

PROSPECTION ET ETUDE DES EAUX COLOREES DANS LE GOLFE DE GABES DURANT L'ETE 1992

Par

Abderrazak MASTOURI

Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et Pêche - Salammbô

ملخص

تهتم هذه الدراسة بظاهرة تلون مياه خليج قابس أثناء صائفة 1992. إلى جانب اكتشاف مياه "حمراء" شمال غرب جزيرة جربة في بداية العشرية الأخيرة من شهر أوت، وذلك نتيجة لتكاثر بعض الطحالب المجهرية السطحية بصفة مكثفة، أفضت الدراسة الحالية إلى نتائج أثبتت بروز هذه الظاهرة في ظروف خاصة تميزت بتقلص تعكر الماء واشتداد حرارة الطقس الذي أدى إلى ارتفاع ملحوظ في درجة حرارة ماء البحر، هذا بالإضافة إلى أهمية الطاقة الضوئية المتأتية من اشعة الشمس ووجود مادة الفسفور المعدني المنحل بكميات هامة في الماء وأخيرا ضعف حركة المد والجزر أثناء فترة مياه "الأموات".

RESUME

Cette étude a trait au phénomène d'eaux colorées, dans le golfe de Gabès, durant l'été 1992. Outre la prospection des tâches d'eaux rougeâtres au nord-ouest de l'île de Djerba, au début de la dernière décade du mois d'Août, elle a permis de lier ce phénomène à des efflorescences phytoplanctoniques, qui se sont traduites, dans les eaux superficielles, par d'importantes teneurs en chlorophylle a.

Les résultats acquis montrent que ce phénomène a été induit par la coexistence des conditions hydroclimatiques suivantes : une forte insolation, une élévation sensible de la température de l'eau engendrée par un temps chaud persistant, la présence d'eaux assez transparentes, l'enrichissement du milieu en phosphates inorganiques dissous et enfin l'état calme de la mer marquant la période des mortes-eaux.

Mots clés : Golfe de Gabès, eaux colorées, facteurs hydroclimatiques, chlorophylle a et efflorescences.

ABSTRACT

This work deals with the phenomenon of "red tides" in the gulf of Gabes (South Tunisia), during summer 1992.

Moreover the prospection of "red waters", in the north west sector of Djerba island, during the first of the last ten days of august, this study afford us to link "red tides" to phytoplanktonic blooms and to determinate the hydroclimatic factors that generate this phenomenon.

Key words : Gabes gulf, red waters, hydroclimatic factors, chlorophyll a and blooms.

I- INTRODUCTION

Le golfe de Gabès constitue la plus grande réserve halieutique de la Tunisie et joue un rôle essentiel dans la réoxygénation des eaux de la Méditerranée Ouest-orientale. En effet, la faible déclivité de ses fonds a permis, d'une part, le développement des végétaux photophiles sur de grandes étendues, et d'autre part, la formation d'un important courant de marée.

La présence d'une très large ceinture littorale d'herbiers des phanérogames marines et tout particulièrement de *Posidonia oceanica*, à laquelle succède une vaste prairie de l'algue verte : *Caulerpa prolifera*, a favorisé l'installation d'une multitude de frayères et nurseries, dont l'impact sur les recrutements halieutiques (poissons, crustacés, éponges et mollusques) peut être considéré comme un véritable trésor biologique (Zaouali, 1990).

Toutefois, sous l'effet de l'industrialisation que connaît son littoral, depuis 1972, et de l'usage de plus en plus accru d'engins de pêche raclant les fonds de très faibles profondeurs, le golfe se trouve menacé par des perturbations bio-écologiques de nature à mettre en péril ses potentialités halieutiques fort appréciables. Il en est résulté une situation marquée par l'importance des captures de très jeunes poissons, la baisse de la production de la crevette estimée, entre 1988 et 1989, à 37% et enfin l'effondrement des apports en soles, rougets, mérours, rascasses, corbeaux, mulets et pageots, enregistrés à Gabès de 1985 à 1989 (Mastouri, 1992).

Par ailleurs, ces perturbations se manifestent, principalement, sous forme d'une pollution chimique du milieu récepteur des rejets du phosphogypse, d'une régression continue de la limite inférieure de l'herbier à posidonies et des efflorescences phytoplanctoniques, plus ou moins, prononcées et se produisant, fréquemment, en période estivale (Le Danois, 1925 ; De Gaillande, 1970 ; Ktari et Azouz 1971 ; Dermoul, 1988 ; Hamza et Ben Maïz, 1990 ; Guillaumont, 1991 ; Maggi et al., 1990 ; Nouril et Ben Mammou, 1992).

Dans la présente étude, on se propose de prospecter, dans la frange côtière du golfe, durant l'été 1992, toute éventuelle émergence des tâches d'eaux colorées, induite par une prolifération intense du phytoplancton et de mettre en évidence les rôles respectifs à certains facteurs hydroclimatiques dans le déclenchement de cette manifestation. Les résultats y afférents serviront, également, à la constitution d'une banque des données nécessaires à toute modélisation visant la prévision de tel phénomène, suffisamment, à l'avance.

II - CADRE GEOGRAPHIQUE

Le golfe de Gabès est limité au nord par l'archipel et les hauts fonds de Kerkennah, à l'ouest et au sud par le continent et à l'est par la retombée du plateau continental, située au niveau de l'isobathe-200 m, soit à 250 km de Gabès (Figure 1).

Ses fonds de nature sablo-vaseuse sont colonisés par une faune riche en espèces appartenant, notamment, à trois groupes qui revêtent une importance quantitative. Il s'agit de l'huître perlière : *Pinctada albida*, des éponges et des échinodermes. Les fonds côtiers du golfe sont tapissés par une végétation composée, surtout, de phanérogames marines et d'algues vertes ou chlorophycées (Le Danois, 1925 ; De Gaillande, 1970 ; Ktari et Azouz, 1971).

Du point de vue hydrodynamique, le golfe est caractérisé par l'amplitude de marée la plus importante en Méditerranée et une houle assez instable, mais induisant des courants deux à cinq fois plus forts que ceux engendrés par la marée (Amari, 1984 ; Paskoff et Ooueslati, 1985). Les courants

côtiers occasionnés par le vent ou la marée sont importants pour le transport littoral de polluants. A Gabès, ces courants se dirigent vers le nord lorsque le vent souffle du secteur est et vers le sud quand celui-ci vient du nord (L.E.Andren et Hadj Ali salem, 1978).

Enfin, de par son climat méditerranéen doux à prédominance aride (Bechraoui, 1980), la région de Gabès se distingue par une pluviométrie faible (la moyenne annuelle étant de 200 mm), une grande insolation et la présence, en été, du sirocco, qui est un vent sec et chaud, d'origine continentale (Ben Othman, 1973).

III - EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONIQUES

3.1) Considérations générales

Le phénomène d'eaux colorées n'a pas manqué d'inquiéter, au fil des siècles, les observateurs, d'autant plus qu'il s'accompagne parfois de mortalités subites et massives de poissons, de coquillages et d'autres animaux. Mais ce n'est que vers la fin du 19^{ème} siècle qu'il a été, scientifiquement, interprété comme étant une pollution biologique issue d'une prolifération massive ou d'un rassemblement d'organismes unicellulaires et intéressants, le plus souvent, un secteur côtier où l'eutrophisation est importante et la circulation des eaux est déficiente (baies plus ou moins fermées, lagunes, bassins portuaires,...).

Il ressort de nombreux travaux de recherche ayant trait à ce sujet que, dans certaines conditions hydroclimatiques particulières (richesse en sels nutritifs, faible agitation de la mer, températures élevées de l'eau et de l'air, gradient de densité important,...), le phytoplancton peut se développer si intensément qu'il confère sa propre coloration à la mer. Ainsi, selon les organismes qui abondent, la mer peut se colorer surtout en jaune, marron (diatomées), vert (flagellés), et rouge (dinoflagellés, cyanophycées ou algues bleues).

Une condition presque universelle d'apparitions d'eaux colorées est le fait qu'elles se produisent à des températures élevées de l'eau et de l'air avec une mer calme, durant une longue période (Allen, 1946).

Dans les zones tempérées, les eaux colorées surgissent, souvent, de Mai à Septembre avec un maximum de fréquence de Juin à Juillet. Dans la plupart des cas, elles sont dues à des poussées de diatomées principalement et de dinoflagellés secondairement. D'autres organismes, tels que cyanophycées, bactéries, ciliés et copépodes, peuvent à des densités de l'ordre de dizaines de millions d'individus par litre, être à l'origine des colorations spectaculaires de la mer.

Certains endroits, telle que la baie de Vilaine (nord-ouest de la France), sont soumis à des floraisons phytoplanctoniques printanière et estivale perceptibles en temps calme avec des teneurs en chlorophylle a nettement supérieures à 5mg/m^3 et conduisant à une sursaturation des eaux superficielles en oxygène (Mastouri, 1986). Par ailleurs, il est à noter que la durée du phénomène dépend, étroitement des conditions météorologiques : un temps calme et chaud persistant favorise sa prolongation et aggrave ses effets néfastes possibles, dont notamment l'anoxie du milieu, l'intoxication des animaux marins (surtout les filtreurs) et la pollution organique des eaux profondes. La plupart du temps, le phénomène disparaît quand les organismes qui en sont responsables se dispersent dans les masses d'eau, sous l'action d'une certaine agitation de la mer ; ce

fut le cas des eaux brunes à *Skeletonema costatum* (diatomée), survenues en Mars 1983 et Avril 1984, dans cette baie (Maggi, 1983 ; Maggi, Mastouri et Soulard, 1984).

3.2) Historique du phénomène en Tunisie

En Tunisie, le phénomène d'eaux colorées était, particulièrement, fréquent dans le lac de Tunis qui constituait l'exutoire des zones urbaines environnantes, depuis plusieurs dizaines d'années. Il était l'aboutissement de deux processus, dont le premier était identifiable par une teinte verte correspondant à une abondance de diatomées, puis blanchâtre-laitieuse du fait de la pullulation de bactéries sulfo-réductrices, qui engendrait une anoxie et un dégagement d'hydrogène sulfuré, et enfin brune à rouge vif, lors de la prolifération de bactéries sulfo-oxydantes. Le second processus se traduisait par une teinte verte liée, également, à un développement excessif de diatomées et de flagellés verts, suivie d'une coloration brune indicatrice d'une efflorescence à dinoflagellés, dont principalement *Prorocentrum micans*.

