

État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2019

Jennifer L. Boldt, Ania Javorski et Peter C. Chandler (éditeurs)

Pêches et Océans Canada
Institut des sciences de la mer
9860, chemin West Saanich
Sidney (Colombie-Britannique) V8L 4B2

2020

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3377

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

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

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

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

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

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

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de Rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de Rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de Rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

2020

ÉTAT DES RESSOURCES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES ET DE CERTAINES
RESSOURCES HALIEUTIQUES DES ÉCOSYSTÈMES DES EAUX CANADIENNES
DU PACIFIQUE EN 2019

Jennifer L. Boldt¹, Ania Javorski² et Peter C. Chandler³ (éditeurs)

¹Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7
Canada
Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca

²Environmental Research & Consulting
103, place Berkeley
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 1L5
Canada
aniakjavorski@gmail.com

³Pêches et Océans Canada
Institut des sciences de la mer
9860, chemin West Saanich
Sidney (Colombie-Britannique) V8L 4B2
Canada
Peter.Chandler@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020.
N° de catalogue Fs97-6/3463F-PDF ISBN 978-0-660-42184-1 ISSN 1488-5379

La présente publication doit être citée comme suit :

Boldt, J.L., A. Javorski et P.C. Chandler (éd.) 2020. État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2019. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3377 : x + 288 p.

Table des matières

Résumé	viii
Points saillants, introduction et aperçu	1
1. Points saillants	2
2. Introduction	4
3. Aperçu et sommaire	7
4. Références	16
5. Remerciements	17
Rapports individuels sur les conditions dans le nord-est de l’océan Pacifique et sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique	18
6. Température du sol et conditions hydrologiques en 2019	19
7. Les vagues de chaleur marines sont-elles la nouvelle norme pour le nord-est de l’océan Pacifique?	26
8. Remontée et plongée d’eau sous l’effet du vent sur la côte nord-ouest de l’amérique du nord : période et ampleur	31
9. Courants, températures et tension du vent sur le plateau continental de la côte ouest de l’île de Vancouver	37
10. Température de la surface de la mer et salinité observées dans les stations côtières et aux bouées météorologiques en Colombie-Britannique, 2019	41
11. Concentration en oxygène dans les eaux de subsurface	47
12. Observations par satellite des eaux de la Colombie-Britannique	52
13. Concentrations océanographiques au large de la côte ouest de l’île de Vancouver : 2019 58	
14. Nutriments et phytoplancton le long de la ligne P sur la côte ouest de l’île de Vancouver 64	
15. Niveaux trophiques inférieurs dans le nord-est du Pacifique.....	70
16. Anomalies de la biomasse du zooplancton sur la côte ouest de la Colombie-Britannique en 2019	76
17. État et tendances de l’eulakane dans le sud de la Colombie-Britannique	83

18. Hareng du Pacifique en Colombie-Britannique, 2019	88
19. Répartition et abondance estivales du hareng du Pacifique sur le plateau continental de l'île de Vancouver	93
20. Relevés du saumon juvénile sur le plateau continental de l'île de Vancouver en 2019 ...	98
21. État du saumon du Pacifique au Canada en 2019	102
22. Indicateurs de rendement du saumon rouge sur toute la côte, aperçu régional des tendances, remontes en 2019 et perspectives pour 2020-2021	109
23. Relevés multispécifiques au chalut de fond à petites mailles sur la COIV (espèce ciblée : crevette océanique) : mise à jour jusqu'en 2019	116
24. Examen des relevés sur le poisson de fond en 2019	122
25. Répartition et abondance du merlu du Pacifique (<i>Merluccius productus</i>) en 2019	128
26. Tendances de l'abondance et de la répartition des pinnipèdes en Colombie-Britannique	134
27. Tendances du rétablissement des populations de mammifères marins : exemples récents dans les eaux canadiennes du Pacifique et interactions potentielles des écosystèmes	138
28. Tendances des populations d'oiseaux de mer et de baleine grise dans la réserve de parc national du Canada Pacific Rim	142
29. Observations d'oiseaux de mer sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique en 2019	148
30. État et tendances des écosystèmes – Indicateurs de la côte ouest de l'île de Vancouver	152
31. Passer à un plan de surveillance pour la zone de protection marine du mont sous-marin Sgaan Kinghlas- Bowie	160
32. Événements inhabituels survenus dans les eaux marines du Pacifique canadien en 2019	163
33. Les océans du Canada maintenant : rapports annuels sur l'état des océans du Canada	168
Rapports individuels sur les eaux intérieures (y compris le détroit de Georgie)	170
34. Propriétés de l'eau dans les bras de mer Rivers et Bute en 2019 par rapport à une série chronologique de 1951 à 2010	171
35. Observations du CO ₂ dans les régions côtières : 2019	177

36. Observations de la température, de la salinité et de l'oxygène dans la mer des Salish en 2019	183
37. Propriétés des eaux profondes et des eaux de surface de la mer des Salish en 2019 : instruments câblés et traversier	187
38. Période de prolifération phytoplanctonique printanière, productivité estivale interannuelle dans le détroit de Georgie	195
39. Dynamique saisonnière de la communauté phytoplanctonique dans la mer des Salish d'après les mesures par CLHP de 2015 à 2019	200
40. Proliférations phytoplanctoniques nuisibles dans la mer des Salish en 2019	207
41. La productivité primaire a-t-elle diminué dans la mer des Salish?.....	211
42. État et tendances du zooplancton dans le centre et le nord du détroit de Georgie en 2019	214
43. Relevés du hareng juvénile dans le détroit de Georgie.....	219
44. Les saumons juvéniles dans le détroit de Georgie en 2019.....	224
45. Le transect du bras de mer Saanich en 2019 : le lent rétablissement d'une population de coraux d'eau froide indique la vulnérabilité à un agent de stress climatique majeur	227
46. Expansions récentes de l'aire de répartition des invertébrés marins envahissants dans la région du Pacifique.....	233
47. Mise à jour concernant les rapports locaux sur l'état des océans côtiers : intégration des connaissances autochtones, de la science occidentale et de la science citoyenne	238
Rapports individuels sur la séance spéciale.....	241
48. Les vagues de chaleur marines de 2018 et 2019	242
49. Définir les vagues de chaleur marines – avons-nous bien compris?.....	248
50. Réactions du zooplancton sur la côte ouest de l'île de Vancouver à la vague de chaleur marine dans le nord-est de l'océan Pacifique	253
51. Impacts de la vague de chaleur marine de 2013 à 2016 sur le saumon rouge.....	260
Annexe 1 – Résumés des séances de présentation d'affiches.....	267
52. Données marines pour la Colombie-Britannique : un référentiel de données complet et un catalogue de cartes d'interprétation (http://sogDataCentre.ca)	268
53. Indicateurs pour la protection : évaluer le courant de marée comme indicateur de la biodiversité	269

54. L'approche du gouvernement ouvert au Secteur des sciences de la région Pacifique du MPO.....	272
55. Estimation de la vulnérabilité écologique aux changements climatiques dans les lieux de pêche historiques du Pacifique.....	274
56. Les régimes alimentaires des saumons adultes comme outil de surveillance des écosystèmes sur la côte de la Colombie-Britannique.....	278
57. Évaluation de l'habitat océanique des oiseaux de mer – Réserve nationale marine de faune des îles Scott.....	280
58. Les communautés microbiennes marines du détroit de Georgie à la côte centrale de la Colombie-Britannique.....	285
59. Régionalisation biogéochimique de l'océan côtier de la Colombie-Britannique.....	288
60. Composition en acides gras de la matière organique particulaire dans le nord du détroit de Georgie.....	289
61. L'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton.....	292
62. Biorégionalisation du zooplancton dans l'océan côtier de la Colombie-Britannique.....	298
63. Une climatologie du détroit de Georgie : l'ensemble de données de science citoyenne de la FSP 2015-2019.....	300
64. Les microcystines dans les eaux côtières du sud de la Colombie-Britannique et leurs effets sur la santé des saumons.....	304
65. Utiliser la saisonnalité pour suivre les masses d'eau dans un océan côtier.....	308
66. « Lacunes dans les données » sur les zones de protection marine.....	309
67. Les panneaux d'amarrage nous aident à en apprendre plus sur les débris marins et les espèces envahissantes.....	311
68. Estimation de l'abondance de la remonte de saumon rouge du Fraser à l'aide d'une méthode d'apprentissage machine.....	313
69. Abondance et tendances du thon blanc dans les ZEE canadienne et américaine dans le Pacifique.....	320
Annexe 2 – Ordre du jour de la réunion.....	323
Annexe 3 – Participants à la réunion.....	326

Abstract

Boldt, J.L., Javorski, A., and Chandler, P.C. (Eds.). 2020. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2019. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3377: x + 288 p.

Fisheries and Oceans Canada is responsible for the management and protection of marine resources on the Pacific coast of Canada. Oceanographically this area is a transition zone between coastal upwelling (California Current) and downwelling (Alaskan Coastal Current) regions. There is strong seasonality and considerable freshwater influence, and an added variability from coupling with events and conditions in the tropical and North Pacific Ocean. The region supports ecologically and economically important resident and migratory populations of invertebrates, groundfish, pelagic fishes, marine mammals and seabirds.

Since 1999 an annual State of the Pacific Ocean meeting has been held by DFO scientists in the Pacific Region to present the results of the most recent year's monitoring in the context of previous observations and expected future conditions. The workshop to review ecosystem conditions in 2019 was held March 10-11, 2020 at the Vancouver Island Conference Centre, Nanaimo, BC. This technical report includes submissions based on presentations and posters given at the meeting.

Climate change continues to be a dominant pressure acting on NE Pacific marine ecosystems. Globally, land and ocean temperatures in 2019 were the second warmest on record and the occurrence of marine heatwaves (MHWs) in the NE Pacific is increasing. The upwelling-favourable winds along the west coast of Vancouver Island started at an average spring date with above average intensity, implying average to above average upwelling of nutrient-rich waters and, hence, productivity. In the spring and summer of 2019, surface nutrient concentrations along Line P were among the lowest on record. Anomalously warm ocean temperatures have resulted in changes to the phytoplankton community offshore and to the zooplankton community on the shelf. Changes at higher trophic levels have also been observed. For example, the returns and productivity of Fraser River Sockeye Salmon were the lowest on record, Smooth Pink Shrimp biomass on the west coast of Vancouver Island was among the lowest on record, and growth rates of Cassin's auklet nestlings on Triangle Island (north of Vancouver Island) were below the long-term average.

In the Strait of Georgia, the spring bloom timing was similar to the long-term average – which implies good feeding conditions for juvenile fish. Zooplankton biomass was above the long-term average with positive biomass anomalies of important zooplankton prey for juvenile salmon and forage fish. Forage fish have shown varying trends; for example, Pacific Herring biomass decreased in the Strait of Georgia and multiple sizes of Northern Anchovy continued to be present in survey catches. There has been a coast-wide decline in the returns of most Chinook, Sockeye, and Chum Salmon stocks in B.C., and declines of Coho Salmon stocks in southern B.C.; whereas, some Pink salmon stocks have had good returns.

A special session focused on physical and biological consequences of MHWs and climate change. There were five presentations given by DFO and ECCC scientists that examined the characteristics and occurrences of recent MHWs, defining MHWs, zooplankton responses to MHWs, and the effects of MHWs on seabirds and Pacific Salmon.

Résumé

Boldt, J.L., A. Javorski et P.C. Chandler (éd.) 2020. État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2019. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3377 : x + 288 p.

Pêches et Océans Canada est chargé de la gestion et de la protection des ressources maritimes sur la côte Pacifique du Canada. Sur le plan océanographique, cette aire est une zone de transition entre les régions côtières de montée des eaux (courant de la Californie) et de plongée des eaux (courant côtier de l'Alaska). Cette région est assujettie à une forte saisonnalité et une forte incidence des eaux douces, et une variabilité supplémentaire provenant des phénomènes et des conditions des tropiques et de l'océan du Pacifique nord. La région soutient des populations résidentes et migratrices écologiquement et économiquement importantes d'invertébrés, de poissons de fond, de poissons pélagiques, de mammifères marins et d'oiseaux de mer.

Depuis 1999, une réunion annuelle sur l'État de l'océan Pacifique est tenue par les scientifiques du MPO dans la région du Pacifique pour présenter les résultats de la dernière année de surveillance dans le contexte d'observations précédentes, ainsi que les conditions futures escomptées. L'atelier tenu pour examiner les conditions de l'écosystème en 2019 a eu lieu les 10 et 11 mars 2020 au centre de conférence de l'île de Vancouver, à Nanaimo, en Colombie-Britannique. Ce rapport technique comprend des soumissions basées sur les présentations et les affiches distribuées à la réunion.

Les changements climatiques continuent de constituer une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du Pacifique nord-est. Mondialement, les températures terrestres et des océans en 2019 étaient les deuxièmes plus chaudes jamais enregistrées et les vagues de chaleur marines dans le Pacifique nord-est surviennent plus fréquemment. Les vents favorables à la montée des eaux le long de la côte ouest de l'île de Vancouver ont commencé à une date moyenne au printemps, mais à une intensité supérieure à la moyenne, ce qui donne à penser que la montée des eaux riches en nutriments, et, en conséquence, la productivité, seront moyennes ou supérieures à la moyenne. Au printemps et à l'été de 2019, les concentrations de surface en nutriments le long de la ligne P étaient parmi les plus faibles jamais enregistrées. Des températures océaniques anormalement chaudes ont entraîné des changements dans les communautés de phytoplancton au large des côtes et dans les communautés de zooplancton sur le plateau. On a également observé des changements à des niveaux trophiques supérieurs. Par exemple, la montaison et la productivité du saumon rouge du Fraser étaient les plus faibles jamais enregistrés, la biomasse de la crevette océanique sur la côte ouest de l'île de Vancouver était parmi les plus faibles enregistrées, et le taux de croissance des oisillons du Starique de Cassin sur l'île Triangle (au nord de l'île de Vancouver) était inférieur à la moyenne à long terme.

Dans le détroit de Géorgie, l'éclosion de printemps a eu lieu aux environs de la moyenne à long terme – ce qui suggère de bonnes conditions d'alimentation pour les poissons juvéniles. La biomasse du zooplancton était supérieure à la moyenne à long terme et comportait des anomalies de biomasse positives de proies importantes de zooplancton pour le saumon juvénile et les poissons-fourrages. Les poissons-fourrages ont montré des tendances variées; par

exemple, la biomasse du hareng du Pacifique a diminué dans le détroit de Géorgie et différentes tailles d'anchois du Pacifique ont continué d'être présentes dans les prises de levé. On a observé une baisse sur toute la côte de la montaison de la plupart des stocks de saumon chinook, rouge et kéta en Colombie-Britannique, et une baisse des stocks de saumon coho dans le sud de la C.-B. Dans le même temps, certains stocks de saumon rose ont eu une bonne montaison.

Une séance spéciale portait sur les conséquences physiques et biologiques des vagues de chaleur marines et des changements climatiques. Cinq présentations données par des scientifiques du MPO et d'ECCC examinaient les caractéristiques et les occurrences des récentes vagues de chaleur marines, en définissaient les vagues de chaleur marines, ainsi que les réponses du zooplancton, et les effets de ces vagues de chaleur sur les oiseaux de mer et le saumon du Pacifique.

Points saillants, introduction et aperçu

1. POINTS SAILLANTS

1. Les changements climatiques continuent de constituer une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du nord-est de l'océan Pacifique. En 2019, les températures des terres et des océans ont été les deuxièmes plus chaudes jamais enregistrées dans le monde.
2. L'occurrence des vagues de chaleur marines dans le nord-est de l'océan Pacifique augmente; on n'a pas observé d'années « normales » ou froides depuis 2013, et une période de sept années chaudes n'a été relevée qu'une fois en 80 ans (de 1992 à 1998).
3. L'acidification continuera de s'intensifier avec l'accroissement de l'apport de carbone d'origine anthropique. Dans le nord du détroit de Georgie, en 2019, presque tous les cas de conditions corrosives souterraines de la calcite, utilisée par de nombreux animaux à coquille ou carapace, étaient dus à l'accumulation de carbone anthropique.
4. Le nord-est de l'océan Pacifique reste chaud en raison d'un manque de refroidissement en automne et en hiver, ce qui entraîne une stratification accrue et une réduction du mélange vertical; les niveaux de nutriments dans les eaux de surface du large se trouvent alors réduits.
5. En 2019, les concentrations de surface en nutriments dans le nord-est de l'océan Pacifique au large des côtes étaient parmi les plus faibles jamais enregistrées. En particulier, pendant l'été, le nitrate de la couche de mélange était épuisé à la station météorologique Papa pour la première fois en 60 ans d'observations.
6. En 2019, les remontées des eaux froides et riches en nutriments sur la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) ont débuté à une date moyenne au printemps; au sud de 50° N (péninsule de Brooks), l'intensité des vents favorables aux remontées était supérieure à la moyenne, favorable à la productivité et à la croissance des poissons; au nord de 50° N, les vents favorables aux remontées étaient moyens à inférieurs à la moyenne.
7. Les températures anormalement élevées de l'océan ont entraîné des changements dans la communauté phytoplanctonique hauturière qui touchent non seulement le réseau trophique, mais aussi les niveaux d'oxygène et la biogéochimie de l'océan.
8. Le réchauffement des températures océaniques a provoqué des changements dans la communauté zooplanctonique. Sur la côte ouest de l'île de Vancouver, on a constaté une réduction de la biomasse des copépodes subarctiques riches en lipides et une augmentation de la biomasse des copépodes d'eau chaude, pauvres en lipides, et du zooplancton gélatineux. Ces changements ont eu un impact négatif sur les poissons (p. ex. les espèces de saumons du Pacifique) et les oiseaux de mer (p. ex. des épisodes de mortalité de Stariques de Cassin). Dans le détroit de Georgie, cependant, on a aussi constaté des anomalies positives de la biomasse des proies préférées des poissons (amphipodes hypéridés, décapodes et euphausiacés).

9. En 2019, la prolifération printanière dans le détroit de Georgie a eu lieu au même moment que les années précédentes, ce qui signifie de bonnes conditions d'alimentation pour les poissons juvéniles.
10. Depuis la vague de chaleur marine du « Blob » de 2014 à 2016, les Macareux rhinocéros ont consommé moins de lançons du Pacifique aux îles Triangle et Pine, et les Stariques de Cassin moins de *Neocalanus cristatus*, un copépode subarctique, à l'île Triangle. Ces observations permettent de penser que ces importantes espèces fourragères n'ont pas récupéré depuis le « Blob ».
11. On a observé une baisse sur toute la côte de la montaison de la plupart des stocks de saumon chinook (aussi appelé quinnat), rouge et kéta en Colombie-Britannique, et une baisse des stocks de saumon coho dans le sud de la province. Dans le même temps, certains stocks de saumon rose ont eu une bonne montaison. Les montaisons et la productivité du saumon rouge du fleuve Fraser ont été les plus faibles jamais enregistrées.
12. En 2019, la biomasse de hareng du Pacifique a légèrement augmenté dans le district de Prince Rupert et sur la côte centrale et la côte ouest de l'île de Vancouver, est restée faible à Haida Gwaii, et a diminué dans le détroit de Georgie. Le poids du hareng selon l'âge a continué à augmenter dans tous les stocks, après avoir montré une tendance à la baisse pendant 30 ans, d'environ 1980 à 2010.
13. Depuis l'arrêt de la chasse et de l'abattage des mammifères marins par l'homme, la population de phoques communs dans le détroit de Georgie a augmenté et se maintient à environ 40 000 individus depuis les années 1990. L'abondance des otaries de Steller en Colombie-Britannique s'est accrue dans les années 1990 à 2000 et s'établissait à environ 40 000 individus en 2017, le même niveau depuis 2013.
14. Alors que la population d'épaulard résident du sud reste faible, les populations d'épaulard résident du nord, d'épaulard de Bigg (migrateur) et de rorqual à bosse augmentent.

2. INTRODUCTION

La région du Pacifique de Pêches et Océans Canada (MPO) procède chaque année à un examen des conditions physiques, chimiques et biologiques de l'océan afin de dresser un tableau de l'évolution de l'océan et de faciliter la détermination précoce des changements importants susceptibles d'avoir un impact sur les utilisations et activités anthropiques liées à l'océan, et sur les avantages que les humains tirent de l'océan. Ces examens prennent la forme d'une réunion de deux jours, qui se tient généralement en février ou mars de l'année suivant l'année visée. La première réunion a eu lieu en 2000 pour évaluer les conditions en 1999; les rapports découlant de ces examens sont disponibles à l'adresse suivante (voir en bas de la page Web) :

<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/index-fra.html>

Les examens et les rapports de 2007 à 2013 ont été réalisés sous la direction du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) de Pêches et Océans Canada. Depuis 2014, ces examens de l'état de l'océan Pacifique ont fait l'objet d'un processus distinct et sont désormais présentés sous la forme de rapports techniques de Pêches et Océans Canada. Le rapport de 2019 (pour les conditions en 2018) est disponible à l'adresse suivante (en anglais seulement) :

<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-fra.html>

En 2020, la réunion sur les conditions observées sur la côte Ouest du Canada (figure 2-1) en 2019 a eu lieu les 10 et 11 mars au Vancouver Island Conference Centre, à Nanaimo (Colombie-Britannique). Plus de 200 personnes y ont participé directement ou par cyberconférence. Parmi les participants figuraient des scientifiques des gouvernements fédéral et provincial, des organisations des Premières Nations ou dirigées par des Autochtones, du milieu universitaire, des organisations sans but lucratif, de l'industrie et du secteur privé. Ces dernières années, la participation et les présentations de scientifiques ne faisant pas partie du

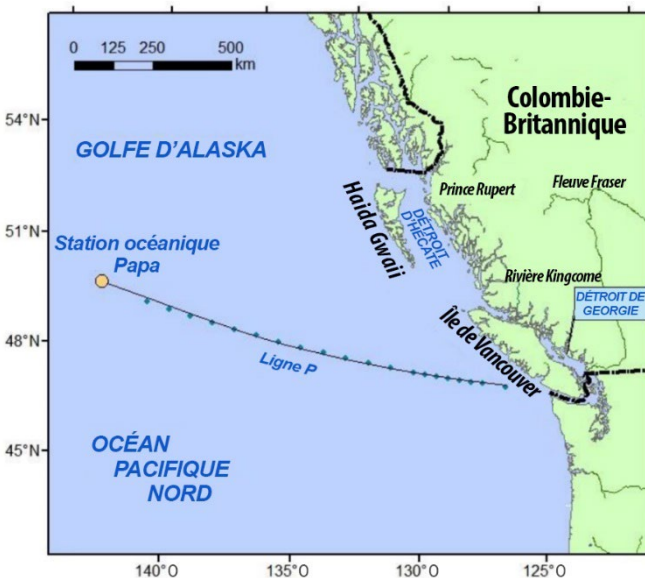


Figure 2-1. Carte des régions décrites dans ce rapport

MPO se sont accrues. Cela a permis d'élargir la perspective des activités scientifiques réalisées sur la côte Pacifique du Canada et des publics qui s'y intéressent.

L'aîné Snuneymuxw James Johnny a assuré l'accueil de la réunion et la cérémonie de clôture. La directrice des Sciences de la région du Pacifique du MPO, Carmel Lowe, a prononcé une allocution de bienvenue et a présenté la réunion sur l'état de l'océan Pacifique. La séance comptait 41 présentations orales et 19 affiches couvrant un éventail d'observations de 2019. L'une des présentations orales a été donnée par Kat Middleton (MPO), qui dirige l'initiative nationale de rapports

sur l'état des océans du MPO. Kat Middleton a souligné le rapport de synthèse national intitulé « Les océans du Canada maintenant » et a présenté les rapports régionaux achevés sur l'océan Atlantique et l'océan Arctique ainsi que les informations en ligne et les infographies connexes. Ils serviront d'exemples pour le rapport sur l'état de l'océan Pacifique au niveau national qui sera rédigé en 2020-2021. Aroha Miller (Ocean Watch et Ocean Wise Research Institute) a présenté une mise à jour sur l'état des rapports locaux sur les océans côtiers pour la baie Howe et la Colombie-Britannique : intégrer les connaissances autochtones, la science occidentale et la science citoyenne. Laís Chaves (Nation Haïda) et Cherisse DuPreez (MPO) ont donné une présentation conjointe décrivant le plan de surveillance de la ZPM du mont sous-marin SGaan Kīnghlas-Bowie.

Chaque réunion annuelle sur l'état de l'océan Pacifique comprend une séance spéciale. Cette année, elle était consacrée aux conséquences physiques et biologiques des vagues de chaleur marines et des changements climatiques. Cinq présentations données par des scientifiques du MPO et d'ECCE examinaient les caractéristiques et les occurrences des récentes vagues de chaleur marines, définissaient les vagues de chaleur marines, et décrivaient la réaction du zooplancton à vagues de chaleur ainsi que leurs effets de sur les oiseaux de mer et le saumon du Pacifique.

À la fin de la première journée, une séance de présentation par affiches a été organisée avec le soutien d'Ocean Networks Canada; dix-neuf affiches ont été présentées au Centre de conférence de l'île de Vancouver. Une affiche sur les événements marins inhabituels en 2019 permettait aux participants d'ajouter leurs propres observations. L'ordre du jour de la réunion est présenté à l'annexe 1, les résumés des affiches sont présentés à l'annexe 2 et les participants à la réunion sont énumérés à l'annexe 3. La réunion était coprésidée par Peter Chandler (Institut des sciences de la mer) et Jennifer Boldt (Station biologique du Pacifique), et organisée par Ania Javorski.

Le présent rapport technique contient des rapports sommaires des présentations et des discussions qui ont eu lieu pendant l'atelier, et en décrit les faits saillants. Ces rapports sommaires ne font pas l'objet d'un examen par les pairs et présentent l'état des données, l'interprétation et les connaissances à la date de cette réunion. Pour utiliser ces différentes présentations ou y faire référence, veuillez communiquer avec les auteurs concernés.



Les participants à la réunion de 2019 écoutent les mots d'ouverture de la directrice régionale des sciences du MPO, Carmel Lowe (en haut et en bas à droite), et de l'aîné Snuneymuxw, James Johnny (en bas à gauche); Stephen Page coordonne les commentaires des participants au webinaire et la séance d'affiches du soir suscite beaucoup de discussions (en bas au centre).

3. APERÇU ET SOMMAIRE

Les changements climatiques continuent de constituer une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du nord-est de l'océan Pacifique. En 2019, les températures des terres et des océans ont été les deuxièmes plus chaudes jamais enregistrées dans le monde. En Colombie-Britannique, les températures anormalement élevées de l'air ont atteint un pic au printemps, entraînant la fonte rapide et précoce d'un manteau neigeux hivernal presque normal (Anslow, section 6). L'enregistrement à long terme des températures de la surface de la mer (SST) recueillies aux phares de la côte de la Colombie-Britannique a montré que 2019 était une continuation de la période chaude qui a commencé en 2014 (Chandler, section 10). Si l'on superpose les oscillations pluriannuelles de la SST annuelle, on constate une tendance à long terme à la hausse des températures océaniques : $0,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ au cours des 100 dernières années (figure 3-1; Chandler, section 10). L'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère a entraîné une acidification des océans, qui continuera à s'intensifier avec la hausse de la teneur en carbone d'origine anthropique (Evans, section 35).

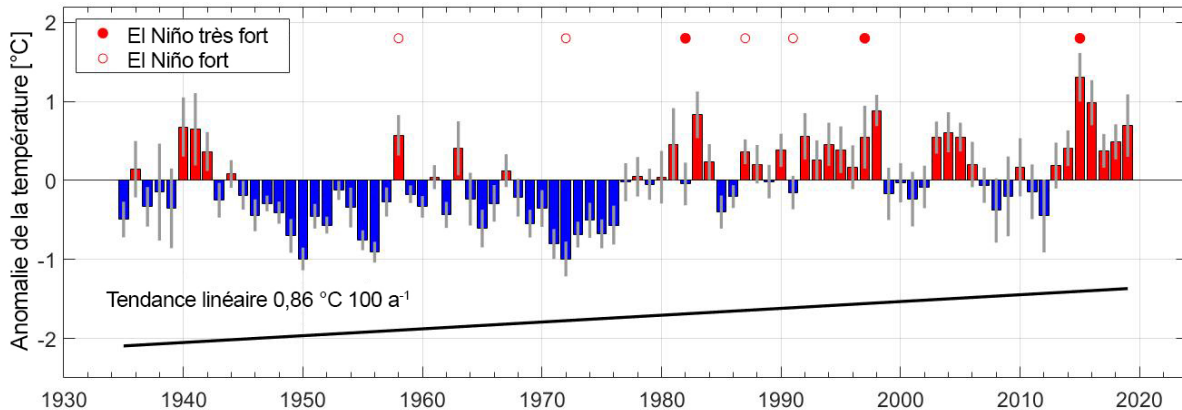


Figure 3-1. Tendence de la température annuelle d'après les observations de tous les phares. Les données indiquées sont les anomalies par rapport à la température moyenne à long terme (1935-2017). Les barres représentent la moyenne des anomalies sur toutes les stations (un indicateur pour toute la côte), (rouge – au-dessus de la moyenne, bleu – en dessous de la moyenne), les lignes grises verticales montrent la variabilité des données du phare pour chaque année. Source : Chandler, section 10.

En 2019, le nord-est de l'océan Pacifique a connu un El Niño modéré et une vague de chaleur marine. Le phénomène El Niño a été faible au premier semestre 2019 et neutre pour le second semestre, il a donc eu peu d'effet sur les températures de la surface de la mer (figure 3-2). La vague de chaleur marine a entraîné des anomalies records de la température de la surface de la mer dans les eaux de surface et de subsurface (figure 3-3; Ross et Robert, section 7; Sastri, section 13; Hannah *et al.*, section 48). La fréquence des vagues de chaleur marines augmente dans le nord-est de l'océan Pacifique; on en a observé de 2014 à 2016, en 2018 et en 2019; une période de sept années chaudes n'a été relevée qu'une fois en 80 ans (de 1992 à 1998; Chandler, section 49).

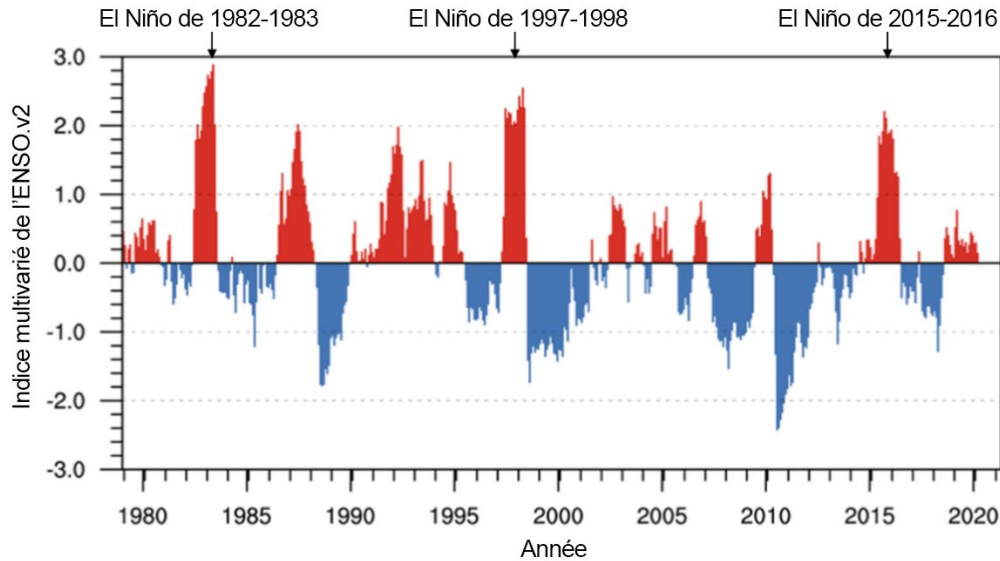


Figure 3-2. L'indice multivarié de l'oscillation méridionale El Niño (ENSO). Source des données : NOAA/ESRL/Physical Sciences Division – Université du Colorado à Boulder/CIRES; <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>

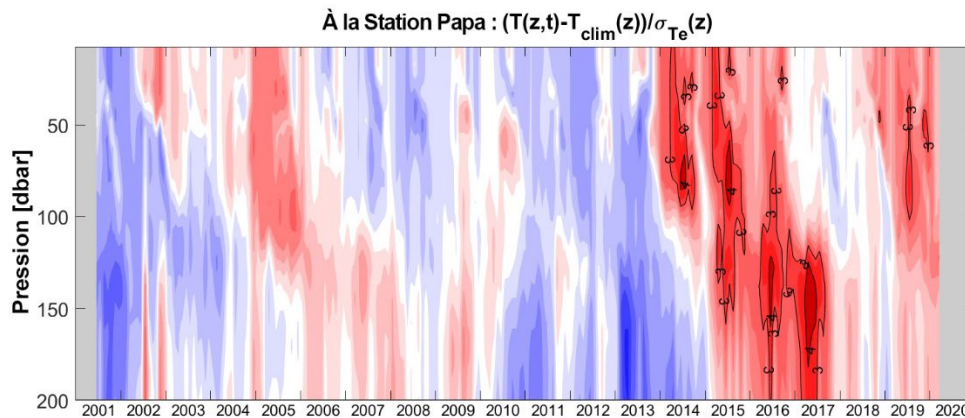


Figure 3-3. Graphique des anomalies de température par rapport à la moyenne désaisonnalisée de 1956 à 2012 et à l'écart-type (d'après la série chronologique de la ligne P), observées par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50° N, 145° O). Les couleurs froides indiquent des températures plus fraîches que la moyenne et les couleurs chaudes, des températures plus chaudes que la moyenne. Les couleurs sombres indiquent des anomalies importantes par rapport aux écarts-types de 1956 à 2012. Les lignes noires mettent en évidence les régions présentant des anomalies de 3 et 4 écarts-types au-dessus de la moyenne. Source : Ross et Robert, section 7.

Les vagues de chaleur marines sont associées à un mélange vertical réduit, qui entraîne une plus grande stratification hivernale. L'apport en nutriments des eaux profondes vers les eaux de surface du large est alors réduit. Pour cinq des six derniers hivers, la force du mélange hivernal a été faible et la stratification forte (figure 3-4; Ross et Robert, section 7). La réduction de la productivité de l'écosystème pendant les vagues de chaleur marines a été reconnue comme la cause de la diminution de l'abondance des copépodes boréaux riches en lipides (Galbraith et Young, section 16; Perry *et al.*, section 50), d'épisodes de mortalité d'oiseaux de mer (Jones *et al.* 2018), de la réduction de la taille selon l'âge et de l'entrée tardive des saumons adultes dans les cours d'eau (Hyatt *et al.*, section 51) en raison de la sécheresse prolongée dans le nord de la Colombie-Britannique (Anslow, section 6).

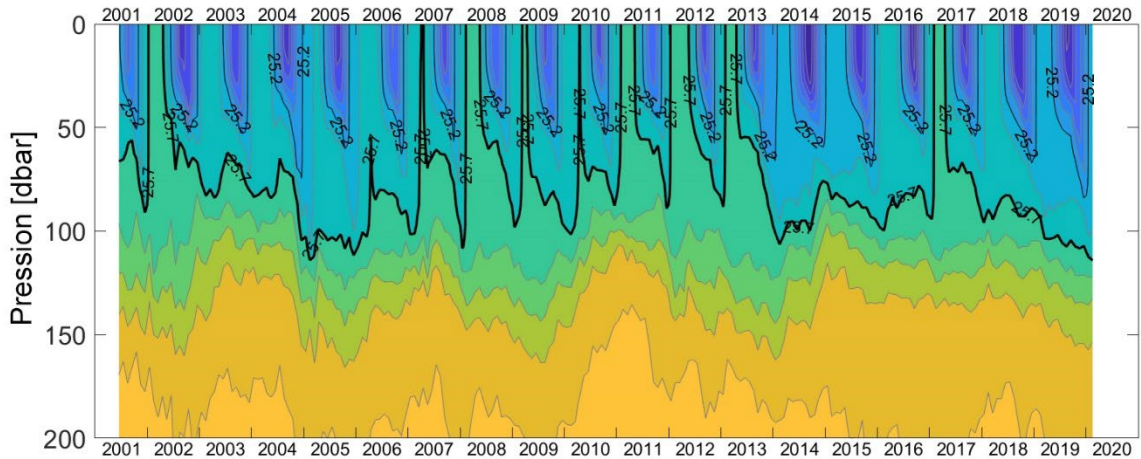


Figure 3-4. Graphique de contour en couleurs de la densité observée par les flotteurs Argo près de la station Papa (50° N, 145° O). Les couleurs indiquent la densité potentielle (le jaune est plus dense et le bleu plus léger). Les lignes noires mettent en évidence les isopycnaux $\sigma_\theta=25,2 \text{ kg/m}^3$ (mince) et $25,7 \text{ kg/m}^3$ (épais). Source : Ross et Robert, section 7.

Le moment et l'ampleur des remontées d'eau froide et riche en nutriments au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) sont des indicateurs de la productivité côtière marine à tous les niveaux trophiques, du plancton aux oiseaux en passant par les poissons. La variabilité de l'indice de la remontée d'eau froide correspond aux variations de la force ou de la position longitudinale du système de basse pression dans les Aléoutiennes dans le golfe d'Alaska. L'intensité moyenne à supérieure à la moyenne de la remontée d'eau froide en 2019 a été associée à une productivité moyenne à supérieure à la moyenne fondée sur la remontée d'eau froide (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 37). Le moment de la transition vers la remontée d'eau froide se situait dans la moyenne, favorisant une productivité côtière moyenne fondée sur la remontée d'eau froide (Hourston et Thomson, section 8; figure 3-5).

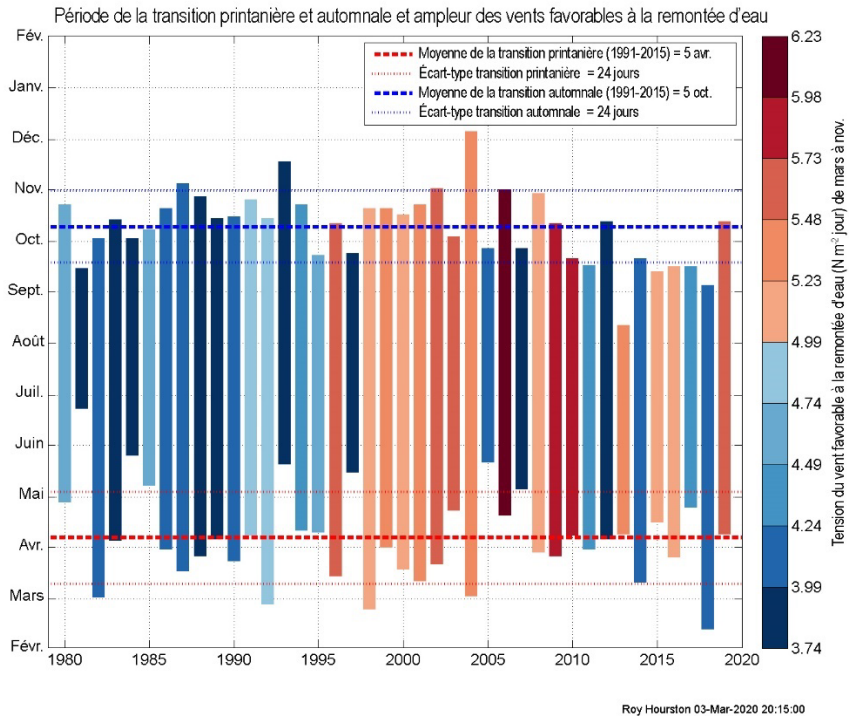


Figure 3-5. L'indice de la remontée d'eau froide pour la côte Ouest de la Colombie-Britannique. Histogramme montrant les transitions du printemps et de l'automne et l'ampleur de la tension du vent favorable à la remontée d'eau froide. La longueur de la barre correspond à la durée de la saison de remontée d'eau froide, colorée par l'intensité de la remontée (le rouge indique une remontée intense, le bleu une remontée faible). Les lignes pointillées en gras indiquent les dates moyennes de la transition au printemps (en rouge) et à l'automne (en bleu). Les lignes pointillées fines indiquent les écarts-types des dates de la transition printanière (en rouge) et automnale (en bleu).
Source : Roy Hourston, MPO.

Au printemps et à l'été 2019, les concentrations en nutriments à la surface le long de la ligne P étaient parmi les plus faibles jamais enregistrées (Peña et Nemcek, section 14). En particulier, pendant l'été, le nitrate de la couche de mélange était épuisé à la station météorologique Papa pour la première fois en 60 ans d'observations. En 2019, sur la côte Ouest de la Colombie-Britannique, la biomasse du phytoplancton se situait dans la fourchette des valeurs passées. La composition de la communauté phytoplanctonique au printemps 2019 était similaire à celle de 2018, mais différente des années antérieures à 2018, les diatomées dominant la biomasse phytoplanctonique dans plusieurs stations en haute mer (Peña et Nemcek, section 14; Batten et Ostle, section 15).

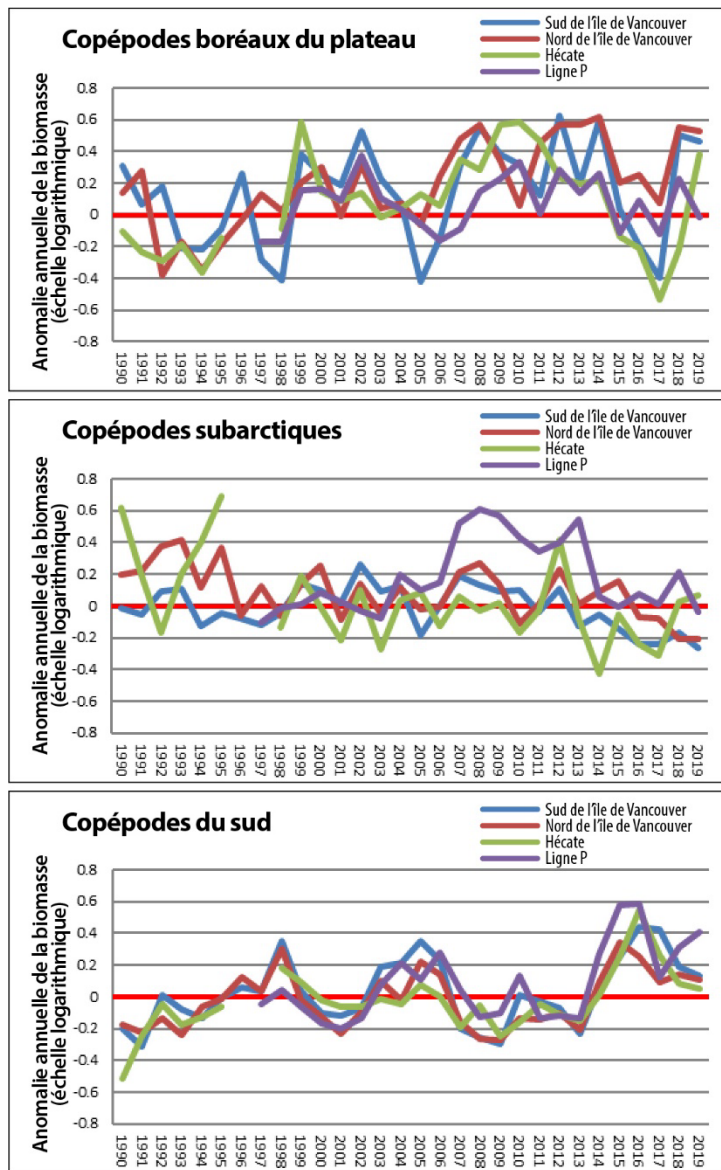


Figure 3-6. Série chronologique des anomalies des groupes d'espèces de zooplancton pour les régions indiquées sur la figure 1. Les graphiques linéaires sont les anomalies annuelles à l'échelle logarithmique. Sud de l'île de Vancouver (SIV), en bleu; nord de l'île de Vancouver (NIV), en rouge; détroit d'Hécate (HEC), en vert; ligne P, en violet pour tous les graphiques. Les années vides signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé. Source : Galbraith et Young, section 16

de la surface de la mer (décalage d'un an), était parmi les plus faibles jamais enregistrées; les anomalies étaient inférieures à la moyenne climatologique au cours des quatre dernières années (Perry *et al.*, section 23). Lorsque les conditions océaniques sont chaudes, le merlu du Pacifique migre vers le nord dans les eaux canadiennes; cependant, en 2019, seule une proportion relativement faible du stock a été observée dans les eaux canadiennes, malgré des conditions

La communauté zooplanctonique au large de la côte ouest de l'île de Vancouver continue de refléter des conditions d'eau chaude, avec des abondances plus élevées de taxons gélatineux et plus faibles de taxons de crustacés (Galbraith et Young, section 16) et, sur le plateau, une dominance des espèces de petits copépodes (Batten et Ostle, section 15). Les grands copépodes subarctiques et boréaux sont plus propices à la croissance des poissons que les petites espèces de copépodes du sud. En 2019, les anomalies de la biomasse des copépodes boréaux ont augmenté sur le plateau continental, tandis que les anomalies des copépodes subarctiques diminuaient ou étaient faibles dans toutes les régions, sauf dans le détroit d'Hécate (Galbraith et Young, section 16; figure 3-6). Les anomalies des copépodes du sud ont été positives dans toutes les régions en 2019 (figure 3-6). Le tunicier colonial, *Pyrosoma atlanticum*, qui est apparu pour la première fois dans les eaux de la Colombie-Britannique en 2017 et a été trouvé en plus faible abondance le long du plateau continental en 2018, était absent des eaux de la Colombie-Britannique en 2019 (Galbraith et Young, section 16).

Les modifications de l'environnement physique et des communautés de phytoplancton et de zooplancton peuvent avoir des répercussions sur les niveaux trophiques supérieurs. En 2019, la biomasse de la crevette océanique sur la côte ouest de l'île de Vancouver, qui est négativement corrélée à la température

océaniques chaudes et une biomasse totale du stock supérieure d'environ 20 % à la médiane de la série chronologique (Gauthier *et al.*, section 25). Dans les relevés synoptiques au chalut de fond effectués en 2019 dans le détroit d'Hécate et le bassin de la Reine-Charlotte, les indices de la biomasse ont augmenté pour plusieurs espèces de sébastes (y compris le sébaste à bandes rouges, le sébaste bocaccio et le sébaste argenté), ont augmenté pour l'aiguillat commun du Pacifique Nord, se sont stabilisés pour la morue charbonnière, la morue du Pacifique et le sébastolobe à courtes épines, mais ont affiché des diminutions à l'échelle décennale pour la plie à grande bouche et la chimère d'Amérique (English *et al.*, section 24). Les captures par unité d'effort (CPUE) de thon blanc ont augmenté en 2018 et 2019 (Zhang, section 69).

Le taux de croissance des Stariques de Cassin est lié à l'abondance de leur proie principale, le copépode *Neocalanus cristatus*, qui est plus abondant pendant les années relativement froides (Hipfner *et al.* 2020). En 2019, les taux de croissance des oisillons de Stariques de Cassin sur l'île Triangle étaient inférieurs à la moyenne à long terme (Hipfner, section 29). Les populations de mammifères marins sont également liées à leur proie principale, et même si la population d'épaulard résident du sud reste faible, les populations d'épaulard résident du nord, d'épaulard de Bigg (migrateur) et de rorqual à bosse sont en hausse (Doniol-Valcroze *et al.*, section 27). L'abondance des otaries de Steller en Colombie-Britannique était à la hausse dans les années 1990 à 2000 et s'élevait à environ 40 000 animaux en 2017, un niveau inchangé depuis 2013 (Tucker et Majewski, section 26).

En 2019, dans le détroit de Georgie, les températures de l'eau étaient à nouveau généralement supérieures à la normale (Chandler, section 36). Après des concentrations d'oxygène inférieures à la normale en 2018, on a observé une transition vers des concentrations d'oxygène proches de la normale dans tout le système en 2019, et des concentrations d'oxygène supérieures à la normale dans les eaux profondes du détroit de Haro (Chandler, section 36). Le débit du Fraser était inférieur à la normale en 2019 (bien que la tendance à long terme soit une hausse du débit annuel), avec une période de débit relativement faible au milieu de l'été. Des débits normaux et supérieurs à la normale ont été observés pendant la période de dévalaison du saumon au printemps et la période de fraie à l'automne (figure 3-7).

