

Analyse de la présence d'algues toxiques et de phycotoxines dans l'événement de mortalité de la baleine noire de l'Atlantique Nord, 2017

Michael Scarratt, Sonia Michaud, Michel Starr, Jean-Yves Couture, et Marjolaine Blais

Direction des sciences
Institut Maurice-Lamontagne
Boîte postale 1000
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2017

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3128



Fisheries and Oceans
Canada

Pêches et Océans
Canada

Canada

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont résumés dans la base de données Résumés des sciences aquatiques et halieutiques.

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de Manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme Manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de Rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de Rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which deals with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426 - 1550 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3128

2017

Analyse de la présence d'algues toxiques et de phycotoxines dans l'événement de mortalité
de la baleine noire de l'Atlantique Nord, 2017

par

Michael Scarratt, Sonia Michaud, Michel Starr, Jean-Yves Couture, et Marjolaine Blais¹

¹Direction des sciences
Institut Maurice-Lamontagne
Boîte postale 1000
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

© Sa majesté la Reine du Chef du Canada, 2017.
N^o de cat. Fs97-4/3128F-PDF ISBN 978-0-660-23538-7 ISSN 1488-5468

La présente documentation doit être citée comme suit :

Scarratt, M., Michaud, S., Starr, M., Couture, J.-Y., et Blais, M. 2017. Analyse de la présence d'algues toxiques et de phycotoxines dans l'événement de mortalité de la baleine noire de l'Atlantique Nord, 2017. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1328 : iii + 9 p.

Résumé

Scarratt, M., Michaud, S., Starr, M., Couture, J.-Y., et Blais, M. 2017. Analyse de la présence d'algues toxiques et de phycotoxines dans l'événement de mortalité de la baleine noire de l'Atlantique Nord, 2017. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1328 : iii + 9 p.

Suite au signalement de plusieurs carcasses de baleine noire de l'Atlantique Nord dans le golfe du Saint-Laurent au début de l'été 2017, des échantillons de plancton issus du secteur touché ont été analysés afin de déceler la présence d'espèces toxiques connues ainsi que celles de saxitoxine et de ses dérivés (intoxication paralysante par les mollusques – IPM). Des cellules de phytoplancton d'*Alexandrium tamarense* et *A. ostenfeldii* (producteurs d'IPM), de *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* et *Prorocentrum minimum* (producteurs de toxines diarrhétiques) et de *Pseudo-nitzschia seriata* (producteur de phycotoxine amnestique) étaient présentes, mais seulement en faible abondance à certaines stations et sans indice de prolifération majeure. Les échantillons de zooplancton analysés ne contenaient pas de toxines IPM, à l'exception de concentrations traces retrouvées à huit des 32 stations. Ces résultats, combinés à l'absence de mortalité chez d'autres espèces marines, suggèrent qu'il est peu probable que les phycotoxines aient été la cause de cet événement.

Abstract

Scarratt, M., Michaud, S., Starr, M., Couture, J.-Y., and Blais, M. 2017. Toxic Algae and Phycotoxin Testing during the North Atlantic Right Whale Mortality Event, 2017. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1328 : iii + 9 p.

Following reports of several carcasses of North Atlantic Right Whale in the Gulf of St. Lawrence in early summer 2017, plankton samples from the affected area were tested for the presence of known toxic species and of *saxitoxin* and its derivatives (paralytic shellfish poisoning - PSP). Phytoplankton cells of *Alexandrium tamarense* and *A. ostenfeldii* (PSP producers), of *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica*, and *Prorocentrum minimum* (Diarrhetic shellfish toxins producers), and *Pseudo-nitzschia seriata* (Amnesic shellfish toxin producer), were present but only in low abundances at some stations and with no evidence of a major bloom. Zooplankton samples tested negative for PSP toxins, except for trace concentrations at 8 stations out of 32. These results, coupled with the absence of mortalities of other marine species, suggest phycotoxins are unlikely to have been a cause of this event.

