

LES EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONIQUES DANS LE GOLFE DE GABES (TUNISIE) AU COURS DE DIX ANS DE SURVEILLANCE (1995-2005)

Wafa FEKI^{1*}, A. HAMZA¹, M. BEL HASSEN¹ et A. REBAI²

1 : Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Sfax, BP :1035-3008 Sfax, Tunisie

2 : Centre de Biotechnologie de Sfax, B P 1177, 3018 Sfax, Tunisie

*wafafeki@yahoo.fr

ملخص

حول ظاهرة تكاثر الطحالب المجهرية في خليج قابس (تونس) من خلال عشر سنوات من المراقبة : بدأ برنامج مراقبة الطحالب المجهرية السامة في مناطق إنتاج الفوقيات في خليج قابس في مارس 1995. من أهداف هذه المراقبة إحصاء هذه الكائنات وتصنيفها وتحديد الوضعيات البيولوجية الخاصة بها مثل التكيس، التكاثر والتسمم. مكثنا عشر سنوات من المراقبة من الحصول على بنك من المعلومات يحتوي كل تلك الملاحظات إضافة إلى بعض العوامل البيئية. قمنا في هذه الدراسة بفحص التنوع المكاني والزمني لأنواع المسؤولة على التكاثر ومدى تفاعلها مع العوامل البيئية وخاصة درجة الحرارة والملوحة ودرجة الحموضة. أظهرت هذه النتائج أن الطحالب تتكاثر في الفترة المتراوحة من أوت إلى جانفي و أن فصيلة الدينوفلاجلي مسؤولة عن 89 % من مجموع حالات التكاثر بحيث تملك نوعية *Karenia selliformis* وحدها 64 % من حدوث هذه الظاهرة. وتظهر *selliformis* في كل مناطق أخذ العينات و ذلك بنسب متفاوتة من جهة إلى أخرى. هذا التكاثر يتغير أيضا حسب الأشهر و السنوات كما يتأثر أيضا بدرجة الملوحة التي تفوق 42 ‰. هذا العامل يمكن أن يستخدم كعلامة للتنبؤ بتكاثر *Karenia selliformis* في خليج قابس ، بعكس الأنواع الأخرى التي ليست لها أي خصوصية لأي عامل البيئي. الكلمات الرئيسية : التكاثر ، *Karenia selliformis* ، خليج قابس ، الشبكة الوطنية لمراقبة الطحالب المجهرية السامة.

RESUME

Les données du Réseau National de Surveillance Phytoplanktonique ont été examinées dans le golfe de Gabes durant la période 1995-2005. Un intérêt particulier a été attribué au phénomène de bloom phytoplanktonique. En outre, nous avons examiné plus spécifiquement les variations spatio-temporelles des espèces responsables et les relations avec la variabilité des conditions abiotiques, essentiellement la température, la salinité et le pH.

Les résultats ont montré que la période allant d'août à janvier, avec des pics en septembre et janvier, semble être propice à des efflorescences algales. Les dinoflagellés sont responsables de 89% des cas ; l'espèce *Karenia selliformis* détient à elle seule 64% des occurrences de ce phénomène. Les blooms de *K. selliformis*, bien que relativement fréquents dans des zones spécifiques, ne montrent pas de différence de concentrations significative selon les zones d'échantillonnage. Ceci nous amène à suggérer que les blooms de cette espèce auraient plusieurs foyers. Cette espèce fluctue aussi indépendamment des années et des mois, mais elle montre une nette exigence pour des salinités supérieures à 42 g/l. Ce paramètre pourrait être utilisé comme marqueur pour prévoir l'apparition de *K. selliformis* dans le golfe de Gabes, à l'encontre des autres espèces qui ne présentent pas de spécificité pour aucun facteur abiotique.

Mots clés : blooms, *Karenia selliformis*, golfe de Gabes, Réseau National de Surveillance Phytoplanktonique.

ABSTRACT

The algal blooms in the gulf of Gabes (Tunisia) a ten years long monitoring of phytoplankton : The data of the National Phytoplankton Monitoring Program are examined in the Gulf of Gabes during the period 1995-2005. A particular interest is assigned to the blooms events. We particularly examine the spatial and temporal variations of the responsible species and the relationships with the variability of temperature, salinity and pH.

The results show that the period from August to January, with peaks in September and January, seems to be favourable to algal blooms. The dinoflagellates are responsible of 89% of the recorded blooms with the species *Karenia selliformis* representing 64% of the occurrences. Blooms of *K. selliformis*, although relatively frequent in a specific zone, their concentrations do not show statistically significant variations among sampled zones. This leads to suggest that blooms of this species would be initiated in different zones in the Gulf of Gabes. *K. selliformis* fluctuates also independently of years and months, but it shows a specific requirement for salinity (higher than 42 g/l). This parameter can be used as a marker to predict the appearance of *K. selliformis* in the Gulf of Gabes. The others phytoplankton species do not have any specific requirements for the studied abiotic variables.

Key words: Blooms, *Karenia selliformis*, Gulf of Gabes, National Phytoplankton Monitoring Program.

INTRODUCTION

Au cours de ces deux dernières décades, les phénomènes d'eaux colorées générés par les organismes phytoplanctoniques sont en expansion tant par leur fréquence que par leur intensité en diverses contrées océaniques (Hallegraeff, 1998). En effet, sur les 3400 à 4000 espèces microalgales recensées environ 200 sont susceptibles de former des eaux colorées ce qui représente 5,5 à 6,7 % des espèces marines microalgales (Sournia, 1995). Cette proportion est considérable vu la large distribution géographique de certaines de ces espèces et les risques sanitaires que peuvent induire celles qui sont toxiques et qui représentent de 2 à 7% de ce répertoire. La fréquence et la répartition spatiale des événements «nuisibles» associés à la prolifération de microalgues semblent se développer avec une plus grande diversité d'espèces. Face à l'accroissement de ces événements, un important effort de recherche est mené par plusieurs scientifiques afin d'identifier les facteurs environnementaux susceptibles d'expliquer ces efflorescences algales.

Pour pouvoir gérer l'apparition de ces microorganismes dans les milieux aquatiques et surtout détecter et signaler les efflorescences nuisibles, la biosurveillance, basée sur des observations hebdomadaires, est la seule pratique recommandée de nos jours (Kirsten Todd in Hallegraeff *et al.*, 1995). Sur les côtes tunisiennes, le réseau de surveillance phytoplanctonique, instauré depuis 1995 permet de répertorier les épisodes des eaux colorées qui sont reportées essentiellement dans la région du golfe de Gabès (Hamza, 1988, 1994 et 2003), et d'appréhender les mécanismes qui les déclenchent.

