



VALIDATION DE L'OXYGÈNE DISSOUS (OD) COMME MESURE DE LA QUALITÉ DU MILIEU MARIN (QMM) DE L'ÉTAT DE CHARGE EN NUTRIMENTS DES ESTUAIRES

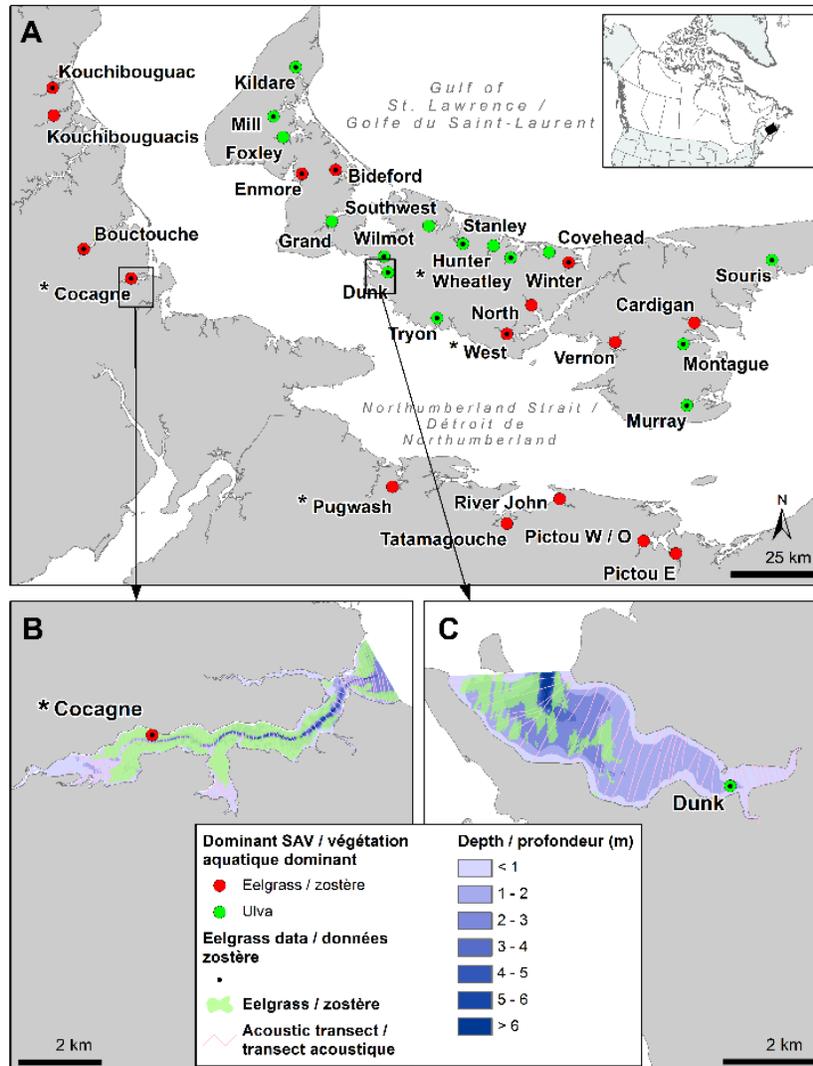


Figure 1. Zone d'étude dans le contexte de l'est de l'Amérique du Nord. A) Estuaires ayant fait l'objet de l'étude dans le sud du golfe du Saint-Laurent; les estuaires dominés par *Ulva* spp. sont indiqués par des cercles verts, et les estuaires dominés par *Z. marina*, sont indiqués par des cercles rouges (une convention qui est maintenue tout au long du document). Les estuaires, où des données sur la zostère ont été recueillies, sont indiqués par un point noir. Les estuaires marqués d'un astérisque représentent les sites de surveillance de la qualité du milieu marin (QMM), où des données sont recueillies chaque année. Les encarts B) et C) montrent l'emplacement approximatif des sondes d'oxygène dissous et illustrent les transects acoustiques et la couverture modélisée de la zostère à deux sites représentatifs.

Contexte :

L'eutrophisation, la réponse biologique à l'enrichissement en éléments nutritifs, est un processus bien étudié qui constitue une menace pour les écosystèmes côtiers du monde entier, y compris le sud du golfe du Saint-Laurent (sGSL). Malgré la compréhension des mécanismes qui contribuent aux effets des éléments nutritifs, il n'existe pas de méthode universelle pour leur quantification ou leur surveillance. Les estuaires du sGSL sont caractérisés par de vastes herbiers de zostère qui sont déplacés par les algues en réponse à l'augmentation de la charge en éléments nutritifs. Si la zostère constitue un indicateur efficace de la santé d'un écosystème, elle est sensible au stress provenant de diverses sources potentielles. En conséquence, il peut être difficile de relier les changements dans la couverture de la zostère à un facteur de stress particulier. Il existe donc une certaine ambiguïté lorsqu'il s'agit d'établir un lien particulier entre les changements de la couverture de la zostère et les effets des éléments nutritifs. Inversement, l'oxygène dissous peut être un indicateur plus sensible des effets des éléments nutritifs, car il reflète la production primaire en assurant l'équilibre entre la production d'oxygène par la photosynthèse et la consommation d'oxygène par la respiration. Le Secteur de la gestion des écosystèmes aquatiques dans la région du Golfe de Péches et Océans Canada a demandé un avis concernant la pertinence d'utiliser l'oxygène dissous et la couverture de la zostère comme indicateurs de l'état trophique des estuaires et si ces indicateurs peuvent être utilisés pour une mesure de la qualité du milieu marin (QMM).