Contexte

Il a été démontré que la présence de phycotoxines dans le réseau trophique marin, lesquelles sont produites par diverses espèces de phytoplancton toxiques, est une cause de mortalité des cétacés et d'autres mammifères marins (Flewelling *et al.* 2005; Lefebvre *et al.* 2010; Starr *et al.* 2017). L'exposition sous-létale aux phycotoxines peut également contribuer à la mort accidentelle des mammifères marins en modifiant leur comportement et leur mobilité, les rendant ainsi plus vulnérables à l'empêchement dans des engins de pêche ou à la collision avec des navires, ce qui peut avoir une incidence sur leur reproduction. Les phycotoxines pénètrent dans le réseau trophique des cétacés par l'intermédiaire de vecteurs tels que le copépode *Calanus finmarchicus* (Leandro *et al.* 2010). La baleine noire de l'Atlantique Nord *Eubalaena glacialis* du golfe du Maine est vulnérable à l'intoxication sous-létale chronique par phycotoxine paralysante (IPM) par l'intermédiaire de ses proies copépodes (Durbin *et al.* 2002). La baleine noire du sud *Eubalaena australis* en Argentine est exposée à la puissante phycotoxine acide domoïque qui est responsable de l'intoxication amnésique par les mollusques (IAM) lorsqu'elle s'alimente dans son aire de mise bas (D'Agostino *et al.* 2017). Un nombre inhabituel de signalements de baleines noires de l'Atlantique Nord retrouvées mortes dans le golfe du Saint-Laurent en juin et juillet 2017 a généré le déploiement d'efforts par le MPO et ses partenaires afin de récupérer les carcasses, d'en prélever des échantillons, et de déterminer les causes de l'événement. Les résultats de ces enquêtes ont été publiés par Daoust *et al.* (2017). Dès le départ, les premières questions soulevées visaient à savoir si ces mortalités pouvaient être liées à la prolifération d'espèces de phytoplancton toxique présentes dans la région, lesquelles auraient ainsi contribué à la mortalité de mammifères marins par le passé (Starr *et al.* 2017). Pour vérifier cette possibilité, nous avons rassemblé des échantillons provenant de différentes sources afin de déterminer si les phycotoxines pouvaient avoir joué un rôle dans cet événement de mortalité. Le présent rapport porte sur les résultats de l'échantillonnage de phytoplancton et de zooplancton dans la zone où les carcasses de baleines ont été trouvées.

Méthodes

Collecte d'échantillons :

En supplément aux analyses de toxines effectuées sur les carcasses de baleine noire de l'Atlantique Nord entreprise par la région du Golfe du MPO (Daoust *et al.* 2017), nous avons vérifié la présence de toxines dans la nourriture potentielle de ces mammifères marins. Des échantillons de phytoplancton et de zooplancton, issus de la zone où les carcasses ont été trouvées, ont été obtenus grâce à deux sources (Figure 1).

1. Échantillons de **phytoplancton** provenant du Programme de monitoring des algues nuisibles (PMAN) de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML). Ce programme permet la récolte hebdomadaire d'échantillons pendant presque toute la saison libre de glace depuis plusieurs stations côtières situées autour de la péninsule gaspésienne et de la Côte-Nord du Québec. Parmi ces stations, nous avons testé des échantillons de Mont-Louis, Gaspé, Gascons et Sept-Îles (Figure 1, points noirs).
2. Échantillons de **phytoplancton** et de **zooplancton** provenant de la mission de relevé annuelle du maquereau du Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA). L'équipe scientifique à bord du navire de recherche de la Garde côtière canadienne

Teleost est passée par la région du Plateau madelinien entre le début et le milieu de juin, soit environ au moment des premiers signalements de mortalité. Lors du relevé, des échantillons de phytoplancton ont été recueillis aux stations régulières du PMZA (Figure 1, points rouges, le nom des radiales est indiqué), dont la station-bouée de la vallée de Shediac à deux reprises. Des échantillons de zooplancton ont également été prélevés à 32 stations de la grille du relevé de maquereau (Figure 1, étoiles bleues), qui comprend essentiellement la zone à l'ouest des îles de la Madeleine et au nord de l'Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.-É.), incluant Gaspé et la baie des Chaleurs.