L'arrêt, en 1983, des rejets urbains dans le lac ainsi que les travaux d'assainissement et de restauration qui s'en suivaient, ont permis le rétablissement de l'équilibre de cet écosystème et la disparition des crises dystrophiques qui y entraînaient, en période estivale, la mortalité de poissons (Heldt, 1952 ; Crouzet, 1972 ; Ktari, 1972 ; Belkhir et Hadj Ali Salem, 1981-1982 ; Aubert et Aubert, 1986).

Ce phénomène n'a pas épargné le golfe de Gabès où il y a été signalé par les pêcheurs italiens sous le nom de la "Muffa", pour désigner les masses d'eau gélatineuses blanchâtres ou brunâtres qu'ils confondaient avec les moisissures. Selon Feldmann et Fremy (1935), le développement de cette "Muffa" était surtout tributaire de l'action des sulfobactéries et de l'augmentation des teneurs en matières organiques, du fait de la décomposition de feuilles des phanérogames marines.

L'hydrodynamisme fort du golfe a fait que, le plus souvent, les nappes d'eaux colorées disparaissent au bout d'un temps relativement court et sont ainsi inaperçues et sans nuisances apparentes. Ce n'est qu'en Juillet 1988 qu'il a été possible d'observer des tâches d'eaux colorées en rouge au large de Zarzis, puis de teinte jaune-verdâtre à jaune-rougeâtre touchant de grandes étendues au large de Skhira. La pullulation d'une cyanophycée du groupe *Oscillatoria-Lyngbya* et de quelques diatomées, en était responsable (Hamza et Ben Maïz, 1990).

Plus récemment, la campagne de prospection du mois de Juillet 1990 a permis de détecter la dans le golfe, des plaques d'eaux rouges, traduisant une floraison poussée d'une cyanophycée du genre *trichodesmium* (Zaouali, 1992). Des nappes d'eaux rougeâtres, se présentant sous forme de bandes flottantes à la surface, ont été découvertes à l'ouest de l'île de Djerba, en période de mortes-eaux de la dernière décade du mois d'Août 1991 (Mastouri, 1991).

Enfin, l'été 1991 a été marqué par une crise dystrophique sévère et brusque, qui a affecté l'ensemble de la lagune de Boughrara, sous l'effet des "blooms" phytoplanctoniques plurispécifiques, très intenses. Ces derniers étaient favorisés par une stabilité des eaux, un ensoleillement important et prolongé dans le temps et un enrichissement du milieu en sels nutritifs. Il en est résulté la mortalité d'une grande partie de la faune ichtyologique de l'écosystème, y compris les poissons élevés dans des cages flottantes, du fait surtout de l'absence d'oxygène dans le milieu (Mastouri, 1991).

IV - MATERIEL ET METHODES

Les stations étudiées (Figure 1) couvrent la partie du golfe la plus exposée au phénomène d'eaux colorées, à savoir la zone comprise entre le littoral et l'isobathe - 50 m.

Les données hydrobiologiques recueillies se rapportent aux mois de Juillet, Août et Septembre 1992 et par conséquent à la période critique, où la chance de déceler ce phénomène est grande. Elles concernent la chlorophylle a, les phosphates inorganiques dissous, la température et la turbidité de l'eau. Celle-ci a été estimée de deux manières : mesure de la transparence du milieu moyennant un disque de Secchi et quantification des matières en suspension (M.E.S.), dans les eaux superficielles. Les autres paramètres ont été analysés dans la partie supérieure de la couche euphotique et plus précisément en surface et à 5 m de profondeur.

Pour les besoins de cette étude, trois campagnes de prospection et d'échantillonnage ont été réalisées à bord des vedettes relevant de la Marine Nationale.

Du point de vue analytique, les M.E.S. ont été déterminés par pesée, après récupération sur de membranes filtrantes capables de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,45 μm . Il s'agit des filtres en fibre « millipore HA » de 0,45 μm de porosité. Les filtres en microfibre de verre, de type "Whatman-GF/C", ont été utilisés pour la filtration des échantillons d'eau destinés à l'analyse de la chlorophylle a. Ce paramètre biologique a été dosé par spectrophotométrie selon la méthode de Lorenzen (1967), qui est basée sur l'extraction du pigment chlorophyllien recherché par l'acétone à 90%.

Les phosphates inorganiques dissous ont été déterminés colorimétriquement suivant la méthode de Murphy et Riley (1962), dont le principe consiste à faire réagir les ions orthophosphates avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe qui sera réduit par l'acide ascorbique, avant de mesurer son absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (F.A.O., 1975 ; Aminot et Chaussepied, 1983). Enfin, la température a été mesurée au moyen d'un thermomètre ordinaire (à mercure), gradué au 1/10 de °C.

Par ailleurs, les facteurs climatiques spécifiques à Gabès ont été étudiés par référence à l'Almanach 1993 de l'Institut National de la Météorologie. Il s'agit, essentiellement, de l'insolation, des températures (moyennes, minimales absolues et maximales absolues) et des précipitations atmosphériques (effectives et normales). Leur évolution mensuelle respective a été suivie durant toute l'année 1992. Quant à l'état de la mer, il a été décrit à la lumière de l'analyse des vents particuliers (vents de vitesse maximale et coups de sirocco), pendant la période critique. Une telle approche est nécessaire pour comprendre le comportement et le devenir des nappes d'eaux colorées.

V - RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1) Investigations de terrain

Les eaux les plus turbides ont été observées dans la partie sud du golfe, au-dessous de la latitude 34°00'N. La turbidité y est accentuée par un hydrodynamisme fort, qui permet la remise permanente du phosphogypse, déversé dans la mer, en suspension.

Un gradient croissant de turbidité était, aisément, détectable du large vers la zone des rejets du phosphogypse, située à quelques km au nord de Gabès. On n'a pas pu déceler de tel gradient lors

de la deuxième campagne qui s'est distinguée par la prospection des eaux de teinte rougeâtre à violet, au nord-ouest de l'île de Djerba et plus précisément à la station N° 8 et ses alentours, et ce malgré l'extension du réseau d'échantillonnage. Ces eaux spectaculaires sont apparues durant les mortes-eaux de la dernière décade du mois d'Août, sous forme des nappes allongées et dispersées en surface. Leur apparition a eu lieu dans des conditions climatiques marquées surtout par une mer calme et des températures ambiantes (celles de l'air relevées aux différentes stations) maximales avoisinant les 33°C (Figure 5 a). Enfin, il est à signaler qu'au cours de la troisième campagne, aucune coloration anormale d'eaux n'a été repérée, en raison de l'état agité du milieu, en particulier.

D'autre part, il est à noter que les échantillons prélevés à partir de nappes d'eaux colorées ont fait l'objet d'examen microscopiques qui ont révélé une dominance de cyanophycées du genre *Trichodesmium*. Ces algues sont connues par leur abondance dans le phytoplancton de surface du golfe, durant toute l'année. Mais à certaines périodes de l'été, en particulier, elles pullulent au point de donner naissance à des tâches d'eaux colorées en rouge ou en vert.

5.2) Données hydrobiologiques

5.2.1) Chlorophylle a (Figures 2 a, b, c et d)

En tant que pigment essentiel et spécifique du règne végétal, la chlorophylle a sert à la détermination quantitative globale de la biomasse du phytoplancton vivant. Quant aux autres chlorophylles et aux phéopigments, ils ne sont recherchés qu'occasionnellement comme indicateurs de l'état physiologique et de la composition du plancton végétal.

Les teneurs les plus élevées en chlorophylle a correspondent à la deuxième campagne. Elles concernent exceptionnellement les eaux superficielles de la station N° 8, où le pic de 31,0 mg/m³ est atteint, et secondairement celles des stations N° 3, 4, 7, 9, 17 et 18. Leur évolution spatiale en surface et à 5m de profondeur permet de distinguer trois zones (A, B et C) à forte production primaire. En effet, les teneurs en chlorophylle a y sont comprises entre 3,5 et 31,0 mg/m³ et atteignent des valeurs maximales (supérieures à 9,4 mg/m³), dans la zone intermédiaire C, située à l'ouest de l'île de Djerba.

Pour la majorité des stations, on a pu déceler un gradient décroissant de chlorophylle a entre la surface et l'isobathe -5m. Ce gradient était très net à la station N°8, avec un écart de 7,3 mg/m³, ce qui témoigne d'une forte concentration du phytoplancton dans les eaux superficielles (entre 0,0 et 0,5m) et laisse supposer une certaine diminution de l'activité photosynthétique en fonction de la profondeur, du fait de la présence de courants profonds de nature à remettre en suspension les particules du phyosphogypse déposé sur le fond et à augmenter ainsi la turbidité des eaux sous-jacentes à la partie supérieure de la couche euphotique.

Les concentrations afférentes aux première et dernière campagnes varient entre 0,4 et 5,2 mg/m³. Elles sont nettement inférieures à celles obtenues lors de la seconde campagne. Les valeurs les plus importantes ont été enregistrées aux stations n° 3,4, 5, 8 et 9. Pour ce qui est de la baisse des teneurs constatée entre les deuxième et troisième campagnes, elle est due, en grande partie, à la dilution de la biomasse phytoplanctonique dans les masses d'eau, sous l'action de l'agitation de la mer, qui devient assez forte en période de vives-eaux.

5.2.2) Turbidité (Figures 3 a et b)

La connaissance de ce facteur revêt une grande importance dans la mesure où il détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface de la mer et permet une approche de la quantité des M.E.S.

L'examen des résultats de mesures de la transparence du milieu faites au cours de la première campagne, révèle l'existence de trois zones bien distinctes (D, E et F) avec un gradient nord-sud décroissant, très net. Aux stations N° 12, 13 et 14, le disque de Secchi est à peine visible à 5m de profondeur. Le mouvement de marées, favorisant la propagation du phosphogypse dans la partie sud du golfe, est à l'origine de l'augmentation de la turbidité dans ce secteur. Les eaux les plus transparentes se trouvent au-dessus de la latitude 34°00'N et particulièrement au niveau des stations N° 2 et 7 (zone F), où le disque demeure facilement détectable jusqu'à l'isobathe -14m.

