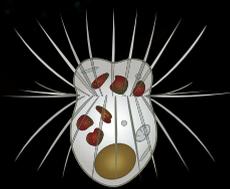


Dinophag

Programme de recherche sur *Dinophysis*
dans les eaux littorales des Pays de la Loire



Dinophysis



Myrionecta



Cryptophycée

<i>Dinophysis</i> , un acteur économique	3
<i>Dinophysis</i> , un voleur	9
Cultivons <i>Dinophysis</i>	15
<i>Dinophysis</i> et sa chaîne trophique dans les eaux littorales des Pays de la Loire	19

Les microalgues du genre *Dinophysis* peuvent synthétiser des toxines diarrhéiques susceptibles de s'accumuler dans les mollusques bivalves comestibles. Elles constituent de ce fait une menace pour la santé des consommateurs, en Europe comme en Amérique ou en Asie. Depuis les années 80, les eaux littorales des Pays de la Loire sont régulièrement affectées par des proliférations de *Dinophysis*, principalement l'espèce *Dinophysis acuminata*. Celle-ci produit, comme d'autres espèces de *Dinophysis*, des toxines dont les effets aigus sur les vertébrés supérieurs comprennent des symptômes diarrhéiques non spécifiques.

En terme de gestion du risque sanitaire, la réponse à la présence de toxines produites par *Dinophysis* est l'arrêt de la commercialisation des coquillages, ce qui se traduit par des conséquences économiques et sociales néfastes pour les conchyliculteurs. Les espèces du genre *Dinophysis* constituent donc aussi un sujet de préoccupation chez les décideurs et aménageurs.

Dinophysis n'ayant jamais pu être cultivé en laboratoire avec les techniques habituellement utilisées pour les microalgues, les chercheurs ont rencontré de grandes difficultés pour faire avancer les connaissances sur les conditions environnementales qui favorisent son développement et sa toxicité.

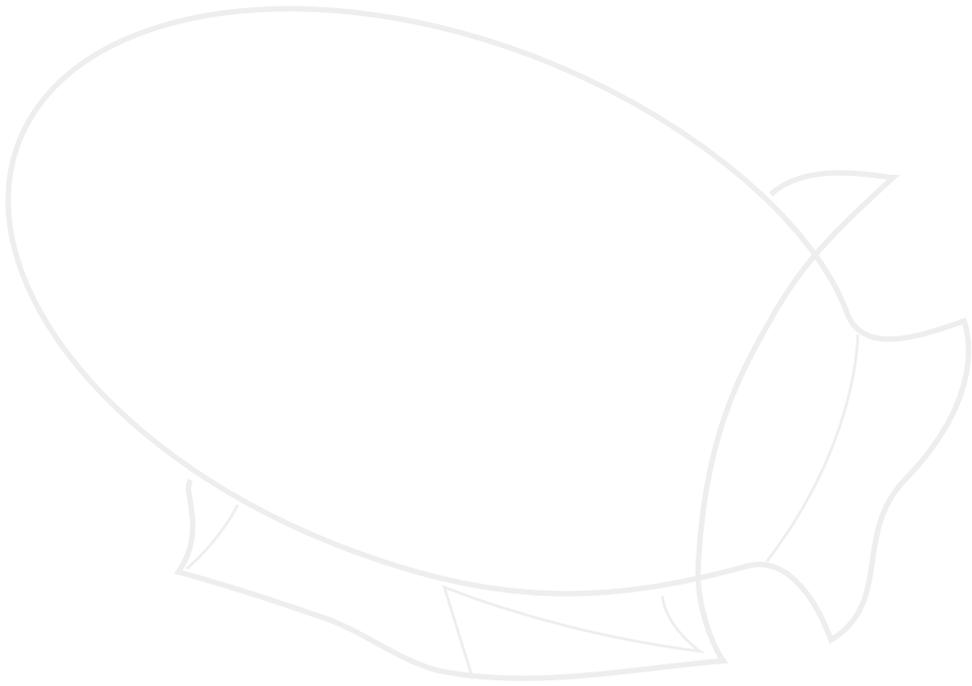
Des études scientifiques récentes ont montré que *Dinophysis* est une microalgue étonnante qui déploie une stratégie originale pour assurer sa croissance. Il est devenu possible de cultiver *Dinophysis* en lui fournissant des proies auxquelles il « dérobe » une partie de leur contenu cellulaire.

En mars 2010, le Laboratoire Environnement Ressources Morbihan/Pays de La Loire (LER/MPL) a répondu à un appel d'offres de la Région Pays de la Loire (« Expertise au profit du territoire 2010 ») pour des projets destinés à valoriser les connaissances scientifiques pour une profession ou une activité. Le projet présenté par le Laboratoire LER/MPL s'inscrivait dans l'axe prioritaire 1 de l'Agenda 21 des Pays de la Loire qui s'intitulait : « Développer une performance économique durable en équilibre avec l'environnement ». Il s'agissait notamment de rendre accessible aux acteurs

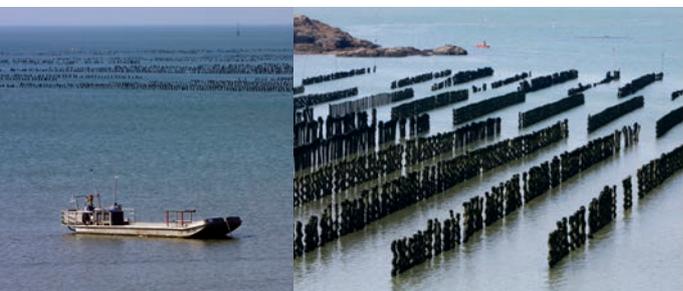
socioprofessionnels et publics de la Région les connaissances scientifiques sur un phénomène source de nuisances économiques. Le projet, intitulé Dinophag, a été retenu pour un financement par la Région Pays de La Loire et s'est achevé fin 2012.

Ce dossier, créé initialement pour le site internet envlit.ifremer.fr, se décline en quatre parties correspondant aux axes de recherche développés dans le programme Dinophag :

- réaliser un bilan des conséquences socio-économiques qu'entraîne la présence de *Dinophysis* dans les eaux littorales des Pays de Loire ;
 - décrire la « chaîne trophique *Dinophysis* » et les relations complexes existant entre *Dinophysis* et ses proies ;
 - isoler une ou plusieurs souches de *Dinophysis* et de ses proies dans les eaux des Pays de la Loire pour les mettre en culture afin de pouvoir rechercher ultérieurement en laboratoire les facteurs qui conditionnent la toxicité des souches régionales de *Dinophysis* ;
 - vérifier si dans les eaux littorales des Pays de Loire, on retrouve le modèle de développement de *Dinophysis* lui imposant de trouver ses proies avant de pouvoir effectuer la photosynthèse.
-



Dinophysis, un acteur économique



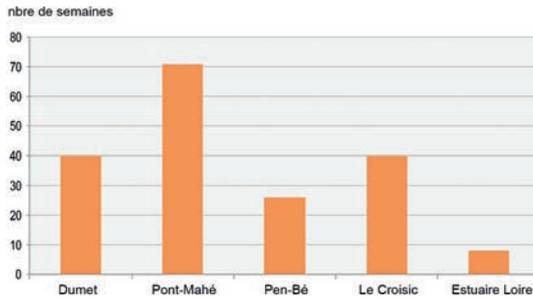
Activité économique

De la rivière d'Étel à l'estuaire de la Loire, 6000 tonnes de moules (8% de la production nationale) sont produites annuellement sur 72 km de bouchots, ainsi que 4000 t d'huîtres (5% de la production nationale) sur 875 ha. Avec 174 ha de concessions dédiées à la production de coques (cérastoculture), les traicts du Croisic fournissent 2500 tonnes de coques par an, ce qui correspond quasiment à 100% de la production nationale. Au total, plus de 150 entreprises conchylicoles emploient environ 200 salariés permanents auxquels il faut ajouter 100 travailleurs saisonniers.

Les risques liés à *Dinophysis* concernent essentiellement les élevages de moules et de coques. Les secteurs d'Étel et de Pénerf (commune de Damgan) sont essentiellement ostréicoles : 1500 t d'huîtres par an à Étel (380 ha, 45 entreprises) et 2000 t à Pénerf (235 ha, 50 entreprises). Ils sont donc peu touchés et ne seront pas traités dans ce dossier.

	Vilaine	Pen-Bé / Pont Mahé	Le Croisic	Estuaire - Loire	
Surfaces accordées (HA)	215,00	42,30	174,00	6,40	
Longueurs accordées (Km)	-	29,3	0,0	42,3	
Nombres d'exploitations	33	16	15	8	
Main d'oeuvre (permanente ; saisonnière ; ETP)	- ; - ; 50	28 ; 8 ; -	30 ; 5 ; -	92 ; 36 ; -	
Productions (tonnes)	Moules	3 000	464	467	2 114
	Huitres	-	466	90	0
	Palourdes	-	91	328	0
	Coques	-	210	2 531	-

L'activité de conchyliculture (ETP : équivalent temps plein). Source LEMNA, d'après CRC Bretagne sud et Pays de la Loire.

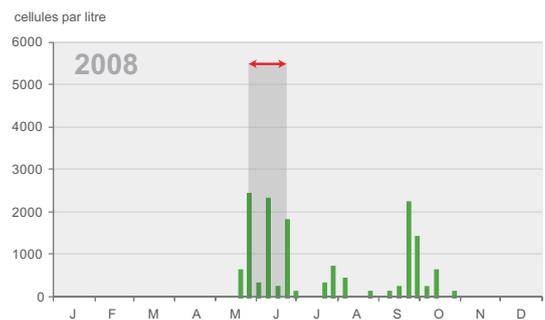
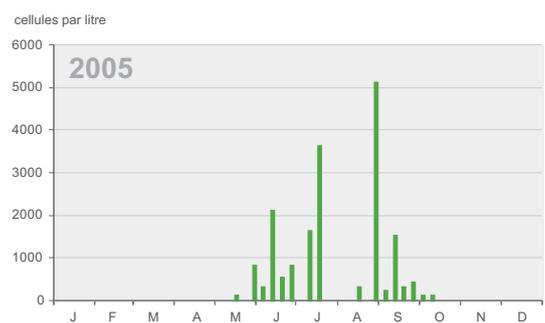
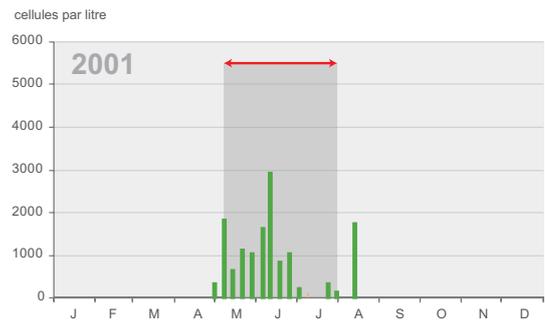


Nombre de semaines de toxicité par site dans les Pays de la Loire, toutes années confondues (2000 à 2011, données Ifremer/REPHY).

