

Nantes, le 26 juin 2023
N/Réf. LER/MPL/23.15/Na

Affaire suivie par Mathilde Schapira avec l'équipe du LER/MPL

Objet : Note sur les eaux colorées dues à l'espèce de phytoplancton *Lepidodinium chlorophorum* au large des estuaires de la Loire et de la Vilaine.

L'eutrophisation constitue une altération majeure des écosystèmes aquatiques côtiers (Le Moal *et al.*, 2019), qui se traduit fréquemment par l'augmentation de la biomasse phytoplanctonique, ainsi que l'intensification et la multiplication des efflorescences d'espèces toxiques ou nuisibles (Glibert *et al.*, 2011).

Depuis une première observation en 1982, des eaux colorées vertes sont repérées presque chaque année au cours de l'été, s'étendant du Finistère Sud aux côtes Vendéennes, voire même Charentaises (Figure 1). Ces eaux vertes sont la conséquence de la prolifération de la micro-algue *Lepidodinium chlorophorum* qui mesure environ 20 µm (20 millièmes de millimètre).



Photographie aérienne d'une eau colorée verte le 11 juillet 2018 à la Pointe du Bile.

Auteur : CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues)

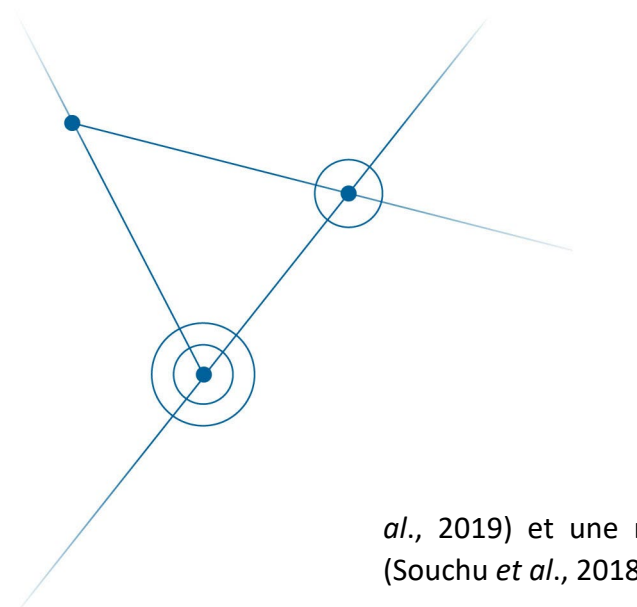


Photographie d'une eau colorée verte le 23 juillet 2018 à Pont Mahé.

Auteur : Ifremer LER/MPL (M. Rétho)

*Figure 1 : Photos d'eaux colorées vertes à *Lepidodinium chlorophorum**

La zone côtière de Bretagne sud est l'un des secteurs de la côte Atlantique les plus vulnérables vis-à-vis de ces efflorescences (Bizzozero, 2020). Depuis les années 2000, les fleuves Loire et Vilaine, notamment pollués en azote (nitrates) et en phosphore, ont contribué à l'augmentation des microalgues dans les eaux côtières au large de leur estuaire (Ratmaya *et*

An abstract geometric diagram consisting of several blue lines and circles. It features a central point with concentric circles, and other points connected by lines, some of which are also circled, creating a network-like structure.

al., 2019) et une multiplication des eaux colorées à *L. chlorophorum* (Souchu *et al.*, 2018).

Qu'est-ce qu'une eau colorée et comment apparaît-elle ?

Une efflorescence phytoplanctonique est définie comme la **prolifération** d'organismes photosynthétiques unicellulaires (Siano *et al.*, 2020). Certaines efflorescences peuvent provoquer une coloration de l'eau de mer qui dépend de la composition pigmentaire de l'espèce qui se développe. Ces efflorescences sont appelées eaux colorées. Elles peuvent être vertes lors d'une efflorescence à *Lepidodinium chlorophorum*, rouges dans le cas du développement de *Noctiluca scintillans* ou de *Lingulodinium polyedra*, ou brunes lorsqu'il s'agit de certaines espèces de diatomées (Souchu *et al.*, 2015).

Cependant, la couleur de l'eau ne peut suffire à elle seule pour identifier l'espèce impliquée dans l'eau colorée car elle peut varier en fonction de l'état physiologique des cellules. De plus, les eaux colorées ne sont pas toujours constituées d'une seule espèce, et seule l'observation par microscopie permet d'identifier les espèces qui les composent.

