

Nouveaux regards sur les forêts de laminaires de l'île d'Anticosti

Stéphanie Roy, Romy Léger-Daigle, Raphaël Mabit, Simon Bélanger, Ladd E. Johnson, Christian Nozais et Fanny Noisette

Volume 147, numéro 1, printemps 2023

Les enjeux de la recherche à Anticosti : état des lieux et perspectives

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1098173ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1098173ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (imprimé)

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Roy, S., Léger-Daigle, R., Mabit, R., Bélanger, S., Johnson, L. E., Nozais, C. & Noisette, F. (2023). Nouveaux regards sur les forêts de laminaires de l'île d'Anticosti. *Le Naturaliste canadien*, 147(1), 45–58.
<https://doi.org/10.7202/1098173ar>

Résumé de l'article

Les forêts de laminaires sont des écosystèmes riches et productifs, longeant les côtes des zones tempérées à polaires. Dans les eaux du golfe du Saint-Laurent, les platiers rocheux de l'île d'Anticosti abritent des forêts de laminaires qui sont encore très peu caractérisées. En 2021 et en 2022, 2 échantillonnages en plongée sous-marine ont permis de caractériser les communautés de laminaires présentes sur 14 sites au sud-ouest de l'île d'Anticosti. Cinq espèces de laminaires (*Saccharina latissima*, *Alaria esculenta*, *Hedophyllum nigripes*/*Laminaria digitata*, *Agarum clathratum*, *Saccorhiza dermatodea*) ont été recensées, avec une grande variabilité d'assemblage entre les sites. Les densités (de 10 ± 5 à 99 ± 20 individus·m⁻²) et les biomasses (de $0,3 \pm 0,1$ à $6,4 \pm 1,0$ kg·m⁻²) étaient semblables à celles dans d'autres écosystèmes à laminaires de l'est du Canada. Des relations allométriques sur *S. latissima* ont permis de mettre en évidence des différences entre les sites, probablement dues aux conditions environnementales locales. Cette caractérisation des forêts de laminaires du sud-ouest de l'île d'Anticosti ouvre des perspectives sur le potentiel écologique et économique de cet écosystème.

Nouveaux regards sur les forêts de laminaires de l'île d'Anticosti

Stéphanie Roy, Romy Léger-Daigle, Raphaël Mabit, Simon Bélanger,
Ladd E. Johnson, Christian Nozais et Fanny Noisette

Résumé

Les forêts de laminaires sont des écosystèmes riches et productifs, longeant les côtes des zones tempérées à polaires. Dans les eaux du golfe du Saint-Laurent, les platiers rocheux de l'île d'Anticosti abritent des forêts de laminaires qui sont encore très peu caractérisées. En 2021 et en 2022, 2 échantillonnages en plongée sous-marine ont permis de caractériser les communautés de laminaires présentes sur 14 sites au sud-ouest de l'île d'Anticosti. Cinq espèces de laminaires (*Saccharina latissima*, *Alaria esculenta*, *Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata*, *Agarum clathratum*, *Saccorhiza dermatodea*) ont été recensées, avec une grande variabilité d'assemblage entre les sites. Les densités (de 10 ± 5 à 99 ± 20 individus- m^{-2}) et les biomasses (de $0,3 \pm 0,1$ à $6,4 \pm 1,0$ kg- m^{-2}) étaient semblables à celles dans d'autres écosystèmes à laminaires de l'est du Canada. Des relations allométriques sur *S. latissima* ont permis de mettre en évidence des différences entre les sites, probablement dues aux conditions environnementales locales. Cette caractérisation des forêts de laminaires du sud-ouest de l'île d'Anticosti ouvre des perspectives sur le potentiel écologique et économique de cet écosystème.

MOTS-CLÉS : biomasse, densité, île d'Anticosti, laminaires, relation allométrique, subarctique

Abstract

Kelp forests are productive, biodiverse, marine ecosystems that occur throughout temperate and polar coastal zones. Those found growing on the rocky outcrops around Anticosti Island (Québec, Canada), which is situated in the Gulf of St. Lawrence, have been little studied. Underwater sampling was conducted in 2021 and 2022 to characterize the kelp community at 14 sites along the southwestern coast of the island. Five kelp species were recorded (*Saccharina latissima*, *Alaria esculenta*, *Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata*, *Agarum clathratum*, and *Saccorhiza dermatodea*), in various assemblages among between sites. The density varied from 10 ± 5 to 99 ± 20 individuals- m^{-2} and the biomass, from 0.3 ± 0.1 to 6.4 ± 1.0 kg- m^{-2} . These values are similar to those observed in other kelp forests in eastern Canada. Allometric relationships for *S. latissima* showed differences between certain sites, likely due to local environmental conditions. This characterization of the kelp forests along the southwestern coast of Anticosti Island highlights the ecological and economic potential of this ecosystem.

KEYWORDS: allometric relationship, Anticosti Island, biomass, density, kelp, subarctic

Introduction

Les écosystèmes de laminaires

Les forêts de laminaires sont des écosystèmes marins très productifs, se développant en milieu subtidal rocheux, le long des côtes tempérées à polaires (Dayton, 1985; Steneck et collab., 2002; Teagle et collab., 2017). Ces forêts sont majoritairement composées de macroalgues brunes de l'ordre des Laminariales. Les laminaires forment des canopées complexes (Jones et collab., 1994) qui structurent l'habitat, modifient les conditions physicochimiques aux alentours (Steneck et collab., 2002; Teagle et collab., 2017) et peuvent former une barrière physique qui dissipe l'énergie des vagues et des courants (Dayton, 1985; Jackson et Winant, 1983; Steneck et collab., 2002). Les laminaires offrent des micro-habitats à la surface de leur fronde (Noisette et Hurd, 2018), de leur stipe ou au sein de leur crampon (Ojeda et Santelices, 1984; Tuya et collab., 2011). Les forêts de laminaires abritent une importante diversité de poissons et d'invertébrés benthiques (Leclerc et collab., 2013; Schmidt et Scheibling, 2006), dont certaines

Stéphanie Roy est étudiante au doctorat en océanographie à l'Institut des sciences de la mer de l'Université du Québec à Rimouski (ISMER-UQAR).

stephanie.roy3@uqar.ca

Romy Léger-Daigle a une maîtrise en océanographie de l'ISMER-UQAR.

Raphaël Mabit est étudiant au doctorat en océanographie à l'ISMER-UQAR.

Simon Bélanger est professeur en télédétection au Département de biologie, chimie et géographie de l'UQAR.

Ladd E. Johnson est professeur en écologie marine au Département de biologie de l'Université Laval à Québec.

Christian Nozais est professeur en océanographie au Département de biologie, chimie et géographie de l'UQAR.

Fanny Noisette est professeure en océanographie biologique à l'ISMER-UQAR.

fanny_noisette@uqar.ca

espèces d'intérêt commercial (Bégin et collab., 2004; Bennet et collab., 2016; Bertocci et collab., 2015; Smale et collab., 2013; Vásquez et collab., 2014). Les laminaires jouent un rôle clé dans les réseaux trophiques côtiers en tant que source de nourriture pour certains brouteurs comme les oursins (Scheibling, 2020; Wernberg et collab., 2011), de matière organique particulaire pour les filtreurs et les détritivores, et de subsides pour les habitats adjacents (Elliott Smith et Fox, 2022; Krumhansl et Scheibling, 2012; Miller et Page, 2012).

Les forêts de laminaires sont principalement présentes à des latitudes allant de 40° à 60° N., dans des zones où la température moyenne fluctue de 2 à 18°C, et sont limitées vers l'équateur par des eaux trop chaudes et oligotrophes et vers les pôles par une trop faible disponibilité en lumière (Steneck et collab., 2002; Wilson et collab., 2015). Des travaux récents montrent cependant que les forêts de laminaires sont trouvées bien au-delà de 60° N., en Arctique, et sont dominées par des espèces endémiques telles que *Laminaria solidungula* J. Agardh, 1868 (Bringloe et collab., 2022; Goldsmit et collab., 2021). En profondeur, les laminaires se développent dans la zone photique jusqu'à un seuil critique d'intensité lumineuse d'environ 1 mole de photons·m⁻²·jour⁻¹ (PAR; *Photosynthetically active radiation*; rayonnement photosynthétique actif) (Dayton, 1985; Krause-Jensen et collab., 2012; Smith et collab., 2022; Steneck et collab., 2002; Tait, 2019). Le broutage par des herbivores, tels que les oursins, peut grandement limiter l'expansion, la répartition et le rétablissement des forêts de laminaires, contraignant généralement leur distribution (Ling et collab., 2015; Rogers-Bennett, 2019). Dans les zones boréales, subarctiques et arctiques, les glaces exercent une forte influence sur les forêts de laminaires (Bartsch et collab., 2016; Filbee-Dexter et collab., 2019). En effet, l'atténuation de la lumière par le couvert de glace limite le processus de photosynthèse et par le fait même la productivité et la croissance algale (Krause Jensen et collab., 2012). De plus, l'abrasion récurrente de la glace en eau peu profonde peut perturber le processus de succession écologique dans les forêts de laminaires (Tamigneaux et Johnson, 2016), en favorisant l'établissement d'espèces à courte durée de vie qui colonisent rapidement les zones perturbées (Keats, 1985). En dépit de leur grande valeur écologique, peu de données sont disponibles sur les écosystèmes de laminaires comparativement à d'autres écosystèmes côtiers à productivité élevée tels que les récifs coralliens, les mangroves et les herbiers marins (Elliott Smith et Fox, 2022).

Les forêts de laminaires canadiennes

Le Canada possède le plus long trait de côte au monde, longeant 3 océans et abritant une grande diversité d'écosystèmes à laminaires (Filbee-Dexter et collab., 2019; Johnson et Mann, 1988; Starko et collab., 2019). Sur la côte du Pacifique, les imposantes forêts de laminaires sont dominées par les espèces géantes *Macrocystis pyrifera* (Linné) Agardh, 1820 et *Nereocystis luetkeana* (Mertens) Postels et Ruprecht, 1840 (Campbell et Starko, 2021; Costa et collab., 2020; Druehl et Hsiao, 1977; Foreman, 1984; Schroeder et collab., 2020). Le

long des côtes de la Nouvelle-Écosse, les forêts de laminaires sucrées *Saccharina latissima* (Linnaeus) Lane, Mayes (Druehl et Saunders 2006) sont beaucoup plus étudiées que les forêts des eaux subarctiques atlantiques et arctiques (Filbee-Dexter et collab., 2016; 2019; 2022; Gagnon et collab., 2004; Johnson et Mann, 1988; Krumhansl et Scheibling, 2011; Merzouk et Johnson, 2011; Scheibling et collab., 1999; 2013; Tamigneaux et Johnson, 2016). Les intérêts scientifique et économique portés à ces écosystèmes au Canada sont toutefois grandissants en raison notamment de leurs nombreux rôles écologiques et de leur capacité de mitigation des changements climatiques par leur potentiel de carbone bleu (Macreadie et collab., 2019). Ce sont également des écosystèmes composés d'espèces cultivables, d'intérêt pour l'aquaculture (Druehl et collab., 1988; Tamigneaux et Johnson, 2016).

En 2017, l'Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL) a rendu accessible une base de données sur la distribution et l'abondance de macroalgues dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, regroupant notamment des informations recueillies pour les laminaires lors de diverses campagnes de recherche de 1933 à 2012 (OGSL, 2022). Cependant, certaines portions du littoral demeurent peu documentées en raison de leurs difficultés d'accès, particulièrement dans le nord-est du Canada et en Arctique (Filbee-Dexter et collab., 2022). La zone côtière de l'île d'Anticosti, située dans le nord du golfe du Saint-Laurent, à la limite sud de la zone subarctique (Merzouk et Johnson, 2011), a fait l'objet de peu de recensements (Adams, 1938; Cardinal, 1990; Himmelman, 1991; Pérot et Provost, 2008; South, 1984). Le long d'un plateau rocheux de faible profondeur (< 20 m) qui entoure la majorité de l'île sur 500 m à 2 km du rivage, la zone médiolittorale peut atteindre plusieurs centaines de mètres de largeur, suivie d'une zone subtidale peu profonde (Petryk, 1981; Twenhofel, 1927). Les fonds rocheux peu profonds, les eaux claires et le faible marnage (en moyenne 1,6 m; MPO, 2022) en font un habitat particulièrement propice à l'établissement de forêts de laminaires dont la richesse en espèces est censée être semblable à celles présentes dans l'archipel de Mingan, situé à quelque 50 km au nord de l'île d'Anticosti (Gagnon et collab., 2004; Nozères et collab., 2015).