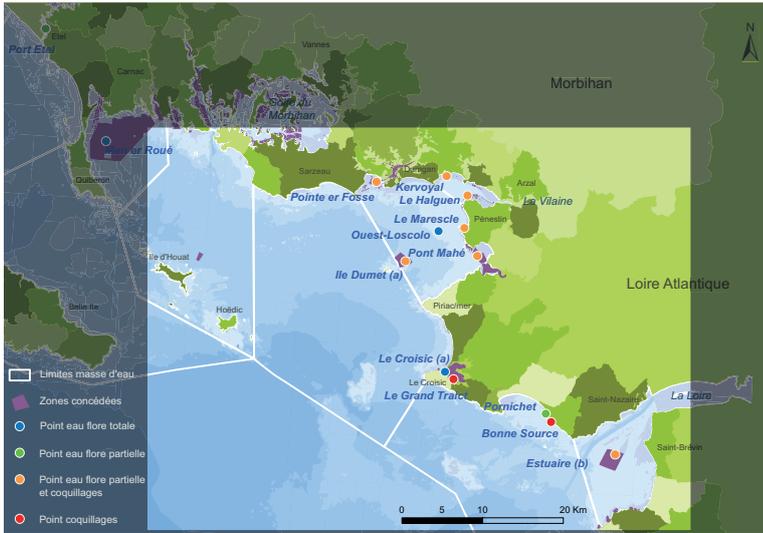
Surveillance de *Dinophysis*

Parmi les **réseaux** mis en place par l'Ifremer pour répondre aux politiques nationales de surveillance du milieu littoral, le **REPHY** (Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines) assure depuis 1984 la surveillance du phytoplancton, des paramètres physico-chimiques dans l'eau et des phycotoxines dans les coquillages.

Les prélèvements d'eau sur un réseau de stations de prélèvement réparties sur l'ensemble du territoire français métropolitain permettent d'observer l'ensemble des espèces de phytoplancton présentes dans les eaux côtières et d'en évaluer ainsi la biodiversité. Les observateurs portent une attention particulière aux espèces qui produisent des toxines dangereuses pour la santé des consommateurs de coquillages (comme *Dinophysis*), ou qui sont nuisibles pour la faune marine.

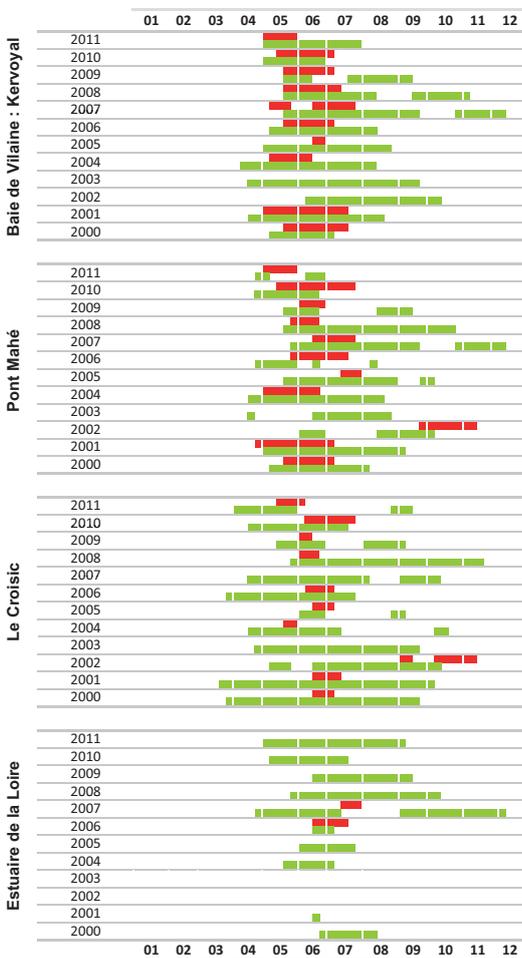


Le Halguen - Périodes de toxicité annuelle (2001 - 2002 - 2005 - 2008).



Carte du réseau de surveillance.

■ Présence de *Dinophysis*
■ Toxicité des coquillages (sauf Pen-Bé)



Durée de toxicité et présence de *Dinophysis* par point.



Durée de toxicité et présence de *Dinophysis* par année.

À partir de quelques centaines de cellules par litre, *Dinophysis* peut entraîner, dans la chair des coquillages filtreurs comme la moule ou l'huître, une accumulation de toxines dangereuses pour le consommateur. C'est pourquoi, lorsque les cellules de *Dinophysis* dépassent le seuil de 500 cellules par litre dans les prélèvements d'eau, la chair des coquillages est analysée. Cela permet de statuer sur leur toxicité pour le consommateur. Depuis sa création en 1984, le REPHY a prouvé son efficacité en termes de santé publique puisqu'il a permis d'éviter les épisodes de toxicité alimentaire liés à la consommation de coquillages.

Le littoral de Bretagne sud et des Pays de la Loire est régulièrement affecté par des proliférations de *Dinophysis*, dont la toxicité touche essentiellement les moules et les coques. Les concentrations les plus fréquemment rencontrées varient de quelques centaines à un millier de cellules par litre. Elles peuvent toutefois atteindre épisodiquement 12 à 15 000 cellules par litre, notamment en baie de Vilaine. En général, *Dinophysis* est présent de façon persistante entre mai et septembre. Globalement, on n'observe pas de tendance à l'augmentation ni à la diminution des occurrences sur la période d'étude. Notons cependant que les fortes concentrations n'engendrent pas systématiquement des toxicités.

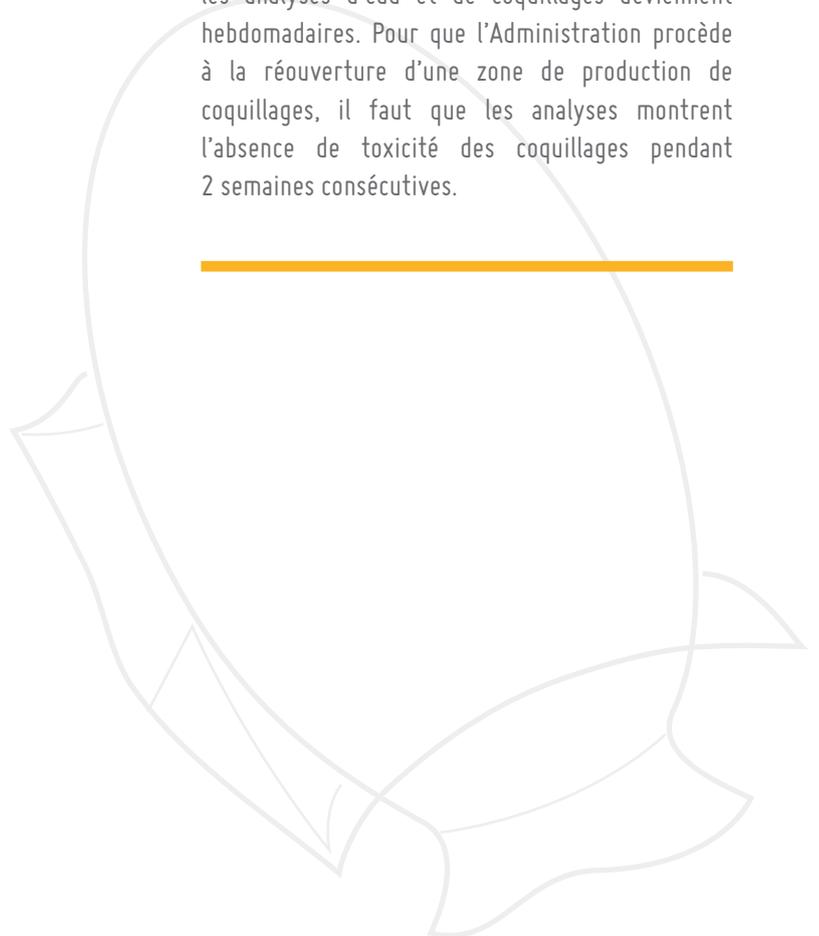
À l'exception de l'année 2003, où aucun phénomène toxique n'est venu perturber les exploitations conchylicoles, on observe chaque année des épisodes de toxicité des coquillages dont la fréquence et l'ampleur varient en fonction des différents secteurs. Sur certains sites des Pays de la Loire, le nombre cumulé de semaines de toxicité pour les 12 années successives de 2000 à 2011 peut atteindre 70.

Interdiction de commercialisation

L'intervalle de temps entre l'apparition de *Dinophysis* et celle de la toxicité dans les coquillages peut varier de quelques jours à plusieurs semaines, ce qui ne permet pas pour l'instant de prévoir les épisodes toxiques.

L'Ifremer informe régulièrement l'Administration des quantités de toxines diarrhéiques présentes dans la chair des coquillages. Lorsque celles-ci sont supérieures au seuil de sécurité sanitaire, l'Administration décide, par arrêté du préfet, d'interdire la commercialisation des coquillages toxiques dans les zones concernées. En parallèle, elle avertit les organisations professionnelles (conchyliculteurs, pêcheurs) et les élus ; ces informations sont relayées par voie de presse et par affichage dans les communes littorales.

Pendant toute la durée de l'épisode toxique, les analyses d'eau et de coquillages deviennent hebdomadaires. Pour que l'Administration procède à la réouverture d'une zone de production de coquillages, il faut que les analyses montrent l'absence de toxicité des coquillages pendant 2 semaines consécutives.