S'agissant des M.E.S. déterminées en surface, les résultats acquis montrent leur importance quantitative lors de la deuxième campagne. Leur évolution spatiale présente quatre pics très nets aux stations N° 4, 8, 12 et 16. Les quantités des M.E.S. y afférentes varient entre 44 et 73 mg/l. Les teneurs maximales rencontrées aux stations N° 8 et 9 s'élèvent respectivement à 73 et 64 mg/l.

Pour les première et troisième campagnes, les quantités des M.E.S. ne subissent pas de grandes fluctuations et sont, nettement, plus faibles que celles correspondantes à la deuxième campagne. Elles oscillent entre 22 et 36 mg/l.

A la lumière de toutes ces constatations, il s'avère judicieux de connaître la corrélation existant entre les M.E.S. et la chlorophylle a, afin de mieux comprendre la similitude marquant leurs variations spatio-temporelles respectives.

5.2.3) Phosphates (Figures 4 a et b) :

Le phosphore minéral présent dans l'eau de mer sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{3-}) joue un grand rôle dans la production phytoplanctonique. Le golfe de Gabès a la particularité de recevoir, depuis 1972, des rejets du phosphogypse qui sont à l'origine de l'enrichissement excessif de ses eaux littorales en phosphates. Les teneurs en cet élément nutritif y dépassent les 10 $\mu\text{atg/l}$ (Darmoul, 1988). Dans les conditions normales, les phosphates se trouvent dans l'eau de mer à des concentrations comprises entre 0,5 et 1,0 $\mu\text{mole/l}$ (Aminot et Chausseped, 1983).

Dans la présente étude, on constate que les teneurs les plus élevées en phosphore minéral dissous ont été obtenues à la première campagne. Aussi bien en surface qu'à 5m de profondeur, elles ont diminué à des valeurs nettement plus faibles durant la deuxième campagne. Cette diminution est très importante aux stations N°3, 4 et 8, pour lesquelles les concentrations, initialement comprises entre 2,65 et 3,00 $\mu\text{atg/l}$, ont chuté au-dessous de 1,00 $\mu\text{atg/l}$, du fait d'une consommation accrue de cet élément par les populations phytoplanctoniques présentes. Il en est résulté des teneurs maximales en chlorophylle a et donc un développement intense du phytoplancton.

Malgré cette forte consommation, les stations les plus touchées sont loin d'être épuisées en phosphates inorganiques dissous, les valeurs les plus faibles sont comprises entre 0,59 et 0,95 $\mu\text{atg/l}$, d'où l'importance de la part de cet élément issu en grande partie du phosphogypse déversé dans le golfe.

Quant à la troisième campagne, elle est marquée par une certaine remontée des concentrations. Ceci est à attribuer au fait que les conditions favorables à une consommation très importante des phosphates inorganiques dissous par le phytoplancton n'y sont pas réunies.

L'examen des variations spatio-temporelles des résultats obtenus lors de différentes campagnes permet de déceler deux pics très nets aux stations N° 5 et 13 avec des valeurs oscillant entre 4,04 et 7,42 $\mu\text{atg/l}$. La proximité de ces stations à la zone des rejets du phosphogypse explique l'importance des concentrations y afférentes. Enfin, le gradient surface - isobathe -5m n'est pas significatif pour l'ensemble des stations, ce qui laisse supposer une répartition homogène du phosphore minéral aux niveaux et dans la zone d'étude.

5.2.4) Température (Figures 5a et b)

Chaque espèce phytoplanctonique a une température optimale de développement, d'où l'intérêt que revêt la connaissance de ce paramètre pour comprendre les mécanismes aboutissant à tout phénomène d'eaux colorées.

L'analyse des résultats acquis durant la deuxième campagne indique que les températures de l'eau varient entre 27,0 et 29,9°C avec un écart n'excédant pas 1,0°C entre la surface et l'isobathe -5m.

Les températures relevées lors de la première campagne fluctuent entre 25,0 et 28,0°C et présentent un écart maximal de l'ordre de 1,6°C entre les deux niveaux de mesure considérés. Cet écart ne dépasse pas 0,7°C au cours de la troisième campagne. Les températures y afférentes sont comprises entre 26,8 et 29,5°C.

Ainsi, on s'aperçoit que les températures maximales de l'eau, aussi bien en surface qu'à 5m de profondeur, ont été enregistrées lors de la deuxième campagne et notamment à la station N°8, où le phénomène d'eaux colorées était spectaculaire. Les valeurs exceptionnelles y afférentes ont été de 29,9°C en surface et de 29,5°C à 5m de profondeur. Par ailleurs, aucune thermocline n'a pu être identifiée, faute d'un bathythermographe permettant la mesure de la température, d'une façon continue, tout le long de la colonne d'eau.

5.3) Facteurs climatiques (Figures 6a, b et c)

Les paramètres physico-chimiques des eaux côtières sont sous l'effet direct des conditions météorologiques. Les eaux du golfe de Gabès n'échappent pas à cette règle générale, et par conséquent le développement du phytoplancton s'en trouve assez tributaire.

L'analyse des données météorologiques respectives à la région de Gabès recueillies auprès de l'INM montre que durant 1992 l'insolation la plus élevée concerne le mois d'Août avec 350 heures. Alors que pour les deux mois précédents (Juin et Juillet), l'insolation est passée de 323 à 348 heures. Cet accroissement sensible s'explique, d'une part par la longueur importante des jours en été autrement dit par l'augmentation du nombre des heures diurnes, et d'autre part, par le fait que la nébulosité y atteint son niveau le plus bas. Il en résulte une situation favorable à l'augmentation de la température de l'eau et à l'approvisionnement du milieu en énergie lumineuse, et ce en quantité suffisante pour accélérer le rythme de la photosynthèse, quand tous les autres facteurs optimaux sont réunis.

Par ailleurs, les températures moyennes de l'air ont connu une évolution croissante jusqu'au mois d'Août, où l'on note un pic de 27,7°C, puis décroissante durant le reste de l'année. On constate une évolution similaire pour les températures minimales, dont la valeur la plus importante (21,3°C) a été, également, relevée au cours du mois d'Août. Les températures maximales sont comprises entre 31,4 et 38,1°C, de Mars à Octobre. En dehors de cette période, les valeurs y afférentes sont inférieures à 24°C. On en déduit qu'au cours du mois d'Août, l'échauffement de l'air était très important, au point d'entraîner une élévation sensible de la température de l'eau, notamment, en surface.

S'agissant des pluies effectives, on constate qu'elles sont, nettement, supérieures aux normales, durant les mois de Janvier, Mai et Décembre. Par contre, elles sont absentes au cours de la période : Juillet-Août et très déficitaires pour les mois restants. Les apports pluviaux ne sont donc pas la principale source d'enrichissement du milieu en sels nutritifs. Les concentrations excessives en phosphates inorganiques, surtout en Juillet, sont essentiellement dues au déversement du phosphogypse dans la mer. Parmi, les autres facteurs qui contribuent, également, à l'enrichissement du milieu en cet élément, il ne faut pas négliger la dégradation bactérienne de la matière organique issue surtout de la régression du couvert végétal, la remobilisation des phosphates à partir des sédiments et enfin les apports terrigènes ayant pour origine les lieux de stockage du phosphogypse, sous forme des « tabias » à Shkira et Sfax.

Pour ce qui est des vents particuliers, il est à préciser que les vents les plus forts de juillet et Septembre sont de direction est et donc favorables à la dispersion des populations phytoplanctoniques, vers le large. Leurs vitesses respectives s'élèvent à 18 et 10m/s. Pour le mois d'Août, le vent de vitesse maximale (14 m/s) souffle vers le nord.

Il en ressort que les conditions climatiques contribuant au déclenchement du phénomène d'eaux colorées sont optimales en Août. La situation y afférente est marquée par la formation de rosées et brumes matinales, des températures maximales évoluant entre 35 et 43°C sur l'ensemble du pays et des coups de sirocco très fréquents au Sud, en particulier.

5.4) Corrélations

Dans le but de mettre en évidence l'impact des paramètres hydroclimatiques sur le rythme de la multiplication du phytoplancton, et par conséquent sur le phénomène d'eaux colorées qui peut en découler, il est nécessaire de connaître la corrélation liant chacun d'eux à la chlorophylle a. La corrélation existant entre l'insolation et la température moyenne de l'air a été, aussi, déterminée.

Les différentes corrélations identifiées sont présentées dans le tableau, ci-dessous :

Variables	Coefficients	Equations	Probabilités *
(MES/Chl . a)- 0 m	0,83	1,198 x + 38,632	0,00002
(T°C/Chl . a)- 0 m	0,45	0,045 x +28,560	0,05916
(T°C/Chl . a)- 5 m	0,40	0,042 x +28,016	0,10355
(PO ₄ ⁻³ /Chl . a)- 0 m	-0,40	-1,834 x +9,463	0,09660
(PO ₄ ⁻³ /Chl . a)- 5 m	-0,43	-1,450. x +7,680	0,07470
Ins./Chl . a - 0 m	0,53	1,049 x +317,776	0,06200
Ins./Chl . a - 5 m	0,53	1,460 x +315,800	0,06700
Ins./T°C de l'air	0,88	0,086 x +-,961	0,00019

* Il s'agit des niveaux de probabilité pour lequel l'existence d'une corrélation significative entre deux variables est rejetée.

L'examen de ce tableau permet de déduire que les corrélations positives les plus significatives intéressent les couples de variables suivants : (MES/Chlorophylle.a) à 0m et insolation/température moyenne de l'air. Ceci dénote l'importance relative de la fraction phytoplanctonique dans les MES de surface, d'une part, et le rôle essentiel que joue l'insolation dans l'échauffement de l'atmosphère, d'autre part. Cet échauffement se traduit par une hausse de la température des eaux superficielles et y favorise ainsi la multiplication des espèces phytoplanctoniques, surtout eurythermes, à un rythme très rapide.