Le présent avis scientifique découle de la Réunion sur les avis scientifiques régional du 23 au 24 février 2021 sur la Validation de l'OD comme mesure de la QMM de l'état de charge en nutriments des estuaires. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Péches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- Le sud du golfe du Saint-Laurent est une région caractérisée par la présence de plusieurs estuaires qui sont soumis à des conditions météorologiques semblables (p. ex. le gel en hiver) et qui ont une géographie et une lithologie semblables. Les bassins hydrographiques sont relativement petits (10-100 km²), ce qui représente un faible apport en eau douce et dont les cours d'eau finissent par se jeter dans le détroit de Northumberland ou le golfe du Saint-Laurent.
- Les estuaires et les baies du sud du golfe du Saint-Laurent, comme dans de nombreux endroits du monde, sont sensibles aux effets de la présence excessive des éléments nutritifs, notamment la disparition de la zostère et l'apparition de l'hypoxie/anoxie.
- L'indicateur de surveillance proposé ici, appelé « temps d'eutrophisation », est défini comme étant le pourcentage de temps pendant lequel la zone supérieure de l'estuaire affiche < 4 mg/L d'oxygène dissous (hypoxie/anoxie) et >10 mg/L d'oxygène dissous (sursaturation), et constitue la dernière itération utilisant l'oxygène dissous comme paramètre d'intérêt principal.
- Le temps d'eutrophisation reflète l'état trophique relatif de la zone supérieure des estuaires et a permis de distinguer de façon efficace ceux dominés par la zostère (*Zostera marina*) et ceux dominés par les macroalgues (*Ulva* spp.). En outre, un seuil afférent au temps d'eutrophisation a été interpolé à 35 % d'après un point d'inflexion apparent dans le type d'habitat (dominé par la zostère ou par les macroalgues).
- La charge en nitrate-N et le temps de séjour de l'eau prédisaient fortement le temps d'eutrophisation ($R^2 = 0,81$), mais prédisaient moins l'hypoxie/anoxie ($R^2 = 0,63$).
- Cette relation a été exploitée dans les estuaires dominés par *Ulva* pour définir des objectifs de charge en nitrate-N permettant de se rapprocher du seuil du temps d'eutrophisation (0,35), ce qui correspond à une évolution de l'habitat vers la zostère et à une amélioration de la qualité de l'eau.

- La couverture estimée de la zostère dans l'ensemble de l'estuaire était inversement corrélée à la charge en nitrate-N (mais pas au temps de séjour de l'eau), la couverture de la zostère diminuant au fur et à mesure que la charge en nitrate-N augmentait.
- Le temps d'eutrophisation peut être utilisé pour fournir des objectifs grossiers de réduction d'azote pour les estuaires pour lesquels ce paramètre est au-dessus du seuil identifié pour apporter des bénéfices écologiques, tel que l'amélioration de la qualité de l'eau et le rétablissement et la conservation de la zostère.
- Les données à long terme étaient insuffisantes pour formuler une recommandation en vue d'un cycle de surveillance efficace. Les cycles de surveillance devraient refléter les besoins du programme de surveillance afin d'informer une prise de décision efficace et une gestion adaptative.

INTRODUCTION

Les estuaires et les baies du sud du golfe du Saint-Laurent (sGSL), comme de nombreux endroits dans le monde, sont sensibles aux effets de la présence excessive des éléments nutritifs (eutrophisation). L'augmentation de la charge en éléments nutritifs dans les systèmes côtiers peut avoir des effets négatifs, notamment la perte de biodiversité et de couverture de la zostère et, si l'anoxie se produit et qu'elle est soutenue, des épisodes de mortalité massive de la faune. Compte tenu de la gravité potentielle des effets des éléments nutritifs, il est impératif que tout programme de surveillance puisse évaluer ces effets avec précision et établir qu'il existe un lien quantitatif entre la charge en éléments nutritifs et tout indicateur de réponse.

L'établissement d'indicateurs pour évaluer la qualité de l'habitat dans les écosystèmes est essentiel si l'on veut élaborer des programmes de surveillance rentables qui puissent soutenir la prise de décisions. En conséquence, des indicateurs efficaces doivent afficher des caractéristiques qui favorisent l'adoption initiale et la persistance dans le cadre d'un effort de surveillance soutenu (Rice et Rochet 2005). Dans l'idéal, ces indicateurs devraient être pertinents sur le plan biologique et quantitativement mesurables, afin qu'on puisse disposer d'un outil de surveillance valable et utile. Plus important encore, il doit exister une relation mécaniste entre l'indicateur et le facteur de stress de l'écosystème, de sorte que les changements de l'indicateur soient le résultat de changements du facteur de stress (c'est-à-dire que l'indicateur est sensible et propre aux changements du facteur de stress). Ainsi, l'oxygène dissous se présente comme étant un indicateur fortement intéressant.

L'indicateur de surveillance présenté ici est la troisième itération utilisant l'oxygène dissous comme paramètre ultime pour mesurer les effets des éléments nutritifs. Bugden *et al.* (2014) ont effectué la première itération de la mise en relation de la surveillance de l'oxygène dissous avec la charge en azote dans le sGSL. Cependant, bien qu'ils aient supposé que la plus grande partie de l'azote pénètre dans l'estuaire depuis la terre par l'intermédiaire de l'eau douce, et que le risque de présenter des conditions de faible teneur en oxygène augmente avec le temps de séjour de l'eau, ils n'ont pas quantifié ces mesures importantes. Le partenariat pour la surveillance environnementale du détroit de Northumberland – partenariat entre des groupes autochtones, des intervenants, le milieu universitaire, des provinces (Île-du-Prince-Édouard et Nouveau-Brunswick) et le gouvernement fédéral – a amélioré la surveillance de l'oxygène dissous dans la région en vue d'élaborer un modèle plus affiné de l'oxygène dissous. Son approche a consisté à utiliser des enregistreurs chronologiques optiques de l'oxygène dissous, qui ont été déployés dans la zone supérieure (c.-à-d. là où les effets des éléments nutritifs sont généralement les plus graves, qui se trouvent à environ 10 % de la zone supérieurs de la superficie d'un estuaire donné) de 15 estuaires du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse

et de l'Île-du-Prince-Édouard. Ces données nous ont permis d'effectuer une meilleure discrimination entre des sites présentant des niveaux différents d'effets des éléments nutritifs.

Comme les effets des éléments nutritifs sont un problème persistant dans la région du sGSL et qu'une méthode de surveillance couronnée de succès a déjà été établie pour cette zone (Coffin *et al.* 2018; van den Heuvel *et al.* 2019), le Secteur de la gestion des écosystèmes aquatiques de la région du Golfe du ministère de Pêches et Océans Canada (MPO) a demandé la validation de cette méthode par une augmentation de la portée de ce programme de surveillance en ce qui concerne les années d'acquisition de données et de nombre de sites. Ainsi, l'objectif principal de ce processus du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) était de confirmer que la surveillance de l'oxygène dissous et les relevés de la couverture de la zostère, en s'appuyant sur les travaux précédents, constituent des paramètres efficaces pour évaluer l'eutrophisation.