Le risque *Dinophysis* pour les conchyliculteurs

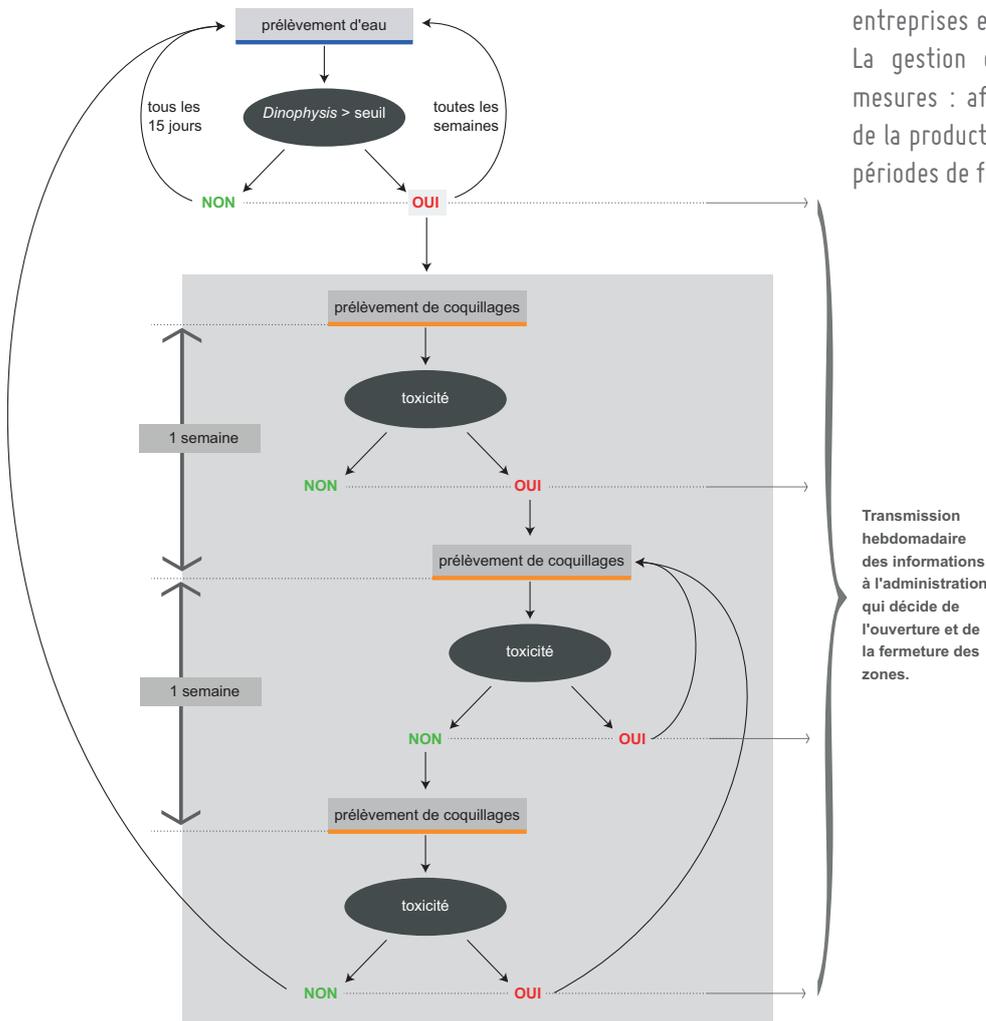
Dans le cadre du programme Dinophag, 35 professionnels ont été interrogés sur leur perception du risque lié à *Dinophysis* qui apparaît comme le premier risque pour l'entreprise, même si ce dernier n'engendre pas de véritables pertes commerciales, mais plutôt des reports de vente.

Quelles sont les principales conséquences de *Dinophysis* pour les entreprises conchylicoles ?

Les fermetures liées à *Dinophysis* sont généralement perçues comme un phénomène pénalisant mais elles peuvent parfois induire des conséquences économiques positives à moyen terme.

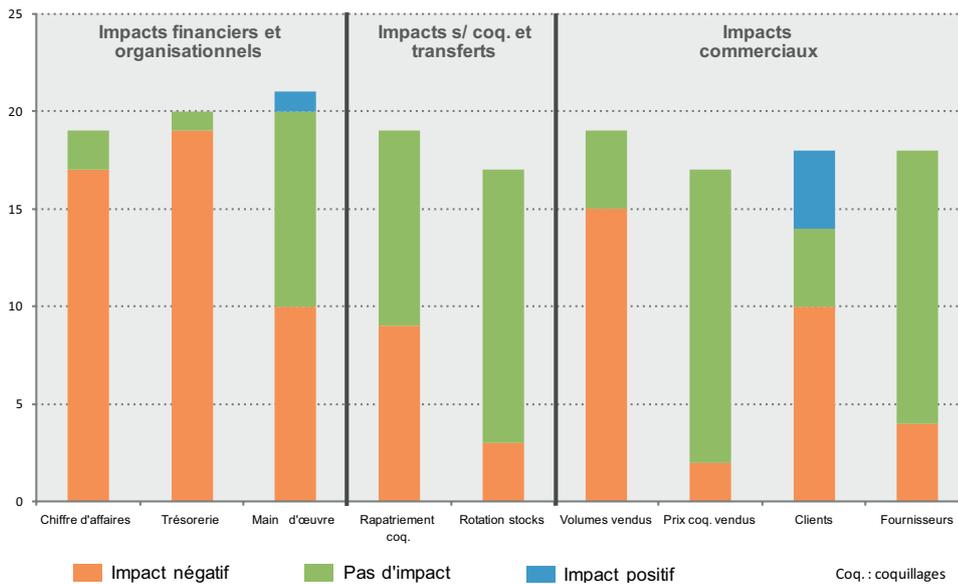
Aspects financiers : une fermeture pour cause de *Dinophysis* entraîne des conséquences négatives sur le chiffre d'affaires (90% des opinions exprimées) et sur la trésorerie des entreprises (95%). Contrairement au risque de mortalité du cheptel, il n'y a pas de pertes irrécouvrables si aucune moule n'a été vendue au moment de la fermeture. En revanche, les entreprises doivent gérer un décalage de vente et donc de leur trésorerie pendant les périodes de fermeture. Durant cette période, elles doivent donc pouvoir faire face à leurs charges (salaires, annuités d'emprunts, impôts, etc.) alors que leur revenu est en baisse.

Organisation de l'entreprise et gestion de la main d'œuvre : les opinions sont partagées entre des conséquences négatives pour la moitié des entreprises et aucune conséquence pour les autres. La gestion des salariés se décline en diverses mesures : affectation à d'autres tâches que celle de la production, congés systématiques pendant les périodes de fermeture, décalage d'embauche.



Épisode toxique, processus conduisant à la fermeture.

Nombre de réponses



Impacts sur les entreprises conchylicoles. Source : LEMNA, d'après enquête Dinophag.

Gestion de la production et transferts de coquillages : 82 % des entreprises estiment qu'il n'y a aucun impact sur la rotation des stocks en fonction des différentes techniques de production. Le rapatriement de coquillages expédiés, alors qu'une interdiction de commercialisation est ordonnée, est jugé pénalisant pour 47 % des entreprises. Cette mesure peut ainsi entraîner une mauvaise image des produits vendus et une perte de confiance de la part des clients (impact commercial négatif). À l'inverse, cette mesure peut être perçue comme positive de la part des consommateurs qui y voient un contrôle des coquillages efficace.

Aspect commercial : une fermeture pour cause de *Dinophysis* conduit à une diminution des volumes de coquillages vendus (78 % des répondants) mais n'a aucun impact sur le prix de vente des coquillages lorsque l'autorisation de commercialisation est donnée.

Face au risque présenté par ces épisodes toxiques à *Dinophysis*, les entreprises déclarent majoritairement ne pas être prêtes à souscrire à des fonds professionnels ou à des assurances dont les coûts actuels sont jugés trop élevés.

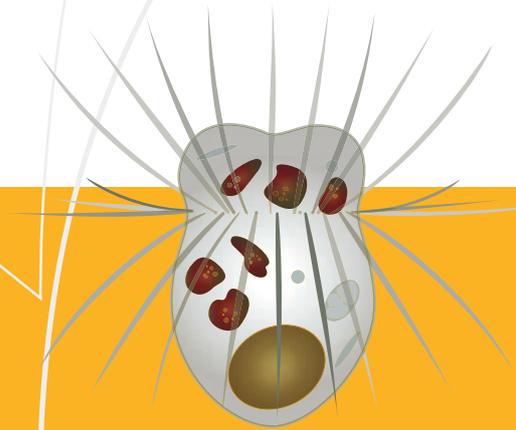
Les principes de solidarité (contributions publiques) ne répondent pas non plus à ce type de risque. Ainsi, l'atténuation du risque *Dinophysis* reste du ressort des entreprises.

La moitié des professionnels interrogés ont intégré le risque *Dinophysis* et prennent des mesures immédiates lorsqu'ils sont exposés à une fermeture administrative liée à la présence de *Dinophysis* (toxine DSP), l'attente de la réouverture caractérisant les professionnels restants. Deux types de mesures sont engagées :

- l'achat de coquillages à d'autres producteurs pour satisfaire une partie de la demande et bénéficier d'un revenu ;
- la réorganisation de la main d'œuvre à travers les effectifs (limitation des heures travaillées, suspensions des embauches de saisonniers, prises de congés) et le travail au sein de l'entreprise (entretien des parcs, du matériel, etc.).

Ces mesures de gestion n'ont pas évolué au cours des 10 dernières années.

Dinophysis, un voleur



Chloroplastes

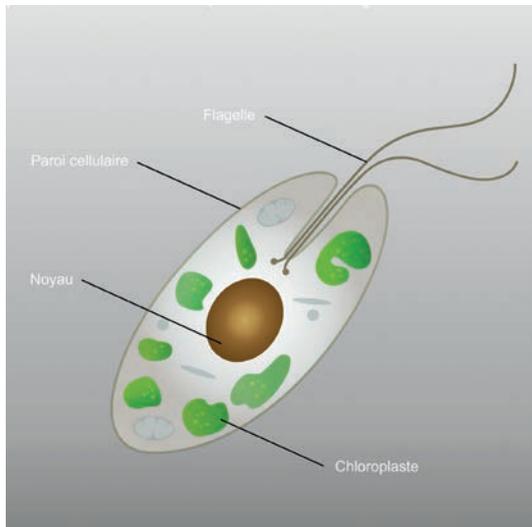
Le moteur de la photosynthèse

Qu'ils soient terrestres ou aquatiques, les végétaux utilisent la lumière comme source d'énergie pour se développer grâce à la présence de **chloroplastes** dans leur matériel cellulaire. Les **chloroplastes**, qui donnent aux végétaux leur couleur généralement verte, peuvent parfois prendre des teintes brunes à rougeâtre.

Le **phytoplancton** ou plancton végétal qui est à la base de toutes les chaînes alimentaires aquatiques est constitué de microalgues qui vont principalement se développer grâce à ces chloroplastes, sièges de la photosynthèse. Visibles uniquement au microscope, certaines microalgues peuvent colorer la mer ou les eaux intérieures de manière spectaculaire quand les conditions du milieu permettent leur prolifération ou « bloom ». La couleur de ces eaux rouges ou vertes est liée à celles des chloroplastes de l'espèce proliférante.



Prolifération de phytoplancton (eau colorée) au large de l'estuaire de la Loire le 31 juillet 2012.
Photo : Yves Le Medec.



Représentation schématique d'une microalgue.

Les **dinoflagellés**, famille à laquelle appartient le genre *Dinophysis* constituent une catégorie de plancton à la frontière entre les règnes végétal et animal, comme en atteste la présence chez eux de deux flagelles qui leur confèrent de la mobilité. Si certaines espèces de dinoflagellés ont un profil strict de microalgue, d'autres se comportent exclusivement comme des animaux en ingérant des proies pour se nourrir. D'autres encore, développent des stratégies dites « mixtes » qui s'appuient à la fois sur la photosynthèse et la prédation. Plusieurs espèces de *Dinophysis* ont pu être récemment classées dans cette dernière catégorie, car ils iraient se « fournir » en **chloroplastes** chez d'autres espèces phytoplanctoniques présentes dans le milieu.



Eau rouge (présence de *Myrionecta rubra* appelé aussi *Mesodinium rubrum*).
Photo : André Vaquer.

