après la dérivation du canal de la Durance (1966), les populations benthiques de l'étang de Berre ont régressé brutalement, à cause de l'abaissement de la salinité, des excès de matières organiques et des phénomènes d'anoxie qu'ils entraînent. Riouall (1970) et Huvé *et al.* (1973) ont constaté de profonds remaniements et appauvrissements des peuplements algaux, ainsi qu'une forte régression des herbiers de phanérogames. La régression des peuplements benthiques est telle qu'elle a abouti actuellement à l'absence totale de tout macrobenthos animal ou végétal au delà de 4 ou 5m de profondeur (Febvre, 1968; Kerambrun et Szekielda, 1969; Kerambrun, 1970; Bellan et Stora, 1976; Stora 1976 a, b).

En ce qui concerne le pélagos animal, on ne peut guère citer que des travaux sur la faune ichtyologique (Marion, 1887 a, 1897; Gourret, 1897; Petit et Schachter, 1955; Schachter, 1960; Huvé *et al.*, 1973) et une publication consacrée aux chaetognathes (Furnest, 1948).

Le phytoplancton de l'étang de Berre n'était pas mieux connu puisqu'il avait seulement fait l'objet de quelques récoltes et identifications très limitées ou occasionnelles (Minas, 1975; Travers, comm. pers.: récoltes de 1961).

Ce phytoplancton semblait typiquement marin avant l'arrivée des eaux de la Durance. Il était intéressant de rechercher ce qu'il en était advenu à la suite de la dérivation. C'est l'objet principal du travail entrepris, et qui est donc essentiellement centré sur l'étude des peuplements phytoplanctoniques et de la production primaire de l'étang de Berre et de l'étang de Vaïne. Mais la compréhension d'un tel écosystème exige aussi la connaissance des milieux voisins dont il dépend étroitement: affluents et milieu marin. Le phytoplancton présent dans ces milieux a donc été étudié simultanément.

Cette étude du phytoplancton saumâtre, marin et dulçaquicole est basée, d'une part sur des paramètres globaux, comme les pigments photosynthétiques ou l'ATP, d'autre part sur la taxinomie des organismes.

Mais on ne peut effectuer valablement une telle étude sans avoir une bonne connaissance du milieu et notamment des facteurs écologiques susceptibles d'agir sur les populations en question.

Certes, on a vu que le milieu physique et chimique était relativement bien connu à la suite de divers travaux antérieurs. Cependant, l'évolution de ce milieu

a été et est encore si rapide et importante qu'il était nécessaire d'en mesurer les caractéristiques principales au moment même de l'étude du phytoplancton.

## 2. Stations d'étude et dates de sorties

### 2.1. Emplacement

Les prélèvements n'ont, dans un premier temps, été effectués que le long du littoral de l'étang de Berre. Puis grâce à un canot pneumatique Zodiac (3 fois) bientôt remplacé par l' "Alciope" (48 tonnes et 18m de longueur), navire océanographique du Centre d'Océanologie de Marseille, des stations situées au centre de l'étang de Berre et en mer ont pu être ajoutées.

En ce qui concerne l'étang de Berre, sa vaste superficie exigeait d'y choisir un certain nombre de stations représentatives des différents secteurs. Les emplacements de toutes les stations régulièrement occupées sont indiqués sur la figure 1.

On peut distinguer, sur le plan pratique, deux grandes catégories de stations:

— Les stations effectuées au moyen d'un navire océanographique (généralement l' "Alciope", remplacé une fois par l' "Antedon"), numérotées de I à VIII et concernant la mer et l'étang de Berre proprement dit. Ces stations, ont été visitées 33 fois en 23 mois (la première année: 2 fois environ par mois; l'année suivantes: une fois par mois).