Lorsque les conditions hydro-climatiques sont favorables (température, lumière, stabilisation de colonne d'eau...), les cellules peuvent se multiplier pour former une efflorescence. En plus des conditions climatiques, la disponibilité en nutriments dans l'eau (azote et phosphore en particulier) est un facteur déterminant dans le développement des eaux colorées.

Quels sont les effets des eaux colorées sur le milieu ?

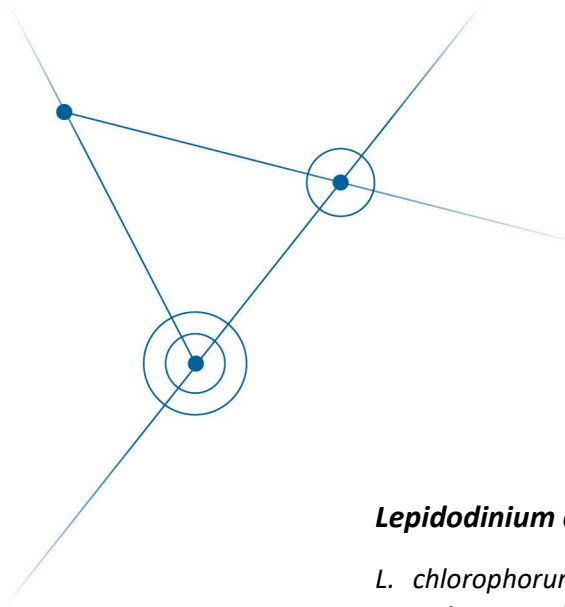
Même en l'absence de toxicité, les quantités de matière organique produites par les eaux colorées constituent un danger pour la vie marine car leur décomposition dans l'eau consomme de grandes quantités d'oxygène dissous, notamment dans les eaux de fond (Ratmaya *et al.* 2022). Dès les années 90, les efflorescences de *L. chlorophorum* ont été associées à des **épisodes hypoxiques** (diminution de l'oxygène dans l'eau) plus ou moins marqués, ayant conduit dans les cas les plus extrêmes, à des mortalités importantes d'organismes marins sur le secteur (Sournia, 1992 ; Merceron, 1987).

Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer
Etablissement public à caractère
industriel et commercial

Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 21105
44311 Nantes Cedex 3 - France
+33 (0)2 40 37 40 00

Siège Social
1625 route de Sainte-Anne
CS 10070
29280 Plouzané
France
R.C.S. Brest B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00032
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)2 98 22 40 40

www.ifremer.fr



Lepidodinium chlorophorum

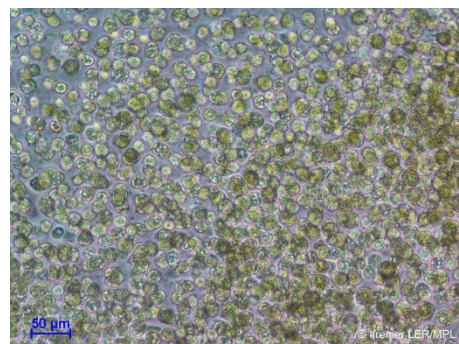
L. chlorophorum appartient à la famille des dinoflagellés (de même que *Dinophysis* et *Alexandrium*). Des formes dormantes de *L. chlorophorum* (kystes) ont été observées (Sournia *et al.*, 1992), mais leur capacité à germer n'a pu être montrée. *L. chlorophorum* est tolérant aux variations de température et de salinité, ce qui lui donne un avantage pour se développer en zone estuarienne.

L. chlorophorum n'est pas connu pour produire de **toxine**, mais il est capable d'excréter de grandes quantités de polysaccharides (TEP : Transparent Exopolymer Particles) qui peuvent donner à l'eau une consistance visqueuse (Roux *et al.*, 2021, 2022). Le rôle des TEP dans le développement et le maintien des efflorescences de *L. chlorophorum* demeure à l'état d'hypothèse (Roux *et al.*, 2022). Des études récentes suggèrent que l'accumulation de matières organiques issues de la production de TEP pourrait aggraver les phénomènes d'hypoxie en Bretagne sud au cours de la période estivale, avec des conséquences sur les organismes marins (Roux *et al.*, 2022).