Dinophysis vole les chloroplastes de *Myrionecta rubra*

Beaucoup d'espèces de microalgues isolées de leur milieu naturel peuvent être cultivées en laboratoire en apportant à ces cellules de la lumière et des nutriments (azote, phosphore, vitamines, etc.). Mais cette technique a toujours échoué quand il s'agissait de *Dinophysis*. Il a fallu attendre 2006 pour que des chercheurs coréens découvrent que la culture de *Dinophysis* était possible grâce à une technique reposant à la fois sur la photosynthèse et la prédation.

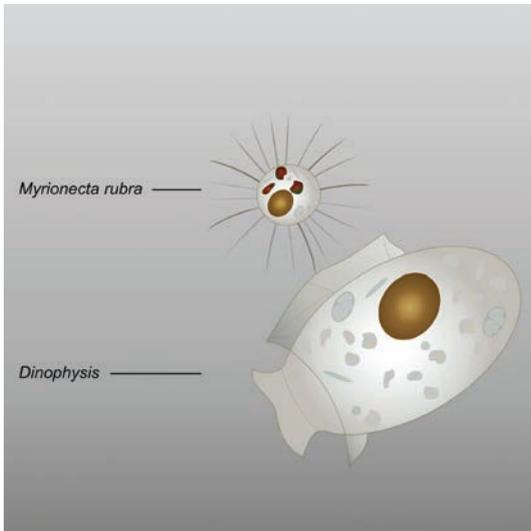
Dinophysis a besoin d'une proie grâce à laquelle il va pouvoir effectuer sa photosynthèse : le cilié *Myrionecta rubra*

Ces dernières années, plusieurs laboratoires étrangers ont réussi à cultiver des espèces de *Dinophysis* que l'on rencontre dans les eaux du littoral Loire-Bretagne comme *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis caudata*. La technique consiste à mettre en culture des cellules de *Dinophysis* en présence de cellules de *Myrionecta rubra*. Ce micro-organisme (appelé aussi *Mesodinium rubrum*) est bien connu de certains conchyliculteurs car lorsqu'il est présent en grandes quantités dans l'eau, il lui donne, ainsi qu'aux bivalves qui le consomment, une coloration rouge, sans toxicité toutefois.

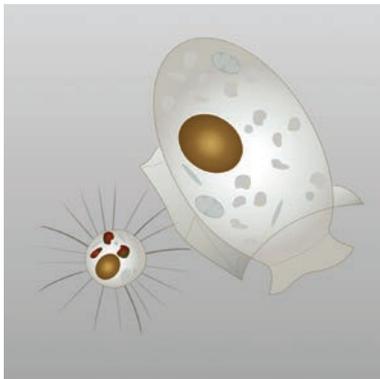
La proie *Myrionecta rubra* est utilisée par *Dinophysis* comme une source de chloroplastes

À l'aide d'un pédoncule, *Dinophysis* extrait les chloroplastes d'une cellule de *Myrionecta rubra*, puis les utilise pour effectuer sa photosynthèse. Au bout de quelques semaines, *Dinophysis* doit les renouveler car il ne peut ni réparer ni entretenir des chloroplastes qui ne lui appartenaient pas au départ.

Dinophysis
extrait les chloroplastes du *Myrionecta*



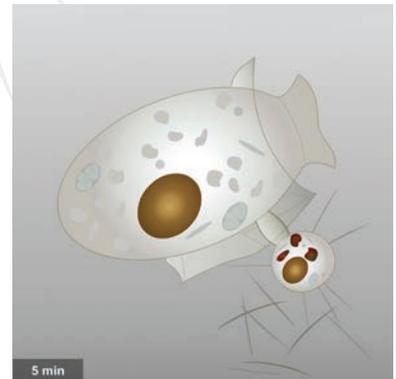
Les deux protagonistes.



1/ *Dinophysis* nage autour de sa proie et s'y colle.



2/ *Dinophysis* insère son pédoncule dans sa proie.



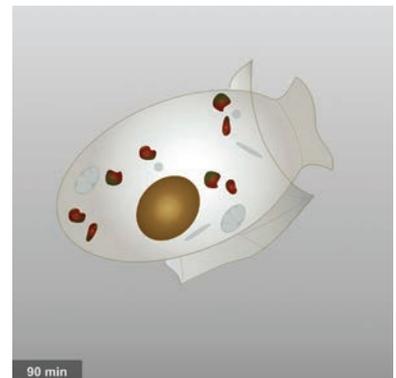
3/ Après l'introduction du pédoncule, *Myrionecta rubra* s'immobilise puis pour une raison encore inexpliquée perd ses cils.



4/ La proie est 'pressée' et son cytoplasme est aspiré à travers le pédoncule. Les chloroplastes sont concentrés au centre de *Dinophysis*.



5/ Les chloroplastes accumulés se dispersent et migrent vers la périphérie de la cellule.

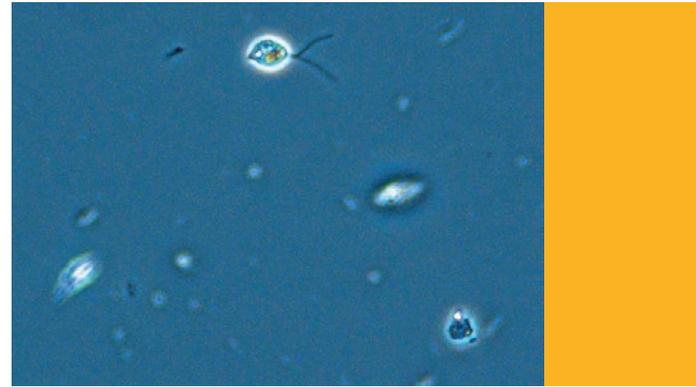


6/ En 45 à 90 min tout le contenu cellulaire de *Myrionecta rubra* est aspiré par *Dinophysis*.

Myrionecta le voleur volé

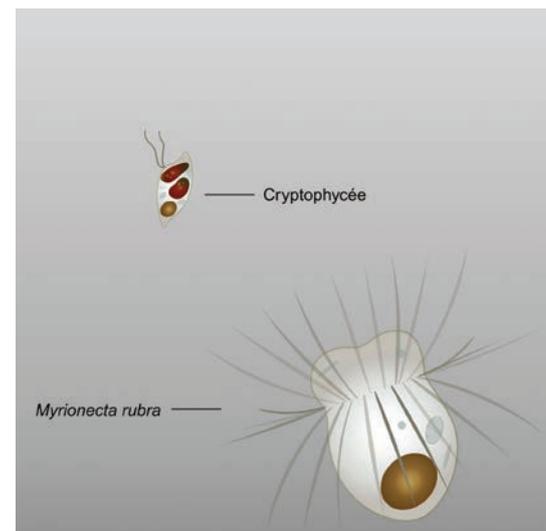
Myrionecta est lui-même un prédateur qui se fournit en chloroplastes sur d'autres micro-organismes phytoplanctoniques

Les chloroplastes de *Myrionecta rubra* ne sont pas les siens. Il se les procure en ingérant des microalgues de la famille des cryptophycées. *Myrionecta rubra* s'approprie aussi la partie du noyau des cryptophycées qui contient l'information pour entretenir et réparer les chloroplastes soustraits. Ces derniers peuvent ainsi rester opérationnels plusieurs mois dans les cellules de *Myrionecta rubra*. Trois espèces de cryptophycées sont actuellement utilisées par les laboratoires qui entretiennent une culture de *Myrionecta rubra* : *Teleaulax amphioxeia*, *Teleaulax acuta* et *Geminigera cryophila*.



Cryptophycées.
Photo : Radka Novakova.

Prédation de *Myrionecta rubra* sur une cryptophycée



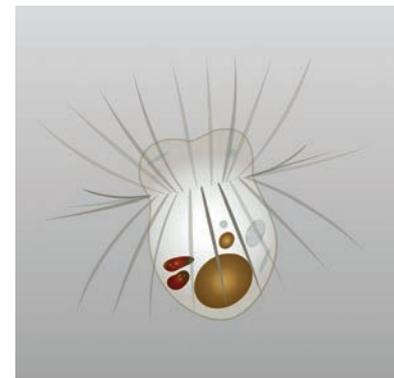
Les deux protagonistes.



1/ *Myrionecta rubra* capture sa proie et la conduit vers son extrémité buccale.



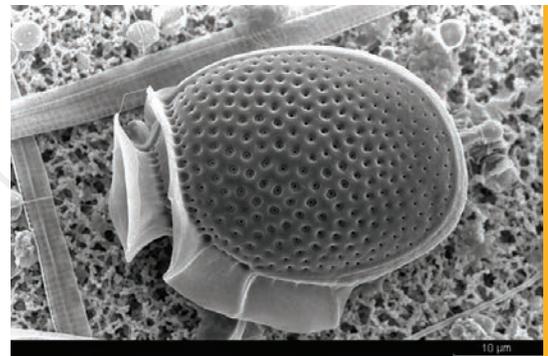
2/ *Myrionecta rubra* ingère la cryptophycée.



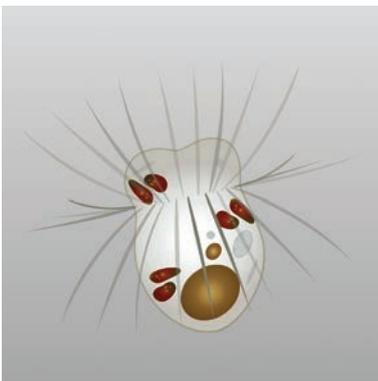
3/ *Myrionecta rubra* utilise les chloroplastes de la cryptophycée. Elle s'approprie aussi le noyau dont les informations lui permettront d'entretenir les chloroplastes.

Un vol de chloroplastes en chaîne

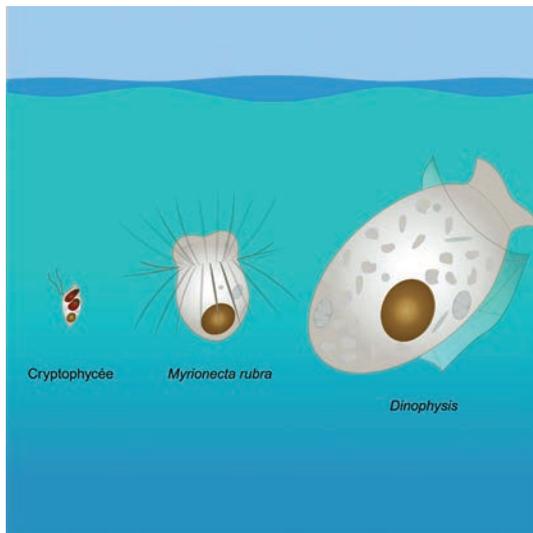
Dinophysis est donc impliqué dans une chaîne trophique complexe résumée dans la séquence ci-dessous et qui repose à la fois sur la disponibilité de proies et sur les facteurs qui influencent la photosynthèse (lumière, nutriments). Cette découverte récente explique en grande partie les précédents échecs de mise en culture et les difficultés à interpréter les distributions spatiales et temporelles de *Dinophysis* dans les eaux côtières.