Dans un contexte de changements climatiques de plus en plus radicaux, touchant particulièrement les zones subpolaires et polaires (Filbee-Dexter et collab., 2022; Scheibling et collab., 2013; Wilson et collab., 2015; 2019), la caractérisation et le suivi des écosystèmes de laminaires subarctiques sont primordiaux. La compréhension de leur fonctionnement, de leurs réponses aux changements climatiques et de leurs rôles dans des phénomènes à grande échelle (p. ex., cycle du carbone dans le système du Saint-Laurent) et à petite échelle (p. ex., pêcheries locales) est limitée par le manque actuel de données de base sur ces forêts (Filbee-Dexter et collab., 2019; Gattuso et collab., 2006; Smale, 2020; St-Pierre et Gagnon, 2020). L'objectif de cette étude était d'acquérir de nouvelles données sur les forêts de laminaires de la zone sud-ouest de l'île d'Anticosti, dans un rayon d'environ 60 km autour du village de Port-Menier. Ces

données de diversité, de densité, de biomasse contribuent à mieux définir l'importance des forêts de laminaires de l'île, qui soutiennent des écosystèmes côtiers productifs dans le golfe du Saint-Laurent. Des relations allométriques entre la biomasse et les mesures morphométriques des algues ont aussi été établies, pour permettre de tenir compte des particularités locales et de concevoir des suivis moins destructeurs pour l'habitat (Campbell et Starko, 2021; Stagnol et collab., 2016).

Description de l'aire d'étude et des méthodes utilisées

Zone d'étude

Les côtes sud et sud-ouest de l'île d'Anticosti (49° 30' N., 63° 00' O.) ont été explorées en apnée et en plongée sous-marine jusqu'à 7,5 m de profondeur (marnage moyen 1,6 m, maximum 2,7 m; MPO, 2022) au cours de 2 campagnes, du 24 août au 5 septembre 2021 et du 28 juin au 10 juillet 2022 (figure 1). Les sites d'intérêt avaient été présélectionnés à partir d'images satellites, où des bandes foncées suivant le relief des côtes laissaient présager des forêts de laminaires. Les plongées ont été réalisées à partir d'embarcations de l'Université Laval

et de la compagnie N2Pix. Préalablement à chaque plongée, le déploiement d'une caméra submersible GoPro HERO5 ainsi que le sonar des embarcations ont permis de confirmer la présence de macroalgues de grande taille. Quatorze sites dominés par des Laminariales, situés à une profondeur de 3 à 7,5 m, ont été sélectionnés pour l'étude et nommés individuellement en fonction de références géographiques locales : Pointe-Sèche (PS), Pointe-Ouest (PO), Petites-Battures-Ouest (PB Ouest 1), Petites-Battures-Est (PB Est), Pointe-aux-Ivroignes-Ouest (PAI Ouest), Pointe-aux-Ivroignes-Est (PAI Est), Blue-Hole, La-Tuque, Gamache, Cap-à-l'Aigle-Ouest 1 (CAA Ouest 1), Cap-à-l'Aigle-Ouest 3 (CAA Ouest 3), Cap-à-l'Aigle-Est (CAA Est), Rivière-à-la-Loutre (RL), Pointe-Sud-Ouest (PSO). Les sites de CAA Ouest 1 et celui de PAI Est sont les seuls à avoir été visités lors des 2 campagnes. L'échantillonnage de 2022 s'est concentré en majorité sur des sites de la baie Ellis, menant au village de Port-Menier.

Échantillonnage

Sur chaque site, 2 transects de 30 m ont été déployés perpendiculairement pour former des grilles de 900 m²

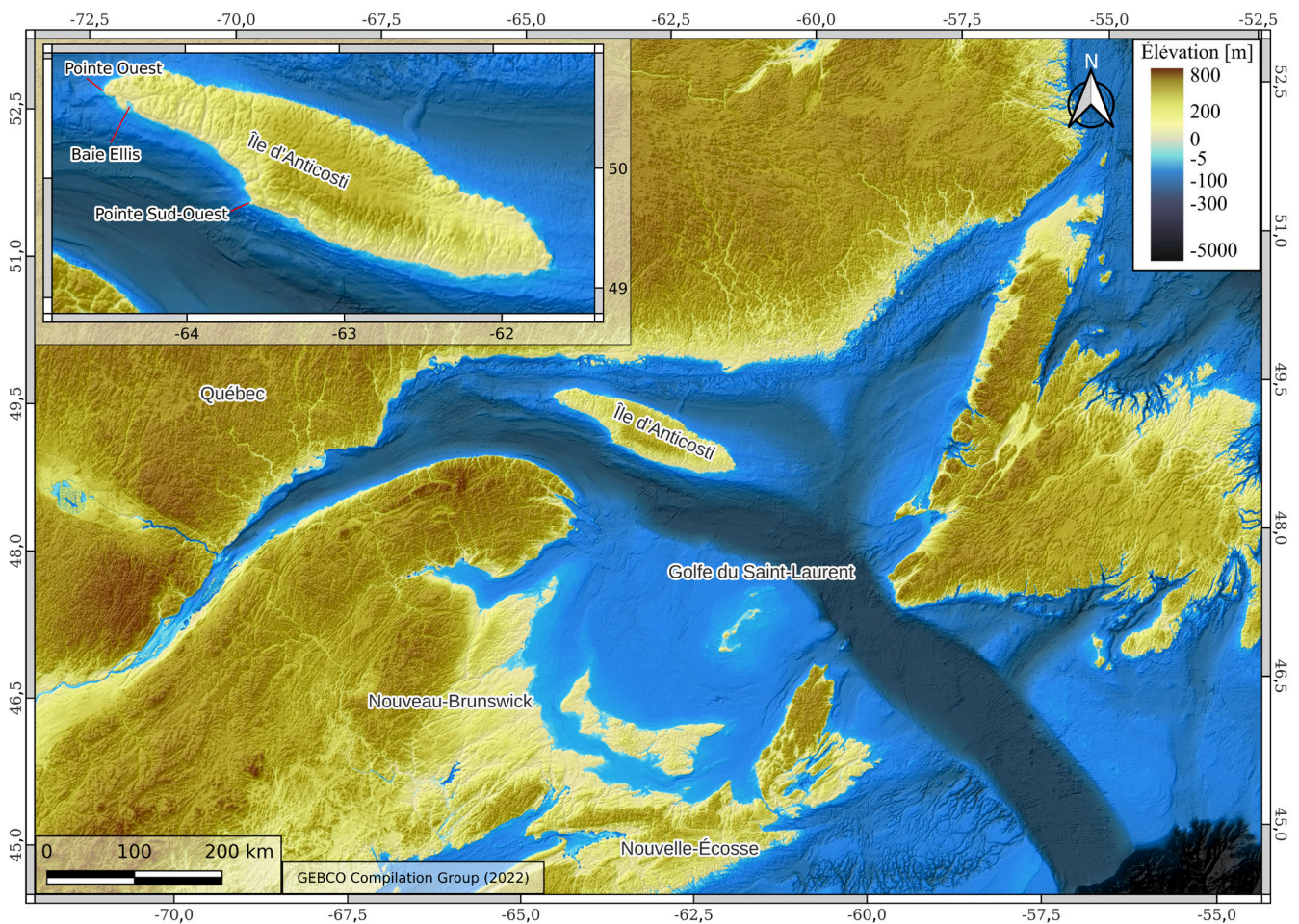


Figure 1. L'île d'Anticosti est située dans le golfe du Saint-Laurent. La zone échantillonnée se trouve au sud-ouest de l'île et est délimitée par le site de Pointe-Ouest, le plus à l'ouest, et celui de Pointe-Sud-Ouest, le plus à l'est. Plusieurs sites d'étude se trouvent dans la baie Ellis qui mène au village de Port-Menier.

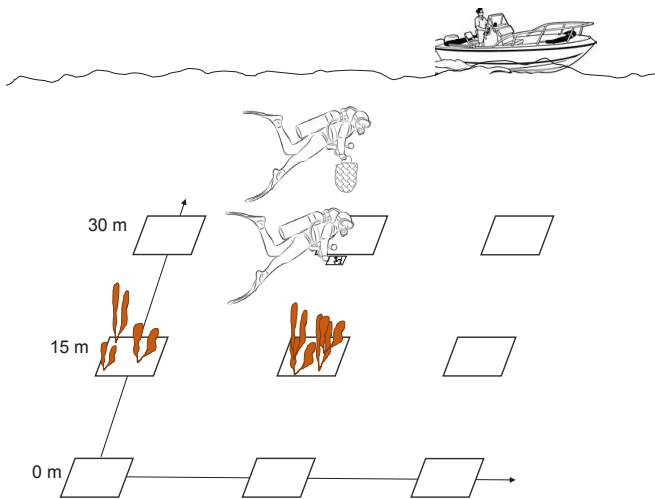


Figure 2. Échantillonnage en plongée sous-marine sur une grille de 30 m x 30 m. La surface totale échantillonnée était de 9 quadrats de 0,25 m² par grille, soit 2,25 m². La surface échantillonnée correspond à l'aire capturée par un pixel d'image hyperspectrale et permet ainsi une vérification terrain des données acquises durant le projet Algae-WISE.

(30 m x 30 m), au sein desquels des quadrats de 0,25 m² ont été disposés tous les 15 m (9 quadrats par grille) afin d'estimer la diversité, la densité et la biomasse des macroalgues (figure 2). Le choix de l'échantillonnage en grille a été fait dans un contexte de collecte de données de grande envergure, pour servir à la validation par des images hyperspectrales aéroportées du capteur WISE (WaterSat Imaging Spectrometer Experiment), acquises par télédétection le 5 juillet 2022 (projet Algae-Wise, voir section Remerciements). Les macroalgues présentes ont été collectées à la base du stipe avec un couteau et placées dans un sac de récolte unique pour chaque quadrat.

Diversité, densité et morphologie

Pour chaque quadrat, les macroalgues ont été identifiées à l'espèce, avec un accent particulier sur les laminaires. Au moment de l'échantillonnage, aucune différence n'avait été faite entre l'espèce *Hedophyllum nigripes* (J. Agardh) Starko, S.C. Lindstrom & Martone, 2019 et *Laminaria digitata* (Hudson) Lamouroux, 1813, 2 espèces extrêmement similaires. L'espèce identifiée comme *Laminaria digitata* est donc nommée *Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata* pour le reste de cette étude (Filbee-Dexter et collab., 2022; Neiva et collab., 2020). L'abondance des individus de chaque espèce a été notée et la masse humide spécifique a été mesurée avec un peson Xcalibur ayant une limite inférieure de détection de 50 g. En 2021, la biomasse a été quantifiée pour seulement 4 des 7 sites échantillonnés (PS, PB Ouest 1, PAI Est et CAA Ouest 1), alors qu'elle l'a été pour chacun des 9 sites en 2022. Les densités et les biomasses moyennes de 2021 et de 2022 ont été comparées à l'aide de tests de Mann Whitney Wilcoxon. Des corrélations de Spearman entre les biomasses moyennes et la profondeur ont été réalisées pour 2021 et 2022.

En 2021, des relations allométriques ont été établies à partir des mesures morphométriques et des biomasses sèches (séchage à 60 °C pendant 48 h) de 46 individus de *S. latissima* provenant de PSO et de 19 individus de RL. Ces deux sites ont été choisis pour leurs différents niveaux d'exposition aux vagues et aux courants, PSO étant abrité et RL étant exposé. Des régressions linéaires ($y = ax + b$) et de puissance ($y = ax^b$) ont été établies entre la largeur, la longueur de la lame et la biomasse sèche des individus (Campbell et Starko, 2021; Stagnol et collab., 2016; Starko et Martone, 2016). Les modèles avec la plus faible racine carrée de l'erreur quadratique moyenne ont été sélectionnés pour décrire les différentes relations allométriques (Basak et collab., 2019; Laanaya et collab., 2017; Smoliński et Radtke, 2017).