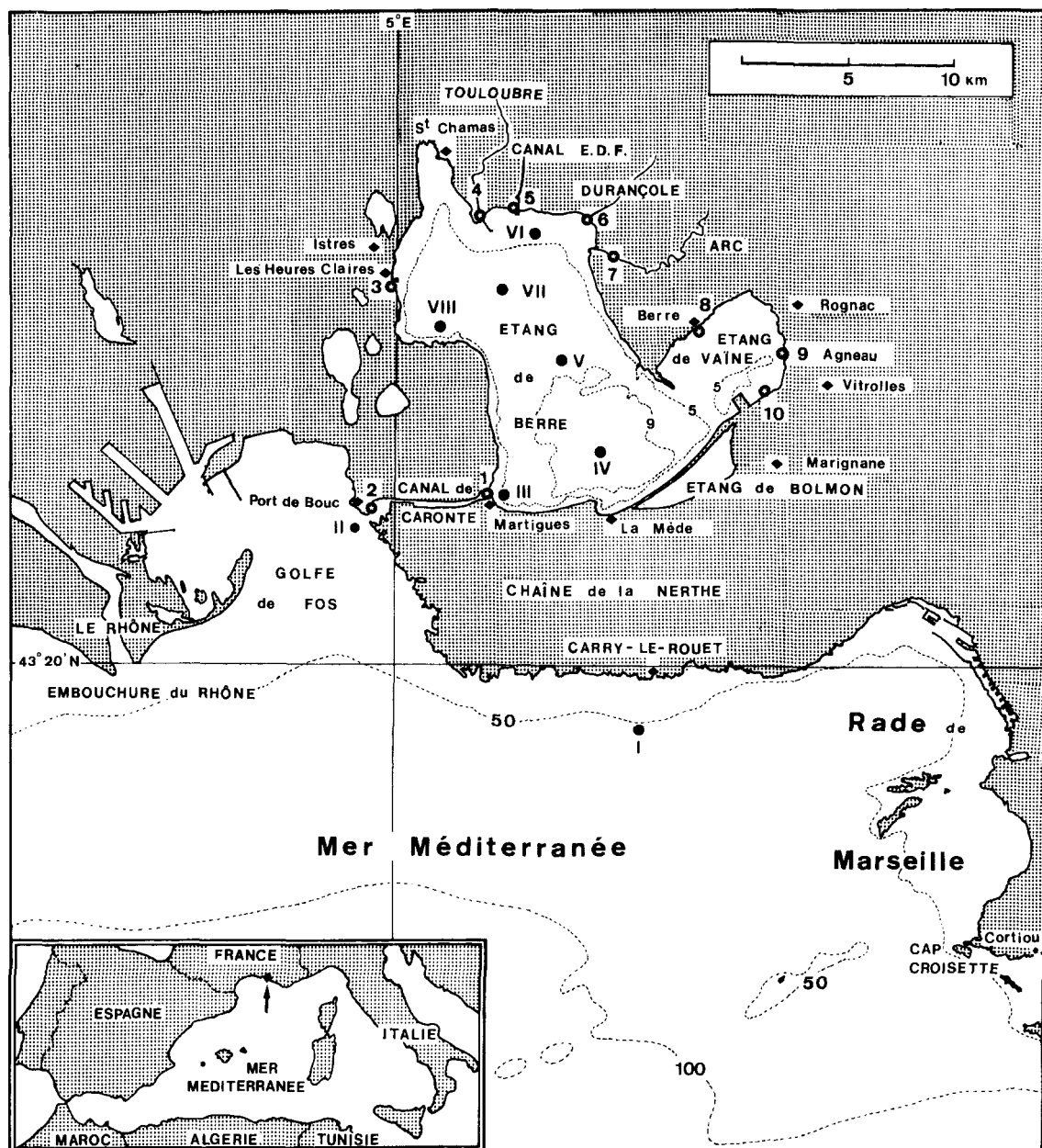
— Les stations effectuées à la côte: chenal de Caronte, étangs de Berre et de Vaïne et arrivées d'eau douce (stations 4, 5, 6 et 7), à proximité de leur débouché dans l'étang de Berre. Ces stations numérotées de 1 à 10, ont été visitées 53 fois en 24 mois (la première année: 3 ou 4 fois par mois; la seconde année: une fois par mois).

Ces stations étaient indispensables pour collecter, dans la mesure du possible, des données sur les eaux douces et l'étang de Vaïne (stations 8, 9 et 10), rendues inaccessibles par leur faible profondeur (maximum: 2m) aux navires océanographiques utilisés, et pour obtenir des données complémentaires pour l'étang de Berre (stations 1 et 3) et pour le golfe de Fos (station 2).

### 2.2. Description générale

#### *Eaux saumâtres:*

ETANG DE BERRE (Stations III-VIII et 3): La zone centrale de l'étang de Berre peut être représentée par les stations IV(moitié sud), VII(moitié nord) et V



**Figure 1.** Emplacement des stations de prélèvements. Bathymétrie, d'après la carte 2474 du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Française.

(intermédiaire) (Fig. 1). Les stations VI et VIII sont destinées à l'étude de secteurs plus directement concernés par les apports d'eaux douces. Au contraire, la station III est très proche des apports d'eau salée par le chenal de Caronte.

La station côtière 3, située au NW de l'étang de Berre, près d'Istres, au lieu dit "Les Heures Claires", est effectuée à partir de la digue d'un petit port de

plaisance. Cette station, dont les caractéristiques sont très voisines de celles de la station VIII, permet d'obtenir des informations sur l'évolution de la région nord de l'étang de Berre entre deux sorties en bateau.

L'étang de Berre est une cuvette peu profonde (maximum voisin de 10m) presque isolée de la Méditerranée. Longtemps ses eaux douces n'ont pu rejoindre cette dernière qu'au travers de zones marécageuses.

Actuellement, la communication avec la mer s'effectue sans obstacle, même pour des navires d'un tonnage relativement important. Le chenal de Caronte, long de 6km environ, qui joint Martigues à Port-de-Bouc et Lavéra, est maintenu à une profondeur d'au moins 9m sur toute sa longueur. Ce minimum est également assuré par dragage jusque dans la partie méridionale profonde de l'étang de Berre.

La partie la plus orientale de l'étang, entre Berre et Marignane, est presque isolée du Grand-Etang par des hauts-fonds ne dépassant pas 2m. On la désigne sous le nom d'étang de Vaine. Ce dernier sera, dans les pages qui suivent, considéré séparément, l'appellation "Etang de Berre" ne désignant désormais que le Grand-Etang.

Quant à l'étang de Bolmon, situé au SE de l'étang de Berre, ce n'est pratiquement plus qu'un marais, presque complètement isolé par le cordon littoral du Jaï, et qui ne sera pas étudié ici.