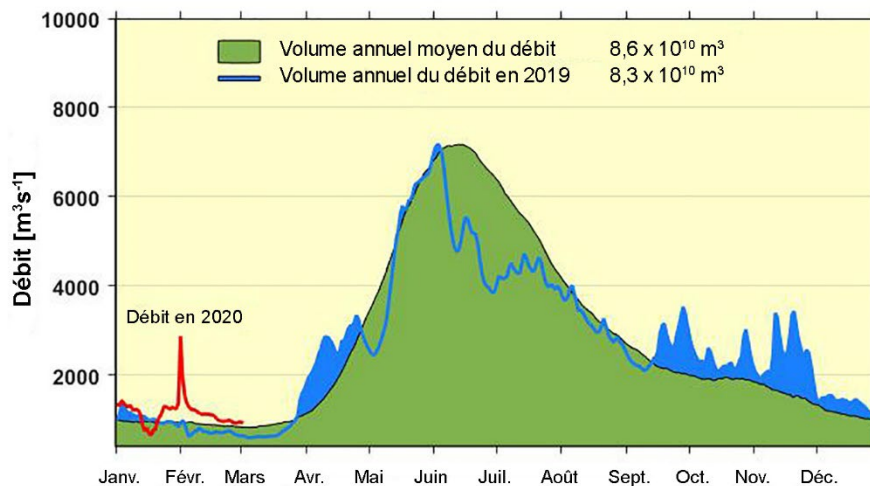


Figure 3-7. Débit du Fraser à Hope, en Colombie-Britannique; en 2019 (en bleu), et moyenne sur 107 ans (en vert). La ligne rouge indique le débit supérieur à la normale au début de 2020. Source des données : Extrait du site Web « Données hydrométriques en temps réel » d'Environnement et Changement climatique Canada (https://eau.ec.gc.ca/mainmenu/real_time_data_index_f.html) le 2 mars 2020.

En 2019, il y a eu moins d'efflorescences algales nuisibles denses dans le détroit de Georgie qu'en 2018, mais plus qu'en 2015-2017 (Esenkulova *et al.*, section 40). Sur la côte ouest de l'île de Vancouver, plusieurs exploitations aquacoles ont connu des épisodes de mortalité dus à des efflorescences de diatomées non toxiques et mécaniquement nuisibles *C. convolutus* et *C. concavicornis* (Esenkulova *et al.*, section 40). Le crabe vert, une espèce aquatique envahissante qui a été observée pour la première fois dans les eaux canadiennes lors de l'El Niño de 1997-1998, est très répandu sur la côte ouest de l'île de Vancouver et a été trouvé en faible nombre dans le nord et le centre de la Colombie-Britannique et dans le nord de la mer des Salish (Howard et Therriault, section 46). Plus récemment, cet envahisseur à fort impact qui a des effets négatifs sur la zostère, un habitat important pour les poissons, a été détecté dans le sud de la mer des Salish (Howard et Therriault, section 46).

Il n'y a pas de tendance à long terme de la productivité primaire totale dans le détroit de Georgie au cours des 100 dernières années (Johannessen *et al.*, section 41). Cependant, la variation annuelle de la période de la prolifération printanière et de la composition de la communauté peut se répercuter sur le réseau trophique, en fonction de la concordance ou non-concordance temporelle entre les proies et leurs prédateurs. Dans le détroit de Georgie, la période de prolifération printanière était similaire à la moyenne à long terme (Allen *et al.*, section 38; Dewey *et al.*, section 37) – ce qui signifie de bonnes conditions d'alimentation pour les poissons juvéniles.

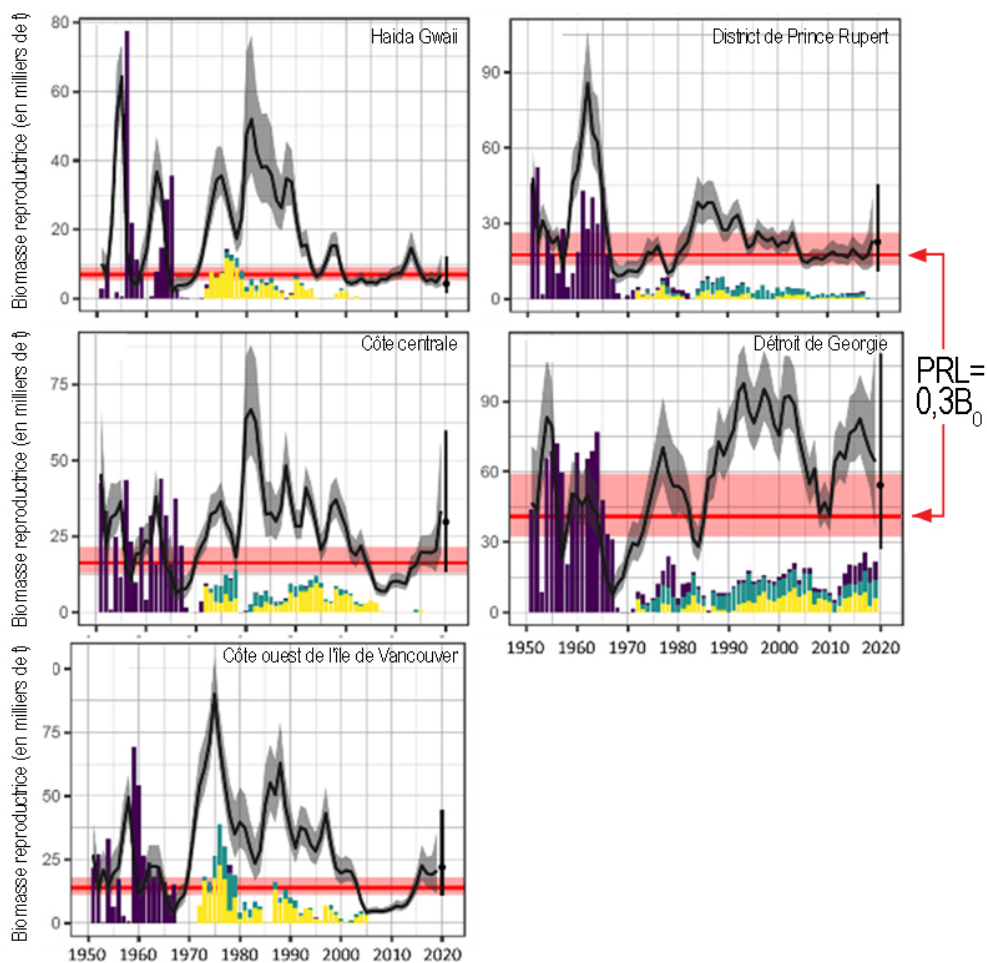


Figure 3-8. Sommaire de la dynamique des cinq stocks de hareng du Pacifique de 1951 à 2019; les lignes pleines entourées d'une enveloppe grise représentent les médianes et les intervalles de crédibilité à 5-95 %. La reconstitution de la biomasse reproductrice (SB_t) pour chaque année t est également présentée, les valeurs non pêchées étant indiquées à l'extrême gauche (cercle plein et lignes verticales) et la biomasse reproductrice projetée avec des prises nulles (SB_{2019}) étant indiquée à l'extrême droite (cercle plein et lignes verticales). Les séries chronologiques des fines lignes verticales représentent les prises commerciales (à l'exclusion de la récolte commerciale des œufs de hareng sur varech; voir MPO 2020). $PRL =$ point de référence limite ($0,3B_0$). $B_0 =$ biomasse non exploitée. Figure adaptée de MPO (2020).

En 2019, la biomasse zooplanctonique dans le détroit de Georgie était supérieure à la moyenne à long terme, mais le pic estival a eu lieu plus tard dans la saison que les années précédentes (Young *et al.*, section 42). Des anomalies de biomasse positives ont été observées chez les amphipodes hyperidés, les décapodes et les euphausiacés, qui sont des proies zooplanctoniques importantes pour le saumon juvénile et le poisson-fourrage (Young *et al.*, section 42). La biomasse du hareng du Pacifique a diminué dans le détroit de Georgie, est restée faible à Haida Gwaii et a légèrement augmenté dans le district de Prince Rupert, sur la côte centrale et sur la côte ouest de l'île de Vancouver (Cleary *et al.*, section 18; figure 3-8). En 2019, différentes tailles d'anchois du Pacifique étaient encore présentes dans les prises des relevés (Boldt *et al.*, section 43, Neville, section 44). Un indice de la biomasse du stock

reproducteur d'eulakane dans le Fraser était relativement faible en 2019 (similaire à la période 2004-2014; Flostrand, section 17).

Dans le détroit de Georgie, les captures par unité d'effort (CPUE) de saumon coho et chinook juvénile étaient moyennes ou supérieures à la moyenne et, dans le relevé d'automne, les CPUE de saumon kéta juvénile étaient les deuxièmes plus élevées de la série chronologique (Neville, section 44). À l'été 2019, au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, cependant, les CPUE de tous les saumons du Pacifique juvéniles étaient faibles (Anderson *et al.*, section 20). En 2019, les remontes de saumons rouge, chinook, kéta et coho adultes (latitudes sud) étaient généralement faibles (Grant *et al.*, section 21). Les remontes de saumons roses étaient globalement meilleures que celles de la plupart des espèces ces dernières années. En 2019, les remontes des « stocks indicateurs » de saumon rouge de la Colombie-Britannique (transfrontalier, côte nord, côte centrale, côte ouest de l'île de Vancouver, Fraser et Okanagan) étaient inférieures à la moyenne (Hyatt *et al.*, section 22) et la remonte ainsi que la productivité du regroupement de saumon rouge du Fraser étaient les plus faibles jamais enregistrées (figure 3-9, Grant *et al.*, section 21). Les faibles remontes de saumon dans le bassin versant du Fraser ont été aggravées par le glissement de terrain de Big Bar, qui a bloqué la montaison de nombreuses populations de saumon (Grant *et al.*, section 21; Hyatt *et al.*, section 22).

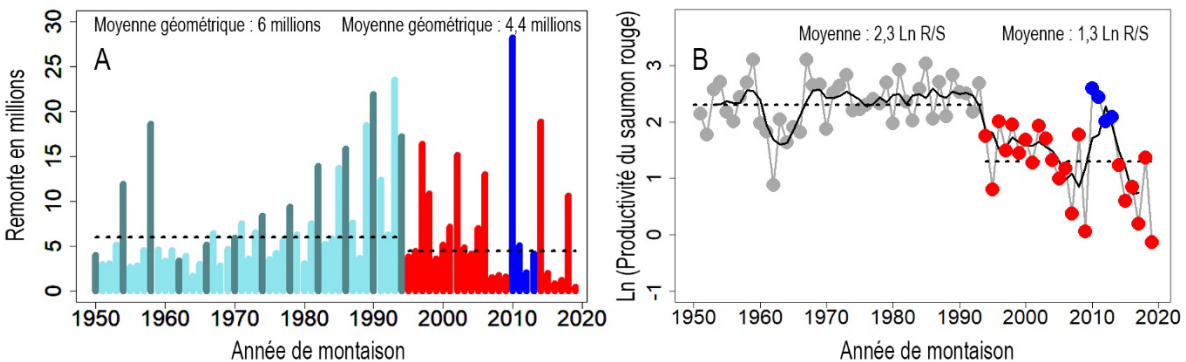


Figure 3-9. (A) Total des remontes annuelles de saumon rouge du Fraser (barres verticales en bleu foncé pour le cycle 2018 et barres verticales en bleu clair pour les trois autres cycles). (B) Productivité totale du saumon rouge du Fraser (\log_e (remonte/total des géniteurs)), présentée jusqu'à l'année de montaison 2019. Les points et lignes gris représentent les estimations de la productivité annuelle. Sur les deux figures, la ligne pointillée représente la moyenne de la série chronologique. La productivité et la remonte ont connu une baisse au cours des dernières décennies (mise en évidence en rouge), à l'exception de quatre années de 2010 à 2013, qui étaient plus proches de la moyenne (mises en évidence en bleu). Source : Grant *et al.*, section 21.

4. RÉFÉRENCES

- DFO. 2020. Stock status update with application of management procedures for Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in British Columbia: Status in 2019 and forecast for 2020. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2020/004.
- Hipfner, J.M., Galbraith, M., Bertram, D.F., and Green, D.J. 2020. Basin-scale oceanographic processes, zooplankton community structure, and diet and reproduction of a sentinel North Pacific seabird over a 22-year period. *Progress in Oceanography* 182: Article 102290.
- Jones, T., Parrish, J.K., Peterson, W.T., Bjorkstedt, E.P., Bond, N.A., Balance, L.T., Bowes, V., Hipfner, J.M., Burgess, H.K., Dolliver, J.E., Lindquist, K., Lindsey, J., Nevins, H.M., Robertson, R.R., Roletto, J., Wilson, L., Joyce, T., and Harvey, J. 2018. Massive Mortality of a Planktivorous Seabird in Response to a Marine Heatwave. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1002/2017GL076164>

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce rapport technique et les contributeurs souhaitent remercier tous les officiers et les équipages des nombreux navires qui ont participé à la collecte des données et à l'entretien des stations de surveillance pour ces études. Sans leur aide, nombre des rapports présentés dans ce document ne seraient pas possibles.

**Rapports individuels sur les conditions dans le nord-est de l'océan
Pacifique et sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique**

6. TEMPÉRATURE DU SOL ET CONDITIONS HYDROLOGIQUES EN 2019

Faron Anslow, Pacific Climate Impacts Consortium, Victoria, C.-B., fanslow@uvic.ca

6.1. Faits saillants

- Un El Niño modéré a probablement contribué à une année légèrement plus chaude que la normale en Colombie-Britannique.
- L'événement de chaleur anormale a atteint son maximum au printemps, forçant la fonte rapide d'un manteau neigeux hivernal quasi normal.
- Les précipitations en été et en automne ont été supérieures ou très supérieures à la normale dans toute la Colombie-Britannique.
- Les tendances de la température ont été positives entre 1950 et 2019 avec une hausse de T_{\min} plus rapide que celle de T_{\max} . Aucune tendance significative ne s'est dégagée sur la même période pour les précipitations.

6.2. Introduction

Les conditions saisonnières qui ont une incidence sur terre se répercutent sur les eaux côtières adjacentes, notamment par leur effet sur le débit des rivières, la température et les nutriments provenant des rivières et des ruisseaux. En outre, de manière ponctuelle, la sédimentation provoquée par les feux de forêt a des effets sur les eaux océaniques. L'adoption d'une approche holistique pour décrire l'état de l'océan Pacifique nécessite de décrire ces processus. Pour répondre à ce besoin à un niveau de base, cette section décrira l'évolution des conditions météorologiques saisonnières et du manteau neigeux qui sont importantes pour les eaux côtières de la Colombie-Britannique. Les enregistrements précis qui sont décrits sont les observations de la température et des précipitations provenant des réseaux d'observation météorologique nationaux, provinciaux et privés de toute la province et des mesures mensuelles de l'équivalent en eau de la neige. Cette section fait également référence aux indicateurs de l'oscillation méridionale El Niño (ENSO).

6.3. Description de la série chronologique

6.3.1. Température et précipitations

Les observations des températures et des précipitations effectuées dans les stations météorologiques de la Colombie-Britannique sont compilées en permanence depuis 2010 dans le cadre du programme provincial de surveillance du climat. L'ensemble de données est constitué d'observations des partenaires du Programme : les réseaux gérés par la province, BC Hydro, le District régional de la capitale, la région métropolitaine de Vancouver et Rio Tinto. Il comprend également des données du réseau d'observation d'Environnement Canada et, de manière agrégée, couvre les années 1872 à aujourd'hui. Les enregistrements à long terme des températures minimales et maximales quotidiennes et des précipitations quotidiennes totales ont permis de calculer les normales climatiques sur 30 ans pour chaque mois de l'année, pour la période de calcul de la moyenne de 1981 à 2010. Les anomalies de température et de

précipitations mensuelles sont calculées par rapport à ces normales et les données des anomalies sont ensuite interpolées sur une grille de 0,5° x 0,5° couvrant la Colombie-Britannique. La série chronologique des données d'anomalies maillées est ensuite divisée dans l'espace selon les régions du bassin de l'indice de neige du BC River Forecast Centre. Les anomalies moyennes sont prises chaque mois dans chaque région afin de former une série chronologique des anomalies régionales qui permet ensuite de classer les différentes années. Les données mensuelles sont également agrégées en saisons et en valeurs annuelles afin d'évaluer les fluctuations de la température et des précipitations à plus long terme et de classer les anomalies dans le temps. La figure 6-1 présente un exemple des données d'anomalies annuelles obtenues : les anomalies annuelles moyennes régionales de la température minimale quotidienne moyenne (graphique de gauche) et les anomalies de précipitations (graphique de droite). Les anomalies de température et de précipitations sont exprimées en centiles parmi le nombre de mois/saisons observés dans l'échantillon. Nous définissons le premier centile et le numéro 1 du classement comme étant le plus chaud/le plus humide et le centile le plus élevé comme étant le plus froid/le plus sec, qui correspond à un classement de 120 pour 2019. Nous définissons de grandes catégories d'anomalies qui vont comme suit : record de froid/record de sécheresse, bien en dessous de la normale, en dessous de la normale, proche de la normale, au-dessus de la normale, bien au-dessus de la normale, record de chaud/record d'humidité. Ces catégories sont définies par les intervalles de centiles suivants : 100^e, 100^e à 90^e, 90^e à 66^e, 66^e à 33^e, 33^e à 10^e, 1^{er}.

6.3.2. Neige

Le ministère de l'Environnement et de la Stratégie en matière de changement climatique de la Colombie-Britannique et BC Hydro mesurent chaque mois l'enneigement dans la province au moyen de relevés manuels. Des données supplémentaires sont recueillies par des nivomètres automatisés. Le River Forecast Centre (centre de prévision des régimes fluviaux) du ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique compile chaque mois les données sur le manteau neigeux du début du mois de janvier à juin. On compare l'enneigement des régions aux données des années précédentes afin de déterminer comment le manteau neigeux de l'année en cours se situe par rapport aux tendances historiques. En ce qui concerne le débit des rivières, le risque supplémentaire (ou l'absence de risque) d'inondation pendant la saison de fonte printanière est déterminé par le manteau neigeux. Dans cette section, nous décrivons l'évolution des anomalies cartographiées de l'enneigement.

6.4. État et tendances

6.4.1. Température et précipitations

Nous abordons d'abord la température et les précipitations moyennes sur l'année. Les températures étaient supérieures à la normale dans l'ensemble de la Colombie-Britannique par rapport au record à long terme (1900 à 2019). Sur l'île de Vancouver, à Haida Gwaii et dans le nord-ouest de la Colombie-Britannique, les températures minimales quotidiennes moyennes se sont classées parmi les dix premières années du record à long terme. Dans le reste de la province, la température minimale quotidienne moyenne allait de la 38^e plus chaude à la 15^e plus chaude. Les moyennes des températures maximales quotidiennes étaient plus proches

des valeurs médianes, les températures se classant dans le tiers quantile du milieu pour toute la province, à l'exception des régions du nord et de l'ouest où elles ont atteint le dixième centile. Les anomalies des précipitations dans la province étaient mitigées. Les conditions sèches s'étendaient le long de la côte Ouest et dans le nord-ouest de la Colombie-Britannique, avec des anomalies allant de la 82^e à la 113^e plus humide. Le centre et le sud de la province étaient proches de la normale, mais le nord-est a connu des précipitations supérieures à la normale, avec un classement allant de la 38^e à la 33^e plus humide.

Sur les échelles de temps saisonnières et mensuelles, les principales anomalies ont été un printemps très chaud avec des conditions très sèches. Les anomalies saisonnières de la T_{\max} étaient plus marquées que celles de la T_{\min} , avec des anomalies bien au-dessus de la normale dans l'ouest et le nord de la Colombie-Britannique et au-dessus de la normale le long des Rocheuses et dans la région de Kootenay. Les températures saisonnières ont atteint leur maximum en mai, avec une moyenne des températures minimales quotidiennes parmi les 10 % les plus chaudes du registre historique. Les températures maximales quotidiennes moyennes étaient moins extrêmes et suivaient un gradient de l'ouest (le plus chaud) vers l'est. Dans le sud-est de la Colombie-Britannique, la moyenne des températures maximales quotidiennes était proche de la normale. Au printemps, les précipitations ont été bien inférieures à la normale partout en Colombie-Britannique, les conditions les plus sèches étant observées dans l'ouest de la province.

La quantité de précipitations supérieure à la normale ou très supérieure à la normale enregistrée de juin à novembre était un deuxième aspect notable des anomalies saisonnières. Bien que certaines régions aient connu des périodes de sécheresse d'un mois, les anomalies régionales globales étaient humides. Les anomalies des précipitations estivales étaient bien au-dessus de la normale dans la majeure partie de la Colombie-Britannique, quoique moins extrêmes en automne, mais plus humides que la normale à l'est de la chaîne côtière et proches de la normale le long de la chaîne côtière et sur la côte.

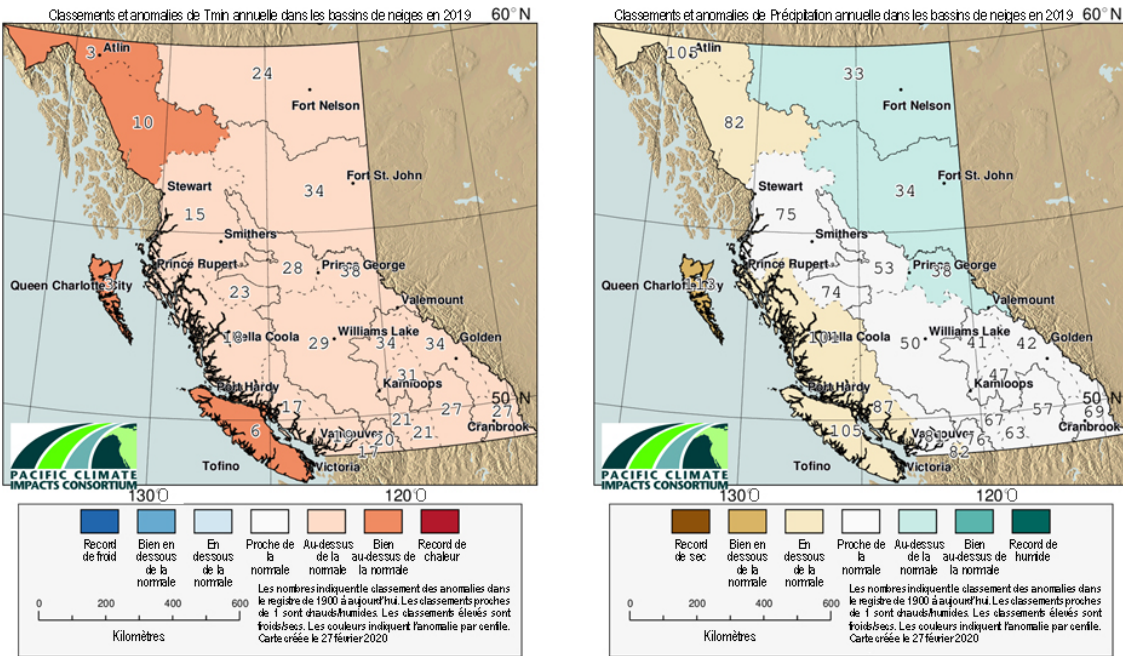


Figure 6-1. Anomalies annuelles de la température minimale quotidienne moyenne (graphique de gauche) et des précipitations annuelles totales (graphique de droite) pour 2019 en Colombie-Britannique. Les quantiles définissant l'échelle de couleurs sont décrits dans le texte. Les nombres sur la carte correspondent au classement parmi les 120 années d'observation de 1900 à 2019.

Nous calculons les tendances pour l'ensemble de la période allant de 1900 à 2019 et de 1950 à 2019 à l'aide des anomalies saisonnières et annuelles de températures et de précipitations à l'échelle de la province. Il convient de noter que comme les données sur les précipitations au début du registre sont rares et plus incertaines que celles sur la température, nous excluons les tendances des précipitations à long terme. Les tendances des températures sont plus certaines en raison de la variabilité spatiale et interannuelle réduite des anomalies de température par rapport aux précipitations. Les valeurs tendancielle de la température minimale quotidienne moyenne annuelle et celles de la température maximale moyenne annuelle sont positives et statistiquement significatives ($p < 0,05$) pour les registres complets et pour la période 1950-2019 (tableau 6-1). Les tendances de la température minimale quotidienne moyenne annuelle sont supérieures à celles de la température maximale moyenne quotidienne par un facteur de deux dans le registre à long terme et par un facteur de 1,5 dans le registre à partir de 1950. Les tendances des précipitations sont positives, mais ne sont pas statistiquement différentes de zéro.

Tableau 6-1. Tendances de la moyenne annuelle des températures minimales et maximales quotidiennes et des précipitations totales annuelles. Les périodes d'analyse sont de 1900 à 2019 et de 1950 à 2019. La tendance à long terme des précipitations n'est pas présentée en raison de la faible confiance dans la représentativité spatiale du réseau des précipitations au début du siècle. Les tendances statistiquement significatives sont indiquées en gras.

<i>Tendances des températures et précipitations annuelles</i>	1900 – 2019	1950 – 2019
<i>Tmax (°C an⁻¹)</i>	0,008	0,021
<i>Tmin (°C an⁻¹)</i>	0,022	0,030
<i>Précip. (% an⁻¹)</i>		0,069

6.4.2. Neige

L'évolution du manteau neigeux en Colombie-Britannique au cours de l'hiver 2018-2019 était plutôt typique jusqu'à ce qu'elle soit ponctuée par les conditions chaudes et sèches du printemps. L'accumulation de neige était de 80 à 110 % de la normale à la fin du mois d'avril à l'est de la chaîne côtière et au nord de l'Okanagan (figure 6-2). Ailleurs, le manteau neigeux était inférieur à la normale, entre 60 % et 80 %, avec des valeurs extrêmement faibles dans le bassin hydrographique de la Skagit et dans le nord-ouest de la Colombie-Britannique. À la fin du mois de mai, l'enneigement était tombé à la moitié de la normale dans la plus grande partie de la province, à l'exception du centre des Rocheuses et de Kootenay (figure 6-2). La transition rapide de quantités de neige presque normales à un manteau neigeux extrêmement faible suggère une fonte rapide et une crue printanière plus précoce que la normale. Les conditions sèches et les températures bien supérieures à la normale en mai dans toute la Colombie-Britannique ont été à l'origine de cette transition rapide. Bien que ce rapport ne fasse pas le suivi des tendances du déclin précoce du manteau neigeux, la transition vers une disparition plus précoce de la neige saisonnière correspond aux projections climatiques pour la Colombie-Britannique (ul Islam *et al.* 2017).

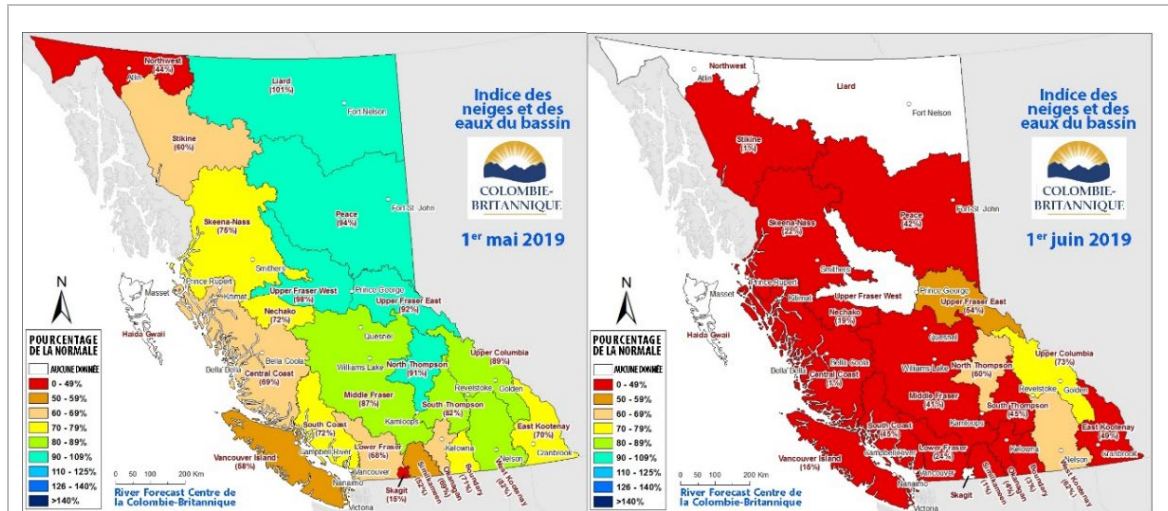


Figure 6-2 : Anomalies du manteau neigeux de la Colombie-Britannique pour mai (à gauche) et juin (à droite) 2019. Les cartes sont produites par le centre de prévision des régimes fluviaux du ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique (River Forecast Centre 2019).

6.5. Discussion

En Colombie-Britannique, l'année 2019 a été légèrement plus chaude que la normale, les températures les plus élevées ayant été enregistrées en mai. Les précipitations ont été inférieures à la normale sur la côte et supérieures à la normale dans l'est, avec un printemps sec et une fin d'été et un automne pluvieux. Les températures chaudes du printemps et les faibles précipitations ont concouru à la fonte précoce du manteau neigeux hivernal et à des pics de débit plus précoces que la normale.

Les conditions anormales observées sont probablement dues en partie au réchauffement en cours dans la province et à l'activité de l'ENSO. Il y a eu un faible El Niño durant l'hiver 2018-2019 et de tels événements sont associés à des conditions plus chaudes que la normale en Colombie-Britannique, surtout à la fin de l'hiver et au printemps. Les phénomènes El Niño sont généralement accompagnés de températures moyennes annuelles élevées (Stahl *et al.* 2006). La température hivernale était proche de la normale, mais le printemps a été chaud. Nous croyons donc qu'El Niño pourrait avoir contribué au printemps chaud observé et à la température moyenne annuelle globalement chaude en Colombie-Britannique.

6.6. References

ul Islam, S., Déry, S.J., and Werner, A.T. 2017. Future Climate Change Impacts on Snow and Water Resources of the Fraser River Basin, British Columbia. *J. Hydrometeorology* 18: 473 – 496. doi: 10.1175/JHM-D-16-0012.1.

River Forecast Centre. 2019. Snow Water and Water Supply Bulletins for 2019. BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, Victoria, BC, 125 p.

<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/river-forecast/2019.pdf>, accessed 23 April, 2020.

Stahl, K., Moore, R.D., and McKendry, I.G. 2006. The role of synoptic-scale circulation in the linkage between large-scale ocean-atmosphere indices and winter surface climate in British Columbia, Canada. *Int. J. Climatology* 26: 541 – 560. doi: 10.1002/joc.1268.

7. LES VAGUES DE CHALEUR MARINES SONT-ELLES LA NOUVELLE NORME POUR LE NORD-EST DE L'OCÉAN PACIFIQUE?

Tetjana Ross et Marie Robert, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Tetjana.Ross@dfo-mpo.gc.ca, Marie.Robert@dfo-mpo.gc.ca

7.1. Faits saillants

- Pendant la majeure partie de l'année 2019, le nord-est de l'océan Pacifique a connu des conditions de vague de chaleur marine, dans les eaux de surface et de subsurface.
- Le mélange a été très faible durant l'hiver 2018-2019, ce qui suggère des concentrations de surface en nutriments inférieures à la normale au printemps 2019.
- D'après les indices climatiques, 2020 devrait être moins chaude que 2019, mais étant donné que les conditions de vague de chaleur marine semblent être la nouvelle norme, 2020 sera probablement une année chaude.

7.2. Sommaire

D'après les données de la NOAA sur la température de la surface de la mer et des terres remontant jusqu'à 1880, 2019 a été la deuxième année la plus chaude jamais enregistrée au niveau mondial (NOAA State of the Climate 2019). Cette observation cadre avec la tendance récente, puisque huit des dix années les plus chaudes se situent dans la dernière décennie. Dans l'ordre, les dix années les plus chaudes sont 2016, 2019, 2015, 2017, 2018, 2014, 2010, 2013, 2005 et 1998. Les températures de la surface de la mer (SST) dans le nord-est de l'océan Pacifique étaient de 1 à 2 °C supérieures à la moyenne de la période de référence 1981-2010 (www.ncdc.noaa.gov/sotc/service/global/map-blended-mntp/201901-201912.png).

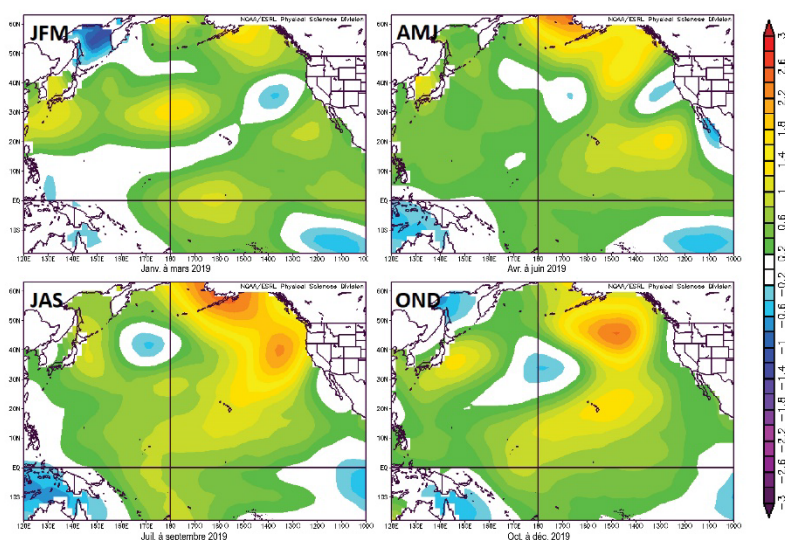


Figure 7-1. Cartes saisonnières des anomalies de température dans l'océan Pacifique pour 2019. La barre de couleur sur la droite, montrant l'anomalie de température en °C, s'applique à tous les graphiques. Source : NOAA Extended SST v4 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>. Les anomalies se rapportent à la période de référence 1981-2010.

Dans le nord-est de l'océan Pacifique, les températures de la surface de la mer ont été chaudes tout au long de 2019 (figure 7-1). En fait, elles étaient si chaudes que le nord-est de l'océan Pacifique a connu une vague de chaleur marine pendant la majeure partie de l'année. Cette vague de chaleur marine a fait couler beaucoup d'encre (voir plus de précisions dans Hannah *et al.*, section 48 et Amaya *et al.* 2020), et elle a été si forte dans l'ouest du nord-est de l'océan Pacifique

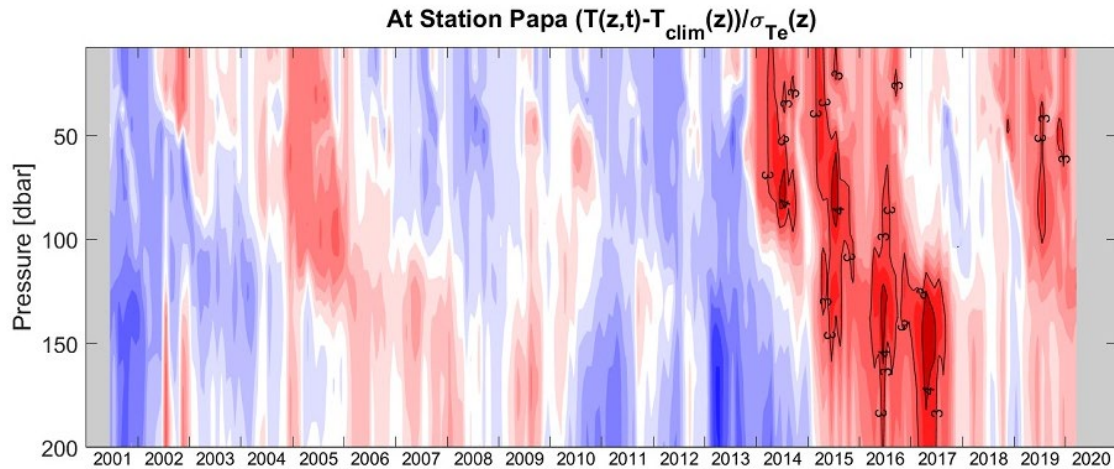


Figure 7-2. Graphique des anomalies de température par rapport à la moyenne désaisonnalisée de 1956 à 2012 et à l'écart-type (d'après la série chronologique de la ligne P), observées par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50° N, 145° O). Les couleurs froides indiquent des températures plus fraîches que la moyenne et les couleurs chaudes, des températures plus chaudes que la moyenne. Les couleurs sombres indiquent des anomalies importantes par rapport aux écarts-types de 1956 à 2012. Les lignes noires mettent en évidence les régions présentant des anomalies de 3 et 4 écarts-types au-dessus de la moyenne.

qu'elle a donné lieu à des records d'anomalies annuelles de la température de la surface de la mer (NOAA; www.ncdc.noaa.gov/sotc/service/global/map-percentile-mntp/201901-201912.png). Contrairement aux années précédentes, l'oscillation méridionale El Niño (ENSO) a eu peu d'effet sur les températures de la surface de la mer dans le nord-est de l'océan Pacifique en 2019. Les températures de la surface de la mer supérieures à la moyenne ont peut-être été facilitées par les faibles conditions d'El Niño au cours du premier semestre, mais les anomalies de chaleur ont augmenté durant le second semestre dans des conditions neutres d'ENSO.

Des températures supérieures à la moyenne (par rapport aux moyennes de 1981 à 2010 [figures 7-1 et 7-3] et de 1956 à 2012 [figure 7-2]) ont également été observées dans les eaux de subsurface. Les anomalies de température à la station Papa (fondées sur l'interpolation des données des flotteurs Argo sur

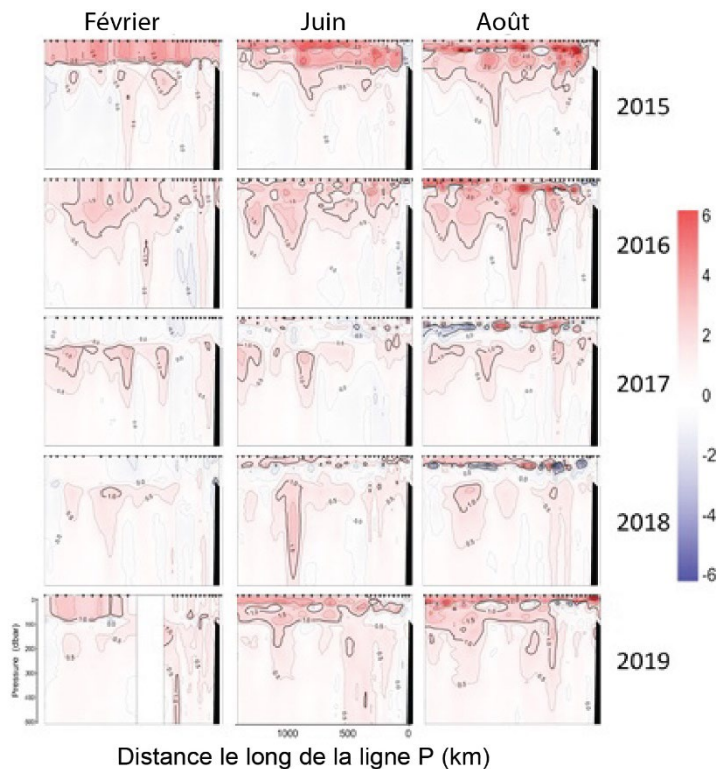


Figure 7-3. Anomalies de température (°C) le long de la ligne P de 2015 à 2019 par rapport à la moyenne de 1981 à 2010.

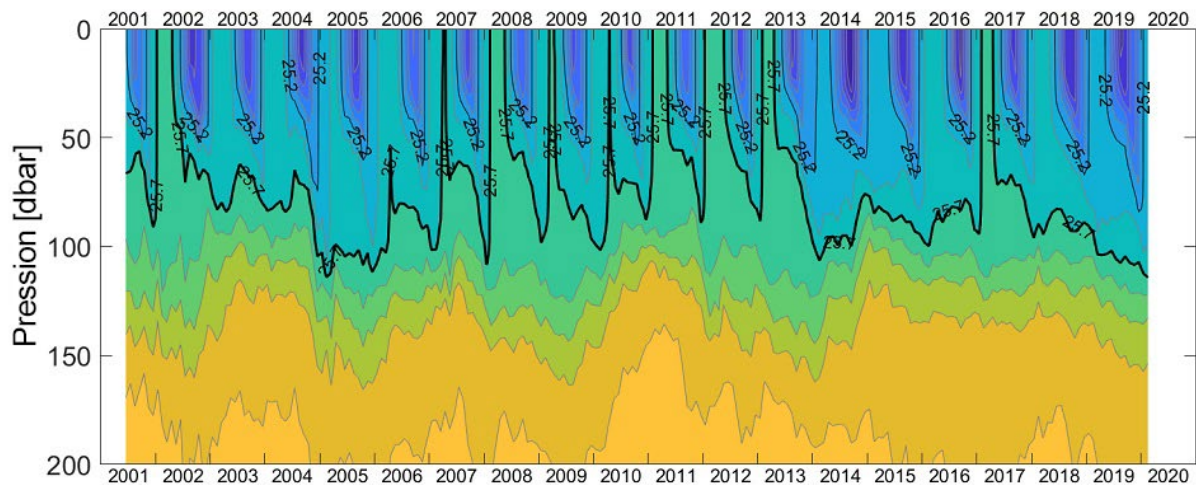


Figure 7-4. Graphique de contour en couleurs de la densité observée par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50° N, 145° O). Les couleurs indiquent la densité potentielle (le jaune est plus dense et le bleu plus léger). Les lignes noires mettent en évidence les isopycnaux $\sigma_{\theta}=25,2 \text{ kg/m}^3$ (mince) et $25,7 \text{ kg/m}^3$ (épais).

l'emplacement de la station Papa; figure 7-2) ont révélé des températures de subsurface supérieures à la moyenne à la station Papa tout au long de 2019. Ces observations contrastent avec l'année 2018, où les températures de subsurface étaient proches de la normale. Les anomalies les plus fortes (atteignant 3 écarts-types au-dessus de la moyenne) se sont produites à environ 100 m de profondeur, juste au-dessus de la pycnocline permanente. La vague de chaleur marine a également été observée sur toute la ligne dans les données de la ligne P de 2019 (figure 7-3), et plus fortement dans les données d'août 2019, qui ressemblent à celles d'août 2016.

La stratification hivernale a été plus marquée en 2018-2019 qu'en 2017-2018 et 2016-2017, plus semblable aux hivers des années du « Blob » (2013-2014, 2014-2015; Freeland 2015). En 2017 et 2018, le mélange hivernal semblait revenu à la normale. L'historique de l'isopycnal $\sigma_{\theta}=25,7 \text{ kg/m}^3$ (mis en évidence par une épaisse ligne noire sur la figure 7-4) en est une bonne illustration. Il est resté très profond tout au long de la vague de chaleur marine de 2013 à 2015, plus profond encore que pendant une grande partie de la période chaude de 2003 à 2005, est revenu durant l'hiver 2015-2016 aux niveaux enregistrés pour la dernière

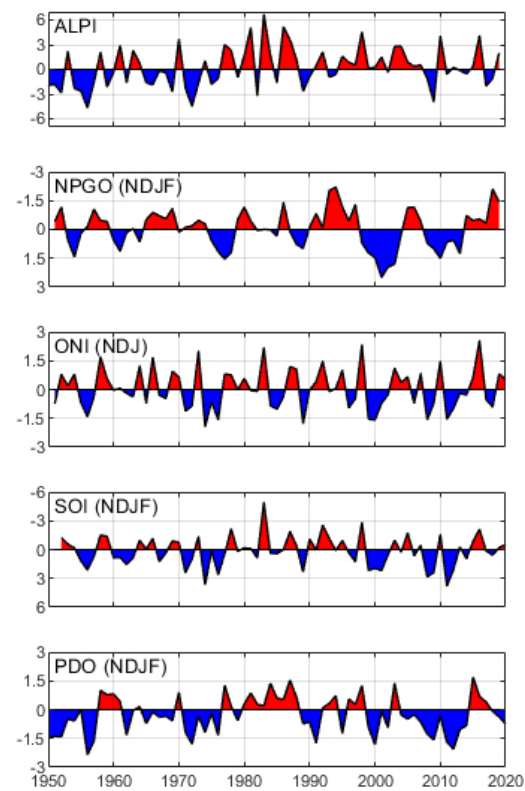


Figure 7-5. Série chronologique des indices climatiques de l'océan Pacifique. La moyenne de chacun des indices mensuels a été calculée sur les mois indiqués et tracée pour l'année en janvier. Certaines séries sont inversées (les valeurs négatives sont au-dessus des axes) de sorte que toutes les séries sont en rouge lorsque les températures côtières de la Colombie-Britannique sont anormalement élevées. Voir la description et la source de chaque index dans le texte.

fois de 2003 à 2005, tandis qu'en 2016-2017, la stratification était similaire aux hivers 2010-2011 et 2011-2012. Ce retour à un faible mélange porte à croire que l'apport en nutriments des eaux profondes aurait dû être plus faible, et donc les niveaux de nutriments du début du printemps plus bas au printemps 2019. Avec les conditions actuelles de vague de chaleur marine, il est probable que le mélange hivernal sera plus faible que la normale en 2019-2020.

Pris collectivement, les indices climatiques (figure 7-5) indiquent que 2019 aurait dû être une année assez normale; la plupart des indices indiquaient une période légèrement chaude, le NPGO une saison très chaude et le PDO une saison froide, donc, en somme, rien d'extrême. Cependant, le nord-est de l'océan Pacifique a connu une année extrême avec des conditions de vague de chaleur marine pendant la plus grande partie de l'année. Cela pourrait dénoter une « nouvelle normale », qui n'est plus bien représentée par les moyennes sur 30 ou 60 ans. Ce qui est considéré comme une vague de chaleur marine en fonction de ces distributions historiques pourrait être la nouvelle normale. Et ce n'est que lorsque le climat fait baisser les températures (comme en 2017 et 2018) que nous observons des températures normales selon la climatologie historique. En ce qui concerne les prévisions pour l'avenir, selon les indices climatiques, 2020 devrait être moins chaude que 2019.

7.3. Indices climatiques

L'indice de dépression des Aléoutiennes (ALPI) est un indice annuel qui mesure l'intensité relative du système de basse pression des Aléoutiennes au-dessus du Pacifique Nord (de décembre à mars). Il est calculé comme la surface moyenne (en km²) où la pression au niveau de la mer est inférieure ou égale à 100,5 kPa et est exprimé comme une anomalie par rapport à la moyenne de 1950 à 1997 (Surry et King 2015). Une valeur positive représente une dépression des Aléoutiennes relativement forte ou intense. L'ALPI est fourni par la région du Pacifique (SBP) du MPO et est disponible à l'adresse suivante : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/data-donnees/climatologie-climatologie/index-fra.html>.

L'indice d'oscillation australe (SOI) est l'anomalie de la différence de pression au niveau de la mer entre Tahiti (17°40' S 149°25' O) et Darwin, Australie (12°27'0" S 130°50'0" E). C'est une mesure des fluctuations à grande échelle de la pression atmosphérique entre le Pacifique tropical occidental et oriental (c'est-à-dire l'état de l'oscillation australe) et, comme il représente les changements de vents qui déclenchent les événements El Niño/La Niña, l'ONI le suit de très près. Le SOI est fourni par le National Weather Service National Centers for Environmental Prediction CPC de la NOAA et est disponible à l'adresse suivante : www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi.

L'indice Nino océanique (ONI) est un indice mensuel qui est une moyenne mobile sur trois mois des anomalies de la température de la surface de la mer (SST) dans la région Niño 3.4 (5° N-5° S, 120°-170° O) tracée sur le mois central. Les anomalies de la température de la surface de la mer sont calculées sur des périodes de référence de 30 ans qui sont mises à jour tous les cinq ans, afin de tenir compte du réchauffement climatique et d'une partie de la variabilité de la SST à l'échelle décennale (comme on le voit dans l'indice PDO). L'ONI est fourni par le National Weather Service National Centers for Environmental Prediction CPC de la NOAA et est disponible à l'adresse suivante : http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

L'**indice de l'oscillation décennale du Pacifique (PDO)** est défini comme le principal mode de variabilité mensuelle de la température de la surface de la mer (1^{re} composante principale [CP] de la SST) dans le Pacifique Nord (Mantoue *et al.* 1997). Il représente un profil de variabilité du climat du Pacifique semblable à El Niño qui dure longtemps, indiquant généralement des profils chaud/froid qui persistent pendant une décennie ou plus. Le PDO est fourni par le Joint Institute for Studies of Atmosphere and Ocean de la NOAA et est disponible à l'adresse suivante : <http://research.jisao.washington.edu/pdo/>.