Résultats

Diversité des macroalgues

Les sites échantillonnés étaient dominés par des laminaires, représentées par 5 espèces formant la canopée, soit la laminaire sucrée (*Saccharina latissima*), l'alarie succulente (*Alaria esculenta* (Linné) Greville, 1830), la laminaire digitée (*Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata*), l'agar criblé (*Agarum clathratum* Dumortier, 1822) et la saccorhize (*Saccorhiza dermatodea* (Bachelot Pylaie) Agardh, 1868) (figure 3). D'autres macroalgues présentes en sous-canopée ont également été recensées, telles que *Desmarestia aculeata* (Linné) Lamouroux, 1813, *Chordaria flagelliformis* (Müller) Agardh, 1817, *Phycodrys rubens* (Linné) Batters, 1902, *Ptilota serrata* Kützinger, 1847, *Devaleraea ramentacea* (Linné) Guiry, 1982, *Phyllophora* sp., *Corallina officinalis* Linné, 1758, *Lithothamnium* sp., *Lithophyllum* sp. et *Ralfsia fungiformis* (Gunnerus) Setchell & Gardner, 1924, les 3 dernières étant des algues encroûtantes. L'algue rouge *Palmaria palmata* (Linné) Weber & Mohr, 1805 a également été observée, elle était généralement présente en épiphyte sur les stipes de laminaires.

Biomasse et densité de laminaires

Les moyennes des biomasses et des densités spécifiques et totales des sites visités en 2021 et en 2022 sont consignées au tableau 1. La variabilité spatiale dans la distribution des laminaires était hétérogène, certains quadrats ne contenant aucune laminaire. En 2021, à la fin de l'été, les densités moyennes les plus élevées ont été mesurées à PAI Est ($91,6 \pm 24,1$ individus·m⁻²), suivie de PO ($90,7 \pm 11,6$ individus·m⁻²) et de PSO ($70,4 \pm 7,9$ individus·m⁻²). La plus faible densité, d'environ 30 individus·m⁻², a été mesurée au site de RL. Les biomasses moyennes les plus élevées par site dépassaient 6 kg·m⁻² (CAA Ouest 1) alors que les plus faibles étaient inférieures à 4 kg·m⁻² (PAI Est).

Au début de l'été 2022, les densités les plus élevées ont été déterminées dans l'est de la Baie Ellis: CAA Ouest 1; $99,1 \pm 23,0$ individus·m⁻²; CAA Est; $71,1 \pm 17,1$ individus·m⁻²; Gamache $63,1 \pm 8,7$ individus·m⁻². La plus faible densité, presque 10 fois inférieure aux densités les plus élevées, a été

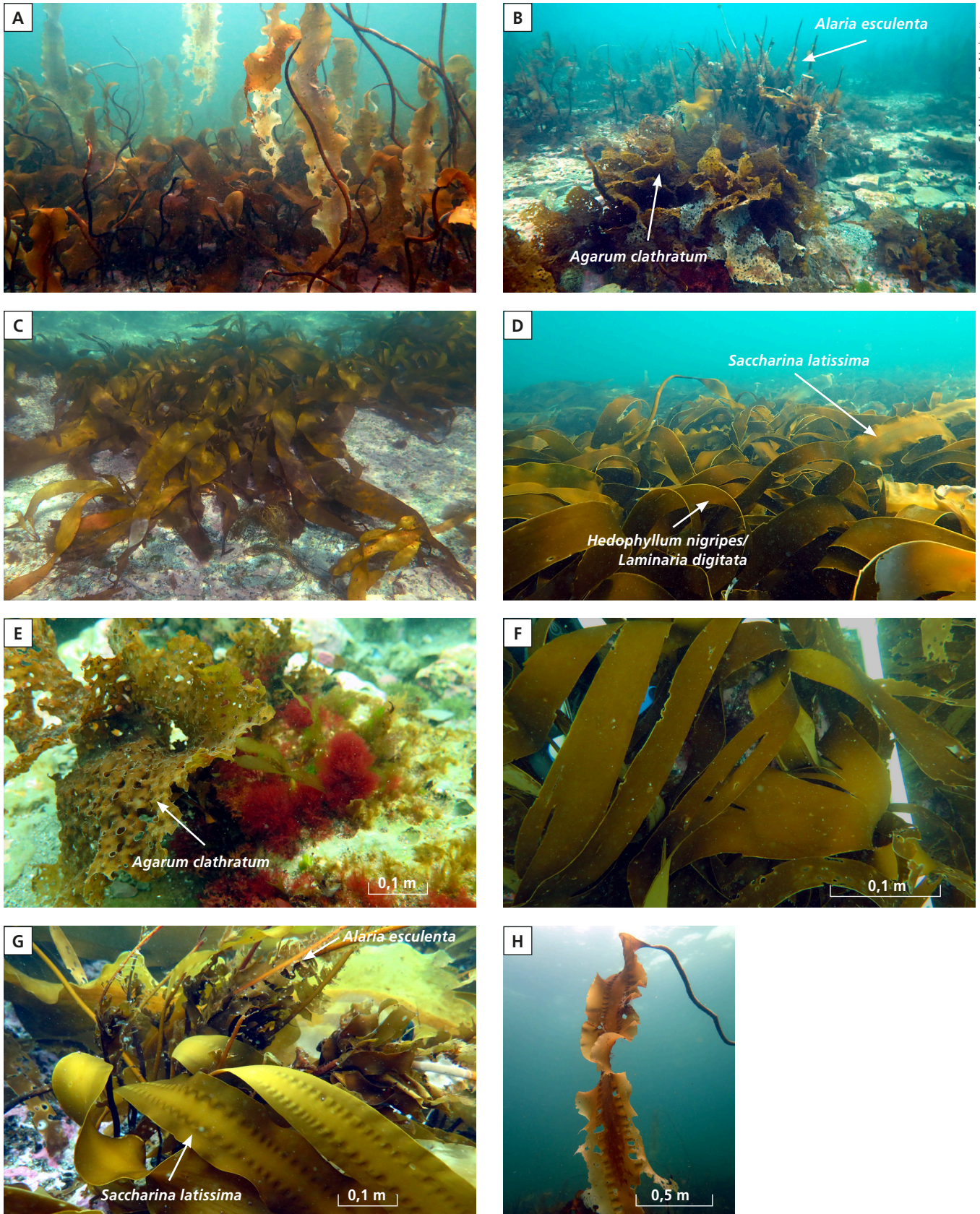


Figure 3. Diversité de laminaires trouvées dans les eaux peu profondes au sud-ouest de l'île d'Anticosti. A) *Saccharina latissima*; B) *Alaria esculenta* et *Agarum clathratum*; C) *Saccorhiza dermatodea*; D) *Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata* et *Saccharina latissima*; E) *Agarum clathratum*; F) *Hedophyllum nigripes/Laminaria digitata*; G) *Alaria esculenta* et *Saccharina latissima*; H) *Saccharina latissima*.

Tableau 1. Moyenne (\pm erreur type) des biomasses humides ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) et de la densité ($\text{individus}\cdot\text{m}^{-2}$) des espèces de laminaires trouvées dans les 14 sites visités lors des campagnes 2021 et 2022 dans les eaux peu profondes du sud-ouest de l'île d'Anticosti. En 2021, quelques sites comportaient moins de 9 quadrats: Pointe-Ouest ($n = 3$), Petites-Battures-Ouest 1 ($n = 6$), Cap-à-l'Aigle-Ouest 1 ($n = 4$), Rivière-à-la-Loutre ($n = 3$). En 2022, tous les sites comportaient 9 quadrats ($n = 9$), sauf pour La-Tuque, où seulement la densité moyenne a été calculée à partir de $n = 8$. ND: données non disponibles.

Variable	Site	Latitude, longitude	Profondeur (m)	Campagne	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Alaria esculenta</i>	<i>Hedophyllum nigripes/ Laminaria digitata</i>	<i>Agarum clathratum</i>	<i>Saccorhiza dermatodea</i>	Total
Biomasse ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Pointe-Sèche	49,917103, -64,429945	4,3	2021	3,70 \pm 2,43	0,31 \pm 0,20	0	0	0	4,01 \pm 2,40
	Pointe-Ouest	49,866069, -64,529297	5,7	2021	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Petites-Battures-Ouest 1	49,783606, -64,407798	5,0	2021	0,57 \pm 0,28	0,053 \pm 0,04	4,11 \pm 1,62	0	0	4,73 \pm 1,54
	Petites-Battures-Est	49,783542, -64,399317	4,0	2022	3,88 \pm 1,31	0,33 \pm 0,23	0,71 \pm 0,30	0	0,05 \pm 0,05	4,97 \pm 1,22
	Pointe-aux-Ivroignes-Ouest	49,777856, -64,366820	4,5	2022	0	0,78 \pm 0,29	0	0	1,31 \pm 1,29	2,09 \pm 1,46
			5,6	2021	3,24 \pm 1,71	0,50 \pm 0,13	0,06 \pm 0,06	0	0	3,81 \pm 1,69
	Pointe-aux-Ivroignes-Est	49,781426, -64,358808	5,5	2022	0,50 \pm 0,47	1,24 \pm 0,44	0	0	0	1,74 \pm 0,71
			6,9	2022	0	0,07 \pm 0,03	0	0,52 \pm 0,23	0	0,30 \pm 0,14
	Blue-Hole	49,787874, -64,355789	6,9	2022	0	0,07 \pm 0,03	0	0,52 \pm 0,23	0	0,30 \pm 0,14
	La-Tuque	49,793227, -64,359801	7,7	2022	0,82 \pm 0,22	0,02 \pm 0,02	0	0	0,07 \pm 0,03	0,91 \pm 0,24
	Gamache	49,792872, -64,339554	5,7	2022	2,55 \pm 0,47	0,20 \pm 0,05	0	0,49 \pm 0,37	0	3,24 \pm 0,53
	Cap-à-l'Aigle-Ouest 1	49,782592, -64,337332	5,0	2021	6,04 \pm 1,03	0,21 \pm 0,16	0,17 \pm 0,17	0	0	6,42 \pm 1,03
			4,8	2022	0,94 \pm 0,40	1,15 \pm 0,04	0,32 \pm 0,30	0,05 \pm 0,03	0	2,46 \pm 0,69
	Cap-à-l'Aigle-Ouest 3	49,781709, -64,342253	7,7	2022	0	0,35 \pm 0,17	0	0,09 \pm 0,04	0	0,44 \pm 0,18
	Cap-à-l'Aigle-Est	49,770419, -64,319298	4,6	2022	0,92 \pm 0,28	0,94 \pm 0,34	0,52 \pm 0,36	0	0,17 \pm 0,13	2,56 \pm 0,54
Rivière-à-la-Loutre	49,603247, -63,797609	3,9	2021	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Pointe-Sud-Ouest	49,394833, -63,592408	4,7	2021	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Densité ($\text{individus}\cdot\text{m}^{-2}$)	Pointe-Sèche	49,917103, -64,429945	4,3	2021	39,56 \pm 23,75	20,89 \pm 10,98	0	0	0	60,44 \pm 23,10
	Pointe-Ouest	49,866069, -64,529297	5,7	2021	0	21,33 \pm 12,72	69,33 \pm 1,33	0	0	90,67 \pm 11,62
	Petites-Battures-Ouest 1	49,783606, -64,407798	5,0	2021	23,33 \pm 13,99	5,33 \pm 3,96	8,67 \pm 3,00	0	0	37,33 \pm 15,03
	Petites-Battures-Est	49,783542, -64,399317	4,0	2022	20,89 \pm 4,44	1,78 \pm 1,35	3,11 \pm 1,46	0	1,33 \pm 1,33	27,11 \pm 3,99
	Pointe-aux-Ivroignes-Ouest	49,777856, -64,366820	4,5	2022	0,44 \pm 0,44	16,89 \pm 8,24	0	0	19,56 \pm 19,06	36,89 \pm 20,11
			5,6	2021	36,44 \pm 16,06	54,22 \pm 26,04	0,89 \pm 0,89	0	0	91,56 \pm 24,10
	Pointe-aux-Ivroignes-Est	49,781426, -64,358808	5,5	2022	2,67 \pm 2,21	55,11 \pm 18,14	0	0	0	57,78 \pm 19,15
			6,9	2022	0	1,33 \pm 0,67	0	8,44 \pm 4,83	0	9,78 \pm 4,95
	Blue-Hole	49,787874, -64,355789	6,9	2022	0	1,33 \pm 0,67	0	8,44 \pm 4,83	0	9,78 \pm 4,95
	La-Tuque	49,793227, -64,359801	7,7	2022	31,11 \pm 7,08	0,44 \pm 0,44	0	0	1,77 \pm 0,97	33,33 \pm 7,02
	Gamache	49,792872, -64,339554	5,7	2022	52,00 \pm 7,83	4,00 \pm 0,94	0	7,11 \pm 2,09	0	63,11 \pm 8,74
	Cap-à-l'Aigle-Ouest 1	49,782592, -64,337332	5,0	2021	36,00 \pm 8,80	19,00 \pm 11,00	3,00 \pm 3,00	0	0	58,00 \pm 2,00
			4,8	2022	27,11 \pm 11,25	67,11 \pm 18,05	2,22 \pm 1,51	2,67 \pm 1,76	0	99,11 \pm 22,96
	Cap-à-l'Aigle-Ouest 3	49,781709, -64,342253	7,7	2022	0	19,56 \pm 8,47	0	7,56 \pm 3,80	0	27,11 \pm 10,28
	Cap-à-l'Aigle-Est	49,770419, -64,319298	4,6	2022	21,78 \pm 13,63	35,56 \pm 12,25	5,78 \pm 4,01	1,78 \pm 1,78	6,22 \pm 3,47	71,11 \pm 17,10
Rivière-à-la-Loutre	49,603247, -63,797609	3,9	2021	13,66 \pm 4,18	2,00 \pm 1,57	14,67 \pm 3,38	0	0	30,33 \pm 2,40	
Pointe-Sud-Ouest	49,394833, -63,592408	4,7	2021	48,11 \pm 6,89	4,00 \pm 1,30	3,22 \pm 1,76	15,11 \pm 5,39	0	70,41 \pm 7,92	