La corrélation positive liant la température de l'eau à la chlorophylle a est plus significative en surface qu'à 5m de profondeur. Ces deux paramètres sont donc plus proportionnels dans les eaux superficielles où la production chlorophyllienne était maximale.

Les niveaux de probabilité relatifs aux corrélations déterminées entre l'insolation et la chlorophylle a à la station N° 8, sont de l'ordre de 6%. On en déduit que l'insolation est un facteur important pour le développement du plancton végétal, mais au-delà d'un certain seuil, la photosynthèse se poursuit à un rythme accéléré et tout excédent d'insolation favorise, seulement, l'échauffement de l'air.

Enfin, il est à souligner l'existence d'une corrélation négative ou régression entre les phosphates inorganiques et la chlorophylle a. Les niveaux de probabilité y afférents (supérieurs à 5%) infirment l'hypothèse de présence d'une régression significative entre les deux paramètres et confirment ainsi le fait que ce sel nutritif ne constitue pas un facteur limitant la production primaire, en raison d'énormes quantités du phosphogypse déversées en mer et continuant ainsi à enrichir le golfe en cet élément, par le biais de la dissolution.

VI - CONCLUSIONS

Le phénomène d'eaux rougeâtres, survenu au nord-ouest de l'île de Djerba, au début de la dernière décade du mois d'Août 1992, s'est traduit par d'importantes teneurs en chlorophylle a (supérieures à $20,0 \text{ mg/m}^3$) et par un gradient décroissant très net entre la surface et l'isobathe -5m. L'essentiel de la production primaire a eu lieu dans les eaux superficielles (de 0 à 0,5m de profondeur), au large de Skhira ainsi qu'au nord et nord-ouest de l'île de Djerba ; il s'agit là des zones, où les conditions hydroclimatiques favorables à l'accroissement de la photosynthèse se trouvent réunies.

L'état calme de la mer, l'absence de vents de terre assez forts et les faibles coefficients de marée inhérents aux mortes-eaux ont rendu possible une forte concentration du phytoplancton (cyanophycées, en particulier) en surface et donné ainsi naissance à des tâches d'eaux de teinte rougeâtre.

Le déclenchement de ce phénomène est, également, lié à la conjugaison des conditions climatiques suivantes:

- L'insolation excédentaire du mois d'Août est de nature à favoriser la photosynthèse et l'échauffement de l'air. Les coups de Sirocco, assez fréquents durant ce mois, ont aussi contribué à l'augmentation de la température de l'air. Il en est résulté des températures maximales de l'air fluctuant entre $31,4$ et $38,1^\circ\text{C}$ à terre (Gabès) et s'élevant à $33,0^\circ\text{C}$ dans le golfe (mer).

- Les températures moyennes et minimales de l'atmosphère ont atteint leurs maxima respectifs ($21,3$ et $27,7^\circ\text{C}$), au cours du mois d'Août.

- La direction du vent de vitesse maximale (18 m/s) du mois de Juillet favorise le mélange des eaux côtières riches en sels nutritifs, dont surtout le phosphore minéral dissous, avec des eaux du large plus pauvres.

- L'absence de pluies, durant les mois de Juillet et Août minimise leur impact sur l'enrichissement du milieu en phosphates inorganique, dont la principale source étant la dissolution d'une partie du phosphogypse déversé en mer.

Du point de vue hydrologique, il s'est révélé que le phénomène observé était le résultat d'une situation marquée par :

- L'accroissement sensible de la température de l'eau, surtout en surface (elle était de l'ordre de 30,0°C).

- La présence des eaux suffisamment transparentes au nord de la latitude 34°00'N et au nord-ouest de l'île de Djerba, pour y intensifier la photosynthèse.

- L'importance des teneurs en phosphates inorganiques constatée, notamment dans les eaux côtières proches de la zone des rejets du phosphogypse et au cours du mois de Juillet (elles y sont de l'ordre de 7,0 µatg/l).

Quant aux corrélations recherchées, elles ont permis de confirmer non seulement l'abondance du phytoplancton dans les MES des eaux superficielles, mais aussi le fait qu'au-delà d'un certain seuil, l'insolation se répercute seulement sur l'échauffement de l'air et n'a pas d'effet sur la photosynthèse. Enfin, il en ressort que le golfe ne court aucun risque d'épuisement en phosphates inorganiques dissous, même dans le cas d'une consommation accrue de cet élément, lors des efflorescences phytoplanctoniques. Les teneurs les plus faibles enregistrées n'ont pas chuté au-dessous de 0,59 µatg/l. Cet élément nutritif ne constitue donc pas un facteur limitant la production primaire, dans le golfe.

Par ailleurs, la présente étude a eu le mérite d'avoir permis l'identification de certaines lacunes qu'il faudra combler. Cela suppose la nécessité d'y inclure tous les autres facteurs hydroclimatiques (composés azotés, silicates, coefficients de marée...), susceptibles de jouer un rôle dans les apparitions d'eaux colorées et d'y aborder les conséquences qui peuvent en découler.

L'étude ainsi proposée devra être poursuivie sur un cycle d'au moins cinq ans et concerner un réseau d'échantillonnage plus important aussi bien sur le plan horizontal que vertical. Au cours d'une même année, elle nécessitera des campagnes de prospection et d'échantillonnage bimensuelles durant les mois critiques (Juin, Juillet et Août) et mensuelles en dehors de cette période. Des campagnes supplémentaires pourraient y être envisagées en cas de manifestation d'eaux colorées. Une telle approche permettra non seulement, de cerner les conditions hydroclimatiques optimales pour l'apparition de ce phénomène, mais aussi de vérifier si le golfe n'est pas soumis à d'autres poussées phytoplanctoniques, en dehors de la période estivale. On pourra ainsi appréhender le phénomène « d' upwelling », s'il y en a.

Les résultats y afférents serviront, à long terme, à l'établissement d'une banque des données nécessaire à l'élaboration éventuelle d'un modèle prédictif des eaux colorées, dans le golfe de Gabès. Ce modèle revêt une grande importance, dans la mesure où il permettra d'agir au moment opportun et efficacement, afin de protéger la santé du consommateur contre tout risque d'intoxication ainsi que les écosystèmes (marins ou lagunaires) menacés contre les nuisances occasionnées par les efflorescences phytoplanctoniques. Il pourra servir enfin à identifier scientifiquement les zones les plus vulnérables vis-à-vis de ce phénomène et qui sont donc à exclure de la carte de sites exploitables à des fins aquacoles.

Remerciements

J'ai l'honneur de saisir cette occasion pour remercier vivement la Marine Nationale sans laquelle la présente étude n'aurait pu être entreprise.

Mes vifs remerciements sont, également, destinés à mes collègues Mme A.HAMZA pour sa contribution à la réalisation de la première campagne et Mr.BEN MERIEM S., dont l'aide m'a été très précieuse dans la préparation des illustrations graphiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen W.E., 1964 - Significances of "red water" in the sea. *Turttox News*. 24 (2). February (Contributions Scripps Institution of Oceanography. N° 287).
- Amari A., 1984 - Contribution à la connaissance hydrologique et sédimentologique de la plate forme des Kerkhennah. Thèse de 3ème cycle. Géologie appliquée au domaine marin et océanologie. Fac.Sc.Tunis.251p.
- Aminot A. et M.Chaussepied, 1983 - Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO. 395p.
- Andren L.E. et M.HADJ ALI Salem, 1978 - Sources de pollution marine côtière en Tunisie : facteurs influençant sa distribution et ses effets. *Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, Salammbô* 5(1-4). 53-95.
- Aubert M. et J.Aubert, 1986 - Eutrophie et dystrophie en milieu marin, phénomènes planctoniques et bactériens.*Rev.Intern.Océanogr.Médicale*.53-54:1-302+I-V.
- Bechraoui A., 1980 - La vie rurale dans les oasis de Gabès.Univ.Tunis.Ecole Normale Supérieure. Section A., 2ème série (1). 301p.
- Belkhir M. et M.Hadj Ali Salem, 1981 - Contribution à l'étude des mécanismes d'eutrophisation du lac de Tunis. Evolution des paramètres physico-chimiques et biologiques. *Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, Salammbô*.8:81-93.
- Belkhir M. et M.Hadj Ali Salem, 1982 - Variations spatio-temporelles des nitrites, des nitrates, des phosphates inorganiques et du rapport N/P dans le lac de Tunis. *Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, Salammbô*.2:71-88.
- Ben Othman S., 1973 - Le Sud Tunisien (Golfe de Gabès) : hydrologie, sédimentologie, flore et faune. Thèse de 3ème cycle. Biologie marine.Fac.Sc.Tunis.166p.
- Crouzet P., 1972 - Contribution à la connaissance de la physico-chimie et de la production primaire du lac de Tunis. Tunisie. Thèse de 3ème cycle.Paris.1-94.
- Darmoul B., 1988 - Pollution dans le golfe de Gabès (Tunisie), bilan de six années de surveillance (1976-1981). *Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, Salammbô*.15:61-84.
- De Gaillande D., 1970b - Peuplements benthiques de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Delile), de la pelouse à *Caulerpa prolifera* (Lamoureux) et du large du golfe de Gabès. *Téthys*. 2(2):373-384.
- FAO, 1975 - Manual of methods in aquatic environment research. part 1 - Methods for detection measurement and monitoring of water pollution. FIRI/T 137.
- Feldmann J. et A.P. Fremy, 1935 - Matériaux pour la flore algologique marine de la Tunisie : contribution à l'étude biologique et systématique de la Muffa. Notes, Stat.Océanogr. *Salammbô*. 29:5-24.