L'**oscillation de la circulation du Pacifique Nord (NPGO)** est un profil climatique qui apparaît comme le deuxième mode dominant de variabilité de la hauteur de la surface de la mer (SSH) (2^e composante principale de la SSH) dans le nord-est de l'océan Pacifique. Des observations à long terme dans le courant de la Californie (CalCOFI) et le golfe d'Alaska (Ligne P) ont démontré que le NPGO présente une corrélation significative avec les fluctuations de la salinité, des nutriments et de la chlorophylle *a* (Di Lorenzo *et al.* 2008). Les valeurs mensuelles du NPGO sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.o3d.org/npgo/>.

7.4. References

- Amaya, D.J., Miller, A.J., Xie, S.P., and Kosaka, Y. 2020. Physical drivers of the summer 2019 North Pacific marine heatwave. *Nature communications* 11(1):1-9.
- Di Lorenzo, E., Schneider, N., Cobb, K.M., Chhak, K., Franks, P.J.S., Miller, A.J., McWilliams, J.C., Bograd, S.J., Arango, H., Curchister, E., Powell, T.M., and Rivere, P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.* 35: L08607, doi:10.1029/2007GL032838.
- Freeland, H. 2015. The "Blob" or Argo and other views of a large anomaly in the Gulf of Alaska in 2014/15. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2015. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2014. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3131: vi + 211 p. Available online: <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/358018.pdf>
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., and Francis, R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 1069-1079.
- NOAA State of the Climate 2019: NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019, published online January 2020, retrieved on March 9, 2020 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>.
- Surry, A.M., and King, J.R. 2015. A New Method for Calculating ALPI: the Aleutian Low Pressure Index. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3135: v + 31 p.

8. REMONTÉE ET PLONGÉE D'EAU SOUS L'EFFET DU VENT SUR LA CÔTE NORD-OUEST DE L'AMÉRIQUE DU NORD : PÉRIODE ET AMPLEUR

Roy A.S. Hourston et Richard E. Thomson, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Roy.Hourston@dfo-mpo.gc.ca, Richard.Thomson@dfo-mpo.gc.ca

8.1. Faits saillants

- D'après la période des vents favorables à la remontée des eaux et des courants littoraux, la période de la transition printanière de 2019 était moyenne par rapport à la moyenne de 1991 à 2015 qui est associée à une productivité côtière moyenne fondée sur la remontée des eaux.
- Les vents favorables à une remontée des eaux supérieurs à la moyenne sont généralement associés à une augmentation de la productivité côtière. Entre 45° et 50° N, les vents favorables à la remontée des eaux étaient supérieurs à la moyenne de 1991 à 2015 au début du printemps et de l'été, et inférieurs à la moyenne de juillet à septembre. Entre 50° et 60° N, ils étaient inférieurs à la moyenne pendant la majeure partie de l'année.
- Comme l'hiver 2018-2019, l'hiver 2019-2020 a été caractérisé par des vents favorables à la plongée des eaux plus faibles que la moyenne, ce qui indique que les tempêtes hivernales ont été moins violentes, ou se sont déplacées vers l'est au large, ou les deux. Ces conditions sont associées à des vagues de chaleur marines, comme en 2013-2014.

8.2. Période de la remontée d'eau : l'indice de la transition printanière

On appelle « transition printanière » la période pendant laquelle, au printemps, les vents circulant en direction du pôle et propices à la plongée d'eau en hiver laissent place aux vents circulant en direction de l'équateur et favorables à la remontée en été. Le processus inverse qui se produit à l'automne est appelé « transition automnale ». Les vents littoraux créent un cycle saisonnier dans les courants de surface littoraux sur la pente continentale, se dirigeant vers le pôle en hiver et vers l'équateur en été. Les transitions printanières et automnales pour la côte du Pacifique sont calculées à l'aide des séries chronologiques de la tension du vent le long

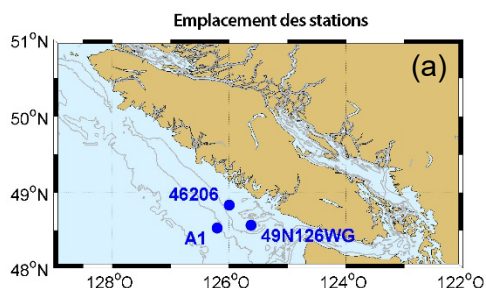


Figure 8-1. (a) Emplacements des observations délimitant les transitions printanières et automnales historiques.

de la côte tirées de la réanalyse-1 NCEP/NCAR (Kistler *et al.* 2001), de la vitesse du vent le long de la côte tirée de la bouée météorologique 46206 d'Environnement et Changement climatique Canada, et de la vitesse du courant le long de la côte à 35 et 100 m de profondeur à l'amarrage A1 (figure 8-1; Folkes *et al.* 2017; Thomson *et al.* 2013).

Le début de la remontée d'eau saisonnière qui accompagne la transition printanière varie d'une année à l'autre (Thomson *et al.* 2014). Des années comme 2005 et 2010, où la

transition printanière a été relativement tardive, la productivité côtière marine des niveaux trophiques allant du plancton aux poissons et aux oiseaux était généralement moyenne à inférieure à la moyenne; elle a été particulièrement basse en 2005 (MPO 2006). Les années où la période de la transition printanière était moyenne à précoce, comme en 1999 et 2014, la productivité était généralement moyenne à supérieure à la moyenne (voir les rapports de Chandler *et al.* (2015) sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique).

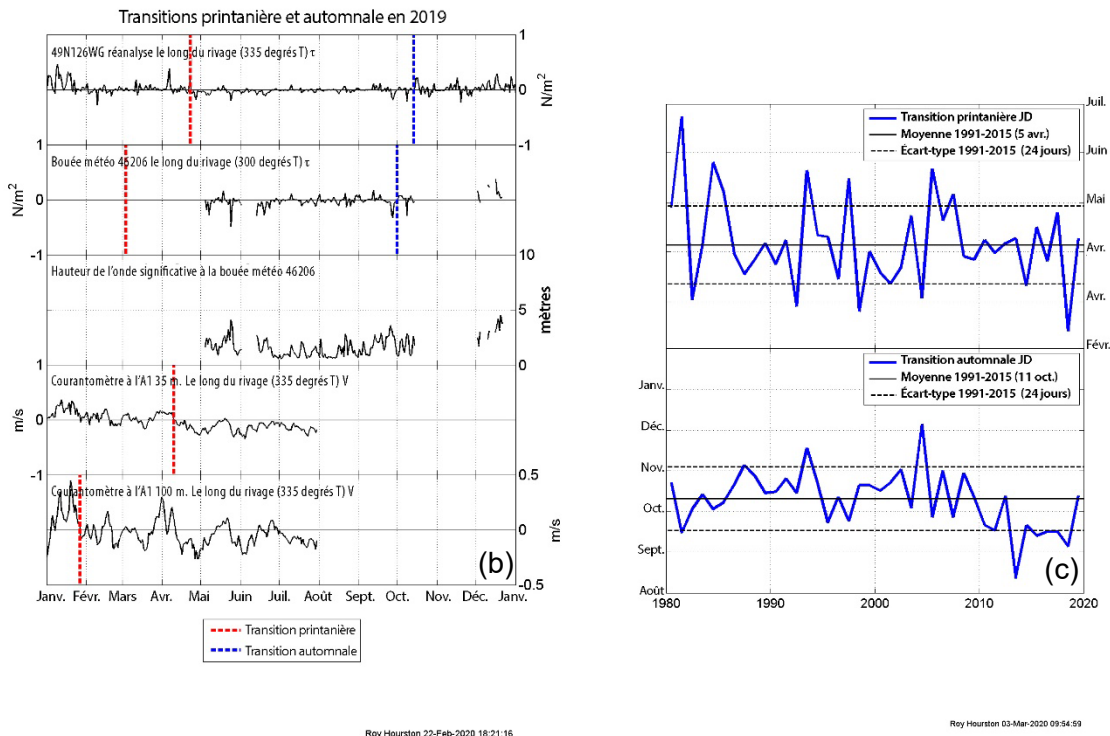


Figure 8-1. (b) Séries chronologiques décrivant les transitions printanières et automnales au large de la côte ouest de l'île de Vancouver en 2019. Tension du vent au point 49N126WG de la grille réanalyse-1 et à la bouée météorologique 46206; hauteur de l'onde significative à 46206; vitesse du courant le long du rivage à 35 et 100 m de profondeur à l'amarrage A1 (Folkes *et al.* 2017; Thomson *et al.* 2013). Le flux positif est dirigé vers le pôle (favorable à la plongée d'eau) et le flux négatif vers l'équateur (favorable à la remontée d'eau). Les lignes verticales en pointillés indiquent les temps de transition dérivés en utilisant une approche de somme cumulative (p. ex. Foreman *et al.* 2011). (c) Transitions printanières et automnales annuelles dérivées des séries chronologiques du graphique (b).

8.3. État et tendances

En 2019, la période de la transition printanière était moyenne par rapport à la moyenne de 1991 à 2015 (figure 8-1 et figure 8-4). Depuis 2005, cependant, elle semble se produire généralement plus tôt. Il semble que ce soit également le cas pour la période de transition automnale (de la remontée d'eau à la plongée d'eau, également illustrée sur les figures 8-1 et 8-4); la saison de la remontée d'eau pourrait donc être en train de devenir plus précoce, mais pas plus longue.

8.4. Ampleur de la remontée d'eau : l'indice de la remontée d'eau

Les vents favorables à la remontée d'eau (nord-ouest) entraînant le transport d'Ekman en surface du large et le transport côtier compensateur en profondeur, leur force (durée et intensité) est considérée comme un indicateur de la productivité côtière, voir p. ex. Xu *et al.* 2019. Pour évaluer la variabilité à basse fréquence de la productivité côtière, nous avons résumé les tensions du vent uniquement favorables à la remontée d'eau par mois le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord à partir de 45°-60° de latitude nord (figure 8-2) en utilisant les réanalyses-1 NCEP/NCAR (Kistler *et al.* 2001) et nous avons soustrait la moyenne de 1991 à 2015 pour obtenir l'indice de la remontée d'eau.

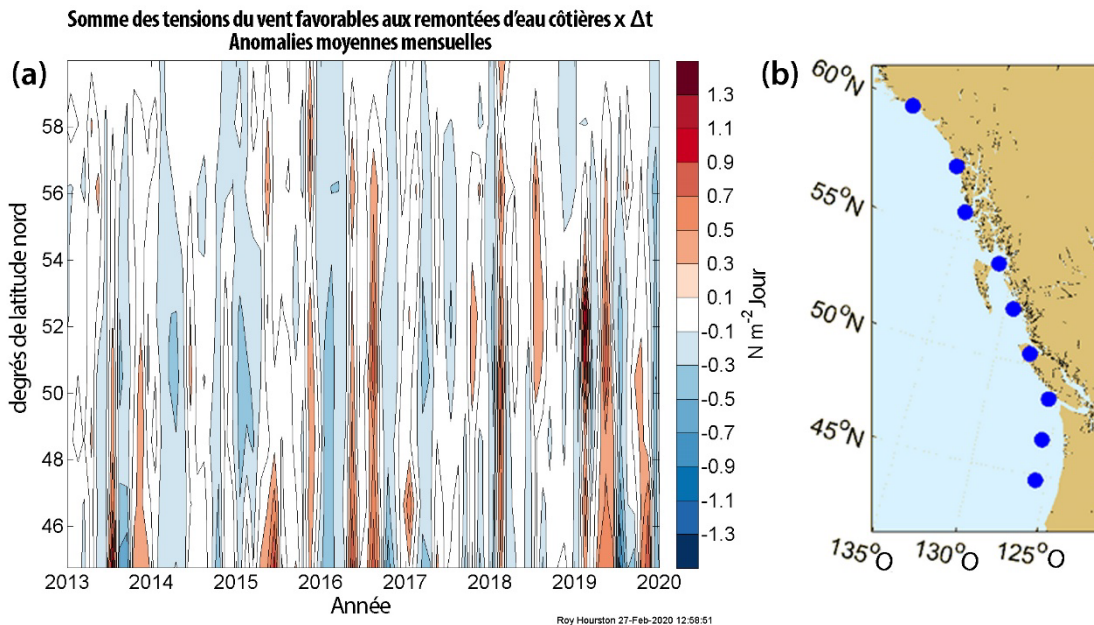


Figure 8-2. Anomalies moyennes mensuelles récentes (2013 à 2019) (par rapport à 1991-2015) des sommes mensuelles de la tension du vent (vers l'équateur) favorable à la remontée d'eau le long de la côte (a) provenant des emplacements de la grille de réanalyse-1 NCEP/NCAR de la tension du vent de surface côtier, 45-60° N (b).

8.5. État et tendances

La série chronologique de l'indice de la remontée d'eau (figure 8-2) indique que la tension du vent favorable à la remontée d'eau a été très variable entre 45° et 60° de latitude nord en 2019 par rapport aux dernières années, avec des mois d'anomalies positives et négatives par rapport à la moyenne de 1991 à 2015. L'indice de la remontée d'eau était globalement supérieur à la moyenne en 2019. Ce résultat contraste avec la période 2013-2018, durant laquelle l'indice avait été moyen ou inférieur à la moyenne pendant les saisons chaudes. La figure 8-2 ne permet pas de dégager de tendance récente des vents favorables à la remontée d'eau.

8.6. Ampleur de la plongée d'eau : l'indice de la plongée d'eau

L'indice de la plongée d'eau est calculé de la même manière que l'indice de la remontée d'eau, mais en ne tenant compte que des tensions du vent circulant vers le pôle (favorables à la plongée d'eau) (figure 8-3). Comme cet indice est généralement plus élevé en hiver en raison des tempêtes qui se déplacent vers l'est dans le Pacifique Nord, il peut refléter la force des tempêtes qui frappent la côte de la Colombie-Britannique, ou un déplacement des trajectoires des tempêtes plus près ou plus loin de la côte, ou les deux. L'indice reflète également la force ou la faiblesse du mélange vertical hivernal de la colonne d'eau de surface près de la côte.

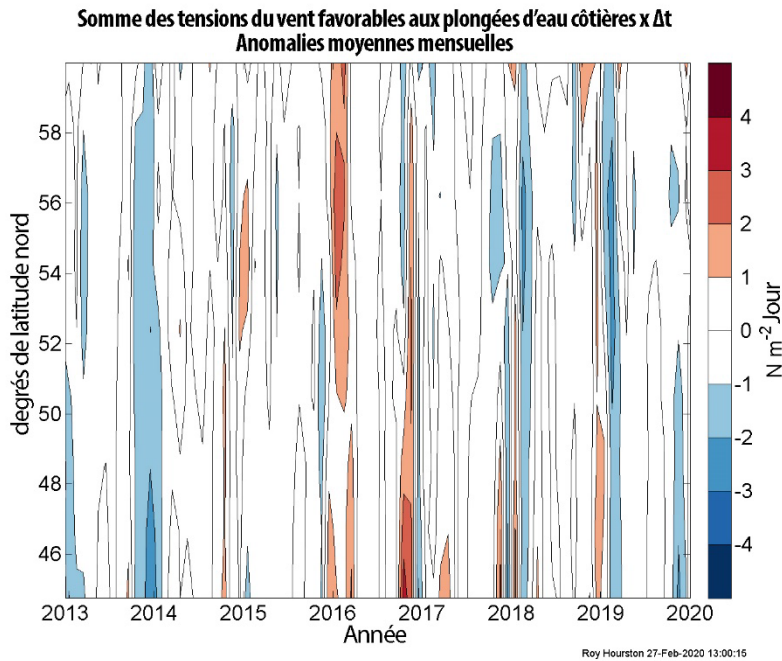


Figure 8-3. Anomalies moyennes mensuelles récentes (2013 à 2019) (par rapport à 1991-2015) des sommes mensuelles de la tension du vent (vers le pôle) favorable à la plongée d'eau le long de la côte provenant des emplacements de la grille de réanalyse-1 NCEP/NCAR de la tension du vent de surface côtier, 45-60° N (figure 8-2(b)).

8.7. État et tendances

Au cours des trois derniers hivers (2017-2018, 2018-2019 et 2019-2020), l'indice de la plongée d'eau a été inférieur à la moyenne, comme pour l'hiver 2013-2014, mais pas tout à fait aussi bas. Comme ces dernières années, il est révélateur des températures plus élevées que la moyenne observées (Hourston et Thomson, section 9, figure 9-2(b)) et des conditions de vague de chaleur marine en 2019.

8.8. Facteurs influençant les tendances

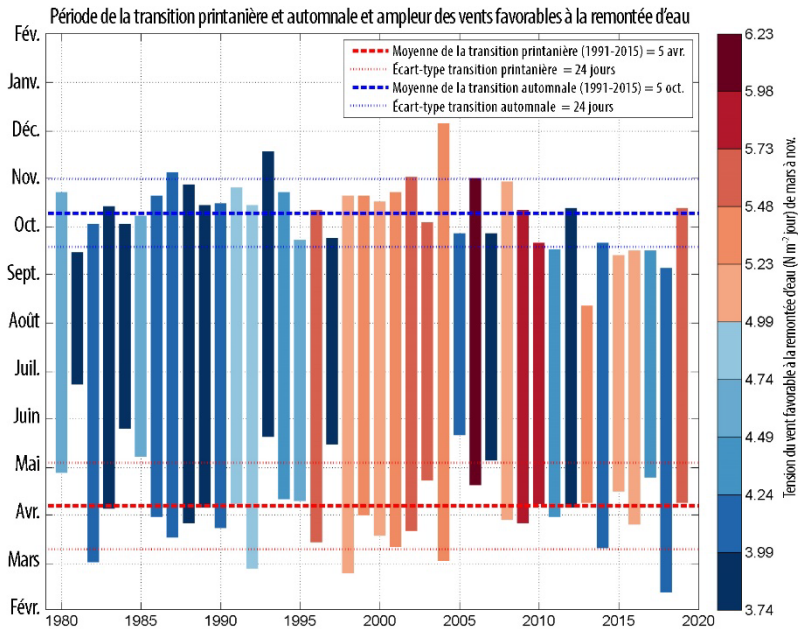


Figure 8-4. Périodes de transition printanières et automnales annuelles et ampleur de la tension du vent favorable à la remontée d'eau de mars à novembre, de 1980 à 2019.

Bien que l'indice de la transition printanière pour 2019 se situe dans la moyenne par rapport à la période 1991-2015, on ne sait pas pourquoi il est peut-être devenu plus précoce au cours des 15 dernières années. Si les indices de la remontée d'eau et de la plongée d'eau ont été supérieurs à la moyenne pendant dix ans entre 2000 et 2010 (dénotant une période de vents toujours plus forts à la fois en été et en hiver), aucune tendance n'est apparue au cours des dix dernières années.

Toutefois, l'indice de la plongée d'eau nettement

plus faible que la moyenne en 2014 était un indicateur précis des vents hivernaux plus faibles que la moyenne associés à la vague de chaleur marine cette année-là (Bond *et al.* 2015), et c'est probablement aussi le cas pour 2019.

8.9. Conséquences de ces tendances

On ignore les conséquences de l'apparente tendance récente vers des transitions printanière et automnale plus précoces (figure 8-1c et figure 8-4). Les indices de la remontée d'eau et de la plongée d'eau ne montrent aucune tendance évidente.

8.10. Remerciements

Réanalyse-1 NCEP/NCAR de la tension du vent fournie par la NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, États-Unis, accessible sur le site Web : <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

8.11. References

Bond, N.A., Cronin, M.F., Freeland, H., and Mantua, N. 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophys. Res. Lett.* 42: 3414– 3420. doi: [10.1002/2015GL063306](https://doi.org/10.1002/2015GL063306).

Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2015. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2014. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3131: vi + 211 p.

- DFO. 2006. State of the Pacific Ocean 2005. DFO Sci. Ocean Status Report. 2006/001.
- Folkes, M., Thomson, R., and Hourston, R. 2017. Evaluating Models to Forecast Return Timing and Diversion Rate of Fraser Sockeye Salmon. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/nnn. vi + 220 p.
- Foreman, M.G.G., Pal, B., and Merryfield, W.J. 2011. Trends in upwelling and downwelling winds along the British Columbia shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 116 (C10).
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woolen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van del Dool, H., Jenne, R., and Fiorino, M. 2001. The NCEP–NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82: 247–267.
- Thomson, R.E., Hessemann, M., Davis, E.E., and Hourston, R.A.S. 2014. Continental microseismic intensity delineates oceanic upwelling timing along the west coast of North America, *Geophys. Res. Lett.* 10.1002/2014GL061241.
- Thomson, R., Hourston, R., and Tinis, S. 2013. OSCURS for the 21st Century: Northeast Pacific Salmon Tracking and Research (NEPSTAR) Project, Year 3 Interim Report. Annual report submitted to the Pacific Salmon Commission. 37p.
- Xu, Y., Fu, C., Peña, A., Hourston, R., Thomson, R., Robinson, C., Cleary, J., Daniel, K., and Thompson, M. 2019. Variability of Pacific herring (*Clupea pallasii*) spawn abundance under climate change off the West Coast of Canada over the past six decades. *Journal of Marine Systems* 1;200:103229. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103229>.

9. COURANTS, TEMPÉRATURES ET TENSION DU VENT SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DE LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER

Roy A.S. Hourston et Richard E. Thomson, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Roy.Hourston@dfo-mpo.gc.ca, Richard.Thomson@dfo-mpo.gc.ca

9.1. Faits saillants

- Pendant l'été 2019, des records de températures de la surface de la mer ont été enregistrés à la bouée météorologique 46206 sur la côte ouest de l'île de Vancouver. Au début de 2019, au poste d'amarrage A1 voisin, la température à 175 m était supérieure à deux fois l'écart-type sur 25 ans, de 1991 à 2015, pendant plusieurs journées consécutives (figure 9-2).
- En 2019, le flux littoral circulait anormalement vers l'équateur (favorable à la remontée d'eau) en février.
- À long terme, la tension du vent sur le plateau continental de la côte Ouest et les courants de surface et de subsurface sont revenus à des conditions proches de la moyenne après un flux vers les pôles et l'équateur plus fort que la moyenne, associé aux épisodes El Niño de 2014 à 2016 et aux vagues de chaleur marines. Les températures, qui étaient supérieures à la moyenne dans toute la colonne d'eau entre 2014 et 2016, sont revenues à une valeur proche de la moyenne près de la surface au cours des trois dernières années, mais restent élevées en profondeur.

9.2. Description de la série chronologique

La température de la subsurface et la vitesse des courants sur le plateau continental sont observées au poste d'amarrage A1, à une profondeur de ~500 m (figure 9-1), depuis 1985. La bouée météorologique 46206, située à proximité, fournit depuis 1988 des séries chronologiques sur la température de la surface de la mer à 80 cm de profondeur et la vitesse du vent à 5 m de hauteur. Nous avons combiné ces séries pour obtenir la structure verticale de la température et du flux dans la colonne d'eau.

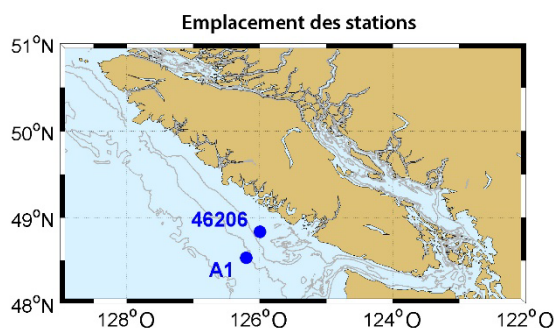


Figure 9-1. Emplacements du poste d'amarrage A1 et de la bouée météorologique 46206.

9.3. État et tendances

Au début de 2019, les températures à 175 m de profondeur étaient nettement supérieures à la moyenne de la période de 1991 à 2015 (figure 9-2, à gauche). C'était peut-être le cas à d'autres profondeurs, mais il n'y avait pas de données pour la surface (défaillance de la bouée) et pour 35 et 100 m (poste d'amarrage heurté et instruments perdus). Les températures étaient également nettement plus élevées en surface de juillet à

septembre, mais là encore, nous n'avons pas de données en profondeur (le déploiement de ce poste d'amarrage sera récupéré à l'été 2020). Ces conditions reflètent probablement la persistance des conditions de vague de chaleur marine.

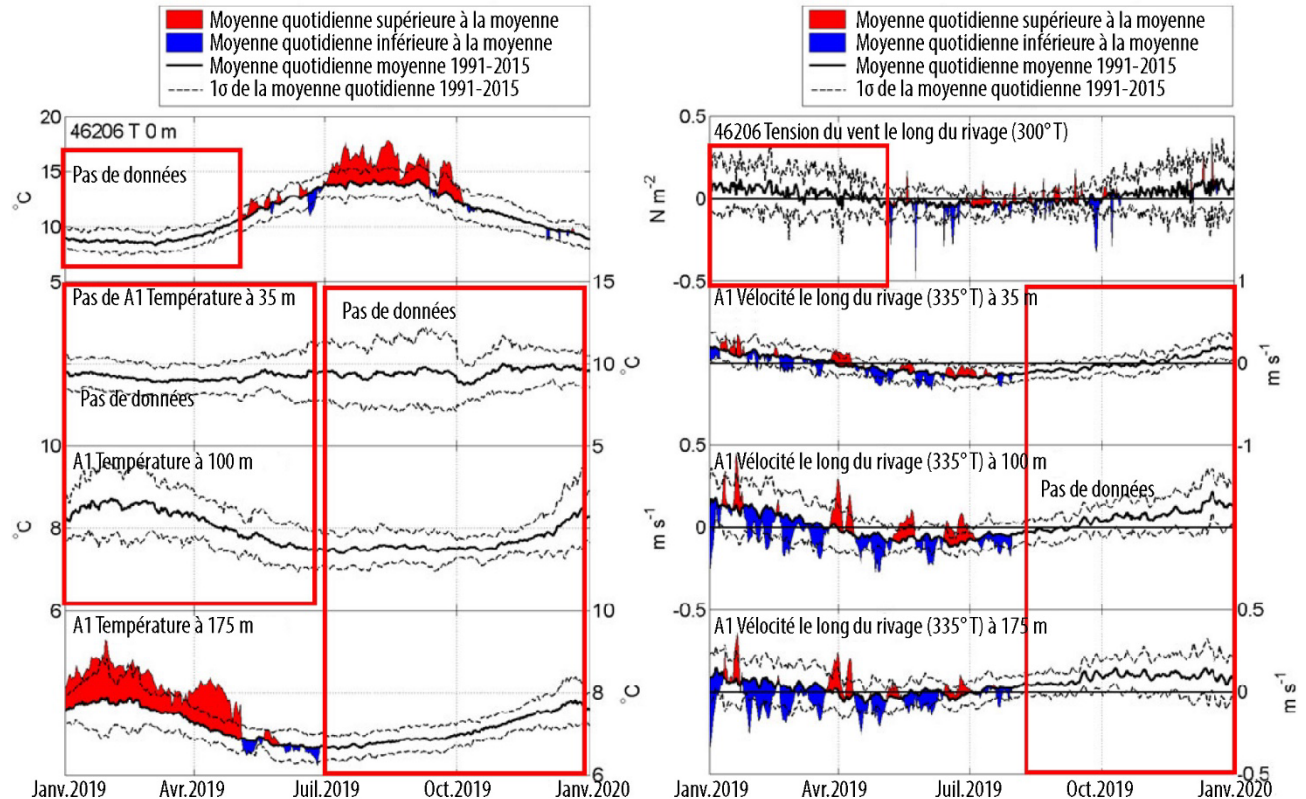


Figure 9-2. Moyennes quotidiennes. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoral (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses ($^{\circ}T$) est la direction principale du vecteur vent ou courant en degrés de relèvement compas vrai.

Les vents de surface et courants littoraux étaient généralement proches des conditions de la moyenne de la période 1991-2015 (figure 9-2, à droite). Cependant, le flux était constamment et anormalement équatorial (favorable à la remontée d'eau) en février-mars. Il n'y a pas de données au début de l'année en surface (défaillance de la bouée) et en subsurface après juillet (le déploiement de ce poste d'amarrage sera récupéré à l'été 2020).

La figure 9-3 montre les valeurs moyennes mensuelles de la température de 2010 à 2019. Les plus évidentes sont les anomalies de température positives associées à la vague de chaleur marine et à El Niño entre 2014 et 2016. Les anomalies de température positives sont réapparues en 2019 à la surface et se sont poursuivies à 175 m de profondeur. En ce qui concerne le flux littoral, de fortes anomalies sont apparues en 2013 (faible flux vers les pôles en hiver précédant la vague de chaleur marine), et on a constaté un renforcement du flux vers l'équateur durant les étés 2015 et 2016 et un renforcement du flux vers le pôle pendant les hivers 2015-2016 et 2016-2017. Ces caractéristiques sont probablement dues aux

caractéristiques plus fortes de la circulation atmosphérique en surface à grande échelle (dépression des Aléoutiennes et anticyclone du Pacifique Nord) associées à El Niño. Le flux plus fort vers le pôle pourrait également s'expliquer par un déplacement vers l'est des trajectoires des tempêtes hivernales vers la côte.

Des températures plus élevées et un flux accru vers le pôle ont également été observés lors du précédent El Niño fort de 1997-1998 (figure 9-4). Bien que le flux soit généralement revenu aux conditions moyennes à long terme, les anomalies de température observées sont encore très positives.

9.4. Facteurs influençant les tendances

Le fort El Niño de 2015-2016 et l'intensification de la fréquence des vagues de chaleur marines ces dernières années se traduisent par des températures océaniques plus élevées que la moyenne, à la surface et en profondeur. Un flux vers le pôle plus faible que la moyenne en hiver est également associé aux vagues de chaleur marines (activité de tempête plus faible ou déplacement de l'activité de tempête vers l'ouest). Les forts El Niños comme celui de 2015-2016 sont associés à un flux accru vers le pôle en hiver et vers l'équateur en été, deux phénomènes évidents.

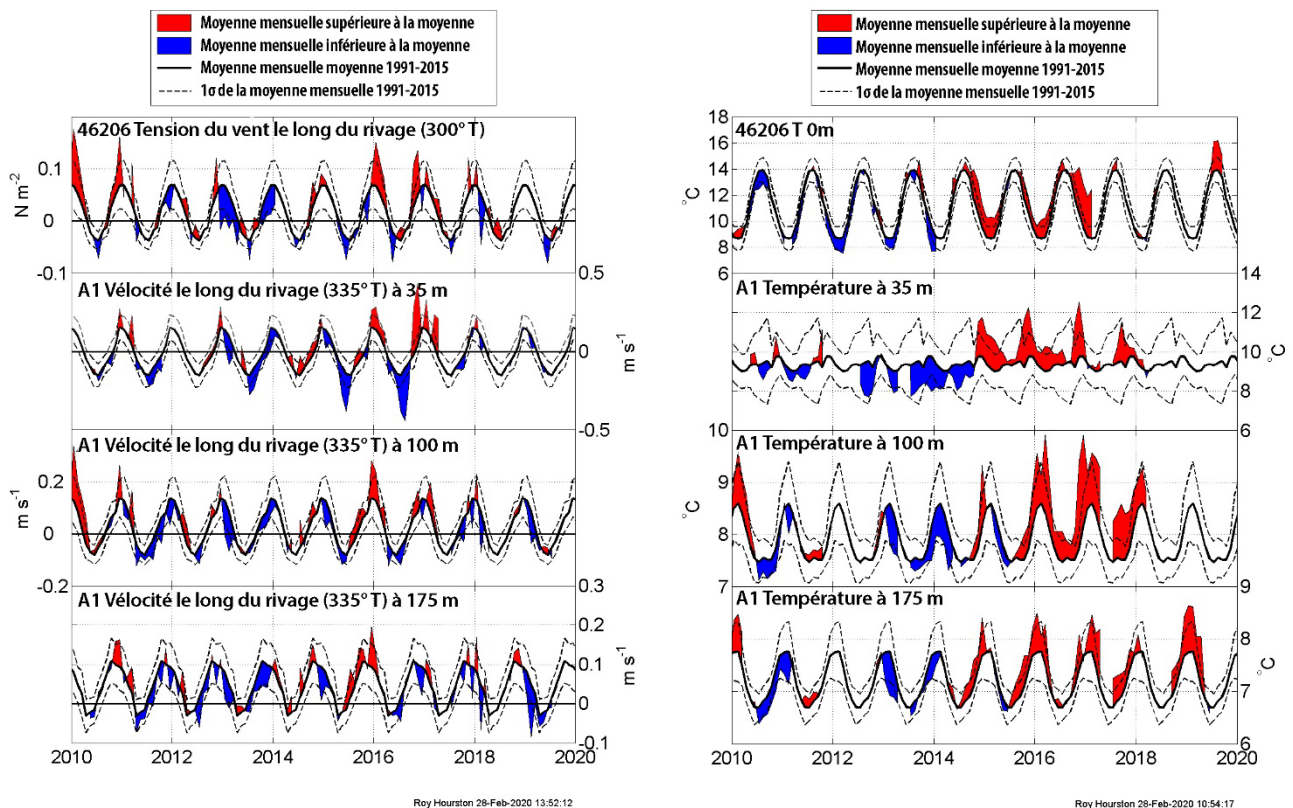


Figure 9-3. Moyennes mensuelles. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoraux (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses (°T) est la direction principale du vecteur vent ou courant en degrés de relèvement compas vrai.

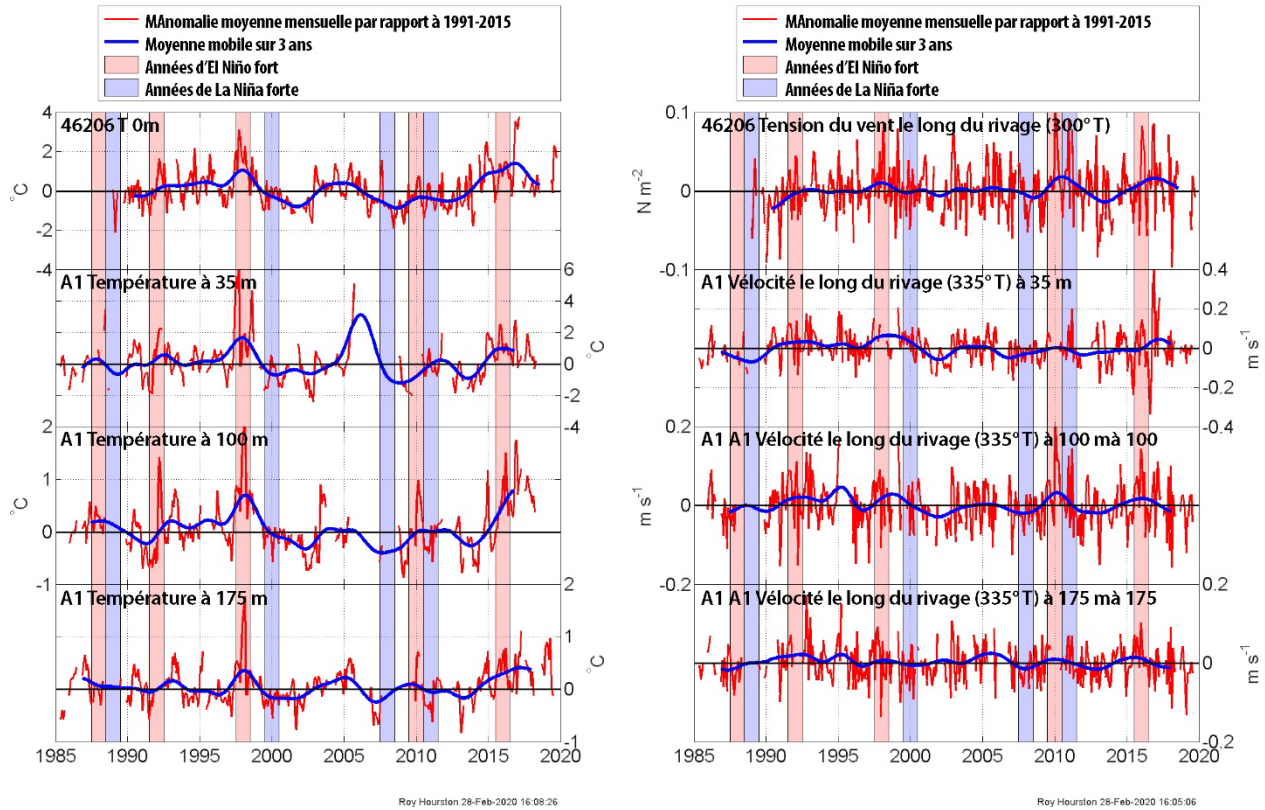


Figure 9-4. Anomalies mensuelles. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoraux (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses (°T) est la direction principale du vecteur vent ou courant en degrés de relèvement compas vrai.

10. TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DE LA MER ET SALINITÉ OBSERVÉES DANS LES STATIONS CÔTIÈRES ET AUX BOUÉES MÉTÉOROLOGIQUES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE, 2019

Peter Chandler, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Peter.Chandler@dfo-mpo.gc.ca

10.1. Faits saillants

- La température annuelle moyenne de la surface de la mer (SST) des 12 stations côtières participantes en 2019 (10,83 °C) était généralement plus élevée qu'en 2018, avec une augmentation annuelle moyenne de 0,16 °C sur l'ensemble de la côte.
- Sept des douze bouées météorologiques côtières ont fourni suffisamment de données en 2019 pour permettre une analyse statistique. La température de la surface de la mer annuelle moyenne des sept bouées côtières de mesure des vagues en 2019 (11,11 °C) était généralement plus chaude qu'en 2018, avec une augmentation annuelle moyenne de 0,10 °C sur l'ensemble de la côte.
- Les anomalies par rapport à la moyenne à long terme (1935-2019) de la température de la surface de la mer révèlent des périodes chaudes et froides régulières s'étendant sur plusieurs années; 2019 est la continuation d'une période chaude qui a commencé en 2014. Cette durée d'une température de la surface de la mer annuelle supérieure à la normale est liée à la plus longue période de chaleur jamais enregistrée (sept ans depuis 1992-1998).
- Les données à long terme des stations côtières montrent une tendance linéaire à un réchauffement des températures de la surface de la mer côtières de 0,86 °C sur 100 ans.
- Les observations annuelles de la salinité ont révélé une diminution à six des 12 stations, avec une diminution moyenne de 0,13 sur l'ensemble de la côte (écart-type de 0,07).

10.2. Description de la série chronologique

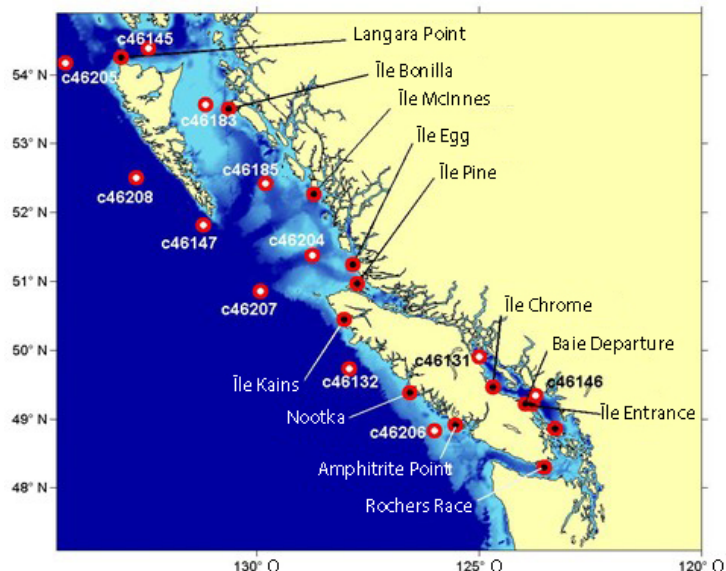


Figure 10-1. Les points rouges avec un centre noir indiquent l'emplacement des 12 stations côtières. Les points rouges avec un centre blanc indiquent l'emplacement des 12 bouées météorologiques. Voir les détails dans le tableau ci-dessous.

Station	Années de données	ID de la bouée	Emplacement	Années de données
Baie Departure	104	c46146	Banc Halibut	27
Rochers Race	97	c46131	Haut-fond Sentry	27
Nootka	52	c46206	La Pérouse	30
Amphitrite	83	c46132	Brooks sud	25
Île Kains	83	c46207	Dellwood est	30
Langara	82	c46147	Moresby sud	26
Île Entrance	83	c46208	Moresby ouest	29
Île Pine	82	c46205	Dixon ouest	31
McInnes	64	c46145	Dixon centre	28
Bonilla	58	c46204	Sea Otter ouest	30
Île Chrome	57	c46185	Hécate sud	28
Île Egg	48	c46183	Hécate nord	28

Deux sources de données sont utilisées pour décrire les changements des conditions à la surface de la mer dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique en 2019. Dans le cadre du programme océanographique des stations côtières du MPO, la température de la surface de la mer et la salinité sont mesurées quotidiennement à 12 stations côtières, à la première marée haute durant les heures de clarté. La plupart des stations se trouvent dans des phares (figure 10-1), les observations étant effectuées par les gardiens de phare à l'aide d'un instrument électronique portable (YSI Pro 30). Les données des bouées sont fournies par Environnement et Changement climatique Canada à partir d'un réseau de bouées du Système d'acquisition de données océaniques (SADO) qui relèvent la température de la surface de la mer toutes les heures.

10.3. État et tendances

Les observations des stations côtières montrent que la température de la surface de la mer quotidienne moyenne annuelle (figure 10-2, graphique supérieur) à toutes les stations était généralement plus chaude en 2019 qu'en 2018 (augmentation moyenne de 0,16 °C). Les augmentations étaient plus importantes en 2019 à un groupe de stations au nord de l'île de Vancouver (Nootka, Kains et Pine) que celles observées aux autres stations (augmentation moyenne de 0,60 °C). Les données des bouées météorologiques affichent une augmentation annuelle moyenne de la température de la surface de la mer quotidienne de 0,18 °C par rapport à l'année dernière (à l'exclusion des stations où l'incertitude est grande en raison de données manquantes ou de la précision des capteurs, par exemple La Pérouse et Hécate nord). La température de la surface de la mer sur l'ensemble de la côte en 2019 était plus basse de 0,66 °C par rapport aux conditions de 2015 pendant la vague de chaleur marine connue sous le nom de « Blob », mais malgré tout plus chaude de 0,47 °C et 0,57 °C que la climatologie sur 30 ans pour les données des stations côtières (1981 à 2010) et les données des bouées météorologiques (1991 à 2018), respectivement.

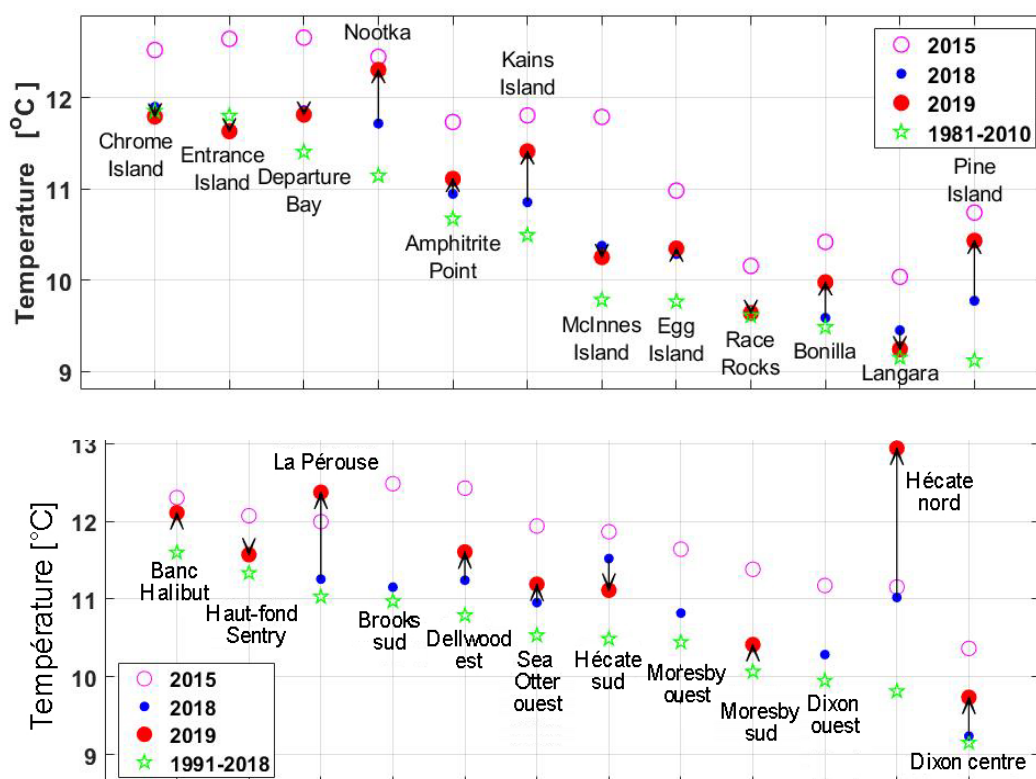


Figure 10-2. Graphique supérieur. Température de la surface de la mer moyenne en 2018 (points bleu foncé) et en 2019 (points rouges) d'après les observations quotidiennes aux stations côtières sur la côte Ouest du Canada. Graphique inférieur. Température de la surface de la mer moyenne d'après les observations horaires des bouées météorologiques sur la côte Ouest du Canada. Les cercles ouverts représentent les conditions en 2015, lorsque la température de la surface de la mer était nettement plus élevée que la normale, les étoiles représentent la température climatologique annuelle moyenne.

En supposant un changement linéaire sur l'ensemble des données, les séries chronologiques de la température à toutes les stations côtières révèlent une tendance au réchauffement avec un niveau de confiance de 95 %. La figure 10-3 illustre une tendance au réchauffement sur toute la côte (à l'aide des données de toutes les stations côtières) de 0,86 °C sur 100 ans.

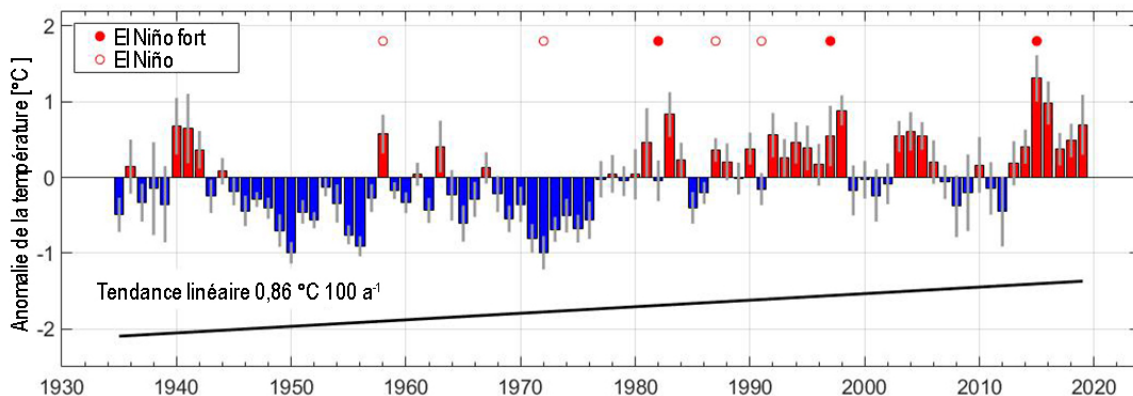


Figure 10-3. Tendance de la température annuelle d'après les observations de tous les phares. Les données indiquées sont les anomalies par rapport à la température moyenne à long terme (1935-2017). Les barres représentent la moyenne des anomalies sur toutes les stations (un indicateur pour toute la côte), (rouge – au-dessus de la moyenne, bleu – en dessous de la moyenne), les lignes grises verticales montrent la variabilité des données du phare pour chaque année

La figure 10-4 illustre la dessalure de la surface de la mer à des stations représentatives pour chacune des trois régions (côte nord, côte ouest de l'île de Vancouver et détroit de Georgie). Une analyse de tendance linéaire appliquée à la salinité montre une tendance continue à long terme vers des conditions moins salines, bien que les conditions soient plus salines ces dernières années.