Dans le présent travail, suite à une étude rétrospective de la banque de données recueillies au cours de dix ans de

surveillance, nous nous sommes intéressés aux phénomènes de blooms afin de dégager de probables tendances spatio-temporelles dans l'apparition de ces épisodes et de corrélés ces apparitions avec la variabilité des conditions abiotiques, essentiellement représentées par la température, la salinité et le pH.

MATERIEL ET METHODES

1. Source des données

Nos données sont extraites de la banque de données relative au réseau de surveillance du phytoplancton dans les zones de production de coquillage. Cette base est élaborée et gérée par l'observatoire de la Mer de l'INSTM (Institut National des Sciences et Technologies de la Mer) (<http://www.instm.rnrt.tn/an/observatoire/observatoire.html>). Dans le golfe de Gabès, ce réseau est opérationnel depuis 1995 au niveau de 15 zones avec une fréquence d'échantillonnage presque hebdomadaire (fig. 1). Chaque zone peut comporter un à plusieurs sites de prélèvement. Les tableaux (I et IV (a)) récapitulent les coordonnées des sites de prélèvement, la période échantillonnée pour chaque site ainsi que le nombre total d'échantillons au cours de 10 ans.

2. Structuration des données

Les données archivées dans la base ci-dessus décrite comportent pour chaque échantillon récolté, outre des informations sur les paramètres abiotiques T°, S‰ et pH, des données sur les concentrations des différentes espèces phytoplanctoniques déterminées ainsi que sur les situations écologiques associées, à savoir, les états d'efflorescence, d'enkystement ou de toxicité.

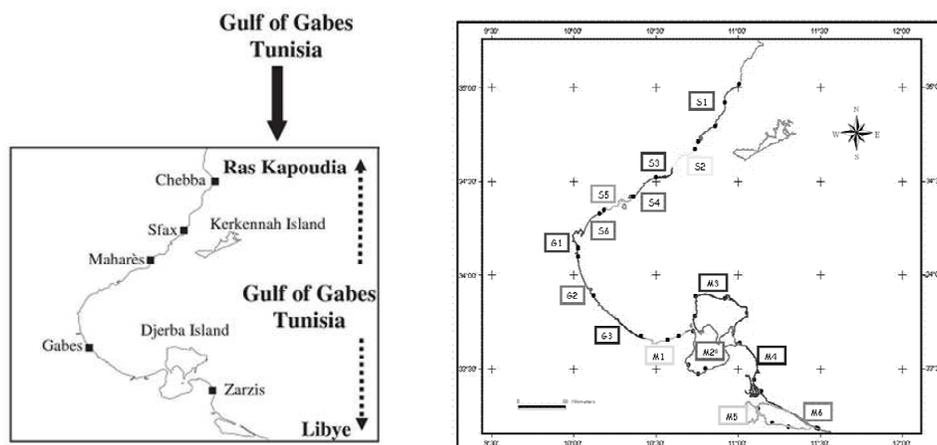


Figure. 1 : Localisation des zones de prélèvements

Tableau. I : Les propriétés des sites et des zones de prélèvements adoptés dans le cadre du réseau national du phytoplancton dans le golfe de Gabès

ID_Zone	Nom	Longitude	Latitude	Nombre total de prélèvement	Date du 1 ^{er} prélèvement	Date du dernier prélèvement
S1	Sidi Mansour	34°47'35"	10°51'36"	6	16/06/1995	17/07/1995
	ElAouabed	34°55'08"	10°55'29"	254	15/06/1995	31/05/2005
	Port de Sfax	34°42'36"	10°45'36"	101	12/07/1996	31/05/2000
	Ellouza	35°01'05"	11°00'22"	259	13/06/1995	31/05/2005
S2	Tabia	34°40'12"	10°44'28"	264	14/06/1995	30/07/2000
S3	Mahres	34°31'16"	10°30'00"	274	09/09/1996	31/05/2000
S4	Ras Younga	34°24'58"	10°21'40"	287	13/06/1995	30/07/2001
S5	Jaboussa	34°20'49"	10°10'58"	192	01/03/2000	31/12/2002
S6	Skhira1	34°19'34"	10°09'25"	312	09/10/1995	31/05/2000
G1	Tarf El Ma	34°05'53"	10°01'41"	233	12/01/1999	31/05/1999
	El Hicha	34°08'20"	10°01'30"	216	12/01/1999	31/12/2001
	El Akarit	34°08'53"	10°01'51"	63	09/01/1996	31/12/1997
G2	Port Gabes	33°53'36"	10°07'03"	257	14/11/1995	31/05/2002
G3	Zarrat	33°40'23"	10°24'32"	262	02/01/1996	31/05/2002
M1	El Grine	33°39'11"	10°34'24"	64	27/10/2003	31/07/2005
	Maghraouia	33°40'23"	10°38'17"	34	25/10/2004	31/07/2005
M2	Karkoub	33°30'00"	10°48'00"	196	20/07/1995	31/07/2005
	Bayadha	33°28'23"	10°45'36"	1	13/06/2001	13/06/2001
	Hassi Jerbi	33°38'24"	10°00'36"	209	02/01/1996	31/07/2005
	Bouhrara	33°31'12"	10°42'00"	231	07/07/1995	31/07/2005
	Ajim	33°42'04"	10°43'41"	194	09/10/1995	31/07/2005
M3	Cheik Yahia	33°46'48"	10°44'20"	32	03/03/2005	31/07/2005
	Borj Djeljel	33°53'10"	10°44'38"	170	04/11/1996	31/07/2005
	Houmet Essouk	33°52'30"	10°55'12"	177	02/01/1996	31/07/1998
M4	Jabiet El Haj Ali	33°22'48"	11°08'24"	3	05/12/2005	19/12/2005
	Lamsa	33°21'32"	10°06'29"	5	06/01/2004	22/12/2003
	Canal de Cotusal	33°26'24"	11°06'00"	56	15/03/2004	31/07/2005
M5	Elmarsa	33°11'28"	11°18'36"	7	06/01/2004	26/12/2005
	Dar el wost	33°17'17"	11°07'19"	55	06/01/2004	31/07/2005
	Ilots de Bibane	33°12'36"	11°12'36"	50	03/03/2004	31/07/2005
M6	Ktef	33°10'48"	11°29'24"	6	06/01/2004	22/12/2003
	Jetee de Macif	33°10'55"	11°28'44"	53	03/03/2004	31/07/2005

L'échantillonnage est effectué à l'aide d'une bouteille de prélèvement (Sournia, 1978). Le phytoplancton est déterminé et dénombré en utilisant la microscopie inversée, après fixation des échantillons au lugol et sédimentation (Uthermöl, 1958). La détermination taxonomique de ces espèces repose sur diverses sources bibliographiques (Sournia, 1986 ; Ricard, 1987 ; Hasle *et al.*, 1997). Les espèces toxiques sont définies d'après les listes de l'UNESCO/COI (Hallegraeff *et al.*, 1995). La toxicité de ces espèces est ensuite confirmée par le test biologique de présence de biotoxine (Yasumoto *et al.*, 1978).