La baie de Saint Chamas est la partie peu profonde qui se trouve à l'extrémité NW de l'étang de Berre.

La superficie de l'étang de Berre est d'environ 130 km<sup>2</sup> (longueur de son grand axe du fond de la baie de Saint-Chamas à la Mède: 20km environ; largeur minimum, entre les stations V et VII: 6km environ). Le volume d'eau qu'il contient est voisin de  $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Sur les deux tiers de sa superficie, l'étang a une profondeur qui oscille entre 7 et 10m. Les fonds vaseux y dominent.

**CHENAL DE CARONTE (Station 1).** Il était important de placer des stations de prélèvement dans le chenal de Caronte, qui fait transition entre l'étang de Berre et la mer. En effet, les eaux dans ce chenal constituent deux couches superposées: une couche supérieure dessalée (salinité inférieure à 5‰) qui se déplace vers l'Ouest, et une couche inférieure d'eau marine, qui pénètre jusqu'à l'étang de Berre. A ces courants opposés s'ajoute l'effet de la marée semi-diurne. Celle-ci, bien que d'amplitude réduite (30cm au maximum) provoque des courants de marée modifiant sensiblement le régime des courants permanents. D'autre part, les passages fréquents de navires marchands tendent à brasser les eaux. A l'extrémité orientale du canal, la station 1 est effectuée à partir du pont principal (mobile) de Martigues sur un fond de 9m. A l'extrémité occidentale, la station 2 est située à la pointe de la jetée limitant la rade de Port-de-Bouc, à proximité de fonds de 13m.

**ETANG DE VAÏNE (Stations 8, 9, et 10):** La superficie de l'étang de Vaine est d'à peu près 25km<sup>2</sup> et sa profondeur oscille entre 3 et 5m. Il contient environ

$80 \times 10^6 \text{ m}^3$  d'eau. Généralement, l'étang de Vaine est peu agité et, du point de vue hydrologique, plus stable et moins sensible aux facteurs météorologiques que l'étang de Berre. Mais les pollutions urbaines et industrielles de Berre, Rognac et Vitrolles y sont très importantes et l'on peut considérer que l'étang de Vaine est globalement beaucoup plus pollué que l'étang de Berre.

A partir du 1<sup>er</sup> juillet 1977; des prélèvements ont été faits aux 3 stations littorales suivantes:

— station 8: sur un fond de 2 à 3m, près d'une jetée bordant la plage, au voisinage de la bibliothèque municipale de la ville de Berre. Le milieu, très abrité, est toujours calme.

— station 9: sur la plage sableuse d'Agneau, par 2m de fond environ, près d'une jetée. En l'absence de mistral, cette station montre à peu près les mêmes caractéristiques que la station 8; mais elle est plus sensible au mistral.

— station 10: sur une plage de sables et graviers, à peu près à mi-longueur du bord de l'ancienne saline, près de l'aéroport de Marignane. Faute de jetée, on a prélevé à pied à une profondeur de 40 à 50cm. Les caractéristiques de cette station sont proches de celles des deux stations précédentes.

### *Cours d'eau afférents:*

Les affluents principaux sont au nombre de 4 (stations 4, 5, 6 et 7), tous situés au NE de l'étang de Berre, tous les 5km environ.

**TOULOUBRE (Station 4):** cette rivière qui reçoit les égouts des villes de Salon, Miramas et Saint Chamas, apporte des pollutions urbaines dans l'étang de Berre. Son eau, très sale, trouble et argileuse, est très peu transparente. La profondeur de disparition du disque de Secchi n'y dépasse jamais 30cm. Le débit montre peu de variations en cours d'année.

**CANAL DE DERIVATION DE LA DURANCE (Station 5):** il constitue le plus important apport actuel d'eau douce dans l'étang de Berre. Son débit est extrêmement variable, de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  d'eau, lors des périodes sèches de l'été, à des valeurs atteignant  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La station 5 est située au bord d'un quai, à quelque 50m du débouché des eaux dans l'étang (la turbulence des eaux empêche les prélèvements au débouché même, mais en raison de la déflexion de ces eaux par une digue, elles sont très peu modifiées dans la zone plus stable où sont effectués les prélèvements).

**DURANÇOLE (Station 6):** son débit, peu variable, n'est pas connu avec précision, mais est voisin d' $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La station 6 est placée au bord d'un quai voisin

de la Durançole, là où se rencontrent les faisceaux de failles qui affectent les formations géologiques de l'anticlinal de la Fare-Saint-Chamas. On peut penser que des eaux d'infiltration circulent en profondeur

**Tableau 1:** Dates des sorties, stations visitées et conditions météorologiques

[illegible]



le long de ces failles et viennent remonter à leur intersection, dans la région de Calissane (M. Roux, comm. pers.).

ARC (Station 7): la station 7, effectuée à partir d'un pont, se trouve à 2km de l'embouchure de l'Arc, près du village de Mauran. L'eau est généralement claire et la vitesse du courant est assez élevée. Le débit est relativement variable car il dépend essentiellement des pluies, mais semble au moins égal à celui de la Touloubre.