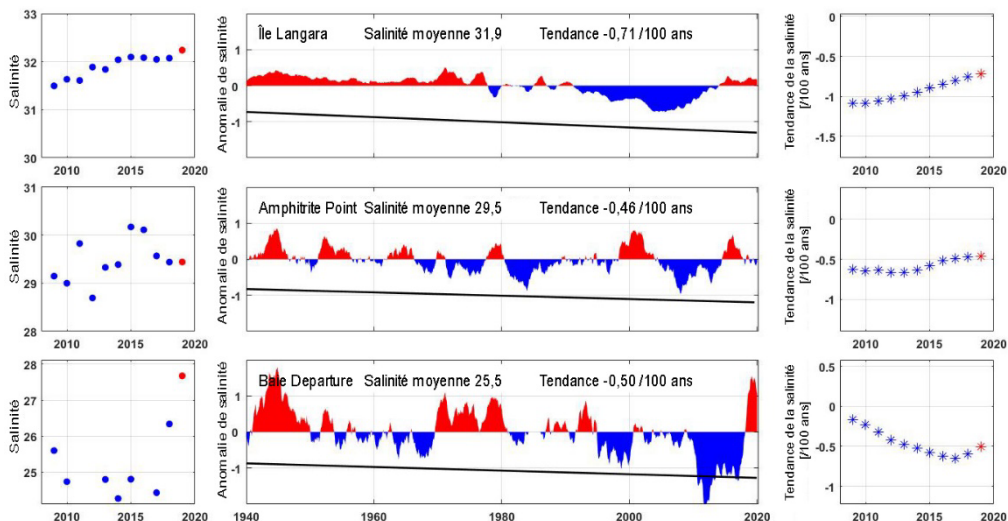


Figure 10-4. Série chronologique d'observations de la salinité quotidienne, en moyenne sur 12 mois, à des stations représentant la côte nord, la côte ouest de l'île de Vancouver et le détroit de Georgie. Les anomalies positives par rapport à la température moyenne de l'ensemble du registre sont indiquées en rouge, les anomalies négatives en bleu. Le graphique de gauche représente la moyenne annuelle de la température de la surface de la mer pour l'année indiquée sur l'axe des abscisses. Le graphique de droite représente la pente des lignes de tendance calculées en utilisant uniquement les données jusqu'à l'année indiquée sur l'axe des abscisses.

10.4. Facteurs influençant les tendances

Bien que les températures de la surface de la mer aient été plus chaudes pendant la vague de chaleur marine de 2014 à 2016, celles de 2019 poursuivent la période d'eau plus chaude que la normale. Cette période d'eau chaude a commencé à la fin de 2013 et sa durée correspond à l'épisode record d'eau chaude (sept ans de 1991 à 1998).

L'activité de vague de chaleur marine observée plus au large (Ross et Robert, section 7) dans les données satellitaires n'était pas évidente dans les données côtières en 2019, à l'exception de la bouée météorologique d'Hécate nord (remarque : les données d'Hécate nord sont en cours de révision, car le signal de la température de la surface de la mer est beaucoup plus important que prévu).

Le registre des températures à long terme (80 ans) montre que lorsque l'on superpose les oscillations pluriannuelles de la température de la surface de la mer annuelle, il subsiste une tendance à long terme à la hausse des températures océaniques.

Les observations de la salinité à long terme indiquent une tendance vers des conditions moins salines à la plupart des stations sur la côte de la Colombie-Britannique. La variabilité du signal de salinité le long de la côte du Pacifique est régie par une combinaison des effets intégrés du forçage atmosphérique et des précipitations côtières; le détroit de Georgie est fortement influencé par le débit du Fraser (Cummins et Masson 2014).

10.5. Conséquences de ces tendances

La température de la surface de la mer et la salinité sont des propriétés fondamentales de l'eau qui définissent l'habitat des organismes qui vivent dans les couches supérieures de l'océan. Les impacts de ces changements sur les propriétés de l'eau dépendront des échelles de temps et d'espace pertinentes pour les organismes d'intérêt et sont décrits pour différents niveaux trophiques dans les eaux de la Colombie-Britannique dans Galbraith et Young (section 16) et Hyatt *et al.* (section 22).

10.6. References

Cummins, P.F., and Masson, D. 2014. Climatic variability and trends in the surface waters of coastal British Columbia. *Progress in Oceanography* 120: 279–290.

11. CONCENTRATION EN OXYGÈNE DANS LES EAUX DE SUBSURFACE

Bill Crawford et Angelica Peña, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Bill.Crawford@dfo-mpo.gc.ca, Angelica.Pena@dfo-mpo.gc.ca

11.1. Faits saillants

- À la fin de l'été, la concentration en oxygène dissous (O_2) dans les eaux de subsurface du plateau continental au sud-ouest de l'île de Vancouver est généralement faible. Les observations effectuées en 2019 ont révélé des niveaux d'oxygène normaux (fondés sur 40 ans de données) sur le plateau nord, mais un creux record (0,63 ml/L) à la station sud LB08.
- L'oxygène est surveillé le long de la ligne P depuis plus de 60 ans. Le déclin de l'oxygène se poursuit depuis 60 ans au large sur 700 km le long de la ligne P. On a observé peu de changement en général à des profondeurs constantes du talus jusqu'à 700 km le long de la ligne P.
- Un niveau plus faible d'oxygène dans les eaux de subsurface du plateau continental et du talus au cours des 30 dernières années est généralement associé à l'eau plus chaude et plus salée qui coule du sud, tandis que l'eau plus fraîche et plus douce de l'ouest est plus oxygénée.

11.2. L'oxygène sur le plateau continental

La figure 11-1 est une représentation graphique de l'évolution historique de l'oxygène près du fond en été. Les symboles indiquent les endroits où une hypoxie a été observée. (L'hypoxie est définie comme une concentration en oxygène inférieure à 1,4 ml/L ou 60 $\mu\text{mol/kg}$). Beaucoup de ces symboles se trouvent dans des bras de mer où l'eau des profondeurs est naturellement

hypoxique en raison des faibles apports d'eau de régions extérieures.

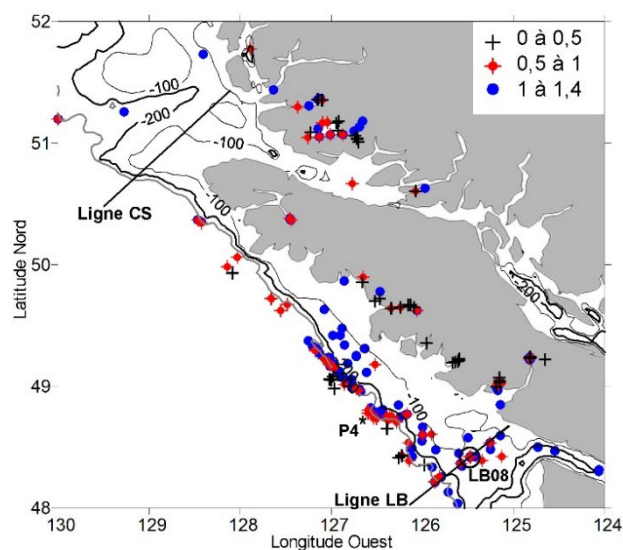


Figure 11-1. Concentration d'oxygène (O_2 , en ml/L) en été à moins de 20 mètres du plancher océanique pour les régions du plateau continental et du talus où la profondeur est inférieure à 1 000 mètres (1 ml/L = 43 $\mu\text{mol/kg}$). Chaque symbole représente une mesure des programmes de recherche du MPO. Seules les observations où l'oxygène est inférieur à 1,4 ml/L (60 $\mu\text{mol/kg}$) sont tracées sur le graphique. Le symbole O indique l'emplacement de la station LB08, où l'oxygène est surveillé depuis 1979. La ligne LB est indiquée par une ligne noire passant par la station LB08. La ligne CS est située au nord de l'île de Vancouver. L'emplacement de la station P4 le long de la ligne P est indiqué par le symbole *. La figure repose sur Crawford et Peña (2013).

Des taux d'oxygène plus faibles sont observés dans les eaux plus profondes du plateau continental et du talus parce que la concentration en oxygène diminue avec l'augmentation de la profondeur et de la densité de l'eau. Le plus faible taux d'oxygène observé sur le plateau en été a été relevé au large du sud-ouest de l'île de Vancouver, le long de la ligne d'échantillonnage LB, en grande partie en raison de la plus forte remontée d'eau plus profonde et de la respiration accrue de la matière organique en décomposition. Le MPO surveille la concentration en oxygène au large du sud-ouest de l'île de Vancouver depuis 1979. La diminution de l'oxygène dans les eaux de subsurface s'accompagne normalement d'une augmentation de l'acidité. Ces deux tendances sont très préoccupantes pour la vie marine.

Le cycle annuel de l'oxygène au large du sud-ouest de l'île de Vancouver est présenté à la figure 11-2. Ce graphique montre que le niveau d'oxygène est généralement au plus bas entre la mi-août et le début octobre (jours 230 à 280). On observe une diminution générale à la fin de l'été, passant d'un taux d'oxygène plus élevé de 1979 à 2005 à un taux plus bas de 2006 à 2019, à l'exclusion de 2015.

D'après les données préliminaires, les plus faibles concentrations en oxygène (0,63 ml/L, 28 $\mu\text{mol/kg}$) ont été enregistrées en 2019. En 2017 et 2018, elles étaient respectivement de 0,80 et 0,86 ml/L (35 et 37 $\mu\text{mol/kg}$), très proches du creux record de 2019. La concentration élevée en oxygène à la fin de l'été 2015 est attribuée au « Blob », une masse d'eau plus douce, riche en oxygène, comme décrit dans Boldt *et al.* (2019).

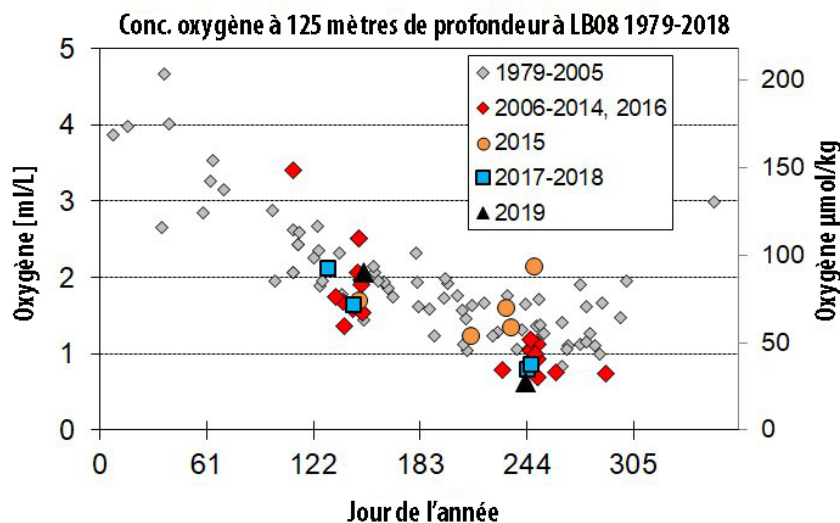


Figure 11-2. Concentration en oxygène (O_2) à 125 mètres sous la surface de l'océan à la station LB08. Les symboles représentent les observations relevées le jour de l'année où l'échantillon a été prélevé. Le jour 244 est le 1^{er} septembre. La profondeur du plancher océanique est de 145 mètres. La figure est fondée sur Crawford et Peña (2013).

En général, on observe la faible concentration en oxygène à la station LB08 à la fin de l'été dans des eaux plus denses et plus salées, peut-être en raison d'une augmentation du flux vers le nord des eaux de remontée du Pacifique équatorial le long du talus. La concentration en oxygène la plus élevée est généralement observée dans l'eau plus douce qui coule de l'ouest. Ainsi, une grande partie de la variabilité est due aux différents mélanges de ces deux types d'eau. En outre, la faible concentration en oxygène observée de 2017 à 2019 est probablement en partie due à l'augmentation des remontées d'eau et de la respiration biologique dans les eaux proches du fond.

La figure 11-3a illustre les contours de l'oxygène à travers le plateau le long de la ligne LB; la moyenne a été calculée pour la période de 2006 à 2018 (à l'exclusion de 2015), qui correspond à la période récente de faible concentration en oxygène à la station LB08 illustrée sur la figure 11-2. La concentration la plus basse près du fond sur la figure 11-3a se trouve à la station LB08, à environ 40 km de la station LB01, qui est elle-même proche de l'île de Vancouver. La concentration en oxygène est plus élevée dans les stations situées à environ 40 km de la côte en raison du courant côtier de l'île de Vancouver, riche en oxygène, qui s'écoule ici vers le nord-ouest. La formation en dôme des contours de l'oxygène est due à la proximité du noyau du tourbillon Juan de Fuca. La figure 11-3b illustre la concentration en oxygène à la fin de l'été 2019, lorsqu'elle était la plus basse jamais mesurée à 125 mètres de profondeur à la station LB08. En 2019, les faibles niveaux d'oxygène dans les eaux proches du fond se sont étendus le long de la ligne LB 20 jusqu'à 60 km de la station LB01. Plus au large, la concentration en oxygène était plus élevée que la moyenne de 2006 à 2018 à la plupart des profondeurs.

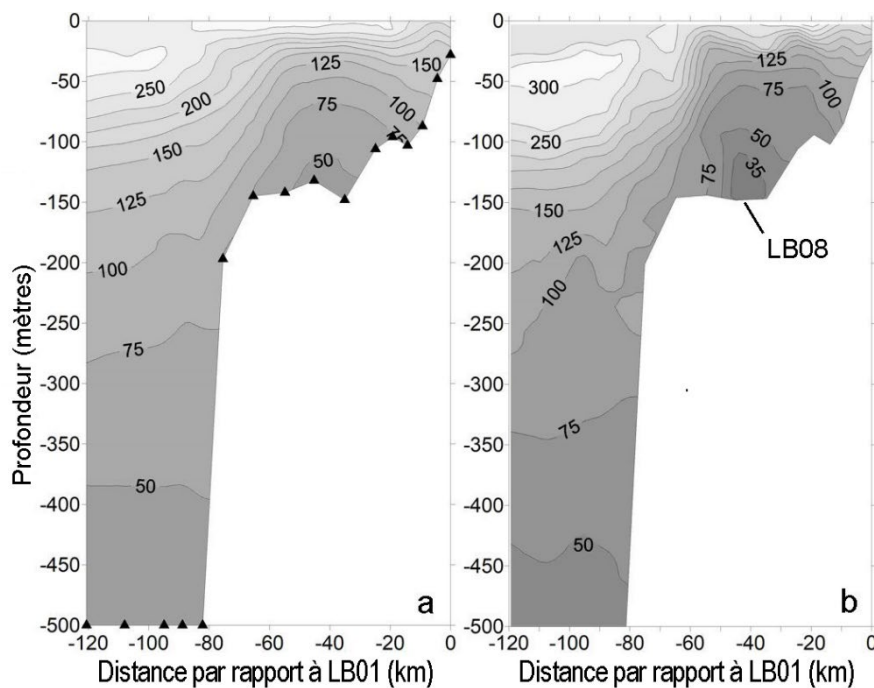


Figure 11-3. Concentration en oxygène ($\mu\text{mol/kg}$) sur le plateau continental et le talus le long de la ligne LB des stations d'échantillonnage du MPO au sud-ouest de l'île de Vancouver. Les courbes montrent la concentration à la fin de l'été pour (a) la moyenne des années 2006 à 2018 (à l'exclusion de 2015), et (b) 2019. La station LB01 se trouve à l'extrémité de la ligne LB vers la côte. Voir l'emplacement de la ligne LB sur la figure 11-1.

Plus au nord, le long de la ligne CS (voir l'emplacement sur la figure 11-1), l'oxygène en 2019 est proche de la moyenne observée entre 2005 et 2018 (sauf en 2015), donc le creux extrême relevé le long de la ligne LB en 2019 ne représente pas cette région.

11.3. Concentration en oxygène dans les eaux du talus continental et du large

Peu de stations dans les eaux du talus continental et du large ont procédé à des échantillonnages réguliers avant 1980. Pour évaluer les tendances avant 1980, nous avons regroupé les observations dans les zones situées autour de chacune des stations d'échantillonnage intensif le long de la ligne P et avons inclus toutes les observations dans les archives. Crawford et Peña (2016) décrivent les détails de ce processus et les résultats jusqu'en 2011. Nous présentons des mises à jour pour la station océanique P (OSP) et pour la

station P4 sur la figure 11-4 ci-dessous. La station OSP se trouve à environ 1 400 km au large, le long de la ligne P, par 4 300 mètres de fond. La station P4 se trouve sur le talus, par 1 300 mètres de fond (figure 11-1).

Au large du plateau continental, la hauteur dynamique des eaux de subsurface augmente et diminue avec les saisons et même avec les changements des vents locaux, ce qui crée du bruit dans les enregistrements de l'oxygène à des profondeurs absolues. Pour supprimer ce bruit, nous calculons l'oxygène sur des surfaces de densité constante plutôt qu'à profondeur constante. Les observations de l'oxygène sur des surfaces de densité constante sont présentées à la figure 11-4.

On observe une diminution générale de l'oxygène à la station OSP depuis 1956 (figure 11-4a), modulée par une oscillation qui correspond au cycle nodal lunaire de 18,6 ans (ligne pointillée noire), une caractéristique notée pour la première fois par Whitney, Freeland et Robert (2007). L'oxygène à des profondeurs constantes a également diminué au cours de cette période (Cummins et Ross, sous presse).

À la station P4, l'oxygène a atteint un pic vers 1980 et des concentrations plus faibles ont été enregistrées dans les années 1950 et 2000, comme le montrent les courbes en trait plein pour les surfaces de densité de 26,5, 26,7 et 27,9 (figure 11-4b). Il a quelque peu augmenté depuis 2012 à cette station, mais les concentrations sont toujours inférieures au pic des années 1980. Cette diminution globale est généralement compensée par une augmentation de la profondeur des mêmes surfaces de densité constante, de sorte que la concentration en oxygène à des profondeurs constantes ces dernières années est à peu près la même qu'en 1980.

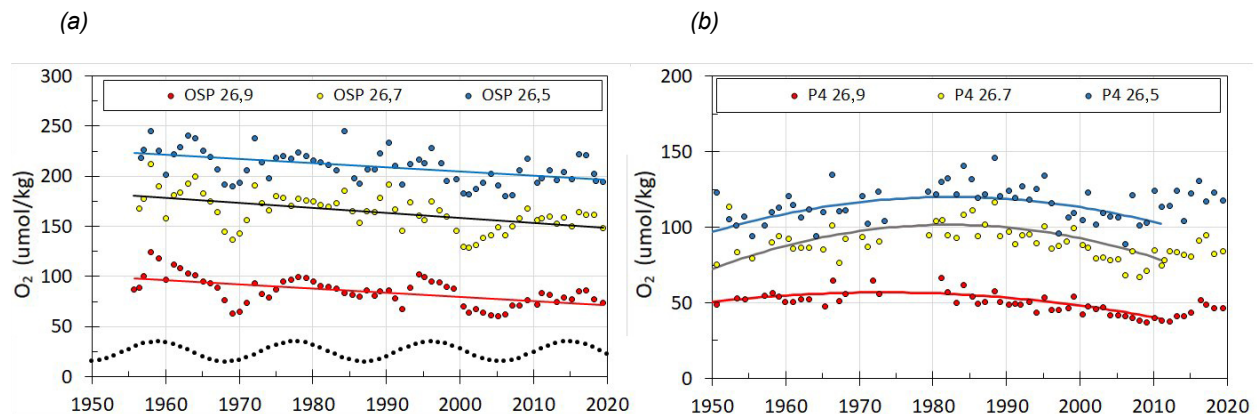


Figure 11-4. Concentration annuelle moyenne d'oxygène (O_2) à (a) la station océanique P (OSP) dans la région hauturière, et (b) la station P4 sur le talus continental. La concentration en oxygène a été interpolée sur les surfaces de densité constante de 26,5, 26,7 et 26,9, représentant des densités potentielles de 1 026,5 à 1 026,9 kg/m^3 . Les profondeurs typiques de ces surfaces de densité sont de 130, 170 et 300 m à la station OSP, et de 180, 280 et 490 m à la station P4. Les tendances à la station OSP sont de $-0,4 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{a}^{-1}$ sur les surfaces de 26,5 et 26,9, et de $-0,5 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{a}^{-1}$ sur la surface de 26,7. La figure est fondée sur Crawford et Peña (2016) et Whitney et al. (2007).

11.4. References

- Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.
- Crawford, W.R., and Peña, M.A. 2016. Decadal trends in oxygen concentration in subsurface waters of the Northeast Pacific Ocean. *Atmosphere-Ocean* 54(1): 171-192.
- Crawford, W.R., and Peña, M.A. 2013. Declining oxygen on the British Columbia continental shelf. *Atmosphere Ocean* 51(1): 88–103.
- Cummins, P.F., and Ross, T. (in press). Secular trends in water properties at Station P in the Northeast Pacific: an updated analysis. *Prog. in Oceanogr.*
- Whitney, F.A., Freeland, H.J., and Robert, M. 2007. Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. *Prog. Oceanogr.* 75: 179–199.

11.5. Remerciements

Nous remercions Nick Bolingbroke, Marie Robert, Akash Sastri, Germaine Gatien et Di Wan du MPO, le Service des données sur le milieu marin du MPO à Ottawa et les National Centers for Environmental Information de la NOAA.

12. OBSERVATIONS PAR SATELLITE DES EAUX DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Jim Gower, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, North Saanich, Colombie-Britannique, jim.gower@dfo-mpo.gc.ca

12.1. Faits saillants

- Les indicateurs mondiaux montrent une accélération des changements climatiques. La courbe de Keeling représentant la concentration mondiale en dioxyde de carbone, le niveau moyen mondial de la mer et la moyenne mondiale de la température de la surface de la mer présentent tous des augmentations continues et exponentielles.
- Les différences entre la courbe de Keeling et un modèle exponentiel (figure 12-1) montrent que les grandes éruptions volcaniques ont pour effet de provoquer des réductions courtes, mais significatives de la concentration en CO₂ en fertilisant l’océan avec du fer. Jusqu’à présent, la seule observation directe de cet effet d’un volcan a eu lieu dans les eaux proches de la station Papa en 2008 (Hamme *et al.* 2010).
- La prolifération printanière dans le détroit de Georgie a commencé le 8 mars 2019 environ dans le détroit central, précédée par des proliférations dans l’anse Sechelt et le détroit de Malaspina.
- Une prolifération lumineuse, que l’on suppose être des coccolithophores, a été observée dans le détroit d’Hécate du 15 au 23 juillet 2019.
- Une prolifération dont la signature sur les images satellites semble indiquer qu’il s’agit d’*Heterosigma* a été observée dans la baie Barkley et au large de celle-ci en septembre 2019.

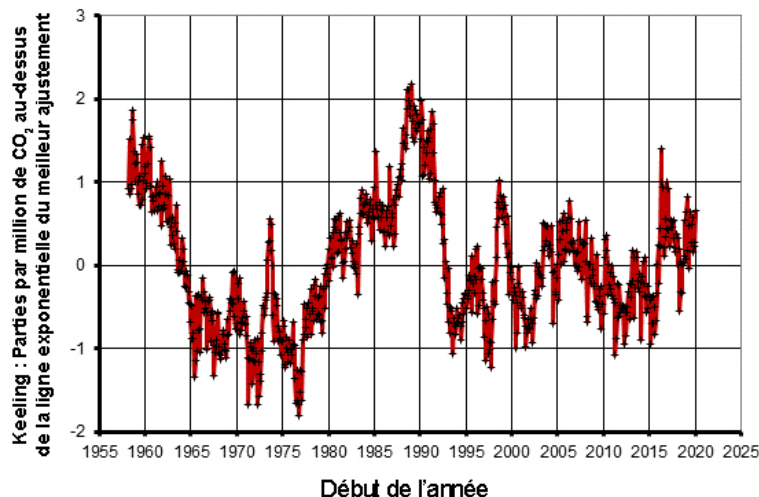


Figure 12-1. Concentration en dioxyde de carbone dans l’atmosphère terrestre après suppression du cycle annuel et de la tendance « habituelle » de croissance exponentielle. Le résidu diminue après l’éruption du mont Agung (1964) et du Pinatubo (1991), et après les épisodes El Niño de 1973, 1998 et 2016. L’écart par rapport à la croissance exponentielle continue était généralement inférieur à 1 ppm en dépit des efforts de réduction des émissions.

12.2. Description de la série chronologique

La « courbe de Keeling » (ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt) illustre les concentrations en dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre depuis 1957. Les données font maintenant penser à une augmentation exponentielle : $CO_2(ppmv) = 257,5 + 111,5 \times 10^{(0,0164(année-2000))}$. En réponse, le niveau moyen mondial de la mer mesuré par altimétrie satellitaire de 1993 à 2020 (<https://www.aviso.altimetry.fr/fr/donnees/produits/produits-indicateurs-oceaniques/evolution-du-niveau-moyen-des-mers-vu-par-les-altimetres.html>) et l'anomalie de la température moyenne de la surface de la mer mesurée de 1850 à 2020 (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadsst3/>) augmentent de manière exponentielle comme suit :

$Niveau\ de\ la\ mer = 15,25 \times 10^{(0,0194(année-2000))}$ et
 $Anomalie\ de\ la\ température\ de\ la\ surface\ de\ la\ mer\ moyenne\ (C) = 0,64 \times 10^{(0,0195(année-2000))}$,

respectivement.

Dans le passé, la date de la prolifération printanière dans le détroit de Georgie était déterminée à partir d'images satellitaires MODIS et Sentinel 3 (figure 12-2), de fluorimètres sur place montés sur des traversiers de la Colombie-Britannique le long de leurs routes de Nanaimo à Tsawwassen et Horseshoe Bay par Oceans Networks Canada, ainsi que de données sur la fluorescence enregistrées par deux bouées météorologiques de surface. Les données ont été enregistrées sur une seule route de traversier en 2019 et les bouées météorologiques ne sont plus équipées de fluorimètres, mais une bouée Viking déployée en 2018 dans le nord du détroit est régulièrement entretenue et a enregistré des données jusqu'au 6 février 2020.

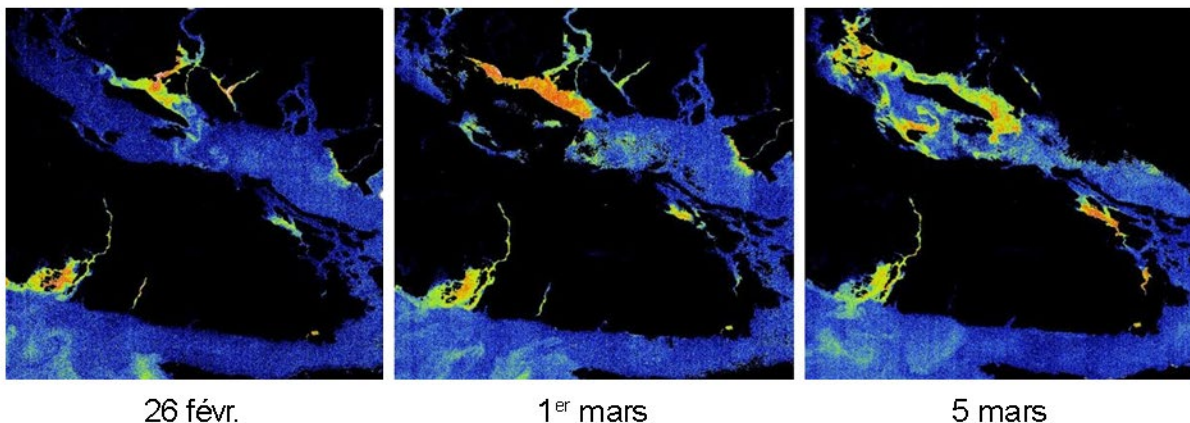


Figure 12-2. Images OLCI de la fluorescence de la chlorophylle du début de la prolifération printanière dans le détroit de Georgie en 2019 (résolution de 300 m). Comme en 2018, la prolifération printanière de 2019 dans le détroit de Georgie a commencé après une prolifération dans l'anse Sechart (avant le 26 février), qui s'est étendue et a couvert le détroit de Malaspina (1^{er} mars). C'est un autre exemple de l'ensemencement du « Dragon de Malaspina » qui a conduit à une prolifération printanière précoce en 2005, 2008 et 2009.

Les proliférations brillantes, les coccolithophores, émettent un signal fort mesuré par de nombreux systèmes d'imagerie par satellite. Le Worldview de la NASA

(<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) fournit un affichage quotidien pratique à partir des instruments MODIS et VIIRS et a révélé une eau lumineuse dans le détroit d'Hécate du 15 au 23 juillet 2019 (figure 12-3).

La prolifération de type *Heterosigma* a été détectée dans les images composites mondiales mensuelles de septembre et octobre calculées par l'Agence spatiale européenne (Gower *et al.* 2008) à partir des données d'images collectées par le capteur MERIS (2002 à 2012) et Ocean and Land Colour Instrument (OLCI; depuis 2016). Ces deux instruments sont les seuls systèmes mondiaux fournissant des mesures dans la bande spectrale de 709 nm où les nappes de surface d'*Heterosigma* produisent un signal de crête caractéristique, mesuré par l'ICM (indice de chlorophylle maximal). L'image de la figure 12-4 est dérivée des données d'images OLCI à pleine résolution de 300 m.

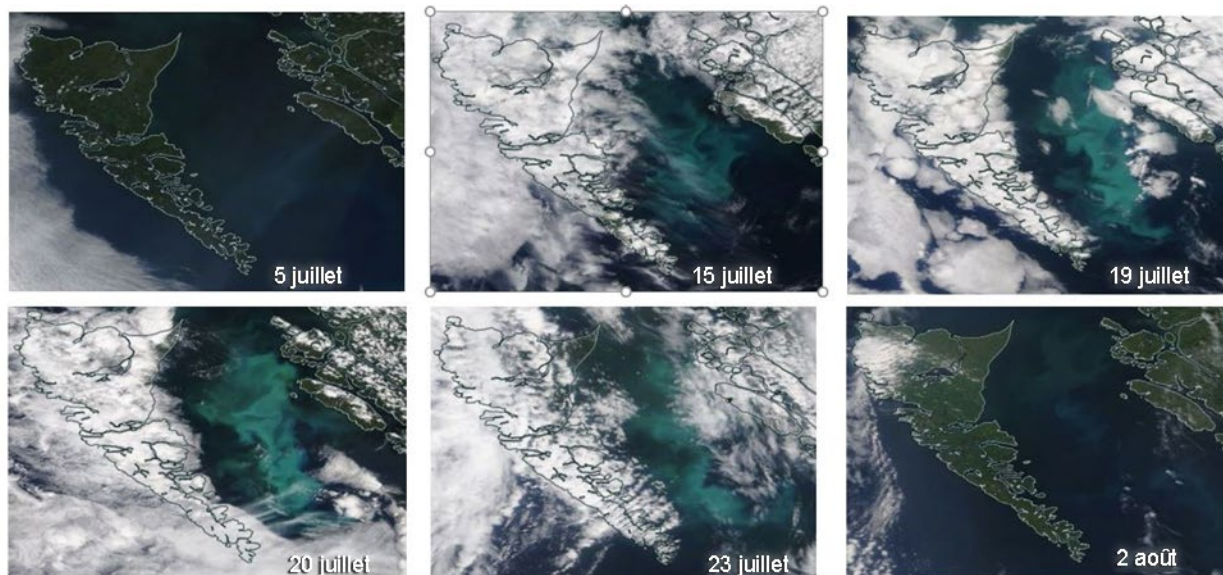


Figure 12-3. Images MODIS-T à une résolution spatiale de 250 m montrant des eaux lumineuses dans le détroit d'Hécate du 15 au 23 juillet 2019.

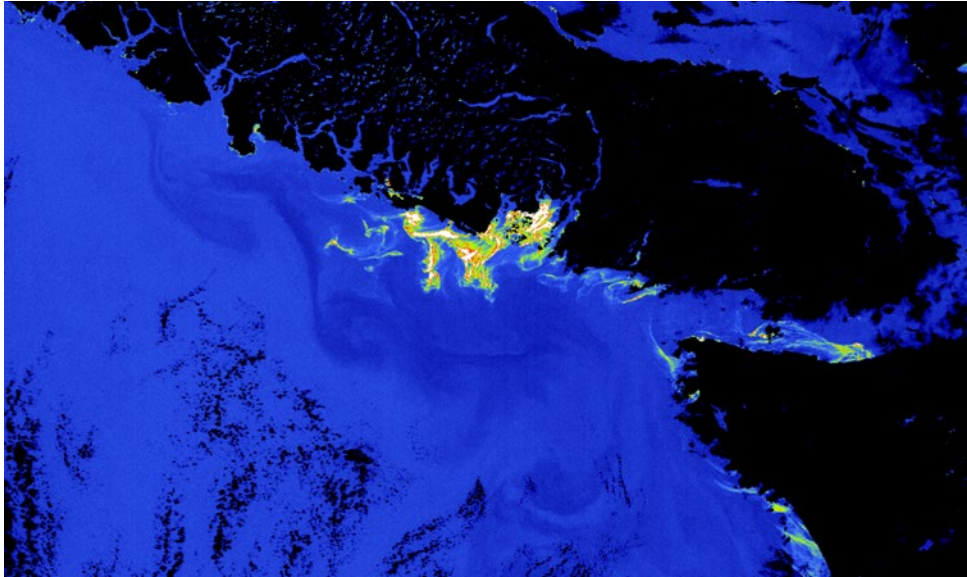


Figure 12-4. Image OLCI à une résolution spatiale de 300 m, montrant l'eau avec un signal élevé d'ICM dans la baie Barkley et à proximité le 18 août 2019.

12.3. État et tendances

En 2019, les mesures de Keeling de la concentration en dioxyde de carbone suggèrent qu'un modèle d'augmentation exponentielle est le plus adapté aux données, malgré les plans mondiaux de réduction des émissions. Les différences résiduelles par rapport au modèle à long terme (figure 12-1) montrent les effets des éruptions volcaniques (Agung en 1964, Pinatubo en 1991) et des épisodes El Niño (1971, 1998 et 2016). En réponse à la hausse exponentielle du CO₂, le niveau moyen mondial de la mer et la température de la surface de la mer affichent tous deux des tendances à la hausse exponentielle qui se traduiraient par une élévation de 40 cm du niveau de la mer et une hausse de 1,6 °C des températures d'ici 2050, et de 110 cm et 4 °C d'ici 2100.

Les concentrations en chlorophylle près de la surface dans le détroit de Georgie ont été surveillées en 2019 par des satellites et des fluorimètres installés sur des traversiers et des bouées météorologiques. Les images montrent les premiers signes de prolifération dans l'anse Sechelt et le détroit de Malaspina (figure 12-2). Les images satellites et les instruments sur place ont donné une date cohérente pour le début de la prolifération printanière, le 8 mars 2019.

En 2019, la seule prolifération importante de coccolithophores sur la côte de la Colombie-Britannique a été observée en juillet dans le détroit d'Hécate. Des proliférations similaires ont été relevées sur la côte de la Colombie-Britannique en 2018, mais elles étaient moins intenses et occupaient moins de bras de mer qu'en 2016, la récente année de pointe.

La prolifération brillante de type *Heterosigma* de 2019 apparaît pour la première fois sur les images du satellite Sentinel 3a à l'aide de l'indice de chlorophylle maximal, s'étendant à partir des eaux de la baie Barkley le 18 septembre 2019 (figure 12-4) et plus loin sur la côte extérieure de l'île de Vancouver vers le nord-ouest le 30 septembre. Les espèces signalées dans la région étaient *Ceratium* et *Heterosigma*.

12.4. Facteurs influençant les tendances

Les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles ont fait passer les niveaux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère de 280 ppmv à l'époque préindustrielle (avant 1850 environ) à plus de 410 aujourd'hui, et devraient doubler d'ici 2060 approximativement.

L'élévation du niveau de la mer qui en résulte aura bientôt des effets dramatiques dans de nombreuses régions du monde. Le réchauffement commence à causer des problèmes importants, avec une augmentation des feux de forêt et de broussailles sur la terre et des impacts sur les pêches en eau douce, dans les mers côtières et les océans.

La prolifération printanière dans le détroit de Georgie était à nouveau relativement précoce, avec des proliférations dans l'anse Sechelt et le détroit de Malaspina qui ont peut-être provoqué le début de la prolifération principale (Gower *et al.* 2013).

On ne comprend pas bien les facteurs à l'origine des proliférations lumineuses dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique. De telles proliférations sont courantes au large du golfe d'Alaska.

On ne pense pas que la prolifération d'*Heterosigma/Ceratium* en septembre 2019 a causé des dommages importants au saumon d'élevage. Une augmentation de la fréquence de ces proliférations aurait des répercussions sur l'économie de l'aquaculture, entraînant peut-être un passage à des exploitations terrestres.

12.5. Conséquences de ces tendances

Les changements climatiques sont un problème mondial qui s'accélère en l'absence d'une action concertée pour réduire les émissions de carbone. Ils touchent presque tous les aspects du présent rapport sur l'état de l'océan Pacifique. L'élévation du niveau de la mer entraîne une érosion côtière accrue dans de nombreuses zones locales, et le réchauffement devrait avoir un effet croissant sur presque toutes les pêches.

On sait que le moment de la prolifération printanière dans le détroit de Georgie est important pour les saumons juvéniles en migration. L'importance de l'ensemencement à partir des proliférations dans les bras de mer pour influencer cette date n'a pas encore été déterminée, mais les proliférations dans l'anse Sechelt et le détroit de Malaspina semblent associées à des proliférations printanières précoces.

Les proliférations de coccolithophores ne causent pas de dommages en soi, mais elles fournissent une indication de l'activité des proliférations dans les eaux océaniques et côtières. Les changements éventuels signifient une modification des propriétés de l'eau, peut-être associée aux changements climatiques mondiaux, que nous devons comprendre.

Les proliférations, nuisibles ou non, devraient devenir plus fréquentes à mesure que les températures océaniques se réchauffent et que le flux de nutriments dans les eaux côtières continue d'augmenter.

12.6. References

- Gower, J.F.R., King, S.A., and Goncalves, P. 2008. Global Monitoring of Plankton Blooms Using MERIS MCI. *Int. J. Remote Sensing* 29: 6209–6216.
doi:10.1080/01431160802178110.
- Gower, J., King, S., Statham, S., Fox, R., and Young, E. 2013. The Malaspina Dragon: a newly-discovered pattern of the early spring bloom in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada, *Progress in Oceanography* 115: 181-188.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2013.05.024>
- Hamme, R.C., Webley, P.W., Crawford, W.R., Whitney, F.A., DeGrandpre, M.D., Emerson, S. R., Eriksen, C.C., Giesbrecht, K.E., Gower, J.F.R., T. Kavanaugh, M.T., Peña, M.A., Sabine, C.L., Batten, S.D., Coogan, L.A., Grundle, D.S., and Lockwood, D. 2010. Volcanic ash fuels anomalous plankton bloom in subarctic northeast Pacific, *Geophysical Research Letters* 37: L19604. doi:10.1029/2010GL044629

13. CONCENTRATIONS OCÉANOGRAPHIQUES AU LARGE DE LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER : 2019

Akash Sastri, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Akash.Sastri@dfo-mpo.gc.ca

13.1. Faits saillants

- Anomalies de température positives (jusqu'à 1 °C) dans la couche de mélange de surface à la plupart des stations d'échantillonnage pendant le relevé de mai (21 mai – 2 juin 2019); les anomalies étaient plus importantes au large que sur le plateau et modérément positives en profondeur.
- Anomalies de température positives (0,8 à 3,1 °C) dans la couche de mélange de surface à la plupart des stations d'échantillonnage pendant le relevé de septembre (29 août – 10 septembre 2019); sans profil horizontal uniforme.
- La couche supérieure de la colonne d'eau (< 100 m) était plus salée et plus douce que la moyenne lors des relevés de mai et de septembre, respectivement.
- Les conditions en septembre 2019 étaient similaires aux conditions de pointe du « Blob » en septembre 2015.

13.2. Description de la série chronologique

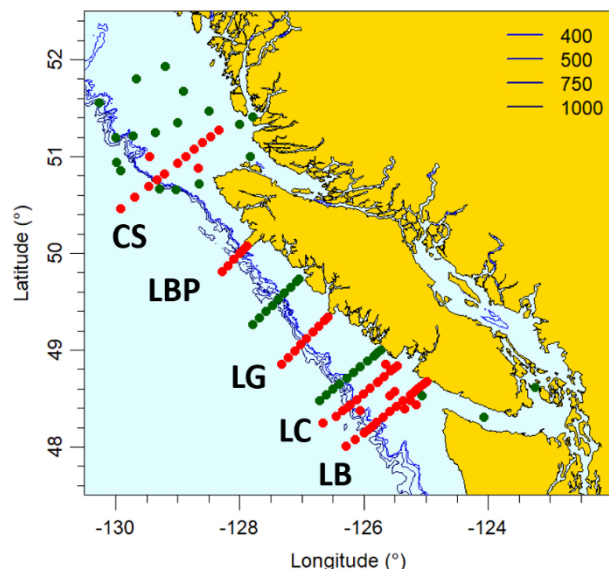


Figure 13-1. Carte des stations de relevé standard du banc La Pérouse-Côte ouest de l'île de Vancouver. Les stations de chacune des lignes de relevé (étiquetées) traitées dans ce rapport sont indiquées par des symboles rouges. Les isobathes sur la ligne indiquent le rebord du plateau et les profondeurs (m) de chaque contour sont définies dans la légende.

Cette série chronologique du relevé zooplanctonique sur la marge continentale de l'île de Vancouver s'étend de 1979 à aujourd'hui pour le sud de l'île de Vancouver, et de 1990 à aujourd'hui pour le nord de l'île de Vancouver. Le relevé sur le banc La Pérouse et la côte ouest de l'île de Vancouver a lieu chaque année en mai et en septembre et fournit des instantanés synoptiques des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques aux stations du plateau, du talus et en haute mer. Chacun des relevés semestriels dure de 11 à 13 jours et se déroule généralement pendant la période annuelle de la remontée d'eau. Le relevé de mai a généralement lieu dans les 30 jours suivant le début des vents positifs de remontée (voir Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 37). Le moment de la transition de la remontée d'eau à la plongée d'eau varie selon la latitude, mais le relevé de septembre précède

généralement cette transition au sud de l'île de Vancouver. Le présent rapport se concentre sur les lignes les plus régulièrement échantillonnées (symboles rouges sur la figure 13-1) : 1) lignes

LB, LC et LG pour le sud de l'île de Vancouver; et 2) lignes LBP et CS pour le nord de l'île de Vancouver. La moyenne de la série chronologique pour les lignes CS et LBP a été estimée comme étant la température ou la salinité moyenne pour chaque groupe de pression propre à une station de 1998 à 2014 et la période annuelle correspondant à chaque relevé. La moyenne de la série chronologique pour les lignes LG, LC et LB a été calculée comme pour les lignes du nord, mais par rapport aux moyennes des séries chronologiques de 1981 à 2010. Les anomalies ont été calculées comme étant la différence de température et de salinité pour chaque groupe de pression propre à une station du relevé de 2019 et la moyenne de la série chronologique correspondante.

13.3. État et tendances

Les températures océaniques supérieures dans la zone du relevé varient en fonction de la latitude, de la saison et de la profondeur du fond. Ici, la « couche de mélange » désigne la couche de mélange de surface (de la surface à la profondeur de la fréquence de la portance hydraulique maximale au carré, N^2). Les températures moyennes de la couche de mélange pour chacune des séries chronologiques de mai ont tendance à être plus fraîches le long des lignes du nord (9,75 °C) par rapport aux lignes du sud (10,6 °C), avec seulement des différences modérées entre les stations du plateau (< 200 m), du rebord du plateau et en haute mer. Le réchauffement estival de la surface et le transport d'Ekman des eaux de surface vers l'ouest sur le plateau donnent un profil plus prononcé de températures plus chaudes aux stations en haute mer (~13,6 °C) par rapport à celles du plateau continental (~12,0 °C) pour les cinq lignes s'étendant au large de la côte ouest de l'île de Vancouver.

En mai 2019, les profondeurs moyennes de la couche de mélange pour les lignes LB, LC, LG et LBP variaient entre 14 et 19 m pour les stations du plateau. La profondeur moyenne de la couche de mélange aux stations du plateau sur la ligne CS était de 31 m. Au large, elle était plus importante et variait de 24 à 40 m à chaque ligne. En mai 2019, les températures aux stations du plateau pour les lignes CS et LBP étaient de 0,71 °C et 0,36 °C supérieures à la moyenne. En haute mer, les lignes CS et LBP dépassaient de 0,95 et 0,58 °C les moyennes de leurs séries chronologiques respectives. Les températures en profondeur (> 200 m) étaient modérément plus élevées que la moyenne en haute mer pour les stations de la ligne LBP, mais typiques pour celles de la ligne CS. Les anomalies de température de la couche de mélange pour les stations du sud du plateau sur les lignes LG et LB étaient modérément plus chaudes que la moyenne (0,10 et 0,75 °C, respectivement) et étaient de ~1,6 °C plus chaudes que la moyenne aux stations du plateau sur la ligne LC. Les températures étaient également plus chaudes que la moyenne aux stations du sud en haute mer, avec des anomalies de la couche de mélange de 0,33, 0,78 et 0,99 °C sur les lignes LG, LC et LB. Les anomalies de température de la couche de mélange jusqu'à 100 m étaient légèrement plus fraîches que la moyenne, tandis que les températures en dessous de 100 m étaient modérément plus chaudes (~0,5 °C) que la moyenne pour les stations situées le long des trois lignes du sud.

La période (juillet et août) qui suit le relevé de mai et qui précède celui de septembre était caractérisée par des vents positifs de remontée d'une intensité inférieure à la moyenne (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.* 2020). Les anomalies de la température de la

surface de la mer (voir Ross et Robert, section 7; Chandler, section 10; Hannah *et al.*, section 48) étaient élevées ($> 1,5$ °C) sur la côte ouest de l'île de Vancouver.

Les observations effectuées lors du relevé de septembre reflétaient la réduction des conditions de remontée d'eau couplée au réchauffement de la surface pendant cette période de juin à septembre, avec des anomalies de température de la couche de mélange nettement plus chaude pour toutes les stations le long de chacune des cinq lignes étudiées ici. La profondeur moyenne de la couche de mélange varie entre 18 et 22 m aux stations du plateau le long des lignes LB, LC, LG et LBP. Aux stations du plateau, elle était de 9 m. Au large, les profondeurs moyennes de la couche de mélange étaient similaires à celles du relevé de mai, variant entre 23 et 31 m. Les températures de la couche de mélange de surface pour les stations du plateau le long des lignes du sud, LG, LC et LB, étaient supérieures de 2,9, 0,8 et 1,4 °C aux moyennes de leurs séries chronologiques respectives. Les températures de la couche de mélange aux stations en haute mer pour les lignes LG, LC et LB, étaient de 2,6, 3,2 et 2,5 °C supérieures à la moyenne. Pour les stations de la ligne LBP (au large de la péninsule de Brooks) et les stations en haute mer, la couche de mélange était plus chaude de 3,1 et 2,3 °C que la moyenne des séries chronologiques. Ces anomalies de température de la couche de mélange dans le relevé de septembre étaient comparables à des valeurs élevées similaires pendant le pic de la période anormalement chaude de septembre 2016. Les anomalies de température pour les stations du plateau et en haute mer de la ligne CS étaient de 1,6 et 1,1 °C plus chaudes que la moyenne des séries chronologiques. La température de la colonne d'eau sous la couche de mélange pour les cinq lignes était modérément plus chaude que la moyenne (moins de 0,5 °C) jusqu'à 200 m et à la moyenne ou légèrement inférieure à celle-ci à une profondeur de plus de 200 m, ce qui indique que les conditions d'eau anormalement chaude sur la côte ouest de l'île de Vancouver étaient en grande partie limitées à la surface (voir le graphique de droite, figure 13-2). Cette eau anormalement chaude de la couche de mélange était également anormalement douce (voir le graphique de droite, figure 13-3). L'eau de surface plus salée que la moyenne (à moins de 10 m) était située immédiatement au-dessus de l'eau plus douce que la moyenne descendant jusqu'à ~125 m pour toutes les lignes en septembre; en dessous de cette limite, la salinité n'était pas sensiblement différente de la moyenne de chaque série chronologique. Cela contraste avec mai 2019 (graphique de gauche, figure 13-3), où les eaux de surface (moins de 125 m) étaient généralement plus salées que la moyenne de chaque série chronologique, et particulièrement aux stations du plateau le long des trois lignes du sud de l'île de Vancouver.