- Guillaumont B., 1991 - Etat d'avancement des travaux du projet "pollution du golfe de Gabès (Tunisie)", 1990.CNT. 18p.
- Hamza A., et Ben Maïz N., 1990 - Sur l'apparition du phénomène "d'eau rouge" dans le golfe de Gabès en été 1988. Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, Salammbô. 17:5-16.
- Heldt J.H., 1952 - Eaux rouges. Bull.Soc.Hist.Nat.Tunisie 5:103-106.
- Ktari C. et Azzouz A., 1971 - Les fonds chalutables de la région sud-est de la Tunisie (golfe de Gabès). Bull. Inst. Nat. Sc. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô. 1 : 1-56.
- Ktari C., 1972 - Etude physico-chimique et microbiologique du lac de Tunis (partie Nord).Bull.Inst.Nat.Sc.Tech.Océanogr.Pêche, salammbô. 2 (3) : 417-443.
- Le Danois D., 1925 - Recherches sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie (croisière du chalutier "Tanche" en 1924). Ann.Sta.Océanogr.Salammbô. 1:1-56.
- Lorenzen C. J., 1967 - Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. Limnol.Oceanogr. 12:343-346.
- Maggi P., 1983 - Alerte "eaux brunes des 17 et 18 Mars 1983" : premiers résultats des analyses effectuées IFREMER (Nantes) rapp.1.13p.
- Maggi P., Ben Mustapha K., et Ammar K., 1990 - Compte rendu préliminaire de la mission "golfe de Gabès", du 21 au 28 Mai 1990 CNT. 9p.
- Maggi P., Mastouri A., et Soulard L., 1984 - Suivi des facteurs climatiques susceptibles de jouer un rôle dans les apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine durant l'année 1984. IFREMER. Rapp.36;29p.
- Mastouri A., 1986 - Contribution à l'étude des conditions hydroclimatiques favorables aux apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine durant l'année 1984. Thèse de docteur-Ingénieur. ENSA de Rennes.137p.
- Mastouri A., 1991 - Campagne hydrologique effectuée du 19 au 27 Août 1991 dans le golfe de Gabès.Rapp de mission (INSTOP). 6p.
- Mastouri A., 1991 - Rapport sur le cas de mortalités de poissons dans la mer de Boughrara : présentation et discussion des résultats (INSTOP). 7p
- Mastouri A., 1992 - Le secteur de la pêche dans le golfe de Gabès : réalités au terme d'une décennie (1981-1990) et perspectives. Commn de séminaire. (INSTOP). 17p
- Murphy J. and J.P. Riley, 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal.Chim.Acta.27 : 31-6.
- Nouri S. et Ben Mammou A., 1992 - Contribution à l'étude de la pollution marine dans le golfe de Gabès.Fac.Sc.de Tunis.20p.

- Paskoff R. et Oueslati A., 1985 - Observations sur les flèches sableuses à pointe libre de la côte orientale de la Tunisie. Les plages de la Tunisie: 71-84.Paskoff éd.
- Zaouali J., 1990 - Aperçu bionomique avant la campagne de prospection du mois de juillet dans le golfe de Gabès. INAT.4p.
- Zaouali J., 1992 - Résultats de la campagne de prospection du mois de Juillet 1990 dans le golfe de Gabès : les peuplements benthiques . Etude préliminaire. INAT.14p.

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Localisation des stations étudiées dans le golfe de Gabès

Fig. 2 a et b : Evolution spatiale des teneurs en chlorophylle a durant la deuxième campagne.

Fig. 2 c et d : Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorophylle a.

Fig. 3 : Variations spatio-temporelles des M.E.S. en surface (a) et évolution spatiale de la transparence de l'eau au cours de la première campagne (b).

Fig. 4 : Fluctuations spatio-temporelles des teneurs en phosphates en surface (a) et à 5m (b).

Fig. 5 : Fluctuations spatio-temporelles des températures :
- ambiantes durant la deuxième campagne et de l'eau en surface (a)
- de l'eau à 5m (b)

Fig. 6 : Variations mensuelles au cours de l'année 1992 :
- de l'isolation (cumulée) effective (a)
- des températures de l'air moyennes, minimales et maximales (b)
- des pluies (cumulées) effectives et normales (c)

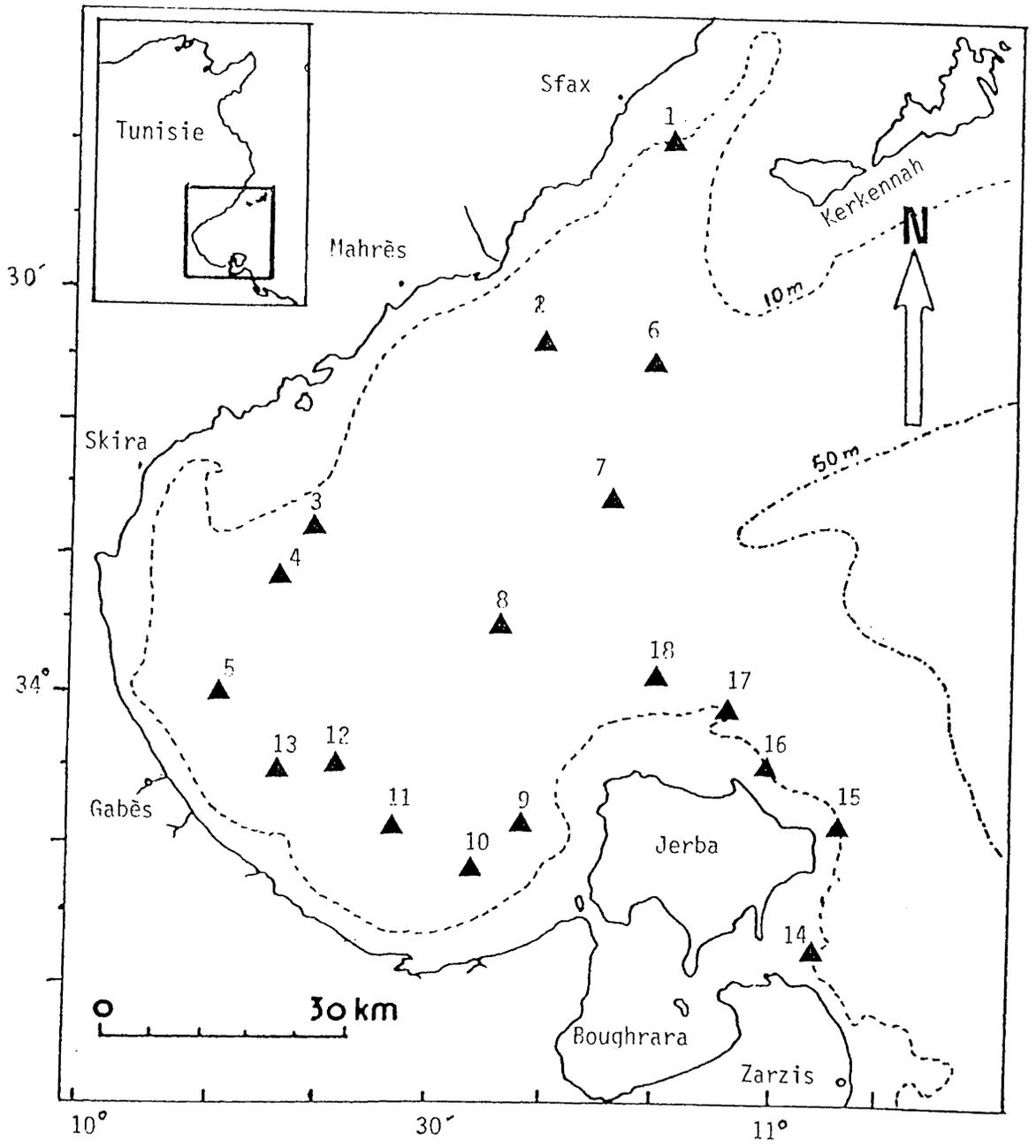


Fig. n°1: Localisation des stations étudiées dans le golfe de Gabès (été 1992).

