

Écologie / Ecology

## Dinoflagellés toxiques et/ou responsables de blooms dans la baie d'Annaba (Algérie)

Hocine Frehi<sup>a</sup>, Alain Couté<sup>b,\*</sup>, Gérard Mascarell<sup>b</sup>, Catherine Perrette-Gallet<sup>b</sup>,  
Mebarek Ayada<sup>a</sup>, Mohamed Hichem Kara<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire « Bioressources marines », université Badji-Mokhtar-Annaba, BP 12, El-Hadjar, 23000 Annaba, Algérie

<sup>b</sup> Département RDDM, USM 505, Muséum national d'histoire naturelle, case 39, 57, rue Cuvier, 75005 Paris, France

Reçu le 20 octobre 2006 ; accepté après révision le 7 mai 2007

Disponible sur Internet le 11 juin 2007

Présenté par Philippe Morat

### Résumé

Nous présentons ici, pour la première fois, un inventaire des dinoflagellés responsables des blooms toxiques ou non de la baie d'Annaba (Algérie) durant l'année 2002. Les analyses qualitative et quantitative des peuplements phytoplanctoniques révèlent l'existence de 11 taxons, parmi lesquels deux espèces, *Alexandrium catenella* et *Gymnodinium catenatum*, connues pour produire des toxines, ont provoqué des blooms. Sept autres espèces, *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Lingulodinium polyedrum* et *Protoperidinium crassipes* sont toxinogènes, mais n'ont jamais contribué, ici, à des floraisons phytoplanctoniques. Enfin, les deux derniers taxons, à savoir, *Prorocentrum triestinum* et *Scrippsiella trochoidea*, ont été associés à des eaux colorées, mais n'ont pas de potentialité toxique reconnue. L'étude physicochimique réalisée parallèlement à celle du phytoplancton a montré le caractère eutrophe des stations 1 et 2. La station 3, en revanche, est oligotrophe. **Pour citer cet article :** H. Frehi et al., C. R. Biologies 330 (2007).

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**Harmful and red-tide dinoflagellates in the Annaba bay (Algeria).** We present here the first description of harmful and non-toxic red-tide dinoflagellates of the Annaba bay (Algeria), during 2002. The qualitative and quantitative phytoplankton analyses reveal the presence of eleven dinoflagellates; two species, *Alexandrium catenella* and *Gymnodinium catenatum*, are responsible for efflorescences and known to be harmful. Seven species, *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Lingulodinium polyedrum*, and *Protoperidinium crassipes*, are considered to produce a toxin. Two others, *P. triestinum*, and *Scrippsiella trochoidea*, have sometimes been associated with blooms. Analyses of physical and chemical parameters show that stations 1 and 2 are eutrophic, whereas station 3 is oligotrophic. **To cite this article:** H. Frehi et al., C. R. Biologies 330 (2007).

© 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Dinoflagellés ; Toxiques ; Bloom ; Algérie ; Méditerranée

**Keywords :** Dinoflagellates ; Red tide ; Harmful ; Algeria ; Mediterranean Sea

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [acoute@mnhn.fr](mailto:acoute@mnhn.fr) (A. Couté).

## Abridged English version

In this study, the authors present for the first time an inventory of harmful algae, which is responsible for blooms appearing in coastal waters of the Annaba bay (Algeria). Phytoplankton samples and some hydrological data have been collected during year 2002 every 15 days, in three stations located along a south–north-oriented radial.

Micro-algae were examined with light and scanning electron microscopes (SEM JEOL, JSM-840A of the Common Service of Electronic Microscopy of the Life Sciences Laboratories of the National Museum of Natural History, in Paris, France).

The qualitative and quantitative surveys show that 11 taxa of dinoflagellates were identified as toxic or bloom forming. Between them, two harmful species were found on the Annaba coastline: *Alexandrium catenella* and *Gymnodinium catenatum*, which proliferated; seven other toxic Dinophyceae were discovered: *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Lingulodinium polyedrum*, and *Protoperdinium crassipes*, but they never generated blooms; two non-toxic species, *Prorocentrum triestinum* and *Scrippsiella trochoidea*, produced blooms.

*Alexandrium catenella* and *Lingulodinium polyedrum* are found, for the first time, in the Annaba bay's waters and in Algeria.

In spring, all identified taxa were listed, whereas in summer *L. polyedrum* is absent. In autumn, five species are present, namely: *D. rapa*, *G. catenatum*, *L. polyedrum*, *P. crassipes*, and *P. triestinum*, whereas only *D. fortii* and *P. crassipes* are recorded in winter.

In 2002, the 11 listed taxa appeared practically in the three stations, excepted *D. caudata* in station 1, *D. fortii* and *L. polyedrum* in station 2, and *A. catenella* in station 3.

Efflorescences appeared the most in station 1 with *G. catenatum* ( $>3.5 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>), *P. triestinum* ( $>2 \times 10^5$  cells L<sup>-1</sup>), and *S. trochoidea* ( $>8 \times 10^5$  cells L<sup>-1</sup>).

Another blooming occurred in station 2, with *A. catenella*, whereas station 3, for its own, never produced a notorious phytoplankton proliferation.

## 1. Introduction

Les blooms de micro-algues n'ont cessé de croître au cours de ces dernières décennies dans les régions tempérées et tropicales. Leurs manifestations peuvent être nocives pour la faune marine ainsi que pour la santé humaine. Les espèces responsables appartiennent aux

Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Dinophycées, Euglénophycées, Prymnesiophycées et Prasinophycées [1]. À la suite de la recrudescence de ces phénomènes en Australie, aux États-Unis, en Europe et au Japon, et aux conséquences qu'ils entraînent, notamment pour l'aquaculture et le tourisme, plusieurs programmes de recherche et de surveillance ont été mis en œuvre dans ce domaine [2].

À l'échelle mondiale, de nombreux travaux ont été menés sur les blooms à phytoplancton toxique, entre autres sur ceux à dinoflagellés (= Dinophycées) [3–9].

Sur la côte méditerranéenne sud-occidentale, plusieurs études ont été réalisées sur le phytoplancton marin toxique, en particulier au Maroc [10–13] et en Tunisie [14]. En revanche, seules quelques données ponctuelles existent pour le littoral algérien, dont le phytoplancton marin demeure à ce jour peu connu. Les travaux disponibles concernent les baies d'Alger et d'Annaba [15,16], mais aucun inventaire exhaustif n'a été réalisé à ce jour.

La présente étude décrit, pour la première fois, les espèces phytoplanctoniques toxiques et celles impliquées dans des efflorescences se manifestant parfois dans les eaux côtières de la baie d'Annaba. Des mesures des sels nutritifs et un suivi de quelques paramètres hydrologiques ont été réalisés afin de tenter d'appréhender les conditions écologiques favorables à ces microorganismes.

## 2. Matériels et méthodes

La récolte des échantillons et les mesures des paramètres physicochimiques ont été effectuées durant l'année 2002 tous les 15 jours, en trois points distribués le long d'une radiale orientée sud–nord, avec un gradient bathymétrique (3,5 m, 7 m et 28 m), et en suivant l'axe de fertilisation (Oued Seybouse), au sud, et les entrées des eaux du large (cap de Garde), au nord (Fig. 1).

La température et la salinité sont mesurées in situ à l'aide d'un thermosalinomètre de type Kent EIL 5005. Les sels nutritifs dissous (ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et les phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) sont dosés selon les méthodes décrites dans le manuel [17].

La chlorophylle *a* a été dosée selon le protocole décrit par [17], les concentrations étant calculées suivant les équations usuelles [18].