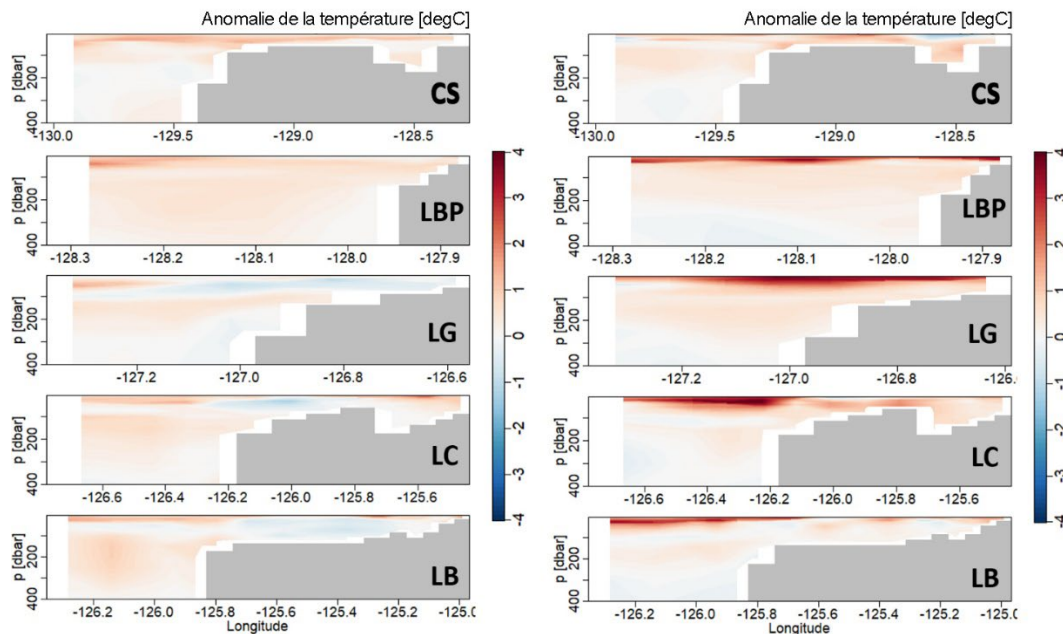


Figure 13-2. Graphiques de section de l'anomalie de température (°C) pour chaque ligne d'échantillonnage. Profondeur maximale fixée à 400 dbar. De haut en bas, lignes du nord au sud (voir la figure 13-1). De gauche à droite, sections des relevés de mai et de septembre, respectivement. La moyenne de la série chronologique pour les lignes CS et LBP a été estimée comme étant la température moyenne pour chaque groupe de pression propre à une station de 1998 à 2014 et la période annuelle correspondant à chaque relevé. La moyenne de la série chronologique pour les lignes LG, LC et LB a été calculée comme pour les lignes du nord, mais par rapport aux moyennes des séries chronologiques de 1981 à 2010. Les anomalies ont été calculées comme étant la différence de température pour chaque groupe de pression propre à une station du relevé de 2019 et la moyenne de la série chronologique correspondante. Les valeurs de la température supérieures et inférieures aux moyennes des séries chronologiques sont représentées par des couleurs « chaudes » et « froides », respectivement.

13.4. Facteurs influençant les tendances

Les profils temporels et spatiaux à grande échelle décrivant l'évolution de l'anomalie d'eau chaude de 2019 sont examinés dans Ross et Robert (2019) et Ross et Robert (section 7). Les températures de la surface de la mer dans tout le golfe d'Alaska et sur la côte ouest de l'île de Vancouver étaient supérieures à la moyenne (1 à 2 °C) en avril 2019 et pendant la transition de la plongée d'eau à la remontée d'eau (voir Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 37). Le relevé de mai sur le banc La Pérouse (21 mai au 2 juin 2019) a suivi une période de remontée d'eau active qui s'est poursuivie jusqu'au début du mois de juin. Cependant (comme indiqué ci-dessus), les vents favorables à la remontée d'eau après le relevé de mai et jusqu'au relevé de septembre étaient très faibles et les anomalies de températures extrêmement chaudes (jusqu'à ~3 °C) observées dans la couche de mélange étaient en partie associées à une remontée limitée d'eau profonde plus froide sur le plateau.

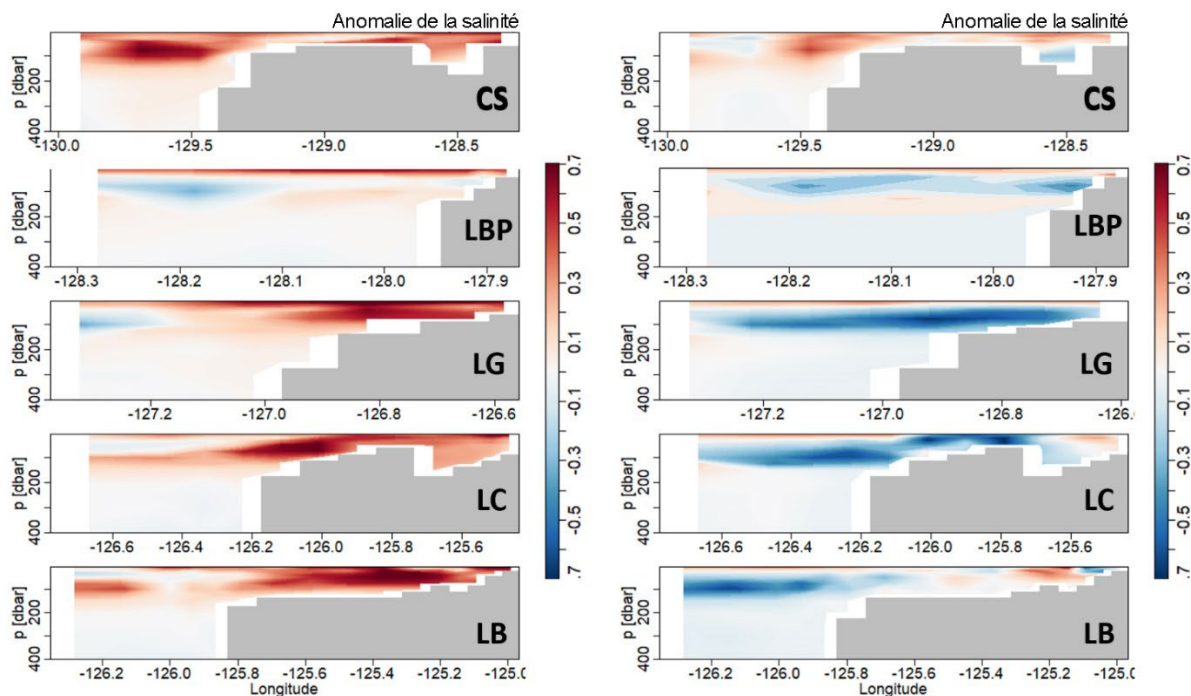


Figure 13-3. Graphiques de section de l'anomalie de salinité (*usp*) pour chaque ligne d'échantillonnage. Profondeur maximale fixée à 400 dbar. De haut en bas, lignes du nord au sud (voir la figure 13-1). Les graphiques de gauche et de droite représentent respectivement les relevés de mai et de septembre. La moyenne de la série chronologique pour les lignes CS et LBP a été estimée comme étant la salinité moyenne pour chaque groupe de pression propre à une station de 1998 à 2014 et la période annuelle correspondant à chaque relevé. La moyenne de la série chronologique pour les lignes LG, LC et LB a été calculée comme pour les lignes du nord, mais par rapport aux moyennes des séries chronologiques de 1981 à 2010. Les anomalies ont été calculées comme étant la différence de salinité pour chaque groupe de pression propre à une station du relevé de 2019 et la moyenne de la série chronologique correspondante. Les valeurs de la salinité supérieures et inférieures aux moyennes des séries chronologiques sont représentées par des couleurs « chaudes » et « froides », respectivement.

13.5. Conséquences de ces tendances

Les températures plus chaudes que la moyenne de la couche de mélange sur la côte ouest de l'île de Vancouver sont souvent associées à une abondance et une biomasse accrues de taxons de zooplancton plus petits et moins riches en lipides que les groupes boréaux et subarctiques, plus grands et riches en lipides, qui ont tendance à dominer dans des conditions plus froides (voir Perry *et al.*, section 50; Galbraith et Young, section 16). Des conditions plus chaudes que la moyenne ont également été liées à des pics de biomasse réduits et plus précoces pour le zooplancton subarctique plus grand, et à une productivité inférieure à la moyenne pour les poissons pélagiques et les oiseaux de mer (Mackas *et al.* 2007; Hipfner *et al.* 2020).

13.6. References

Hipfner, M.J., Galbraith, M., Bertram, D.F., and Green, D.J. 2020. Basin-scale oceanographic processes, zooplankton community structure, and diet and reproduction of a sentinel North Pacific seabird over a 22-year period. *Prog. Oceanogr.* 182: 102290. doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102290.

Mackas, D.L., Batten, S., Trudel, M. 2007. Effects on zooplankton of a warmer ocean: Recent evidence from the Northeast Pacific. *Prog. Oceanogr.* 75: 223-252

Ross, T., and Robert, M. 2019. Another warm, but almost normal, year for the northeast Pacific Ocean. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.

14. NUTRIMENTS ET PHYTOPLANCTON LE LONG DE LA LIGNE P SUR LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER

Angelica Peña et Nina Nemcek, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Angelica.Pena@dfo-mpo.gc.ca, Nina.Nemcek@dfo-mpo.gc.ca

14.1. Faits saillants

- En 2019, les concentrations de nutriments en surface le long de la ligne P étaient parmi les plus faibles jamais enregistrées. En particulier, pendant l'été, le nitrate de la couche de mélange était épuisé à la station météorologique Papa (OSP) pour la première fois en 60 ans d'observations.
- La composition de la communauté phytoplanctonique le long de la ligne P au printemps 2019 était similaire à celle de 2018, mais différente des années précédentes, avec des diatomées dominant la biomasse phytoplanctonique dans plusieurs stations en haute mer.
- Sur le plateau continental de la côte ouest de l'île de Vancouver, les concentrations en nitrates et la biomasse du phytoplancton en mai et septembre 2019 se situaient dans la fourchette des valeurs des années précédentes.

14.2. Description de la série chronologique

Il est important de surveiller les changements dans les nutriments, la biomasse phytoplanctonique et la composition des communautés pour évaluer la fonction et l'état des écosystèmes, ainsi que pour étudier les cycles biogéochimiques. La composition de la communauté phytoplanctonique, la chlorophylle *a* (« Chl-*a* », un indicateur de la biomasse phytoplanctonique) et les nutriments sont mesurés lors des missions du MPO trois fois par an, en février, juin et août/septembre, le long de la ligne P dans le nord-est du Pacifique subarctique et deux fois par an, en mai/juin et début septembre, lors de la mission sur le banc La Pérouse, au large de la côte ouest de l'île de Vancouver. L'échantillonnage de la composition du phytoplancton est effectué à la plupart des stations le long de la ligne P (figure 14-1a) depuis juin 2010. L'échantillonnage du phytoplancton le long d'une série de transects sur la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 14-1b) est effectué depuis 2011. L'échantillonnage sur la côte ouest a été étendu plus au nord en 2017.

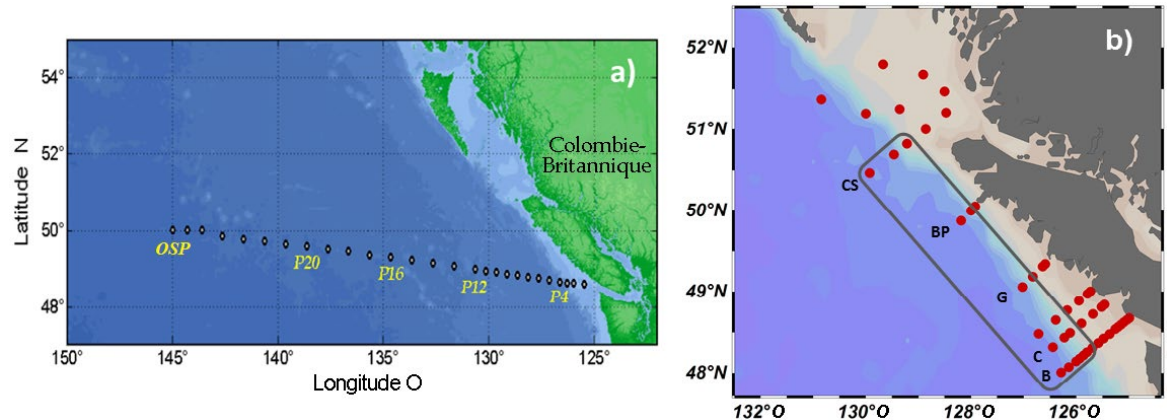


Figure 14-1. Emplacement des stations d'échantillonnage : a) le long de la ligne P, et b) sur la côte ouest de l'île de Vancouver, illustrant les stations de la côte extérieure (à l'intérieur du rectangle gris) et celles du plateau continental.

L'abondance et la composition du phytoplancton sont déterminées à partir des pigments du phytoplancton (chlorophylles et caroténoïdes) analysés par chromatographie liquide à haute performance (CLHP), selon la description donnée dans Nemcek et Peña (2014). Les données sur les pigments CLHP sont traitées à l'aide d'un programme de factorisation matricielle (CHEMTAX) pour estimer la contribution des principaux groupes taxonomiques du phytoplancton à la Chl-a totale (Mackey *et al.* 1996). Des pigments de phytoplancton ont été échantillonnés sur la côte ouest de l'île de Vancouver en 2019, mais ces échantillons n'ont pas encore été traités, de sorte que les données sur la composition du phytoplancton ne sont pas incluses dans ce rapport.

14.3. État et tendances

La ligne P s'étend de l'angle sud-ouest de l'île de Vancouver à la station OSP (figure 14-1a) dans la région riche en nutriments et pauvre en chlorophylle, où les concentrations en nutriments à la surface sont généralement élevées ($> 5 \text{ mmol m}^{-3}$) et les concentrations en Chl-a, basses ($< 0,5 \text{ mg m}^{-3}$) toute l'année en raison de la limitation par le fer de la croissance du phytoplancton. Dans ces eaux du large pauvres en fer, les petits flagellés (principalement des haptophytes) dominent la biomasse phytoplanctonique, tandis que sur le plateau continental, on observe une forte variabilité saisonnière des concentrations en nutriments et de la biomasse et la composition du phytoplancton. Durant l'hiver 2018-2019, le renouvellement des nutriments provenant du transport vertical a été limité par une stratification accrue, similaire à celle observée au cours de l'hiver 2014-2015 pendant le « Blob ». De ce fait, les concentrations de surface en nitrates et en silicates en 2019 étaient parmi les plus faibles jamais enregistrées à la plupart des stations le long de la ligne P (figure 14-2). En particulier, le nitrate de la couche de mélange était épuisé dans la région riche en nutriments et pauvre en chlorophylle pour la première fois depuis le début de l'échantillonnage il y a 60 ans, en 1969. Les concentrations en Chl-a étaient plus élevées à ces stations en haute mer que dans la région de transition de la ligne P au printemps et à l'été 2019 (figure 14-2).

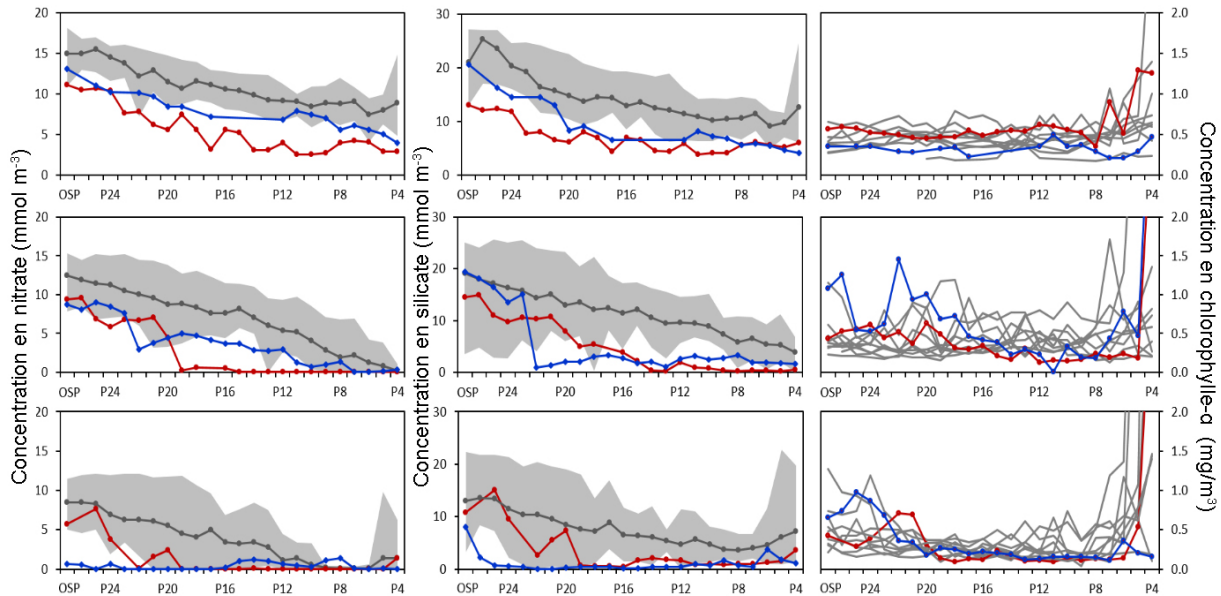


Figure 14-2. Nitrate (graphiques de gauche, mmol m^{-3}), silicate (graphiques du centre, mmol m^{-3}) et chlorophylle a (graphiques de droite, mg m^{-3}) dans les eaux de surface le long de la ligne P de la station P4 à la station OSP en hiver (graphiques du haut), au printemps (graphiques du milieu) et en été (graphiques du bas). Les graphiques de gauche et du centre illustrent la moyenne (ligne grise) et la fourchette (zone ombrée) des concentrations en nutriments de 2000 à 2014. Le graphique de droite affiche toutes les valeurs de 2009 à 2019. Dans tous les graphiques, les données pour 2019 sont indiquées en bleu et celles pour 2015 en rouge.

La composition de l'assemblage phytoplanctonique le long de la ligne P affiche une augmentation de l'abondance relative des diatomées à plusieurs stations (~P15 à P22) en juin 2019, similaire à celle observée en 2018, et cohérente avec la diminution de la concentration en silicate dans cette région. En août 2019, les diatomées étaient plus abondantes plus loin au large, alors que la composition du phytoplancton était en général similaire à celle observée les années précédentes aux autres stations, les haptophytes dominant la biomasse du phytoplancton (figure 14-3).

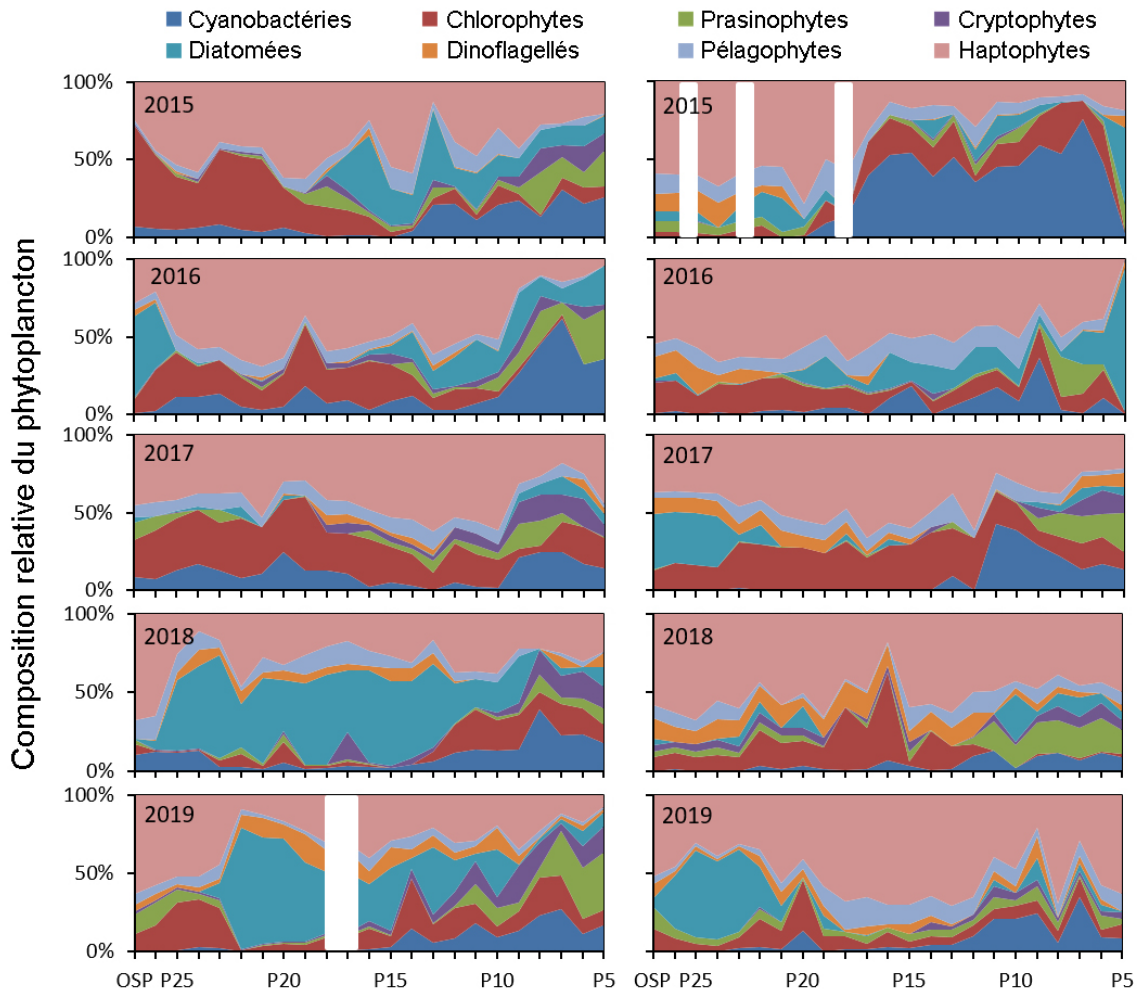


Figure 14-3. Composition relative du phytoplancton dans la couche supérieure aux stations situées le long de la ligne P (voir la figure 14-1) en juin (graphiques de gauche) et en août/septembre (graphiques de droite) de 2015 à 2019. Les espaces vides indiquent qu'aucune donnée n'a été recueillie.

Les concentrations en nitrates et Chl-a sont très variables dans les eaux de surface au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 14-4). Sur le plateau continental, les concentrations de nutriments en surface sont généralement plus basses en mai qu'en septembre. La Chl-a est généralement élevée ($> 5 \text{ mg m}^{-3}$) sur le plateau continental au large du sud de l'île de Vancouver, où des proliférations de phytoplancton ($> 20 \text{ mg m}^{-3}$ Chl-a) sont souvent observées en mai ou en septembre. Dans les stations situées au-delà du plateau continental, les concentrations en Chl-a et en nutriments sont généralement plus faibles que sur le plateau continental. En 2019, les concentrations en nitrates en mai et septembre se situaient dans la fourchette des valeurs observées les années précédentes (figure 14-4) et sont les plus élevées au large du sud de l'île de Vancouver en septembre. Aucune prolifération de phytoplancton n'a été observée en mai et septembre 2019, mais les concentrations en Chl-a se situaient dans la fourchette des valeurs observées les années précédentes (figure 14-4).

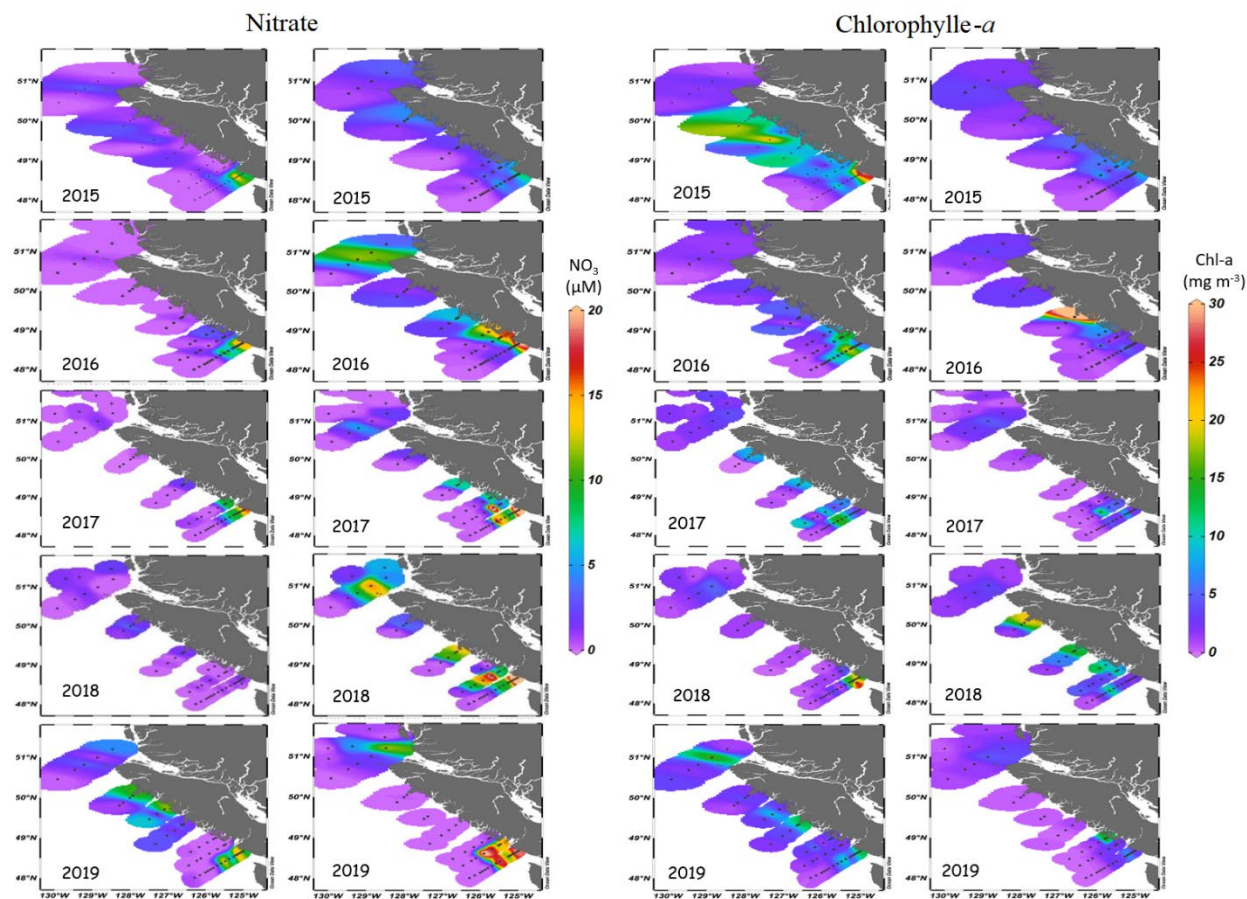


Figure 14-4. Nitrate (panneau de gauche, mmol m^{-3}) et chlorophylle a (panneau de droite, mg m^{-3}) à 5 m de profondeur sur la zone d'étude en mai/juin (colonne de gauche) et septembre (colonne de droite) de 2015 à 2019.

14.4. Facteurs influençant les tendances

Plusieurs facteurs environnementaux, dont la température, l'irradiance et la disponibilité des nutriments, ainsi que la pression du broutage, déterminent l'abondance du phytoplancton et la composition des communautés. Les changements observés dans l'abondance et la composition du phytoplancton le long de la ligne P pendant la période du « Blob » en 2015 étaient probablement une réaction à l'augmentation de la température de surface et aux changements dans la disponibilité des nutriments (Peña *et al.* 2019). Depuis, la disponibilité des nutriments, la biomasse du phytoplancton et l'abondance des diatomées ont beaucoup fluctué dans le nord-est du Pacifique subarctique, notamment avec l'augmentation sporadique de l'abondance des diatomées dans la région de transition de la ligne P en juin 2018 et 2019 et aux stations les plus éloignées de la ligne P en septembre 2017 et 2019, ainsi que l'épuisement sans précédent des nitrates et, dans une moindre mesure, des silicates de la couche de mélange dans la région riche en nutriments et pauvre en chlorophylle de la ligne P durant l'été 2019. Ces changements pourraient être dus à une augmentation de la disponibilité du fer du phytoplancton ou à un transport anormal des eaux appauvries en nutriments dans la région. Dans les régions côtières, comme la côte ouest de l'île de Vancouver où les conditions environnementales fluctuent

rapidement, notre fréquence d'échantillonnage (deux fois par an) n'est pas suffisante pour étudier la variabilité du phytoplancton d'une année à l'autre, car les différences observées dans les concentrations en Chl-a et la composition du phytoplancton pourraient être dues à la variabilité tant intrasaisonnière qu'interannuelle. Pour pouvoir comparer les années, nous aurions besoin d'observations fréquentes (quotidiennes à bihebdomadaires) en fonction de la période de l'année.

14.5. Conséquences des tendances

L'abondance du phytoplancton et la composition des communautés sont des facteurs clés qui influencent les processus trophiques et les cycles biogéochimiques dans l'océan. La matière organique produite par le phytoplancton est continuellement transférée des niveaux trophiques inférieurs aux niveaux supérieurs, de sorte que l'abondance, la composition et les profils de répartition du phytoplancton influencent en fin de compte la durabilité de toute la vie marine. Les changements observés à la base du réseau trophique pendant et après le « Blob » pourraient avoir des conséquences à l'échelle de l'écosystème.

14.6. References

- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, H.W., and Wright, S.W. 1996. CHEMTAX-a program for estimating class abundance from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144: 265-283.
- Nemcek, N., and Peña, M.A. 2014. Institute of Ocean Sciences Protocols for Phytoplankton Pigment Analysis by HPLC. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3117: x + 80 p.
- Peña, M.A., Nemcek, N., and Robert, M. 2019. Phytoplankton responses to the 2014–2016 warming anomaly in the Northeast Subarctic Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 64: 515-525. doi: 10.1002/lno.11056.

15. NIVEAUX TROPHIQUES INFÉRIEURS DANS LE NORD-EST DU PACIFIQUE

Sonia Batten¹ et Clare Ostle²,

¹Marine Biological Association, Royaume-Uni, c/o Nanaimo, Colombie-Britannique,

Sonia.Batten@mba.ac.uk

²Marine Biological Association, The Laboratory, Plymouth, Royaume-Uni. claost@mba.ac.uk

15.1. Faits saillants

- Les diatomées et les organismes zooplanctoniques étaient relativement abondants au printemps 2019.
- La communauté de copépodes du large était proche d'un mélange moyen de petites et de grandes espèces, tandis que celle du plateau était dominée par de petites espèces.
- Les communautés de phytoplancton et de zooplancton étaient toutes deux indicatrices d'eaux plus chaudes pour la sixième année consécutive.

15.2. Échantillonnage

L'échantillonnage à partir de navires commerciaux remorquant un enregistreur continu de plancton (ECP) a eu lieu environ tous les mois, six à neuf fois par an entre mars et octobre dans le nord-est du Pacifique (figure 15-1), poursuivant une série chronologique entamée en 2000. Chaque échantillon de l'ECP contenait du plancton vivant près de la surface (environ 7 m de profondeur) prélevé sur un transect de 18,5 km de long, filtré à l'aide d'un maillage de 270 µm, puis analysé au microscope pour produire des données sur l'abondance à l'échelle du taxon. Les données jusqu'en juin 2019 ont été finalisées au moment de la rédaction de ce rapport, mais celles de juillet à septembre 2019 (lorsqu'elles sont indiquées) sont provisoires et susceptibles de changer.

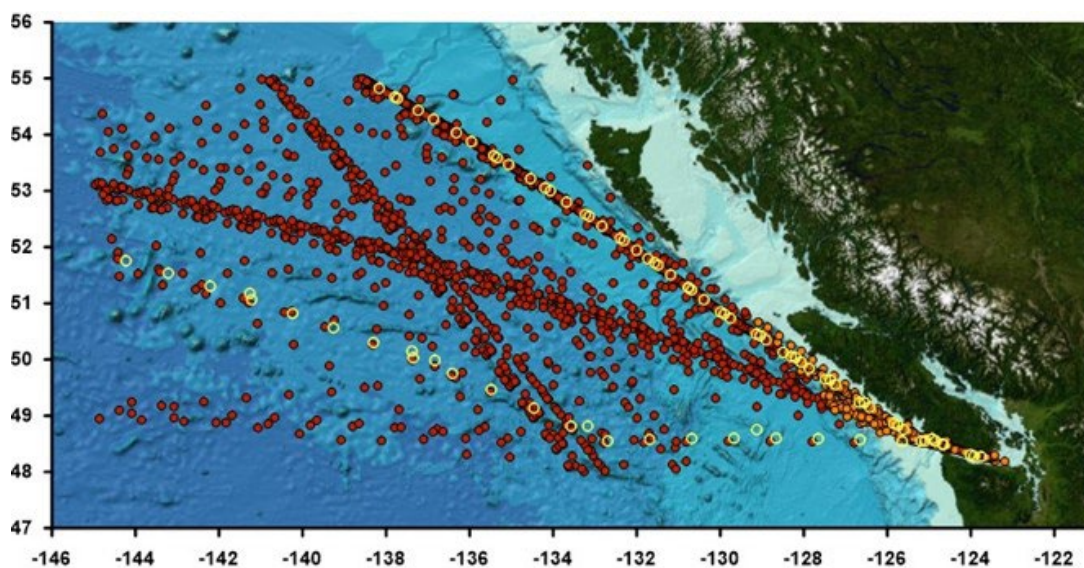


Figure 15-1. Carte illustrant l'emplacement des échantillons historiques de l'ECP (2000-2018); rouge = haute mer, orange = plateau. Les cercles jaunes superposés indiquent l'emplacement des échantillons de 2019 utilisés dans ce rapport.

Les données sur la température de la surface de la mer (SST) de 2000 à 2019 ont été tirées de l'ensemble international intégré de données sur l'océan et l'atmosphère (ICOADS, données améliorées à 1 °, www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.coads.1deg.html) pour chaque région comme moyennes printanières (avril à juin) pour caractériser l'environnement physique.

15.3. Description des séries chronologiques du plancton

15.3.1. *Phytoplankton*

L'enregistreur continu de plancton retient efficacement les cellules phytoplanctoniques plus grandes, en particulier les diatomées en chaînes et les dinoflagellés à coque dure. Plusieurs séries chronologiques ont été produites et reflètent les changements de l'abondance et de la composition des communautés dans les régions de la haute mer et du plateau : i) l'abondance mensuelle moyenne des diatomées; ii) la composition générale de la communauté au printemps (de mars à juin); iii) l'indice de température des communautés (ITC) annuel moyen (d'avril à juin) calculé à l'aide de l'abondance moyenne de chaque taxon et de l'indice de température des espèces (ITE; température moyenne à laquelle le taxon a été trouvé dans les échantillons de l'ECP avec la température enregistrée sur place; l'ITE est plus élevé pour les taxons trouvés dans des eaux plus chaudes que pour ceux trouvés dans des eaux plus froides).

15.3.2. *Zooplankton*

Le mésozooplankton, en particulier les crustacés, est bien échantillonné par l'enregistreur continu de plancton et plusieurs séries chronologiques sont générées pour le zooplankton : i) abondance totale du zooplankton; ii) on utilise les longueurs et les abondances propres des taxons pour calculer la longueur moyenne des copépodes chaque mois; iii) indice moyen annuel de température des communautés pour tous les taxons de zooplankton (à nouveau, d'avril à juin) pour chaque région (calculé comme décrit ci-dessus pour l'ICT du phytoplankton).

15.4. État et tendances

15.4.1. *Phytoplankton*

L'abondance des diatomées en haute mer était proche de la moyenne au printemps 2019 et probablement inférieure à la moyenne en automne, tandis que sur le plateau, les chiffres étaient supérieurs à la moyenne au printemps et proches ou supérieurs à la moyenne en automne (figure 15-2). La composition de la communauté phytoplanctonique était similaire en 2019 à celle de 2016-2017 (haute mer) et de 2015-2018 (plateau), avec une proportion relativement élevée (par rapport à la moyenne) de diatomées en bâtonnets et de dinoflagellés et des proportions un peu plus faibles de diatomées rondes (figure 15-3). Cela correspond à des conditions plus chaudes qui se traduisent généralement par des régimes de stabilité des nutriments et de la colonne d'eau plus favorables à ces groupes.

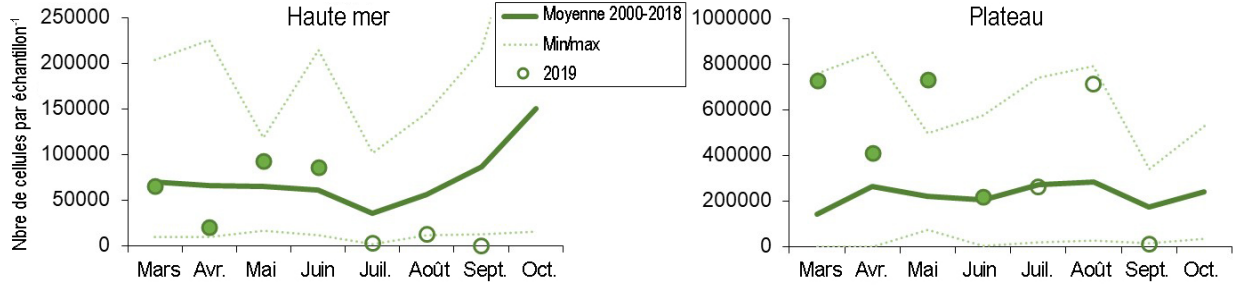


Figure 15-2. Moyennes mensuelles des abondances de diatomées pour 2019 (cercles) superposées aux moyennes historiques (2000-2018, trait plein) et aux minima/maxima (trait pointillé), en haute mer (à gauche) et sur le plateau (à droite). Les cercles pleins sont des données finales et les cercles vides sont des données provisoires.

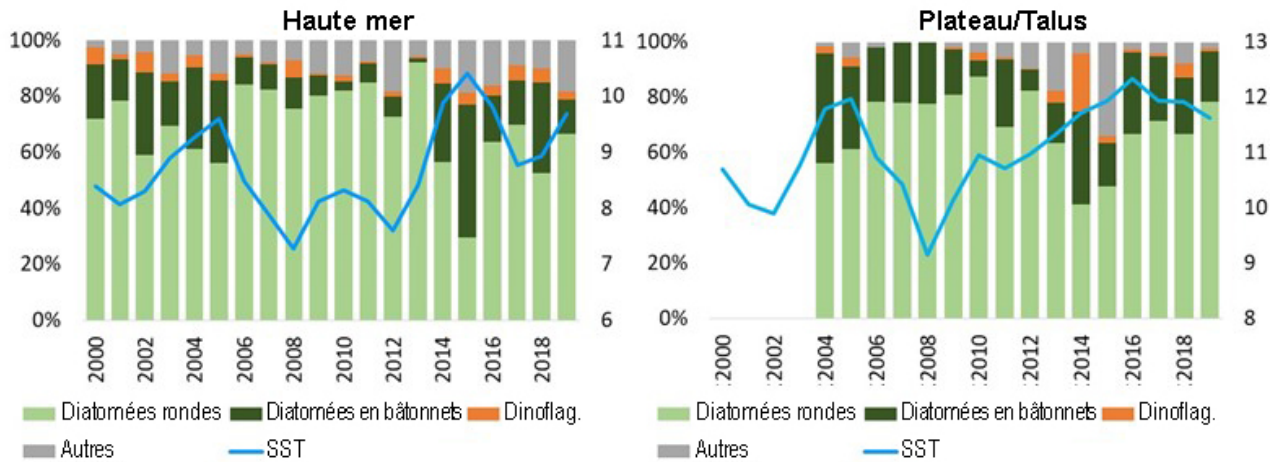


Figure 15-3. Contribution de chaque groupe à la communauté phytoplanctonique moyenne de mars à juin en haute mer (à gauche) et sur le plateau (à droite). Sur le plateau, seul le mois de juin était échantillonné jusqu'en 2004, les premières années ont donc été exclues. La température de la surface de la mer au printemps est indiquée en bleu (axe de droite, °C).

Les régions de la haute mer et du plateau affichent des tendances similaires pour l'indice de température des communautés phytoplanctoniques, qui est corrélé avec la température de la surface de la mer observée; des communautés plus chaudes au milieu des années 2000, des communautés plus froides entre 2007 et 2013 avant d'atteindre un maximum en 2015 (figure 15-4). Les valeurs pour 2019 sont plus proches de la moyenne que celles de ces dernières années, bien qu'elles restent encore plus élevées qu'avant 2014.

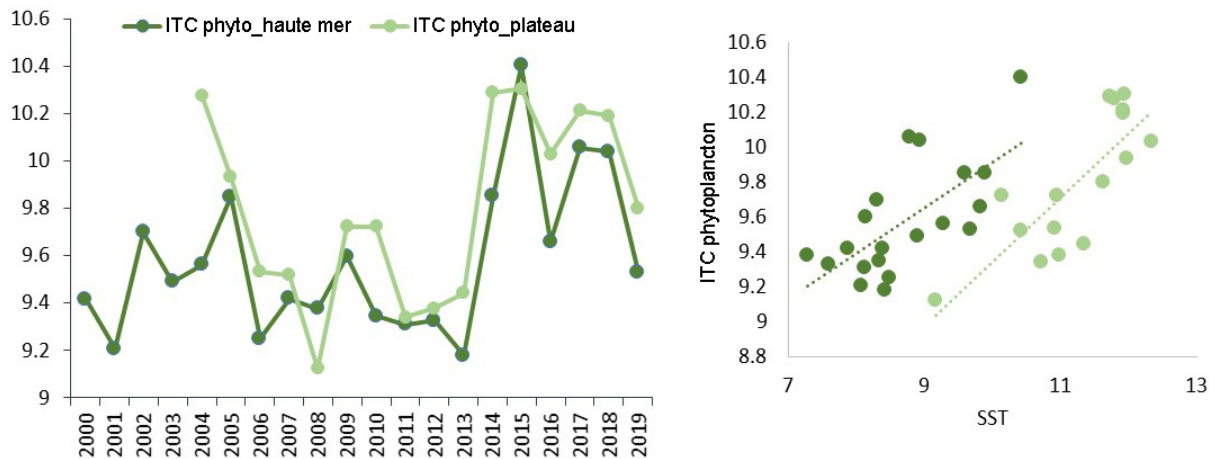


Figure 15-4. Indice annuel moyen de température des communautés phytoplanctoniques (avril à juin) pour chaque région (à gauche) et relation entre la température de la surface de la mer et l'ITC (à droite).

15.4.2. Zooplancton

L'abondance du zooplancton était supérieure à la moyenne au printemps 2019, mais probablement inférieure à la moyenne à la fin de l'été pour les deux régions. Alors que le profil saisonnier de la taille des copépodes en haute mer est proche de la moyenne (copépodes plus grands au printemps, plus petits en été), les communautés étaient surtout composées d'espèces beaucoup plus petites que la moyenne toute l'année sur le plateau (figure 15-5).

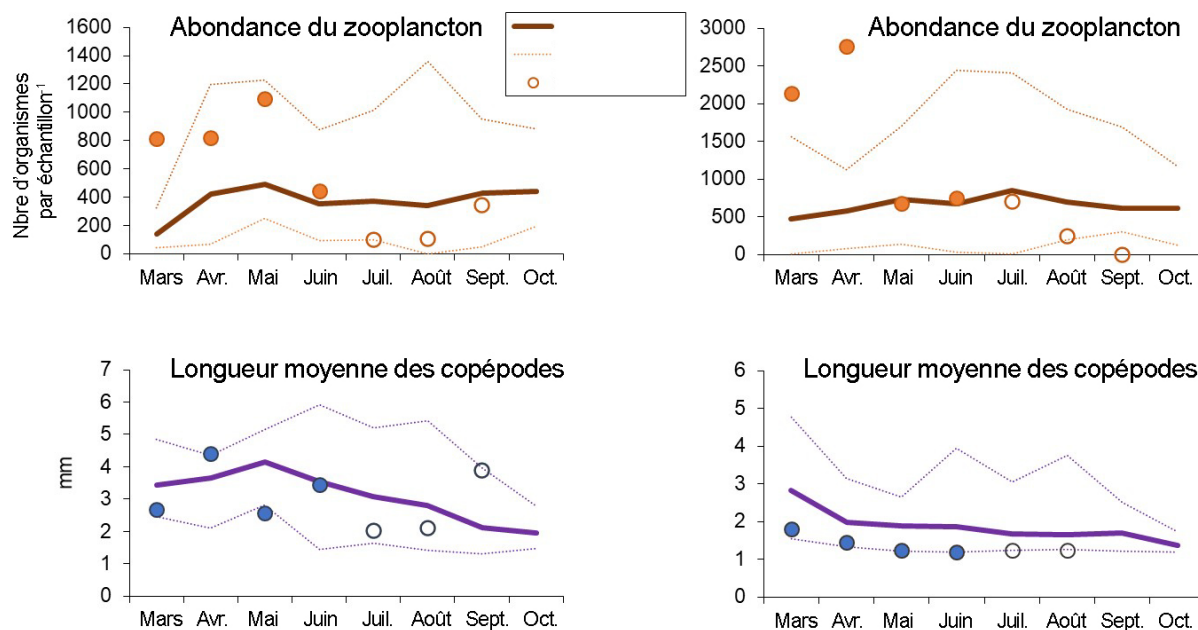


Figure 15-5. Abondance mensuelle moyenne (ligne continue) du zooplancton en 2019 (en haut) et taille moyenne des copépodes (en bas) pour les régions de la haute mer (à gauche) et du plateau (à droite). Les cercles pleins sont des données finales et les cercles vides sont des données provisoires. Les valeurs minimales et maximales sont indiquées (lignes pointillées).

Les communautés de zooplancton du plateau étaient généralement composées de taxons d'eau chaude par rapport à celles du large (figure 15-6). Les valeurs pour 2019 étaient supérieures à la moyenne dans les deux régions, mais pas exceptionnelles.

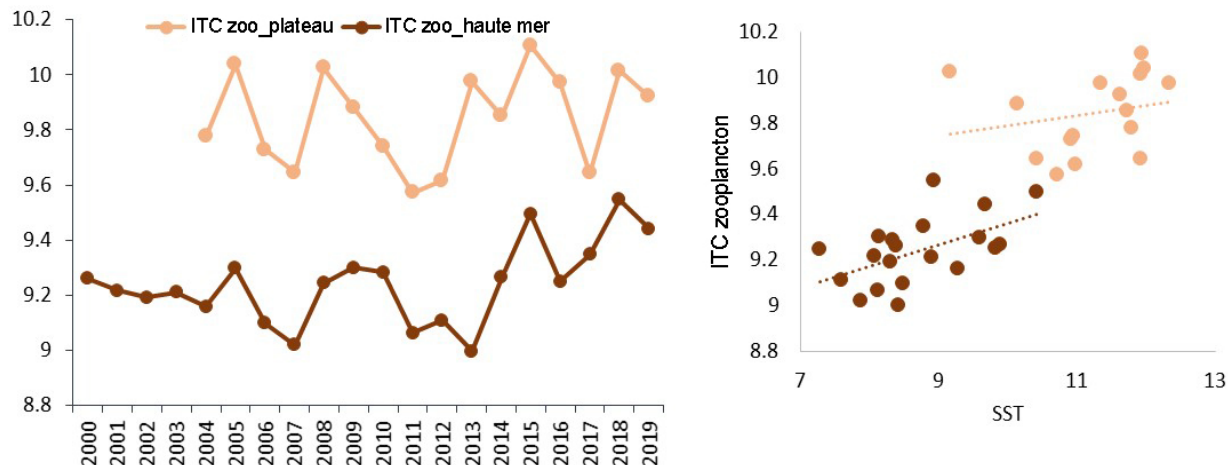


Figure 15-6. Indice annuel moyen de température des communautés zooplanctoniques (avril à juin) pour chaque région (à gauche) et relation entre la température de la surface de la mer et l'ITC (à droite).