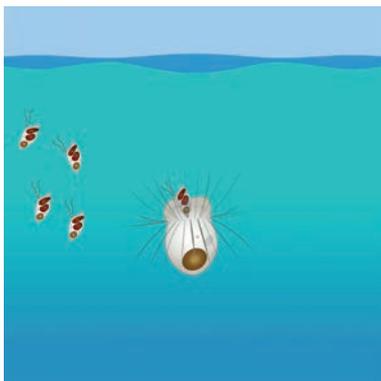
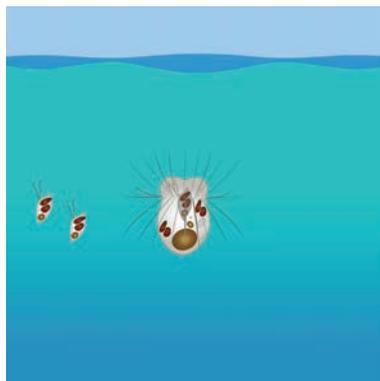
Dinophysis acuminata.
Photo : Michèle Bardouil.



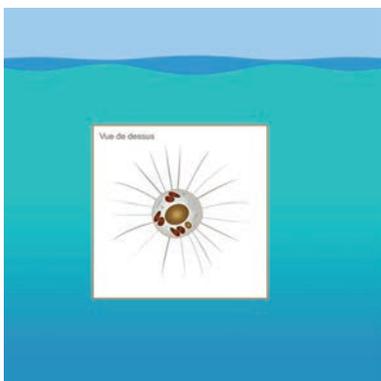
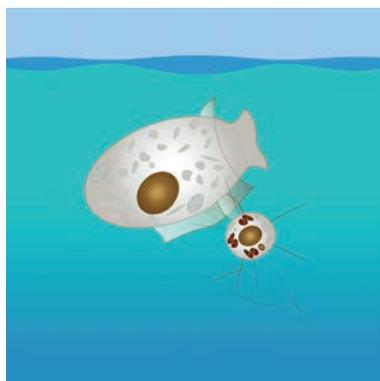
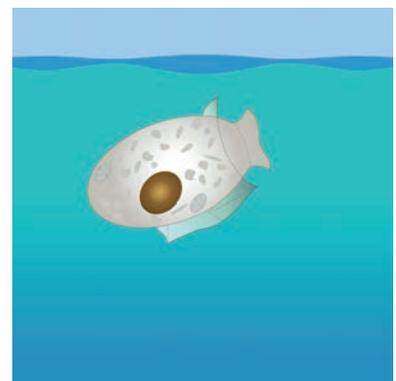
4/ Plusieurs cryptophycées sont ingérées de la même manière. Les chloroplastes s'accablent dans *Myrionecta rubra*.

La chaîne trophique de *Dinophysis*

Les trois protagonistes.

1/ *Myrionecta rubra* ingère des cryptophycées, conserve les chloroplastes et s'approprie le noyau.

2/ L'appropriation du matériel génétique du noyau est nécessaire à la pérennité des chloroplastes.

3/ *Myrionecta rubra* vue de côté.3 bis/ *Myrionecta rubra* vue de dessus.
Dans les vues microscopiques associant *Myrionecta rubra* et *Dinophysis*, *Myrionecta rubra* apparaît toujours vue de dessus (cavité buccale).4/ *Dinophysis* aspire les chloroplastes de *Myrionecta rubra* nécessaires à la photosynthèse.

5/ Dépourvu ici du matériel génétique nécessaire à leur pérennité, les chloroplastes perdent progressivement de leur capacité. Ils doivent être remplacés.

Cultivons *Dinophysis*

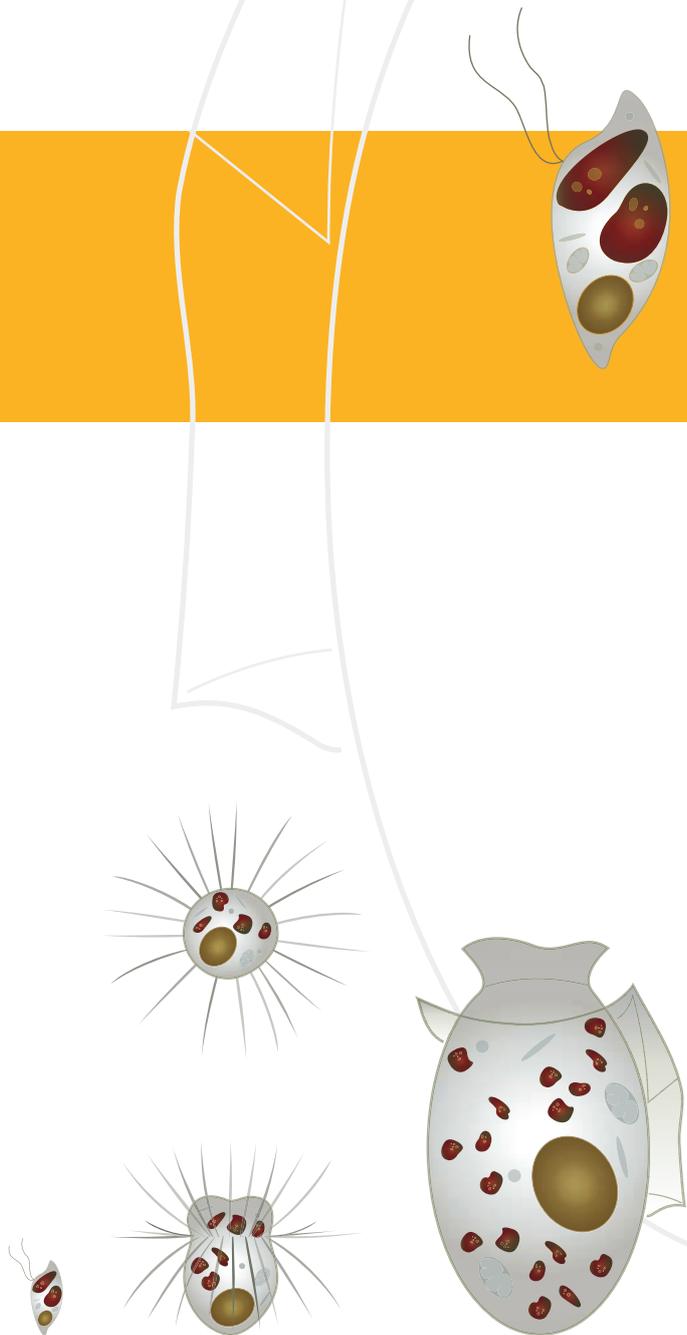


Cultiver *Dinophysis* en laboratoire pour mieux le connaître

L'étude des conditions qui amènent *Dinophysis* à se développer et à produire de la toxine ne peut être réalisée qu'à partir d'une culture en laboratoire. La plupart des espèces de phytoplancton peuvent se cultiver en isolant des cellules de leur milieu naturel et en les exposant à la lumière dans un milieu riche en nutriments.

Pour pouvoir cultiver *Dinophysis* en laboratoire, il faut d'abord cultiver les partenaires de sa chaîne trophique. La chaîne trophique *Dinophysis* implique l'établissement d'un système de culture à trois niveaux :

- cultiver une cryptophycée ;
- cultiver *Myrionecta rubra* en lui fournissant comme proie la cryptophycée cultivée ;
- cultiver *Dinophysis* en lui fournissant comme proie *Myrionecta rubra*.



Représentation schématique des 3 partenaires.

Les cryptophycées portent bien leur nom (du grec *kryptos* qui signifie caché). Elles sont restées, en effet, longtemps inaperçues en raison de leur petite taille.



Quelques espèces de cryptophycée. La forme de goutte et la présence d'une double flagelle sont caractéristiques.

Photo : Patrick Lassus.

Cultiver une cryptophycée

Cultiver une cryptophycée des eaux du Nord-Loire

Les trois espèces de cryptophycées citées dans la littérature internationale pouvant être utilisées comme proies pour entretenir une culture de *Myrionecta rubra* : *Teleaulax amphioxeia*, *Teleaulax acuta* et *Geminigera cryophila* ne peuvent pas être formellement identifiées au microscope en raison de leur petite taille et de leur confusion possible avec d'autres espèces de cryptophycées. Aussi, les observateurs du réseau REPHY ne mentionnent les cryptophycées dans la base de données que lorsqu'elles sont en grandes quantités dans les échantillons et sans en déterminer le genre ou l'espèce.

Mettre en culture la bonne espèce de cryptophycée

Lorsque de grandes quantités de cryptophycées sont présentes dans les eaux côtières des Pays de la Loire, des échantillons sont ramenés au laboratoire pour une fastidieuse opération d'isolement des cellules. Ce n'est que lorsque l'espèce isolée a été mise en culture que son identification formelle est possible grâce à des méthodes génétiques. (voir ci-contre les photographies des différentes étapes)

C'est la cryptophycée *Teleaulax amphioxeia* qui a été mise en culture et formellement identifiée par biologie moléculaire. Afin d'avoir des proies en permanence pour *Myrionecta rubra*, *Teleaulax amphioxeia* est cultivée en continu au laboratoire grâce à l'utilisation de photobioréacteurs.



Teleaulax amphioxeia cultivée en continu en photobioréacteurs.
Photo : Véronique Séchet.

Photographies de différentes étapes de mise en culture d'une cryptophycée



1/ Prélèvement d'un échantillon de culture algale sous la hotte microbiologique.



2/ Pipetage.



3/ Repiquage d'un inoculum dans un nouvel erlenmeyer.



4/ Etiquetage.



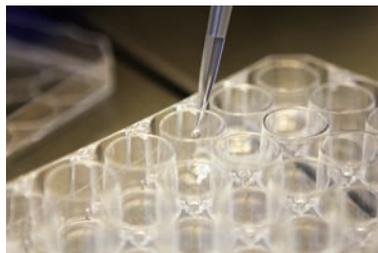
5/ Incubation de la culture dans une enceinte illuminée et thermostatée.



6/ Préparation d'une plaque de culture cellulaire 24 puits.



7/ Ajout du milieu de culture.



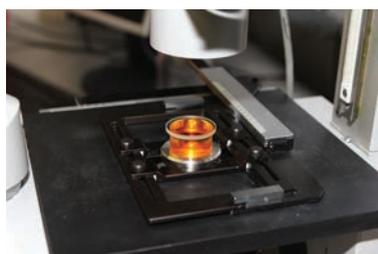
8/ Ajout de micro-algues.



9/ Préparation d'un échantillon fixé au lugol.



10/ Cuves de sédimentation.



11/ Pose de la cuve sur la platine du microscope inversé.



12/ Observation et comptages des cellules de micro-algues au microscope.

Cultiver *Myrionecta rubra*

Le cilié *Myrionecta rubra* est régulièrement présent dans les eaux côtières des Pays de la Loire. Mais, à la différence des cryptophycées, les occasions de l'observer en grandes quantités sont rares.