Le terme d'efflorescence communément appelé "bloom", est défini généralement par des concentrations cellulaires de plus de 10^6 cellules/litre, provoquant essentiellement une coloration de l'eau (Lassus, 1988). Par ailleurs, certains phytoflagellés et dinoflagellés proliférant à moindre concentration (10^3 cellules/litre) peuvent être toxiques sans coloration de l'eau de mer et ces situations sont considérées comme étant les plus critiques (Lassus, 1988). Dans le présent travail, nous retiendrons arbitrairement la présence d'un bloom phytoplanctonique d'une espèce donnée, à partir de 10^5 cellules/litre seuil pour lequel une situation d'alerte est déclenchée dans le cadre du réseau de surveillance.

Afin d'étudier la fluctuation des blooms en fonction des paramètres abiotiques trois classes de valeurs ont été adoptées pour chaque paramètre. Pour le pH: $pH_1 < 8$, pH_2 entre 8 et 8,5 et $pH_3 > 8,5$. Pour la température : $T_1 < 18^\circ C$, T_2 entre $18^\circ C$ et $22^\circ C$ et $T_3 > 22^\circ C$. Pour la salinité: S_1 entre 38 g/l et 42 g/l et $S_2 > 42$ g/l.

Il faut signaler que toutes les zones ne sont pas échantillonnées à la même fréquence (tab. I et IV (a)), nous avons donc procédé à une standardisation des données pour palier à la variabilité dans les fréquences d'échantillonnage. Ainsi, pour chaque échantillon, nous avons défini un indice de normalisation (IN) tel que :

$$IN = n_i / N_i$$

Où n_i est le nombre d'occurrence pour le facteur (i) qui peut être soit l'année, le mois, la zone ou un niveau donné de pH, température et salinité.

N_i étant le nombre total d'échantillons pour le facteur (i). Pour étudier l'effet (zone, mois, année) et l'interaction (année*zone) sur la concentration des différentes espèces, nous avons appliqué l'analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SPSS.11. Il s'agit donc d'un modèle factoriel avec deux facteurs hiérarchisés (année, mois) et un facteur croisé (zone).

Puisque le prélèvement dans les zones M4, M5 et M6 n'a seulement débuté qu'en 2003 (tab. I et IV (a)), notre analyse de variance sur toute la période 1995-2005 n'a concerné que les zones allant de S1 à S6, de G1 à G3 et de M1 à M3.

Généralement, on se donne à priori un risque d'erreur ($p=0,05$; 5%) pour les phénomènes biologiques. Ainsi, à partir des valeurs de la probabilité obtenues, on peut organiser ces espèces comme suit :

-Si on trouve p (p -valeur ou Différence significative) inférieur à 0,05, alors on conclut que la différence entre les

moyennes est statistiquement significative et la probabilité d'erreur pour qu'il y a effet est trop forte c'est à dire qu'il y a un effet très fort;

-Si p est supérieur à 0,05, alors la différence observée entre les moyennes n'est pas statistiquement significative et la probabilité d'erreur pour qu'il y a effet est trop faible c'est à dire qu'il n'y a pas un effet.

RESULTATS

1. L'évolution spatio-temporelle des blooms

La fréquence d'observation des blooms selon les années montre une période stable entre 1998 et 2001, deux années de faibles fréquences correspondant à 1997 et 2002 et une année 2005 à forte fréquence de bloom (fig. 2 et tab. IV (b)). En effet, pendant l'année 2005, sur un total de 744 échantillons nous avons enregistré 50 cas de bloom (tab. IV) avec des concentrations de l'ordre de 123.10^6 cellules/l (tab. II).

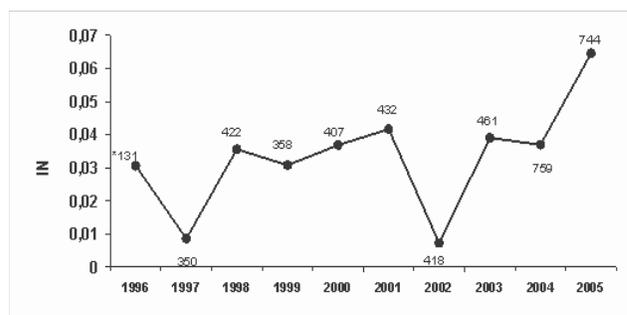


Figure. 2 : Evolution des blooms durant les dix ans de surveillance dans le golfe de Gabes

La période allant des mois d'août à janvier, avec des pics en septembre et janvier, semble être propice à des efflorescences algales (fig. 3).



Figure. 3 : L'évolution des blooms selon les mois pour la période 1995-2005

La période de février à juillet, hormis une légère hausse au mois de mai, ne semble pas affectée par de fortes fréquences de bloom.

Les blooms se rencontrent presque dans toutes les zones du golfe : sur les 15 zones échantillonnées, 13 ont connu des épisodes de blooms durant la période 1995-2005 (tab. IV(b)). Les zones allant de M 1 à M3, de G1 à G3 et de S1 à S6, correspondant ainsi à gradient Sud-Nord, présentent des fréquences de blooms décroissantes (fig. 4).

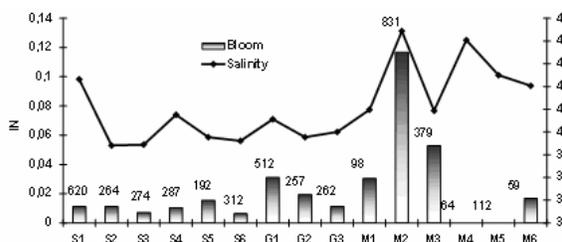


Figure. 4 : Evolution des fréquences des blooms et de la salinité selon les zones d'échantillonnage dans le golfe de Gabes pour la période 1995-2005

2. les espèces responsables des blooms

Sur 272 espèces recensées dans le golfe seulement 24 espèces sont responsables de bloom, dont 16 dinoflagellés et 8 diatomées (tab. II). Les diatomées contribuent à 11% des cas de blooms, représentées principalement par l'espèce *Navicula sp* avec 3% de cas. Les dinoflagellés sont responsables de 89% des efflorescences, parmi celles-ci l'espèce *Karenia selliformis* détient à elle seule 64% des occurrences de ce phénomène suivie par *Protoperidinium quinquecorne* (4%) et *Prorocentrum micans* (4%) (tab. II). Sur les 25 espèces responsables de blooms 4 sont confirmées toxiques à des seuils de 10³ cellules/l : *Alexandrium minutum*, *Coolia monotis*, *K. selliformis* et *Protoceratium reticulatum* (tab. II).