15.5. Facteurs influençant les tendances

Que la vague de chaleur marine de 2019 ait été le prolongement de celle de 2014-2016 (DiLorenzo et Mantoue 2016) ou qu'elle fasse en fait partie d'une deuxième vague de chaleur distincte, les températures de l'océan étaient encore relativement élevées au printemps 2019 (figure 15-3) et les niveaux trophiques inférieurs ont encore été touchés. Une stratification accrue et une diminution des nutriments influencent la composition du phytoplancton en favorisant la croissance de cellules plus petites et plus étroites en raison d'une surface relativement plus grande sur laquelle absorber les nutriments. À leur tour, la taille et la composition du phytoplancton auront un impact sur le zooplancton qui peut s'en nourrir, et les effets se répercutent ainsi sur la chaîne alimentaire.

15.6. Conséquences de ces tendances

L'eau plus chaude favorise certains taxons par rapport à d'autres, comme en témoigne le fait que les taxons d'eau plus chaude sont plus répandus et que l'on relève des valeurs de l'indice de température des communautés supérieures à la moyenne pour les communautés de phytoplancton et de zooplancton. Ces communautés peuvent apparemment persister pendant plusieurs années après une vague de chaleur, surtout si les eaux restent chaudes, et ce rapport décrit une sixième année consécutive de niveaux trophiques inférieurs qui reflètent des conditions chaudes. La réduction de l'abondance des grands copépodes sur le plateau influencera alors le fonctionnement du réseau trophique et aura probablement des impacts nutritionnels sur les prédateurs du zooplancton puisque ces copépodes stockent plus de lipides (p. ex. les poissons et certains oiseaux de mer). Bien que nous ne puissions pas être certains de la manière dont l'évolution de la composition taxonomique des proies influence les

prédateurs par le biais des apports nutritionnels à leur régime alimentaire, il y a probablement un certain impact.

15.7. References

DiLorenzo, E., and Mantua, N. 2016. Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave. *Nature Climate Change*, published online:11 July 2016 DOI:10.1038/nclimate3082.

16. ANOMALIES DE LA BIOMASSE DU ZOOPLANCTON SUR LA CÔTE OUEST DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2019

Moira Galbraith et Kelly Young, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Moira.Galbraith@dfo-mpo.gc.ca, Kelly.Young@dfo-mpo.gc.ca

16.1. Faits saillants

- Des années consécutives d'intrusions d'eau chaude en provenance du sud font effectivement de la côte ouest de l'île de Vancouver un endroit semblable au courant de la Californie, avec une forte abondance de taxons gélatineux et une faible abondance de crustacés.
- Aucune colonie de *Pyrosoma atlanticum* n'a été détectée en 2019.
- 2019 ressemble beaucoup à 2017-2018, mais n'est toujours pas une communauté « moyenne » de zooplancton boréal/subarctique.

16.2. Description de la série chronologique

Des séries chronologiques sur le zooplancton sont disponibles pour le sud de l'île de Vancouver (SIV; 1979-présent), le nord de l'île de Vancouver (NIV; 1990-présent), la ligne P (1980-présent) et le détroit d'Hécate (1998-présent), mais avec une densité ou une résolution taxonomique plus faible pour le NIV et le détroit d'Hécate au début des séries chronologiques. Pour ce rapport, nous présentons les données à partir de 1990, sauf pour la ligne P, pour laquelle elles vont de 1997 à aujourd'hui. La moyenne des lieux d'échantillonnage « standard » est calculée dans les régions du sud de l'île de Vancouver, du nord de l'île de Vancouver et du détroit d'Hécate (figure 16-1). Des lieux supplémentaires sont inclus dans les moyennes lorsqu'ils sont disponibles. Voir la méthodologie des études sur le zooplancton le long de la côte Ouest dans Mackas 1992 et Mackas *et al.* 2001.

Nous avons estimé une climatologie du zooplancton pour chaque région, à l'aide des données depuis le début de chaque série chronologique jusqu'en 2008 comme référence, et l'avons comparée aux conditions mensuelles pendant une année donnée pour produire les séries chronologiques des anomalies. Pour une description plus détaillée, voir les rapports précédents (Mackas 1992; Mackas *et al.* 2001).

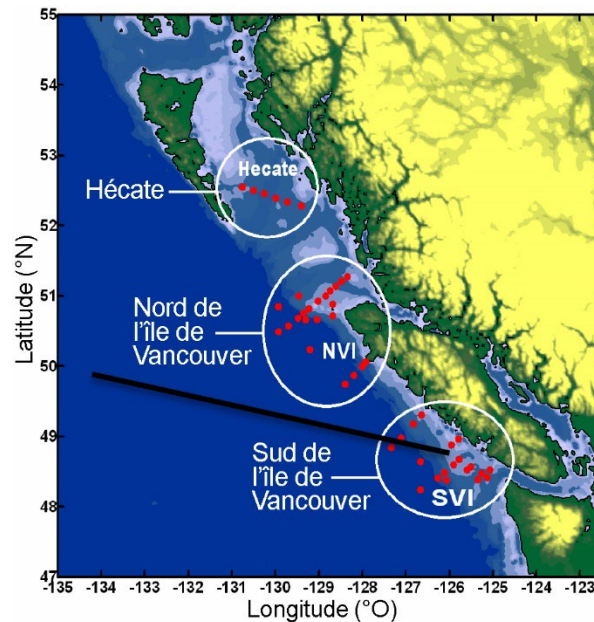


Figure 16-1. Lieux d'échantillonnage pour les séries chronologiques du zooplancton (points rouges; ligne P – ligne noire) dans les eaux marines de la Colombie-Britannique. La moyenne des données est calculée pour les échantillons de chaque zone. Il y a plus d'échantillons inclus dans l'analyse que ceux qui sont indiqués sur la figure.

Les espèces de zooplancton de la côte Ouest ayant des aires de répartition zoogéographiques et des niches écologiques similaires présentent généralement des séries chronologiques d'anomalies très similaires (Mackas *et al.* 2006). Par conséquent, nous avons calculé la moyenne de plusieurs espèces dans les groupes d'espèces (et des classes de taille dans les principaux taxons) pour montrer la variabilité interannuelle (voir le tableau 16-1, Boldt *et al.* 2019; Galbraith et Young 2017; Mackas *et al.* 2013; Irvine et Crawford 2013). Toutes les données présentées ici sont très préliminaires, car l'analyse est en cours; les chiffres changeront, mais les sens des tendances ne varient généralement pas.

16.3. État et tendances

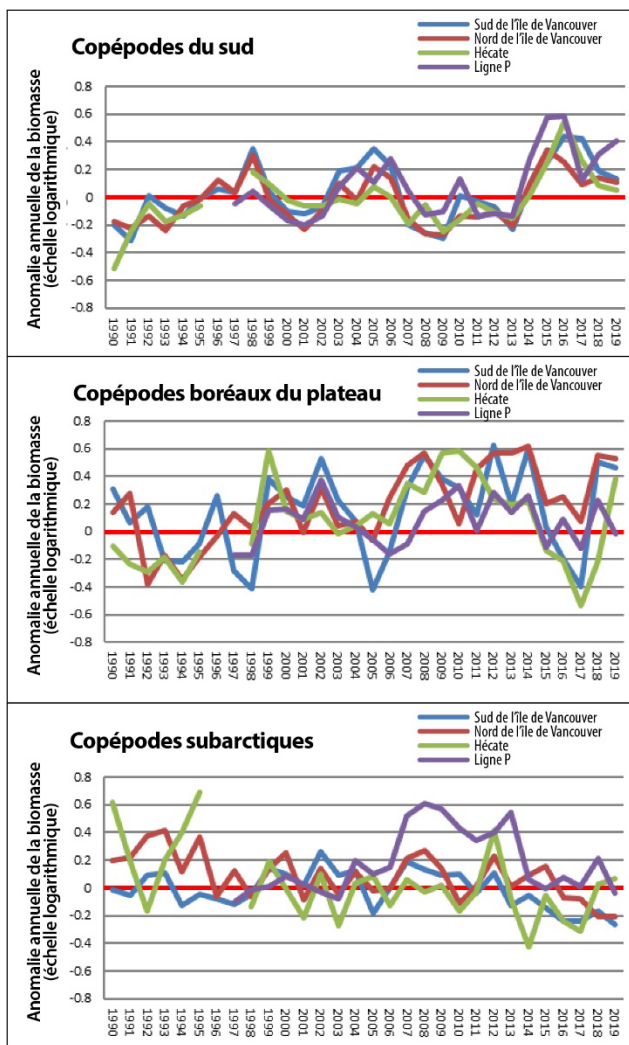


Figure 16-2. Série chronologique des anomalies des groupes d'espèces de zooplancton pour les régions indiquées sur la figure 16-1. Les graphiques linéaires sont les anomalies annuelles à l'échelle logarithmique. Sud de l'île de Vancouver (SIV), en bleu; nord de l'île de Vancouver (NIV), en rouge; détroit d'Hécate (HEC), en vert; ligne P, en violet pour tous les graphiques. Les années vides signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

Les séries chronologiques des anomalies de la biomasse pour les groupes d'espèces de copépodes et les chétognathes et euphausiacés représentatifs dans les zones statistiques du sud de l'île de Vancouver, du nord de l'île de Vancouver et du détroit d'Hécate sont présentées sur les figures 16-2 et 16-3. Les années fraîches ont tendance à favoriser les taxons endémiques du « nord », tandis que les années chaudes favorisent la colonisation par les taxons du « sud ». Voir les anomalies antérieures à 1990 dans les rapports précédents sur l'état de l'océan, et les descriptions sur la façon d'interpréter les profils des anomalies.

Dans les régions littorales et hauturières de l'île de Vancouver, on a constaté des anomalies positives pour les copépodes du sud (figure 16-2), les chétognathes (figure 16-3) et les doliolides (non représentés). La biomasse a augmenté tout au long de l'année à mesure que les eaux chaudes du littoral, avec une plus grande abondance des espèces zooplanctoniques océaniques du sud, se déplaçaient vers le pôle; cependant, l'anomalie de 2019 n'a pas été aussi marquée qu'en 2016 (une année avec une précédente vague de chaleur marine). En juin, toute la marge continentale de la Colombie-Britannique était inondée de grandes masses d'animaux gélatineux, principalement des *Mitrocoma* sur le plateau, des doliolides sur le rebord du plateau et en haute mer avec d'autres hydroméduses, et une

augmentation des appendiculaires dans toutes les zones du plateau.

Les copépodes boréaux ont poursuivi leur tendance à la hausse le long du plateau, tandis que les copépodes subarctiques diminuaient sur la ligne P et dans le sud de l'île de Vancouver, mais pas dans la zone du rebord du plateau d'Hécate. Les anomalies des copépodes du sud étaient positives dans toutes les régions, mais pas aussi fortes qu'en 2015-2016, et semblaient se stabiliser en 2019 (figure 16-2).

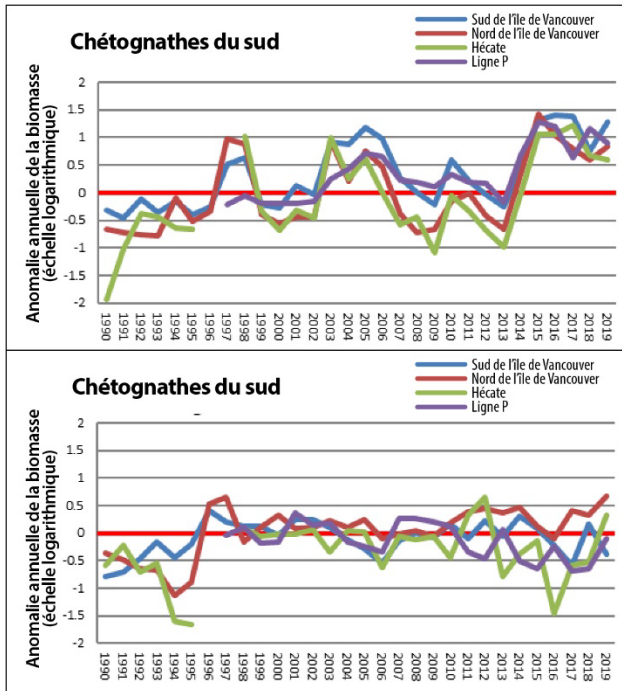


Figure 16-3. Série chronologique des anomalies des chétognathes (par rapport à la base de référence climatologique) pour toutes les régions. Les chétognathes sont divisés en groupes d'espèces du sud (figure 16-3 – en haut) et du nord (figure 16-3 – en bas); les années sans données signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

Les chétognathes du sud étaient répandus dans toutes les régions, avec une légère augmentation au large du sud de l'île de Vancouver. L'anomalie de leur biomasse n'est pas revenue à la moyenne, mais n'a pas non plus augmenté en abondance comme les deux années précédentes (figure 16-3, en haut). La biomasse de *Parasagitta elegans* (chétognathes du nord) a augmenté jusqu'à des valeurs moyennes le long de la ligne P et dans le détroit d'Hécate et à des valeurs supérieures à la moyenne dans le nord de l'île de Vancouver, mais elle a diminué dans le sud de l'île de Vancouver (figure 16-3, en bas).

La tendance est positive pour les euphausiacés au cours des cinq dernières années au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, mais en 2019, on a assisté à un retour à la biomasse moyenne; les tendances étaient différentes dans les autres régions (figure 16-4). Les événements de réchauffement depuis 2015 ont eu

tendance à favoriser *E. pacifica* par rapport à *T. spinifera* au large de la côte de la Colombie-Britannique. Dans le détroit d'Hécate et sur le plateau du sud de l'île de Vancouver, il y a eu généralement une diminution de la biomasse de *T. spinifera* après 2015, puis une augmentation en 2018 et des valeurs moyennes en 2019. Aucune tendance ne s'est dégagée pour l'anomalie de la biomasse d'euphausiacés le long de la ligne P, ce qui pourrait être le résultat d'une moyenne des données provenant des stations côtières et hauturières. Les espèces d'euphausiacés dont la répartition se concentre au large de l'Oregon/Californie et au sud (*Thysanoessa gregaria* et *Nematocelis difficilis*) sont encore présentes sur le rebord du plateau de l'île de Vancouver et aux stations littorales de la ligne P (données non présentées).

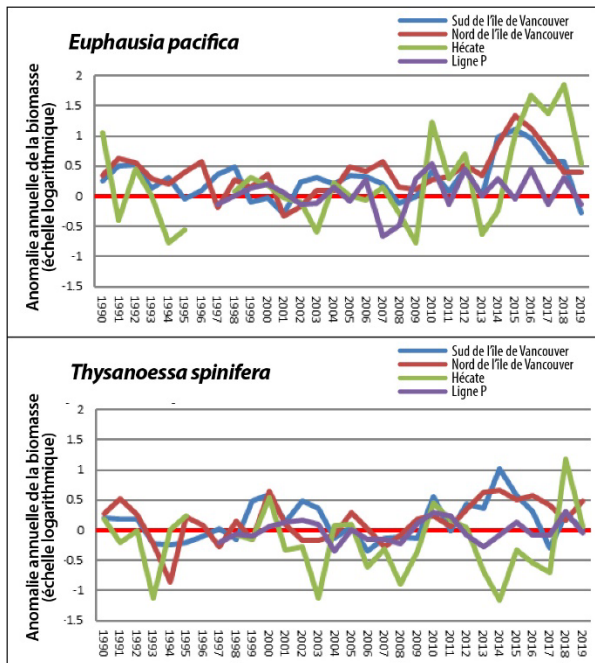


Figure 16-4. Série chronologique des anomalies de la biomasse des euphausiacés (par rapport à la base de référence climatologique) pour toutes les régions indiquées sur la figure 16-1. La biomasse des euphausiacés a été corrigée pour tenir compte de l'échantillonnage diurne/nocturne; les années sans données signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

Les anomalies de la biomasse des appendiculaires, des doliolides, des siphonophores et des hydroméduses étaient positives pour 2019 dans la zone du plateau du sud de l'île de Vancouver, sur le rebord du plateau du nord de l'île de Vancouver et dans tout le détroit d'Hécate. La biomasse des cténophores a fortement diminué dans toutes les régions en 2019, ce qui a un effet modérateur sur l'indice « Durs:Mous » (voir ci-dessous), en moyennant les données régionales. Pour la ligne P, la communauté des cnidaires n'a pas beaucoup changé. Des doliolides étaient présents aux stations intérieures de la ligne P (P4-P12) et les afflux de salpes se sont produits aux stations extérieures (P20 et P26). Les doliolides et les salpes ont également contribué à la tendance à la hausse (depuis 2014) de la communauté gélatineuse dans le détroit d'Hécate (figure 16-5).

Pour résumer et simplifier, toutes les données présentées ici ont été condensées dans un indice « Durs:Mous » (voir les précédents rapports sur l'état de l'océan Pacifique). Toutes présentent des anomalies de biomasse positives, sauf la ligne P en 2019 (figure 16-5).

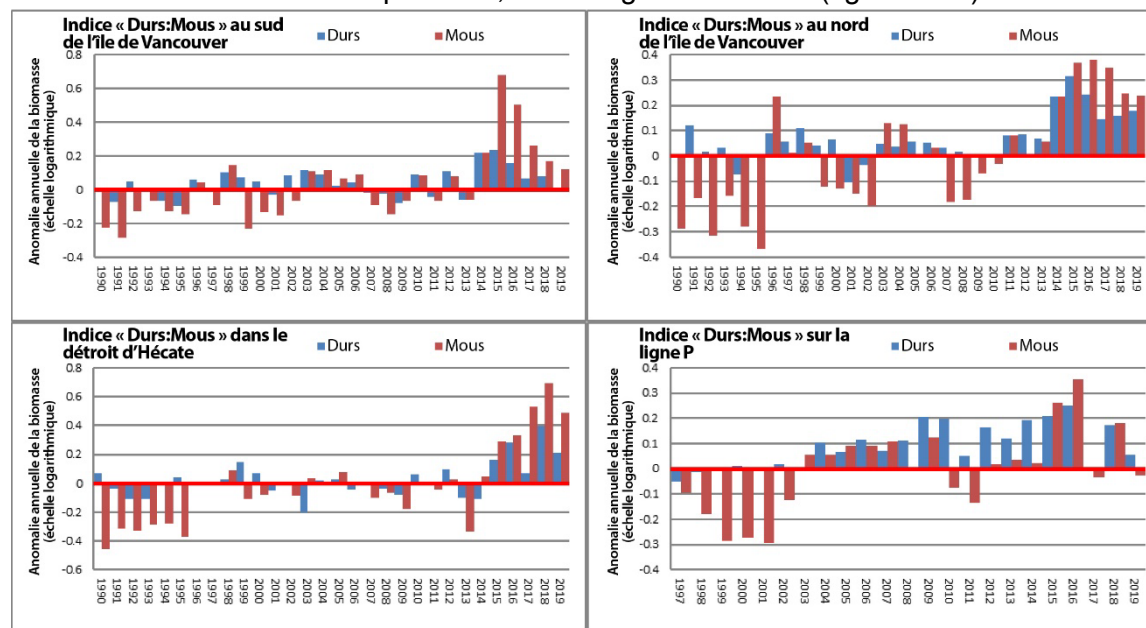


Figure 16-5. Indice « Durs:Mous » : Comparaison des anomalies de la biomasse du zooplancton gélatineux (les « mous ») par rapport aux taxons d'arthropodes (les « durs », en ignorant le méroplancton et en supprimant les espèces de crustacés du sud), dans un regroupement, puis par zone. Attention au changement d'axe pour Hécate.

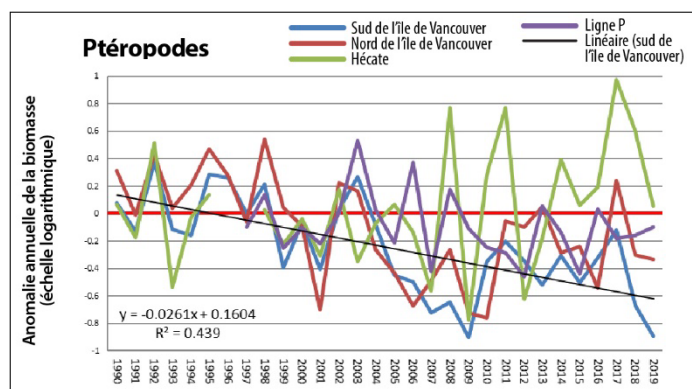


Figure 16-6. Anomalies de la biomasse des ptéropodes, principalement *Limacina helicina*, par zone; régression linéaire indiquée pour le sud de l'île de Vancouver.

Les ptéropodes thécosomes (p. ex. *Limacina helicina*) sont des escargots planctoniques. Contrairement aux deux groupes précédents, leur corps n'est pas gélatineux, mais ils utilisent une grande toile d'alimentation externe gélatineuse pour capturer leur nourriture. Cette année, les tendances de ces ptéropodes ont été examinées séparément, car elles semblent être en déclin dans toutes les zones, sauf dans le détroit d'Hécate (figure 16-6). Les ptéropodes peuvent réagir à différents paramètres physiques, alors que l'indice « Durs:Mous » suit

essentiellement les changements de la structure des communautés dus aux températures de la surface de la mer.

16.4. Conséquences de ces tendances

Dans l'ensemble, l'année 2019 a vu une tendance au retour vers la biomasse moyenne historique pour toutes les zones, les animaux gélatineux étant encore plus abondants que les

crustacés. La région d'Hécate a connu une anomalie négative des euphausiacés après la forte augmentation de 2018. Ce phénomène, associé au déclin des copépodes boréaux, à l'inondation des espèces du sud et à l'augmentation considérable des taxons gélatineux sur la côte extérieure et dans le détroit d'Hécate, peut être préoccupant pour les larves de poissons, les poissons juvéniles (en particulier les saumons juvéniles en dévalaison) et les oiseaux de mer planctonophages. L'effort d'échantillonnage faible ou sporadique dans le détroit d'Hécate a rendu difficile la synthèse de ces données, mais le profil est généralement similaire à celui du plateau du nord de l'île de Vancouver. Le profil de 2019 de la biomasse gélatineuse élevée par rapport à la biomasse des crustacés a révélé qu'il se passe quelque chose d'inhabituel dans le détroit d'Hécate. La température était élevée en 2015-2016 pour toute la côte Ouest de la Colombie-Britannique (Yelland et Robert 2017) et cette tendance s'est poursuivie en 2019 après un bref refroidissement au printemps (Chandler, section 10; Sastri, section 13; Ross et Robert, section 7). Durant les périodes de réchauffement : 1997-1998, 2003-2004, 2014-2016 (Ross 2017), le plateau continental et la zone hauturière du sud de l'île de Vancouver ont été inondés d'animaux gélatineux à faible teneur en nutriments (figure 16-5). Cela rend la quête de nourriture plus ardue (déplacement énergivore) et plus risquée (exposition accrue aux prédateurs) pour les animaux qui dépendent de la manne printanière et estivale des crustacés dans les zones du plateau. Les années où le zooplancton gélatineux est plus abondant équivalent normalement à une mauvaise survie des poissons juvéniles et des oiseaux de mer. Comme pour la tendance à long terme des groupes d'espèces de copépodes, l'effet net se traduit par une communauté de zooplancton au large de la Colombie-Britannique qui ressemble davantage à celle que l'on trouve dans les zones littorales du système du sud du courant de la Californie : biomasse élevée de zooplancton gélatineux et faible biomasse de grands copépodes riches en lipides. L'état en 2019 est la poursuite de ce profil pour la septième année.

16.5. References

- Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. 2019. State of the Physical, Biological and Selected Fisheries Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248. <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-eng.html>.
- Galbraith, M., and Young, K. 2017. Zooplankton along the B.C. continental margin 2016. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J. (Eds.). State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2016. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3225 : 243 + vi p.
- Irvine, J.R., and Crawford, W.R. 2013. State of physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2012. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/032. viii + 140 p.
- Mackas, D.L. 1992. The seasonal cycle of zooplankton off southwestern British Columbia: 1979-89. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 903-921.
- Mackas, D.L., Thomson, R.E., and Galbraith, M. 2001. Changes in the zooplankton community of the British Columbia continental margin, and covariation with oceanographic conditions, 1985-1998. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58: 685-702.

- Mackas, D.L., Peterson, W.T., Ohman, M.D., and Lavaniegos, B.E. 2006. Zooplankton anomalies in the California Current system before and during the warm ocean conditions of 2005. *Geophys. Res. Lett.* 33: L22S07, doi: 10.1029/2006GL027930.
- Mackas, D.L., S. Batten, and M. Trudel. 2007. Effects on zooplankton of a warming ocean: recent evidence from the North Pacific. *Progr. Oceanogr.* 75: 223-252.
- Mackas, D.L., Galbraith, M., Faust, D., Masson, D., Young, K., Shaw, W., Romaine, S., Trudel, M., Dower, J., Campbell, R., Sastri, A., Bornhold Pechter, E.A., Pakhomov, E., and El-Sabaawi, R. 2013. Zooplankton time series from the Strait of Georgia: Results from year-round sampling at deep water locations, 1990–2010. *Progr. Oceanogr.* 115: 129-159.
- Ross, T. 2017. La Niña, the Blob and another warmest year. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J. (Eds.). *State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2016*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3225: 243 + vi p.
- Yelland, D., and Robert, M. 2017. 2016 oceanographic conditions along Line P and the coast of Vancouver Island. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J. (Eds.). *State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2016*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3225: 243 + vi p.

17. ÉTAT ET TENDANCES DE L'EULAKANE DANS LE SUD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Linnea Flostrand, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Linnea.Flostrand@dfo-mpo.gc.ca

17.1. Faits saillants

- En 2019, l'indice de la biomasse du stock reproducteur d'eulakane dans le Fraser a été estimé relativement faible (~108 tonnes), similaire ou supérieur à la plupart des années entre 2004 et 2017, mais inférieur aux estimations pour 2015 et 2018.
- Les estimations des captures moyennes d'eulakane par unité d'effort, tirées d'un relevé multispécifique annuel printanier au chalut de fond sur la côte ouest de l'île de Vancouver, montrent une augmentation modérée en 2019 par rapport aux niveaux relativement faibles de 2016 à 2018.
- Dans le relevé multispécifique printanier au chalut de fond de 2019, les longueurs standard de l'eulakane semblaient présenter une distribution bimodale.

17.2. Description des indices

Les tendances de l'eulakane (*Thaleichthys pacificus*) utilisées pour surveiller la dynamique des populations dans le temps reposent sur des indices tirés des éléments suivants :

- 1) Relevés annuels sur les œufs et les larves d'eulakane du Fraser (1995 à 2019), utilisés pour caractériser l'abondance des géniteurs (Hay *et al.* 2002; McCarter et Hay 2003).
- 2) Prises d'eulakane et échantillons des prises d'après les relevés multispécifiques printaniers au chalut de fond à petites mailles au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV, 1973 à 2019) et dans le bassin de la Reine-Charlotte (BRC, 1998 à 2012, 2016).
- 3) Prises de géniteurs dans les rivières d'après la pêche commerciale passée dans le Fraser (1900 à 2004); dans le Columbia (1888 à 2010 et 2014 à 2015); et dans les relevés normalisés au filet maillant dans le Fraser (1995 à 2004; 2017 à 2019 non disponible).

17.3. État et tendances

L'eulakane a connu un déclin à long terme dans un grand nombre de fleuves et rivière à travers son aire de répartition, de la Californie à l'Alaska. Le *Comité sur la situation des espèces en péril au Canada* (COSEPAC) a évalué l'eulakane en Colombie-Britannique comme trois unités désignables (UD) : les UD de la côte centrale de la Colombie-Britannique et du Fraser ont été évaluées comme étant en voie de disparition, et l'UD des rivières Nass/Skeena comme une espèce préoccupante (COSEPAC 2011, 2013). Des informations à l'appui des évaluations du potentiel de rétablissement de l'eulakane au Canada sont présentées dans Levesque et Therriault (2011) et Schweigert *et al.* (2012).

L'eulakane est une ressource halieutique importante pour les Premières Nations, et des pêches à des fins alimentaires, sociales et rituelles de l'eulakane en rivière ont eu lieu jusqu'en 2019

(MPO 2020). L'eulakane a également été capturé dans les prises marines d'espèces mélangées des pêches au chalut et des relevés de recherche. La pêche commerciale de l'eulakane dans le Fraser a été active pendant plus de 96 ans jusqu'à sa fermeture en 1997, suivie d'ouvertures temporaires en 2002 et 2004. Elle est fermée depuis 2004 (MPO 2020).

Les tendances relatives à l'eulakane peuvent varier considérablement d'une année à l'autre et d'un indice de relevé à l'autre. En 2019, l'indice de la biomasse du stock reproducteur d'eulakane dans le Fraser a été estimé relativement faible (~108 tonnes), similaire ou supérieur à la plupart des années entre 2004 et 2017 (p. ex. 4-120 tonnes), mais inférieur aux estimations pour 2015 et 2018 (317 et 408 tonnes, respectivement) (figure 17-1). En 2019, les captures moyennes d'eulakane par unité d'effort (CPUE), tirées du relevé multispécifique annuel printanier au chalut de fond sur la côte ouest de l'île de Vancouver, ont modérément augmenté par rapport aux niveaux relativement bas de 2016 à 2018 (figure 17-2). Dans le relevé multispécifique printanier au chalut de fond de 2019, les longueurs standard de l'eulakane semblaient présenter une distribution bimodale avec des pics dans les fourchettes entre 9 et 11 cm et 14 et 17 cm (figure 17-3).

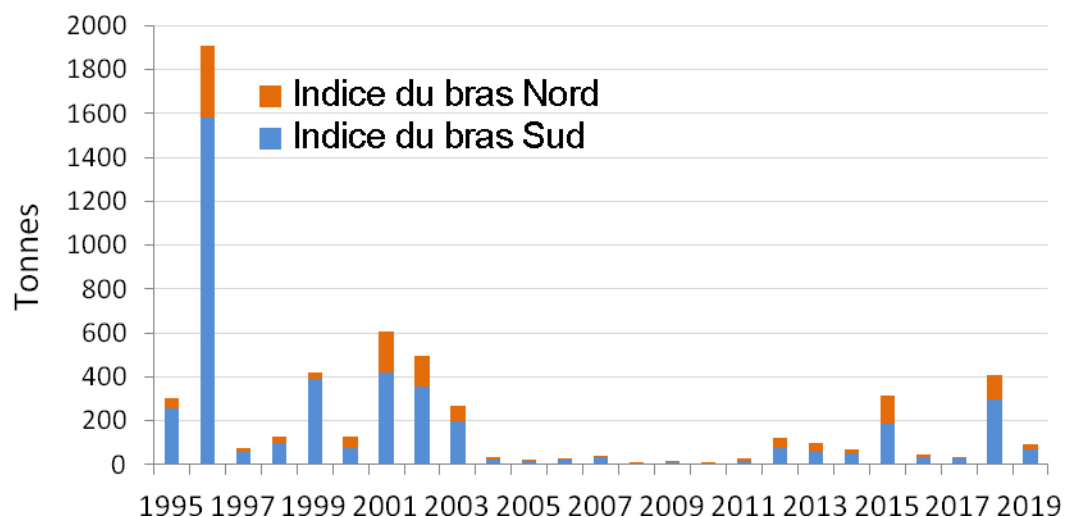


Figure 17-1. Estimation de la biomasse du stock reproducteur (BSR, en tonnes) d'eulakane dans le Fraser, de 1995 à 2019, composée des observations d'échantillonnage des bras Sud et Nord combinés.

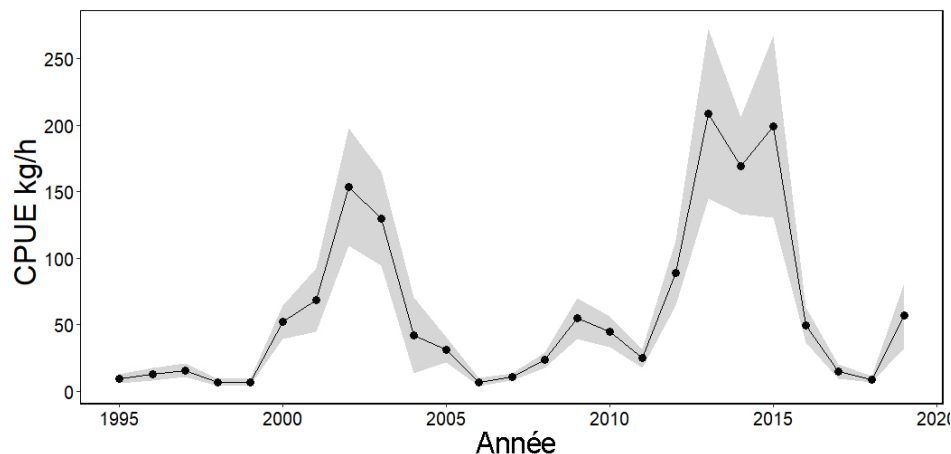


Figure 17-2. Observations des captures moyennes par unité d'effort d'eulakane d'après les relevés multispécifiques printaniers au chalut dans la COIV (1987 à 2019). Les intervalles de confiance moyens à 95 % sont enveloppés de gris.

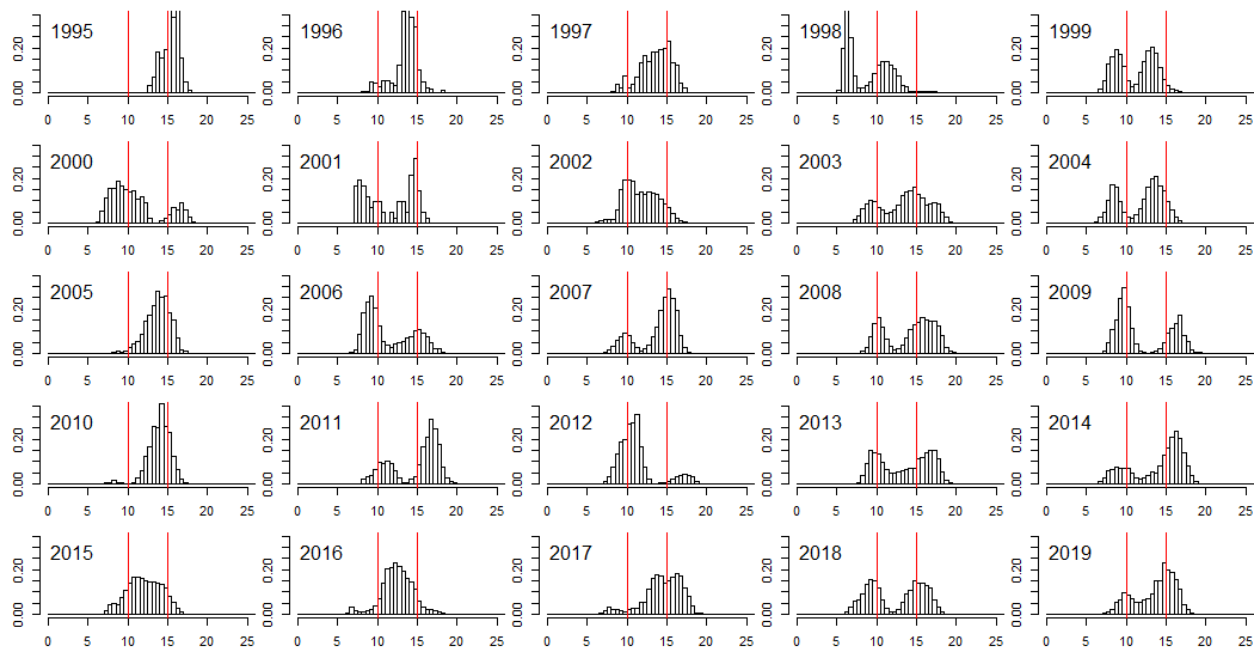


Figure 17-3. Histogrammes de densité des longueurs standard d'eulakane (en cm) selon l'année, fondés sur les données d'échantillonnage groupées provenant des relevés effectués dans la COIV de 1995 à 2019. Les lignes verticales rouges sont des marqueurs visuels à 10 cm et 15 cm pour aider à comparer les positions et les formes des distributions annuelles de longueurs.

17.4. Facteurs à l'origine de ces tendances

Des incertitudes entourent l'écologie et la biologie des stocks d'eulakane, de même que les facteurs influençant le recrutement et la survie des eulakanes. Par exemple, on ne sait pas exactement quelle tranche d'âge compose le stock reproducteur chaque année, quelle est la composition des âges par groupe de cohortes, et dans quelle mesure les stocks reproducteurs et les cohortes peuvent se mélanger dans les frayères et les différentes zones du milieu marin et pendant les diverses saisons. On pense également que la plupart des eulakanes meurent

après avoir frayé, mais les données donnent à penser que certaines femelles pourraient frayer plus d'une fois.

En ce qui concerne les facteurs de la survie de l'eulakane, Schweigert et ses collaborateurs (2012) affirment « qu'il n'est pas possible d'isoler une menace unique comme étant la plus probable pour expliquer le déclin observé des abondances entre les UD [unités désignables] ou comme limitant le rétablissement. Cependant, la mortalité associée aux changements climatiques sur l'ensemble de la côte, la pêche (directe et prises accessoires) et la prédation en mer ont été considérées comme des menaces plus importantes au niveau de l'UD que les changements dans l'habitat ou la prédation dans les rivières de fraie ».

17.5. Conséquences de ces tendances

La réduction de la biomasse d'eulakane a des conséquences négatives pour les Premières Nations et les pêcheurs commerciaux et récréatifs (MPO 2020). Les eulakanes sont socialement et culturellement importants pour les Premières Nations, qui les récoltent à des niveaux bas. Les pêches commerciales et récréatives sont fermées actuellement.

La réduction de l'abondance de l'eulakane a probablement aussi des impacts négatifs sur ses prédateurs. Les prédateurs importants de l'eulakane sont les mammifères marins (en particulier les phoques et les otaries dans les estuaires), le saumon chinook et le saumon coho, l'aiguillat commun, le merlu du Pacifique, l'esturgeon blanc, le flétan du Pacifique, le doré jaune, la morue charbonnière, le sébaste, la plie à grande bouche et d'autres (Levesque et Therriault 2011). Des séries chronologiques des données sur les régimes alimentaires de tous les animaux de l'écosystème amélioreraient notre capacité à examiner les tendances temporelles des interactions prédateurs-proies et les conséquences de ces tendances.

17.6. References

COSEWIC. 2011. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada assessment and status report on the Eulachon, Nass/Skeena Rivers population, Central Pacific Coast population and the Fraser River population *Thaleichthys pacificus* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. xv + 88pp..

COSEWIC. 2013. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada assessment and status report on the Eulachon, Nass/Skeena population, *Thaleichthys pacificus* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. xi + 18 pp.

DFO 2020. Pacific Region Integrated Fisheries Management Plan January 1-December 31, 2020, Eulachon Fraser River. <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40851606.pdf>

Hay, D.E., McCarter, P.B., Joy, R., Thompson, M. and West, K. 2002. Fraser River Eulachon Biomass Assessments and Spawning Distribution: 1995-2002. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 2002/117.

Levesque, C., and Therriault, T. 2011. Information in support of a recovery potential assessment of (*Thaleichthys pacificus*) in Canada. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 2011/101.

McCarter, P.B., and Hay, D.E. 2003. Eulachon embryonic egg and larval outdrift sampling manual for ocean and river surveys. Can. Tech Rep. Fish. Aquat. Sci. 2451: 33p.

Schweigert, J., Wood, C., Hay, D., McAllister, M., Boldt, J., and McCarter, B., Therriault, T.W., and Brekke, H. 2012. Recovery potential assessment of eulachon (*Thaleichthys pacificus*) in Canada. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 2012/098.

18. HARENG DU PACIFIQUE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE, 2019

Jaclyn Cleary*, Sarah Hawkshaw, Matt Grinnell, Chris Grandin, Kristen Daniel et Matt Thompson, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, *Jaclyn.Cleary@dfo-mpo.gc.ca

18.1. Faits saillants

- L'estimation de la biomasse reproductrice varie selon les zones évaluées. Par exemple, en 2019, la biomasse du hareng est restée faible pour Haida Gwaii, a légèrement augmenté dans le district de Prince Rupert, sur la côte centrale et sur la côte ouest de l'île de Vancouver, et a diminué dans le détroit de Georgie.
- Les facteurs contribuant aux changements de la biomasse et de l'état des stocks sont les changements dans le recrutement, la mortalité naturelle, le poids moyen selon l'âge et les ajustements du modèle à l'indice de fraie.
- On observe une augmentation continue du poids selon l'âge dans tous les stocks, après une tendance à la baisse qui s'est prolongée de 1980 à 2010 environ.

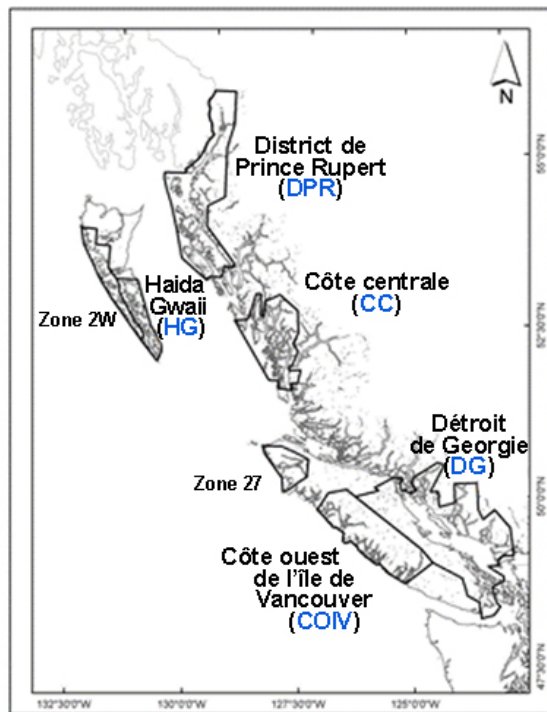


Figure 18-1. Emplacement des cinq stocks principaux (détroit de Georgie, côte ouest de l'île de Vancouver, district de Prince Rupert, Haida Gwaii et côte centrale) et de deux stocks secondaires (zone 2W et zone 27) de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique.

18.2. Sommaire

En Colombie-Britannique, le hareng du Pacifique est géré selon cinq stocks principaux (détroit de Georgie, DG; côte ouest de l'île de Vancouver, COIV; district de Prince Rupert, DPR; Haida Gwaii, HG; et côte centrale, CC), et deux stocks secondaires (zone 2W et zone 27) (MPO 2020; figure 18-1). Pour chaque stock, les tendances de la population de hareng reposent sur des estimations modélisées de la biomasse du hareng du Pacifique. Les modèles statistiques des prises selon l'âge sont adaptés aux données des séries chronologiques : échantillons biologiques de la pêche commerciale et de la pêche expérimentale (âge, longueur, poids, sexe, etc.), données des relevés sur les œufs de hareng (indice de fraie) et données de la pêche commerciale. En 2019, le modèle a été utilisé pour fournir (en partie) des estimations de la biomasse reproductrice du hareng du Pacifique et de l'abondance des recrues d'âge 2 (MPO 2020). La biomasse du hareng, l'abondance des recrues et le poids selon l'âge sont des indicateurs importants de l'état des stocks; toutefois, il existe d'autres considérations telles que le moment et la répartition de la fraie. Les lecteurs sont invités à consulter le document

MPO (2020) pour obtenir des informations supplémentaires importantes sur l'état des stocks de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique.

18.3. État et tendances

Dans les cinq principaux stocks de hareng, on a observé une tendance à la baisse du poids selon l'âge entre les années 1980 et 2010, avec une augmentation ces dernières années (figure 18-2). Depuis 2000, la biomasse du stock de Haida Gwaii est faible (MPO 2020). D'après les données les plus récentes, la biomasse reste très faible en raison des taux de mortalité naturelle estimés très élevés. La biomasse estimée du stock pour le district de Prince Rupert a montré une tendance minimale entre 2005 et 2018, avec une modeste augmentation en 2019. Sur la côte centrale, en 2019, la biomasse reproductrice estimée a augmenté, mais elle a diminué dans le détroit de Georgie. La biomasse reproductrice estimée pour le stock de la COIV a été stable ces trois dernières années (figure 18-3).

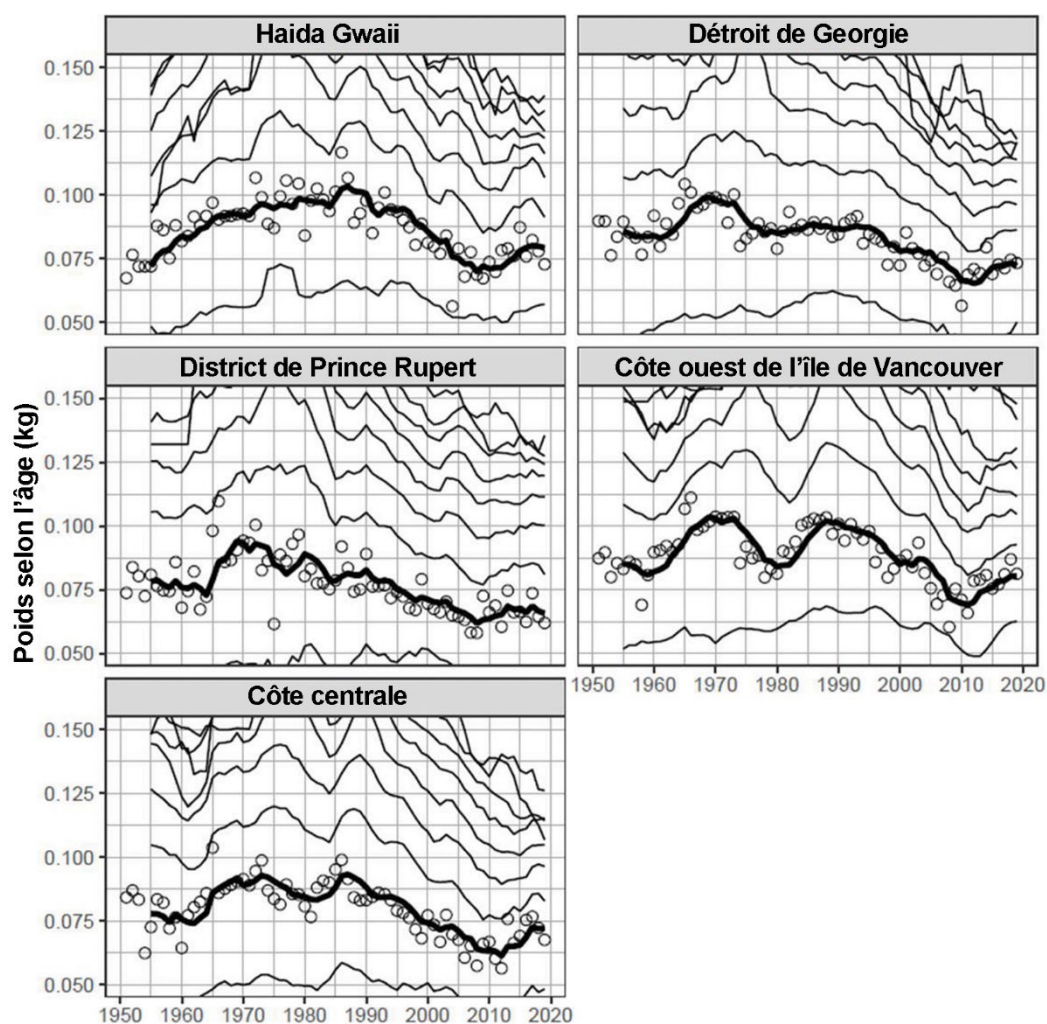


Figure 18-2. Séries chronologiques du poids observé à l'âge 3 (cercles) et de la moyenne mobile sur cinq ans du poids moyen à l'âge 3 (ligne noire) pour les principaux stocks de hareng du Pacifique, de 1951 à 2019. Les lignes noires plus minces représentent la moyenne mobile sur cinq ans du poids moyen à l'âge 2 (la ligne la plus basse) et des âges 4 à 10+ (lignes progressivement plus élevées au-dessus de la ligne de l'âge 3). Figure adaptée de MPO (2020).

18.4. Facteurs influençant les tendances de la biomasse du hareng

Les tendances communes du poids selon l'âge observées pour toutes les zones de stock laissent croire que des facteurs à grande échelle pourraient influencer le hareng. Les changements dans l'environnement, la disponibilité et la qualité de la nourriture, l'abondance des prédateurs et la concurrence sont des facteurs qui pourraient agir sur les tendances de la biomasse et du poids par âge du hareng (Schweigert *et al.* 2010; Hay *et al.* 2012).