mesurée au site de Blue-Hole (BH; $9,8 \pm 5,0$ individus·m⁻²). Les densités moyennes étaient similaires en 2021 et en 2022 (test de Wilcoxon, $p = 0,142$). À l'inverse des densités, les biomasses étaient significativement plus élevées en 2021 qu'en 2022 (test de Wilcoxon, $p < 0,05$), et diminuaient avec l'augmentation de la profondeur (corrélations de Spearman, $p < 0,05$). Comme pour la densité, les maximums de biomasse ont principalement été mesurés à l'est de la Baie Ellis, au site de PB Est; ($5,0 \pm 1,2$ kg·m⁻²) et de Gamache ($3,24 \pm 0,53$ kg·m⁻²), et le minimum, au site de Blue-Hole ($0,3 \pm 0,1$ kg·m⁻²).

Les densités des espèces trouvées à chaque site illustrent la diversité des assemblages (figure 4). En août 2021, *S. latissima* était l'espèce atteignant la densité la plus élevée dans 4 des 7 sites visités (PS, PB Ouest 1, CAA Ouest 1, PSO), suivie par *H. nigripes/L. digitata* (PO, RL) et *A. esculenta* (PAI Est) (figure 4a). En juin 2022, *A. esculenta* était la laminaire en plus grande densité dans 4 des 9 sites échantillonnés (PAI Est, CAA Ouest 1, CAA Ouest 3, CAA Est), suivie par *S. latissima* (Gamache, PB Est, La-Tuque), *S. dermatodea* (PAI Ouest) et *A. clathratum* (Blue-Hole) (figure 4b). *A. esculenta* était la seule espèce de laminaire contenue dans tous les sites en 2021 et en 2022. En matière de biomasse, *S. latissima* était l'espèce dominante dans la plupart des sites en fin d'été 2021, à l'exception de PB Ouest 1, où *H. nigripes/L. digitata* était l'espèce dominante. En début d'été 2022, *A. esculenta*, *S. latissima*, *A. clathratum* et *S. dermatodea* dominaient en biomasse dans les sites où ces algues prévalaient aussi respectivement en densité.

Relations allométriques chez *Saccharina latissima*

Les relations allométriques entre la largeur, la longueur de la lame et la biomasse sèche de l'algue sont illustrées à la figure 5 pour les sites de PSO et de RL. La relation largeur-longueur au site de PSO ainsi que la relation longueur-biomasse au site de RL suivent des relations de puissance ($R^2 = 0,56$ et $0,96$, respectivement; $p < 0,05$), tandis que les relations largeur-longueur au site de RL, longueur-biomasse au site de PSO et largeur-biomasse aux sites de PSO et de RL sont décrites avec des fonctions linéaires (R^2 d'environ $0,87$, $0,60$, $0,76$ et $0,81$, respectivement; $p < 0,05$). La biomasse sèche augmentait avec la longueur de la lame selon une relation de puissance pour RL et linéaire pour PSO, alors que celle-ci variait de façon linéaire en fonction de la largeur aux 2 sites.

Discussion

Les assemblages diversifiés des platiers rocheux de l'île d'Anticosti

Situées à des profondeurs de 3 à 7,5 m, les forêts de laminaires explorées dans la partie sud-ouest de l'île d'Anticosti étaient dominées par les espèces pérennes *S. latissima*, *A. esculenta* et *H. nigripes/L. digitata*, avec la présence occasionnelle de *S. dermatodea*, une espèce annuelle à court cycle de vie (Keats, 1985). Contrairement à d'autres régions du système du Saint-Laurent dont les eaux peu profondes

subissent annuellement les perturbations causées par la glace de mer (Tamigneaux et Johnson, 2016), les eaux côtières de l'île d'Anticosti restent relativement libres de glace pendant l'hiver (Saucier et collab., 2003). Même en l'absence de pied de glace (c'est-à-dire la partie de la banquise qui atteint le fond et n'est pas déplacée par les marées), les espèces pérennes de laminaires se distribuent généralement à des profondeurs de 3 à 6 m sur les platiers rocheux, encadrées par les ceintures à *Fucales* à leur limite supérieure (Hop et collab., 2012; Tamigneaux et Johnson, 2016). La variabilité spatiale des assemblages peut être fortement influencée par les facteurs abiotiques locaux comme l'amplitude de la température ou le niveau d'exposition aux vagues (Burrows et collab., 2008; Dalby et collab., 1978). Certaines espèces comme *A. esculenta* et *L. digitata* tolèrent des niveaux d'exposition élevés tandis que *S. latissima* et *A. clathratum* préfèrent les eaux plus calmes (Graham et collab., 2016; Johnson et Mann, 1988; Kregting et collab., 2016; Smith, 1985). Les espèces opportunistes telles qu'*A. esculenta* et *S. dermatodea* peuvent rapidement coloniser les zones perturbées à la suite d'événements extrêmes causant des épisodes d'arrachage (p. ex., tempêtes) et dominer temporairement l'assemblage de laminaires localement (Bartsch et collab., 2008; Johnson et Mann, 1988; Tamigneaux et Johnson, 2016). Dans les eaux plus profondes (> 6 m), les laminaires étaient plus rares et seul l'agar criblé *A. clathratum* a été trouvé de façon éparsée ou en petits agrégats. À ces profondeurs, la combinaison d'une faible intensité lumineuse et du broutage par les oursins empêche généralement la formation de denses forêts de laminaires, au bénéfice de l'agar criblé qui est mieux adapté aux faibles luminosités et produit des composés phénoliques de défense contre le broutage (Estes et Steinberg, 1988; Himmelman, 1991; Himmelman et Nédélec, 1990; Vadas, 1969). Cependant, les densités d'oursins qui ont été mesurées occasionnellement en 2021 et en 2022 (environ 20 oursins·m⁻², $n = 22$ quadrats en 2021, données non publiées) n'atteignent pas les niveaux rapportés dans l'archipel de Mingan et ailleurs dans le golfe du Saint-Laurent (50 à 230 individus·m⁻²; Himmelman, 1991; Himmelman et Lavergne, 1985; Gagnon et collab., 2003; 2004; Johnson et collab., 2019; Narvaez Diaz, 2018). Ces observations suggèrent que le broutage par les oursins ne semble pas être un facteur limitant pour la profondeur de l'extension des forêts de laminaires du sud-ouest de l'île d'Anticosti. Cette rare coexistence de laminaires et d'oursins pourrait être reliée à la géologie de l'île. L'orientation quasi horizontale de strates bien définies (Petryk, 1981) produit de larges platiers rocheux peu profonds le long de la majeure partie du littoral de l'île d'Anticosti. Ainsi, bien que les laminaires ne prospèrent habituellement que dans un intervalle limité de profondeur, la pente graduelle du rivage crée de vastes zones horizontales qui peuvent accueillir des populations de laminaires denses à l'abri de la glace au-dessus et des oursins en dessous, ces derniers restant cantonnés à des zones où l'hydrodynamisme est plus faible (Kawamata, 2010; Scheibling et collab., 1999). Les platiers rocheux peu profonds de l'île créeraient ainsi un environnement favorable au développement des laminaires, mais défavorable aux oursins.