### *Milieu marin:*

GOLFE DE FOS (Station II): de même que la station III a été placée à proximité du débouché du chenal de Caronte dans l'étang de Berre (et de la station I), une station effectuée en bateau, la station II, a été choisie dans le golfe de Fos, à seulement 500m environ de l'entrée de la rade de Port-de-Bouc (et de la station 2).

Cette station est à la fois marquée en profondeur par un caractère très marin et, au niveau de la couche superficielle, par une influence encore très importante des eaux dessalées et polluées provenant du chenal de Caronte et de l'étang de Berre.

CARRY-LE-ROUET (Station I): la station I située au large de Carry-le-Rouet, a été choisie comme témoin du milieu typique peu perturbé (Kim, 1979, 1980 a, b). Cependant, elle est située entre le golfe de Marseille et le golfe de Fos et peut donc être soumise à une certaine influence des pollutions urbaines et portuaires et à des dessalures par les eaux du Rhône et de l'étang de Berre.

### 2.3. Dates des sorties. (tableau 1)

Les dates de toutes les sorties effectuées, soit en bateau, soit sur le littoral sont indiquées dans le tableau 1.

Comme on l'a indiqué plus haut, le rythme des sorties a été plus soutenu pendant la première année que pendant la seconde, les sorties de la seconde année étant surtout destinées à confirmer les données obtenues et à compléter certains résultats.

## 3. Méthodes générales d'étude

Dans les publications consacrées à l'étude de chaque paramètre sont exposées les techniques qui lui sont spécifiques. On se bornera ici à envisager quelques méthodes qui leur sont communes.

### 3.1. Niveaux étudiés.

Seul le niveau superficiel est commun à toutes les

stations. Les profondeurs standard de 10, 25 et 50m n'ont été retenues qu'à la station de Carry-le-Rouet, nettement plus profonde que les autres (54m). Toutes les stations prospectées en bateau comportent des prélèvements et mesures à 4 et 7m, sauf la station VIII où la proximité du fond (6, 9m) a conduit à remplacer le niveau de 7m par 6, 5m et la station VI, où le fond, situé à 4, 5m environ, a limité l'étude aux niveaux de 0 et 4m. Enfin, la station 1 (pont de Martigues) comporte les niveaux de 0, 4, 7 et 9m, (toutefois, seuls les prélèvements de surface ont été exploités de façon intensive).

Ces niveaux ont été choisis, dans l'étang de Berre, de préférence aux niveaux de 0, 3 et 6m étudiés par Minas (1973), car le niveau de 4m peut être plus caractéristique du bas de la couche euphotique, à mi-chemin de la surface et du fond, et le niveau de 7m est plus représentatif des eaux proches du fond.

### 3.2. Prélèvements d'eau.

Les prélèvements d'eau ont été effectués de deux manières différentes. A 0m, on a prélevé l'eau avec un seau en matière plastique d'une contenance de 10ℓ. Les prélèvements des autres niveaux ont été effectués en une ou deux palanquées au moyen de bouteilles à renversement de type Mécaboliér, en chlorure de polyvinyle et d'une contenance de 2 ℓ. L'eau prélevée a été divisée en plusieurs fractions destinées aux diverses analyses: hydrologie, production primaire, biomasse, observations planctoniques.

Les quantités d'eau prélevées et utilisées pour l'analyse sont différentes selon les caractères du milieu: milieu marin, milieu saumâtre ou eau douce.

### 3.3. Mode de calcul de diverses moyennes

#### *Moyenne pondérée bisannuelle:*

La valeur pondérée bisannuelle d'une station (effectuée en bateau) comporte plusieurs pondérations. C'est en effet la moyenne des deux valeurs annuelles. Chacune de ces valeurs annuelles est elle-même la moyenne des 12 valeurs mensuelles, chacune de celles-ci étant la moyenne arithmétique des moyennes pondérées verticalement des résultats de chaque sortie. Cette dernière moyenne pondérée est calculée de la manière habituelle: si l'on a, par exemple 3 niveaux de prélèvement, a étant la profondeur du prélèvement le plus superficiel, b étant celle du prélèvement suivant, c celle du troisième et p la profondeur du fond (ou celle jusqu'à laquelle on pondère),



et si on appelle  $X_a$ ,  $X_b$  et  $X_c$  les valeurs du paramètre  $X$  aux niveaux  $a$ ,  $b$  et  $c$ , la valeur moyenne pondérée peut être calculée selon l'expression suivante:

$$M = \frac{1}{p} [a \cdot X_a + (b-a) \left( \frac{X_a + X_b}{2} \right) + (c-b) \left( \frac{X_b + X_c}{2} \right) + (p-c) X_c]$$

ou l'expression équivalente:

$$M = \frac{1}{p} (X_a \left( \frac{a+b}{2} \right) + X_b \left( \frac{c-a}{2} \right) + X_c \left( \frac{2p-b-c}{2} \right))$$

où:  $M$ : moyenne pondérée des résultats de chaque sortie

$P$ : 54 (station I); 14 (station II); 7 (stations de l'étang de Berre)\*

Prélèvement le plus superficiel: 0m. Prélèvements successifs: 4, 7, 10, 25 et 50m.

#### *Moyenne générale bisannuelle:*

Pour les stations 1 à 10 (effectuées à partir du littoral) qui comportent un seul niveau d'étude, il n'y a évidemment pas de pondération verticale.