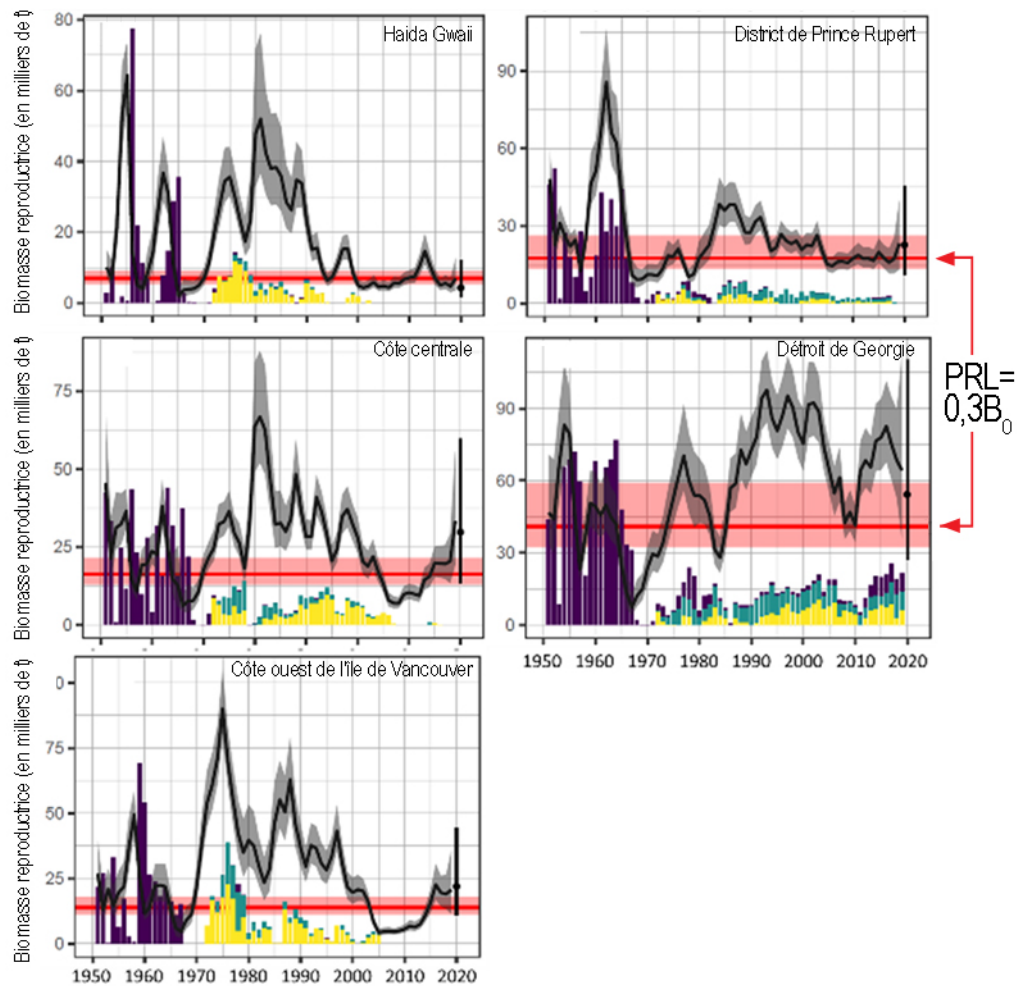


Figure 18-3. Sommaire de la dynamique des cinq stocks de hareng du Pacifique de 1951 à 2019; les lignes pleines entourées d'une enveloppe grise représentent les médianes et les intervalles de crédibilité de 5 à 95 %. La reconstitution de la biomasse reproductrice (SB_t) pour chaque année t est également présentée, les valeurs non pêchées étant indiquées à l'extrême gauche (cercle plein et lignes verticales) et la biomasse reproductrice projetée avec des prises nulles (SB_{2019}) étant indiquée à l'extrême droite (cercle plein et lignes verticales). Les séries chronologiques des fines lignes verticales représentent les prises commerciales (à l'exclusion de la récolte commerciale des œufs de hareng sur varech; les couleurs indiquent les différents types d'engins; voir MPO 2020). $PRL =$ point de référence limite ($0,3B_0$). $B_0 =$ biomasse non exploitée. Figure adaptée de MPO (2020).

Le hareng du Pacifique est zooplanctonophage, consommant principalement des euphausiacés (krill) et quelques copépodes (Wailes 1936). Les changements des conditions océaniques,

comme la température ou les courants, pourraient influencer la quantité et les types de proies disponibles. Par exemple, un courant vers le nord pourrait pousser des eaux du courant de la Californie au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, apportant des espèces de zooplancton du courant de la Californie à valeur énergétique moindre et créant ainsi de moins bonnes conditions d'alimentation pour le hareng (Schweigert *et al.* 2010; Mackas *et al.* 2004). En outre, Tanasichuk (2012) a établi un lien entre l'augmentation du recrutement chez le hareng de la côte ouest de l'île de Vancouver et une biomasse plus élevée d'euphausiacés.

Il existe une grande variété de prédateurs du hareng, notamment le merlu du Pacifique, la morue-lingue, l'aiguillat commun, la morue du Pacifique, la morue charbonnière, la plie à grande bouche, le flétan du Pacifique, l'otarie de Steller, l'otarie à fourrure du Nord, le phoque commun, l'otarie de Californie et le rorqual à bosse (Schweigert *et al.* 2010). Au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, l'abondance de la plupart des mammifères marins prédateurs du hareng a augmenté (Olesiuk 2008; Olesiuk *et al.* 1990). Le recrutement du hareng a été corrélé avec la biomasse des merluches piscivores (les merluches piscivores sont celles qui sont assez grandes pour consommer des harengs), ce qui permet de penser que la prédation pourrait être un facteur important influençant le recrutement du hareng de la côte ouest de l'île de Vancouver (Tanasichuk 2012). D'après les résultats du modèle spatio-temporel, les facteurs les plus importants de la répartition et de la biomasse estivales du hareng du Pacifique sur la côte ouest de l'île de Vancouver sont les suivants : 1) la disponibilité des proies zooplanctoniques; 2) l'évitement des prédateurs, en particulier du merlu du Pacifique; et 3) la concurrence avec les sardines (Godefroid *et al.* 2019).

18.5. Conséquences des tendances

Les tendances de la biomasse du hareng ont des conséquences à la fois pour les pêches et les prédateurs. Le hareng du Pacifique est un élément important des pêches commerciales en Colombie-Britannique. La gestion des pêches utilise des prévisions de la biomasse du hareng, combinées à des procédures de gestion testées par simulation et des paramètres de rendement (y compris les PRL), pour fixer les totaux autorisés des captures.

Les tendances de la biomasse du hareng ont des conséquences pour les prédateurs du hareng, tels que les poissons, les mammifères marins et les oiseaux de mer. L'importance relative du hareng dans le régime alimentaire de chaque prédateur varie; cependant, le hareng peut représenter jusqu'à 88 % du régime de la morue-lingue (Pearsall et Fargo 2007), 40 % du régime de la morue du Pacifique et du flétan du Pacifique (Ware et McFarlane 1986), et 35 à 45 % du régime des pinnipèdes (Olesiuk *et al.* 1990; Womble et Sigler 2006; Trites *et al.* 2007; Olesiuk 2008). Selon le niveau de spécialisation de leur régime alimentaire et leur capacité à passer à d'autres proies, l'abondance et l'état du hareng peuvent influencer la croissance et l'abondance des prédateurs. Des séries chronologiques des régimes alimentaires des animaux de cet écosystème amélioreraient notre capacité à examiner les tendances temporelles des interactions prédateurs-proies et les conséquences de ces tendances.

18.6. References

DFO. 2020. Stock status update with application of management procedures for Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in British Columbia: Status in 2019 and forecast for 2020. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2020/004.

- Godefroid, M., Boldt, J.L., Thorson, J., Forrest, R., Gauthier, S. Flostrand, L., Perry, R.I., Ross, A.R.S., and Galbraith, M. 2019. Spatio-temporal models provide new insights on the biotic and abiotic drivers shaping Pacific Herring (*Clupea pallasii*) distribution. *Progress in Oceanography* 178, 102198.
- Hay, D., Schweigert, J., Boldt, J., Cleary, J., Greiner, T.A., and Hebert, K. 2012. Decrease in herring size-at-age: a climate change connection? Pages 66-69 In: Irvine, J.R. and Crawford, W.R. 2012. State of the physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/072. xi +142 p.
- Mackas, D.L., Peterson, W.T., and Zamon, J.E. 2004. Comparisons of interannual biomass anomalies of zooplankton communities along the continental margins of British Columbia and Oregon. *Deep-Sea Research II* 51: 875-896.
- Olesiuk, P.F. 2008. Abundance of Steller sea lions (*Eumatopias jubatas*) in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2008/063. iv + 29 p.
- Olesiuk, P.F., Bigg, M.A., Ellis, G.M., Crockford, S.J., and Wigen, R.J. 1990. An assessment of the feeding habits of harbour seals (*Phoca vitulina*) in the Strait of Georgia, British Columbia, based on scat analysis. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1730. 135 p.
- Pearsall, I.A., and Fargo, J.J. 2007. Diet composition and habitat fidelity for groundfish assemblages in Hecate Strait, British Columbia. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2692. 149 p.
- Schweigert, J.F., Boldt, J.L., Flostrand, L., and Cleary, J.S. 2010. A review of factors limiting recovery of Pacific herring stocks in Canada. *ICES J. Mar. Sci.* 67:1903-1913.
- Tanasichuk, R. 2012. Euphausiids and west coast Vancouver Island fish production. Pages 47-49 In: Irvine, J.R. and Crawford, W.R. 2012. State of the physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/072. xi +142 p.
- Trites, A.W., Calkins, D.G., and Winship, A.J. 2007. Diets of Steller sea lions (*Eumatopias jubatus*) in southeast Alaska, 1993–1999. *Fishery Bulletin* 105: 234–248.
- Wales, G.H. 1936. Food of *Clupea pallasii* in southern British Columbia waters. *Journal Biological Board of Canada* 1: 477–486.
- Ware, D.M., and McFarlane, G.A. 1986. Relative impact of Pacific hake, sablefish and Pacific cod on west coast of Vancouver Island herring stocks. *International North Pacific Fisheries Commission Bulletin* 47: 67–78.
- Womble, J.N., and Sigler, M.F. 2006. Seasonal availability of abundant, energy-rich prey influences the abundance and diet of a marine predator, the Steller sea lion *Eumatopias jubatus*. *Marine Ecology Progress Series* 325: 281–293.

19. RÉPARTITION ET ABONDANCE ESTIVALES DU HARENG DU PACIFIQUE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DE L'ÎLE DE VANCOUVER

Jennifer Boldt*, Hilari Dennis-Bohm, Jackie King, Erika Anderson et Tyler Zubkowski, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique

*Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca

19.1. Faits saillants

- Le hareng du Pacifique avait une répartition moins vaste en 2019 par rapport à 2018 et 2017.
- Moins de harengs du Pacifique ont été pêchés au nord des îles Scott ou au large de la baie Clayoquot.
- La biomasse de hareng du Pacifique était plus élevée en 2019 et 2017 qu'en 2018.

19.2. Description de la série chronologique

Le relevé de l'écosystème pélagique intégré fait partie d'un projet intégré conçu pour étudier la structure et les fonctions de l'écosystème pélagique sur le plateau continental de l'île de Vancouver (moins de 200 m de profondeur) pendant l'été. Son principal objectif est de comprendre les facteurs ayant une incidence sur la répartition, l'abondance et les liens dans le réseau trophique des espèces de poissons pélagiques, comme le hareng du Pacifique. Les objectifs du relevé sont les suivants : 1) examiner la répartition, la composition et l'abondance des espèces; 2) collecter des données morphométriques, des données sur les régimes alimentaires et des échantillons biologiques; et 3) examiner l'environnement des proies en prélevant des échantillons de zooplancton (traits verticaux de filet Bongo) et en menant une surveillance océanographique (température, salinité, fluorescence et oxygène dissous). Il s'agit d'un relevé au chalut à stratification aléatoire sur huit strates définies par la profondeur et les communautés biologiques. Un sous-ensemble de blocs de 4 x 4 km a été choisi au hasard (répartis par taille des strates). On a utilisé des chaluts semi-pélagiques pour échantillonner les poissons (2017 : CanTrawl 250; 2018 et 2019 : LFS 7742; voir Anderson *et al.* 2019) à des profondeurs attribuées au hasard (surface ou 15 m). Le hareng du Pacifique effectue une migration verticale nyctémérale, remontant généralement la nuit dans les couches d'eau supérieures; c'est pourquoi des prises nocturnes sont déclarées. Les prises étaient triées par espèce et pesées. On a calculé les captures par unité d'effort (CPUE) en divisant le poids des prises de hareng par le volume balayé (produit de la hauteur nette de l'ouverture de la bouche du filet, de la largeur et de la distance de remorquage). On a estimé la biomasse de hareng pour la région du relevé à l'aide des méthodes décrites dans King *et al.* (2019) et Boldt *et al.* (2020). Le relevé a été mené entre le 6 juillet et le 2 août 2017, entre le 5 et le 29 juillet 2018 et entre le 15 juin et le 15 juillet 2019. En 2019, des données acoustiques ont été recueillies le long de transects normalisés pendant les heures de clarté à l'aide d'un échosondeur scientifique SIMRAD EK60 fonctionnant à 38 kHz et 120 kHz, mais elles n'ont pas encore été analysées.

19.3. État et tendances

Comme les années précédentes, le hareng du Pacifique était l'espèce la plus fréquemment capturée pendant le relevé (Boldt *et al.* 2020). Le hareng du Pacifique a généralement une vaste répartition sur le plateau continental de l'île de Vancouver, dans les ~45 premiers mètres de la colonne d'eau, pendant la nuit. En 2019, il était à nouveau largement réparti sur le plateau continental, mais avec quelques différences spatiales par rapport aux années précédentes (figure 19-1). Les zones où les CPUE étaient les plus élevées étaient situées au large des côtes nord-ouest et sud-ouest de l'île de Vancouver, plus précisément dans la région de La Pérouse. La répartition du hareng du Pacifique n'était pas aussi vaste en 2019 que les années précédentes; plusieurs traits de chalut n'ont remonté aucun hareng du Pacifique au nord des îles Scott et au large de la baie Clayoquot. A titre anecdotique, en 2019, les échogrammes acoustiques ont révélé des échos signaux denses caractéristiques des petits pélagiques en profondeur pendant la nuit, contrairement aux années précédentes où les petits pélagiques remontaient dans le haut de la colonne d'eau pendant la nuit. En 2019, la biomasse totale estimée du hareng du Pacifique (98 217 t, ET= 6 966 t) était comparable à celle de 2017 (92 174 t, ET= 4 717 t), mais presque trois fois plus élevée que celle de 2018 (34 652 t, ET= 1 667 t) (figure 19-1; King *et al.* 2019; Boldt *et al.* 2020).

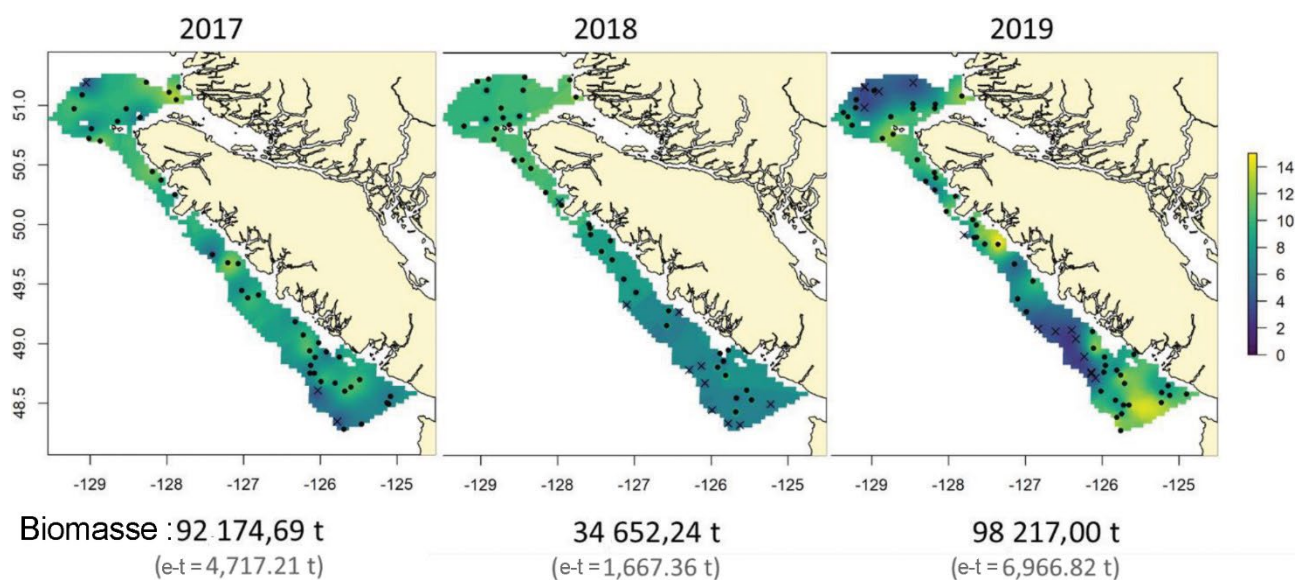


Figure 19-1. Relevé de l'écosystème pélagique intégré sur le plateau continental de l'île de Vancouver (< 200 m de profondeur au fond). Captures par unité d'effort (kg/km^3) de hareng du Pacifique dans les traits de chalut de nuit, de 2017 à 2019. Les valeurs des captures par unité d'effort ont été interpolées dans l'espace par krigeage. Les points noirs indiquent les stations où des harengs ont été capturés; les X noirs indiquent les stations où un relevé au chalut a été effectué, mais où aucun hareng n'a été capturé. Les estimations de la biomasse totale (en tonnes) sont indiquées avec les valeurs de l'erreur standard. Il s'agit de résultats préliminaires qui pourraient changer avec des analyses supplémentaires.

19.4. Facteurs influençant les tendances

On sait que les variables environnementales, telles que la température, influencent le recrutement et la survie du hareng du Pacifique (Tester 1948; Ware 1991). Le contrôle ascendant de la production peut également avoir une incidence sur l'abondance des poissons

(Ware et Thompson 2005; Perry et Schweigert 2008; Schweigert *et al.* 2013; Boldt *et al.* 2018). Le hareng du Pacifique est zooplanctonophage, consommant principalement des euphausiacés et quelques copépodes (Wales 1936). Les changements des conditions océaniques, comme la température ou les courants, pourraient influencer la quantité et les types de proies disponibles. Par exemple, un courant vers le nord pourrait pousser des eaux du courant de la Californie au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), apportant des espèces de zooplancton d'eau chaude à valeur énergétique moindre et créant ainsi de moins bonnes conditions d'alimentation pour le hareng (Schweigert *et al.* 2010; Mackas *et al.* 2004).

Il existe une grande variété de prédateurs du hareng, notamment le merlu du Pacifique, la morue-lingue, l'aiguillat commun du Pacifique, la morue du Pacifique, la morue charbonnière, la plie à grande bouche, le flétan du Pacifique, l'otarie de Steller, l'otarie à fourrure du Nord, le phoque commun, l'otarie de Californie et le rorqual à bosse (Schweigert *et al.* 2010). Au large de la COIV, le recrutement du hareng du Pacifique a été corrélé négativement avec la biomasse des merlus du Pacifique piscivores (c'est-à-dire des merlus du Pacifique qui sont assez grands pour consommer du hareng), ce qui donne à penser que la prédation pourrait être un facteur important influençant le recrutement du hareng du Pacifique de la COIV (Tanasichuk 2012). Godefroid et ses collaborateurs (2019) ont constaté que les facteurs les plus importants de la répartition et de la densité estivales du hareng du Pacifique sont probablement les suivants : 1) le merlu du Pacifique (prédateur), 2) la sardine du Pacifique (concurrente potentielle lorsqu'elle est présente; actuellement peu abondante en Colombie-Britannique) et 3) le zooplancton (proie).

19.5. Conséquences de ces tendances

L'un des nombreux types de données recueillies dans le cadre de ce relevé est une série chronologique de l'abondance et de la répartition du hareng du Pacifique pendant sa quête de nourriture estivale. Les évaluations des stocks de hareng du Pacifique indiquent des changements temporels dans la mortalité naturelle – dont les causes sont inconnues. Ce relevé examine l'abondance et la répartition du hareng du Pacifique en été, permettant de mieux comprendre les facteurs influençant sa mortalité. Les données spatiales de ce relevé confirment l'hypothèse selon laquelle la prédation par le merlu du Pacifique est un facteur important à prendre en compte pour estimer la mortalité du hareng du Pacifique (Boldt *et al.* 2019; Godefroid *et al.* 2019). Les regroupements de hareng du Pacifique sur la côte ouest de l'île de Vancouver fournissent des renseignements utiles pour déterminer la variabilité de la répartition des oiseaux de mer et des mammifères marins. Une mauvaise concordance entre les regroupements de harengs du Pacifique et les zones d'alimentation des oiseaux de mer ou des mammifères marins pourrait se traduire par une diminution de la croissance ou de la survie de ces prédateurs. Cette série chronologique fournit un indicateur de la productivité de l'écosystème et de la disponibilité du hareng du Pacifique pour ses prédateurs.

19.6. References

Anderson, E.D., Zubkowski, T.B., and King, J.R. 2019. Comparison of Juvenile Salmon Catch in Cantrawl 250 and LFS 7742 Mid-Water Trawl Nets. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3306: v + 87 p.

- Boldt, J.L., Anderson, E., King, J., Dennis-Bohm, H., Zubkowski, T., and Flostrand, L. 2020. Integrated Pelagic Ecosystem Survey on the Vancouver Island Continental Shelf, June 15 - July 15, 2019. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3339: vii + 85 p.
- Boldt, J.L., Dennis-Bohm, H., King, J., Stanley, C., Anderson, E., Zubkowski, T., and Gauthier, S. 2019. Pacific herring summer distribution and abundance off the Vancouver Island continental shelf. In State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Edited by J.L. Boldt, J. Leonard, and P.C. Chandler. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314. pp. 70–74.
- Boldt, J.L., Thompson, M., Rooper, C.N., Hay, D.E., Schweigert, J.F., Quinn, T.J. II, Cleary, J.S., and Neville, C.M. 2018. Bottom-up and top-down control of small pelagic forage fish: factors affecting age-0 herring in the Strait of Georgia, British Columbia. Mar. Ecol. Prog. Ser. <https://doi.org/10.3354/meps12485>.
- Godefroid, M., Boldt, J.L., Thorson, J., Forrest, R., Gauthier, S., Flostrand, L., Perry, R.I., Ross, A.R.S., and Galbraith, M. 2019. Spatio-temporal models provide new insights on the biotic and abiotic drivers shaping Pacific Herring (*Clupea pallasii*) distribution. Progress in Oceanography 178: 102198.
- King, J., Boldt, J.L., Dennis-Bohm, H., Zubkowski, T., Anderson, E., Flostrand, L., and Tucker, S. 2019. Integrated Pelagic Ecosystem Surveys on the Vancouver Island Continental Shelf, July 7 - August 2, 2017 and July 5 - July 29, 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3318: xi + 115 p.
- Mackas, D.L., Peterson, W.T., and Zamon, J.E. 2004. Comparisons of interannual biomass anomalies of zooplankton communities along the continental margins of British Columbia and Oregon. Deep-Sea Research II 51: 875-896.
- Perry, R.I., and Schweigert, J.F. 2008. Primary productivity and the carrying capacity of herring in NE Pacific marine ecosystems. Progress in Oceanography 77: 241–251.
- Schweigert, J.F., Boldt, J.L., Flostrand, L., and Cleary, J.S. 2010. A review of factors limiting recovery of Pacific herring stocks in Canada. ICES J. Mar. Sci. 67: 1903-1913.
- Schweigert, J.F., Thompson, M., Fort, C., Hay, D.E., Therriault, T.W., and Brown, L.N. 2013. Factors linking Pacific herring (*Clupea pallasii*) productivity and the spring plankton bloom in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. Progress in Oceanography 115: 103-110.
- Tanasichuk, R. 2012. Euphausiids and west coast Vancouver Island fish production. p. 47-49 In Irvine, J.R. and Crawford, W.R. 2012. State of the physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/072. xi +142 p.
- Tester, A.L. 1948. The efficacy of catch limitation in regulating the British Columbia herring fishery. Transactions of the Royal Society of Canada, Vol. XLII: Series III: 135-163.
- Wailes, G.H. 1936. Food of *Clupea pallasii* in southern British Columbia waters. Journal Biological Board of Canada 1: 477–486.

- Ware, D.M. 1991. Climate, predator and prey: behavior of a linked oscillating system, pp. 279–291. In: Kawasaki, T. (Ed.), Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment. Pergamon Press, Tokyo.
- Ware, D.M., and McFarlane, G.A. 1986. Relative impact of Pacific hake, sablefish and Pacific cod on West Coast of Vancouver Island herring stocks. *Int. North Pacific Fish. Comm. Bull.* 47: 67–78.
- Ware, D.M., and McFarlane, G.A. 1995. Climate induced changes in hake abundance and pelagic community interactions in the Vancouver Island Upwelling System. *Climate Change and Northern Fish Populations*. Beamish, R.J. (Ed.) *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 121: 509–521.
- Ware, D., and Thomson, R. 2005. Bottom-up ecosystem trophic dynamics determine fish production in the northeast Pacific. *Science* 308: 1280-1284.

20. RELEVÉS DU SAUMON JUVÉNILE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL DE L'ÎLE DE VANCOUVER EN 2019

Erika Anderson¹, Jackie King, Jennifer Boldt, Tyler Zubkowski, Cameron Freshwater, Hilari Dennis-Bohm, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, ¹Erika.Anderson@dfo-mpo.gc.ca

20.1. Faits saillants

- Faibles captures par unité d'effort (CPUE) de tous les saumons du Pacifique juvéniles sur la côte ouest de l'île de Vancouver en juin et juillet 2019.
- L'état des saumons cohos juvéniles était supérieur à la moyenne, celui des saumons chinooks et kétas juvéniles était moyen et celui des saumons rouges juvéniles était légèrement inférieur à la moyenne en 2019.
- La densité énergétique des saumons chinooks et cohos juvéniles était similaire entre 2019, 2018, 2002 et 1999.

20.2. Description de la série chronologique

Les anomalies des captures par unité d'effort (CPUE) de saumons juvéniles ont été estimées à partir des relevés au chalut de surface effectués par Pêches et Océans Canada sur le plateau continental de l'île de Vancouver. De 1998 à 2015, des relevés sur le saumon en haute mer ont été menés le long de transects standard et comportaient un échantillonnage opportuniste. Depuis 2017, le relevé de l'écosystème pélagique intégré (REPI) utilise un plan de relevé à stratification aléatoire fondé sur la profondeur et les communautés biologiques (King *et al.* 2019; Boldt *et al.* 2020). Tous les efforts ont été déployés pour réduire au minimum l'influence du plan du relevé (c'est-à-dire en n'incorporant que les traits de jour, dans la même zone de relevé, avec des profondeurs de traits similaires); cependant, il convient de faire preuve de prudence pour comparer les périodes de relevé. Les anomalies annuelles des CPUE ont été calculées comme la moyenne du nombre de prises en transformée logarithmique naturelle (plus un) par volume balayé, et exprimées sous forme d'anomalies standardisées.

20.3. État et tendances

Les anomalies des CPUE pour tous les saumons juvéniles étaient faibles en 2019 (figure 20-1). Le saumon kéta juvénile avait la plus grande biomasse par rapport aux autres saumons du Pacifique. En 2019, aucun saumon rose juvénile n'a été capturé lors des traits de jour. Cela n'était pas inhabituel étant donné la nature du cycle sur deux ans du saumon rose, les années d'éclosion impaires dominant dans le sud de la Colombie-Britannique.

La région située immédiatement au nord de la péninsule de Brooks était un point névralgique pour les saumons du Pacifique juvéniles (figure 20-2). Les saumons chinooks juvéniles étaient répandus dans la zone du relevé en plus faible abondance. Les saumons kétas juvéniles ont été capturés en plus grande quantité dans des traits localisés. Les saumons cohos juvéniles étaient plus nombreux dans les zones méridionales et côtières. Enfin, des saumons rouges juvéniles ont été pêchés dans le détroit de la Reine-Charlotte.

Le rapport longueur/poids indique que l'état des saumons cohos juvéniles était supérieur à la moyenne, que celui des saumons chinooks et kétas juvéniles était moyen, et que celui des saumons rouges juvéniles était légèrement inférieur à la moyenne en 2019 (figure 20-3).

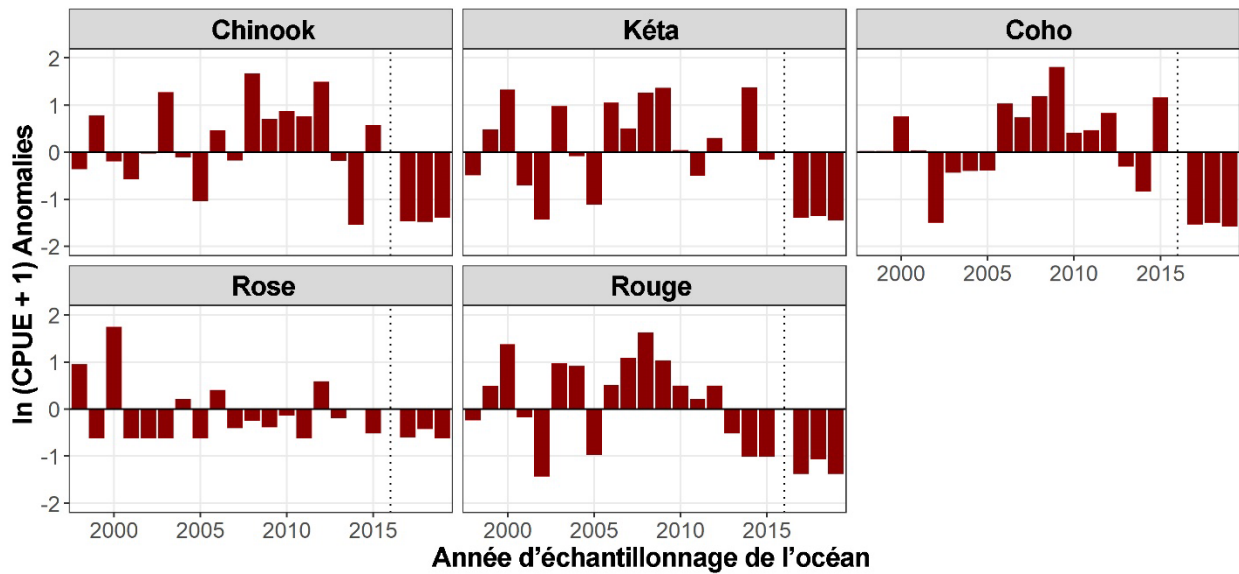


Figure 20-1. Anomalies des captures annuelles par unité d'effort (CPUE) en juin et juillet de 1998 à 2019 pour les saumons du Pacifique juvéniles au large de la côte ouest de l'île de Vancouver. Les anomalies positives représentent une abondance supérieure à la moyenne, et les anomalies négatives une abondance inférieure à la moyenne. La ligne verticale en pointillés indique qu'il n'y a pas eu de relevé en 2016.

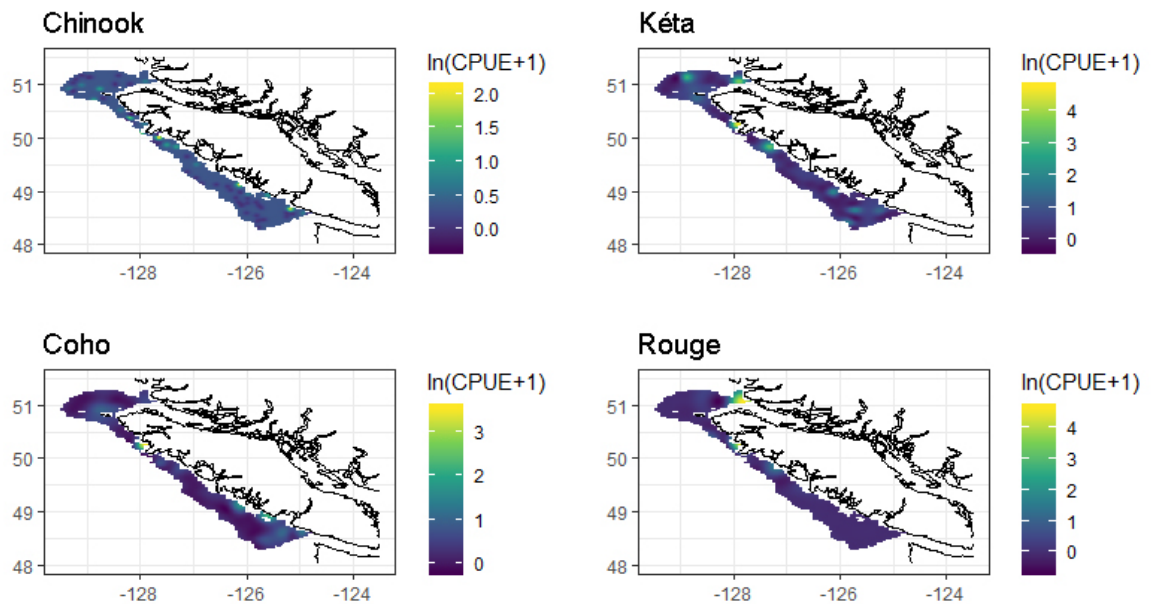


Figure 20-2. Interpolation par krigeage des captures par unité d'effort, $\ln(\text{CPUE} + 1)$, de saumons juvéniles du Pacifique au large de la côte ouest de l'île de Vancouver en 2019. Le jaune indique des CPUE plus élevées, le bleu foncé des CPUE plus faibles. Les surfaces comprennent les traits avec des prises nulles.

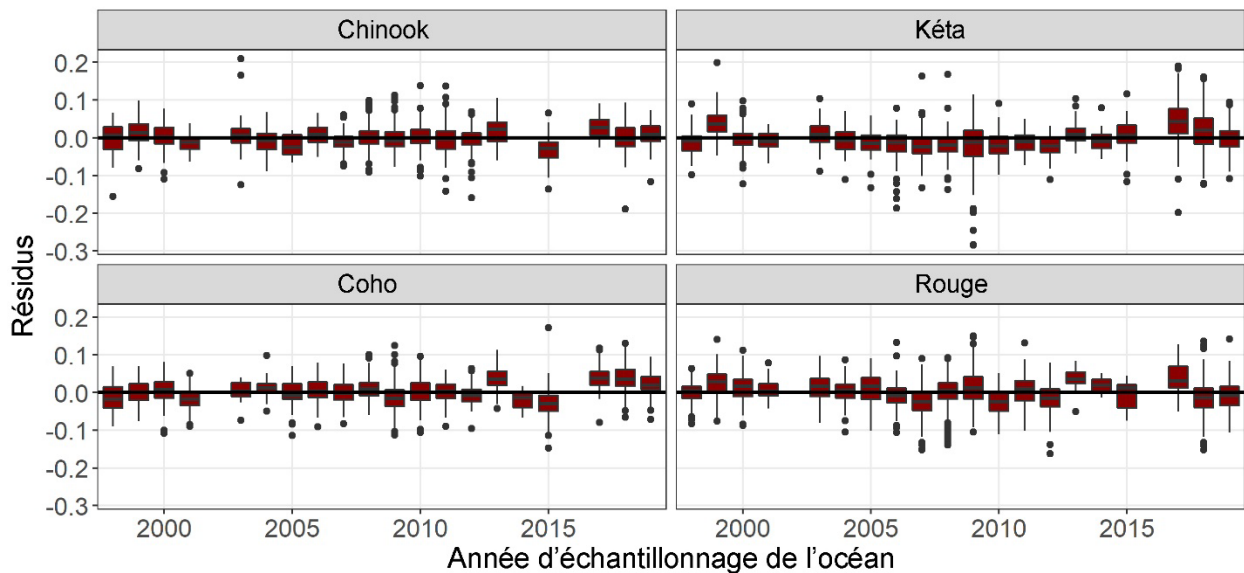


Figure 20-3. État des saumons juvéniles tel que mesuré par les résidus de la relation logarithmique entre la longueur et le poids, selon l'espèce, de 1998 à 2019. Les cases représentent le quantile inférieur et le quantile supérieur, la moyenne est indiquée par la ligne noire à l'intérieur de la case et les points représentent les valeurs aberrantes.

Une mesure plus précise de l'état des poissons est la densité énergétique, estimée à l'aide d'un calorimètre. La densité énergétique des saumons chinooks et cohos juvéniles en 2018 et 2019 était comparable à celle des échantillons historiques (1999 et 2002). Les valeurs de la densité énergétique étaient également comparables entre 2018 et 2019 pour les saumons kétas et rouges juvéniles. Des recherches futures permettront d'estimer l'état de chaque stock.

20.4. Facteurs influençant les tendances

L'abondance relative des saumons juvéniles dans les régions côtières reflète les impacts cumulatifs, y compris, mais sans s'y limiter, la productivité géniteur-œuf-alevin en eau douce, la mortalité en rivière des saumoneaux pendant la dévalaison et les conditions océaniques associées aux impacts trophiques (qualité et disponibilité des proies, prédation) pendant les premiers mois dans l'océan. Les profils climatiques et océaniques à l'échelle du bassin (p. ex. l'oscillation décennale du Pacifique et l'oscillation du gyre du Pacifique Nord) ont été liés, par le biais des processus côtiers, à la cohérence des profils à grande échelle de la survie en mer du saumon du Pacifique (Malick *et al.* 2017). À cette complexité s'ajoutent les récents phénomènes extrêmes de réchauffement de l'océan, c'est-à-dire les vagues de chaleur marines. La faible abondance continue des saumons juvéniles observée dans ces relevés au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) vient appuyer le concept d'une nouvelle base de référence écosystémique dans cette région après la vague de chaleur marine de 2015. Les anomalies des taux de prise des saumons juvéniles dans le nord-est du Pacifique et la mer de Béring continuent d'afficher des réponses très variables d'une région à l'autre après la vague de chaleur marine de 2015 (King *et al.* 2020).

20.5. Conséquences de ces tendances

Des indices de l'abondance relative (CPUE) inférieurs à la moyenne semblent indiquer des remontes inférieures à la moyenne pour les stocks généralement rencontrés dans ces relevés. La majorité des saumons rouges présents sur le plateau continental du nord de l'île de Vancouver proviennent du Fraser, et ceux de la côte ouest de l'île de Vancouver sont issus de stocks locaux, principalement de la baie Barkley. Les saumons chinooks et cohos capturés le long du plateau continental de l'île de Vancouver proviennent en majorité des stocks du Columbia, de la baie Puget, de l'île de Vancouver et de l'Oregon, par ordre de dominance. L'identification génétique des stocks de saumon kétéas et roses n'était pas encore disponible pour ces relevés. Les saumons du Pacifique juvéniles rencontrés lors de ces relevés reviendront frayer à des périodes différentes, mais en général, ces taux de prise s'appliquent aux saumons roses et cohos qui remonteront en 2020, aux saumons rouges et chinooks qui remonteront en 2021 et aux saumons kétéas qui remonteront en 2022.

20.6. References

- Boldt, J., Anderson, E., King, J., Dennis-Bohm, H. Zubkowski, T., and Flostrand, L. 2020. Integrated Pelagic Ecosystem Survey on the Vancouver Island Continental Shelf, June 15- July 15, 2019. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3339: vii + 85 p.
- King, J., Boldt, J., Dennis-Bohm, H., Zubkowski, T., Anderson, E. Flostrand, L., and Tucker, S. 2019. Integrated Pelagic Ecosystem Surveys on the Vancouver Island Continental Shelf, July 7 – August 2, 2017 and July 5, July 29, 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3318: xi + 115 p.
- King, J., Boldt, J., Burke, B., Greene, C., Moss, J., and Neville, C. 2020. Northeast Pacific Juvenile Salmon Summer Surveys in 2019. PICES Press. 28(1): 75-81.
<https://meetings.pices.int/publications/pices-press/volume28/PPJan2020.pdf>.
- Malick, M.J., Cox, S.P., Mueter, F.J., Corner, B., and Peterman, R.M. 2017. Effects of the North Pacific Current in the productivity of 163 Pacific salmon stocks. Fish. Oceanogr. 26: 268-281.

21. ÉTAT DU SAUMON DU PACIFIQUE AU CANADA EN 2019

Sue C.H. Grant¹, Bronwyn L. MacDonald¹ et Catherine G.J. Michielsens²

¹Programme sur l'état du saumon, Pêches et Océans Canada, administration centrale régionale, Vancouver, Colombie-Britannique, Sue.Grant@dfo-mpo.gc.ca, Bronwyn.MacDonald@dfo-mpo.gc.ca,

²Commission du saumon du Pacifique, Vancouver, Colombie-Britannique, Michielsens@psc.org

21.1. Faits saillants

- Les remontes de saumon rouge et du saumon chinook ont été généralement faibles en 2019, poursuivant les tendances récentes de faibles remontes observées pour ces espèces, en particulier aux latitudes sud.
- Les remontes de saumon kéta ont également été faibles en 2019, divergeant de la tendance récente pour cette espèce, qui affichait généralement de meilleures remontes que les autres saumons du Pacifique.
- Les remontes de coho et de saumon rose étaient mitigées en 2019. Les remontes de saumon rose étaient généralement meilleures que celles de la plupart des espèces ces dernières années, tandis que celles du coho étaient faibles, en particulier aux latitudes sud.
- Ces tendances du saumon coïncident avec les réactions aux changements climatiques mondiaux dans les écosystèmes d'eau douce et marins où vivent les saumons. Les impacts des changements climatiques dans l'eau douce ont été encore exacerbés par les activités liées à l'utilisation des terres et de l'eau.
- Les faibles remontes de saumons dans le bassin hydrographique du Fraser en 2019 ont été aggravées par le glissement de terrain de Big Bar, qui a bloqué la migration en amont de nombreuses populations. Des travaux sont en cours pour tenter d'atténuer cet obstacle pour les migrations de fraie de 2020.

21.2. Description des séries chronologiques sur le saumon du Pacifique au Canada

Les données des séries chronologiques sont agrégées pour plusieurs grands groupes de saumons, notamment les séries chronologiques sur les prises pour les cinq espèces de saumons du Pacifique gérées par le MPO (rouge, chinook, coho, rose et kéta), qui sont publiées par la Commission des poissons anadromes du Pacifique Nord (CPAPN : <https://npafc.org/statistics/>). Ces données sont actuellement disponibles jusqu'en 2017. Bien que des données sur les prises de saumon en cours de saison soient disponibles pour gérer certaines pêches, il faut généralement attendre quelques années pour que la CPAPN finalise et intègre ces données dans un format standardisé accessible. C'est pourquoi les points de données de 2018 et 2019 ne sont pas disponibles actuellement.

La plupart des informations sur les remontes de saumons pour 2019 ne sont disponibles que sous forme qualitative au moment de la rédaction de ce rapport. Des données qualitatives sur les remontes de 2019 ont été fournies par divers responsables de secteurs du MPO : mises à jour sur les stocks transfrontaliers du nord de la Colombie-Britannique et de l'Alaska : A. Foos;

Yukon : M. Folkes et C. Carli; kéta de l'intérieur : P. Van Will; côte Nord, toutes les espèces : C. Carr-Harris; chinook du Fraser : R. Bailey; côte Sud : W. Luedke. Les données quantitatives sur les remontes de 2019 sont disponibles pour les principales populations de saumon rouge et sont présentées dans Hyatt *et al.* (section 22). De plus amples détails sur les remontes et la productivité en 2019 sont disponibles pour les 18 principales populations de saumon rouge du Fraser (Grant *et al.* 2019a, 2019b). Ils sont fournis par S. Latham, de la Commission du saumon du Pacifique (CSP), et S. Decker et B. Leaf, du MPO.

21.3. État et tendances du saumon du Pacifique au Canada

21.3.1. Tendances des prises de saumon

Les prises commerciales des cinq espèces de saumon du Pacifique gérées par le MPO ont diminué au cours de la dernière décennie (figure 21-1). Cette diminution est attribuable à une baisse de l'abondance des populations de saumon ciblées et aux contraintes imposées aux pêches de stocks mélangés pour protéger les populations de saumons en mauvais état qui migrent en même temps (Grant *et al.* 2019c). Les données intégrées sur les prises de 2019 ne sont pas encore disponibles, mais les pêches commerciales ont été fortement restreintes pour cette année, en raison des remontes généralement faibles prévues pour la plupart des populations.

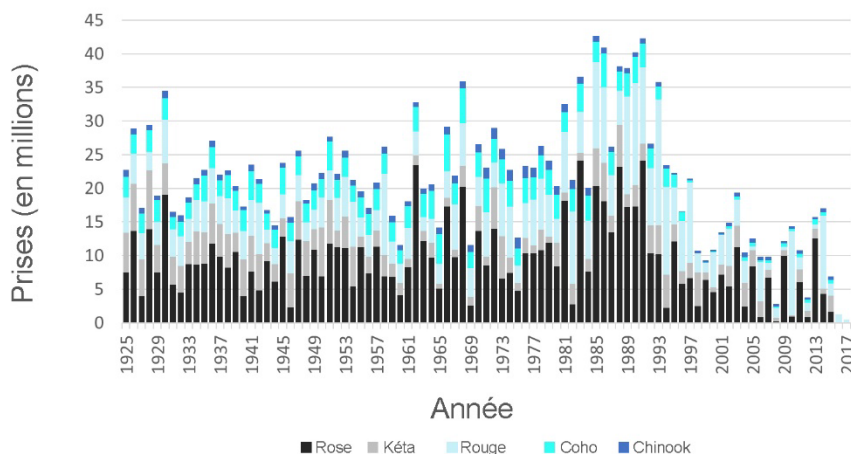


Figure 21-1. Prises commerciales de saumon rose, kéta, rouge, coho et chinook au Canada (Grant *et al.* 2019c; NPAFC statistics: <https://npafc.org/statistics/>). La moyenne des prises était de 30 millions de 1925 à 1993, et de 15 millions entre 1994 et 2017.

21.3.2. Montaisons qualitatives du saumon du Pacifique au Canada en 2019

Les remontes totales de chinook étaient faibles en 2019, poursuivant la tendance récente d'abondances généralement basses (Grant *et al.* 2019c). En 2019, on a noté certaines exceptions locales pour le chinook du Fraser de type océanique à montaison estivale et les chinooks des côtes est et ouest de l'île de Vancouver et de la rivière Alsek, dans la région transfrontalière du nord de la Colombie-Britannique et de l'Alaska, de type océanique à montaison estivale. Les remontes de saumon rouge ont également été faibles en 2019, poursuivant les tendances de faible abondance observées pour l'espèce ces dernières années, en particulier aux latitudes centrales et méridionales de la Colombie-Britannique

(Grant *et al.* 2019c; Hyatt *et al.* 2019). Les populations des rivières Alsek et Taku, dans la région transfrontalière du nord de la Colombie-Britannique et de l'Alaska, ont fait exception à la tendance du saumon rouge en 2019. Les remontes de saumon coho étaient mitigées en 2019 : inférieures à la moyenne pour les populations du nord de la Colombie-Britannique et de la côte ouest de l'île de Vancouver, et moyennes pour les populations transfrontalières du Fraser intérieur et du nord de la Colombie-Britannique et de l'Alaska. Les remontes de saumon rose étaient également mitigées en 2019, et comme pour le saumon kéta ces dernières années, elles ont généralement été meilleures que celles des autres espèces. Le saumon kéta a généralement connu de faibles remontes en 2019, contrairement à leur tendance récente à l'amélioration (Grant *et al.* 2019c). Dans le Fraser, un important glissement de terrain au niveau du traversier de Big Bar, au nord de Lillooet, a eu des répercussions négatives supplémentaires sur les populations de saumon en amont du glissement. Ce glissement de terrain a encore réduit le nombre de géniteurs capables d'atteindre les frayères en amont (Gouvernement de la Colombie-Britannique *et al.* 2019).

21.3.3. Le saumon rouge au Canada en 2019

Le saumon rouge est la seule espèce pour laquelle les données sur la montaison de 2019 sont disponibles à temps pour ce rapport. Les remontes de saumon rouge étaient généralement faibles pour la plupart des populations clés présentées dans Hyatt *et al.* (section 22).

Les remontes et la productivité pour l'ensemble du saumon rouge du Fraser ont été les plus faibles jamais enregistrées en 2019, ce qui correspond à l'année d'éclosion 2015 (figure 21-2). En outre, les productivités étaient faibles en même temps dans les 18 populations clés du saumon rouge du Fraser (figure 21-3), et inférieures à celles associées à l'année de montaison 2009, qui a conduit à la Commission Cohen (Cohen 2012a, 2012b).