ÉVALUATION

Objectifs

Objectif 1: L'avis principal demandé vise à définir le seuil d'oxygène dissous, ou la plage d'oxygène dissous, à inclure dans la mesure de la qualité du milieu marin (QMM) du Golfe. L'objectif est d'inclure l'oxygène dissous comme indicateur principal dans le cadre d'un programme de surveillance régional visant à évaluer l'état trophique des estuaires et le rétablissement des écosystèmes, après la mise en œuvre de mesures pour la gestion des éléments nutritifs sur terre. Plus précisément, l'avis est demandé aux fins suivantes :

1. Valider l'utilisation de l'oxygène dissous pour caractériser l'état trophique des estuaires peu profonds du détroit de Northumberland.
- Les données de haute fréquence sur l'oxygène dissous ont été analysées sous la forme d'une variable combinée des valeurs faibles et élevées de l'oxygène dissous, que nous avons appelée « temps d'eutrophisation », définie comme étant la proportion du temps pendant laquelle un estuaire affiche des concentrations d'oxygène dissous supérieures à 10 mg/L ou inférieures à 4 mg/L. Le « temps d'eutrophisation » s'est finalement révélé comme étant la meilleure variable de discrimination des estuaires, selon l'analyse multivariée (figure 2), a été suffisant pour prédire avec précision le type d'habitat (zostère ou *Ulva* spp.) (figure 3) et a été bien corrélé avec le facteur de stress d'intérêt, la charge en nitrate-N (ainsi que le temps de séjour de l'eau) (figure 4).

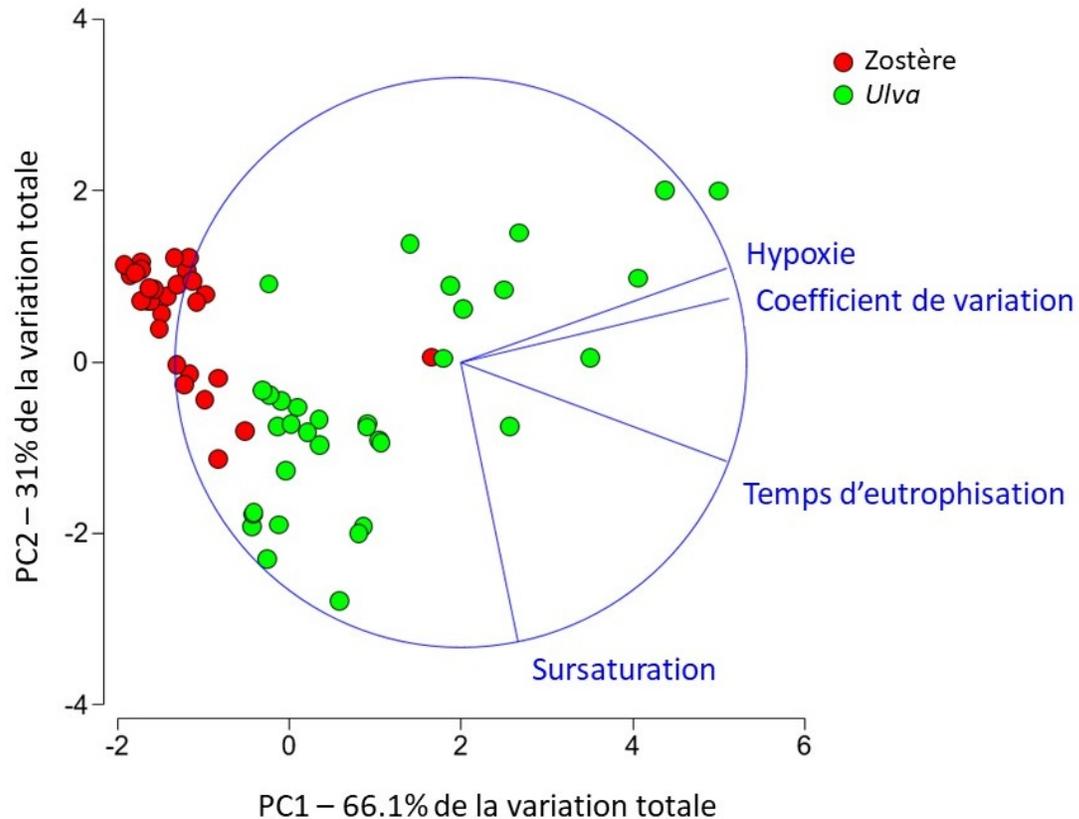


Figure 2. Analyse en composantes principales, qui utilise les corrélats d'oxygène dissous les plus forts relevés dans le document de Coffin et al. (2018). Dans l'ensemble, 97 % de la variation totale est expliquée par les deux premiers axes, soit 66,1 et 31 % respectivement. Les sites sont indiqués en fonction de la végétation dominante, les estuaires dominés par *Z. marina* étant indiqués par des cercles rouges, et les estuaires dominés par *Ulva* spp., par des cercles verts.

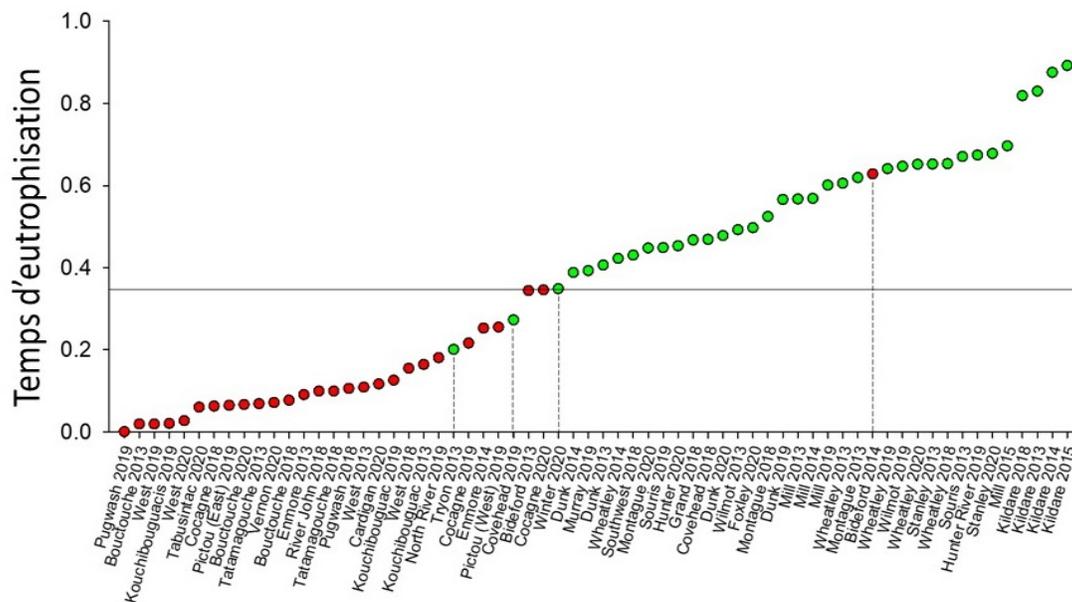


Figure 3. Temps d'eutrophisation sur chaque site et pour chaque année échantillonnée. Les sites sont présentés par ordre croissant en ce qui concerne le temps d'eutrophisation et sont colorés en fonction de la végétation dominante, les estuaires dominés par *Z. marina* étant indiqués en rouge, et les estuaires dominés par *Ulva spp.*, en vert. Le seuil de décalage de la végétation dominante (ligne horizontale) s'établit à environ 0,35. Il convient de noter les systèmes aberrants, un site de zostère (*Z marina*), Bideford (2014), regroupé avec des sites dominés par *Ulva spp.*, et des sites de zostère (*Z marina*), Tryon (2013) et Covehead (2019), regroupés avec des sites de zostère.