Cellule de L. chlorophorum au microscope

Auteur : Ifremer LER/MPL (S. Manach)



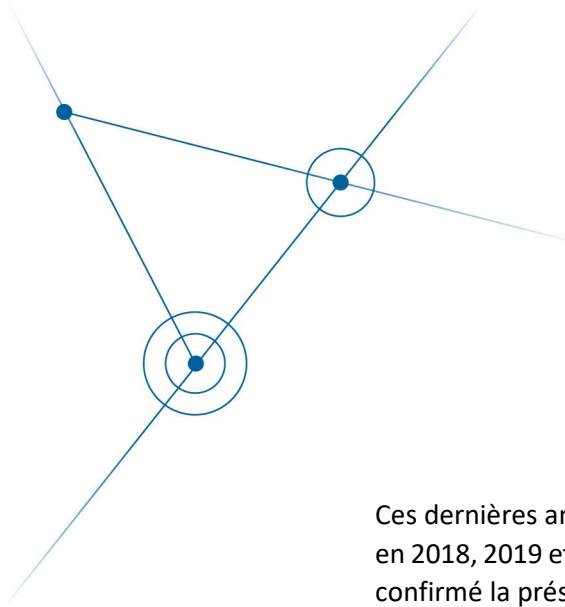
Amas de L. chlorophorum vu au microscope

Auteur : Ifremer LER/MPL (S. Manach)

Figure 2 : Cellules de *L. chlorophorum* au microscope

Les eaux colorées vertes à *L. chlorophorum*

Les eaux colorées vertes apparaissent généralement en été, aux mois de **juillet et août**. Durant cette période favorable aux étiages fluviaux et au réchauffement des eaux de surface, *L. chlorophorum* peut être observé en grandes quantités (plusieurs millions de cellules par litre).



Ces dernières années, des phénomènes d’eaux colorées vertes ont été observés en 2018, 2019 et 2022. En 2019, les images acquises par le satellite Sentinel-2 ont confirmé la présence d’eaux vertes sur tout le secteur côtier de Pénestin (Figure 3). Ces eaux colorées ont été observées jusqu’à fin juillet en baie de Vilaine.

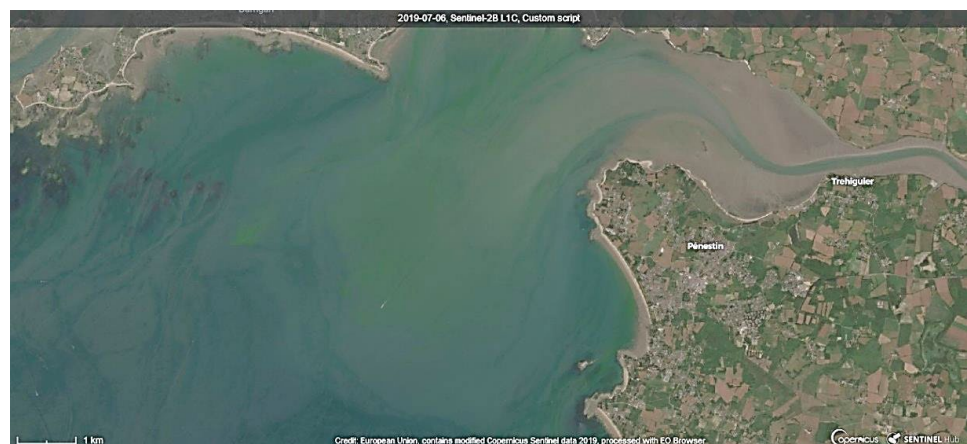


Figure 2. Image Sentinel-2 de l’embouchure de la Vilaine le 6 juillet 2019, Source : Gernez, Université de Nantes.

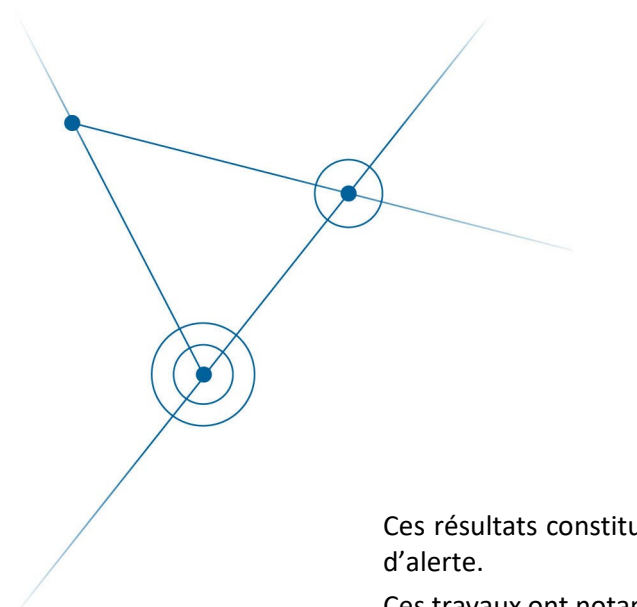
Aucun épisode d’eau colorée verte n’a été observé en 2020 et 2021. Cette dernière année a vu l’apparition d’eaux colorées marron-rouge dues à un autre dinoflagellé : *Lingulodinium polyedra*.