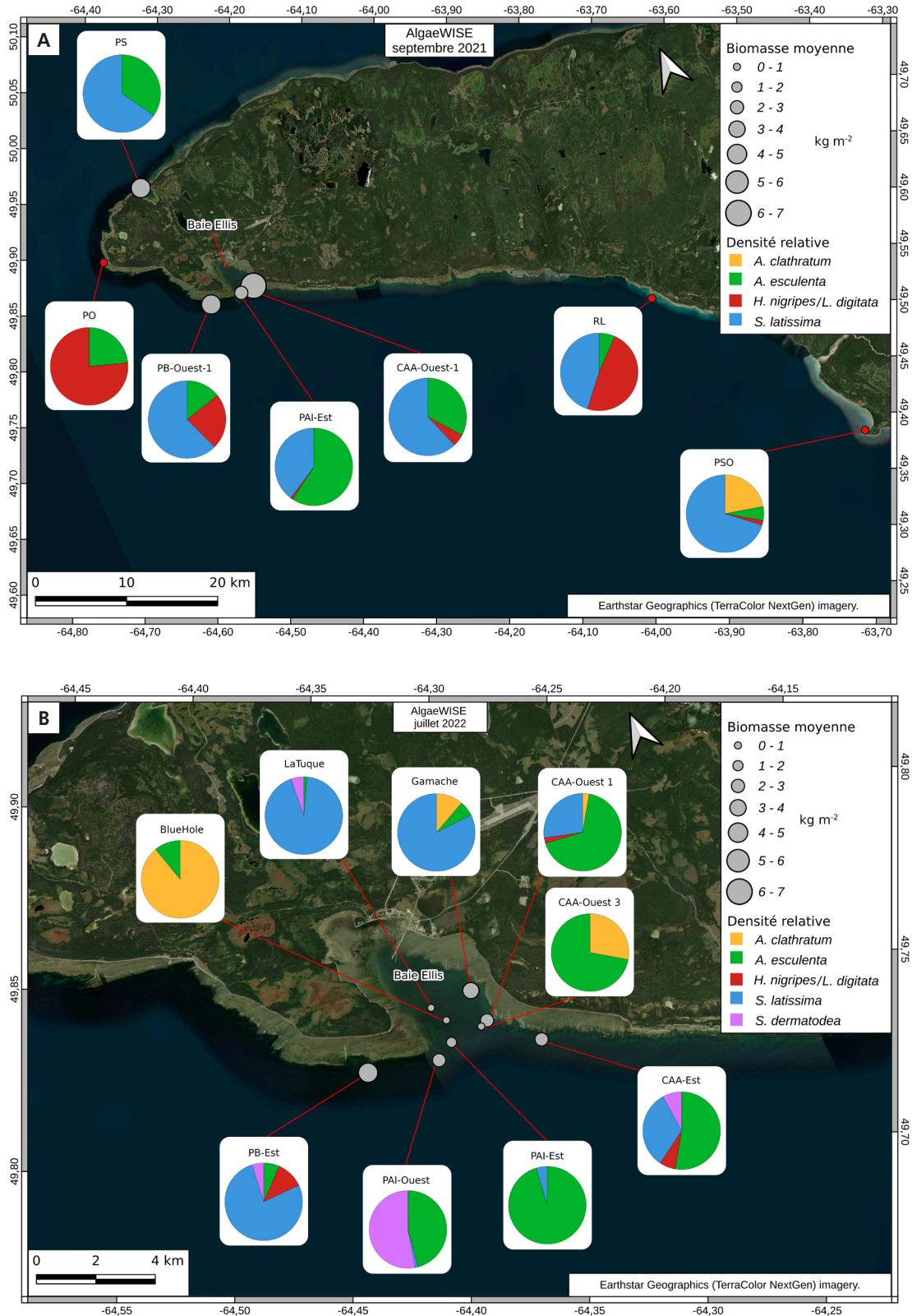


Figure 4. Biomasses humides moyennes (kg·m⁻²) et densités relatives des différentes espèces de laminaires par site A) en 2021 et B) en 2022. Les graphiques en pointe de tarte représentent la proportion de chaque espèce de linaire par mètre carré à chacun des sites. La taille des cercles gris illustre la biomasse moyenne (kg·m⁻²) récoltée dans l'ensemble des quadrats (n = 9) de chaque site. En 2021, quelques sites comportaient moins de 9 quadrats: PO (n = 3), PB Ouest 1 (n = 6), CAA Ouest 1 (n = 4), RL (n = 3). Les cercles rouges indiquent les sites sans biomasse. L'intervalle des biomasses moyennes inclut la limite inférieure et exclut la limite supérieure.

Pointe-Sud-Ouest

Rivière-à-la-Loutre

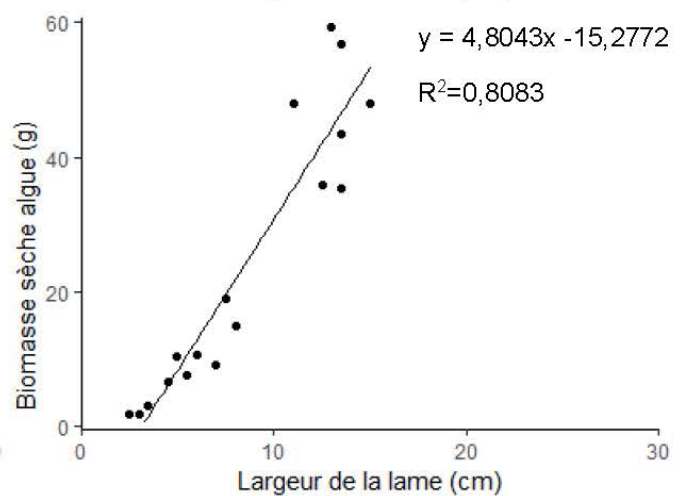
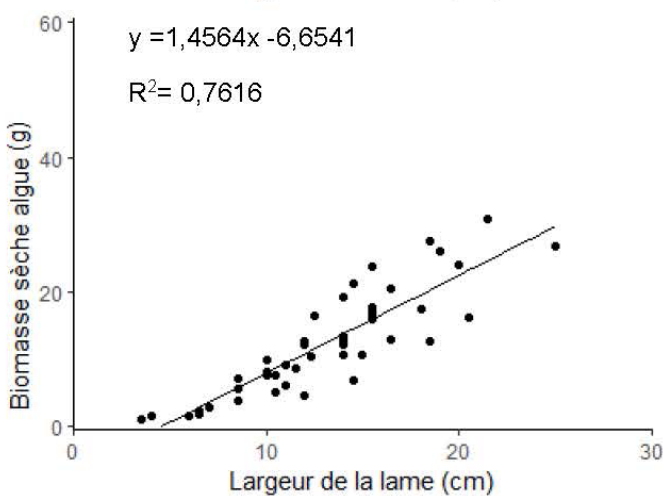
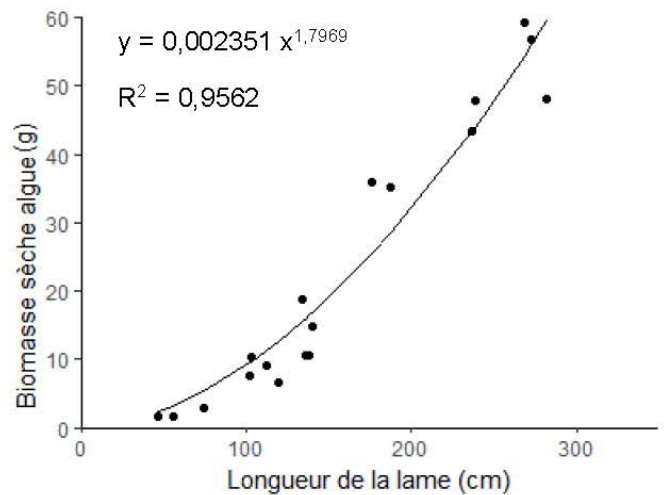
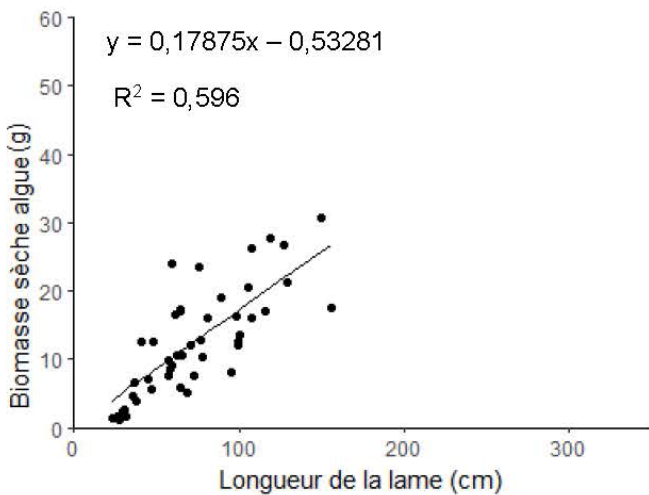
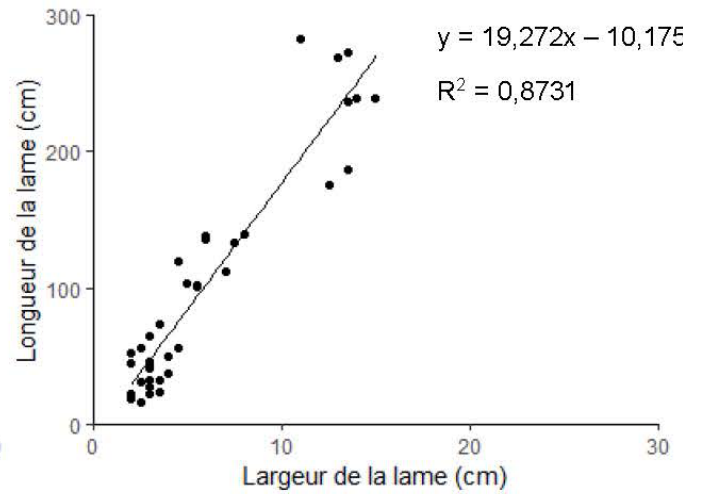
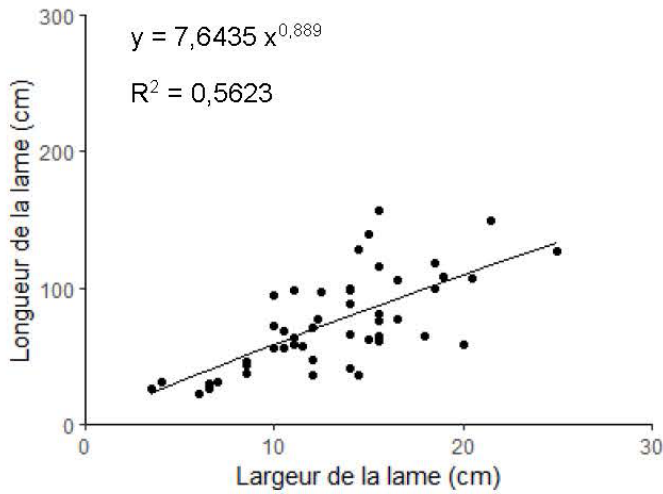


Figure 5. Relations allométriques entre les mesures morphologiques et la biomasse sèche de *Saccharina latissima* pour les sites de Pointe-Sud-Ouest (n = 46) et de Rivière-à-la-Loutre (n = 19) de la campagne 2021.

Des différences morphologiques locales chez *Saccharina latissima*

La plupart des individus de *S. latissima* observés à l'île d'Anticosti avaient de grandes frondes tombantes, érigées au bout d'un long stipe creux (figures 3A et 3H); morphotype autrefois décrit comme l'espèce *Saccharina longicuris* (McDevit et Saunders, 2010). Ce port érigé permettrait aux laminaires d'accéder à des intensités lumineuses plus fortes, mais aussi de créer une canopée plus aérée, propice au recrutement en sous-canopée (Johnson et Mann, 1988). La relation allométrique linéaire entre la largeur et la biomasse de l'algue décrite à l'île d'Anticosti serait ainsi caractéristique du morphotype *longicuris*. Celui-ci se démarquerait du morphotype présentant un stipe plein et une lame déployée sur le substrat, caractéristique de l'espèce autrefois nommée *Laminaria latissima* et dont la relation allométrique entre la largeur et la biomasse suit une forme de puissance (Campbell et Starko, 2021; Gevaert et collab., 2001). Les autres variations morphologiques de la laminaire sucrée, rapportées par diverses relations allométriques entre le site

de RL et celui de PSO, pourraient être liées à des conditions hydrodynamiques différentes, illustrant un phénomène d'écomorphose (Buck et Buchholz, 2005; Duggins et collab., 2003; Hurd et collab., 1994; Kregting et collab., 2016). La morphologie des lames de RL, qui sont en apparence plus longues, mais moins larges que celles de PSO, pourrait être liée à un taux de croissance plus élevé, et à un plus grand niveau d'exposition aux vagues (Zhu et collab., 2021). La relation allométrique linéaire observée à RL est d'ailleurs comparable à celle obtenue pour des laminaires cultivées en aquaculture, placées dans des conditions optimales de croissance (Gendron et collab., 2007; 2010). Il faut enfin souligner que les lames de *S. latissima* collectées au site de PSO étaient particulièrement endommagées à leur extrémité, renforçant la différence de relations allométriques entre les deux sites. Dans ce site plus calme au point de vue hydrodynamique, une augmentation de la température pourrait avoir provoqué un stress thermique, et accentué l'érosion apicale naturelle en fin d'été chez cette espèce (Dolliver et O'Connor, 2022).

Tableau 2. Biomasses (kg·m⁻²) et densités (individus·m⁻²) de laminaires de la Nouvelle-Écosse et de l'Arctique canadien colligées à partir de la littérature. ND: données non disponibles. Pour plus d'information sur les biomasses et les densités par espèce, consulter le tableau récapitulatif dans Merzouk et Johnson (2011).