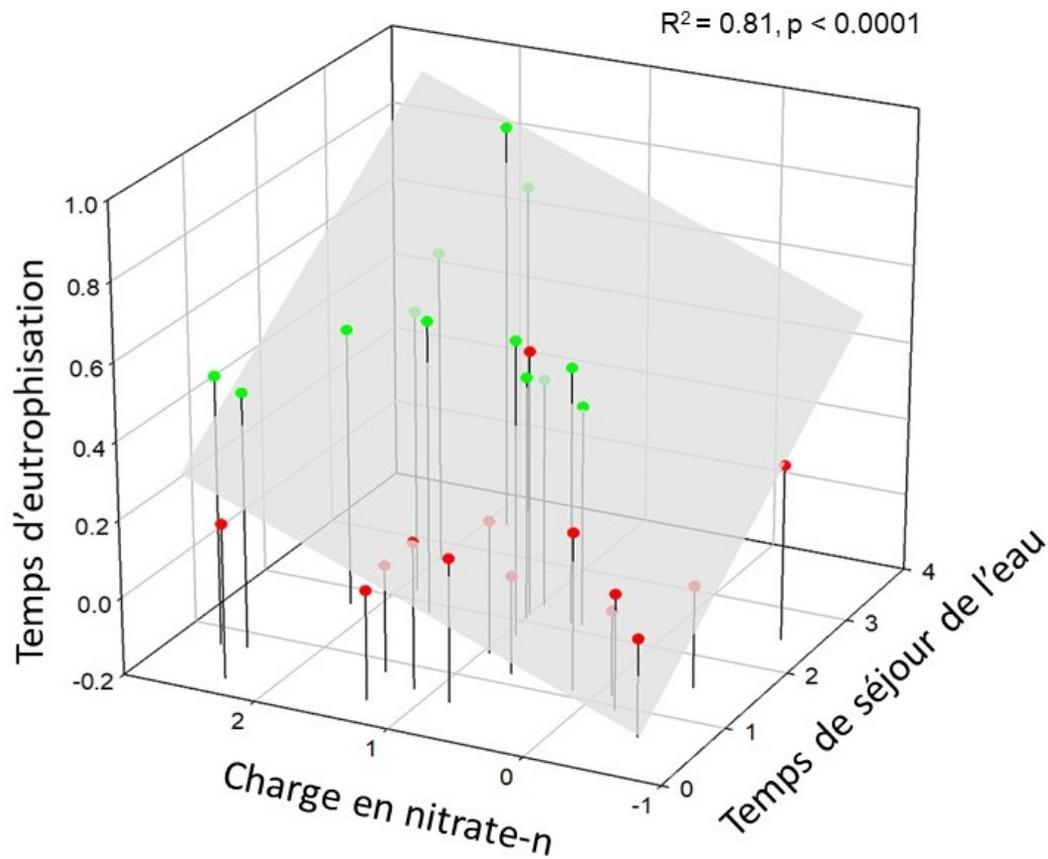


Figure 4. Représentation de la régression planaire pour l'effet du temps de séjour de l'eau et de la charge en nitrate-N (transformation logarithmique) sur le temps d'eutrophisation (proportion du temps pendant laquelle l'oxygène dissous est inférieur à 4 mg/L et supérieur à 10 mg/L). La représentation planaire est une représentation visuelle de la régression la mieux ajustée, la proportion de la variation expliquée (R^2) et le niveau de signification (p) étant notés. Les estuaires dominés par *Ulva* spp. sont indiqués par des cercles verts, et ceux dominés par *Z. marina*, par des cercles rouges. Notez que le plan de meilleur ajustement est transparent et que les points qui se trouvent au-dessus du plan sont sous-estimés par le modèle, tandis que ceux qui se trouvent en dessous du plan sont surestimés.

2. Définir les conditions dans lesquelles cet indicateur permet d'évaluer de façon efficace l'état trophique des estuaires. En d'autres termes, l'indicateur peut-il s'appliquer à d'autres régions du Canada ou est-il propre aux conditions environnementales dans les estuaires du détroit de Northumberland?
 - L'indicateur de surveillance a été mis à l'essai dans des estuaires peu profonds du sGSL présentant une production primaire benthique (*Ulva* spp. et zostère) et pélagique (phytoplancton). L'oxygène dissous mesuré représente l'équilibre entre la production d'oxygène par la photosynthèse, la consommation par la respiration (y compris la décomposition) et l'importation et l'exportation par la circulation des marées. Les réseaux

hydrographiques à l'étude variaient selon la taille des bassins versants (de 17 à 386 km²), ce qui représente une différence de plus d'un ordre de grandeur. Alors que nous pensons que la théorie qui sous-tend l'utilisation de l'oxygène dissous comme indicateur est universellement applicable à d'autres systèmes côtiers, les seuils précis d'oxygène dissous et les sources d'éléments nutritifs sont propres à chaque région.