Pour le phytoplancton, des traits horizontaux ont été réalisés à –50 cm de la surface, à l'aide d'un filet à plancton de 20 µm de vide de maille. Les échantillons

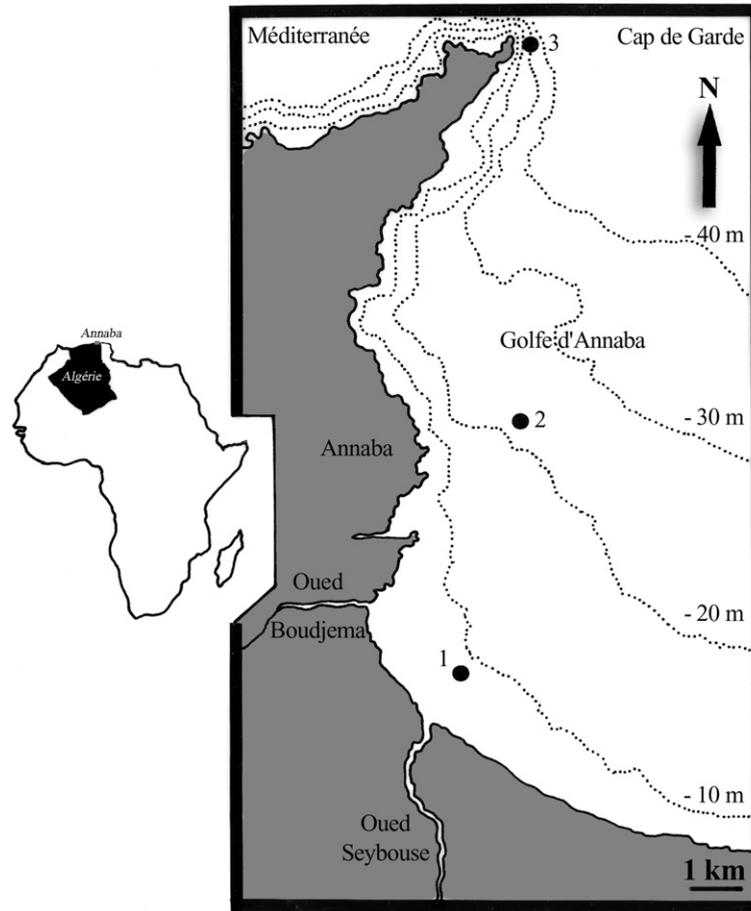


Fig. 1. Situation géographique des stations échantillonnées dans la baie d'Annaba (Algérie).

ont été immédiatement fixés à l'aide de formaldéhyde neutralisé (concentration finale = 5%).

Les identifications et les descriptions des espèces sont basées sur les caractères définis par différents auteurs [19–24].

Un microscope Wild M20, équipé d'une chambre claire, a été utilisé pour les observations et l'exécution des dessins.

Les espèces examinées au microscope électronique à balayage (MEB) ont été isolées à la micropipette, lavées à l'eau distillée et traitées à l'eau oxygénée durant 24 à 72 h (pour éliminer les salissures). Elles ont ensuite été déshydratées et montées sur les porte-objets selon le protocole défini par Couté [25].

Les observations et les prises de vues ont été réalisées sur le MEB Jeol JSM-840A du service commun de microscopie électronique des laboratoires des sciences de la Vie du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.

### 3. Résultats

#### 3.1. Physicochimie et biomasse chlorophyllienne

L'analyse des résultats des mesures des paramètres physico-chimiques et de la biomasse chlorophyllienne (Tableau 1) révèle l'existence d'un gradient spatial de température, de salinité et de concentration des sels nutritifs et de la chlorophylle *a*, de la côte vers le large. La température fluctue entre 14 °C en hiver et 25,8 °C en été entre les stations 1 et 3. La salinité varie dans la station 1 entre 35,1 PSU en hiver et 37,5 PSU en été ; elle est comparable à celle des eaux du large, dont la moyenne annuelle est de 37,4 PSU.

Les teneurs élevées en sels nutritifs et en chlorophylle *a* traduisent une eutrophisation, qui s'accroît en période estivale. On constate, en outre, l'établissement d'un gradient décroissant sud-nord, plus marqué pour l'ion ammonium, dont les teneurs sont très élevées (de 5,06 à 272,82  $\mu\text{mol L}^{-1}$  à la station 1, et de 0 à 1,86

Tableau 1  
Valeurs des paramètres physicochimiques mesurés en 2002 dans les trois stations (1, 2, 3) échantillonnées dans la baie d'Annaba

	Température (°C)			Salinité (PSU)			Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (μmol L <sup>-1</sup> )			Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (μmol L <sup>-1</sup> )			Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (μmol L <sup>-1</sup> )			Chlorophylle <i>a</i> (μg L <sup>-1</sup> )		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
J	16	14,4	14,8	37,4	37,8	37,5	32,7	0,6	0	3,8	0,61	1,15	2,11	0,02	0	—	—	—
F	16,8	18	14,6	37,2	37,9	37,6	272,8	0,06	0	13,95	0,22	0,13	1,99	0	0	7,21	0,8	0,26
M	17,3	17	15,3	37,2	37,3	37,5	64,5	37,06	1,86	9,24	0,22	0,06	3,03	0,68	0	10,94	0,8	0,26
A	17,4	16,5	16,2	36,9	37,4	37,4	87,9	1,16	0,71	37,36	0,16	0,06	1,92	0,05	0	7,21	3,47	0,25
M	20,9	20	18,5	37	37,4	37,2	21,6	4,26	0,56	1,45	0,09	0,06	1,06	1,2	0,03	10,68	5,6	3,2
J	21,6	20,8	19,4	36,9	37,3	37,2	5,06	23,46	0	0,87	2,02	0,11	2,12	4	0	23,5	32,84	1,06
J	25,8	24,8	24,6	36,8	36,9	37,1	26,01	16,7	0	5	1,72	0,03	5,96	5,64	0	39,51	28,3	6,4
A	25,8	25,5	25,3	37,5	38,1	37,9	28,9	0,21	0	4,47	0,41	0,11	1,65	0,48	0	11,74	9,61	1,87
S	25,4	25,4	25	37,2	37,5	37,6	29,3	1,11	0	2,1	0,70	0,03	1	0,56	0	1,6	11,74	0,22
O	22,2	21,9	21,8	35,9	37,1	37,4	55,5	3,76	0,16	13,4	1,53	0,06	2,36	1,16	0	7,21	1,6	0,20
N	16,8	16,4	16,5	36,4	37,2	37,2	210	43,6	1,66	29,37	10,53	0,83	0,82	0	0,18	1,33	1,33	0,80
D	14,6	14,1	14,8	35,1	37,1	37,1	211,8	6,9	0,81	58,36	4,28	1,2	0,46	0,02	0	14,95	3,2	0,23

μmol L<sup>-1</sup> à la station 3), retrouvant les valeurs d'oligotrophie enregistrées en Méditerranée nord-occidentale [26].

La plus forte concentration en chlorophylle *a* est notée au cours du mois de juillet (Tableau 1), atteignant des valeurs très élevées à la station 1 (39,51 μg L<sup>-1</sup>), mais avec des teneurs inférieures à 2 μg L<sup>-1</sup> à la station 3.

D'après la classification des niveaux trophiques des milieux aquatiques [27], la baie d'Annaba peut être considérée comme eutrophe (teneur en chlorophylle *a* se situant entre 5 et 20 μg L<sup>-1</sup>). La concentration de la chlorophylle *a* moyenne enregistrée en 2002 est de 6,60 μg L<sup>-1</sup>.

### 3.2. Inventaire et description des Dinophycées

L'inventaire des peuplements de Dinophycées toxiques et/ou responsables de blooms mené durant l'année 2002 dans la baie d'Annaba a permis de recenser 11 taxons (Tableau 2) : *Alexandrium catenella*, *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Gymnodinium catenatum*, *Lyngulodinium polyedrum* et *Protoperdinium crassipes* sont considérés comme toxiques, tandis que *Prorocentrum triestinum* et *Scrippsiella trochoidea*, qui ont été associés à des blooms, ne sont pas nuisibles.

*Alexandrium catenella* (Whedon et Kofoid) Balech (Fig. 2 a et b)

(= *Gonyaulax catenella* Whedon et Kofoid)

(= *Protoperyaulax catenella* (Whedon et Kofoid) Taylor)

Cellules en chaîne par deux, quatre ou huit, de forme globuleuse ; épithèque hémisphérique, hypothèque légèrement concave, cingulum descendant, non croisé, sulcus bordé par de larges ailettes (Fig. 2a), thèque lisse, avec des pores espacés. Un large complexe poral apical (APC) de forme triangulaire (côté : 7,6 μm, base : 4,6 μm) est composé d'un pore apical (Po), qui est en contact direct avec la plaque 1' et abrite un foramen, et d'un pore de liaison antérieur (aap : *attachment anterior pore*), de forme ellipsoïdale (dimensions : 1–1,6 μm) (Fig. 2b) ; on relève l'absence de pore ventral.