Traitement des échantillons :

Phytoplancton

Les échantillons de phytoplancton ont été analysés par microscopie optique afin de détecter la présence d'espèces toxiques connues. Les algues toxiques suivantes ont été dénombrées et identifiées avec certitude jusqu'à l'espèce

- Des cellules d'*Alexandrium tamarense* et d'*Alexandrium ostenfeldii*, responsables d'intoxication par phycotoxine paralysante (IPM), ont été trouvées.
- Des cellules de *Pseudo-nitzschia seriata*, responsables d'intoxication amnésique par les mollusques (IAM), ont été trouvées.
- Des cellules de *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* et *Prorocentrum minimum*, responsables d'intoxication diarrhéique par les mollusques (IDM), ont été trouvées.

Zooplancton

Nous avons recherché la présence de saxitoxine et de ses dérivés, une famille de neurotoxines puissantes responsable de l'IPM, dans les échantillons de zooplancton. Le dosage des toxines a été réalisé par la méthode immunoenzymatique (enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA; Abraxis Inc.). Cette méthode s'est révélée très sensible, fiable et rapide dans des situations semblables (Starr *et al.* 2017).

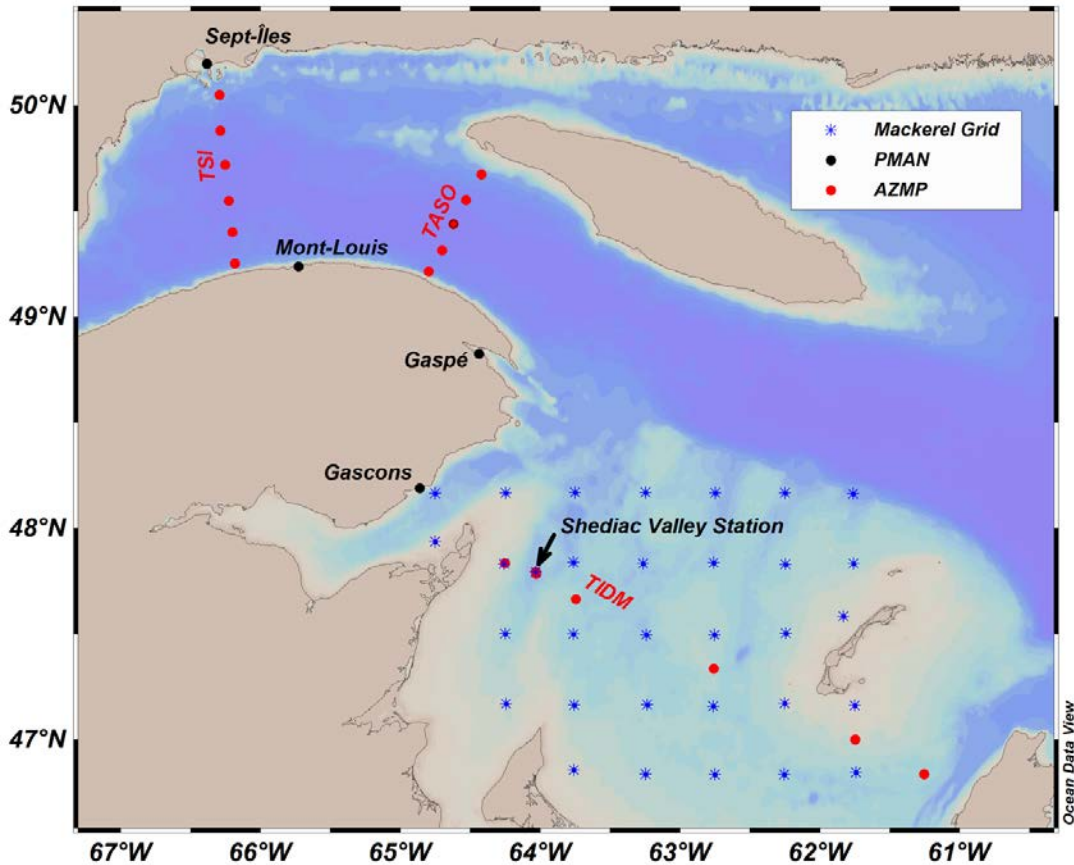


Figure. 1: Carte des stations d'échantillonnage

Résultats et discussion :

Échantillons de phytoplancton :

Les résultats d'identification et de dénombrement des cellules de phytoplancton dans les échantillons récoltés de fin mai à début juillet ont révélé la présence de cellules d'algues toxiques dont l'abondance était toutefois relativement faible, sans signe qu'une prolifération notable soit en cours ou en déclin (Tableau 1).

Les producteurs de toxines paralysantes *Alexandrium tamarense* et *A. ostenfeldii* ont été trouvés en concentrations relativement faibles à la plupart des stations et radiales étudiées. *A. tamarense* est l'organisme responsable de l'événement de toxicité majeur qui s'est produit en 2008 dans l'estuaire du Saint-Laurent (Starr *et al.