Ici la valeur moyenne générale bisannuelle est la moyenne des deux valeurs annuelles (1977 et 1978). Comme dans le cas des stations I à VIII (effectuées en bateau), chacune de ces valeurs annuelles est la moyenne des 12 valeurs mensuelles, chacune de celles-ci étant la moyenne arithmétique des résultats de chaque sortie. Cependant, pour les stations 8, 9 et 10 les moyennes de janvier à juin ne concernent que 1978 (en l'absence de données pour les mêmes mois de 1977).

Ce sont les moyennes annuelles de surface qui sont utilisées dans les figures représentant la variation des paramètres tout au long de transects unissant la plupart des stations.

#### *Moyenne géométrique bisannuelle:*

Les données brutes obtenues aux divers niveaux des différentes stations en 1977 et 1978 ont parfois subi une transformation en logarithmes. Puis ces valeurs logarithmiques ont été utilisées pour calculer la moyenne pondérée (voir plus haut). Les résultats de ces calculs ont été alors transformés en leurs anti-logarithmes, afin d'obtenir la moyenne géométrique. Cette moyenne géométrique a été calculée pour divers paramètres microplanctoniques (nombre de cellules, surface cellulaire, volume total et volume plasmatique), et elle a été utilisée en comparaison avec la moyenne pondérée bisannuelle car les valeurs de

ces paramètres ont une distribution très éloignée de la normale et la normalisation est souvent obtenue de façon assez satisfaisante par transformation logarithmique.

#### 4. Résumé et principaux résultats

Le phytoplancton des étangs eutrophes de Berre et de Vaine a été étudié de façon qualitative et quantitative, en relation avec les divers facteurs écologiques du milieu. En outre, des études similaires ont été effectuées simultanément dans les milieux aquatiques voisins susceptibles d'influencer de façon importante la nature et l'écologie du phytoplancton des étangs, c'est-à-dire le milieu marin proche et les principaux affluents d'eau douce: canal de dérivation de la Durance, Touloubre, Arc et Durançole.

L'étude du milieu a pris en compte les principaux facteurs physiques et chimiques suivants: vents, précipitations, débit des cours d'eau, ensoleillement, évaporation, transparence (Secchi), poids sestonique, température, salinité, densité, oxygène dissous, pH, alcalinité, phosphates, nitrates, nitrites et silicates dissous. La connaissance de ces paramètres devait surtout permettre la compréhension de l'écologie du phytoplancton, mais a également permis, soit de confirmer dans une large mesure les résultats de travaux antérieurs, soit de constater des changements notables, en particulier l'abaissement accru de la salinité des étangs (habituellement 3‰, mais pouvant remonter jusqu'à 15‰ quand le débit de la dérivation EDF de la Durance est très réduit), soit encore d'apporter les premières données sur certains paramètres: pH (relativement élevé) et teneur en silicates (très forte) des étangs; la plupart des paramètres mesurés dans les quatre cours d'eau afférents.

Le phytoplancton a été étudié par la méthode d'Utermöhl pour obtenir de bonnes évaluations quantitatives et reconnaître les principales algues du phytoplancton. Elle a permis d'identifier dans l'ensemble des milieux environ 320 taxons si l'on exclut ceux qui n'ont pu être déterminés avec précision jusqu'à l'espèce. 182 espèces ou taxons infraspécifiques ont été reconnus dans les étangs de Berre et Vaine, 123 dans les cours d'eau (Arc: 79; Touloubre; 72; Durance: 63; Durançole: 32), 125 à la station du golfe de Fos et 134 près de Carry-le-Rouet.

Les groupes dominant en nombre sont les Diatomées en eau douce ou marine, et en eau saumâtre

\* Les caractéristiques de la répartition spatiale et temporelle des teneurs étant très semblables dans les diverses stations de l'étang, certains traitements, comme les calculs de moyennes pondérées, n'ont été effectués que pour les stations VII et IV, respectivement considérées comme des stations types du Nord et du Sud de l'étang.

les Cyanophycées. Le phytoplancton des eaux saumâtres est constitué d'espèces dulçaquicoles mais ce ne sont généralement pas des espèces très abondantes dans les affluents de l'étang de Berre.

La densité des populations atteint en moyenne  $100 \cdot 10^6$  cellules par litre dans l'étang de Berre, deux fois plus dans l'étang de Vaïne, 100 fois moins dans les eaux douces et 300 fois moins dans le milieu marin.

Ces différences considérables entre milieux demeurent, mais s'atténuent sensiblement si l'on remplace les nombres de cellules par la surface cellulaire, le volume cellulaire total ou le volume plasmique, qui ont été évalués pour tous les organismes reconnus. En effet, les espèces dominantes dans les étangs, chlorophycées en particulier, ont en général des dimensions très inférieures à celles des Diatomées qui prédominent dans les eaux douces ou marines. D'autre part, les schémas de variations saisonnières se trouvent un peu modifiés par les recours aux biovolumes.

L'abondance du phytoplancton diffère assez peu d'un niveau bathymétrique à l'autre ou d'une station à l'autre. Elle varie davantage dans le temps, avec une phase hivernale pauvre suivie d'une poussée plus ou moins marquée, une floraison plus durable au printemps et un second semestre un peu plus pauvre mais présentant diverses poussées brèves ou localisées.