Dimensions : longueur 25–30 μm ; largeur 30–35 μm.

Tabulation : Po, 4', 6'', 6c, 8s, 5''', 2''''.

C'est la première fois que cette espèce est trouvée en Algérie. Dans la baie d'Annaba, elle a provoqué un bloom au mois de mars à une température de 17 °C, dans la station 2, avec une densité de 117 × 10<sup>3</sup> cellules L<sup>-1</sup>.



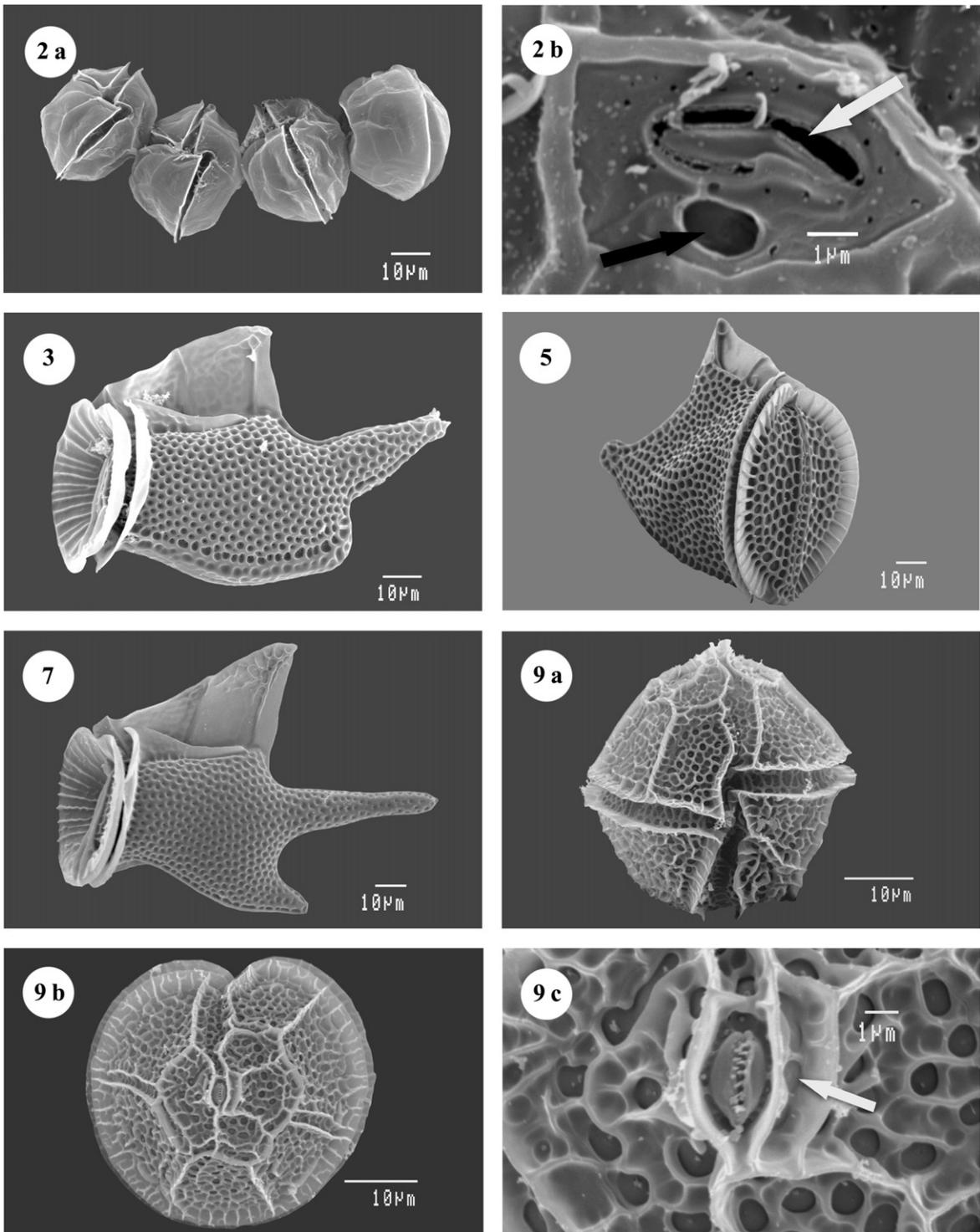


Fig. 2. *Alexandrium catenella* : (a) chaîne de quatre cellules, (b) complexe apical (flèche blanche : foramen ; flèche noire : pore apical de liaison).  
 Fig. 3. *Dinophysis caudata*, vue latérale. Fig. 5. *Dinophysis rapa*, vue apicale. Fig. 7. *Dinophysis tripos*, vue latérale. Fig. 9. *Lingulodinium polyedrum* : (a) vue ventrale ; (b) tabulation apicale ; (c) détail du pôle antérieur (flèche blanche : plaque 4').

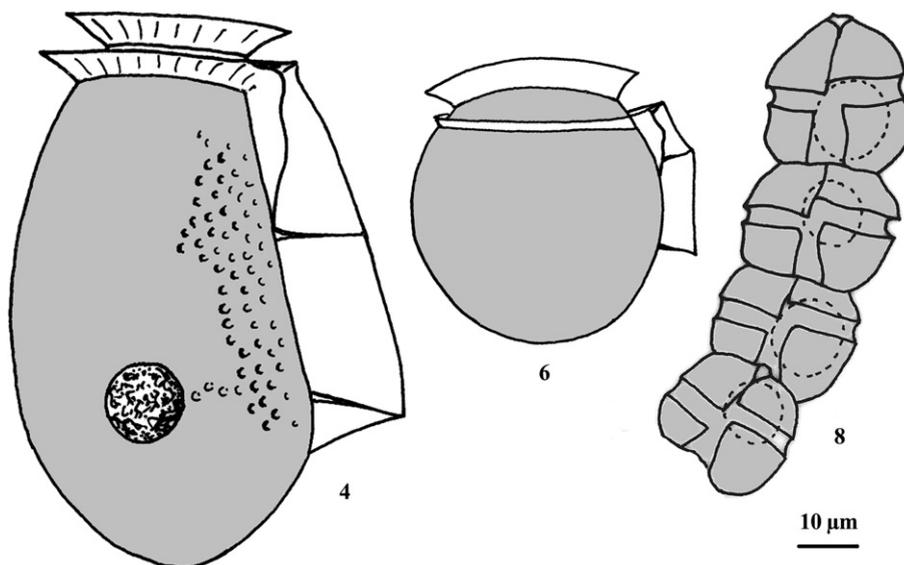


Fig. 4. *Dinophysis fortii*, vue latérale. Fig. 6. *Dinophysis rotundata*, vue latérale. Fig. 8. *Gymnodinium catenatum*, chaîne de quatre cellules.

*Dinophysis rapa* (Stein) Abé (Fig. 5)  
(= *Phalacroma rapa* Stein)

Corps trapézoïdal en vue latérale, avec un bord postéro-ventral étendu et concave. Épithèque très réduite et aplatie, mais qui dépasse la collerette antérieure, relativement étroite, avec de nombreux rayons. L'aileton sulcal gauche, avec trois rayons, dont le R3, est le plus long et recouvre tout le bord ventral. Thèque épaisse ornementée par de grosses aréoles (3–4 µm de diamètre), dont certaines avec un pore.

Dimensions : longueur 75–80 µm, largeur 65–75 µm.

Certains auteurs [37,38], évoquent la possibilité que *Dinophysis mitra* soit une variété de *D. rapa*.

Très fréquente durant la période printanière et estivale dans la baie d'Annaba, aux stations 2 et 3.

Espèce connue pour produire de l'acide okadaïque [34].

*Dinophysis rotundata* Claparède et Lachmann  
(Fig. 6)

(= *Phalacroma rotundatum* Kofoid et Michener)

(= *Dinophysis whittingae* Balech)

Cellule comprimée latéralement, épithèque et hypothèque de forme arrondie en vue latérale; épithèque en partie masquée par la collerette cingulaire antérieure; hypothèque sans ornementation. Cingulum antérieur bordé de deux collerettes subhorizontales, généralement lisses.

L'ailette sulcale gauche est plus large que la droite et s'étend sur plus de la moitié de la longueur de l'hypo-

thèque; elle est munie de trois forts rayons, R1 et R2 étant plus proches que R2 et R3. Thèque à nombreux pores.