* 2017). Au cours de l'événement de 2008, une mortalité massive de plusieurs espèces de la faune marine, notamment de cétacés, a été observée. Cette mortalité massive coïncidait avec un pic d'abondance d'*A. tamarense* s'élevant à 80 000 cellules par litre en août 2008. En 2017, de la fin mai à début juillet, l'abondance des cellules d'*A. tamarense* a varié entre 20 et 1 120 cellules par litre (Tableau 1A). À la station côtière de Sept-Îles, l'abondance a augmenté lentement, passant de 100 cellules par litre à la fin du mois de mai à 1 120 cellules par litre à la fin du mois de juin. À la station côtière de Gascons, l'abondance se situait entre 160 et 940 cellules par litre, le maximum ayant été atteint au cours de la première semaine du mois de juin. Il est bien connu que la souche *A. tamarense* du fleuve Saint-Laurent est un très puissant producteur de toxines paralysantes. Il a été démontré que 1 000 cellules par litre d'*A.*

tamarense suffisent pour intoxiquer les tissus des moules jusqu'au seuil nécessitant la fermeture des zones de cueillette de mollusques (Blasco et al. 2003). Dans nos échantillons, ce seuil de 1 000 cellules par litre d'*A. tamarense* n'a été atteint qu'une fois à la fin du mois de juin à Sept-Îles. Bien que ce niveau soit susceptible de provoquer l'intoxication des mollusques, aucune autre station échantillonnée n'a enregistré une telle abondance, ce qui suggère l'absence de prolifération de cette algue sur une grande étendue spatiale. L'autre producteur de toxines paralysantes, *A. ostensfeldii*, était également présent en abondance relativement faible. Les concentrations cellulaires d'*A. ostensfeldii* ont varié de 20 à 660 cellules par litre, la valeur maximale ayant été enregistrée à la station côtière de Sept-Îles le 7 juin (Tableau 1b). À notre connaissance, *A. ostensfeldii* n'a jamais contribué à un événement de toxicité de type IPM dans le golfe et dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Les espèces produisant des toxines responsables de l'intoxication diarrhéique par les mollusques *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* et *Prorocentrum minimum* étaient présentes dans les échantillons. À noter qu'en dépit du fait que ces espèces soient connues pour être toxiques, le syndrome clinique observé chez les humains n'est pas mortel et, à notre connaissance, les toxines n'ont jamais été associées à la maladie ou à la mortalité de cétacés. Les abondances de *D. acuminata*, *D. norvegica* et de *P. minimum* ont atteint un maximum de 3 420, 6 500, et 4 480 cellules par litre respectivement de la mi-juin au début de juillet (Tableau 1c, d, e).