Grâce à la mise en culture continue de *Teleaulax amphioxeia*, quelques cellules de *Myrionecta rubra* isolées d'eaux côtières de la Région ont pu être maintenues en vie au laboratoire. Mais les cellules cultivées ne sont pas assez nombreuses pour servir de proies à de grandes quantités de *Dinophysis*.

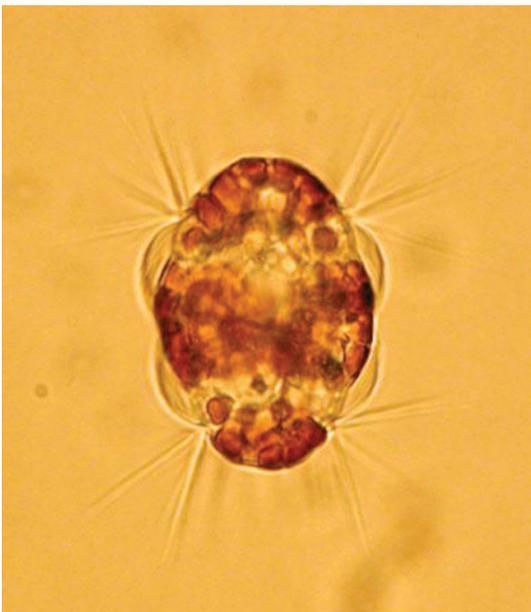
Un espoir d'obtenir une culture stable régionale de *Myrionecta rubra*

Lorsque *Myrionecta rubra* prolifère, il peut colorer l'eau en rouge. Cette opportunité est recherchée par l'Ifremer qui a lancé depuis l'été 2011 un appel à tous ceux qui pourraient signaler, voire prélever des eaux riches en *Myrionecta rubra*.



Myrionecta rubra en présence de *Teleaulax amphioxeia* dans les cultures réalisées à Nantes.

Photo : Patrick Lassus.



Myrionecta rubra.

Photo : Elisabeth Nézan.

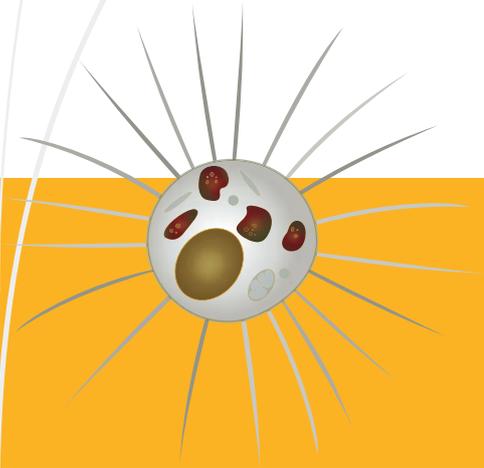
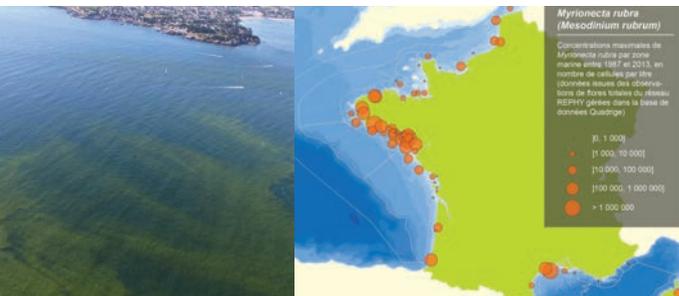
Avis de recherche

Pour signaler la présence d'eau de mer colorée en rouge ou prévenir que vous avez effectué un prélèvement* dans la nappe d'eau concernée, contactez à l'Ifremer Véronique Séchet au 02 40 37 41 12 ou Virginie Raimbault au 02 40 37 42 70.

*Le prélèvement peut se faire dans un seau ou tout flacon propre, rincé préalablement avec l'eau à prélever.

Dinophysis et sa chaîne trophique

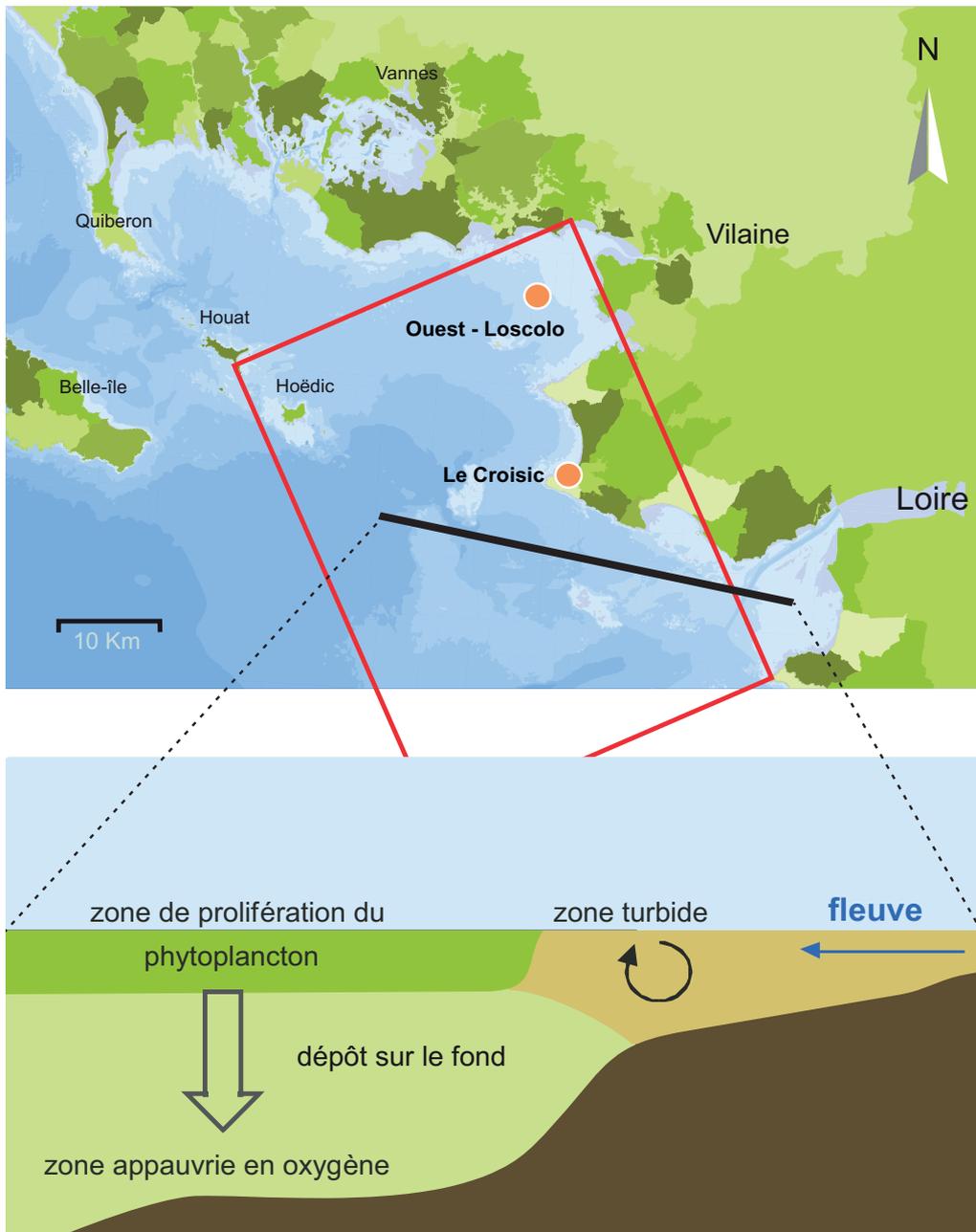
Dans les eaux littorales des Pays de la Loire



Le secteur Nord-Loire : une zone littorale fertilisée par les fleuves

Les eaux littorales du Nord-Loire ne sont pas seulement caractérisées par de fréquents développements de *Dinophysis*. Elles sont le lieu d'une forte production de phytoplancton grâce aux nutriments apportés par la Loire et la Vilaine.

Les eaux estuariennes sont souvent turbides en raison notamment de la faible profondeur qui facilite la remise en suspension des sédiments par la marée, la houle et le vent. Ces eaux turbides ne sont pas propices à la production de phytoplancton car la lumière y pénètre difficilement. Leur extension augmente avec le débit des fleuves et peut s'étendre au-delà du Croisic lors de crues hivernales. À l'inverse, la période estivale, qui correspond le plus souvent à l'étiage, voit la zone turbide se limiter à l'estuaire lui-même.



Représentation schématique en coupe transversale des eaux littorales au large de l'estuaire de la Loire. La zone de prolifération du phytoplancton est grossièrement délimitée par un cadre rouge dans lequel sont situées les stations REPHY Le Croisic et Oest-Loscolo qui ont été particulièrement étudiées par Dinophag.

Le phytoplancton se développe dans les eaux de surface au large de la zone turbide car l'éclairement y est suffisant pour la photosynthèse. La période estivale est favorable à l'extension de la zone de prolifération du phytoplancton car les débits des fleuves sont souvent à leur niveau le plus faible. De plus, les conditions météorologiques estivales favorisent la stabilité de la masse d'eau ainsi que la pénétration de la lumière. À sa mort, le phytoplancton est entraîné vers le fond où son recyclage peut consommer tout (anoxie) ou partie (hypoxie) de l'oxygène dissous. Ces désoxygénations à répétition peuvent menacer la vie sur les fonds et conduire à l'établissement de zones dites « mortes ».

Il existe des zones mortes un peu partout dans le monde dont l'exemple le plus connu est situé dans le golfe du Mexique au large de l'estuaire du Mississippi. Dans ce contexte d'eutrophisation (voir dossier Envlit « L'eutrophisation littorale »), le littoral du Nord-Loire peut-être considéré comme une zone morte potentielle.



Prolifération de phytoplancton (eau colorée) au large de l'estuaire de la Loire le 31 juillet 2012.
Photo : Yves Le Medec.

Le Mor Braz : un secteur particulièrement sensible à l'eutrophisation

Le Mor braz est limité au large par une échine rocheuse d'où émergent les îles d'Houat et Hoëdic. Cette barrière limite les échanges entre la zone côtière et le large. Les courants y sont plus lents, ce qui laisse du temps au phytoplancton pour consommer les nutriments d'origine fluviale. À l'intérieur du Mor Braz, la baie de Vilaine présente un degré supplémentaire de confinement de ses eaux par la présence d'une ligne de haut fonds dont la partie émergée est l'île Dumet.

La baie de Vilaine piège les nutriments apportés par la Loire. Elle reçoit en plus les nutriments de la Vilaine dont le débit représente environ le dixième de ceux de la Loire. L'étude des concentrations de nutriments effectuée par Dinophag à la station Ouest-Loscolo indique, qu'en situation moyenne, les nutriments ne limitent pas la production de phytoplancton dans la baie de Vilaine. La production de phytoplancton y est plus élevée que dans les autres secteurs du Mor Braz avec pour conséquence une plus grande propension à des désoxygénations sur les fonds.