Dimensions : longueur 52 µm, largeur 50 µm.

Très peu abondante sur les côtes d'Annaba, cette espèce a été détectée de mai à août aux stations 2 et 3.

Espèce commune en eaux froides et océaniques, présente en abondance dans la Manche, en Atlantique et, de façon occasionnelle, en Méditerranée [38].

Des études toxicologiques ont révélé que *Dinophysis rotundata* était responsable de la production de la dinophysistoxine-1 (DTX1) [34].

*Dinophysis tripos* Gourret (Fig. 7)

Cellule comprimée latéralement, pourvue de deux appendices postérieurs, l'un ventral et long (46 µm), l'autre dorsal et beaucoup plus court (16 µm). Thèque épaisse avec des pores (12/10 µm<sup>2</sup>) entourés d'aréoles. Cingulum très antérieur, bordé de deux collerettes largement évasées, l'antérieure étant supportée par des rayons.

Sulcus bordé de deux ailerons, le droit plus court, et celui de gauche plus long, avec trois rayons accompagnés de nervures au niveau de l'extrémité du R3.

Dimensions : longueur 116,5 µm, largeur 83,5 µm.

Espèce thermophile, très fréquente en juin aux stations 2 et 3.

Des analyses de toxines chez *Dinophysis tripos* ont montré, sur une population japonaise, qu'il était responsable de la production de la dinophysistoxine-1 (DTX1) [34].

*Gymnodinium catenatum* Graham (Fig. 8)

Cellules en chaîne comportant jusqu'à 32 individus. Cellule globuleuse, épithèque subconique, hypothèque hémisphérique. Cingulum descendant; sulcus s'étendant de l'antapex à l'apex.

Dimensions : longueur 20 µm, largeur 15 µm.

Présence de nombreux chloroplastes.

Espèce très fréquente pendant les périodes printanière et estivale; elle a provoqué un *bloom* à la fin du mois de juin aux stations 1 et 2, avec une densité de  $3,5 \times 10^6$  cellules  $L^{-1}$ . La présence régulière de cette espèce sur les côtes algériennes et sa capacité à synthétiser des gonyautoxines (GTX2/3) nécessitent un suivi spatiotemporel et une étude toxicologique [16].

*Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge (Fig. 9 a, b et c)

(= *Gonyaulax polyedra* Stein)

La cellule présente un aspect globuleux, grossièrement pentagonal (Fig. 9a), avec une vue apicale presque circulaire; elle possède des plaques thécales épaisses (tabulation épithéciale : Po, 4', 2a, 6''; Fig. 9b) à bord très prononcé; elle comporte de grosses aréoles, avec un pore central. Le cingulum est descendant et croisé. La plaque 4' (Fig. 9c) est très petite et située sur le côté droit du pore apical, particularité de cette espèce par rapport aux espèces voisines du genre *Gonyaulax*. Le sulcus est droit, élargi dans la partie postérieure. C'est une espèce connue pour former des kystes portant éventuellement des épines.

Dimensions : longueur 42,5 µm, largeur 40,8 µm.

Le développement de *L. polyedrum* sur les côtes algériennes a été observé entre mars et septembre aux stations 1 et 3. Cette espèce est présente en Méditerranée tout au long de l'année, avec une fréquence moindre en hiver. Elle est occasionnelle en Atlantique [24].

Ce taxon est déjà recensé comme responsable d'eaux rouges et est associé à des ichthyotoxines [39].

*Prorocentrum triestinum* Schiller (Fig. 10 a et b)

(= *Prorocentrum redfeldii* Bursa, *P. pyrenoideum* Bursa)

Cellule de forme lancéolée, en vue latérale, avec une thèque asymétrique; elle a un bord convexe et bombé, arrondi dans sa partie antérieure, avec un aiguillon de 3 à 5 µm de longueur, pointu du côté postérieur (Fig. 10a). La thèque est plate et lisse; pores à trichocystes (Fig. 10b) peu nombreux disposés régulièrement sur la périphérie.

Dimensions : longueur 24 µm, largeur 10 µm.

Espèce la plus petite du genre, dont la forme et les dimensions facilitent l'identification [40].

Espèce planctonique, plus néritique qu'océanique.

Dans la baie d'Annaba, elle est rencontrée pratiquement toute l'année, surtout dans la station 1, avec un *bloom* en juin et septembre et des densités respectives de  $228 \times 10^3$  et  $159 \times 10^3$  cellules  $L^{-1}$ .

*Protoperidinium crassipes* (Kofoid) Balech (Fig. 11 a, b et c)

Contour cellulaire en forme de toupie, aspect ventral subcarré et vue apicale circulaire; corne antapicale droite forte, la gauche étant plus courte, toutes les deux étant munies d'une épine solide. Cingulum descendant; paroi réticulée avec plusieurs pores dispersés au hasard (Fig. 11 a et c), Plaque 1' en position méta; tabulation épithéciale : 4', 3a, 7'' (Fig. 11b).

Dimensions : longueur 88,5 µm, largeur 83,5 µm.

Taxon détecté durant toutes les saisons aux stations 1 et 2.

Il est connu pour produire une nouvelle phycotoxine (AZP *Azaspiracid Poisoning*), qui génère les symptômes d'une intoxication par IDFM (intoxication diarrhéique par fruits de mer) [41]

*Scripsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III (Fig. 12)

Cellule de forme subpiriforme ou sublosangique, peu ou pas comprimée dorso-ventralement. Plaques lisses avec quelques pores. Épithèque subconique, hypothèque subhémisphérique. Cingulum assez large (3 à 4 µm), légèrement descendant. Tabulation : 4', 3a, 7'', 6c, 5''', 6'''''. Présence de chloroplastes.

Dimensions : longueur 24,5 µm, largeur 22 µm.

Espèce cosmopolite, connue des eaux néritiques et estuariennes. Dans la baie d'Annaba, elle est présente pendant l'hiver, le printemps et l'été dans l'ensemble des stations; elle a constitué des *blooms* en mai, juin et juillet dans la station 1, avec une densité maximale de  $885 \times 10^3$  cellules  $L^{-1}$  en juillet.

Espèce non toxique.

#### 4. Discussion et conclusion

L'étude qualitative et quantitative des peuplements de Dinophycées menée durant l'année 2002 dans la baie d'Annaba a permis de constater des floraisons presque permanentes, surtout dans les stations côtières, en particulier la station 1, soumise à une grande influence continentale, ce qui explique son caractère eutrophe. En effet, on y a noté des teneurs en éléments nutritifs extrêmement élevées (moyenne annuelle pour l'ammonium :  $86,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ , nitrates :  $14,9 \mu\text{mol L}^{-1}$ , phosphates :  $2,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), et de la chlorophylle *a* avec  $11,3 \mu\text{g L}^{-1}$ , ces apports terrigènes masquant ainsi les