En 2022, de nouvelles eaux colorées vertes ont été observées au large de la Loire et de la Vilaine au cours de la seconde quinzaine d’août.

Ecologie de *L. chlorophorum* et déterminisme des eaux colorées vertes.

Des programmes de recherche ont été élaborés pour décrire les eaux colorées à *L. chlorophorum*, et mieux en comprendre le déterminisme et les conséquences sur l’environnement côtier : les projets Epice (financement Agence de L’Eau Loire Bretagne) et Lepido-Pen (Financement Région des Pays de la Loire). Les résultats acquis au cours de ces deux projets ont été publiés dans des articles scientifiques (Roux *et al.*, 2021, 2022 et 2023) et ont fait l’objet de la thèse de doctorat de Pauline Roux (Roux, 2022).

Les résultats ont permis d’améliorer notre connaissance de l’écologie de *L. chlorophorum*. Plus spécifiquement, les propriétés écologiques d’une eau colorée verte à *L. chlorophorum* ont été étudiées à travers différentes approches allant de la physiologie cellulaire de l’espèce à son impact sur l’écosystème.



Ces résultats constituent la première étape vers la mise en place d'un système d'alerte.

Ces travaux ont notamment permis de montrer que :

- ✓ *L. chlorophorum* pourrait être une espèce holoplanctonique¹ ne formant donc pas de kystes de résistance benthiques. Il pourrait se maintenir dans la colonne d'eau pendant la période défavorable (automne-hiver) en faibles concentrations cellulaires ou sous la forme de kystes temporaires pélagiques, avec une capacité de prolifération accélérée lorsque les conditions redeviennent favorables.
- ✓ *L. chlorophorum* pourrait présenter une forte affinité pour l'ammonium (NH₄). Des apports ponctuels en NH₄ via les fleuves, les rivières ou les rejets anthropiques (à la côte et/ou en mer), via la reminéralisation de la matière organique ou la remise en suspension de sédiments, pourraient donc favoriser le développement des efflorescences de *L. chlorophorum*.
- ✓ Les efflorescences de *L. chlorophorum* sont conditionnées par la stratification de la colonne d'eau en période estivale. Sur la zone d'étude, cette stratification pourrait être favorisée par (i) le réchauffement des eaux de surface ; (ii) les périodes de mortes-eaux ; (iii) les faibles régimes de vent. Dans ces conditions, les images satellites ont permis d'estimer que l'étendue d'une eau colorée verte pouvait atteindre 13 km², représentant une zone à risque pour les hypoxies relativement large.
- ✓ *L. chlorophorum* est bien le principal producteur de TEP. Il est probable que cette production représente un avantage écologique pour ce dinoflagellé en jouant un rôle de (i) protection contre les prédateurs ou (ii) contre les substances toxiques présentes dans le milieu, et (iii) en créant un microenvironnement riche en matière organique et donc propice au développement bactérien.
- ✓ La reminéralisation de la matière organique au sein d'une eau colorée verte pourrait accentuer les phénomènes d'hypoxie. Par ailleurs, des expérimentations in vitro ont suggéré que la production de TEP par *L. chlorophorum* pourrait avoir un effet négatif sur la physiologie des huitres creuses selon plusieurs processus potentiellement combinés en milieu naturel : (i) des difficultés d'assimilation et un colmatage des branchies empêchant le nourrissage, (ii) un affaiblissement physiologique de l'huître mal nourrie la rendant plus sensible aux

¹ holoplanctonique : qui passe l'intégralité de son cycle de vie dans la colonne d'eau.

dangers extérieurs (plastiques, pathogènes, prédation et hypoxie), ou (iii) un effet hypoxique important.

- ✓ Enfin, les travaux réalisés dans le cadre du projet Lepido-Pen suggèrent que le potentiel effet nuisible de *L. chlorophorum* pourrait être lié à sa production élevée de TEP, susceptible d'impacter le fonctionnement des écosystèmes côtiers.