La biomasse du phytoplancton a aussi été estimée par des dosages fluorimétriques et spectrophotométriques de pigments chlorophylliens: chlorophylle *a* ("fonctionnelle" ou non), *b*,  $c_1 + c_2$ , phéopigments. Les résultats ont globalement confirmé et précisé ceux des autres méthodes. On trouve, en moyenne 12, 27  $\mu\text{g chl. a. l}^{-1}$  dans l'étang de Berre; 31, 44 dans l'étang de Vaïne; 6, 24 dans l'Arc; 4, 33 dans la dérivation de la Durance; 2, 29 dans la Touloubre; 1, 74 dans la Durançole; 7, 94 dans le golfe de Fos à Port-de-Bouc; et seulement 0, 59 près de Carry-le-Rouet.

Les teneurs importantes en chlorophylle *b* correspondent bien aux poussées de Chlorophycées et Cryptophycées. La proportion de phéopigments est faible dans les eaux saumâtres, mais notable dans l'Arc et la Durançole, et très forte dans la Touloubre.

Les évaluations de carbone organique ou de matière sèche phytoplanctoniques déduites des données de volume plasmique et de chlorophylle *a* concordent assez bien, celles issues des dosages d'ATP leur sont nettement inférieures dans les eaux douces et saumâtres.

La production primaire, estimée par fixation de  $^{14}\text{C}$  de décembre 1977 à novembre 1978, varie beaucoup au cours de l'année et selon les niveaux dans l'étang de Berre: en moyenne  $217 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  à 0m, 40 à 4m et seulement 11 à 7m.

L'assimilation totale dans la colonne d'eau varie au cours de l'année de 240 à  $2310 \text{ mg C. m}^{-2}$ , autour d'une moyenne de 810 ce qui correspond à  $290 \text{ g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$  ou environ 4500 t C pour tout l'étang de Berre.

Les estimations de production primaire par la méthode de Ryther conduisent à  $210 \text{ g C. m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  en 1977 et 285 en 1978 dans l'étang de Berre, contre 80 et 145 respectivement au voisinage de Carry-le-Rouet.

Les étangs, et plus encore l'étang de Vaïne que l'étang de Berre, produisent en toute saison une importante biomasse phytoplanctonique grâce aux nutriments apportés par les eaux douces, l'élément le plus souvent limitant semblant être le phosphore. Mais elle ne se renouvelle pas très vite et la productivité n'est pas aussi élevée qu'on pourrait l'attendre. Outre la limitation en minéraux, due à la dilution, à la dérive vers la mer ou à une certaine accumulation au niveau des fonds, l'assimilation chlorophyllienne se trouve limitée en profondeur par la très grande abondance du ce tripton apporté par les eaux douces.

## Références

- BELLAN G., STORA G., 1976. Effets et conséquences d'un apport artificiel d'eaux douces sur les peuplements benthiques d'un étang marin. *III<sup>es</sup> journées Etude Pollutions, Split*, C. I. E. S. M.: 147 – 152.
- BLANC F., COSTE B., MINAS H. J., SZEKIELDA K. H., 1967. Distribution et corrélations des principaux facteurs hydrobiologiques dans un milieu de forte production organique (Etang de Berre) *Mar. Biol.* 1(1): 43–55.
- BOURGOIN J., 1966. Etang de Berre, oscillation du plan d'eau et variations du niveau moyen. *Cah. océanogr.* 18(2): 95–122.
- CHEVALIER A., 1916. L'étang de Berre. *Ann. Inst. océanogr.* 7(4): 1–91.
- COLLOT L., 1882. Histoire quaternaire et moderne de l'étang de Berre. *Bull. soc. géol. Fr.*, (sér. 3) 10: 333.
- EZZAT A., 1964. Contribution à l'étude de la biologie des Mugilidae de l'étang de Berre. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume.* 47(Bull. 31): 359–365.