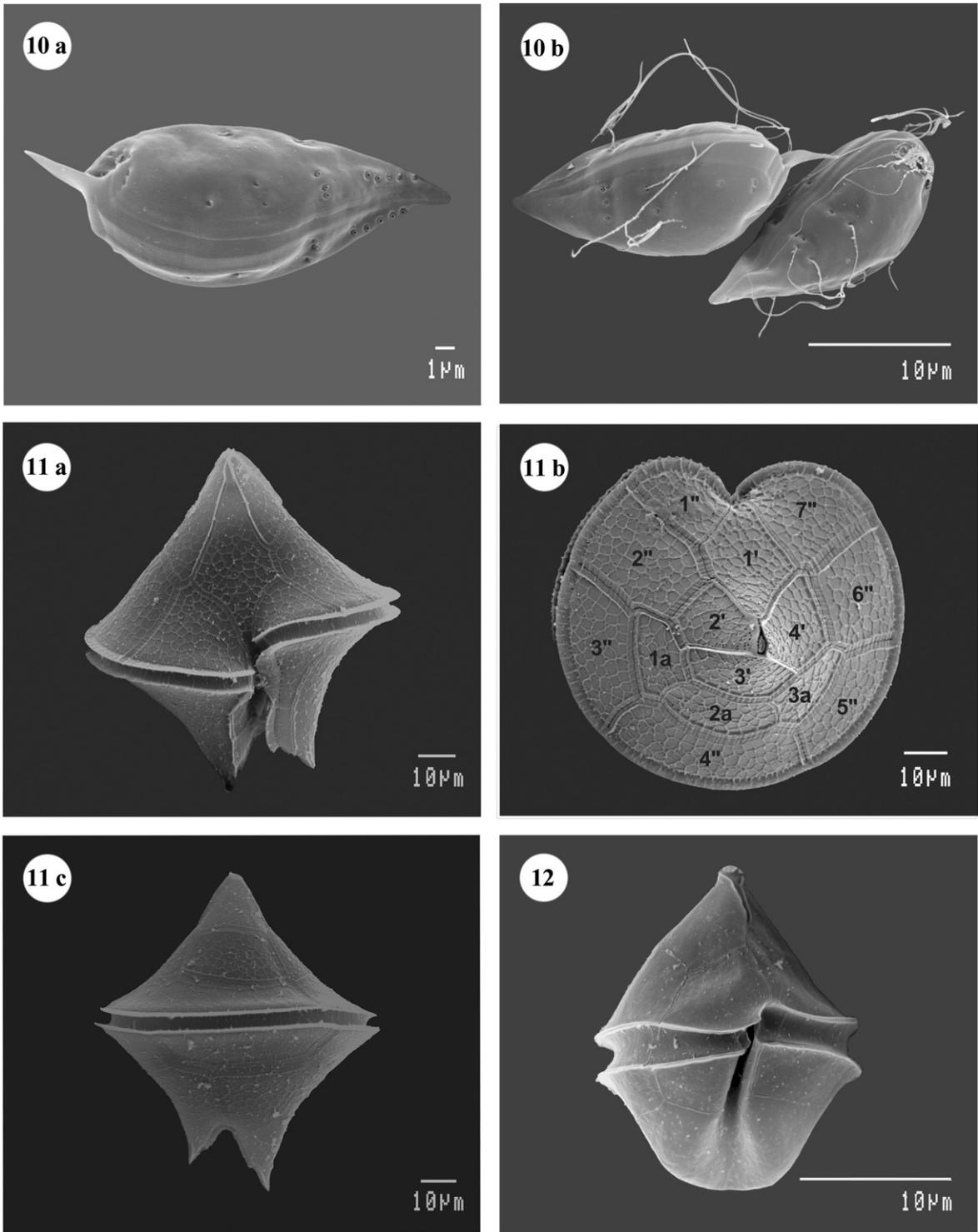


Fig. 10. *Prorocentrum triestinum* : (a) vue d'un individu ; (b) deux cellules avec trichocystes. Fig. 11. *Protoperidinium crassipes* : (a) vue ventrale ; (b) tabulation apicale ; (c) vue dorsale. Fig. 12. *Scripsiella trochoidea* : vue ventrale.

variations saisonnières. La station 3, pour sa part, se caractérise par une eau oligotrophe, les concentrations moyennes y étant respectivement de  $0,48 \mu\text{mol L}^{-1}$  pour l'ammonium,  $0,3 \mu\text{mol L}^{-1}$  pour les nitrates et  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  pour les phosphates, ce qui favorise le développement des formes thécales, comme : *Dinophysis*, *Diplopsalis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum*, *Proto-peridinium*, et un accroissement des *Ceratium*.

Ces analyses ont abouti également au recensement de 11 espèces de Dinophycées, soit impliquées dans des blooms, soit toxiques, soit les deux à la fois.

Plusieurs fleurs d'eau de dinoflagellés ont ainsi été observées durant l'année 2002, dont les plus importantes pendant la période printanière. Les espèces concernées étaient : *Alexandrium catenella*, *Gymnodinium catenatum*, *Prorocentrum triestinum* et *Scip-siella trochoidea*. Parmi celles-ci, seuls *Alexandrium catenella* et *Gymnodinium catenatum* sont considérées comme toxiques.

Le bloom à *G. catenatum* est apparu en juin dans toute la baie, avec une densité maximale de  $3,5 \times 10^6 \text{ cellules L}^{-1}$  dans la station 1. Il s'est poursuivi jusqu'en septembre, mais avec un nombre d'individus plus restreint. Cette prolifération est probablement due à une hausse de la température durant ces quatre mois, variant entre  $24,6$  et  $25,8^\circ\text{C}$ , accompagnée d'une mer calme. La première efflorescence de *G. catenatum* a été signalée dans le golfe de Californie, avec des densités de  $1 \times 10^6 \text{ cellules L}^{-1}$  [42]. Par la suite, d'autres proliférations ont été enregistrées en Australie [43], au Mexique [44] et aux Philippines [45]. En Europe, cette espèce a été principalement responsable d'intoxication paralysante par fruits de mer (IPFM) sur les côtes espagnoles de la Galice [46]. En France, elle a provoqué des eaux colorées dans les bassins portuaires du Havre en 1978 [47,48] ainsi qu'à Malte, en 1970 et 1971 [49]. De 1961 à 1975, *G. catenatum* a été responsable de la formation d'eaux rouges sur les côtes hollandaises [50,51].

C'est en 1987 que *G. catenatum* a été identifié comme responsable de la production des toxines paralysantes sur les côtes méditerranéennes du Sud de l'Espagne [52]. On a enregistré l'existence régulière de cette espèce sur les côtes espagnoles depuis la mise en place du programme de surveillance du phytoplancton toxique, en 1997 [53]. Des constatations analogues ont aussi été faites sur les côtes marocaines (Méditerranée sud-occidentale) [14,54].

Sur les côtes algériennes, la présence de *G. catenatum* dans les eaux des baies d'Alger et de Bou-Ismaïl a été signalée en 2004 [16], avec des densités variant entre 440 et  $3200 \text{ cellules L}^{-1}$ . Cependant, cette concentration reste très faible par rapport au bloom observé dans

la baie d'Annaba ( $3,5 \times 10^6 \text{ cellules L}^{-1}$ ). Selon le même auteur [16], les analyses par HPLC ont démontré la dominance de puissantes toxines, parmi lesquelles les carbamates (C1 et C2) et quelques traces de gonyautoxines (GTX2 et GTX3); des études faites à Singapour sur des clones de *Gymnodinium catenatum* [55] ont abouti à des résultats identiques, à savoir la détection de carbamates comprenant, entre autres, les gonyautoxines GTX1 à GTX4 (avec une quantité moindre de GTX1 et GTX2).

L'espèce *Alexandrium catenella* est signalée pour la première fois dans les eaux algériennes. Connu pour être toxique, ce taxon a provoqué un bloom dans la baie d'Annaba en mars, à la station 2 seulement, avec une densité de  $117 \times 10^3 \text{ cellules L}^{-1}$ . Différentes causes ont été invoquées pour expliquer l'apparition de ce type de bloom, comme la présence de cystes benthiques ou l'hydrographisme (régions peu profondes, baie fermée...) [56]. D'autres études ont démontré qu'il n'y avait pas de relation entre les apports terrestres et les blooms à *Alexandrium*; en revanche, la stratification de la masse d'eau et la présence de certains micronutriments pourraient favoriser l'apparition d'un bloom [57]. Des études plus récentes [58], portant sur la relation entre les teneurs en nitrates et phosphates et la croissance d'*Alexandrium* en culture, ont conclu que des teneurs élevées en ces éléments n'influent pas sur l'augmentation de la densité cellulaire. Il a été observé que le nombre de cellules baisse quand la teneur en ammonium croît dans le milieu [59]. D'autres auteurs ont noté que la toxicité d'*Alexandrium catenella* est inversement proportionnelle à la température, un maximum de toxine étant obtenu à  $10^\circ\text{C}$  et un minimum à  $16^\circ\text{C}$  [60].

*Alexandrium catenella* est connu pour synthétiser de puissantes toxines, des gonyautoxines (GTX1/5, dcGTX2, dcGTX3, C1 et C2, des traces de C3 et C4, la neosaxitoxine (neoSTX) et la saxitoxine (STX) [36, 37].

Par ailleurs, il faut signaler que sept espèces de dinoflagellés toxiques trouvées dans la baie d'Annaba, à savoir *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Lingulodinium polyedrum* et *Proto-peridinium crassipes*, n'ont jamais contribué de manière significative aux blooms phytoplanctoniques.