Tableau. II : Les propriétés des espèces responsables de blooms dans le Golfe de Gabes durant la période 1995-2005

Espèces et leurs abréviations	Fréquence d'apparition de blooms (%)	Concentrations maximales: 10 ⁴ cells mL ⁻¹	Test biologique de présence de biotoxine
DIATOMES			
<i>Chaetoceros sp. : Cha. sp</i>	1	35,86	-
<i>Coscinodiscus sp. : Cos. sp</i>	1	19,76	-
<i>Licmophora sp. : Lic. sp</i>	1	13,76	-
<i>Navicula sp. : Nav. sp</i>	3	19,68	-
<i>Pseudo-nitzschia spp. : Pse. spp</i>	1	18,4	-
<i>Skeletonema costatum : Sk. cos</i>	1	12,42	-
<i>Skeletonema spp. : Sk. Spp sp</i>	1	12,84	-
<i>Thalassiosira spp. : Th. sp</i>	2	22,96	-
DINOFLAGELLES			
<i>Akashiwa sanguinea : Ak. sang</i>	1	31,08	-
<i>Alexandrium minutum : Al. min</i>	2	58,88	+
<i>Amphidinium carterae : Am. car</i>	1	18,91	-
<i>Coolia monotis : Co. mon</i>	2	32,8	+
<i>Gyrodinium spp. : Gy. spp</i>	1	20	-
<i>Karenia selliformis : Kr. sel</i>	64	12296	+
<i>Karlodinium veneficum : Krl. ven</i>	1	46,28	-
<i>Kryptoperidinium foliaceum : Kry. fol</i>	1	43,67	-
<i>Kryptoperidinium sp. : Kry. sp</i>	1	77,84	-
<i>Oxyrrhis marina : Ox. mar</i>	1	45,44	-
<i>Prorocentrum micans : Pror. mic</i>	4	21	-
<i>Prorocentrum minimum : Pror. min</i>	2	57	-
<i>Prorocentrum rathymum : Pror. rat</i>	1	21,6	-
<i>Protoceratium reticulatum : Prot. reti</i>	2	42	+
<i>Protoperidinium quinquecorne : Prot. qui</i>	4	36	-
<i>Protoperidinium spp. : Prot. spp</i>	1	11,4	-

Les espèces responsables de blooms sont pour la plupart spécifiques à une zone donnée. En effet sur les 25 espèces, 3 seulement occasionnent des blooms dans plus de deux zones (fig. 5). Le dinoflagellé *K. selliformis* est présent dans 10 zones, principalement dans la zone M2 avec plus de 60% des observations. *Protoperdinium quinquecorne* est également présent dans 5 zones alors que *Navicula sp.*, responsable de blooms dans 4 zones, semble avoir une

préférence pour la zone M6. Dans le même ordre d'idée, mais concernant les périodes de prolifération de ces espèces (fig. 6), il s'avère que seulement *K. selliformis* est présent durant tous les mois de l'année avec des maxima au mois de septembre et de janvier. Les autres espèces sont présentes durant 1 à 4 mois de l'année.

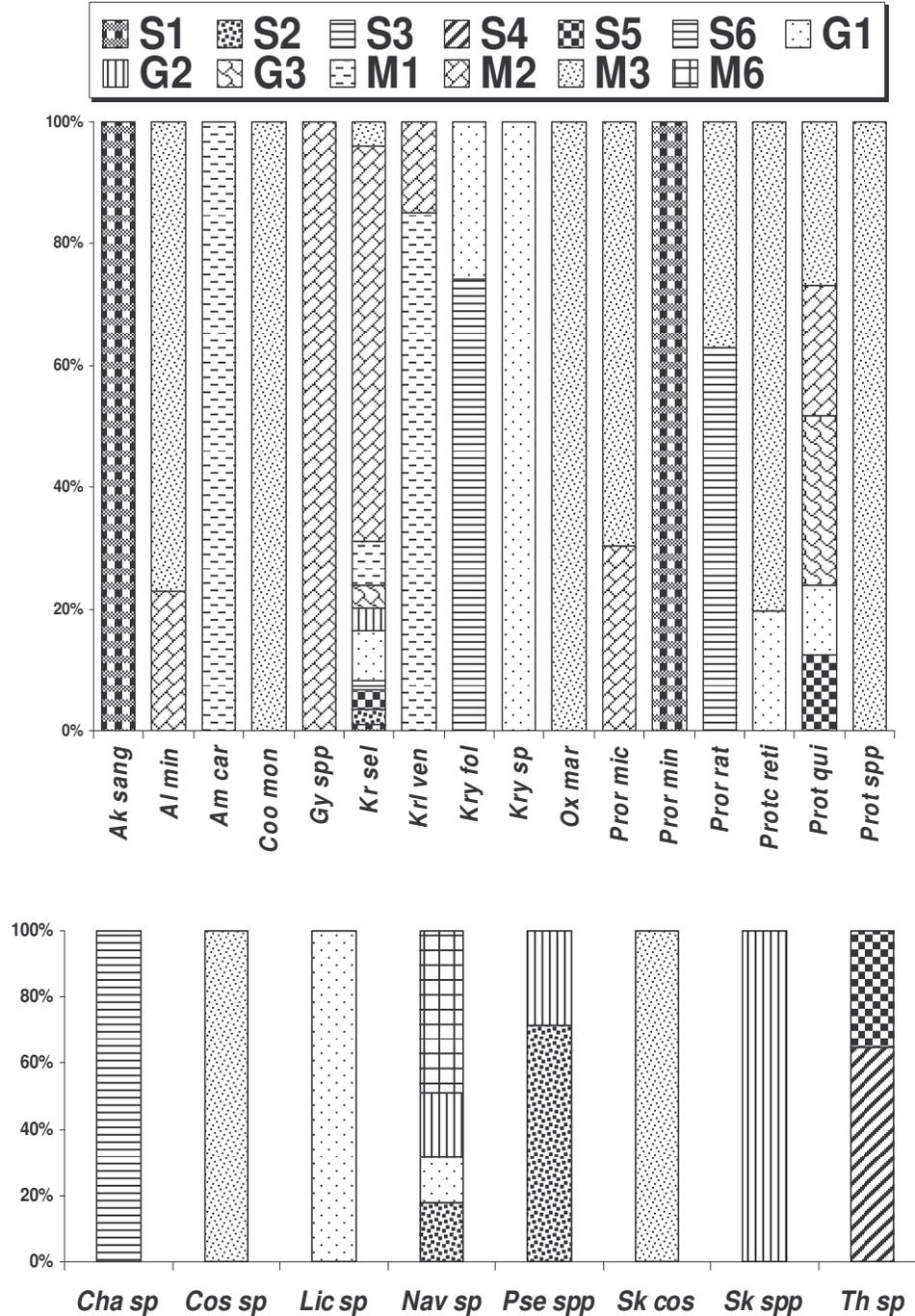


Figure. 5 : Fluctuations selon les zones d'échantillonnage des espèces responsables de blooms dans golfe de Gabes durant la période 1995-2005 : a) Dinoflagellés. b) Diatomées.