3. Proposer un seuil de l'oxygène dissous qui pourrait être inclus dans la mesure de la QMM dans la région du Golfe. Ce seuil devrait refléter lorsque les conditions passent de conditions caractéristiques d'un habitat oligotrophe à des conditions caractéristiques d'un habitat eutrophe. L'objectif de ce seuil est de fournir une mesure de l'oxygène dissous cible vers laquelle on devrait tendre grâce à la gestion, qui pourrait théoriquement réduire le plus possible les effets négatifs de l'eutrophisation, comme la perte de zostère, la perte de biodiversité et les signatures anormales d'oxygène dissous dans les estuaires. Le seuil d'oxygène dissous peut être défini comme un intervalle plutôt qu'une valeur particulière, étant donné que de nouvelles données sont en cours d'intégration dans le modèle élaboré par Coffin *et al.* (2018).
 - Le seuil temporel « temps d'eutrophisation » établi (0,35) a permis de distinguer efficacement les sites où les habitats de la zone supérieure de l'estuaire étaient dominés par la zostère (< 0,35) et ceux où les habitats de la zone supérieure de l'estuaire étaient dominés par *Ulva* (> 0,35; figure 3). Il ressort de cette étude que la teneur en oxygène dissous est propre au site et sensible à des changements dans la charge en nitrate-N.
 - Bien que nous ayons défini ce seuil d'après des données d'observation, seules trois séries chronologiques sur 64 ont été mal caractérisées en utilisant le seuil du « temps d'eutrophisation » de 0,35 (figure 3). Ainsi, ce seuil semble être bien adapté à la prévision de la végétation aquatique submergée dominante et représente un aboutissement raisonnable vers lequel devraient tendre les mesures de gestion.
4. D'après le seuil recommandé, il convient de déterminer d'abord si une stratégie de gestion est nécessaire pour réduire la charge en nitrate-N dans l'estuaire et ensuite, estimer le degré de réduction requis si l'on veut rétablir les estuaires eutrophes.
 - Notre modèle du « temps d'eutrophisation », de la charge en nitrate-N et du temps de séjour de l'eau prédit que, en ce qui concerne les estuaires dont le « temps d'eutrophisation » dépasse le seuil de 0,35, une diminution de la charge en nitrate-N se traduirait par une amélioration de la qualité de l'eau et, finalement, par un changement de l'habitat, qui passerait d'un habitat dominé par *Ulva* spp. à un habitat de zostère (voir le tableau 1). Cependant, notre modèle ne permet pas de prévoir de façon mécaniste le rétablissement et ne représente qu'une condition de référence dans laquelle nous pourrions nous attendre à un changement de la qualité de l'eau.

L'oxygène dissous (OD) comme mesure de la qualité du milieu marin (QMM)

Région du Golfe

Tableau 1. Tableau récapitulatif des estuaires inclus dans la présente étude. La végétation dominante est désignée par les lettres Z et U pour représenter les habitats constitués de zostère (*Zostera marina*) et les habitats dominés par *Ulva* spp., respectivement. Voir les méthodes de calcul concernant le temps d'eutrophisation, le temps de séjour de l'eau et le nitrate-N (kg/ha/an). L'objectif concernant le nitrate-N est la réduction théorique de la charge en nitrate-N permettant de passer d'un habitat dominé par *Ulva* spp. à un habitat de zostère, et le pourcentage de changement de la charge en nitrate-N représente cette réduction en pourcentage. Il convient de noter que les rivières Covehead et Hunter (soulignées en gris) présentent toutes deux des temps d'eutrophisation supérieurs au seuil de 0,35, mais que le temps d'eutrophisation prédit est sous-estimé par le modèle, de sorte qu'aucun objectif en matière de nitrate-N n'est calculé.

Site	Zone de bassin versant (km ²)	Végétation dominante	Temps d'eutrophisation	Temps de séjour de l'eau	Charge en nitrate-n (kg/ha/an)	Nitrate-N objectif	% nitrate-N Changer
New Brunswick							
Bouctouche	376.7	Z	0.05	1.17	4.61		
Cocagne	248.8	Z	0.21	1.10	1.48		
Kouchibouguac	385.7	Z	0.15	1.41	8.88		
Kouchibouguacis	330.5	Z	0.02	1.14	0.80		
Tabusintac*		Z	0.06				
Nova Scotia							
Pictou East	186.6	Z	0.07	1.50	0.29		
Pictou West	170.8	Z	0.26	2.50	0.19		
Pugwash	112	Z	0.05	0.61	0.29		
River John	274.3	Z	0.10	0.94	0.61		
Tatamagouche	225.6	Z	0.08	0.35	21.67		
Prince Edward Island							
Bideford	19.3	Z	0.49	2.13	10.01	2.84	72
Cardigan*		Z	0.12				
Covehead	33.3	U	0.37	2.12	3.94		
Dunk	161.1	U	0.46	0.77	296.87	199.75	33
Enmore	36.6	Z	0.17	0.56	6.65		
Foxley*		U	0.50				
Grand River	79.6	U	0.47	2.11	4.71	3.02	36
Hunter River	62.4	U	0.56	1.76	8.37		
Kildare	17.4	U	0.85	3.48	70.33	0.04	99
Mill	88.3	U	0.61	2.72	96.73	0.45	99
Montague	163.8	U	0.53	2.16	76.91	2.59	99
Murray	57.3	U	0.39	2.31	9.51	1.62	83
North River	65	Z	0.18	0.65	13.66		
Souris	31.6	U	0.56	1.85	42.96	6.82	84
Southwest	19	U	0.43	2.05	9.66	3.65	62
Stanley	39.2	U	0.67	3.80	67.88	0.02	99
Tryon	41.9	U	0.20	0.24	226.14		
Vernon*		Z	0.07				
West	113.6	Z	0.08	0.82	27.40		
Wheatley	42.1	U	0.52	1.74	154.11	9.61	94
Wilmot	71.6	U	0.50	0.73	451.50	226.37	50
Winter*		U	0.35				

* Les données sur l'oxygène dissous sont disponibles, mais pas les données bathymétriques ou de débit

5. On recommande d'établir un cycle de surveillance de l'oxygène dissous pour évaluer de façon efficace l'état trophique des estuaires et le rétablissement de l'écosystème après la mise en œuvre de mesures de gestion sur terre.
- Bien que nous ayons élaboré une cible du « temps d'eutrophisation » de 0,35, qui doit être atteint grâce à la réduction de la charge en nitrate-N, il n'est pas possible d'estimer le laps de temps nécessaire au rétablissement en utilisant nos méthodes. Comme on ne s'attend pas à ce que la charge en nitrate-N change de manière considérable à court terme et que les changements écosystémiques demandent également du temps, il n'est pas possible de prédire le taux de rétablissement. Le cycle de surveillance actuel, qui repose sur une rotation de trois ans parmi les quelque 45 estuaires qui se trouvent dans le sGSL, devrait nous permettre de déceler des changements dans la qualité de l'eau. Cependant, aucun cycle de surveillance validé scientifiquement ne peut être recommandé d'après les données existantes et notre compréhension du rétablissement.

Objectif 2: Un avis est également demandé pour qu'on puisse évaluer la relation entre la couverture de la zostère estuarienne et la charge en éléments nutritifs. Cette information est demandée pour que l'on puisse établir si les éléments nutritifs peuvent être considérés comme figurant parmi les principales pressions qui sont exercées sur cette espèce d'importance écologique dans la région du Golfe. L'objectif est de surveiller la couverture de la zostère estuarienne dans le cadre d'un programme de surveillance régional, afin de comprendre les effets de l'eutrophisation sur cette composante valorisée de l'écosystème et d'évaluer le rétablissement de l'écosystème après la mise en œuvre de mesures pour la gestion des éléments nutritifs sur terre.