L'acide domoïque est la phycotoxine responsable de l'intoxication amnésique par les mollusques (IAM). Dans la zone d'étude, le producteur d'acide domoïque est la diatomée *Pseudo-nitzschia seriata*. Dans les échantillons de 2017, des cellules de *P. seriata* étaient présentes de temps à autre à la station de Sept-Îles, à une concentration maximale de 1 400 cellules par litre. Des traces de *P. seriata* ont également été trouvées aux stations de Mont-Louis et Gascons (80 cellules par litre). La plus grande abondance de *P. seriata* a été mesurée sur la radiale des îles de la Madeleine (TIDM) à un taux de 1 680 cellules par litre à la mi-juin 2017 (Tableau 1f).

Tableau 1 : Abondance d'espèces de phytoplancton toxiques (cellules par litre) en 2017

a) <i>Alexandrium tamarense</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
15/05	100						
1, 2/06	180			160	20		60
7/06	340		20	940			
12/06	360		540	160			
16, 19/06	840	220*	40	840			940
30/06	1120	920*		640			

*kyste temporaire

b) <i>Alexandrium ostenfeldii</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
24/05				40			
1, 2/06	60				20	20	40
7/06	660			400			
12/06	200		160	60			
19/06	240						
26/06	40	120		20			

c) <i>Dinophysis acuminata</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
15, 24/05	80			60			
1, 2/06	140			240	20	40	200
6, 7/06	360		20	1020			
12/06	480		1300	520			
16, 19, 20/06	340	2000	1540	560			240
26, 29, 30/06	120	680	3420	1340			
4/07			260	100			

d) <i>Dinophysis norvegica</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
15, 24/05	20			20			
1, 2, 3/06	100			20	60		200
6, 7/06				220			
12/06	140		140	60			
16, 19, 20/06	200	80	20	40			120
26, 29, 30/06			280	140			
4/07			100	6500			

e) <i>Prorocentrum minimum</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
15, 24/05	20			60			
1, 2, 3/06	20	40		180	40	60	960
6, 7/06	460	320	20	140			
12/06	280	200	880	300			
16, 19, 20/06	100		4480	580			260
26, 29, 30/06	420		540	560			
4/07			20	2240			

f) <i>Pseudo-nitzschia seriata</i>							
jour/mois	Sept-Îles	Mont-Louis	Gaspé	Gascons	TSI	TASO	TIDM
15, 24/05							
1, 2, 3/06							600
6, 7/06							
12/06				80			
16, 19, 20/06	160	80					1680
26, 29, 30/06	1400	80					
4/07							

Échantillons de zooplancton :

Les échantillons de zooplancton recueillis au cours du relevé saisonnier dans le Saint-Laurent ont été dosés par la méthode immunoenzymatique (ELISA, Abraxis, inc.) pour déceler la présence de toxines paralysantes (saxitoxine et ses dérivés). Les résultats montrent des concentrations de toxines paralysantes dans le zooplancton passant de non détectables à négligeables. Cependant, nos résultats suggèrent que les échantillons de zooplancton auraient tous obtenu un résultat négatif pour ce qui est des toxines paralysantes si les conditions de dilution recommandées par le fabricant de la trousse de dosage immunoenzymatique (1/1 000) avaient été appliquées. En effet, les essais ont en fait été effectués à un rapport de dilution de 1/250 et seulement 8 des 32 stations ont obtenu un résultat faiblement positif, soit à la limite de détection ou juste au-dessus, le résultat le plus élevé étant seulement de 2,8 µg/100 g. À un rapport de dilution de 1/250, la limite de détection du dosage était de 0,92 µg/100 g. La limite réglementaire pour la consommation humaine de produits de la mer étant de 80 µg/100 g, il s'agit donc de niveaux très faibles. Certains de ces échantillons ont été analysés à un rapport de dilution intermédiaire de 1/500 et se sont révélés négatifs, comme prévu.