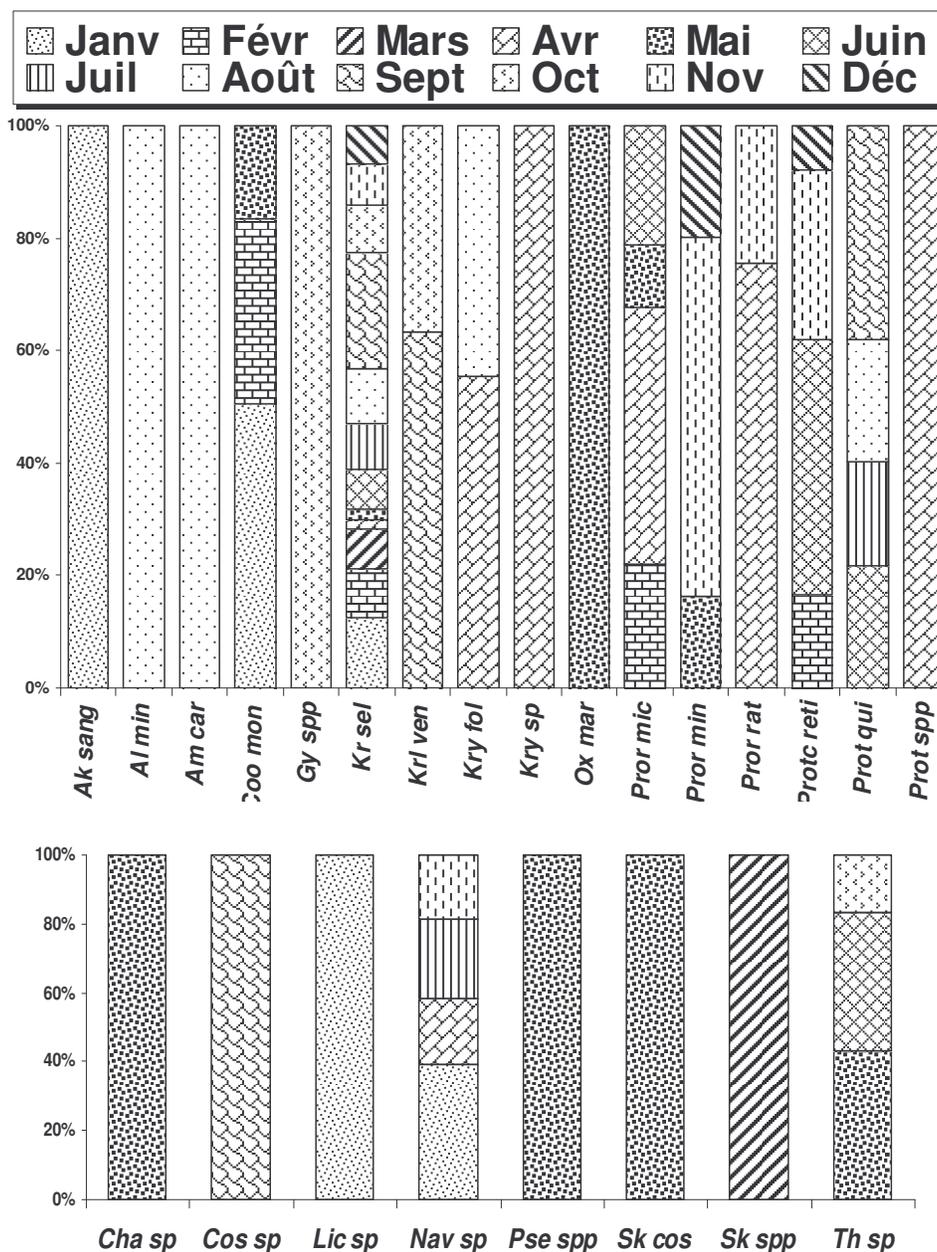


Figure. 6 : Fluctuations mensuelles des espèces responsables de blooms dans le golfe de Gabes durant la période 1995-2005. a) Dinoflagellés. b) Diatomées

Afin de tester les effets années, mois, zones et années*zones sur l'apparition des espèces occasionnant des blooms, une analyse de variance a été effectuée en prenant comme variable dépendante la concentration de l'espèce. Les résultats montrent que 4 espèces: *Navicula sp.*, *Thalassiosira spp.*, *Coolia monotis*, *Prorocentrum micans* et *Protoperdinium quinquecorne* ont des booms qui montrent des différences significatives selon les années, mois, et zones (tab. III). Ces dernières prolifèrent aussi dans des zones et durant des années spécifiques sauf *Thalassiosira spp* et *Protoperdinium quinquecorne*. Les blooms d'*Alexandrium minutum* montrent des différences significatives uniquement selon les mois. Alors que le *Protoceratium reticulatum* montre des différences significatives exclusivement selon l'interaction

années*zones. L'espèce qui occasionne le plus de bloom: *K. selliformis* ne présente pas de variations spatiales ou temporelles statistiquement significatives.

3. Fluctuations des situations de blooms selon les facteurs abiotiques

Les données abiotiques ne sont pas disponibles pour l'ensemble des échantillons, par conséquent l'étude va concerner 10 parmi les 25 espèces à blooms. La plupart des espèces à blooms sont observées pour des températures supérieures à 22°C (fig. 7). Dans plus de 60% des cas, les blooms de *Prorocentrum micans*, *Navicula sp.* et *Coolia monotis* sont signalés pour des températures inférieures à 18°C. Les blooms de *K. selliformis* sont observés dans les trois gammes de température prospectées.