- FEBVRE J., 1968. Etude bionomique des substrats meubles de l'étang de Berre. *Ibid.* 60(Bull. 44) : 297–355.
- FEBVRE J., MARS P., 1966. Données nouvelles sur l'hydrologie de l'étang de Berre. *Ibid.*, 57(Bull. 41) : 17–23.
- FURNESTIN J., 1948. Observations sur le sprat (*Clupea sprattus* L.) des côtes méridionales de France. *Rev. Trav. Off. sci. Pêches maritimes.*, 16, Fasc. 1–4, n° 53–56 : 38–69.
- GOURRET P., 1897. Les étangs saumâtres du midi de la France et leurs pêcheries. *Ann. Mus. Hist. nat. Marseille* 5 : 1–383.
- GOURRET P., 1901. Sur la faune carcinologique de l'étang de Berre. *C. R. Ass. Franc. Avanc. Sci.*, 29(2) : 735–740.
- GOURRET P., 1902. Topographie et flore de l'étang de Berre et de ses dépendances (courant, densité, végétation, profondeur, distribution et rôle des algues et des naïdacées). *Ibid.*, 30(2) : 993–1013.
- HUVE H., 1960. Sur l'envahissement récent d'une portion de l'étang de Berre (étang de Vaïne) par une espèce du genre *Spermothamnion*. *Rapp. Comm. int. Explor. mer médit.*, 15(2) : 141–145.
- HUVE P., HUVE H., 1954. Zonation superficielle des côtes rocheuses de l'étang de Berre et comparaison avec celles du golfe de Marseille (de Carry à Sausset). *Vie Milieu*, 5(3) : 330–364.
- HUVE H., KIENER A., RIOUALL R., 1973. Modifications de la flore et des populations ichtyologiques des étangs de Berre et de Vaïne (Bouches-du-Rhône) en fonction des conditions hydrologiques créées par le déversement de la Durance. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 33 : 123–134 (annexes).
- KERAMBRUN P., 1970. Remplacement de *Sphaeroma serratum* par *S. hookeri* dans l'étang de Berre par suite de la dessalure. *Mar. Biol.*, 6(2) : 128–134.
- KERAMBRUN P., SKEKIELDA K. -H., 1969. Influence des modifications hydrologiques sur le peuplement de *Sphaeroma* dans l'étang de Berre. *Cah. Biol. mar.*, 10 : 301–308.
- KIENER A., LONGUEMARE R., 1967. Evolution de l'étang de Berre en fonction des grands travaux d'équipement de l'Electricité de France sur la Durance. *Houille blanche*, 5 : 507–513.
- KIENER A., 1968. 1967, une année très particulière pour l'évolution de l'étang de Berre. *Ibid.*, 8 : 725–735.
- KIM Ki-Tai, 1979. Contribution à 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 Ki-Tai, 1980. a. *Ibid.* 2. ATP, pigments phytoplanctoniques et poids sestonique. *Ibid.*, 9(3) : 215–233.
- KIM Ki-Tai, 1980. b. *Ibid.*, 3. Composition spécifique, biomasse et production du microplancton. *Téthys*, 9(4) : 317–344.
- KIM Ki-Tai, 1981. Le phytoplancton de l'étang de Berre: Composition spécifique, biomasse et production; Relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin. (Méditerranée nord-occidentale) Thèse Doctorat d'Etat Univ. Aix-marseille II : 1–474.
- KIM Ki-Tai, 1982. a. Un aspect de l'écologie de l'étang de Berre (Méditerranée nord-occidentale): les facteurs climatologiques et leur influence sur le régime hydrologique. *Bull. Musée Hist. nat. Marseille*. 42 : 51–67.
- KIM Ki-Tai, 1982. b. La température des eaux des étangs de Berre et Vaïne en relation avec celles des cours d'eau afférents et du milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale) *Téthys*, 10(4) : 291–302.
- KIM Ki-Tai, 1983. Production primaire pélagique de l'étang de Berre en 1977 et 1978. Comparaison avec le milieu marin (Méditerranée nord-occidentale). *Marine Biology*, 73(3) : 325–341.
- KIM Ki-Tai, 1988. La salinité et la densité des eaux des étangs de Berre et de Vaïne (Méditerranée nord-occidentale) relations avec les affluents et le milieu marin voisin. *Marine Nature*, 1(1) : 37–58.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1983. La transparence et la charge sestonique de l'étang de Berre (côte méditerranéenne française). Relations avec les affluents et le milieu marin voisin. *Hydrobiologia*, 107 : 75–79.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1984. Le phytoplancton des étangs de Berre et Vaïne (Méditerranée nord-occidentale) *Intern. Rev. ges. Hydrobiol.*, 69(3) : 361–388.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1985. a. Apports de l'Arc à l'étang de Berre (côte méditerranéenne française). Hydrologie, caractères physiques et chimiques. *Ecologia Mediterranea* 11(2/3) : 25–40.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1986. b. Evolution de la composition spécifique du phytoplancton de l'étang de Berre. (France). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 29(4) : 97–99.
- Kim K.-T. et TRAVERS M., 1985. c. L'étang de Berre:

- un bassin naturel de culture du phytoplancton. *Ibid.* : 101–103.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1985. d. Relation entre transparence, seston et phytoplancton en mer et en eau saumâtre. *Ibid.*, 29(9) : 151–154.
- KIM K.-T. et TRAVERS M., 1988. Importance comparée des divers groupes taxinomiques dans les inventaires du phytoplancton marin et dulçaquicole. *Marine Nature*, 1(1) : 99–101.
- KIM K.-T., Biovolume et surface cellulaire des organismes microplanctoniques de l'étang de Berre et des milieux marins voisins (Méditerranée nord-occidentale). *Ibid.* (en préparation).
- LEDOYER M., 1962. Etude de la faune vagile des herbiers superficiels et de quelques biotopes d'algues littorales. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, 39 (Bull. 25) : 117–235.
- LEDOYER M., 1966. Ecologie de la faune vagile des biotopes méditerranéens accessibles en scaphandre autonome. II. Données analytiques sur les herbiers de phanérogames. *Ibid.*, 57(Bull. 41) : 135–164.
- LEDOYER M., 1968. Ecologie de la faune vagile des biotopes méditerranéens accessibles en scaphandre autonome. IV. Synthèse de l'étude écologique. *Ibid.*, 60(Bull. 44) : 125–295.
- MARION A. F., 1887. a. Etude des étangs saumâtres de Berre (Bouches du Rhône). Faune ichthyologique. *C. R. Acad. Sci., Paris* 104 : 1306–1308.
- MARION A. F., 1887. b. Faune malacologique de l'étang de Berre. *Ibid.*, 105 : 71–73.
- MARION A. F., 1897. Port-de Bouc, étangs de Caronte, de Berre et de Bolmon. *Ann. Mus. Hist. Nat. Marseille*. 5(1) : 209–215.
- MARS P., 1948. Contribution à l'étude de l'évolution d'un étang méditerranéen. Malacologie de l'étang de Berre. *Ann. biol.*, 5(1–48)
- MARS P., 1961. Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. Univ. Paris, Thèse Doct., 1–270.
- MARS P., 1966. Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. *Vie Milieu*, Suppl. 20 : 1–359.
- 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., 1965. a. Aperçu hydrologique préliminaire sur l'étang de Berre. *Ibid.*, 53(Bull. 37) : 3–9.
- MINAS M., 1968. Quelques données hydrobiologiques sur l'étang de Berre durant la période postestivale. *Ibid.*, 60(Bull. 44) : 5–12.
- MINAS M., 1970. Résultats d'observations hydrologiques sur l'étang de Berre (années 1965, 1966, 1967). Modification du régime hydrologique par suite du déversement des eaux apportées par le canal de dérivation de la Durance. *Cah. océanogr.*, 22(1) : 73–88.
- MINAS M., 1974. Distribution, circulation et évolution des éléments nutritifs, en particulier du phosphore minéral, dans l'étang de Berre. Influence des eaux duranciennes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 59(4) : 509–542.
- MINAS M., 1976. a. Production organique primaire dans un milieu saumâtre eutrophe (Etang de Berre). Effets d'une forte dilution (dérivation des eaux de la Durance). *Mar. Biol.*, 35 : 13–29.
- MINAS M., 1976. b. Evolution saisonnière de plusieurs paramètres indicateurs de la biomasse dans les eaux de l'étang de Berre et leurs relations. *Téthys*, 7(2–3) : 115–130.
- MINAS M., 1976. c. Relations entre la production photosynthétique et la pénétration de la lumière dans les eaux de l'étang de Berre. *Ibid.*, 7(2–3) : 131–136.
- 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.
- NISBET M., PETIT G., SCHACHTER D., 1958. Caractères chimiques de quelques étangs méditerranéens. Considérations sur la classification des eaux saumâtres (note préliminaire). *Verh. int. Ver. Limnol.*, 13 : 672–675.
- NISBET M., SCHACHTER D., 1961. Constituants des eaux de quelques étangs littoraux. *Bull. Inst. océanogr.* Monaco, n 1207 : 1–45.
- PETIT G., SCHACHTER D., 1955. Notes sur l'étang de Berre et sa faune ichtyologique. *Ibid.*, n 1053 : 1–9.
- RIOUALL R., 1970. Evolution de la flore benthique des étangs de Berre et de Vaïne (Bouches-du-Rhône) de 1971 à 1975. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 37 : 141–147.
- SCHACHTER D., 1952. A propos d'une pollution accidentelle de l'étang de Berre provoquée par un déversement massif d'hydrocarbures. Rapp. Comm. int. Explor. sci. Mer Médit. 12 : 251–256.
- SCHACHTER D., 1954. Contribution à l'étude hydrographique et hydrologique de l'étang de Berre

- (Bouches-du-Rhône). *Bull. Inst. océanogr., Monaco*, 51 (1048) : 1–20.
- SCHACHTER D., 1960. Quelques données sur les caractères morphologiques et biologiques de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) de l'étang de Berre. *Ibid.* N°C 1175 : 1–23.
- STORA G., 1976. a. Evolution des peuplements benthiques d'un étang marin soumis à un effluent d'eaux douces. *Bull. Ecol.*, 7(3) : 275-282.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., 1985. a. Le phytoplancton apporté par l'Arc à l'étang de Berre (côte méditerranéenne française): dénombrements, composition spécifique, pigments et adénosine 5'triphosphate. *Ecologia Mediterranea*, 11(4) : 43–60.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., 1985. b. Comparaison entre plusieurs estimations de biomasse phytoplanctonique dans deux milieux très différents. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29(9) : 155–157.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., 1986. L'oxygène dissous dans une lagune eutrophisée à salinité variable (Etang de Berre; Méditerranée nord-occidentale) et dans eaux douces et marines adjacentes. *J. oceanol. Sci. Korea.*, 21(4) : 211–228.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., 1988. Le phytoplancton du Golfe de Fos (Méditerranée nord-occidentale). *Marine Nature*, 1(1) : 21–35.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., 1988. Caractères physiques et chimiques des étangs de Berre et Vaïne (Côte Méditerranée Française). *Ibid.*, 1(1) : 97–98.
- TRAVERS M. et KIM K.-T., Recherches sur le pH et l'alcalinité des eaux de l'étang de Berre (Méditerranée nord-occidentale) Comparaison avec celles des cours d'eau afférents et du milieu marin voisin. *Ibid.* (sous presse).
- VILLENEUVE (DE) C., 1821–1829. Statistique du département des Bouches du Rhône. 4 vol. Marseille, A. Ricard.

This article was presented by professor K. -T. Kim.  
it was accepted for printing on 1 September 1990.