Observation des eaux colorées

Ces phénomènes d'eaux colorées sont très difficiles à anticiper car le plus souvent fugaces et localisés. Une partie des observations est réalisée dans le cadre du réseau REPHY (REseau d'observation et de surveillance du PHYtoplancton et de l'hydrologie dans les eaux littorales) opéré par les Laboratoires Environnement Ressources (LER) situés sur le littoral.

Enfin, un projet de science participative Phenomer (<https://www.phenomer.org/>) propose aux usagers du littoral de signaler leurs observations d'eaux colorées.

N'hésitez pas à soutenir la Recherche en les signalant sur le site ou l'application mobile Phenomer !

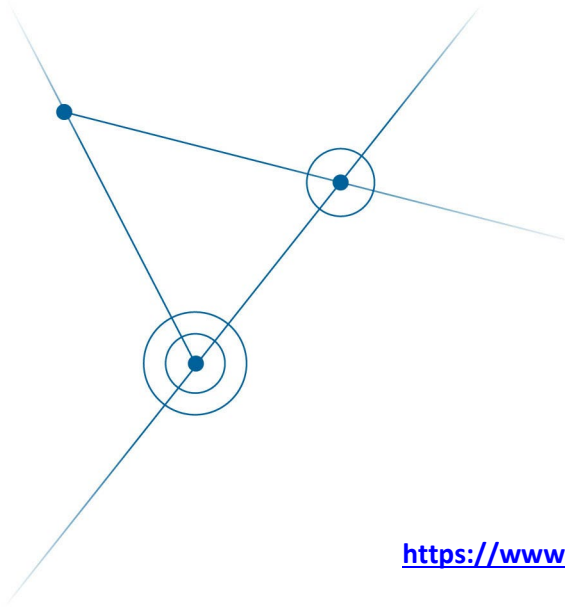
La responsable du Laboratoire
Environnement & Ressources
Morbihan Pays de Loire
Cathy Tréguier

Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer
Etablissement public à caractère
industriel et commercial

Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 21105
44311 Nantes Cedex 3 - France
+33 (0)2 40 37 40 00

Siège Social
1625 route de Sainte-Anne
CS 10070
29280 Plouzané
France
R.C.S. Brest B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00032
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)2 98 22 40 40

www.ifremer.fr



Vous pouvez signaler vos eaux colorées sur
<https://www.phenomer.org/Participer/Je-communique-mon-observation>

Android

ios



**Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer**
Etablissement public à caractère
industriel et commercial

Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 21105
44311 Nantes Cedex 3 - France
+33 (0)2 40 37 40 00

Siège Social
1625 route de Sainte-Anne
CS 10070
29280 Plouzané
France
R.C.S. Brest B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00032
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)2 98 22 40 40