Tableau. III : Résultats de l'ANOVA. Les facteurs testés sont les années, mois et zone. Les variables dépendantes sont les concentrations des espèces. Non Significatif, Significatif

	Effet année	Effet mois	Effet zone	Effet année*zones
Différence significative				
<i>Navicula sp. : Nav. sp</i>	0,000	0,006	0,000	0,000
<i>Thalassiosira spp. : Th. sp</i>	0,000	0,008	0,000	0,220
<i>Alexandrium minutum : Al. min</i>	0,229	0,006	0,229	1,000
<i>Coolia monotis : Co. mon</i>	0,000	0,011	0,000	0,000
<i>Karenia selliformis : Kr. sel</i>	0,737	0,307	0,737	1,000
<i>Prorocentrum micans : Pror. mic</i>	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Prorocentrum minimum : Pror. min</i>	0,238	0,437	0,238	1,000
<i>Protoceratium reticulatum : Prot. reti</i>	0,086	0,595	0,086	0,000
<i>Protoperidinium quinquecorne : Prot. qui</i>	0,030	0,000	0,030	0,184

Tableau. IV : Les tendances spatiales à long terme. (a) : Fréquence d'échantillonnage. (b) : Fréquence de bloom.

(a)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
S1	9	18	79	86	43	73	77	49	56	78	52	620
S2	4	5	31	27	32	26	29	27	24	36	23	264
S3		1	28	24	38	30	34	29	25	38	27	274
S4	3	4	22	25	31	28	33	40	39	35	27	287
S5						14	35	42	40	35	26	192
S6	3	8	28	29	39	30	35	40	41	34	25	312
G1		4	17	30	64	49	48	73	78	77	72	512
G2	3	1	19	43	20	23	23	23	30	38	34	257
G3		13	14	39	21	24	23	23	30	39	36	262
M1									3	26	69	98
M2	19	61	82	79	46	74	64	48	62	150	146	831
M3		16	30	40	24	36	31	24	30	76	72	379
M4									1	23	40	64
M5									1	49	62	112
M6									1	25	33	59
Total	41	131	350	422	358	407	432	418	461	759	744	4523

(b)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
S1				3		3			1			7
S2	1						1		1		1	4
S3					2							2
S4					1		1		1	1		4
S5							2		1			3
S6							1		1			2
G1			2	1	4				4	3	2	16
G2				1			2			1	1	5
G3			1	1					2			4
M1											3	3
M2	2	5	3	9	5	11	7	2	9	14	37	104

M3						1	4	1	1	8	6	21
M4												0
M5												0
M6										1		1
Total	3	5	6	15	12	15	18	3	21	28	50	176

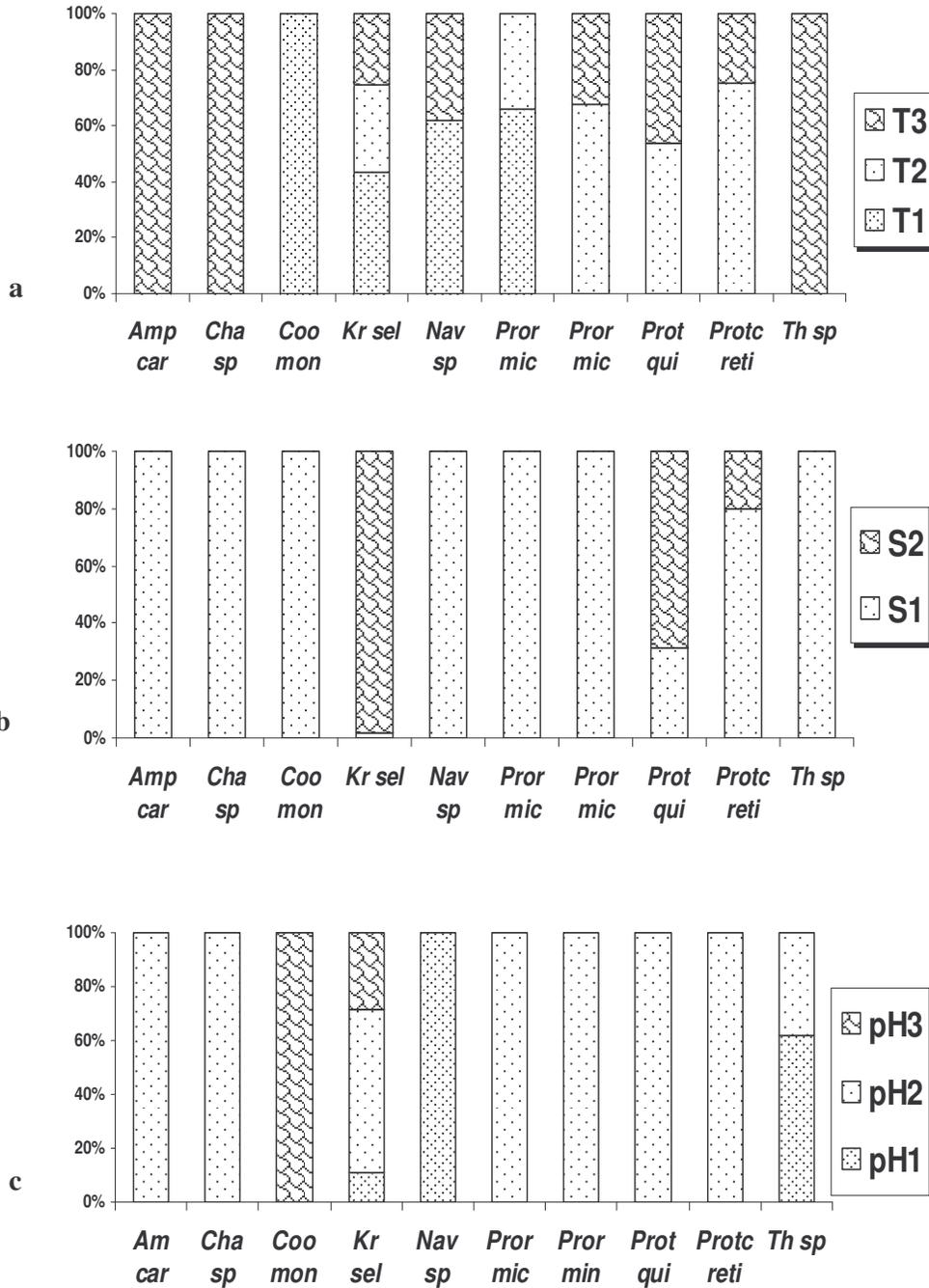


Figure. 7 : Fluctuations des espèces responsables de bloom selon des gradients de (a) : température, (b) : salinité et (c) : pH.