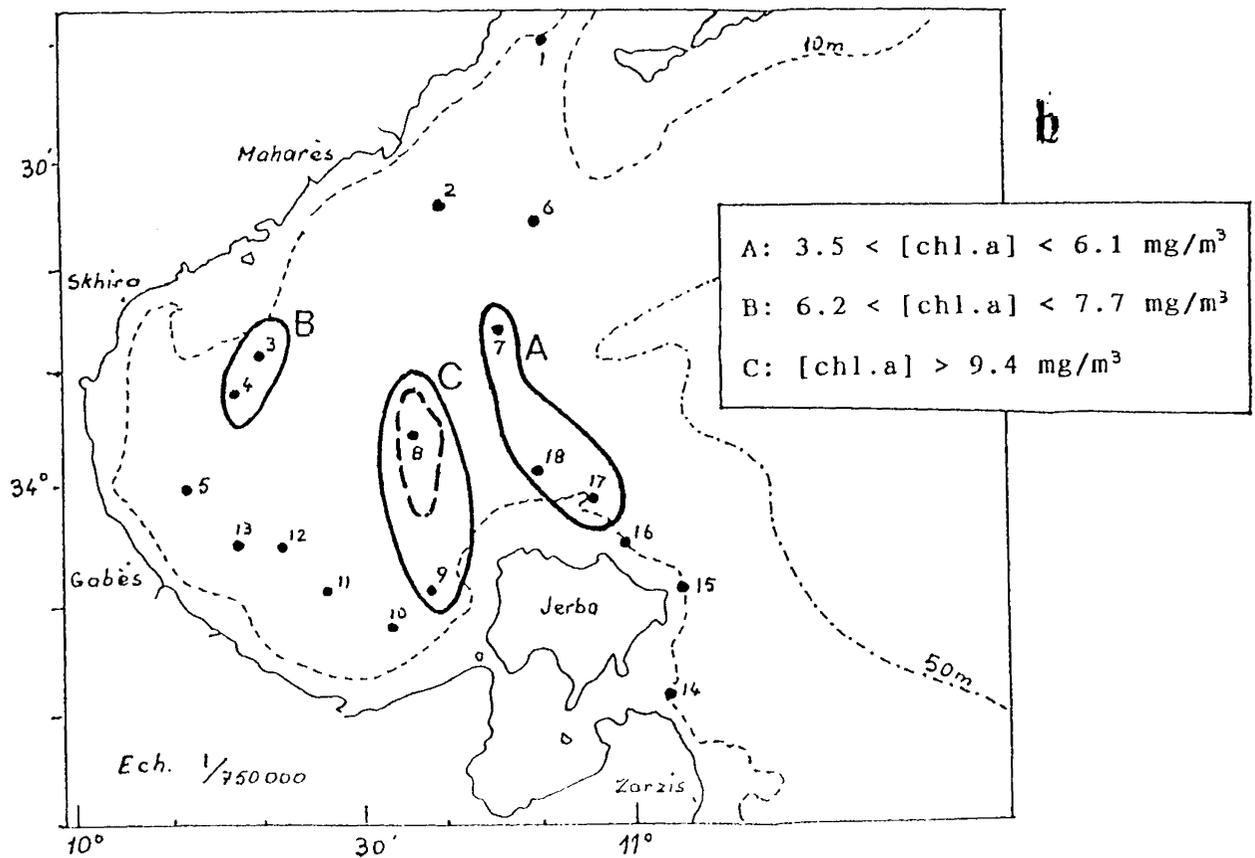
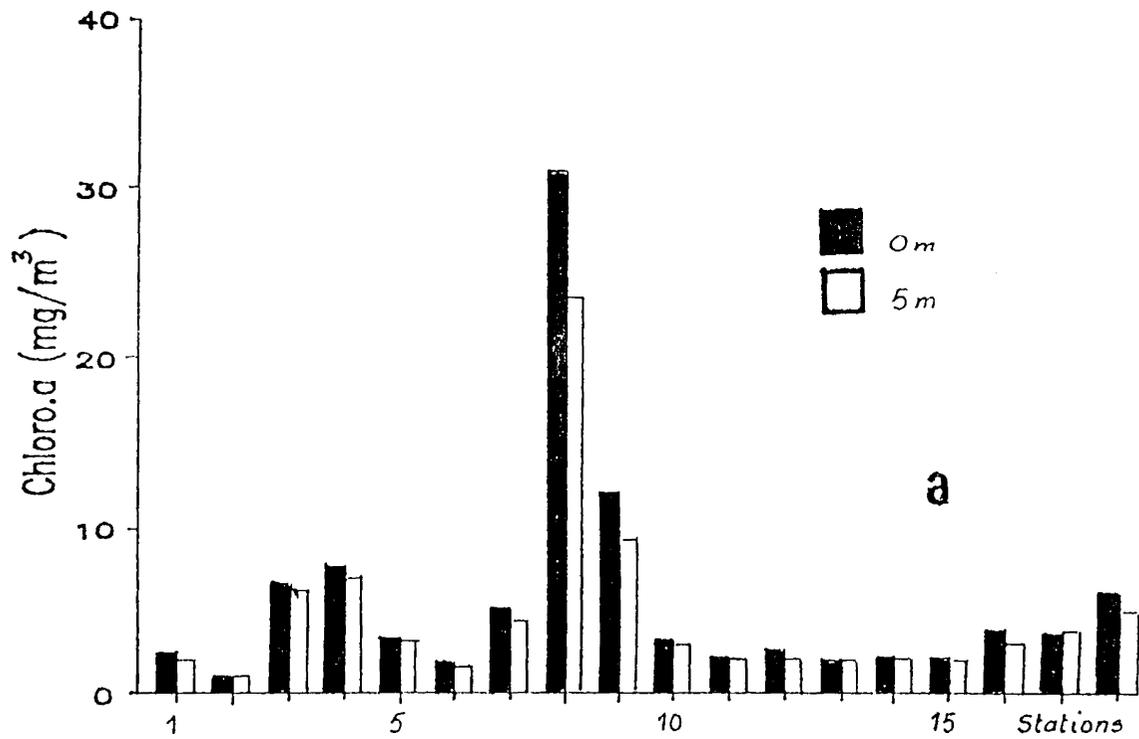


Fig. n°2: Evolution spatiale des teneurs en chlorophylle a durant la 2ème campagne (a) et (b).

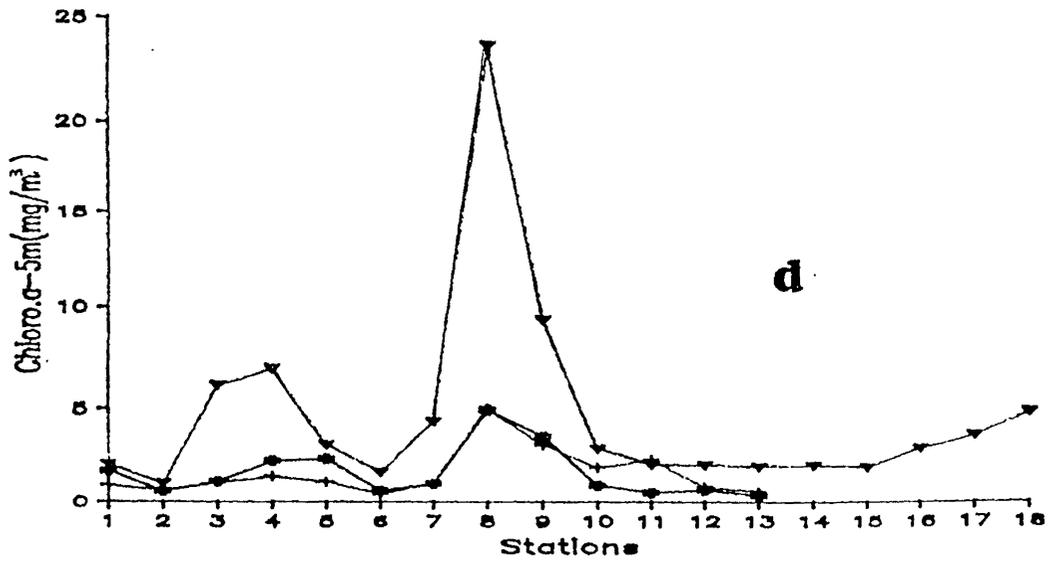
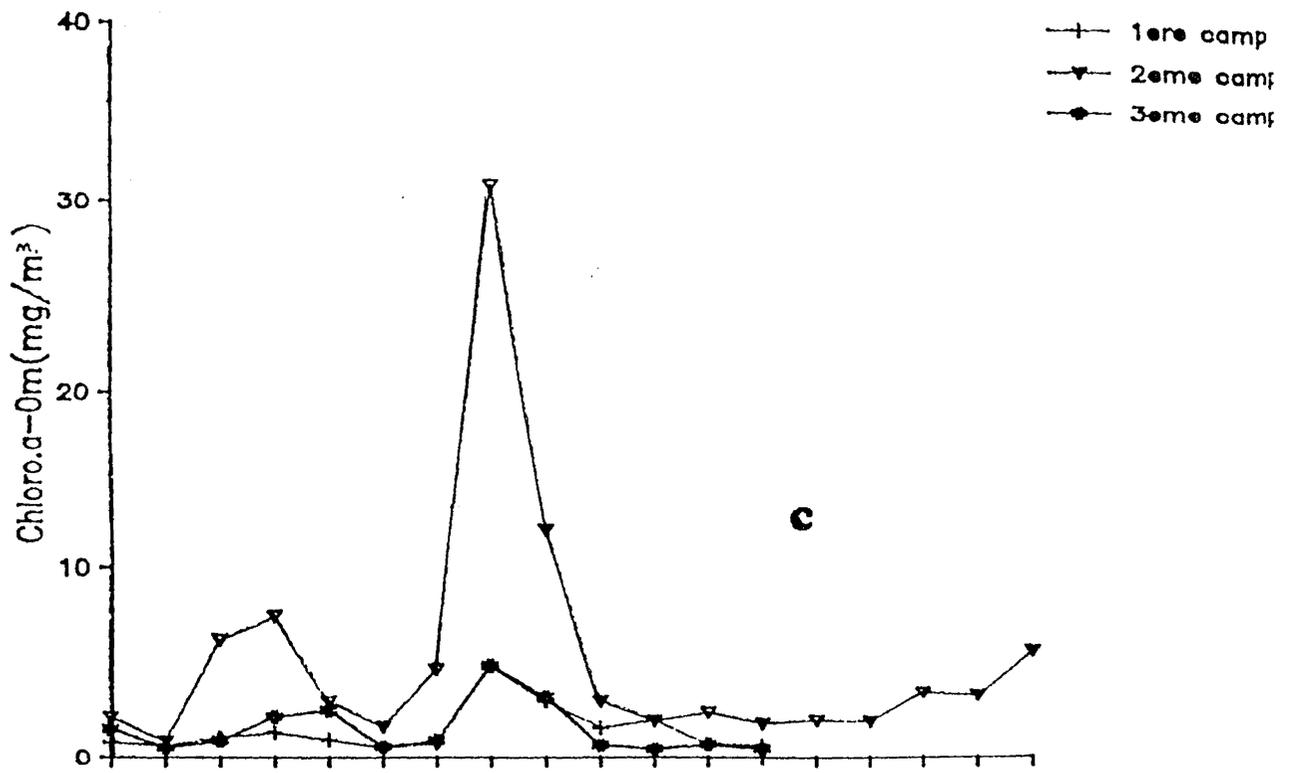


Fig. n°2: Variations spatio-temporelles des teneurs en chlorophylle a en surface (c) et à 5m (d).