La baie de Vilaine fait donc partie des zones côtières les plus vulnérables à l'eutrophisation sur la façade atlantique.



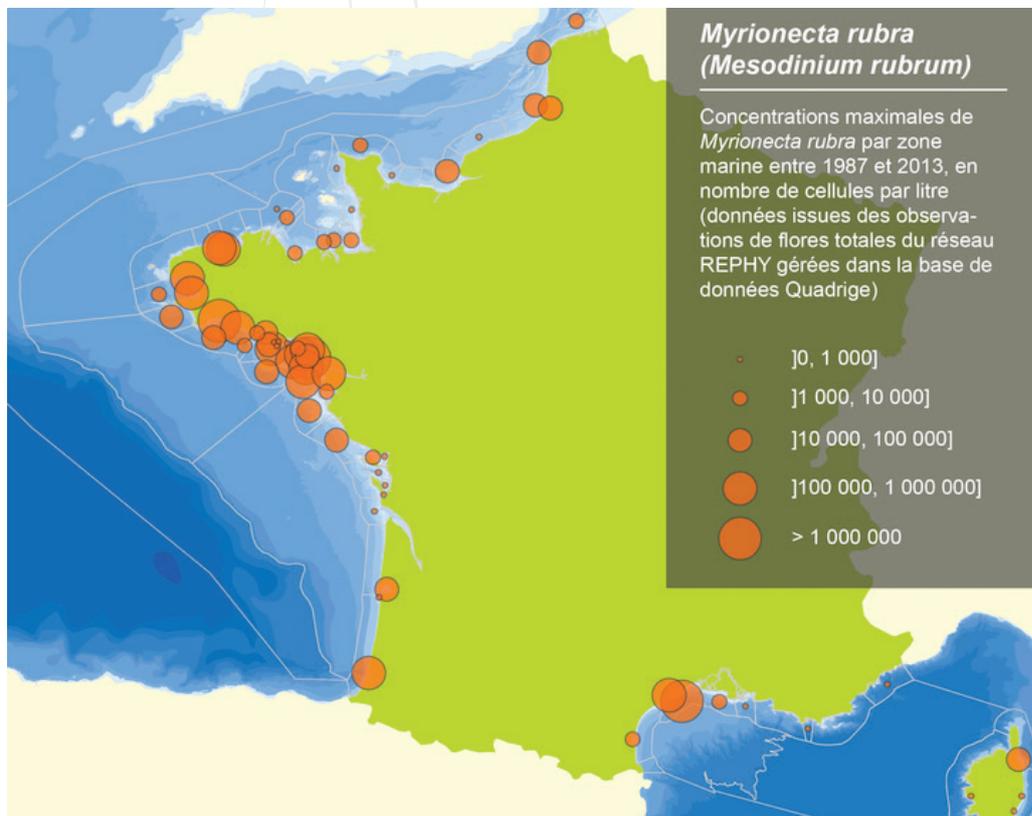
Délimitation du secteur du Mor Braz et de la baie de Vilaine dans le contexte de la fertilisation par les fleuves Loire et Vilaine.

Myrionecta rubra, proie de *Dinophysis*, est un habitué des lieux

Bien que le cilié *Myrionecta rubra*, proie de *Dinophysis*, ne soit pas recherché systématiquement par le REPHY, il est compté dans les déterminations de flores totales effectuées sur une sélection de lieux de prélèvement.

La distribution géographique des concentrations maximales de *Myrionecta rubra* sur le littoral Manche Atlantique semble coïncider avec celles des proliférations de *Dinophysis* situées fréquemment en sud Bretagne et en Baie de Seine.

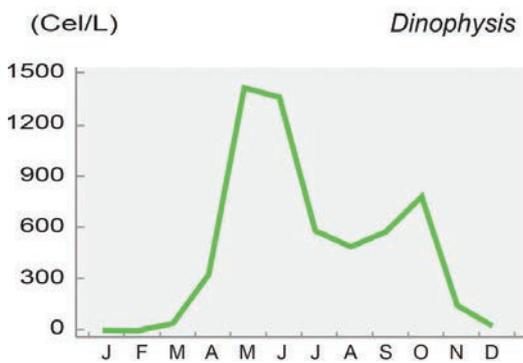
Cela renforcerait l'idée que la chaîne trophique mise à jour en laboratoire serait effective dans le milieu naturel.



Concentrations maximales de *Myrionecta rubra* par zone marine entre 1987 et 2013, en nombre de cellules par litre (données issues des observations de flores totales du réseau REPHY gérées dans la base de données Quadrige).

Les indices d'une succession des trois partenaires de la chaîne trophique *Dinophysis*

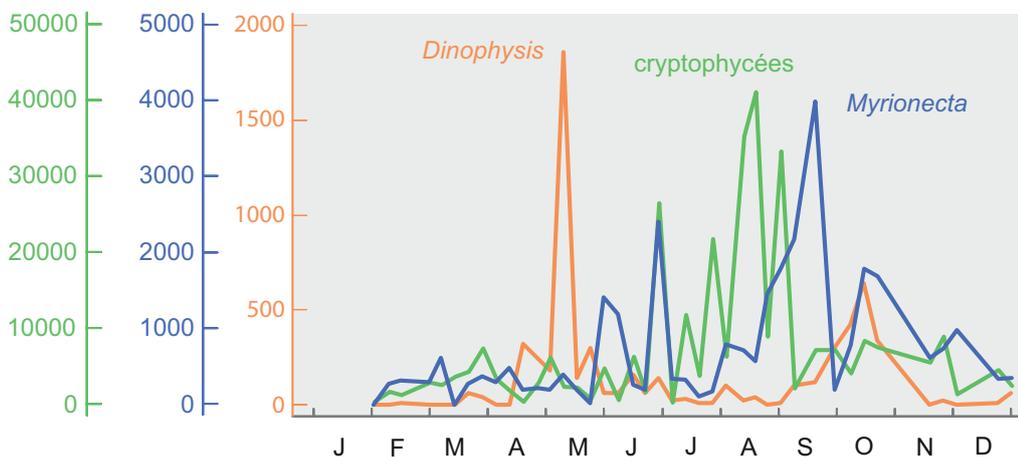
Depuis qu'il est suivi par le REPHY dans les eaux littorales des Pays de la Loire, *Dinophysis* nous a habitué à présenter le plus souvent des concentrations maximums en fin de printemps et en début d'automne.



Variations mensuelles des concentrations cellulaires de *Dinophysis* à la station Ouest-Looscolo moyennées sur la période 1987-2010.

L'observation de la chaîne trophique dans les eaux des Pays de la Loire par Dinophag montre que les trois partenaires : cryptophycées, *Myrionecta rubra* et *Dinophysis*, étaient présents pratiquement toute l'année 2011 aux stations Le Croisic et Ouest-Looscolo. Les indices d'une succession apparaissent pour le maximum automnal de *Dinophysis*. Au printemps, la succession est beaucoup moins nette. Mais pour cette période, l'année 2011 doit être considérée comme atypique car les débits fluviaux printaniers ont été historiquement faibles. Les observations demandent donc à être renouvelées pour confirmer que le mode de développement qui permet de cultiver *Dinophysis* en laboratoire s'applique dans les eaux des Pays de la Loire.

Concentrations cellulaires (Cel/L)

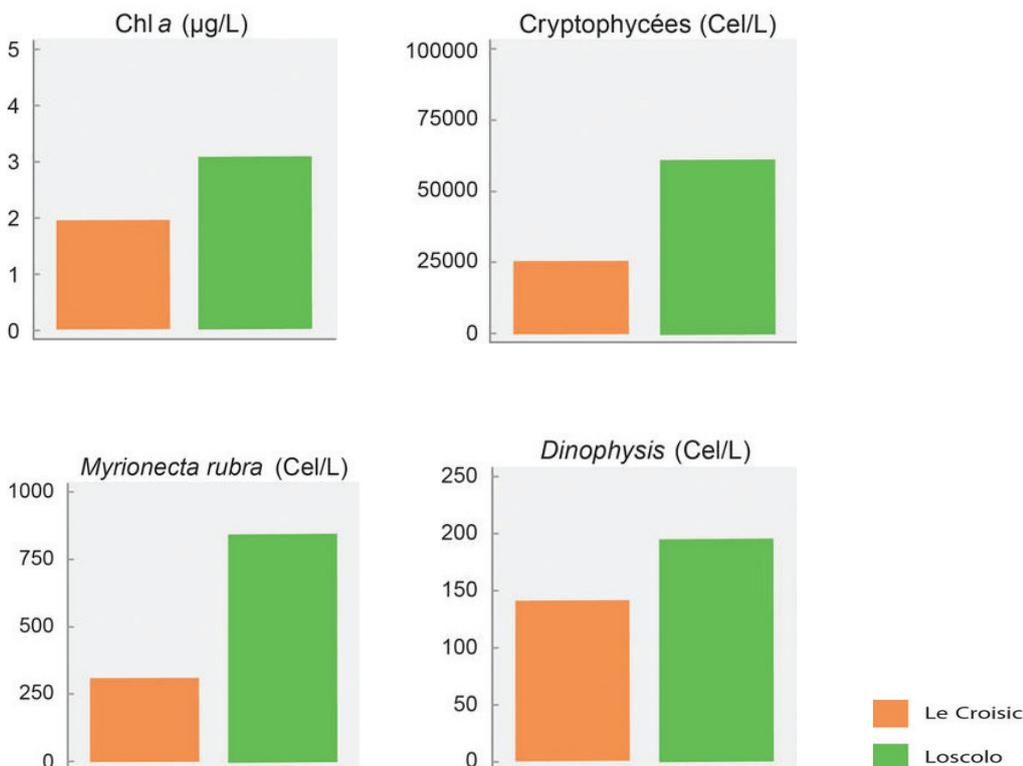


Évolution hebdomadaire des densités cellulaires des 3 partenaires de la chaîne trophique *Dinophysis* à la station Ouest-Looscolo en 2011.

La baie de Vilaine : un lieu privilégié pour le développement de *Dinophysis* ?

L'observation de la chaîne trophique *Dinophysis* aux stations Le Croisic et Ouest-Looscolo, en 2011, a aussi montré que les trois partenaires étaient en moyenne plus abondants dans la baie de Vilaine que dans le secteur du Croisic, à l'image des concentrations de chlorophylle a qui nous rappellent que la baie de Vilaine est un secteur favorable à la production phytoplanctonique.

L'étude des séries historiques du REPHY depuis 1987, a confirmé ce résultat qui soutient l'hypothèse que *Dinophysis* et sa chaîne trophique se développeraient dans la baie de Vilaine elle-même. Les études menées par Lassus et son équipe avant le début du REPHY suggéraient déjà à l'époque que si la zone de prolifération du phytoplancton située au large de l'estuaire est productrice de *Dinophysis*, la baie de Vilaine est aussi un lieu de développement de l'algue toxique.



Comparaison aux stations Le Croisic et Ouest-Looscolo des moyennes obtenues en 2011 pour les biomasses phytoplanctoniques (chlorophylle a) et pour les abondances des constituants de la chaîne trophique *Dinophysis* (cryptophycées/*Myrionecta*/*Dinophysis*).