1. Valider l'utilisation de la couverture de la zostère comme indicateur de la charge en éléments nutritifs dans les estuaires peu profonds du détroit de Northumberland et évaluer la relation modélisée entre la couverture de la zostère et la charge en azote établie dans le document de van den Heuvel *et al.* (2019).
- La couverture de la zostère était bien corrélée avec la charge en nitrate-N (53 % de la variation de la couverture par la zostère est expliquée; figures 5 et 6). Bien que la relation entre la couverture de la zostère et la charge en nitrate-N soit étroite, la zostère est également sensible à divers autres facteurs de stress, comme la température, les espèces envahissantes, les sédiments, etc. Cela signifie que les changements qui touchent la zostère ne reflètent pas nécessairement les effets des éléments nutritifs.

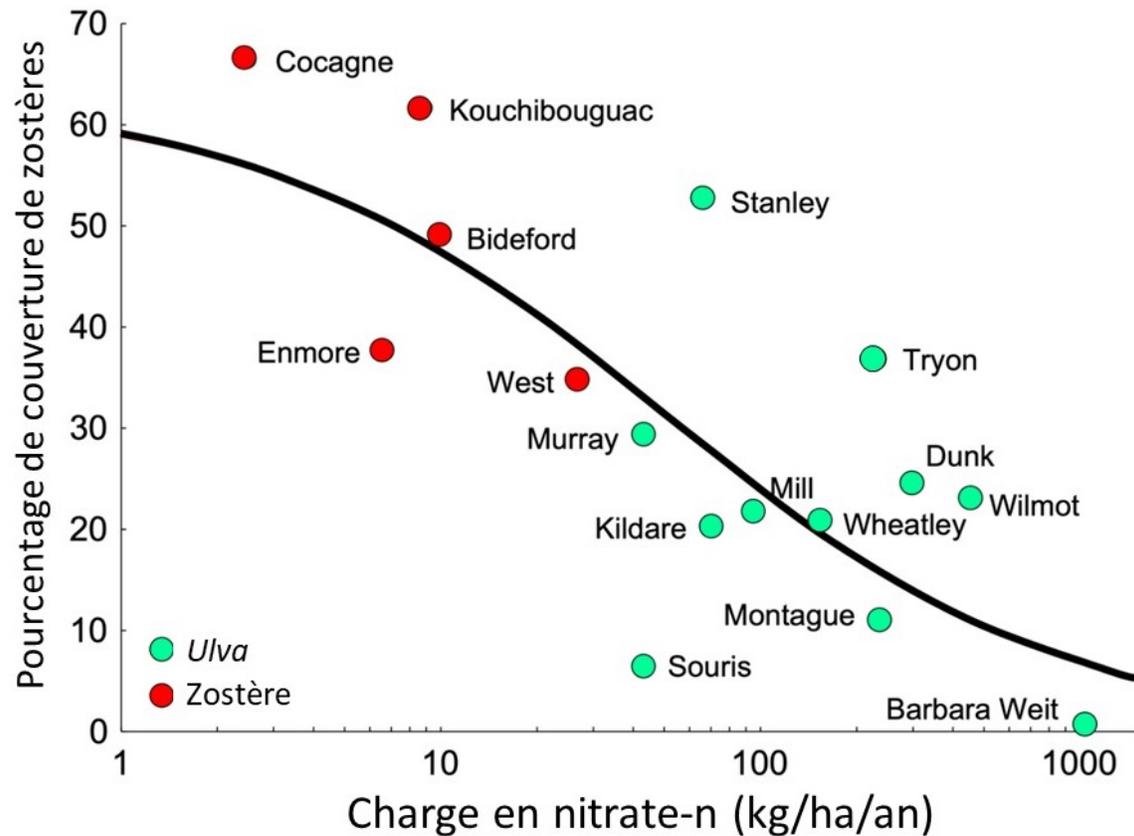


Figure 5. Régression logistique entre la couverture de la zostère en pourcentage et la charge en nitrate-N (échelle logarithmique) sur des sites de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick. Les données sur la couverture de la zostère ont été recueillies en 2014, sauf en ce qui concerne la rivière Barbara Weit, dans laquelle les mesures ont été prises en 2018. Les cercles verts indiquent les sites dominés par *Ulva* spp. dans la zone supérieure de l'estuaire, tandis que les points rouges indiquent les sites dominés par la zostère (*Z. marina*) dans la zone supérieure de l'estuaire. La ligne noire représente la ligne de régression logistique du meilleur ajustement.