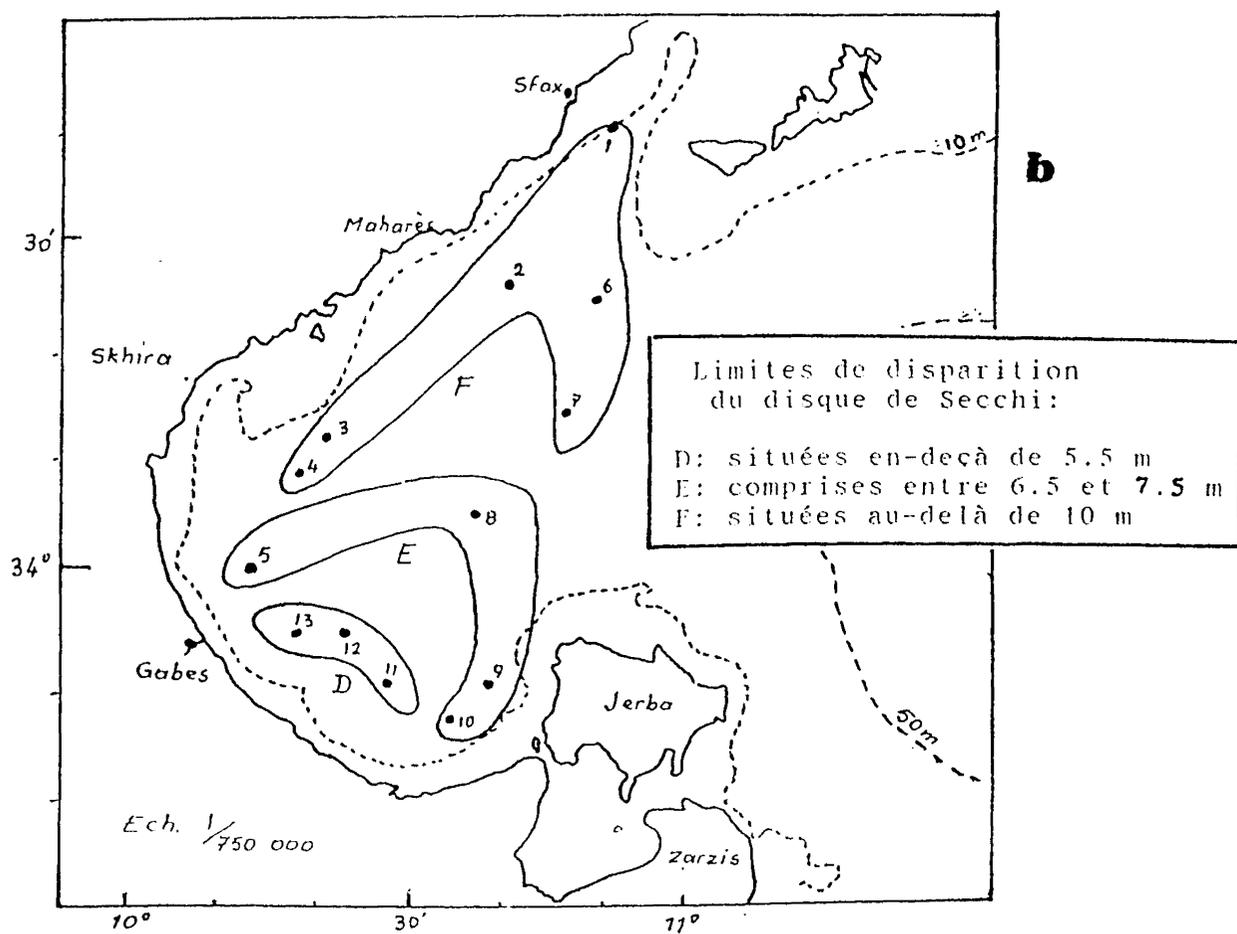
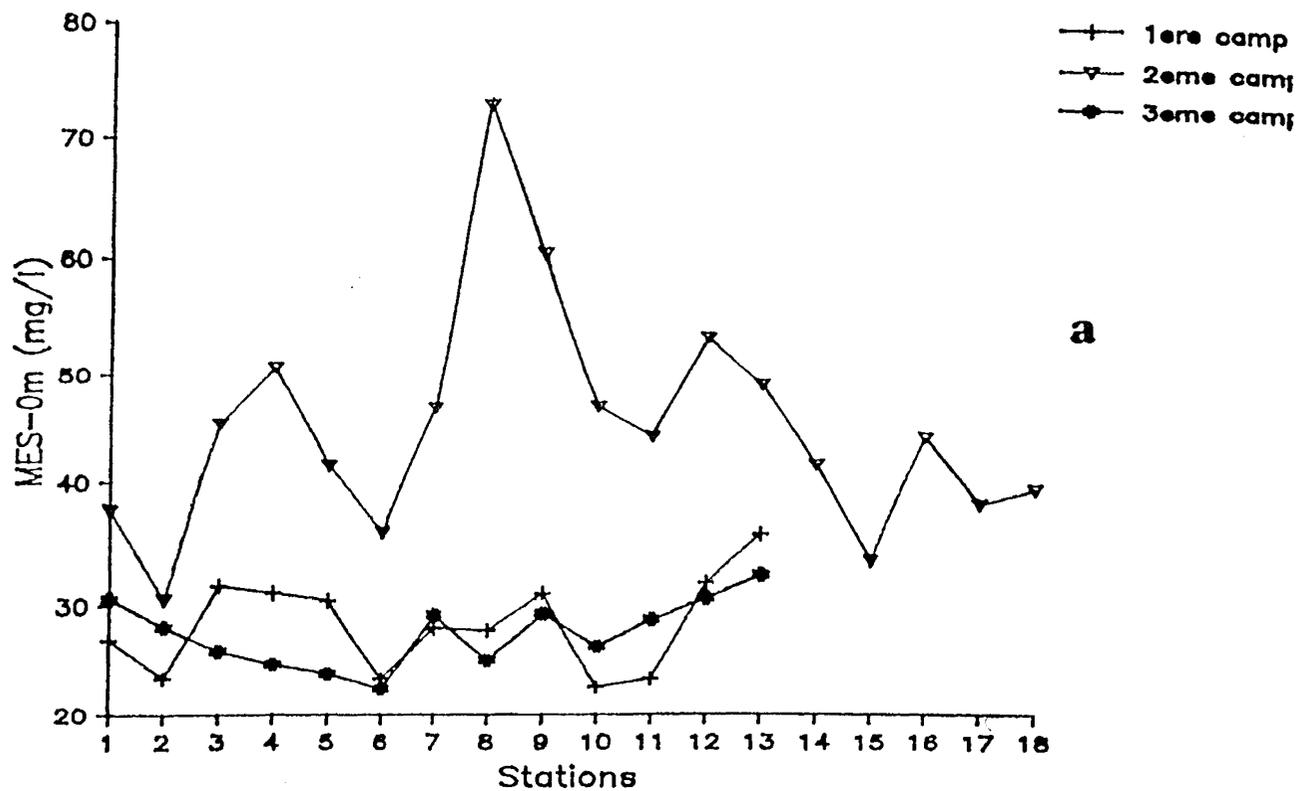


Fig. n°3: Variations spatio-temporelles des M.E.S. en surface (a) et evolution spatiale de la transparence de l'eau au cours de la 1ere campagne (b).

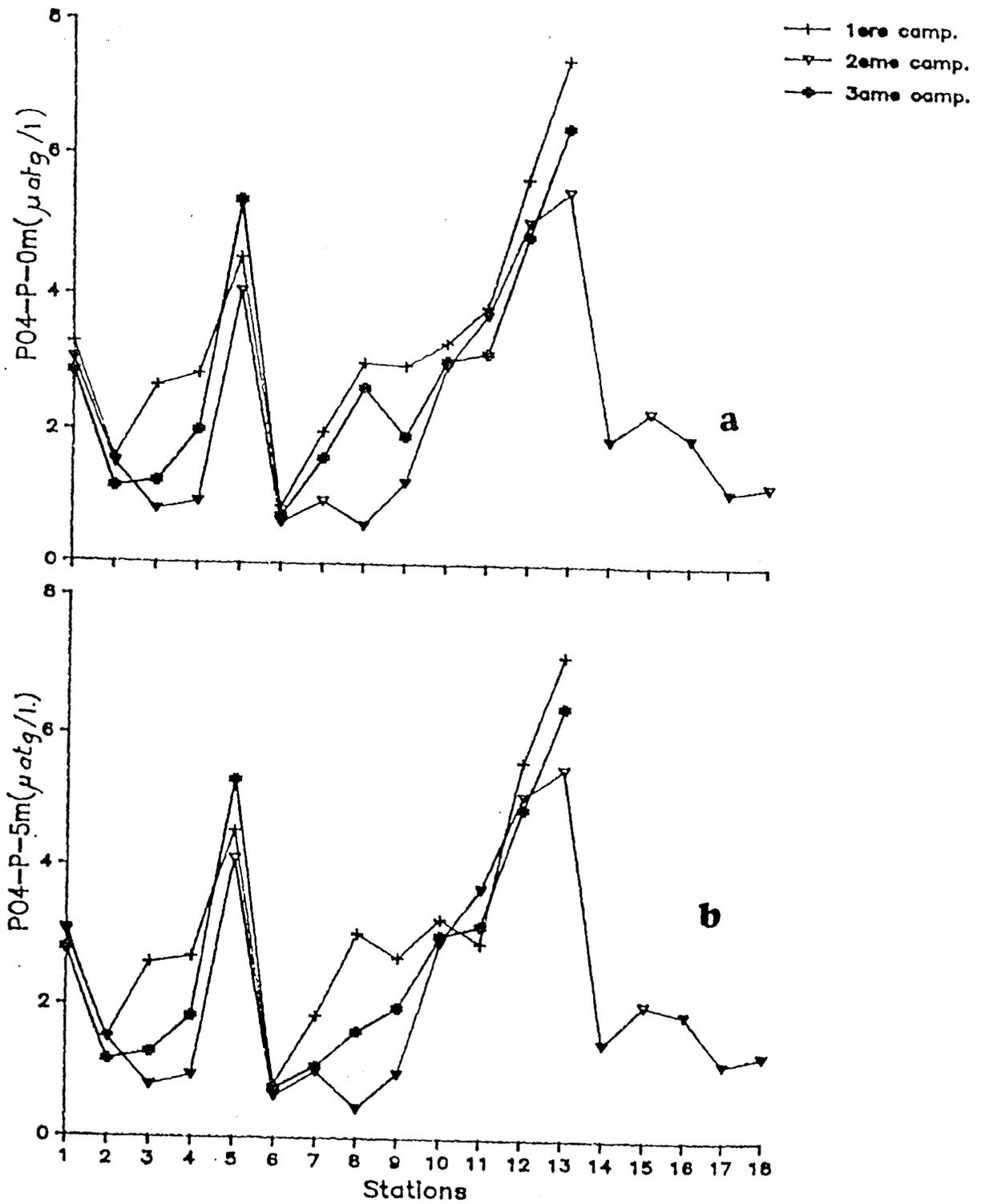


Fig. n°4: Fluctuations spatio-temporelles des teneurs en phosphates en surface (a) et à 5m (b).