Emplacement	Profondeur (m)	Année	Espèce de laminaires	Biomasse humide (kg·m ⁻²)	Densité (individus·m ⁻²)	Références
Île d'Anticosti	3,0-7,5	2021-2022	<i>Agarum clathratum</i> , <i>Alaria esculenta</i> , <i>Hedophyllum nigripes</i> / <i>Laminaria digitata</i> , <i>Saccharina latissima</i> , <i>Saccorhiza dermatodea</i>	0,3-6,4	10-99	Roy et collab., ce numéro
Îles Mingan	3,0-6,0	2000-2002	<i>A. esculenta</i>	ND	5-37	Gagnon et collab., 2004
Nouvelle-Écosse	5,0-10,0	1992-2002	<i>S. latissima</i>	ND	8-60	Scheibling et Gagnon, 2009
Nouvelle-Écosse	6,0-7,0	1992-1995	<i>S. latissima</i>	1,0-5,0	20-55	Scheibling et collab., 1999
Nouvelle-Écosse	4,0-6,0	2008-2009	<i>L. digitata</i>	0,5-9,0	ND	Krumhansl et Scheibling, 2011
			<i>S. latissima</i>	0,5-7,0	ND	
Nouvelle-Écosse			<i>A. clathratum</i> , <i>A. esculenta</i> , <i>L. digitata</i> , <i>S. latissima</i> , <i>S. dermatodea</i>	0,03-22,0	ND	
Maine	0,5-10,0	2000-2006	<i>A. clathratum</i> , <i>A. esculenta</i> , <i>L. digitata</i> , <i>S. latissima</i>	2,0-24,2	ND	Adey et Hayek, 2011
Terre-Neuve			<i>A. esculenta</i> , <i>L. digitata</i> , <i>S. latissima</i> , <i>A. clathratum</i>	0,07-12,7	ND	
Baie d'Hudson et baie d'Ungava	10,0-12,0	2005-2006	<i>A. clathratum</i> , <i>A. esculenta</i> , <i>L. digitata</i> , <i>Laminaria solidungula</i> , <i>Saccharina groenlandica</i> , <i>S. latissima</i>	2,9-11,8	12-39	Sharp et collab., 2008
Arctique canadien	5,0-15,0	2011-2012, 2019-2020	<i>A. clathratum</i> , <i>A. esculenta</i> , <i>S. latissima</i> , <i>L. solidungula</i> , <i>H. nigripes</i> / <i>L. digitata</i>	0,5-6,5	ND	Filbee-Dexter et collab., 2022

L'île d'Anticosti, une zone de transition entre les écosystèmes tempérés froids et arctiques

Les assemblages de laminaires de l'île d'Anticosti s'apparentent à ceux auparavant décrits pour l'archipel de Mingan, à moins de 50 km au nord de l'île (Gagnon et collab., 2004; Himmelman, 1991). Gagnon et collab. (2004) ont échantillonné à des profondeurs semblables (3-6 m) à celles auxquelles *A. esculenta* dominait en abondance à l'île d'Anticosti, mais ils n'ont observé que quelques grands spécimens de *S. latissima*, ce qui contraste avec les forêts denses trouvées dans la plupart des sites en 2021 et dans ceux de la baie Ellis en 2022. À plus grande échelle, les forêts de laminaires de l'île d'Anticosti sont une transition entre les forêts tempérées froides et arctiques, comprenant des espèces de laminaires des régions du sud de l'Atlantique Nord-Est et plusieurs espèces de l'Arctique canadien (tableau 2). Certaines espèces polaires telles que *Laminaria solidungula* n'ont pas été observées au sud-ouest de l'île d'Anticosti, ce qui pourrait s'expliquer par des températures plus élevées (4 à 18°C) que celles des eaux arctiques (Assis et collab., 2018; Filbee-Dexter et collab., 2022). Les conditions environnementales subarctiques de l'île d'Anticosti peuvent limiter la production de biomasse des espèces tempérées comme la laminaire sucrée et la laminaire digitée. En effet, les biomasses de laminaires mesurées à l'île d'Anticosti, bien que comparables à celles de l'Atlantique Nord-Est et de l'Arctique, sont très inférieures aux données enregistrées plus au sud de leur aire de répartition comme en Nouvelle-Écosse (22,0 kg·m⁻²) ou dans le golfe du Maine (24,2 kg·m⁻²) (Adey et Hayek, 2011). Ces différences de productivité pourraient s'expliquer par des conditions plus favorables à la croissance dans le sud de l'aire de répartition : températures proches de la température optimale pendant une plus longue période et une absence de couvert de glace hivernale qui, lorsque présent, réduit la lumière et affecte la production primaire (Bolton et Lüning, 1982; Gendron et Tamigneaux, 2008). Cette différence de biomasse ne se trouve pas dans les densités mesurées qui sont au contraire plus élevées à l'île d'Anticosti que dans les autres régions recensées. La disponibilité du substrat sur les platiers de l'île d'Anticosti et la faible abondance des oursins pourraient expliquer le fait que les forêts de laminaires sont plus denses à l'île d'Anticosti que dans le reste de l'Atlantique Nord-Est et de l'Arctique (Filbee-Dexter et collab., 2022; Scheibling et collab., 1999).

Conclusion

Les biomasses, les densités et les relations allométriques des laminaires de l'île d'Anticosti récoltées lors de cette étude représentent des données quantitatives uniques à ce jour pour cette région difficile d'accès. Quoique limitées en matière de zones décrites et d'aires échantillonnées, nos observations permettent d'émettre des hypothèses sur les facteurs écologiques structurant la distribution de ces forêts de laminaires en zone subarctique. Cependant, il est important de considérer que la saisonnalité marquée et la phénologie des espèces subarctiques peuvent influencer les profils de biomasse, les densités et les assemblages observés dans le sud-ouest de l'île d'Anticosti. Par

exemple, la sénescence des alaries en fin d'été mène à une perte de biomasse bien que la densité demeure inchangée. C'est pourquoi un échantillonnage plus étoffé des paramètres physicochimiques de l'environnement (p. ex., température, salinité) et de variables biologiques complémentaires (p. ex., recouvrement des frondes par les épibiontes, signes d'érosion apicale) de même que des suivis saisonniers plus réguliers seraient nécessaires pour mieux comprendre les schémas de distribution et de succession des forêts de laminaires de l'île d'Anticosti. Un inventaire détaillé de la biodiversité côtière ainsi que des suivis récurrents permettraient une meilleure description des écosystèmes marins de l'île, une mise en valeur des ressources côtières et une protection de ces zones riches et productives, en particulier dans le cadre d'une future inscription de l'île d'Anticosti sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO.

Remerciements

Cette étude est une contribution au projet Algae-WISE (S. Bélanger, UQAR), financé par l'appel à projets VITES (vols et investigations terrain en technologies et sciences spatiales) de l'Agence spatiale canadienne (n°19FARIMA15) et le temps-navire du Réseau Québec maritime n° OSL-2021-TN-05. La structure de plongée scientifique a été soutenue par un projet conjoint du regroupement interinstitutionnel Québec-Océan (chercheuse principale : F. Noisette).

Nous tenons à remercier toutes les participantes et tous les participants des campagnes 2021 et 2022 à l'île d'Anticosti : Bruno Cayouette, Léopold Ghinter, Khashiff Miranda, Geneviève Dupéré, Sara Garneau, ainsi que Véronique Thériault, Lauriane Belles-Isles, Isabelle Tessier et l'équipe de N2Pix pour leur support technique et logistique. Un grand merci également à la Municipalité de L'Île-d'Anticosti, à tous les membres de la communauté anticostienne et particulièrement à Sébastien DeNobile, Geneviève Fournaise, Gaétan Laprise et Katie Gagnon pour leur aide et leur appui. Nous tenons aussi à remercier l'équipe du *Naturaliste canadien* pour le travail de vérification technique, de révision linguistique et d'édition, ainsi que les experts scientifiques et le rédacteur adjoint qui ont commenté notre manuscrit dans le cadre du processus de révision par les pairs.

Toutes les laminaires récoltées lors de ces échantillonnages ont été déclarées dans les inventaires des collectes de permis de récolte n° QUE-PLANTES MARINES-013-2021 et n° QUE-PLANTES MARINES-013-2022 octroyés par Pêches et Océans Canada. ◀

Références

- ADAMS, J., 1938. Some marine algae from Anticosti island and the Gaspé peninsula. *Canadian Field-Naturalist*, 52 : 10-11.
- ADEY, W.H. et L.-A.C. HAYEK, 2011. Elucidating marine biogeography with macrophytes: Quantitative analysis of the North Atlantic supports the thermogeographic model and demonstrates a distinct Subarctic Region in the Northwestern Atlantic. *Northeastern Naturalist*, 18 : 1128. <https://doi.org/10.1656/045.018.m801>.
- ASSIS, J., ARAÚJO, M.B. et E.A. SERRÃO, 2018. Projected climate changes threaten ancient refugia of kelp forests in the North Atlantic. *Global Change Biology*, 24 : 5566. <https://doi.org/10.1111/gcb.13818>.