La gamme de salinité (S_1) entre 38 g/l et 42 g/l est celle où nous avons signalé le plus de blooms. Les fortes salinités (S_2) semblent propices au développement des blooms de *K. selliformis* et de *Protoperdinium quinquecorne*.

Le pH, bien que souvent une conséquence du bloom et non un inducteur de ce phénomène, fluctue selon les espèces responsables du bloom. Les blooms de *K. selliformis* sont observés dans les trois intervalles de pH mesurés, avec une préférence pour les pH neutres à tendance basique (pH2). Ce niveau de pH (pH2) est aussi celui mesuré pour les blooms de *Prorocentrum micans*, *Protoperdinium quinquecorne*, *Protoceratium reticulatum* et *Prorocentrum minimum*. Les blooms des diatomées *Navicula sp.* et *Thalassiosira spp* sont signalés dans les pH < 8 alors que les blooms de *Coolia monotis* sont observés pour des pH basiques (>8.5).

DISCUSSION

Le phénomène de blooms phytoplanctoniques est un fait assez fréquent dans la région du golfe de Gabès. En effet, 176 cas de blooms ont été recensés en 10 ans de surveillance hebdomadaire dans notre zone d'étude ce qui représente environ 4% du total des observations (tab. IV). Ces chiffres s'avèrent élevés si on les compare aux données des côtes françaises, surtout pour le Sud de la Bretagne qui atteint 71 cas d'eaux colorées en 13 ans et qui est considéré la zone la plus critique (Belin *et al.*, 1989).

Par ailleurs, ce phénomène semble être imprévisible dans notre zone de surveillance, puisque aucune périodicité à long terme dans les apparitions des blooms n'a été décelée ; ceci est probablement dû au nombre d'années d'observation relativement réduit pour pouvoir dégager des tendances pluri-annuelles. Seules des tendances mensuelles pour les années affectées par ces phénomènes peuvent être dégagées avec des maxima enregistrés en janvier et septembre. Durant ces deux périodes, la composition en espèces responsables de bloom est différente. En janvier nous notons une dominance pour les espèces proliférantes à relativement faibles températures, telles que *Navicula sp.*, et *Coolia monotis*, alors qu'en septembre nous rencontrons les espèces tolérantes aux fortes températures, comme *Protoperdinium quinquecorne*.

Le dinoflagellé *Karenia selliformis* est l'espèce qui occasionne le plus de blooms dans le golfe de Gabès. Ces blooms fluctuent indépendamment des années, des mois et des zones d'échantillonnage. Ce dinoflagellé est identifié depuis les années 90 dans la région et a occasionné alors une mortalité massive de plus de 187 tonnes de poissons dans la lagune de Boughrara (Romdhane *et al.*, 1998) en 1991 et des échouages massives sur les côtes de Sfax en 1994 (Hamza, 2003). Des événements similaires ont été reportés dans la baie du Kuwait en septembre 1999 (Heil *et al.*, 2001), et en février 1994 en Nouvelle Zélande (Haywood *et al.*, 2004 ; Mountfort *et al.*, 2006).

Bien que, la plupart des espèces proliférantes étudiées dans notre région semblent préférer des salinités entre 38 g/l et 42 g/l, une nette exigence de *Karenia selliformis* à

des salinités supérieures à 42 g/l a été notée ; elle a même été signalée pour des salinités de 50 g/l dans la lagune de Boughrara (zone M2). En effet, les blooms des espèces du genre *Karenia* ont été souvent observés dans des zones de fortes salinités (Aldrich and Wilson, 1960 ; Finucane, 1964 ; Rounsfall and Nelson, 1966 ; Kim and Martin, 1974). Il a été même avancé qu'il existe un seuil de salinité de l'ordre de 24 g/l en dessous duquel *Karenia sp.* ne pourrait ni proliférer ni même survivre (Aldrich and Wilson, 1960 ; Steidinger and Joyce, 1973 ; Geesey and Tester, 1993). De plus, Mascarenhas et Pinto (1992) ont aussi remarqué que les fortes salinités alourdissent le mouvement des gymnodinales et semblent activer le processus de division. Dans notre cas, la zone M2 est la plus propice pour le développement de *K. selliformis*, fort probablement en raison des fortes valeurs de salinité de cette lagune et qui sont générés par les sebkhas mitoyennes. De plus, la fréquence des blooms due principalement à ceux de *K. selliformis*, semble s'atténuer en allant du Sud vers le Nord du golfe, ce qui correspondrait éventuellement à un gradient de diminution de la salinité (fig. 4).

D'après ces résultats deux hypothèses seraient probables quant à l'origine et l'intensité du bloom de *K. selliformis*. La première hypothèse stipule que le bloom prendrait naissance dans la lagune de Boughrara pour s'étendre à d'autres zones en diminuant d'intensité. Le courant de marée, principal courant dominant dans la zone côtière du golfe (Sammari *et al.*, 2006), serait le principal vecteur de cette propagation. En effet une dissémination de bloom de *Karenia spp.* induite par le courant de surface a été déjà décrite dans le golfe du Mexique (Brown *et al.*, 2006). La deuxième hypothèse avance que ces blooms auraient plusieurs foyers mais qu'ils varient en intensité et en fréquence selon les conditions physico-chimiques, principalement les valeurs de salinité.

Cette dernière hypothèse semble plus probable étant donnée qu'il n'y pas de continuités chronologiques entre les blooms dans la zone M2 et celles des autres zones éloignées. En d'autres termes, des blooms simultanés peuvent se produire dans la zone M2 et dans une autre zone spatialement distante. Ceci signifierait que l'apparition du bloom n'a pas nécessité une propagation par un courant quelconque.

Par ailleurs il est à noter que nous n'avons enregistré aucune différence entre le milieu lagunaire (M2) et la mer ouverte en terme de population phytoplanctonique totale tout au cours de 10 ans de surveillance et la seule notabilité revient à *K. selliformis* qui affectionne d'avantage cette zone en raison des paramètres physicochimiques spécifiques.

CONCLUSION

A la lumière de ces résultats, nous pourrions suggérer que le phénomène de bloom de *K. selliformis* apparaît relativement imprévisible dans notre zone d'étude. Le seul paramètre qui pourrait être utilisé dans la prédiction de l'apparition de cette espèce serait la salinité. Pour les autres espèces ce phénomène apparaît relativement

localisé dans le temps et dans l'espace, ce qui permet la délimitation de leurs apparitions.