Pour *Lingulodinium polyedrum*, il s'agit de la première signalisation de cette espèce toxique dans la baie d'Annaba. Elle a été observée dans les échantillons qualitatifs, en un nombre très réduit, en période printanière et automnale, à des températures de  $18$  et  $20^\circ\text{C}$ . Il semble que la température joue un rôle essentiel dans le déclenchement du processus des efflorescences de *L. polyedrum*, un bloom s'étant produit durant la pé-

riode estivale à des températures de 17 à 18 °C sur le littoral de Doukkala (Atlantique marocain) [16] et sur la côte atlantique dans la baie de Setubal (Portugal) [61]. En mer Adriatique (Croatie), des efflorescences ont aussi été observées, de juin à septembre [62]. Des travaux postérieurs ont démontré que des températures supérieures à 20 °C favorisaient le déclenchement ou le maintien des efflorescences de *L. polyedrum* [63–65]. Ce taxon est déjà recensé comme responsable d'eaux rouges et est associé à des ichtyotoxines et à la mortalité de jeunes huîtres [63–66]. Il a été à l'origine d'une anoxie du milieu qui a causé la mortalité de poissons dans la baie de Kastela en 1980, en Croatie [67].

Plus tard, en 1990, il a été rapporté la présence de saxitoxine dans des échantillons d'eau lors d'un bloom à *L. polyedrum* [68]. Plus récemment, on a pu déterminer la toxine comme une yessotoxine [69,70].

Les espèces du genre *Dinophysis* ont été décelées à partir d'avril, mais leur abondance est bien marquée en période printanière, en particulier en mai pour *D. caudata* et *D. fortii*, puis en juin et juillet pour *D. tripos* et *D. rapa*. La plupart des études mentionnent des valeurs très faibles, limitées à quelques cellules par litre en période hivernale, et augmentant à quelques dizaines, puis jusqu'à quelques milliers par litre, pour la période estivale [71]. Des concentrations cellulaires supérieures à  $10^6$  cellules  $L^{-1}$  ont été récemment signalées dans différentes régions du monde [50,72,73]. Plusieurs études toxicologiques [74–76] ont conclu que *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa* et *D. rotundata* étaient responsables de la production de l'acide okadaïque, de la dinophysistoxine-1 (DTX1) et de la pectenotoxine-2 (PTX2), impliquées dans des intoxications diarrhéiques par fruits de mer (IDFM).

Plus récemment, plusieurs travaux [77–81] ont montré qu'il existait une relation entre la mixotrophie et la présence de cellules de très petite taille (picophytoplancton) sur la surface des vacuoles, à l'intérieur des cellules de *Dinophysis acuminata* et *D. fortii*. Ceci a conduit [79] à émettre l'hypothèse selon laquelle les *Dinophysis* spp. pourraient être non toxiques à l'origine, et le deviendraient après ingestion du picophytoplancton toxique.

*Protoperdinium crassipes*, qui apparaît très souvent dans les eaux de la baie d'Annaba, est connu pour être impliqué dans la production d'une nouvelle phycotoxine, l'azaspiracid (AZs), qui a causé de sévères intoxications chez l'homme depuis 1995 [82]. C'est en 2003 qu'a été confirmée la responsabilité de *P. crassipes* dans la production de cette phycotoxine [83].

Parmi les 11 taxons de dinoflagellés identifiés, deux espèces, *Alexandrium catenella* et *Gymnodinium ca-*

*tenatum*, sont responsables d'efflorescences et sont connues pour être toxiques. Sept espèces, à savoir *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. rapa*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Lyngulodinium polyedrum* et *Protoperdinium crassipes*, sont considérées comme toxiques, mais n'ont jamais contribué à des floraisons phytoplanctoniques. Deux espèces, *Prorocentrum triestinum* et *Scrippsiella trochoidea*, ont été associées à des blooms, mais elles ne sont pas connues comme toxiques.

Il faut ajouter qu'*Alexandrium catenella* et *Lyngulodinium polyedrum* sont signalés ici pour la première fois sur les côtes algériennes.

Du point de vue écologique, les peuplements de Dinophycées et, plus généralement, les peuplements phytoplanctoniques semblent évoluer dans un système à faible inertie, fluctuant selon la prépondérance des flux terrestres ou des intrusions d'eaux marines. Le faible hydrodynamisme local ne paraît pas assurer un brassage des eaux suffisant pour faire face à cette eutrophisation et à son impact sur le fonctionnement écologique du secteur étudié, entre autres, l'apparition de blooms phytoplanctoniques, toxiques ou non.

La collecte de moules sauvages et l'activité conchylicole (mytiliculture et ramassage de la palourde) dans le lac El-Mella, situé au voisinage de la région, au moment des efflorescences d'espèces micro-algales potentiellement toxiques sont susceptibles d'affecter la santé humaine, en particulier celle des consommateurs de ces animaux filtreurs. La prolifération de ces dinoflagellés nuisibles peut aussi, par voie de conséquence, avoir un impact socio-économique négatif sur la commercialisation de ces bivalves comestibles.

## Références

- [1] E.R. Cox, Phytoflagellates, the organisms and the taxonomic categories, in: E.R. Cox (Ed.), Phytoflagellates, Elsevier, North Holland, 1980, pp. 1–4.
- [2] J. Bruslé, The impact of harmful algal blooms on finfish, mortality, pathology and toxicology, Peperes océans n° 10, Ifremer, France, 1995.
- [3] T. Yasumoto, I. Nakajima, Y. Oshima, R. Bagnis, A new toxic dinoflagellate found in association with ciguatera, in: D.L. Taylor, H. Selinger (Eds.), Toxic Dinoflagellate Bloom, Elsevier, 1979, pp. 65–70.
- [4] D.M. Anderson, Toxic algal blooms and red tides: A global perspective, in: T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto (Eds.), Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology, Elsevier, New York, 1989, pp. 11–21.
- [5] T.J. Smayda, Novel and Nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for a global epidemic, in: E. Granéli, B. Sundström, L. Elder, D.M. Anderson (Eds.), Toxic Marine Phytoplankton, Elsevier, New York, 1990, pp. 29–40.
- [6] G.M. Hallegraeff, A review of harmful algal blooms and their apparent global increase, Phycologia 32 (2) (1993) 79–99.