La dose orale létale de saxitoxine chez les humains (DL50) est d'environ 5,7 µg STX/kg de poids corporel (Meyer 1953). Sachant qu'une baleine de 40 000 kg consomme jusqu'à 4 % de son poids corporel en zooplancton chaque jour (Durbin *et al.* 2002) et supposant que ce zooplancton contienne la valeur maximale observée ici de 2,8 µg STX par 100 g, nous estimons que la dose orale létale de cet individu serait d'environ 1,1 µg STX par kilogramme de poids corporel. Cela représente moins d'un cinquième de la dose létale pour l'homme. En supposant que la dose létale chez les baleines soit équivalente à celle observée chez l'humain, ce calcul simple montre qu'il est peu probable que les concentrations de phycotoxines observées dans le zooplancton aient été mortelles chez les baleines.

Une comparaison avec des résultats similaires nous indique que les concentrations observées dans le cas de la présente étude sont largement inférieures aux niveaux observés dans le zooplancton et dans les matières fécales de baleines vivant dans la baie de Fundy (Turner *et al.* 2000; Doucette *et al.* 2005, 2006), suggérant que ces animaux peuvent tolérer des niveaux largement supérieurs à ceux observés ici.

Il faut également noter que cet événement de mortalité n'a semblé toucher que les baleines noires. Or, si la cause de mortalité de ces cétacés était liée à une prolifération toxique importante, des carcasses d'autres espèces du réseau trophique marin, y compris d'autres mammifères, auraient dû être retrouvées, tel qu'observé précédemment (Starr *et al.* 2017). Il est peu probable qu'un événement de phycotoxines touche exclusivement une seule espèce de prédateur.

Conclusions :

Nous avons analysé des échantillons de phytoplancton et de zooplancton provenant de la zone touchée par l'événement de mortalité afin de vérifier si des phycotoxines pouvaient avoir été présentes dans la nourriture des baleines noires trouvées mortes après avoir migré dans le golfe du Saint-Laurent. Des cellules de phytoplancton d'*Alexandrium tamarense* et d'*A. ostenfeldii* (IPM), de *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* et *Prorocentrum minimum* (toxines diarrhéiques) et de *Pseudo-nitzschia seriata* (toxines amnestiques) étaient toutes présentes, mais à certaines stations seulement et en abondance relativement faible. Les concentrations de toxines paralysantes dans les échantillons de zooplancton analysés

variaient de non-délectable à négligeable. Ces résultats suggèrent que l'intoxication des baleines par le plancton n'était pas la cause de cet évènement de mortalité massive. Ces résultats concordent avec les résultats obtenus par l'Agence canadienne d'inspection des aliments qui n'a trouvé aucune phycotoxine lors de la nécropsie des tissus de carcasses de baleines noires (Daoust *et al.* 2017).

Bien que les données présentées ici permettent d'éliminer la possibilité d'une mortalité causée par une intoxication aiguë, nous reconnaissons qu'il est possible que les baleines se soient intoxiquées au cours de leur migration vers le golfe du Saint-Laurent. Dans ce contexte, il est important de noter que la côte est des États-Unis a connu d'importantes proliférations du genre *Pseudo-nitzschia* à la fin de l'année 2016. La division du Marine Fisheries du Commonwealth du Massachusetts a alors affiché des « [renseignements concernant les fermetures de secteurs coquilliers au Massachusetts en raison de l'intoxication amnésique par les mollusques](#) » et le Providence Journal a signalé que « les [mystérieuses algues toxiques qui avaient entraîné la fermeture de la pêche des mollusques de RI l'automne d'avant étaient de retour](#) ». D'importantes proliférations du genre *Alexandrium* étaient également présentes dans le golfe du Maine au cours du printemps et de l'été 2017. Ainsi, le Portland Press Herald a alors signalé que la « [marée rouge obligeait l'état à fermer de nombreuses zones de cueillettes de bancs de palourdes](#) ».