BIBLIOGRAPHIE

- Aldrich D.V. & W.B. Wilson, 1960. - The effect of salinity on growth of *Gymnodinium breve* Davis. *Biol. Bull.*, 119: 57-64.
- Belin C., Berthome J.P. & P. Lassus, 1989. - Dinoflagellés toxiques et phénomènes d'eaux colorées sur les côtes françaises : évolution et tendance entre 1975 et 1988. *Hydroecologie*, (1/2) : 3-17.
- Brown A.F.M., Dortch Q., Van Dolah F.M., Leighfield T.A., Morrison W., Thessen A.E., Steidinger K., Richardson B., Moncreiff C.A. & J.R. Pennock, 2006. - Effect of salinity on the distribution, growth, and toxicity of *Karenia spp.* *Elsevier Science Publications*, Amsterdam, (5): 199-212.
- Finucane J.H., 1964. - Distribution and seasonal occurrence of *Gymnodinium breve* on the west coast of Florida 1954-1957. US Department of Interior Fish and Wildlife Service Special Scientific Reports—Fisheries no. 487, Washington, DC: 14 p.
- Geesey M. & P.A. Tester, 1993. - *Gymnodinium breve*: Ubiquitous in Gulf of Mexico waters?. In : Smayda, T.J. & Shimizu Y. (Eds) Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. *Elsevier Science Publications*, Amsterdam: 251-255.
- Hallegraeff G.M., 1993. - A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycol.*, 32 : 79-99.
- Hallegraeff G.M., Anderson D.M., A.D. & Cembella, 1995. - Manual on Harmful Marine Microalgae. IOC Manuals and Guides, UNESCO: 551 p.
- Hallegraeff G.M., 1998. - Concluding remarks on the autecology of harmful algal blooms. In: Anderson, D.M., Cembella, A.D. & Hallegraeff G.M. (Eds) Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. Springer Verlag Berlin Heidelberg: 371 - 378.
- Hamza A., 1988. - Les algues "urticantes" dans le golfe de Gabès. Essai d'interprétation du phénomène. *Rapp. et Doc. Inst. nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô.*, 2 : 5.
- Hamza A., 1994. - Le phytoplancton marin toxique sur les côtes nord de Sfax : Genèse et Conséquence du phénomène. *Comm. coll. Biotechnologie en Tunisie; état et perspectives. Soc. tun. de Chimie - Biologie* : 37-37.
- Hamza A., 2003. - Le statut du phytoplancton dans le golfe de Gabès. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Fac. Sci. Sfax. Inst. Nat. Scie. Tech. Mer: 297 p.
- Hasle G.R., Syvertsen E.E., Steidinger K.A., Throndsen J., Heimdal B.R. & K. Tangen, 1997. - Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, 858 p.
- Haywood A.J., Steidinger K.A. & E.W. Truby, 2004. - Comparative morphology and molecular phylogenetic analysis of three new species of the genus *Karenia* (Dinophyceae) from New Zealand. *J. Phycol.*, 40 : 165-179.
- Heil C.A., Glibert P.M., Al-Sarawi M.A., Faraj M., Behbehani M. & M. Husain, 2001. - First record of a fish-killing *Gymnodinium sp.* bloom in Kuwait Bay, Arabian Sea: chronology and potential causes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 214 : 15-23.
- Kim, Y.S. & D.F. Martin, 1974. - Effects of salinity on synthesis of DNA, acidic polysaccharide, and ichthyotoxin in *Gymnodinium breve*. *Phytochemistry.*, 13 : 533-538.
- Lassus P., 1988. - Plancton toxique et plancton d'eaux rouges sur les côtes européennes. Ed. IFREMER: 111p.
- Mascarenhas V.M. & L. Pinto, 1992. - Effect of salinity on the Growth rate of *Gyrodinium cf. aureolum* (Dinophyceae). *Bol. Soc. Brot.*, 2 : 125-137.
- Mountfort D., Beuzenberg V., Mackenzie L. & L. Rhodes, 2006. - Enhancement of growth and gymnodimine production by the marine dinoflagellate, *Karenia selliformis*. *Harmful Algae.*, 5: 658-664.
- Ricard M., 1987. - Atlas du phytoplancton marin. Volume II: Diatomophycées. Ed. CNRS, Paris: 297 p.
- Romdhane M.S., Eilertsen H.C., Kefi-Daly-Yahia O. & N. Daly-Yahia, 1998. - Toxic dinoflagellate blooms in Tunisian lagoons: causes and consequences for aquaculture. In: Reguera, B., Blanco, J., Fernandez, M.L. & Wyatt, T (Eds) Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO: 80-83.
- Rounsfell, G.A. & W.R. Nelson, 1966. - Red-Tide research summarized to 1964 including an annotated bibliography. US Department of Interior Fish and Wildlife Service Bureau of Commercial Fisheries Special Scientific Report—Fisheries No. 535, Washington, DC: 85 p.
- Sammari C., Koutitonsky V.G. & M. Moussa, 2006. - Sea level variability and tidal resonance in the Gulf of Gabes, Tunisia. *Continental Shelf Research.* 26 : 338-350.
- Smayda T.J., 1990. - Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for a global epidemic. In : Granéli, E., Sundstroem, B., Elder, L. & Anderson, DM (Eds) Toxic Marine Phytoplankton. Elsevier Science Publications, New-York: 29-40.
- Sournia A., 1978. - Phytoplankton manuel. Muséum National d'Histoire naturelle, Paris, Ed., UNESCO: 337 p.
- Sournia A., 1986. - Atlas du phytoplancton marin. Volume I : Cyanophycées, Dictyophycées, Dinophycées, Raphidophycées. Ed. CNRS, Paris : 219 p.
- Sournia A., Belin C., Berland B., Erard-Le-Denn E., Gentien P., Grzebyk D., Marcaillou-Le-Baut C., Lassus P. & F. Partensky, 1991. - Noxious phytoplankton species on the coasts of France: From biology to prevention, IFREMER : 154 p.
- Sournia A., 1995. - Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into

- biodiversity. *In* : Lassus, P., Arzul, G., E. Erard, P. Gentien, C. Marcaillou-Le-Baut (eds), Harmful marine algal blooms. Lavoisier Publishing, Paris: 103 - 102.
- Steidinger, K.A. & E.A. Joyce Jr, 1973. - Florida red tides. State of Florida Department of Natural Resources Educational Series No. 17, St. Petersburg, FL: 26 p.
- Utermohl H., 1958. - Zür Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. *Comm. Ass. Int. Limol., Appl.*, 9: 1-38.
- Yasumoto T., Oshima Y. & M. Yamaguchi, 1978. - Occurrence of new type of shellfish poisoning in Japan and chemical properties of the toxin. *In* : Taylor, D. & Seliger, H.H (Eds) Toxic Dinoflagellate Blooms. Elsevier Science Publications, Amsterdam: 495-502.