- [7] A. Sournia, Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: An inquiry into biodiversity, in: P. Lassus, G. Arzul, E. Erard-Le Denn, P. Gentien, C. Marcaillou-Le Baut (Eds.), *Harmful Marine Algal Blooms*, Lavoisier, Paris, 1995, pp. 103–112.
- [8] P. Trévor, P. Grant, R. Pienaar, R. Nuzzi, Brown tides and mariculture in Saldanha Bay, South Africa, *Mar. Pollut. Bull.* 42 (5) (2001) 405–408.
- [9] E.J. Philips, S. Badylak, T. Grosskopf, Factors affecting the abundance of phytoplankton in a restricted subtropical lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 55 (2002) 385–402.
- [10] M. Tagmouti, A. Mikou, N. Bouaicha, L. Via Ordorika, S. Puisseux-Dao, M. Marquis, J.-P. Vernoux, K. Fellat-Zarrouk, M. Talbi, M. Blaghem, Toxicity of cockles from the Moroccan Mediterranean coast (Tetouan region), *Toxicon* 36 (1998) 1747 (abstract).
- [11] L.T. Joutei, R. Beatriz, A. El Marrakchi, Seasonal dynamics of *Gymnodinium catenatum* blooms off the northern west coast of Morocco. Book of abstracts, Xth International Conference on Harmful Algae, Florida, USA, 2002.
- [12] A. Bennouna, B. Berland, J. El Attar, O. Assobhei, Étude des populations phytoplancotoniques de la lagune de Oualidia (Maroc), dinoflagellés potentiellement nuisibles, *Mar. Life* 10 (1–2) (2000) 3–18.
- [13] A. Bennouna, O. Assobhei, B. Berland, J. El Attar, Eau colorée à *Lingulodinium polyedrum*, incidence sur des sites aquacoles du littoral du Doukkala (Maroc), *Oceanol. Acta* 25 (2002) 159–170.
- [14] S. Turki, A. El Abed, On the presence of potentially toxic algae in the lagoons of Tunisia, *Harmful Algae News* 22 (2001) 10.
- [15] M. Ounissi, H. Fréhi, Variabilité du microplancton et des Tintinnida (protozoaires ciliés) d'un secteur eutrophe du golfe d'Anaba (Méditerranée sud-occidentale), *Cah. Biol. Mar.* 40 (1999) 141–153.
- [16] H. Illoul, M. Maso, R.I. Figueroa, K. Van Lenning, Detection of toxic *Gymnodinium catenatum* (Graham, 1943) in Algerian waters (SW Mediterranean Sea), *Harmful Algae News* 29 (2004) 10–12.
- [17] A. Aminot, M. Chaussepied, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, CNEXO, Brest, 1983.
- [18] C.J. Lorenzen, Determination of chlorophyll and pheopigment: Spectrophotometric equation, *Limnol. Oceanogr.* 12 (1967) 227–343.
- [19] J.D. Dodge, The proro-centrales (Dinophyceae) II. Revision of the taxonomy within the genus *Prorocentrum*, *Bot. J. Linn. Soc.* 71 (2) (1975) 103–125.
- [20] F.J.R. Taylor, Dinoflagellates from the international Indian ocean expedition. A report on material collected by the R.V. *Anton Bruun* 1963–1964, *Bibl. Bot.* 132 (1976) 1–234.
- [21] H. Abé, The Late Tohru, Studies on the Family Peridiniidae. An Unfinished Monograph of the Armoured Dinoflagellata, Academic Scientific Book Inc., Tokyo, 1981.
- [22] J. Larsen, Ø. Moestrup, Guide to Toxic and Potentially Toxic Marine Algae, First Inspection Service, Ministry of Fisheries, Copenhagen, 1989.
- [23] M.A. Faust, R.A. Gulledge, Identifying harmful marine dinoflagellates, Smithsonian institution, *Contrib. U.S. Natl Herb.* 24 (2002) 1–144.
- [24] E. Nezan, G. Rocher, Les microalgues productrices de toxines : guide illustré de présentation des microalgues productrices de toxines à l'usage des analystes du REPHY, Ifremer, France, 2003.
- [25] A. Couté, Biologie et microscopie électronique à balayage, *Mémoire de la SEF* 6 (2002) 31–44.
- [26] P. Conan, M. Pujo-Pay, P. Raimbault, M. Leveau, Variabilité hydrologique et biologique du golfe de Lion. II – Productivité sur le bord interne du courant, *Oceanol. Acta* 21 (1998) 767–782.
- [27] S.B. Bricker, C.G. Clement, D.E. Pirhala, S.P. Orland, D.R.G. Farrow, National estuarine eutrophication assessment. Effect of nutrient enrichment in the Natin's estuaries, NOAA, National Ocean Service, Special Project Office and the National Centers of Coastal Ocean Science, Silver Spring, MD, États-Unis, 1999.
- [28] K. Gavin, Y. Siu, M.L.C. Young, D.K.O. Chan, Environmental and nutritional factors which regulate population dynamics and toxin production in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*, *Hydrobiologia* 352 (1997) 117–140.
- [29] S. Sakamoto, T. Ogata, S. Satoh, M. Kodama, T. Takeuchi, Causative organism of paralytic shellfish toxins other than toxic dinoflagellates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 89 (1992) 229–235.
- [30] Y. Fukuyo, H. Takano, M. Chihara, K. Matsuoka, Red Tide Organisms in Japan. An Illustrated Taxonomic Guide, Uchida Rokakuho, Co., Ltd., Tokyo, 1990.
- [31] M.L. Fernandez, M.B. Reguera, First report of pectenotoxin-2 in isolated *Dinophysis caudata* cells determined by liquid chromatography–mass spectrometry, Abstracts of the Xth International Conference on Harmful Algae, St. Pete Beach, FL, États-Unis, 2002, p. 91.
- [32] F.J.R. Taylor, Y. Fukuyo, J. Larsen, Taxonomy of harmful dinoflagellates, in: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. Cembella (Eds.), *Manual on Harmful Marine Microalgae*, in: IOC Manuals and Guides, vol. 33, Unesco, France, 1995.
- [33] K.A. Steidinger, K. Tangen, Dinoflagellates, in: C.R. Tomas (Ed.), *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*, Academic Press, New York, 1996.
- [34] J.S. Lee, T. Igarashi, S. Fraga, E. Dahl, P. Hovgaard, T. Yasumoto, Determination of diarrhetic shellfish toxins in various dinoflagellate species, *J. Appl. Phycol.* 1 (1989) 147–152.
- [35] T. Yasumoto, Y. Oshima, W. Sugawara, Y. Fukuyo, H. Oguri, T. Igarashi, N. Fujita, Identification of *Dinophysis fortii* as the causative organism of diarrhetic shellfish poisoning, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46 (1980) 1405–1411.
- [36] T. Suzuki, T. Mitsuya, M. Imai, M. Yamasaki, DSP toxin contents in *Dinophysis fortii* and scallops collected at Mutsu Bay, Japan, *J. Appl. Phycol.* 8 (1997) 509–515.
- [37] E. Balech, Los Dinoflagelados atlántico sudo occidental. Publicaciones especiales instituto Español de oceanografía n° 1. Ministerio de agricultura pesca y alimentación, Spain, 1988.
- [38] E. Nezan, G. Piclet, Guide pratique à l'usage des analystes du phytoplancton, Ifremer, France, 1996.
- [39] D.J. Reish, Mass mortality organism attributed to the 'red tide' in southern California, *Calif. Fish. Game* 49 (4) (1963) 165–170.
- [40] Y. Halim, Étude qualitative et quantitative du cycle écologique des Dinoflagellés dans les eaux de Villefranche-sur-Mer, *Ann. Inst. Oceanogr.* 2 (38) (1960) 232.
- [41] M. Satake, K. Ofuji, H. Naoki, K.J. James, A. Furey, T. McMahon, J. Silke, T. Yasumoto, Azaspiracid, a new marine toxin having unique spiro ring assemblies, isolated from Irish mussels, *J. Am. Chem. Soc.* 120 (1998) 9967–9968.
- [42] H.W. Graham, *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California, *Trans. Am. Microsc. Soc.* 62 (1943) 259–261.
- [43] G.M. Hallegraeff, S.O. Stanley, C.J. Bolch, S. Blackburn, *Gymnodinium catenatum* blooms and Shellfish toxicity in southern Tasmania, Australia, in: T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto

- (Eds.), Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology, Elsevier, New York, 1989, pp. 77–80.
- [44] L.D. Mee, M. Espinosa, G. Diaz, Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific Coast of México, *Mar. Environ. Res.* 19 (1986) 77–92.
- [45] Y. Fukuyo, H. Kodama, T. Ogata, T. Ishimaru, K. Matsuoka, T. Okaichi, A.M. Maala, J.A. Ordonez, Occurrence of *Gymnodinium catenatum* in Manila Bay, The Philippines, in: T.J. Smayda, Y. Shimizu (Eds.), *Toxic Phytoplankton in the Sea*, Elsevier, Amsterdam, 1993, pp. 875–880.
- [46] M. Estrada, F.J. Sanchez, S. Fraga, *Gymnodinium catenatum* (Graham) en las Rias Gallegas (NO de Espana), *Investig. Pesq.* 48 (1984) 31–40.
- [47] G. Breton, R. Jeannot, F. Proniewski, Les phénomènes d'eaux rouges à *Prorocentrum* et à *Pseudopedinella* et *Pyramimonas* dans les bassins du port du Havre au cours de l'été 1978, *Bull. Soc. Geol. Norm. et Amis du Muséum du Havre* 65 (4) (1979) 105–116.
- [48] P. Lassus, P. Maggi, C. Bessineton, Les phénomènes d'eaux colorées de la baie de Seine en 1978, *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit.* 298 (1980) 1–28.
- [49] H. Fudge, The red tides of Malta, *Mar. Biol.* 39 (4) (1977) 381–386.
- [50] M. Kat, Occurrence of *Prorocentrum* species and coincidental gastrointestinal illness of mussel consumers, in: D.L. Taylor, H.H. Seliger (Eds.), *Toxic Dinoflagellate Blooms*, Elsevier, North-Holland, 1979.
- [51] M. Kat, The sequence of the principal phytoplankton blooms in the Dutch coastal area (1973–1981), *ICES. CM.* 1982/L, 1982, p. 22.
- [52] I. Bravo, B. Reguera, A. Martinez, S. Fraga, First report of *Gymnodinium catenatum* Graham on the Spanish Mediterranean Coast, in: E.B. Graneli, L. Sundström, L. Elder, D.M. Anderson (Eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*, Elsevier, New York, 1990, pp. 449–452.
- [53] L. Maman, *Actas de la VIII Reunión Ibérica sobre fitoplancton tóxico y biotoxinas*, 2003.
- [54] L.T. Joutei, First report of *Gymnodinium catenatum* from Atlantic Morocco, *Harmful Algal News* 12–13 (1995) 7.
- [55] M.J. Holmes, C.J.S. Bolsh, D.H. Green, A.D. Cembella, S.L.M. Teo, Singapore isolates of dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) produce a unique profile of paralytic shellfish poisoning toxins, *J. Phycol.* 38 (2002) 96–106.
- [56] D.M. Anderson, B.A. Keafer, Dinoflagellate cyst dynamics and estuarine waters, in: D.M. Anderson, A.W. White, D.G. Baden (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier, New York, 1985, pp. 219–224.
- [57] J.-C. Therriault, J. Painchaud, M. Levasseur, Factors controlling the occurrence of *Protogonyaulax tamarensis* and shellfish toxicity of the water column, in: D.M. Anderson, A.W. White, D.G. Baden (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier, New York, 1985, pp. 141–146.
- [58] A. Hu Hanhua, B. Weidong Chen, Y. Shi, W. Cong, Nitrate and phosphate supplementation to increase toxin production by the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense*, *Mar. Pollut. Bull.* 52 (2006) 756–760.
- [59] Y. Shi, H. Hu, W. Cong, Positive effects of continuous low nitrate levels on growth and photosynthesis of *Alexandrium tamarense* (Gonyaulacales, Dinophyceae), *Phycol. Res.* 53 (2005) 43–48.
- [60] J.M. Navarro, M.G. Munoz, A.M. Contreras, Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*, *Harmful Algae* 5 (2006) 762–769.
- [61] A.S. Palma, A.A. Ferreira, M.A. Sampayo, M.T. Moita, T. Rosa, On a *Lingulodinium polyedrum* bloom in the Setubal bay, Portugal, *Abstr. 9th Int. Conf. Harmful algal bloom*, 2000.
- [62] I. Marasovic, Z. Nincevic, N. Odzak, The effect of temperature on blooms of *Lingulodinium polyedrum* and *Alexandrium minutum* in Kastela bay, in: P. Lassus, G. Arzul, E. Erard-LeDenn, P. Gentien, C. Marcaillou-Le Baut (Eds.), *Harmful Marine Blooms*, Lavoisier, Paris, 1995, pp. 187–192.
- [63] I. Marasovic, Encystement and excystement of *Gonyaulax polyedra* during a red tide, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 28 (1989) 35–41.
- [64] I. Marasovic, Temperature initiation factor of red tide bloom in the Kastela bay (Adriatic Sea, Yugoslavia), *Rapp. Commun. Int. Mer Mediterr.* 32 (211) (1990) 35–41.
- [65] I. Marasovic, Preliminary observations on the relationship between temporary and resting cysts of *Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge, in: T.J. Smayda, Y. Shimizu (Eds.), *Toxic Phytoplankton Bloom in the Sea?*, Elsevier, New York, 1993, pp. 139–142.
- [66] G. Paulmier, Note sur les organismes responsables d'eaux rouges, rapport interne ISTEPM, France, 1977.
- [67] I. Marasovic, I. Vukadini, Red tide in Vranjic basin (Kastela bay), Bljeske, *Notes Inst. Za. Oceanograf. Ribarstvo. Split SFR Jugoslavia* 48 (1982) 1–7.
- [68] M. Bruno, P.M.B. Gucci, E. Pierdominici, A. Ioppolo, L. Volterra, Presence of saxitoxin in toxic extracts from *Gonyaulax polyedra*, *Toxicon* 28 (1990) 113–116.
- [69] A. Tubaro, L. Sidari, R. Della Loggia, T. Yasumoto, Occurrence of yessotoxin-like toxins in phytoplankton and mussels from northern Adriatic sea, in: B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernandez, T. Wyatt (Eds.), *Harmful Algae*, Xunta de Galicia and IOC of UNESCO, 1998, pp. 470–472.
- [70] R. Draisci, E. Ferretti, L. Pallechi, C. Marchiafava, R. Poletti, A. Milandri, A. Ceredi, M. Pompei, High levels of yessotoxin in mussels and presence of yessotoxin and homoyessotoxin in dinoflagellates of Adriatic Sea, *Toxicon* 37 (1999) 1187–1193.
- [71] B. Berland, P. Lassus, Efflorescences toxiques des eaux côtières françaises : écologie, écophysiologie, toxicologie, *Peppers Ocean* 13, Ifremer, 1997.
- [72] R. Santhanam, A. Srinivasan, Impact of toxic dinoflagellate *Dinophysis caudata* bloom on the hydrography and fishery potentials of Tuticorin Bay, S. India, in: 7th Int. Conf. Mar. Phytoplankton, Sendai, Japan, 12–16 July 1995, Abstract book, 1995, p. 38.
- [73] E. Dahl, T. Aune, B. Aase, Reddish water due to mass occurrence of *Dinophysis* spp., in: T. Yasumoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo (Eds.), *Harmful and Toxic Algal Bloom*, IOC/Unesco, Paris, 1996, pp. 265–268.
- [74] S. Sato, K. Koike, M. Kodama, Seasonal variation of okadaic acid and dinophysistoxin-1 in *Dinophysis* spp. in association with the toxicity of scallop, in: T. Yasumoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo (Eds.), *Harmful and Toxic Algal Blooms*, IOC, Unesco, Paris, 1996, pp. 285–288.
- [75] R. Poletti, K. Cettul, F. Bovo, A. Milandri, M. Pompei, R. Frate, Distribution of toxic dinoflagellates and their impact on shellfish along the northwest Adriatic coast, in: B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernandez, T. Wyatt (Eds.), *Harmful Algae*, Xunta de Galicia and IOC of UNESCO, 1998, pp. 88–90.
- [76] M.J. Holmes, S.L.M. Teo, Toxic marine dinoflagellates in Singapore waters that cause seafood poisonings, *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 29 (2002) 829–836.

- [77] I. Imai, H. Sugioka, G. Nishitani, T.Y. Mitsuya, Y. Hamano, Monitoring of DSP toxins in small-sized plankton fraction of seawater collected in Mutsu Bay, Japan, by ELISA method: relation with toxin contamination of scallop, *Mar. Pollut. Bull.* 47 (1–6) (2003) 114–117.
- [78] D.M. Jacobson, R.A. Andersen, The discovery of mixotrophin photosynthetic species of *Dinophysis* (Dinophyceae): light and electron microscopical observations of food vacuoles in *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* and two heterotrophic dinoflagellate species, *Phycologia* 33 (1994) 97–110.
- [79] I. Imai, G. Nishitani, Attachment of picophytoplankton to the cell surface of the toxic dinoflagellates *Dinophysis acuminata* and *D. fortii*, *Phycologia* 39 (2000) 456–459.
- [80] K. Koike, M. Takagi, T. Ogata, T. Ishimaru, Evidence of phagotrophy in *Dinophysis fortii* (Dinophysiales, Dinophyceae), a dinoflagellate that causes diarrhetic shellfish poisoning (DSP), *Phycol. Res.* 48 (2000) 121–124.
- [81] G. Nishitani, H. Sugioka, I. Imai, Seasonal distribution of species of the toxic dinoflagellate genus *Dinophysis* in Maizuru Bay (Japan), with comments on their autofluorescence and attachment of picophytoplankton, *Harmful Algae* 1 (2002) 253–264.
- [82] A. Alfonso, Y. Romain, M.R. Vieytes, K. Ofuji, M. Satake, T. Yasumoto, L.M. Botana, Azaspiracid-4 inhibits  $Ca^{2+}$  entry by store-operated channels in human T lymphocytes, *Biomed. Pharmacol.* 69 (2005) 1627–1636.
- [83] J.K. Moroney, C. Roden, M. Satake, T. Yasumoto, M. Lehane, Ubiquitous ‘benign’ alga emerges as the cause of shellfish contamination responsible for the human syndrome, azaspiracid poisoning, *Toxicon* 41 (2003) 145–151.