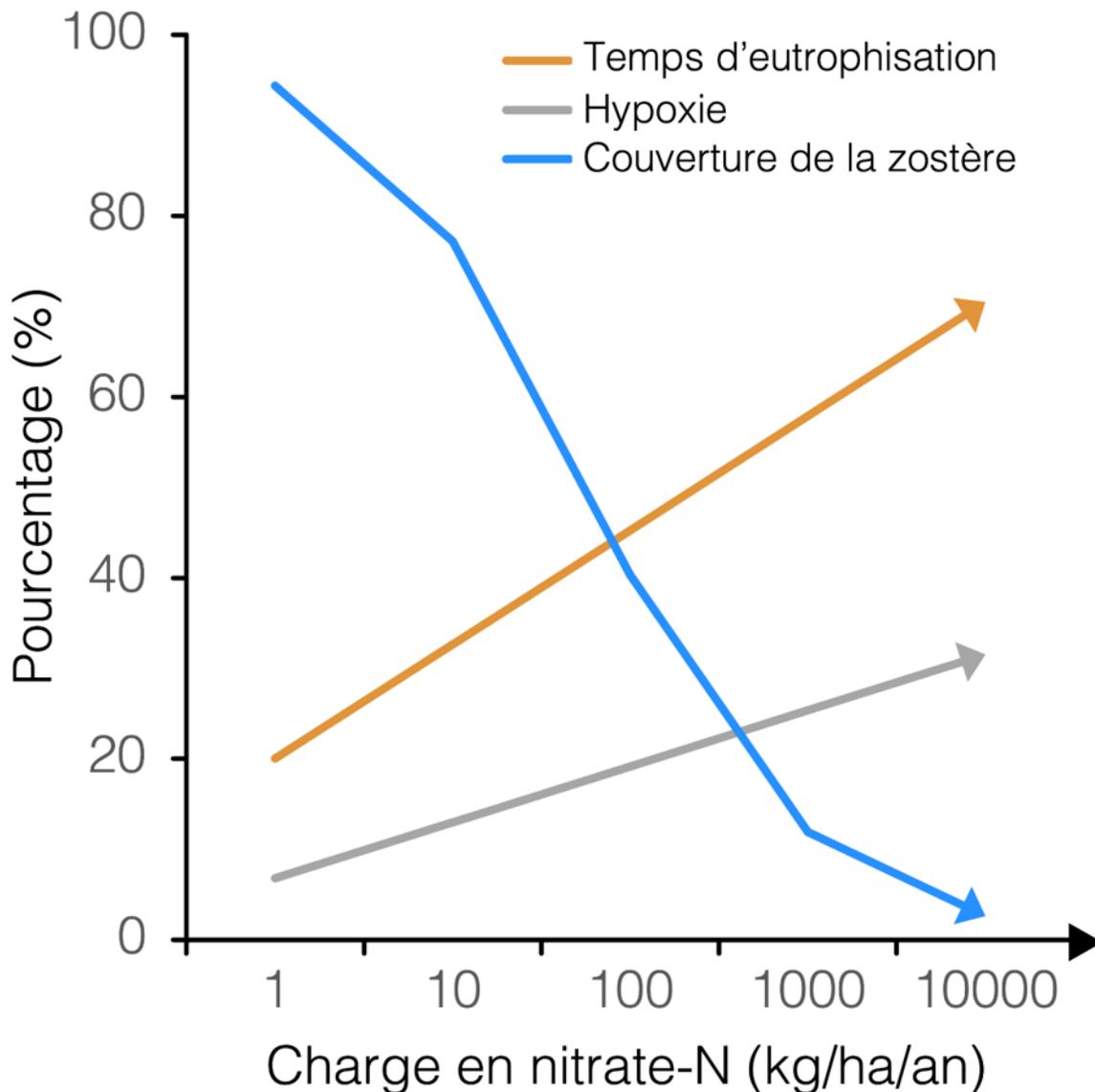


Figure 6. Relation théorique entre les changements dans le temps d'eutrophisation, l'hypoxie (oxygène dissous) et la couverture de la zostère pour un estuaire hypothétique (calculé en utilisant le temps de séjour de l'eau moyen parmi tous les sites) et la charge ascendante de nitrate-N à échelle logarithmique. Il convient de noter que la couverture de la zostère et les chiffres fournis représentant des symptômes d'eutrophisation sont inversement corrélés.

2. Définir les conditions dans lesquelles cet indicateur est efficace, c'est-à-dire, est-il applicable à d'autres régions du Canada ou est-il propre aux conditions environnementales qu'on trouve dans les estuaires du détroit de Northumberland?
- La surveillance de la couverture de la zostère est déjà pratiquée dans le monde comme indicateur de la santé des écosystèmes, y compris des effets des éléments nutritifs. La nouveauté de cette recherche est l'introduction d'une couche d'« habitat potentiel » que la

zostère pourrait théoriquement occuper, et qui est ici définie en fonction de la salinité et de la profondeur moyenne de l'eau, des variables que l'on peut utiliser pour comparer les estuaires. Il n'est pas déraisonnable de penser que cette méthode pourrait être applicable aux estuaires peu profonds de l'Atlantique Nord, mais ce qui est qualifié d'habitat potentiel devrait refléter les conditions dans lesquelles la zostère prospère dans ces régions particulières.

Sources d'incertitude

L'indicateur de surveillance présenté ici a été conçu pour que l'on puisse évaluer les effets des éléments nutritifs dans le sGSL et représente une amélioration par rapport aux versions précédentes, car 81 % de la variation globale entre les estuaires a été expliquée à l'aide d'une simple mesure de l'oxygène dissous, le temps d'eutrophisation. En outre, la relation relativement étroite entre la charge en nitrate-N et la couverture de la zostère, l'indicateur biologique d'intérêt, est également encourageante. Malgré ce succès, les chercheurs associés à ce projet reconnaissent les limites de ce travail et tentent actuellement d'affiner les variables prédictives (c'est-à-dire la charge en nitrate-N et le temps de séjour de l'eau).

Les enregistreurs chronologiques d'oxygène dissous ont été déployés dans une zone représentant 10 % de l'estuaire, définie par un intervalle de salinité de 15 à 25 USP. Cette zone a été choisie parce que c'est l'endroit où l'azote est d'abord disponible pour les plantes marines et où l'absorption des éléments nutritifs est théoriquement la plus élevée (Valiela *et al.* 1997). Cette théorie peut être confirmée par des observations, car c'est la zone où l'anoxie se produit généralement dans les estuaires affectés par les éléments nutritifs. Néanmoins, il existe une certaine ambiguïté quant à la sélection des sites de surveillance. Pour résoudre ce problème, la surveillance de l'oxygène dissous a été réalisée à plusieurs endroits d'un même estuaire entier afin d'effectuer une comparaison spatiale de l'oxygène dissous. Les enregistreurs chronologiques ont été déployés à des intervalles de 5 % depuis l'eau saumâtre (1 % de la zone) jusqu'à l'eau marine où l'estuaire rejoint la baie adjacente (100 % de la zone). Ces données n'ont pas encore été publiées, mais elles fournissent une preuve préliminaire selon laquelle les profils d'oxygène dissous de la zone de 5 à 35 % sont comparables. Du point de vue de la surveillance, cela signifie qu'il existe une zone relativement vaste dans laquelle on peut déployer les enregistreurs chronologiques d'oxygène dissous et qu'on peut obtenir des données représentatives pour ce bassin hydrographique/estuaire. Ensemble, cela signifie que la méthodologie existante est probablement robuste et contribue à expliquer pourquoi nous observons une corrélation aussi forte entre l'oxygène dissous et nos variables prédictives à l'échelle de l'estuaire. Cependant, l'applicabilité de ces résultats à d'autres estuaires reste incertaine.

Le moteur du modèle est constitué uniquement des apports externes en éléments nutritifs et du temps de séjour de l'eau. Cependant, il est tout à fait probable que la disponibilité interne des éléments nutritifs contribue également aux valeurs de l'oxygène dissous observées dans cette étude et est peut-être même dominante. À terme, la charge en éléments nutritifs dans notre région devrait inclure les composantes internes et externes, comme cela a été calculé pour d'autres réseaux hydrographiques (Valdemarsen *et al.* 2015). Une fois que ces paramètres seront mieux compris, les prévisions sur la façon dont les réseaux hydrographiques réagiront aux réductions de la charge externe en éléments nutritifs pourront s'améliorer et permettre de fournir, à l'avenir, un avis plus détaillé sur la QMM.