www.ifremer.fr

Références

- Bizzozero L. (2020). Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Loire-Bretagne. Contrôle de surveillance dans les masses d'eau côtière et de transition. Actions menées par Ifremer en 2017. ODE/UL/RST/LER/MPL/20.03. Convention Ifremer/AELB N° 16/5210666/F. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00619/73063/>
- Glibert, P. M., Fullerton, D., Burkholder, J. M., Cornwell, J. C., & Kana, T. M., 2011. Ecological Stoichiometry, Biogeochemical Cycling, Invasive Species, and Aquatic Food Webs: San Francisco Estuary and Comparative Systems. *Reviews in Fisheries Science*, 19(4), 358–417. <https://doi.org/10.1080/10641262.2011.61191>
- Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., Moatar F., Pannard A., Souchu P., Lefebvre A., & Pinay, G. (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment*, 651, 1-11.
- Merceron Michel (1987). Mortalites de poissons en baie de Vilaine (Juillet 1982) Causes - Mécanismes - Propositions d'action. DERO - 87 . 14 - EL. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2836/>
- Ratmaya, W., Soudant, D., Salmon-Monviola, J., Plus, M., Cochenec-Laureau, N., Goubert, E., Andrieux-Loyer, F., Barillé, L., Souchu, P., 2019. Reduced phosphorus loads from the Loire and Vilaine rivers were accompanied by increasing eutrophication in the Vilaine Bay (south Brittany, France). *Biogeosciences*. 16, 1361–1380. <https://doi.org/10.5194/bg-16-1361-2019>
- Ratmaya, W., Laverman, A. M., Rabouille, C., Akbarzadeh, Z., Andrieux-Loyer, F., Barillé, L., ... & Souchu, P. (2022). Temporal and spatial variations in benthic nitrogen cycling in a temperate macro-tidal coastal ecosystem: Observation and modeling. *Continental Shelf Research*, 235, 104649
- Roux, P. (2022) Propriétés écologiques des efflorescences de *Lepidodinium chlorophorum* : de l'écophysologie cellulaire à l'impact sur l'écosystème. Thèse de doctorat, Nantes Université, <http://www.theses.fr/2022NANU4026>.
- Roux, P., Siano, R., Collin, K., Bilién, G., Siquin, C., Marchand, L., et al. (2021) Bacteria enhance the production of extracellular polymeric substances by the green dinoflagellate *Lepidodinium chlorophorum*. *Scientific Reports* 11, 4795. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84253-2>
- Roux, P., Siano, R., Souchu, P., Collin, K., Schmitt, A., Manach, S., et al. (2022) Spatio-temporal dynamics and biogeochemical properties of Green Seawater Discolorations caused by the marine dinoflagellate *Lepidodinium chlorophorum*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (submitted)
- Roux, P., Schapira, M., Mertens, K., André, C., Terre-Terrillon, A., Schmitt, A., Manach, S., Collin, K., Serghine, J., Noël, C., Siano, R. (2023) When phytoplankton do not bloom: the case of the dinoflagellate *Lepidodinium chlorophorum* in southern Brittany (France) assessed by environmental DNA. *Progress in Oceanography* 212, 102999, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.102999>.
- Roux, P., Siano, R., Souchu, P., Collin, K., Schmitt, A., Manach, S. & Schapira, M. (2022). Spatio-temporal dynamics and biogeochemical properties of green seawater

Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer
Etablissement public à caractère
industriel et commercial

Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 21105
44311 Nantes Cedex 3 - France
+33 (0)2 40 37 40 00

Siège Social
1625 route de Sainte-Anne
CS 10070
29280 Plouzané
France
R.C.S. Brest B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00032
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)2 98 22 40 40

www.ifremer.fr

discolorations caused by the marine dinoflagellate *Lepidodinium chlorophorum* along southern Brittany coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 107950.

Schapira M., Roux P., Andre C., Mertens K., Bilien G., Terre Terrillon A., Le Gac-Abernot C., Siano R., Quere J., Bizzozero L., Bonneau F., Bouget J.-F., Cochennec-Laureau N., Collin K., Fortune M., Gabellec R., Le Merrer Y., Manach S., Pierre-Duplessix O., Retho M., Schmitt A., Souchu P., Stachowski-Haberkorn S. (2021). Les Efflorescences de *Lepidodinium chlorophorum* au large de la Loire et de la Vilaine : Déterminisme et conséquences sur la qualité des masses d'eau côtières. Projet EPICE – Rapport final. RST/LER/MPL/21.10. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00724/83598/>

Siano, R., Chapelle, A., Antoine, V., Michel-Guillou, E., Rigaut-Jalabert, F., Guillou, L., Hégaret, H., Leynaert, A., Curd, A., 2020. Citizen participation in monitoring phytoplankton seawater discolorations. *Mar. Policy*. 117, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.022>

Souchu P., Cochennec-Laureau N., Ratmaya W., Retho M., Andrieux F., Le Merrer Y., Barille L., Barille A.-L., Goubert E., Plus M., Laverman A. (2018). Diagnostic étendu de l'eutrophisation (DIETE). Rôle des sédiments dans le cycle des nutriments et impacts sur l'eutrophisation de la baie de Vilaine (2014-2017). Rapport de contrat. RST/LER/MPL/18.04. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00425/53695/>

Sournia, A., Belin, C., Billard, C., Catherine, M., Erard Le Denn, E., Fresnel, J., Lassus, P., Pastoureaud, A. and Soulard, R. (1992). The repetitive and expanding occurrence of a green, bloom-forming dinoflagellate (Dinophyceae) on the coast of France. *Cryptogam. Algol. Paris* 13, 1–13.

Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer
Etablissement public à caractère
industriel et commercial

Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
B.P. 21105
44311 Nantes Cedex 3 - France
+33 (0)2 40 37 40 00

Siège Social
1625 route de Sainte-Anne
CS 10070
29280 Plouzané
France
R.C.S. Brest B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00032
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)2 98 22 40 40

www.ifremer.fr