- BARTSCH, I., C. WIENCKE, K. BISCHOF, C.M. BUCHHOLZ, B.H. BUCK, A. EGGERT, P. FEUERPFEL, D. HANELT, S. JACOBSEN, R. KAREZ, U. KARSTEN, M. MOLIS, M.Y. ROLEDA, H. SCHUBERT, R. SCHUMANN, K. VALENTIN, F. WEINBERGER et J. WIESE, 2008. The genus *Laminaria sensu lato*: Recent insights and developments. *European Journal of Phycology*, 43: 1-86. <https://doi.org/10.1080/09670260701711376>.
- BARTSCH, I., M. PAAR, S. FREDRIKSEN, M. SCHWANITZ, C. DANIEL, H. HOP et C. WIENCKE, 2016. Changes in kelp forest biomass and depth distribution in Kongsfjorden, Svalbard, between 1996–1998 and 2012–2014 reflect Arctic warming. *Polar Biology*, 39: 2021-2036. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1870-1>.
- BASAK, J.K., W. QASIM, F.G. OKYERE, F. KHAN, Y.J. LEE, J. PARK et H.T. KIM, 2019. Regression analysis to estimate morphology parameters of pepper plant in a controlled greenhouse system. *Journal of Biosystems Engineering*, 44: 57-68. <https://doi.org/10.1007/s42853-019-00014-0>.
- BÉGIN, C., L.E. JOHNSON et J.H. HIMMELMAN, 2004. Macroalgal canopies: Distribution and diversity of associated invertebrates and effects on the recruitment and growth of mussels. *Marine Ecology Progress Series*, 271: 121-132. <https://doi.org/10.3354/meps271121>.
- BENNETT, S., T. WERNBERG, S.D. CONNELL, A.J. HOBDAV, C.R. JOHNSON et E.S. POLOCZANSKA, 2016. The 'Great Southern Reef': Social, ecological and economic value of Australia's neglected kelp forests. *Marine and Freshwater Research*, 67: 47-56. <https://doi.org/10.1071/MF15232>.
- BERTOCCI, I., R. ARAÚJO, P. OLIVEIRA et I. SOUSA-PINTO, 2015. Potential effects of kelp species on local fisheries. *Journal of Applied Ecology*, 52: 12161226. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12483>.
- BOLTON, J.J. et K. LÜNING, 1982. Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic *Laminaria* species (Phaeophyta) in culture. *Marine Biology*, 66: 89-94. <https://doi.org/10.1007/BF00397259>.
- BRINGLOE, T.T., D.P. WILKINSON, J. GOLDSMIT, A.M. SAVOIE, K. FILBEE-DEXTER, K.A. MACGREGOR, K. HOWLAND, C.W. MCKINDSEY et H. VERBRUGGEN, 2022. Arctic marine forest distribution models showcase potentially severe habitat losses for cryophilic species under climate change. *Global Change Biology*, 28: 37113727. <https://doi.org/10.1111/gcb.16142>.
- BUCK, B.H. et C.M. BUCHHOLZ, 2005. Response of offshore cultivated *Laminaria saccharina* to hydrodynamic forcing in the North Sea. *Aquaculture*, 250: 674691. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.062>.
- BURROWS, M.T., R. HARVEY et L. ROBB, 2008. Wave exposure indices from digital coastlines and the prediction of rocky shore community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 353: 1-12. <https://doi.org/10.3354/meps07284>.
- CAMPBELL, J. et S. STARKO, 2021. Allometric models effectively predict *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) fresh weight at local scales. *Journal of Applied Phycology*, 33: 491-500. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02315-w>.
- CARDINAL, A., 1990. Répartitions biogéographiques des algues marines benthiques sur les côtes du Québec. *Le Naturaliste canadien*, 117: 167-182.
- COSTA, M., N. LE BARON, K. TENHUNEN, J. NEPHIN, P. WILLIS, J.P. MORTIMOR, S. DUDAS et E. RUBIDGE, 2020. Historical distribution of kelp forests on the coast of British Columbia: 1858–1956. *Applied Geography*, 120: 102230. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102230>.
- DALBY, D., E. COWELL, W. SYRATT et J. CROTHERS, 1978. An exposure scale for marine shores in western Norway. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 58: 975-996. <https://doi.org/10.1017/S0025315400056903>.
- DAYTON, P.K., 1985. Ecology of kelp communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16: 215-245. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.16.110185.001243>.
- DOLLIVER, J. et N.E. O'CONNOR, 2022. Estimating growth, loss and potential carbon sequestration of farmed kelp: A case study of *Saccharina latissima* at Strangford Lough, Northern Ireland. *Applied Phycology*, 3: 324339. <https://doi.org/10.1080/26388081.2022.2081934>.
- DRUEHL, L.D. et S.I. HSIANG, 1977. Intertidal kelp response to seasonal environmental changes in a British Columbia inlet. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34: 1207-1211. <https://doi.org/10.1139/f77-176>.
- DRUEHL, L.D., R. BAIRD, A. LINDWALL, K.E. LLOYD et S. PAKULA, 1988. Longline cultivation of some Laminariaceae in British Columbia, Canada. *Aquaculture Research*, 19: 253263. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1988.tb00428.x>.
- DUGGINS, D.O., J.E. ECKMAN, C.E. SIDDON et T. KLINGER, 2003. Population, morphometric and biomechanical studies of three understory kelps along a hydrodynamic gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 265: 57-76. <https://doi.org/10.3354/meps265057>.
- ELLIOTT SMITH, E.A. et M.D. FOX, 2022. Characterizing energy flow in kelp forest food webs: A geochemical review and call for additional research. *Ecography*, 2022: e05566. <https://doi.org/10.1111/ecog.05566>.
- ESTES, J.A. et P.D. STEINBERG, 1988. Predation, herbivory, and kelp evolution. *Paleobiology*, 14: 19-36. <https://doi.org/10.1017/S0094837300011775>.
- FILBEE-DEXTER, K., C.J. FEEHAN et R.E. SCHEIBLING, 2016. Large-scale degradation of a kelp ecosystem in an ocean warming hotspot. *Marine Ecology Progress Series*, 543: 141-152. <https://doi.org/10.3354/meps11554>.
- FILBEE-DEXTER, K., T. WERNBERG, S. FREDRIKSEN, K.M. NORDERHAUG et M.F. PEDERSEN, 2019. Arctic kelp forests: Diversity, resilience and future. *Global and Planetary Change*, 172: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.005>.
- FILBEE-DEXTER, K., K.A. MACGREGOR, C. LAVOIE, I. GARRIDO, J. GOLDSMIT, L. CASTRO DE LA GUARDIA, K.L. HOWLAND, L.E. JOHNSON, B. KONAR et C.W. MCKINDSEY, 2022. Sea iche and substratum shape extensive kelp forests in the Canadian Arctic. *Frontiers in Marine Science*, 9: 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.754074>.
- FOREMAN, R.E., 1984. Studies on *Nereocystis* growth in British Columbia, Canada. Dans: BIRD, C.J. et M.A. RAGAN (éd.). *Proceedings of the Eleventh International Seaweed Symposium held in Qingdao, People's Republic of China, 19-25 juin 1983*. Developments in Hydrobiology, vol. 22, Springer, Dordrecht, p. 325-332. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6560-7_65.
- GAGNON, P., J.H. HIMMELMAN et L.E. JOHNSON, 2003. Algal colonization in urchin barrens: Defense by association during recruitment of the brown alga *Agarum cribrosum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 290: 179196. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00077-7).
- GAGNON, P., J.H. HIMMELMAN et L.E. JOHNSON, 2004. Temporal variation in community interfaces: Kelp-bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens. *Marine Biology*, 144: 1191-1203. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1270-x>.
- GATTUSO, J.-P., B. GENTILI, C.M. DUARTE, J. KLEYPAS, J.J. MIDDELBURG et D. ANTOINE, 2006. Light availability in the coastal ocean: Impact on the distribution of benthic photosynthetic organisms and their contribution to primary production. *Biogeosciences*, 3: 489-513. <https://doi.org/10.5194/bg-3-489-2006>.
- GENDRON, L., P. GAUTHIER et G. SAVARD, 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2731: viii + 53 p. Disponible en ligne à: https://publications.gc.ca/collections/collection_2012/mpo-dfo/Fs97-6-2731-fra.pdf.
- GENDRON, L. et E. TAMIGNEAUX, 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007: essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec). Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2820: x + 48 p. Disponible en ligne à: https://publications.gc.ca/collections/collection_2012/mpo-dfo/Fs97-6-2820-fra.pdf.
- GENDRON, L., E. TAMIGNEAUX, C. LEROUX et M.-J. LEBLANC, 2010. Ajustements du calendrier de culture de la laminaria à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 284: vii + 44 p. Disponible en ligne à: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/library-bibliotheque/342687.pdf>.
- GEVAERT, F., D. DAVOULT, A. CREACH, R. KLING, M.-A. JANQUIN, L. SEURONT et Y. LEMOINE, 2001. Carbon and nitrogen content of *Laminaria saccharina* in the eastern English Channel: Biometrics and seasonal variations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81: 727-734. <https://doi.org/10.1017/S0025315401004532>.

- GOLDSMIT, J., R.W. SCHLEGEL, K. FILBEE-DEXTER, K.A. MACGREGOR, L.E. JOHNSON, C.J. MUNDY, A.M. SAVOIE, C.W. MCKINDSEY, K.L. HOWLAND et P. ARCHAMBAULT, 2021. Kelp in the Eastern Canadian Arctic: Current and future predictions of habitat suitability and cover. *Frontiers in Marine Science*, 18: 742209. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.742209>.
- GRAHAM, L.E., J.M. GRAHAM, M.E. COOK et L.W. WILCOX, 2016. *Algae*. Pearson Education, San Francisco, CA, 616 p.
- HIMMELMAN, J., 1991. Diving observations of subtidal communities in the northern Gulf of St. Lawrence. Dans: THERRIAULT, J.-C. (édit.). *Le Golfe du Saint-Laurent : petit océan ou grand estuaire ? Comptes-rendus d'un atelier/symposium tenu à l'Institut Maurice-Lamontagne (Mont-Joli) du 14 au 17 mars 1989*. Ministère des Pêches et des Océans, Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 113, p. 319-332. Disponible en ligne à : https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/mpo-dfo/Fs41-31-113.pdf.
- HIMMELMAN, J.H. et Y. LAVERGNE, 1985. Organization of rocky subtidal communities in the St. Lawrence Estuary. *Le Naturaliste canadien*, 112: 143-154.
- HIMMELMAN, J.H. et H. NÉDÉLEC, 1990. Urchin foraging and algal survival strategies in intensely grazed communities in eastern Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47: 1011-1026. <https://doi.org/10.1139/f90-116>.
- HOP, H., C. WIENCKE, B. VÖGELE et N.A. KOVALTCHOUK, 2012. Species composition, zonation, and biomass of marine benthic macroalgae in Kongsfjorden, Svalbard. *Botanica Marina*, 55: 399-414. <https://doi.org/10.1515/bot-2012-0097>.
- HURD, C.L., M. QUICK, C.L. STEVENS, B.E. LAVAL, P.J. HARRISON et L.D. DRUEHL, 1994. A low-volume flow tank for measuring nutrient uptake by large macrophytes. *Journal of Phycology*, 30: 892-896. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00892.x>.
- JACKSON, G.A. et C.D. WINANT, 1983. Effect of a kelp forest on coastal currents. *Continental Shelf Research*, 2: 75-80. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(83\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0278-4343(83)90023-7).
- JOHNSON, C.R. et K.H. MANN, 1988. Diversity, patterns of adaptation, and stability of Nova Scotian kelp beds. *Ecological Monographs*, 58: 129-154. <https://doi.org/10.2307/1942464>.
- JOHNSON, L.E., K.A. MACGREGOR, C.A. NARVAEZ, T.S. SUSKIEWICZ, S. HAWKINS, K. BOHN, L. FIRTH et G. WILLIAMS, 2019. Subtidal rocky shores of the north-west Atlantic Ocean: The complex ecology of a simple ecosystem. Dans: HAWKINS, S.J., K. BOHN, L.B. FIRTH et G.A. WILLIAMS (édit.). *Interactions in the marine benthos: Global patterns and processes*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 90-127. <https://doi.org/10.1017/9781108235792.006>.
- JONES, C.G., J.H. LAWTON et M. SHACHAK, 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373-386. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14.
- KAWAMATA, S., 2010. Inhibitory effects of wave action on destructive grazing by sea urchins: A review. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, 32: 95-102. Disponible en ligne à : <http://tuna.fra.affrc.go.jp/bulletin/bull/bull32/95-102.pdf>.
- KEATS, D., G. SOUTH et D. STEELE, 1985. Algal biomass and diversity in the upper subtidal at a pack-ice disturbed site in eastern Newfoundland. *Marine Ecology Progress Series*, 25: 151-158. <https://doi.org/10.3354/meps025151>.
- KRAUSE-JENSEN, D., N. MARBÀ, B. OLESEN, M.K. SEJR, P.B. CHRISTENSEN, J. RODRIGUES, P.E. RENAUD, T.J.S. BALSLEY et S. RYSGAARD, 2012. Seasonal sea ice cover as principal driver of spatial and temporal variation in depth extension and annual production of kelp in Greenland. *Global Change Biology*, 18: 2981-2994. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02765.x>.
- KREGTING, L., A.J. BLIGHT, B. ELSÄSSER et G. SAVIDGE, 2016. The influence of water motion on the growth rate of the kelp *Laminaria digitata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 478: 8695. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.02.006>.
- KRUMHANS, K.A. et R.E. SCHEIBLING, 2011. Detrital production in Nova Scotian kelp beds: Patterns and processes. *Marine Ecology Progress Series*, 421: 67-82. <https://doi.org/10.3354/meps08905>.
- KRUMHANS, K.A. et R.E. SCHEIBLING, 2012. Production and fate of kelp detritus. *Marine Ecology Progress Series*, 467: 281-302. <https://doi.org/10.3354/meps09940>.
- LAANAYA, F., A. ST-HILAIRE et E. GLOAGUEN, 2017. Water temperature modelling: Comparison between the generalized additive model, logistic, residuals regression and linear regression models. *Hydrological Sciences Journal*, 62: 1078-1093. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1246799>.
- LECLERC, J.-C., P. RIERA, C. LEROUX, L. LÉVÊQUE et D. DAVOULT, 2013. Temporal variation in organic matter supply in kelp forests: Linking structure to trophic functioning. *Marine Ecology Progress Series*, 494: 87-105. <https://doi.org/10.3354/meps10564>.
- LING, S., R. SCHEIBLING, A. RASSWEILER, C. JOHNSON, N. SHEARS, S. CONNELL, A. SALOMON, K. NORDERHAUG, A. PÉREZ-MATUS et J. HERNÁNDEZ, 2015. Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370: 1-10. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0269>.
- MACREADIE, P.I., A. ANTON, J.A. RAVEN, N. BEAUMONT, R.M. CONNOLLY, D.A. FRIESS, J.J. KELLEWAY, H. KENNEDY, T. KUWAE, P.S. LAVERY, C.E. LOVELOCK, D.A. SMALE, E.T. APOSTOLAKI, T.B. ATWOOD, J. BALDOCK, T.S. BIANCHI, G.L. CHMURA, B.D. EYRE, J.W. FOURQUREAN, J.M. HALL-SPENCER, M. HUXHAM, I.E. HENDRIKS, D. KRAUSE-JENSEN, D. LAFFOLEY, T. LUISSETTI, N. MARBA, P. MASQUE, K.J. MCGLATHERY, J.P. MEGONIGAL, D. MURDIYARSO, B.D. RUSSELL, R. SANTOS, O. SERRANO, B.R. SILLIMAN, K. WATANABE et C.M. DUARTE, 2019. The future of blue carbon science. *Nature Communications*, 10: 3998. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11693-w>.
- MCDEVIT, D.C. et G.W. SAUNDERS, 2010. A DNA barcode examination of the Laminariaceae (Phaeophyceae) in Canada reveals novel biogeographical and evolutionary insights. *Phycologia*, 49: 2352-248. <https://doi.org/10.2216/PH09-36.1>.
- MERZOUK, A. et L.E. JOHNSON, 2011. Kelp distribution in the northwest Atlantic Ocean under a changing climate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400: 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.020>.
- MILLER, R.J. et H.M. PAGE, 2012. Kelp as a trophic resource for marine suspension feeders: A review of isotope-based evidence. *Marine Biology*, 159: 1391-1402. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1929-2>.
- [MPO] PÊCHES ET OCÉAN CANADA, 2022. Niveaux – Relatifs aux zéros des cartes. Disponible en ligne à : <https://www.marees.gc.ca/fr/stations/02360/2022-09-04?tz=EST&unit=m>. [Visité le 2022-12-20].
- NARVAEZ DIAZ, C., 2018. Green urchin demography in a subarctic ecosystem: Patterns and processes. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 118 p. Disponible en ligne à : <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/9146adf2-605f-410d-b55d-b424f39d1129/content>.
- NEIVA, J., E.A. SERRÃO, C. PAULINO, L. GOUVEIA, A. WANT, É. TAMIGNEAUX, M. BALLENGHIEN, S. MAUGER, L. FOUQUEAU, C. ENGEL-GAUTIER, C. DESTOMBE et M. VALERO, 2020. Genetic structure of amphi-Atlantic *Laminaria digitata* (Laminariales, Phaeophyceae) reveals a unique range-edge gene pool and suggests post-glacial colonization of the NW Atlantic. *European Journal of Phycology*, 55: 5175-28. <https://doi.org/10.1080/09670262.2020.1750058>.
- NOISSETTE, F. et C. HURD, 2018. Abiotic and biotic interactions in the diffusive boundary layer of kelp blades create a potential refuge from ocean acidification. *Functional Ecology*, 32: 1329-1342. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13067>.
- NOZÈRES, C., M.-N. BOURASSA, M.-H. GENDRON, S. PLOURDE, C. SAVENKOFF, H. BOURDAGES, H. BENOÎT et F. BOLDUC, 2015. Using annual ecosystemic surveys to assess biodiversity in the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 3149, Pêches et Océans Canada, 126 p. Disponible en ligne à : https://publications.gc.ca/collections/collection_2015/mpo-dfo/Fs97-6-3149-eng.pdf.
- [OGSL] OBSERVATOIRE GLOBAL DU SAINT-LAURENT, 2022. Banque de données sur les macroalgues marines de l'estuaire et du golfe Saint-Laurent. Disponible en ligne à : <https://catalogue.ogsl.ca/fr/dataset/34c94109-73fb-49ef-a595-c8e20203df5c>.
- OJEDA, F.P. et B. SANTELICES, 1984. Invertebrate communities in holdfasts of the kelp *Macrocystis pyrifera* from southern Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 16: 65-73. <http://doi.org/10.3354/meps016065>.