Le moteur du modèle concerne un seul élément nutritif (l'azote). Cependant, d'autres éléments nutritifs (par exemple, le phosphore, la silice, le carbone) contribuent à la production primaire et pourraient être des facteurs limitants à différents moments et dans différentes zones d'un

estuaire. L'inclusion de l'apport de ces éléments nutritifs dans les modèles ultérieurs pourrait permettre d'améliorer le rendement des modèles.

Dans cette étude, un modèle de prisme de marée a été utilisé pour calculer le temps de séjour de l'eau. Bien que les produits de cette équation aient donné des résultats qui ont bien fonctionné dans notre modèle, il est clair qu'une méthodologie plus précise serait utile. À cette fin, les auteurs du présent rapport aident à élaborer un modèle hydrodynamique régional qui fournirait des estimations plus précises du temps de renouvellement de l'eau dans la zone supérieure des estuaires du sGSL. Un tel modèle pourrait être exploité pour qu'on puisse mieux suivre les éléments nutritifs dans un estuaire donné et relever les zones situées en dehors de la zone supérieure de l'estuaire qui risquent d'être affectées par les éléments nutritifs.

L'indicateur (oxygène dissous) et les principes généraux qui sous-tendent le modèle évalué dans cette étude sont universellement applicables à d'autres réseaux hydrographiques. Cependant, les variables prédictives du modèle devraient être adaptées à d'autres régions. Ainsi, les paramètres précis de notre modèle ne sont, pour l'instant, utiles que pour évaluer l'état trophique des estuaires du sGSL.

CONCLUSIONS ET AVIS

Les modèles utilisés dans cette étude fournissent un outil utile pour relever l'état trophique des estuaires du sud du golfe du Saint-Laurent (sGSL), mais il est possible d'améliorer la relation entre les variables prédictives et l'oxygène dissous/la couverture de la zostère. Bien qu'il soit possible de continuer à perfectionner le modèle de l'oxygène dissous, ces perfectionnements ne devraient pas affecter la prise de décision, étant donné que le modèle contenu dans le présent document identifie déjà les estuaires nécessitant une réduction d'azote de ceux qui n'en ont pas besoin. En fin de compte, une telle décision concernant l'utilité du raffinement du modèle sera dictée par la question de savoir si de l'information plus détaillée est nécessaire à la formulation d'avis sur de futures itérations de la mesure de la qualité du milieu marin (QMM). La surveillance de l'oxygène dissous et celle de la zostère sont des outils complémentaires qui permettent une évaluation complète de l'état trophique des estuaires du sGSL. Bien que la zostère soit une espèce d'importance écologique et que sa répartition soit affectée par les éléments nutritifs, la surveillance à haute fréquence de l'oxygène dissous est un outil plus utile que celle de la couverture de la zostère si l'on veut évaluer les effets des éléments nutritifs dans le sGSL.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Affiliation
Mark Laflamme	MPO Sciences - Golfe
Mélanie Roy	MPO Sciences - Golfe
Rémi Sonier	MPO Sciences - Golfe
Michael Coffin	MPO Sciences - Golfe
Marc Ouellette	MPO Sciences - Golfe
Jeffrey Barrell	MPO Sciences - Golfe
Thomas Guyondet	MPO Sciences - Golfe
Luke Poirier	MPO Sciences - Golfe
Luc Comeau	MPO Sciences - Golfe

Région du Golfe

Nom	Affiliation
Jeffery Clements	MPO Sciences - Golfe
Eva Dickson	MPO Sciences - Golfe
Monica Boudreau	MPO Écosystèmes aquatiques - Golfe
Stacey Rehel	MPO Écosystèmes aquatiques - Golfe
Marie-Hélène Thériault	MPO Écosystèmes aquatiques - Golfe
Mike van den Heuvel	University of Prince Edward Island
Simon Courtenay	University of Waterloo
Yefang Jiang	Agriculture et Agroalimentaire Canada
Cynthia Crane	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard
Bruce Raymond	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard
Melisa Wong	MPO Sciences - Maritime
Cameron J Deacoff	Gouvernement de la Nouvelle-Écosse
David Briggins	Gouvernement de la Nouvelle-Écosse
Jesse Hiltz	Gouvernement de la Nouvelle-Écosse
Nathaniel Feindel	Gouvernement de la Nouvelle-Écosse
Marie-Josée Mallet	Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Rémy Haché	Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Nathalie LeBlanc	Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Tina Sonier	Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Aaron Ramsay	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard
Robert MacMillan	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la Réunion sur les avis scientifiques régional du 23 au 24 février 2021 sur la Validation de l'OD comme mesure de la QMM de l'état de charge en nutriments des estuaires. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

Bugden, G., Jiang, Y., van den Heuvel, M., Vandermeulen, H., MacQuarrie, K., Crane, C., and Raymond, B., 2014. Nitrogen loading criteria for estuaries in Prince Edward Island Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 3066, vii + 43 p.

Coffin, M.R.S., Courtenay, S.C., Pater, C.C., and van den Heuvel, M.R. 2018. An empirical model using dissolved oxygen as an indicator for eutrophication at a regional scale. *Mar. Pollut. Bull.* 133: 261–270.

Rice, J.C., Rochet, M.J., 2005. [A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management](#). *ICES J. Mar. Sci.* 62, 516–527.

Valdemarsen, T., Quintana, C.O., Flindt, M.R., and Kristensen, E. 2015. Organic N and P in eutrophic fjord sediments – rates of mineralization and consequences for internal nutrient loading. *Biogeosciences* 12: 1765–1779.

- Valiela, I., Mccllelland, J., Hauxwell, J., Behr, P.J., Hersh, D., and Foreman, K., 1997.
Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1105–1118.
- van den Heuvel, M.R., Hitchcock, J.K., Coffin, M.R.S., Pater, C.C., and Courtenay, S.C. 2019.
Inorganic nitrogen has a dominant impact on estuarine eelgrass coverage in the Southern Gulf of St. Lawrence, Canada. *Limnol. Oceanogr.* 64: 2313-2327.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Golfe
Pêches et Océans Canada
P.O. Box 5030
Moncton, NB
E1C 9B6

Téléphone: 506-851-6201

Courriel: DFO.GLFCSA-CASGOLFE.MPO@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet: www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-39177-9 N° cat. Fs70-6/2021-023F-PDF

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021



La présente publication doit être citée comme suit:

MPO. 2021. Validation de l'oxygène dissous (OD) comme mesure de la qualité du milieu marin (QMM) de l'état de charge en nutriments des estuaires. *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci.* 2021/023.

Also available in English:

DFO. 2021. *Validation of dissolved oxygen (DO) as Marine Environmental Quality (MEQ) measure of nutrient loading status of estuaries. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep.* 2021/023.