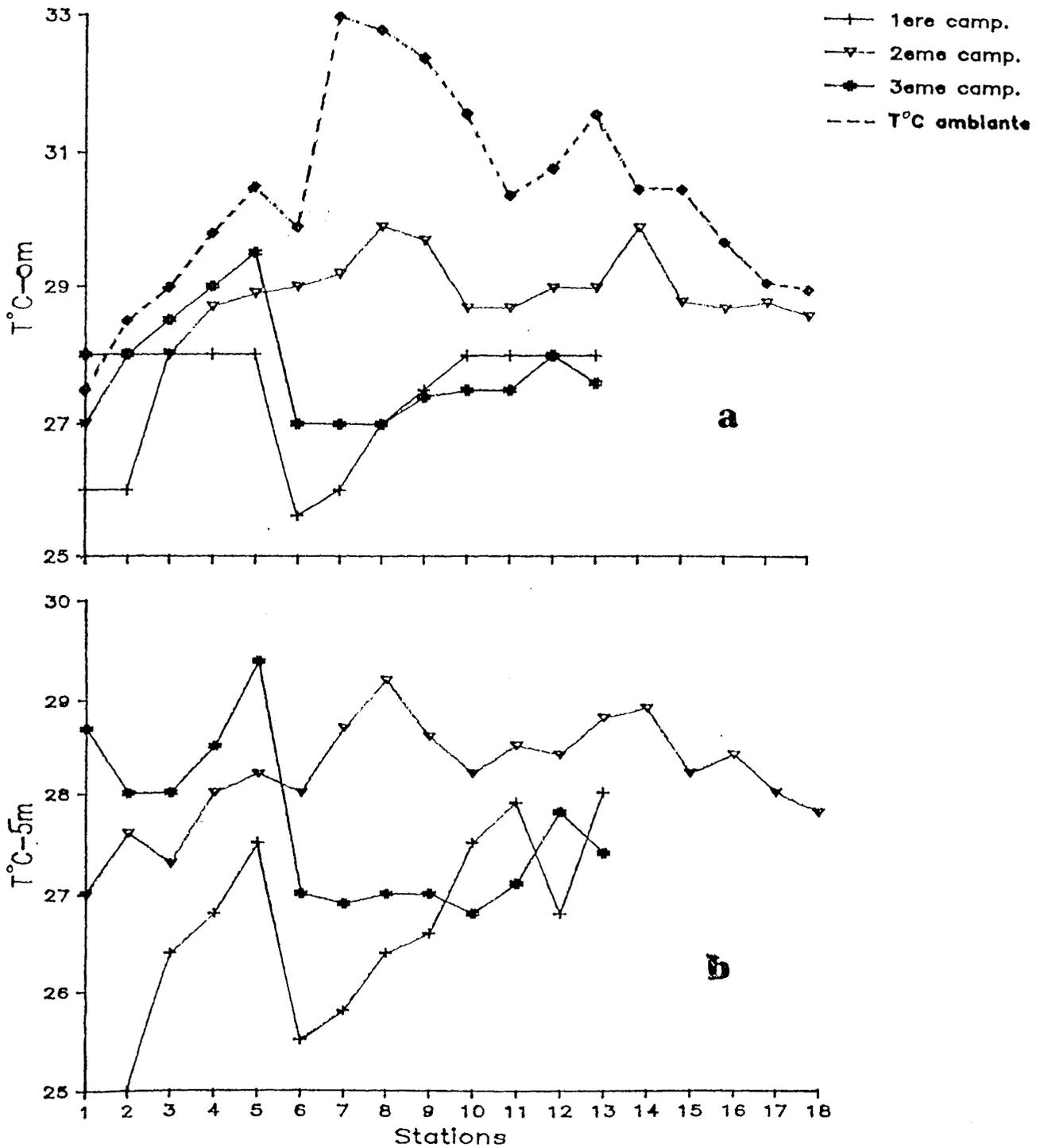


Fig. n°5: Fluctuations spatio-temporelles des températures:
 - ambiantes durant la 2ème campagne et de l'eau en surface (a).
 - de leau à 5m (b).

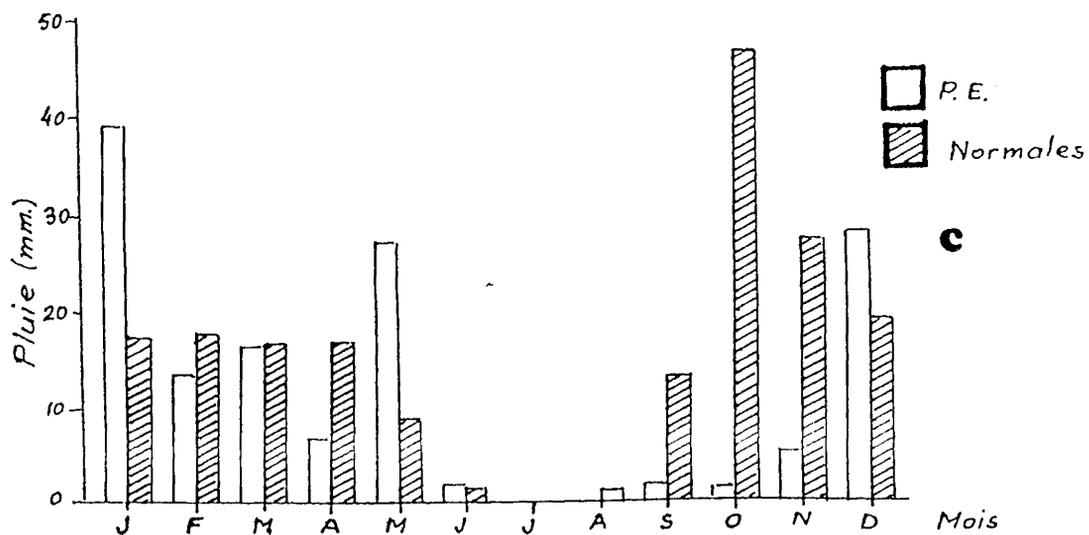
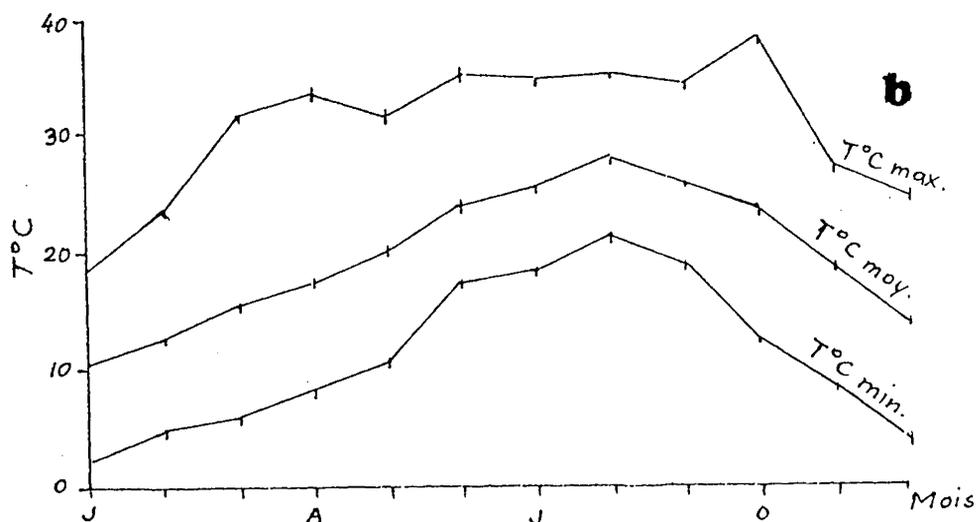
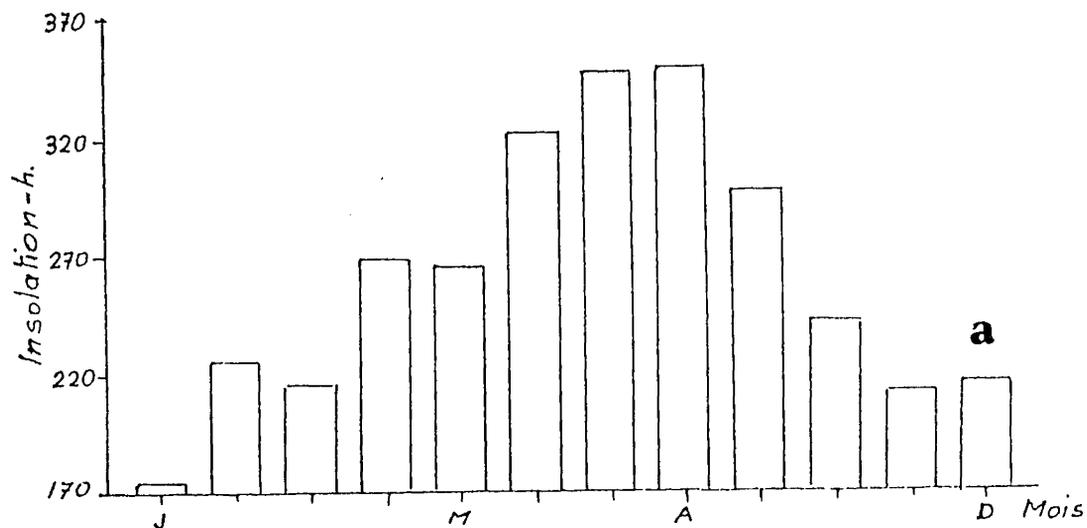


Fig. n°6: Variations mensuelles au cours de l'année 1992:
 - de l'insolation (cumulée) effective (a).
 - des températures de l'air moyennes, mini et maxi (b).
 - des pluies (cumulées) effectives et normales (c).

ISSN 0330-0080

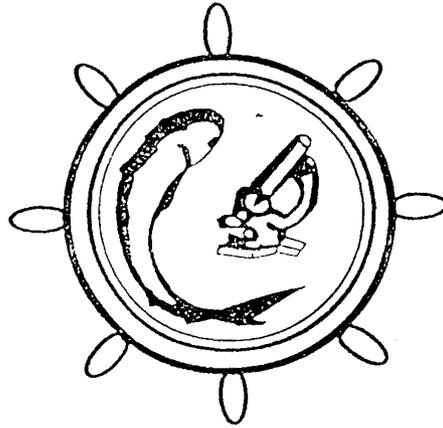
الجمهورية التونسية

*** **

نشرة

المعهد القومي العلمي والفني
للاحيات والصيد بصلامبو

سلسلة عدد 19



1992