L'hypothèse d'une dépendance de *Dinophysis* vis-à-vis des apports fluviaux de nutriments

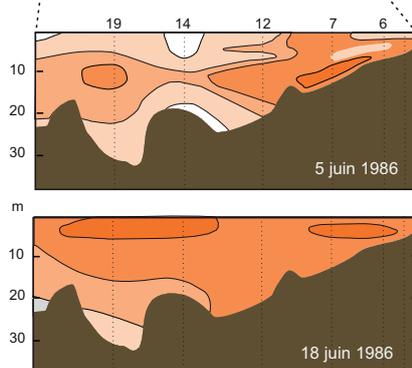
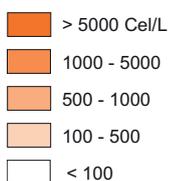
Considérer la chaîne trophique *Dinophysis* comme principale voie de développement de l'algue toxique dans les eaux littorales des Pays de la Loire nous a conduits à élaborer des hypothèses pour expliquer les variations interannuelles des développements de *Dinophysis*.

Le fait que *Dinophysis* ait besoin de chloroplastes pour ensuite assurer la photosynthèse suppose que, dans le milieu naturel, ce dinoflagellé dépend doublement des apports en nutriments qui garantiraient :

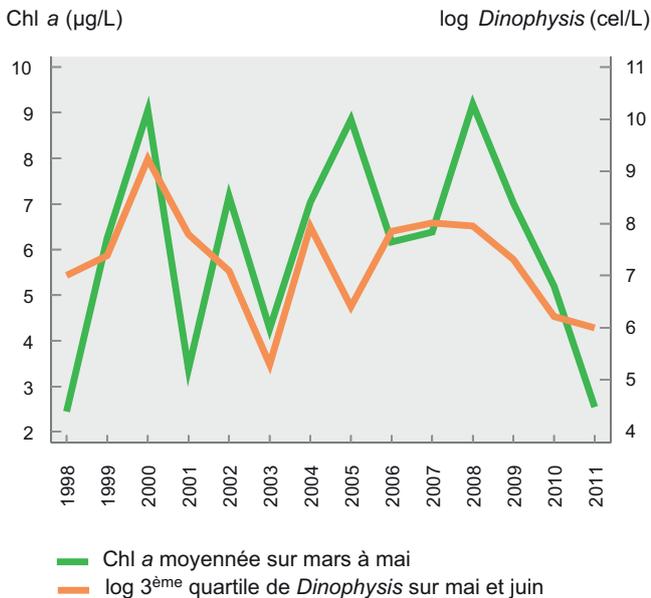
- la croissance de ses partenaires (cryptophycées et *Myrionecta*) ;
- sa propre croissance ;
- *Dinophag* a donc testé l'hypothèse que le développement printanier de *Dinophysis* reposerait à la fois sur la disponibilité de proies (représentées par la chlorophylle *a*) et sur les apports de nutriments (représentés par les débits fluviaux).



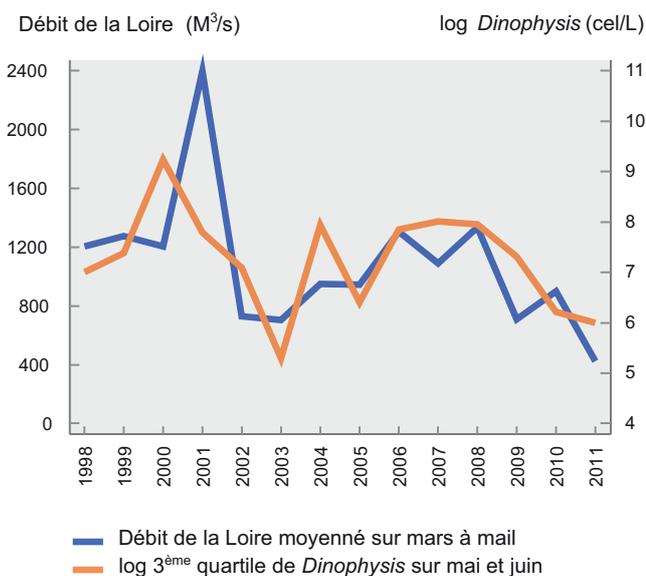
Concentration en *Dinophysis*



Représentation schématique en coupe transversale des concentrations cellulaires de *Dinophysis* les 5 et 18 juin 1986 (Lassus et al.1988).



Comparaison de l'évolution interannuelle (1998–2011) de *Dinophysis* avec celle des concentrations moyennes de chlorophylle *a* (Chl *a*) à la station Ouest-Loscolo. Le passage au logarithme (log) permet de « normaliser » les données. Le troisième quartile est une expression de la valeur maximum d'une série après avoir retiré les valeurs extrêmes.



Comparaison de l'évolution interannuelle (1998–2011) de *Dinophysis* avec celle du débit moyen de la Loire. Le passage au logarithme (log) permet de « normaliser » les données. Le troisième quartile est une expression de la valeur maximum d'une série après avoir retiré les valeurs extrêmes.

L'évolution interannuelle de *Dinophysis* à la fin du printemps (mai-juin) semble présenter des indices de covariance avec celle de la chlorophylle *a* moyennée sur la période mars à mai. Ce schéma pourrait traduire le besoin pour *Dinophysis* de se pourvoir en chloroplastes dans la communauté phytoplanctonique printanière avant de se développer.

L'abondance de *Dinophysis* semble aussi covarier avec le débit de la Loire moyenné sur la période mars à mai. Ce schéma suggère une dépendance de *Dinophysis* vis-à-vis des apports de nutriments et donc un mode de développement fondé sur la photosynthèse.

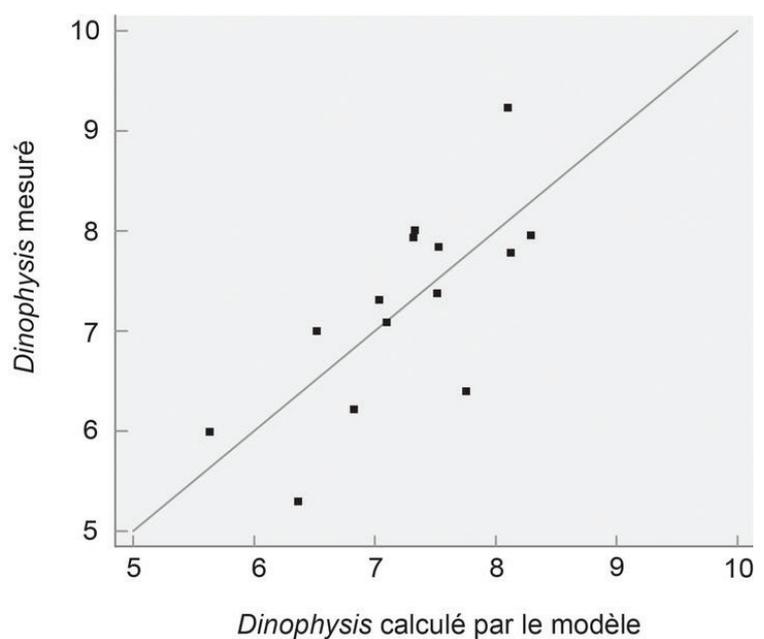
Les deux facteurs, chlorophylle *a* (Chl *a*) et débit de la Loire, ont été testés ensemble comme facteurs expliquant la variation interannuelle de *Dinophysis* au printemps de 1998 à 2011 à la station Ouest-Loscolo. Le modèle explique la variation interannuelle de *Dinophysis* de la station Ouest-Loscolo à 53% par les deux facteurs « Chl *a* » et « débit de la Loire ». Un modèle similaire a été obtenu à la station Le Croisic. De plus, les modèles donnent des résultats analogues en remplaçant le débit de la Loire par celui de la Vilaine. Ces modèles très simples tendent à valider dans les eaux littorales Nord-Loire le mode de développement de *Dinophysis* basé sur la chaîne trophique cryptophycées/*Myrionecta*/*Dinophysis*. Leurs résultats pourraient être confirmés avec un modèle plus élaboré comme PREVIMER qui prend notamment en compte la circulation des masses d'eau et les paramètres météorologiques.

Jusqu'à ces dernières années, *Dinophysis* avait gardé tout son mystère concernant son mode de développement et l'origine de ses proliférations. Depuis la mise à jour de la chaîne trophique qui permet sa culture en laboratoire, des pistes se sont ouvertes pour rechercher les conditions environnementales qui favoriseraient sa présence dans les eaux littorales des Pays de la Loire.

Nous avons effectivement retrouvé les partenaires de la chaîne trophique cryptophycées/*Myrionecta*/*Dinophysis* avec des distributions spatiales et temporelles qui suggèrent que :

- *Dinophysis* est plus abondant dans la zone la plus eutrophisée (baie de Vilaine) ;
- *Dinophysis* est d'autant plus abondant que les apports fluviaux et la biomasse phytoplanctonique sont élevés.

Les solutions pour limiter le développement de *Dinophysis* seraient alors du même type que celles préconisées pour lutter contre l'eutrophisation : une réduction des apports de nutriments.



Comparaison entre les abondances printanières de *Dinophysis* (après transformation logarithmique) mesurées à Ouest-Looscolo par le REPHY de 1998 à 2011 et les valeurs théoriques calculées à partir de la chlorophylle *a* et des débits de la Loire.



Auteurs :

Ifremer

Conception, coordination, textes :

Philippe Souchu

Contributions : Hélène Oger-Jeanneret, Patrick Lassus,

Véronique Séchet

Conception multimédia : Alain Le Magueresse

Université de Nantes – LEMNA

Contribution : Véronique Le Bihan

Des mondes singuliers

Conception : Stéphane Langlois

Création graphique : Laurence Henneon

Illustrations : Alexandra Delier

Intégration : Lucie Jugel  

Crédits photos :

Olivier Barbaroux, p. 15

Michèle Bardouil, p. 13

Patrick Lassus, p. 15, p. 16, p. 18

Alain Le Magueresse, couverture, p. 3, p. 17

Yves Le Medec p. 9, p. 19, p. 21

Elisabeth Nézan p. 9, p. 18

Radka Novakova p. 12

Gregory Rocher p. 9

Véronique Séchet p. 16

André Vaquer p. 10

Ce document résume les conclusions du programme de recherche Dinophag réalisé par l'Ifremer avec l'aide de la Région Pays de la Loire de janvier 2011 à décembre 2012. Il est destiné à tous ceux qui se sont interrogés sur la place que tient la microalgue toxique *Dinophysis* dans l'économie littorale de notre Région. Les lecteurs y découvriront aussi que *Dinophysis* n'est pas vraiment une microalgue comme les autres et qu'il reste encore pour les chercheurs de nombreuses interrogations sur le déterminisme de son développement et de sa toxicité.

Retrouvez ce dossier sur le site
envlit.ifremer.fr/documents/dossiers