Remerciements:

Nous remercions Martin Castonguay (IML) et Dominique Robert (ISMER) de nous avoir fourni les échantillons de zooplancton congelés aux fins d'analyse.

Références:

- Blasco D, Levasseur M, Bonneau E, Gelinac R, Packard TT (2003) Patterns of paralytic shellfish toxicity in the St. Lawrence region in relationship with the abundance and distribution of *Alexandrium tamarense*. *Sci Mar* 67:261-278
- D'Agostino VC, Degradi M, Sastre V, Santinelli N, Krock B, Krohn T, Dans SL, Hoffmeyer MS (2017) Domoic acid in a marine pelagic food web: Exposure of southern right whales *Eubalaena australis* to domoic acid on the Península Valdés calving ground, Argentina. *Harmful Algae* 68:248-257
- Daoust, P.-Y., Couture, E.L., Wimmer, T., and Bourque, L. 2017. Incident Report: North Atlantic Right Whale Mortality Event in the Gulf of St. Lawrence, 2017. Collaborative Report Produced by: Canadian Wildlife Health Cooperative, Marine Animal Response Society, and Fisheries and Oceans Canada. 224 pp.
- Doucette GJ, Cembella AD, Martin JL, Michaud J, Cole TVN, Rolland RM (2006) Paralytic shellfish poisoning (PSP) toxins in North Atlantic right whales *Eubalaena glacialis* and their zooplankton prey in the Bay of Fundy, Canada. *Mar Ecol Prog Ser* 306:303-313
- Doucette GJ, Turner JT, Powell CL, Keafer BA, Anderson DM (2005) Trophic accumulation of PSP toxins in zooplankton during *Alexandrium fundyense* blooms in Casco Bay, Gulf of Maine, April–June 1998. I. Toxin levels in *A. fundyense* and zooplankton size fractions. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanogr* 52:2764-2783
- Flewelling LJ, Naar JP, Abbott JP, Baden DG, Barros NB, Bossart GD, Bottein M-YD, Hammond DG, Haubold EM, Heil CA, Henry MS, Jacocks HM, Leighfield TA, Pierce R, Pitchford TD, Rommel SA, Scott PS, Steidinger KA, W.Truby E, Dolah FMV, Landsberg JH (2005) Red tides and marine mammal mortalities. *Nature* 435:755-756
- Lefebvre KA, Robertson A, Frame ER, Colegrove KM, Nance S, Baugh KA, Wiedenhoft H, Gulland FMD (2010) Clinical signs and histopathology associated with domoic acid poisoning in northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and comparison of toxin detection methods. *Harmful Algae* 9:374–383
- Leandro LF, Teegarden GJ, Roth PB, Wang Z, Doucette GJ (2010) The copepod *Calanus finmarchicus*: A potential vector for trophic transfer of the marine algal biotoxin, domoic acid. *J Exp Mar Biol Ecol* 382:88–95
- Meyer, KF. (1953) Food poisoning. *New Engl J Med* 248:843-852.
- Starr M, Lair S, Michaud S, Scarratt M, Quilliam M, Lefaivre D, Robert M, Wotherspoon A, Michaud R, Ménard N, Sauvé G, Lessard S, Béland P, Measures L (2017) Multispecies mass mortality of marine fauna linked to a toxic dinoflagellate bloom. *PLoS One* 12:e0176299.
- Turner JT, Doucette GJ, Powell CL, Kulis DM, Keafer BA, Anderson DM (2000) Accumulation of red tide toxins in larger size fractions of zooplankton assemblages from Massachusetts Bay, USA. *Mar Ecol Prog Ser* 203:95-107