- PÉROT, A. et V. PROVOST, 2008. Guide d'intervention en matière de protection et de mise en valeur des habitats littoraux d'intérêt dans la MRC de la Minganie. Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, vii + 127 p. Disponible en ligne à : https://catalogue.ogsl.ca/data/zip-cote-nord/047884fc-e80b-4a18-a170-083371ce5833/guide_minganie.pdf.
- PETRYK, A.A., 1981. Géologie de la partie ouest de l'île d'Anticosti : rapport préliminaire. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Direction générale des énergies conventionnelles, Québec, 45 p. Disponible en ligne à : <https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/DPV815/DPV815.pdf>.
- ROGERS-BENNETT, L. et C.A., CATTON, 2019. Marine heat wave and multiple stressors tip bull kelp forest to sea urchin barrens. *Scientific Reports*, 9: 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51114-y>.
- SAUCIER, F.J., F. ROY, D. GILBERT, P. PELLERIN et H. RITCHIE, 2003. Modeling the formation and circulation processes of water masses and sea ice in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108: 3269–3289. <https://doi.org/10.1029/2000JC000686>.
- SCHIEBLING, R.E., 2020. Interactions among lobsters, sea urchins, and kelp in Nova Scotia, Canada. Dans : DAVID, B., A. GUILLE et J.-P. FERAL (édit.), *Echinoderms through time*, CRC Press, London, p. 865-870.
- SCHIEBLING, R., et P. GAGNON, 2009. Temperature-mediated outbreak dynamics of the invasive bryozoan *Membranipora membranacea* in Nova Scotian kelp beds. *Marine Ecology Progress Series*, 390: 113. <https://doi.org/10.3354/meps08207>.
- SCHIEBLING, R.E., A.W. HENNIGAR et T. BALCH, 1999. Destructive grazing, epiphytism, and disease: The dynamics of sea urchin - kelp interactions in Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56: 2300-2314. <https://doi.org/10.1139/f99-163>.
- SCHIEBLING, R.E., C.J. FEEHAN et J.-S. LAUZON-GUAY, 2013. Climate change, disease and the dynamics of a kelp-bed ecosystem in Nova Scotia. Dans : FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., L. DE NASCIMENTO, J.C. HERNÁNDEZ, S. CLEMENTE, A. GONZÁLEZ et J.P. DÍAZ-GONZÁLEZ (édit.). *Climate change perspectives from the Atlantic: Past, present and future*. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, p. 361-387. Disponible en ligne à : <https://riull.uil.es/xmliui/bitstream/handle/915/23542/23%20Intro%20Libro%20Climate%20change%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- SCHMIDT, A.L. et R.E. SCHIEBLING, 2006. A comparison of epifauna and epiphytes on native kelps (*Laminaria* species) and an invasive alga (*Codium fragile* ssp. *tomentosoides*) in Nova Scotia, Canada. *Botanica Marina*, 49: 315-330. <https://doi.org/10.1515/BOT.2006.039>.
- SCHROEDER, S.B., L. BOYER, F. JUANES et M. COSTA, 2020. Spatial and temporal persistence of nearshore kelp beds on the west coast of British Columbia, Canada using satellite remote sensing. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6: 327-343. <https://doi.org/10.1002/rse2.142>.
- SHARP, G., M. ALLARD, A. LEWIS, R. SEMPLE et G. ROCHEFORT, 2008. The potential for seaweed resource development in subarctic Canada; Nunavik, Ungava Bay. *Journal of Applied Phycology*, 20: 491-498. <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9323-7>.
- SMALE, D.A., 2020. Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, 225: 1447-1454. <https://doi.org/10.1111/nph.16107>.
- SMALE, D.A., M.T. BURROWS, P. MOORE, N. O'CONNOR et S.J. HAWKINS, 2013. Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: A northeast Atlantic perspective. *Ecology Evolution*, 3: 4016-4038. <https://doi.org/10.1002/ece3.774>.
- SMITH, B.D., 1985. Recovery following experimental harvesting of *Laminaria longicurvis* and *L. digitata* in southwestern Nova Scotia. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 39: 83-101. <https://doi.org/10.1007/BF01997523>.
- SMITH, K.E., P.J. MOORE, N.G. KING et D.A. SMALE, 2022. Examining the influence of regional-scale variability in temperature and light availability on the depth distribution of subtidal kelp forests. *Limnology and Oceanography*, 67: 314-328. <https://doi.org/10.1002/lno.11994>.
- SMOLIŃSKI, S. et K. RADTKE, 2017. Spatial prediction of demersal fish diversity in the Baltic Sea: Comparison of machine learning and regression-based techniques. *ICES Journal of Marine Science*, 74: 102-111. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw136>.
- SOUTH, G.R., 1984. A checklist of marine algae of eastern Canada, second revision. *Canadian Journal of Botany*, 62: 680-704. <https://doi.org/10.1139/b84-102>.
- ST-PIERRE, A.P. et P. GAGNON, 2020. Kelp-bed dynamics across scales: Enhancing mapping capability with remote sensing and GIS. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 522: 151246. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151246>.
- STAGNOL, D., M. MACÉ, C. DESTOMBE et D. DAVOULT, 2016. Allometric relationships for intertidal macroalgae species of commercial interest. *Journal of Applied Phycology*, 28: 3407-3411. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0860-1>.
- STARKO, S. et P.T. MARTONE, 2016. An empirical test of 'universal' biomass scaling relationships in kelps: Evidence of convergence with seed plants. *New Phytologist*, 212: 719-729. <https://doi.org/10.1111/nph.14120>.
- STARKO, S., L.A. BAILEY, E. CREVISTON, K.A. JAMES, A. WARREN, M.K. BROPHY, A. DANASEL, M.P. FASS, J.A. TOWNSEND et C.J. NEUFELD, 2019. Environmental heterogeneity mediates scale-dependent declines in kelp diversity on intertidal rocky shores. *PLoS ONE*, 14: e0213191. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213191>.
- STENECK, R.S., M.H. GRAHAM, B.J. BOURQUE, D. CORBETT, J.M. ERLANDSON, J.A. ESTES et M.J. TEGNER, 2002. Kelp forest ecosystems: Biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*, 29: 436-459. <https://doi.org/10.1017/s0376892902000322>.
- TAIT, L.W., 2019. Giant kelp forests at critical light thresholds show compromised ecological resilience to environmental and biological drivers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219: 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.026>.
- TAMIGNEAUX, É. et L.E. JOHNSON, 2016. Les macroalgues du Saint-Laurent : une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2): 62-73. <https://doi.org/10.7202/1036505ar>.
- TEAGLE, H., S.J. HAWKINS, P.J. MOORE et D.A. SMALE, 2017. The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 492: 81-98. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.017>.
- TUYA, F., K. LARSEN et V. PLATT, 2011. Patterns of abundance and assemblage structure of epifauna inhabiting two morphologically different kelp holdfasts. *Hydrobiologia*, 658: 373-382. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0527-x>.
- TWENHOFEL, W.H., 1927. Geological survey: Geology of Anticosti island. Department of Mines, Ottawa, 481 p.
- VADAS, R.L., 1969. The ecology of *Agarum* and the kelp bed community. Thèse de doctorat, Université de Washington, Washington, 560 p.
- VÁSQUEZ, J.A., S. ZUÑIGA, F. TALA, N. PIAGET, D.C. RODRÍGUEZ et J.M.A. VEGA, 2014. Economic valuation of kelp forests in northern Chile: Values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology*, 26: 1081-1088. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0173-6>.
- WERNBERG, T., B.D. RUSSELL, P.J. MOORE, S.D. LING, D.A. SMALE, A. CAMPBELL, M.A. COLEMAN, P.D. STEINBERG, G.A. KENDRICK et S.D. CONNELL, 2011. Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400: 716. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.021>.
- WILSON, K.L., L.M. KAY, A.L. SCHMIDT et H.K. LOTZE, 2015. Effects of increasing water temperatures on survival and growth of ecologically and economically important seaweeds in Atlantic Canada: Implications for climate change. *Marine Biology*, 162: 2431-2444. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2769-7>.
- WILSON, K.L., M.A. SKINNER, H.K. LOTZE et C. SORTE, 2019. Projected 21st-century distribution of canopy-forming seaweeds in the Northwest Atlantic with climate change. *Diversity and Distributions*, 25: 582-602. <https://doi.org/10.1111/ddi.12897>.
- ZHU, G., A. EBBING, T.J. BOUMA et K.R. TIMMERMANS, 2021. Morphological and physiological plasticity of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) in response to different hydrodynamic conditions and nutrient availability. *Journal of Applied Phycology*, 33: 2471-2483. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02428-w>.

LA FAUNE, notre mission, notre passion!

Grâce à la générosité de nos donateurs
et aux contributions des chasseurs,
pêcheurs et piégeurs, 265 projets
de conservation de la faune ont
été soutenus en 2021-2022!



Hugues Déglaire / Québec couleur nature

› **Faites partie du mouvement faunique!**

Faites un don : www.fondationdelafaune.qc.ca



Gervais Comeau Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca · gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>