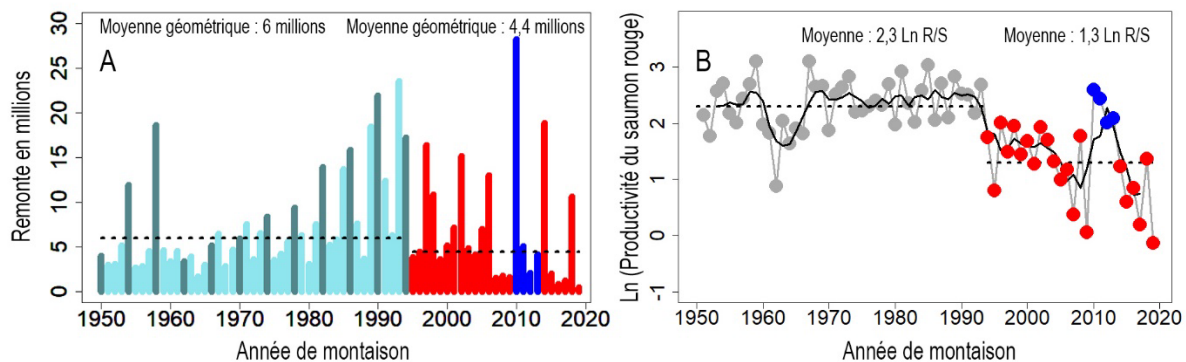


Figure 21-2. (A) Total des remontes annuelles de saumon rouge du Fraser (barres verticales en bleu foncé pour le cycle 2018 et barres verticales en bleu clair pour les trois autres cycles) et (B) productivité totale du saumon rouge du Fraser (\log_e (montaisons/total des géniteurs)), présentée jusqu'à l'année de montaison 2019. Les points et lignes gris représentent les estimations de la productivité annuelle. Sur les deux figures, la ligne pointillée représente la moyenne de la série chronologique. La productivité et les remontes ont diminué au cours des dernières décennies (mises en évidence en rouge), à l'exception de quatre années de 2010 à 2013 (mises en évidence en bleu), qui étaient plus proches de la moyenne.

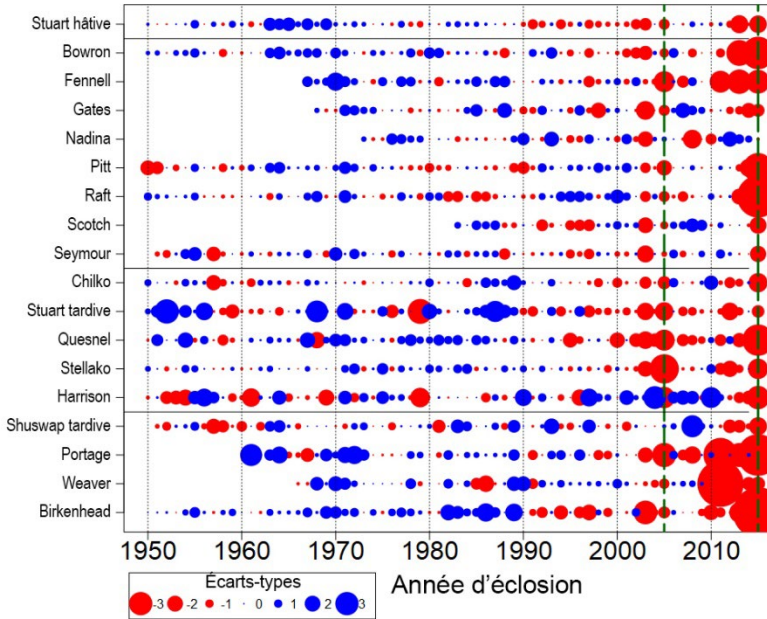


Figure 21-3. Productivité du saumon rouge du Fraser âgé de quatre ans (résidus du modèle de Ricker pour toutes les populations sauf celles des rivières Scotch, Seymour et Shuswap à montaison tardive, qui sont des résidus du modèle de Larkin jusqu'à l'année d'éclosion 2015 (année de montaison 2019) dans 18 populations clés. Des facteurs en eau douce et en eau de mer contribuent aux productivités observées. Les points rouges indiquent une productivité inférieure à la moyenne et les points bleus une productivité supérieure à la moyenne. La taille des points représente l'écart par rapport à la productivité moyenne pour chaque stock. Les années d'éclosion 2005 et 2015 (années de montaison 2009 et 2019) ont

21.4. Facteurs influençant les tendances du saumon du Pacifique

Lors de la première réunion du MPO sur l'état du saumon en 2018, les scientifiques ont conclu que le saumon du Pacifique et ses écosystèmes au Canada réagissent aux changements climatiques (Grant *et al.* 2019c). Ces changements dans les écosystèmes marins et dulcicoles ont des impacts sur le saumon du Pacifique à chaque étape de son cycle biologique.

Le réchauffement du nord-est de l'océan Pacifique et les vagues de chaleur marines comme le « Blob » ont des répercussions sur les réseaux trophiques océaniques. Sous l'effet de ces facteurs, les espèces de zooplancton du sud pauvres en lipides, généralement centrées à 1 000 km au sud de la côte sud de la Colombie-Britannique, dominent les niveaux inférieurs du réseau trophique du saumon (voir le tableau 16-2 dans Galbraith et Young 2019). On a observé des changements de la composition des espèces dans les eaux des côtes ouest et nord de l'île de Vancouver, et plus largement dans le nord-est de l'océan Pacifique (Boldt *et al.* 2019). Ces espèces du sud sont considérées comme une nourriture de moindre qualité pour le saumon. Pendant les années plus froides, les copépodes boréaux, plus grands, riches en lipides et de meilleure qualité, dominent généralement la composition du zooplancton, de la côte de l'Oregon à la mer de Béring, les copépodes subarctiques habitant les zones plus profondes du Pacifique subarctique et de la mer de Béring, de l'Amérique du Nord à l'Asie (Galbraith et Young 2019).

Les températures de l'air et de l'eau augmentent en Colombie-Britannique et au Yukon et les régimes de précipitations changent, ce qui modifie les habitats d'eau douce (Grant *et al.* 2019c).

Les effets des changements climatiques sur l'eau douce sont aggravés par la modification, naturelle et humaine, du paysage, qui peut créer des différences dans l'hydrologie et accroître les charges sédimentaires et la fréquence des glissements de terrain.

21.5. Conséquences de ces tendances

Les tendances récentes de l'abondance du saumon dressent un tableau de plus en plus grand, mais encore incomplet, de la vulnérabilité du saumon aux changements climatiques. Cette vulnérabilité est déterminée par différents facteurs, notamment les emplacements des frayères et de l'alevinage des saumons, le réchauffement des températures de l'eau, les modifications de l'écosystème, l'altération de l'habitat en eau douce, les caractéristiques des saumons, etc. Tous ces facteurs agissant seuls ou cumulativement augmentent l'incertitude qui entoure actuellement les réactions des populations de saumon aux changements climatiques.

De meilleures informations sur la vulnérabilité du saumon aux changements climatiques et aux habitats nous permettront d'harmoniser nos mesures de gestion des pêches, de rétablissement du saumon et de restauration des habitats avec la production future de saumon et la biodiversité (Nelitz *et al.* 2007; Hunter and Wade 2015; Hunter *et al.* 2015, Grant *et al.* 2019c; Crozier *et al.* 2019). Pour y parvenir, nous devons intégrer et développer de nouvelles recherches entre les disciplines et organisations. La formation du Pacific Salmon-Ecosystem Climate Consortium, récemment mis en place par le Programme sur l'état du saumon du MPO dans le but de mener des évaluations des vulnérabilités du saumon du Pacifique aux changements climatiques au Canada, est un mécanisme visant à améliorer l'intégration de la science des écosystèmes du saumon dans les organisations (Grant *et al.* 2019c).

21.6. References

- Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. 2019. State of the Physical, Biological and Selected Fisheries Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248. <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-eng.html>.
- Cohen, B.I. 2012a. The uncertain future of Fraser River sockeye. Volume 1. The sockeye fishery. Commission of Inquiry into the Decline of Sockeye Salmon in the Fraser River, Ottawa, ON. 459 pp. http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/bcp-pco/CP32-93-2012-1-eng.pdf.
- Cohen, B.I. 2012b. The uncertain future of Fraser River sockeye. Volume 2. Causes of the decline. Commission of Inquiry into the Decline of Sockeye Salmon in the Fraser River, Ottawa, ON. 204 pp. http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/bcp-pco/CP32-93-2012-2-eng.pdf.
- Crozier, L.G., McClure, M.M., Beechie, T., Bograd, S.J., Boughton, D.A., Carr, M., Cooney, T.D., Dunham, J.B., Greene, C.M., Haltuch, M.A., Hazen, E.L., Holzer, D.M., Huff, D.D., Johnson, R.C., Jordan, C.E., Kaplan, I.C., Lindley, S.T., Mantua, N.J., Moyle, P.B., Myers, J.M., Nelson, M.W., Spence, B.C., Weitkamp, L.A., Williams, T.H., and Willis-Norton, E. 2019. Climate vulnerability assessment for Pacific Salmon and

steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem. PLoS One 14(7): e0217711. doi:10.1371/journal.pone.0217711.

- Galbraith, M., and Young, K. 2019. West Coast British Columbia zooplankton biomass anomalies 2018. In State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2018. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p. <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-eng.html>.
- Government of B.C., DFO, and FRAFS. 2019, September 8. Salmon swimming past Big Bar. Information Bulletin prepared by the Government of B.C., Fisheries and Oceans Canada, and the Fraser River Aboriginal Fisheries Secretariat. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety-and-emergency-services/emergency-preparedness-response-recovery/embc/big-bar-landslide-2019/19_71w20ay_information_bulletin_-_fish_passage.pdf.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Benner, K., Michielsens, C.G.J., and Latham, S. 2019a. Fraser River sockeye 2018 update: abundance and productivity trends. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p. <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-eng.html>.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Patterson, D.A., Robinson, K.A., Boldt, J.L., Benner, K., King, J.A., Pon, L., Neville, C.M., Tadey, J.A., Hawshaw, M., and Selbie, D.T. 2019b. Improving predictions of salmon survival during a period of rapid change. North Pacific Anadromous Fish Comm. Tech. Rep. 15. Second NPAFC-IYS Work. Salmon Ocean Ecol. a Chang. Clim.: 139–144. <https://npafc.org/wp-content/uploads/technical-reports/Tech-Report-15-DOI/Technical-Report-15.pdf>.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., and Winston, M.L. 2019c. State of the Canadian Pacific Salmon: Responses to Changing Climate and Habitats. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3332: ix + 50 pp. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especies/publications/salmon-saumon/state-etat-2019/abstract-resume/index-eng.html>.
- Hunter, K.L., and Wade, J. 2015. Pacific large aquatic basin climate change impacts, vulnerabilities and opportunities assessment - marine species and aquaculture. Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3049: viii + 242 pp. https://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2013/2013_016-eng.html.
- Hunter, K.L., Wade, J., Stortini, C.H., Hyatt, K.D., Christian, J.R., Pepin, P., Pearsall, I.A., Nelson, M.W., Perry, R.I., and Shackell, N.L. 2015. Climate change vulnerability assessment methodology workshop proceedings. Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3086: v + 20 pp. <https://cat.fsl-bsf.scitech.gc.ca/record=4055591~S6>.
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., Stockwell, M.M., and Ogden, A.D. 2019. Coast-wide sockeye salmon performance indicators, regional overview of trends, 2018 returns, and 2019-2020 outlook. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the

physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p. <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/index-eng.html>.

Nelitz, M., Wieckowski, K., Pickard, D., Pawley, K., and Marmorek, D.R. 2007. Helping Pacific Salmon survive the impact of climate change on freshwater habitats. Pursuing proactive and reactive adaptation strategies. Prepared for Pacific Fisheries Resource Conservation Council. Vancouver, BC. pp. 122.
http://skeenasalmonprogram.ca/libraryfiles/lib_193.pdf.

22. INDICATEURS DE RENDEMENT DU SAUMON ROUGE SUR TOUTE LA CÔTE, APERÇU RÉGIONAL DES TENDANCES, REMONTES EN 2019 ET PERSPECTIVES POUR 2020-2021

Kim Hyatt*, Howard Stiff et Margot Stockwell, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, *Kim.Hyatt@dfo-mpo.gc.ca

22.1. Faits saillants

- En 2019, les remontes des « stocks indicateurs » de saumon rouge transfrontalier, de la côte Nord, de la côte centrale, de la côte ouest de l'île de Vancouver, du Fraser et de l'Okanagan de la Colombie-Britannique étaient inférieures à la médiane des prévisions de la gestion et aux estimations de la montaison moyenne sur toute l'année.
- L'abondante remonte de saumon rouge à Bristol Bay, en Alaska, et la faible remonte dans le sud-est de l'Alaska et en Colombie-Britannique corroborent la persistance sur plusieurs années d'un profil de production inverse du sud au nord pour les stocks de saumon rouge le long de la bordure orientale de l'océan Pacifique (Hyatt *et al.* 2019).
- Les stocks indicateurs de saumon rouge du sud des Aléoutiennes, qui sont arrivés dans la mer et ont migré en 2017 et parviendront à maturité dans le golfe d'Alaska en 2018, ont connu des remontes inférieures à la moyenne en 2019. En revanche, le saumon rouge de Bristol Bay, qui arrive dans la mer au nord des Aléoutiennes et parvient à maturité dans la mer de Béring, a connu des conditions favorables à sa survie et a enregistré une remonte presque record en 2019.

22.2. Séries chronologiques – Remontes annuelles des « stocks indicateurs » de saumon rouge sur l'ensemble de la côte

Hyatt et ses collaborateurs (2019) ont brièvement décrit les sources de données sur les populations de saumon comprenant un réseau de facto international d'indicateurs de rendement du saumon rouge sur toute la côte (figure 22-1) à partir duquel on peut dégager des tendances des profils géographiques de l'abondance et des caractéristiques biologiques. Les données sur les remontes de saumon rouge comprennent les estimations de la gestion des pêches concernant les prises annuelles totales et les « échappées » totales vers les frayères, d'après des méthodes standard propres à chaque site (p. ex. les barrières de dénombrement, les compteurs électroniques, le marquage-recapture, etc.). Les remontes historiques et les prévisions d'avant-saison sont généralement disponibles sous forme d'observations, publiées ou non par les biologistes et les gestionnaires des ressources du MPO et de l'Alaska Department of Fish and Game.

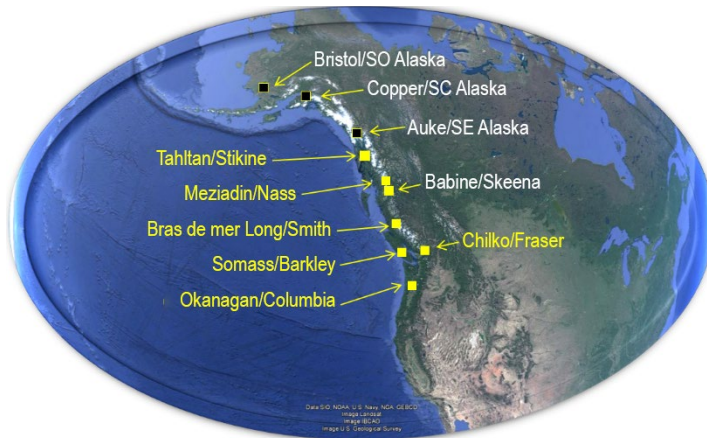


Figure 22-1. Stocks indicateurs du rendement du saumon rouge pour l'ensemble de la côte. Points d'entrée en mer approximatifs pour un réseau de stocks de saumon rouge relativement riches en données, surveillés par le MPO (en jaune) et l'ADFG (en noir) chaque année pour relever les caractéristiques biologiques (âge à la montaison, taille à la montaison, période de la montaison, etc.) et les montaisons totales (prises plus échappées) par rapport aux remontes prévues.

Les tendances de la production des populations ou des regroupements de stocks de saumon rouge « riches en données (les « stocks indicateurs ») sont supposées représenter d'autres populations partageant les mêmes zones marines qui caractérisent les premières semaines critiques du début de la vie en mer (Hyatt *et al.* 2016). Les zones représentatives et les stocks correspondants sont définis de façon approximative par des points d'entrée en mer s'étendant sur 2 400 km de la côte Ouest, de l'ouest de l'Alaska au nord à la frontière de l'Oregon au sud (figure 22-2).

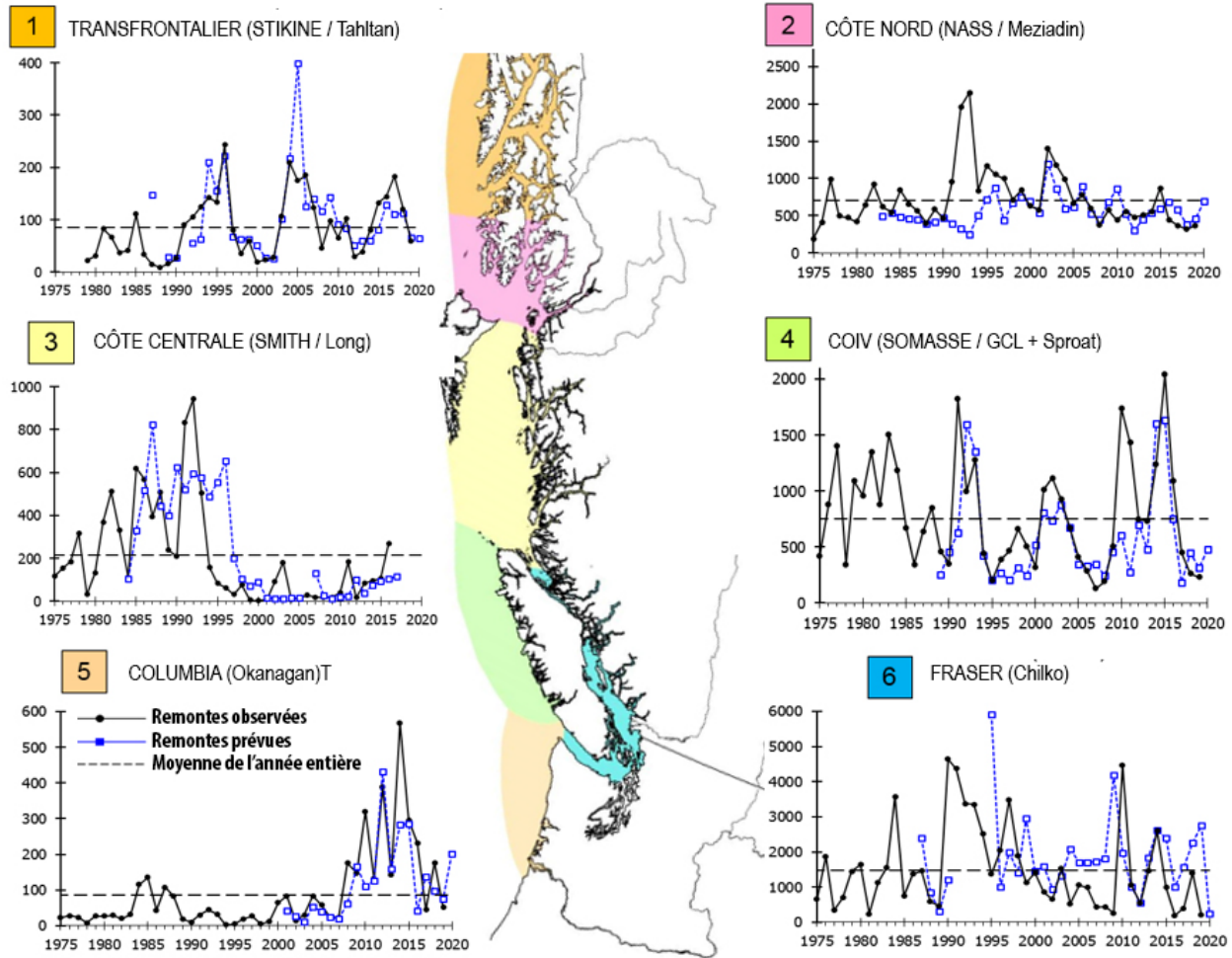


Figure 22-2. Tendances des remontes annuelles totales (milliers de poissons; ligne noire) et prévisions de gestion (ligne bleue) pour les stocks indicateurs de saumon rouge de la Colombie-Britannique, par ZONE : (1) Tahltan (STOCK TRANSFRONTALIER); (2) Meziadin (CÔTE NORD); (3) Long (CÔTE CENTRALE); (4) Somass (COIV); (5) Okanagan (COLUMBIA) et (6) Chilko (FRASER).

22.3. État et tendances des stocks indicateurs de saumon rouge sur l'ensemble de la côte

En 2019, les stocks indicateurs de la Colombie-Britannique ont généralement affiché des remontes inférieures à leur moyenne sur 40 ans (figure 22-2). Les objectifs d'échappée n'ont pas été atteints pour la plupart des stocks, et les pêches du saumon rouge ont été fermées ou fortement limitées dans les eaux canadiennes¹. En revanche, le saumon rouge de Bristol Bay (Alaska) a connu des remontes records en 2018 et 2019 (62 millions et 56 millions de poissons respectivement; ADFG 2019). Ces remontes exceptionnelles dans Bristol Bay et les faibles

¹ On estime que 45 000 saumons rouges de la rivière Nass ont été interceptés par les pêches commerciales américaines en Alaska en 2019, contre environ 21 000 poissons (principalement) par la flottille de filets maillants de la zone C (NFWF 2019).

remontes enregistrées dans le sud-est de l'Alaska et en Colombie-Britannique forment un profil de production inverse sud-nord persistant pour les stocks de saumon rouge le long de la bordure orientale de l'océan Pacifique (Hyatt *et al.* 2018, 2019). Les conditions environnementales dans les écosystèmes d'eau douce et marins au cours des trois ou quatre dernières années n'ont pas favorisé une amélioration de la survie à plusieurs stades biologiques des salmonidés (Hyatt *et al.* 2018, section 51; MacDonald *et al.* 2018). Par conséquent, le déclin des montaisons dans les réseaux hydrographiques de la Colombie-Britannique en 2019 par rapport aux montaisons plus importantes entre 2014 et 2016 était généralement anticipé dans les prévisions courantes (c'est-à-dire que les erreurs de prévision étaient de 32 % pour l'Okanagan, 25 % pour la rivière Somass, 20 % pour la rivière Nass et 13 % pour la rivière Tahltan, mais de 92 % pour la rivière Chilko dont les montaisons ont atteint un creux record, figure 22-2).

22.4. Facteurs influençant les tendances des effectifs et les caractéristiques biologiques du saumon rouge

Les conditions environnementales ont été plus chaudes que la moyenne en Colombie-Britannique, au Yukon et dans le nord-est de l'océan Pacifique, touchant différents stades biologiques des classes de recrutement du saumon du Pacifique (2014 à 2016) pour la plupart des stocks qui sont remontés en 2019, ce qui a entraîné un déclin de l'abondance sur toute la côte, une diminution de la taille des poissons, une réduction de la fécondité et une variabilité généralement plus importante de la production totale (MPO 2020).

Des températures de l'air plus chaudes que la moyenne ont caractérisé la plus grande partie de 2015 et 2016², se combinant à une vague de chaleur marine dans le nord-est du Pacifique de la fin de 2013 à l'automne 2016, et au plus fort El Niño des 70 dernières années entre la fin de 2015 et le début de 2016. Les anomalies de température de l'eau douce pendant l'incubation des œufs étaient de 1 à 2 °C supérieures à la normale, ce qui a pu avoir des répercussions sur le moment de l'éclosion et la croissance³. La fonte précoce de la neige et les débits forts ont probablement favorisé les épisodes d'affouillement dans les habitats d'alevinage, réduisant la survie de l'œuf à l'alevin.

Alors que les conditions physiques de l'océan sont revenues à la normale en 2017, les conditions biologiques rencontrées par les saumoneaux rouges lors de leur entrée en mer en 2016 et 2017 « ont continué à refléter un océan plus chaud » (MPO 2020, p. 54), caractérisé par des proies zooplanctoniques moins nutritives et peu lipidiques, des prédateurs « étrangers » aux saumons juvéniles et des populations d'invertébrés compétitives (p. ex. scyphozoaires, salpes; Galbraith et Young 2019), qui influencent la croissance et la survie des sous-adultes.

² [Seasonal Anomaly Maps](#) du Pacific Climate Impacts Consortium (téléchargées en mars 2020)

³ Les températures hivernales et printanières élevées ont probablement contribué aux forts taux de mortalité hivernale dans les lacs (> 80 %) pour les pré-saumoneaux rouges de la rivière Somass à partir de l'année d'éclosion 2014 (Hyatt *et al.*, section 51).

L'indice ENSO⁴, qui définit les alternances pluriannuelles des températures de la surface de la mer (SST) comme « chaudes » et « froides », est généralement un prédicteur raisonnable de la survie en mer des stocks de saumon rouge qui entrent directement dans le système de courant de la Californie du nord⁵ (Hyatt *et al.* 2016, 2018) et peut-être dans la mer des Salish (MacDonald *et al.* 2018). L'alignement des événements El Niño et La Niña de l'indice ENSO avec les remontes annuelles des stocks indicateurs de saumon rouge de la Colombie-Britannique a montré que :

- Les conditions océaniques froides associées à des événements La Niña modérés à forts (p. ex. en 1989, 1999, 2008, 2011) correspondaient généralement à des remontes supérieures à la moyenne pour la plupart des stocks de saumon rouge originaires de la Colombie-Britannique deux à trois ans plus tard, certains stocks atteignant presque des records en 2010 et 2015.
- Les conditions océaniques chaudes liées à des événements El Niño modérés à forts (p. ex. en 1983, 1998, 2003, 2010) ont été associées à des remontes inférieures à la moyenne pour de nombreux stocks, et plus particulièrement pour ceux qui entrent directement dans le système de courant de la Californie. Le fort épisode El Niño de 2015-2016 a été suivi d'une baisse de la majorité des stocks de saumon rouge, qui ont enregistré des montaisons inférieures à la moyenne entre 2017 et 2019.

22.5. Conséquences et perspectives pour les remontes de 2020 à 2022

Tout le cycle biologique des populations de saumon rouge de Colombie-Britannique qui remontent en 2020 a été marqué par des conditions généralement neutres des écosystèmes d'eau douce et marins, ce qui ne permet guère d'obtenir des prévisions supplémentaires à partir des observations environnementales. Le début d'un faible événement La Niña en 2016 – associé à un retour des températures de la mer sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique (mais pas de la mer des Salish) proches de la moyenne climatologique en 2018 (Chandler 2019) – dénote un certain potentiel d'amélioration de la survie des saumons rouges juvéniles à l'entrée dans la mer en 2018. Toutefois, une amélioration modérée sera probablement contrebalancée par plusieurs événements négatifs, notamment :

- Un mois de novembre 2016 extrêmement chaud et humide (2 à 5 °C au-dessus de la normale) dans beaucoup de régions de la province, avec de nombreuses tempêtes provoquant des affouillements et des inondations sur l'île de Vancouver et sur les côtes sud et centrale pendant la période d'incubation des œufs de saumon.
- Des manteaux neigeux inférieurs à la moyenne en 2017⁶ dans les régions de la côte centrale, de la côte nord, de la Stikine et de l'île de Vancouver en 2018, suivis de

⁴ ENSO : indice Nino océanique de l'oscillation méridionale El Niño (ONI 3.4) (Barnston et Tippet 2013).

⁵ Cependant, voir des résultats contrastés pour le saumon rouge de la rivière Somass (baie Barkley, COIV) dans Hyatt *et al.* (section 51).

⁶ Centre de prévision des rivières (River Forecast Centre) du ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique – Carte de

températures supérieures à la moyenne en mai, d'une crue précoce et d'une sécheresse de la fin de l'été à l'automne, susceptibles d'influencer les remontes en 2020 et 2021.

- Une sécheresse printanière sur toute la côte en 2019, associée à une intense vague de chaleur marine qui s'est développée et a persisté de juin 2019 à janvier 2020 ([NEP19](#); NOAA 2016) avec un potentiel d'impacts négatifs dans les systèmes d'eau douce et marins (voir p. ex. Hyatt *et al.*, section 51) sur les saumons juvéniles et sous-adultes soutenant les remontes d'adultes en 2020-2022.
- Dans le réseau hydrographique du Fraser, l'impact du glissement rocheux de Big Bar devrait avoir des répercussions négatives importantes sur la survie et la production de toutes les espèces de saumon en amont, à partir de l'année d'éclosion 2019 et au-delà.

22.6. References

ADFG. 2019. Alaska Department of Fish and Game. Fish Count Data Portal. <http://www.adfg.alaska.gov/sf/FishCounts/>.

Barnston, A.G., and Tippett, M.K. 2013. [Predictions of Nino3.4 SST in CFSv1 and CFSv2: a diagnostic comparison](#). Climate Dynamics 41: 1615-1633. DOI: 10.1007/s00382-013-1845-2.

Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.

Chandler, P.C. 2019. Sea surface temperature and salinity observed at lighthouses and weather buoys in British Columbia, 2018. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.

DFO. 2020. Fisheries and Oceans Canada (Pacific). Integrated Fisheries Management Plan – June 2019 - May 2020. Southern B.C. Salmon. Pacific Region Final. 561 pp. <https://waves-vaques.dfo-mpo.gc.ca/Library/40799104.pdf>

Galbraith, M., and Young, K. 2019. West Coast British Columbia Zooplankton Anomalies 2018. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.

Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., and Stiff, H.W. 2016. Salmon responses to hydro-climatological conditions in British Columbia in 2015. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2016. State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2015. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3179: viii + 230 p.

Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., Ogden, A., and Stiff, H.W. 2018. Sockeye Salmon indicator stocks – Regional overview of trends, 2017 returns, and 2018-2019 outlook. In: Chandler,

l'indice des neiges et des eaux du bassin
(<http://bcrcfc.env.gov.bc.ca/bulletins/watersupply/SnowIndexMap.htm>).

- P.C., King, S.A., and Boldt, J.L. (Eds.). 2018. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2017. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3266: vi + 245 p.
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., Stockwell, M.M., and Ogden, A. 2019. Sockeye Salmon indicator stocks – Regional overview of trends, 2018 returns, and 2019 outlook. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.
- MacDonald, B.L., Grant, S.C.H., Patterson, D.A., Robinson, K.A., Boldt, J.L., Benner, K., Neville, C.M., Pon, L., Tadey, J.A., Selbie, D.T., and Winston, M.L. 2018. State of the Salmon: Informing the survival of Fraser Sockeye returning in 2018 through life cycle observations. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3271: 52 p + Appendix.
- NFWD. 2019. Nisga'a Fisheries and Wildlife Department - Post-season Update 2019 – 28 November 2019. 14 pp. Downloaded: 2020.03.03 from <http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/northcoast-cotenord/nass-eng.html>.
- NOAA. 2016. National Oceanic Atmospheric Administration – Fisheries. 2015 adult Sockeye Salmon passage report. Report prepared by NOAA Fisheries in Collaboration with the U.S. Army Corps of Engineers and Idaho Department of Fish and Game. 62 p. http://www.westcoast.fisheries.noaa.gov/publications/hydropower/fcrps/2015_adult_sockeye_salmon_passage_report.pdf

23. RELEVÉS MULTISPÉCIFIQUES AU CHALUT DE FOND À PETITES MAILLES SUR LA COIV (ESPÈCE CIBLÉE : CREVETTE OCÉANIQUE) : MISE À JOUR JUSQU'EN 2019

R. Ian Perry^{1,2}, Ken Fong¹, Shaun MacNeil¹ et Brenda Waddell¹

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Ian.Perry@dfo-mpo.gc.ca, Ken.Fong@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique

23.1. Faits saillants

- En 2019, la biomasse de la crevette océanique dans les zones 124-125 au large de la côte ouest de l'île de Vancouver est demeurée parmi les plus faibles de la série chronologique, avec des anomalies bien en dessous de la moyenne climatologique.
- Il existe une relation statistiquement significative entre la température de la surface de la mer (STT) à Amphitrite Point l'année $i - 1$, la biomasse de la crevette océanique l'année $i - 1$ et la biomasse observée de la crevette océanique l'année i .
- En utilisant cette relation, les projections de la température de la surface de la mer à Amphitrite Point en 2019 et de la biomasse de la crevette océanique observée en 2019 ont maintenu une biomasse très faible de la crevette océanique pour 2020.
- Parmi les taxons de poissons bien échantillonnés, la morue-lingue et l'eulakane ont continué à présenter des anomalies de biomasse négatives en 2019; les anomalies de biomasse pour tous les autres taxons de poissons bien échantillonnés sont restées

positives, avec des pics de la biomasse en 2019 pour plusieurs espèces de poissons plats : plie de Californie, plie royale, limande sole, balai du Japon, plie mince.

- D'après la composition de la biomasse des taxons « bien échantillonnés », les années 2017, 2018 et 2019 étaient similaires, mais différentes de la composition de la biomasse de 2009 à 2015.

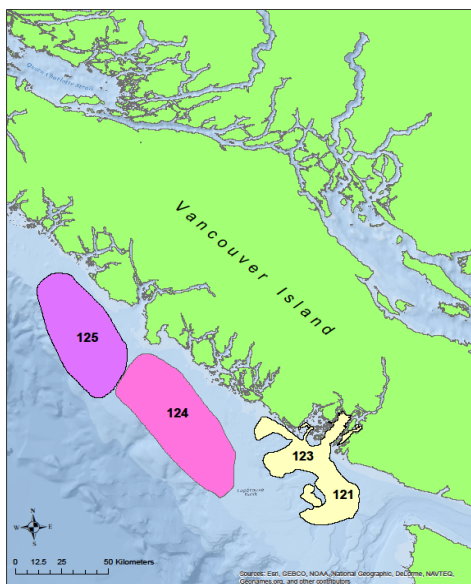


Figure 23-1. Carte illustrant les trois principaux lieux de pêche de la crevette océanique (*Pandalus jordani*) et les zones de relevé au large de l'île de Vancouver. Les lieux de Nootka (zone 125) et de Tofino (zone 124) sont surveillés depuis 1973. La zone au large de la baie Barkley (zones 121 et 123) est surveillée depuis 1996.

23.2. Description de la série chronologique

Des relevés au chalut de fond indépendants de la pêche menés à l'aide d'un filet à petites mailles (ciblant la crevette océanique *Pandalus jordani*) ont été effectués en mai depuis 1973 dans deux régions, et depuis 1996 dans trois régions, au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 23-1). Les masques des relevés pour ces régions, qui ont été utilisés pour estimer la biomasse totale de chaque espèce, se situent généralement entre les isobathes de 100 m et 200 m pour les zones 124 et 125. Un navire

différent a été utilisé pour le relevé en 2017, 2018 et 2019 par rapport aux années précédentes.

Ce relevé multispécifique au chalut de fond à petites mailles a été conçu pour cibler la crevette océanique sur les lieux de pêche de la crevette dans une zone relativement petite au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 23-1). La variabilité interannuelle des estimations de la biomasse d'autres taxons capturés en même temps que la crevette océanique dépend de différents facteurs : si ces autres taxons sont très mobiles à l'intérieur et hors de la zone de relevé ou si leur répartition très inégale. Une analyse d'autocorrélation a permis de cerner 13 taxons « bien échantillonnés » (c'est-à-dire qui présentent des autocorrélations positives d'un décalage d'au moins un an; tableau 23-1) parmi les 34 taxons régulièrement échantillonnés et identifiés au niveau de l'espèce dans ce relevé. Les données sont calculées en tant que biomasse totale sur la zone de relevé et sont présentées sous forme d'anomalies normalisées (par l'écart-type) en \log_{10} de la biomasse des espèces depuis la période climatologique 1981-2010.

Tableau 23-1. Liste des espèces « principales » échantillonnées et identifiées régulièrement durant ces relevés à petites mailles depuis 1973 et pour lesquelles des estimations annuelles de la biomasse sont calculées. Les taxons en *bleu* sont ceux qui présentent des autocorrélations significatives ($p < 0,05$) et qui sont donc considérés comme étant « bien échantillonnés » par ce relevé.

Espèces pélagiques	Espèces démersales	Espèces benthiques
Merlu du Pacifique	Sébaste argenté	Morue du Pacifique
Alose savoureuse	Sébaste tacheté	Morue charbonnière
Hareng du Pacifique	Sébaste vert	Morue-lingue
<i>Eulakane</i>	Sébaste à queue jaune	Chimère
Chien de mer	Bocaccio	Crevette océanique
<i>Goberge de l'Alaska</i>	Sébaste canari	Limande-sole
	Sébaste à raie rouge	Limande sordide
	Sébaste à longue mâchoire	Plie de Californie
	<i>Plie à grande bouche</i>	Plie royale
	Carlottin anglais	Balai du Japon
	Flétan du Pacifique	Plie mince
	Sébaste aux yeux jaunes	Crevette tachetée
		Souris de mer
		Spatangue
		Oursins
		<i>Holothurie</i>

23.3. État et tendances

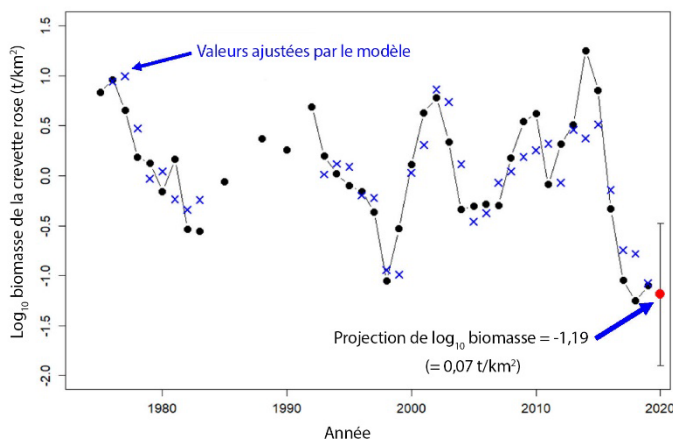


Figure 23-2. Biomasse annuelle de la crevette océanique dans les zones 124+125 au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, telle que déterminée par ces relevés (points noirs et ligne). Les croix bleues sont des ajustements du modèle. Le point rouge et l'intervalle de confiance à 95 % (ligne verticale) à 2020 représentent la biomasse prévue par la nouvelle régression multiple.

de la mer à Amphitrite Point l'année précédente. Ce nouveau modèle présente de très bonnes correspondances statistiques avec les données ($R^2_{\text{ajusté}} = 0,72$, $P < 0,001$), de même qu'une très bonne capacité de prédiction (dérivée d'une validation croisée cinq fois à cinq répétitions, $R^2 = 0,75$) (figure 23-2).

Le relevé de mai 2019 montre que la biomasse de la crevette océanique *Pandalus jordani* au large du centre de l'île de Vancouver a continué à diminuer par rapport au niveau record observé en 2014, et constitue désormais une anomalie négative importante (bien que légèrement plus élevée qu'en 2018; figure 23-3). Seuls trois autres taxons présentaient des anomalies de biomasse négatives ou proches de zéro ces dernières années : la morue-lingue, l'eulakane et l'holothurie (non représentée). Les anomalies de la biomasse de la plupart des espèces de poissons plats considérées comme bien échantillonnées étaient égales aux anomalies maximales de la biomasse ou proches de celles-ci (figures 23-4, 23-5), à l'exception de la plie à grande bouche, qui a diminué et s'est rapprochée de sa biomasse moyenne de 1981 à 2010 (figure 23-4). Les anomalies cumulatives et l'anomalie moyenne annuelle montrent que les anomalies pour la plupart des espèces étaient négatives de 1973 à 1999 et sont pour la plupart positives depuis 2000, avec une légère période négative de 2006 à 2008. L'année 2019 a connu la 5^e anomalie moyenne annuelle la plus élevée depuis 1973. Des anomalies de biomasse négatives sont apparues en 2019 pour la crevette océanique, l'eulakane et l'holothurie.

Un modèle statistique a été construit avec le \log_{10} de la biomasse de la crevette océanique comme variable de réponse et la température moyenne annuelle de la surface de la mer (STT) à Amphitrite Point sur la côte ouest de l'île de Vancouver deux ans auparavant comme variable explicative (p. ex. Perry *et al.* 2019). Ce modèle a été mis à jour pour tenir compte de l'autocorrélation significative au décalage 1 de la biomasse actuelle de crevette océanique sur la biomasse de l'année précédente, et inclut également la température annuelle moyenne de la surface

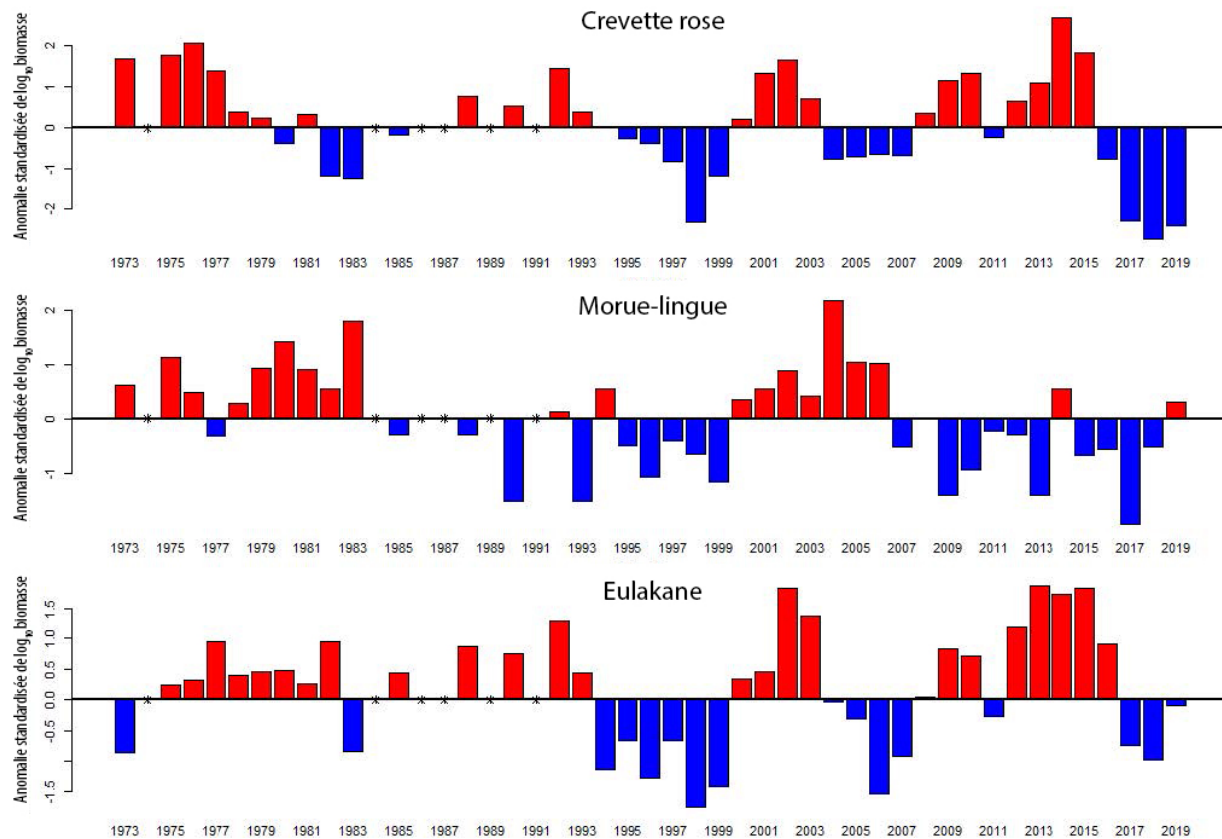


Figure 23-3. Anomalies standardisées (par l'écart-type) du \log_{10} de la biomasse des espèces pour la crevette océanique, la morue-lingue et l'eulakane. La période de climatologie est 1981-2010.

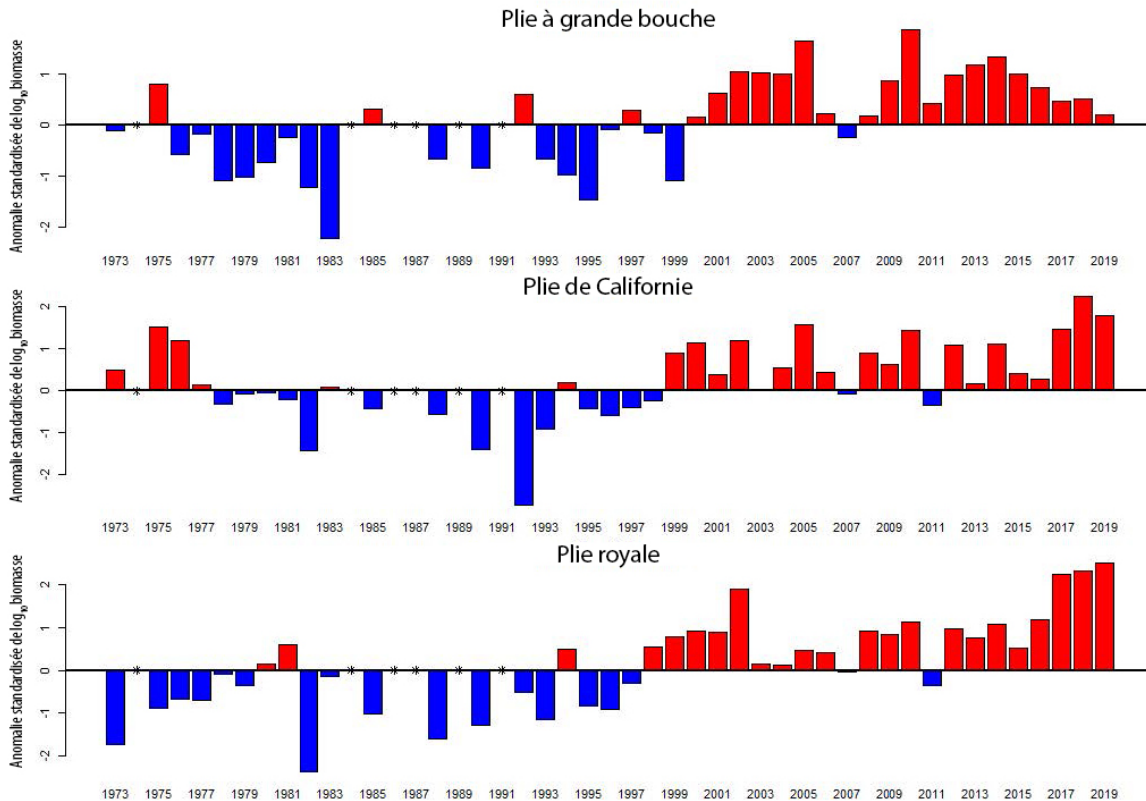


Figure 23-4. Anomalies standardisées (par l'écart-type) du \log_{10} de la biomasse des espèces pour la plie à grande bouche, la plie de Californie et la plie royale. La période de climatologie est 1981-2010.

23.4. Facteurs influençant ces tendances

Les causes potentielles des tendances observées sont en cours d'investigation. Les facteurs climatiques et environnementaux devraient être les principaux facteurs des tendances sur cette période. La relation de régression entre la biomasse de la crevette océanique de l'année en cours et sa biomasse et la température de la surface de la mer l'année précédente est cohérente avec sa durée de vie de deux à trois ans, son recrutement pour cette année de relevé principalement à l'âge 2, et l'influence de la température de la surface de la mer alors que les juvéniles étaient en croissance l'année précédente. La température peut avoir un effet direct sur la survie des larves de crevettes (qui préfèrent les températures plus fraîches) et la température peut servir de substitut à d'autres processus (p. ex. l'augmentation de l'abondance des prédateurs des larves de crevettes lorsque les conditions sont plus chaudes).

23.5. Conséquences de ces tendances

De nombreuses espèces considérées comme « bien échantillonnées » par ce relevé présentent un intérêt commercial. Considérées collectivement, les anomalies de la biomasse de nombre de ces taxons sont largement positives depuis 2000, par rapport à la période de référence de 1981 à 2010. Ainsi, la biomasse des poissons de fond au large de la côte ouest de Vancouver

pourrait également avoir augmenté par rapport aux années 1980 et 1990, du moins pour ces espèces dans ces petites zones de relevé, qui offrent des types de fond sableux qui sont l'habitat préféré de la crevette océanique. On étudie actuellement cette question.

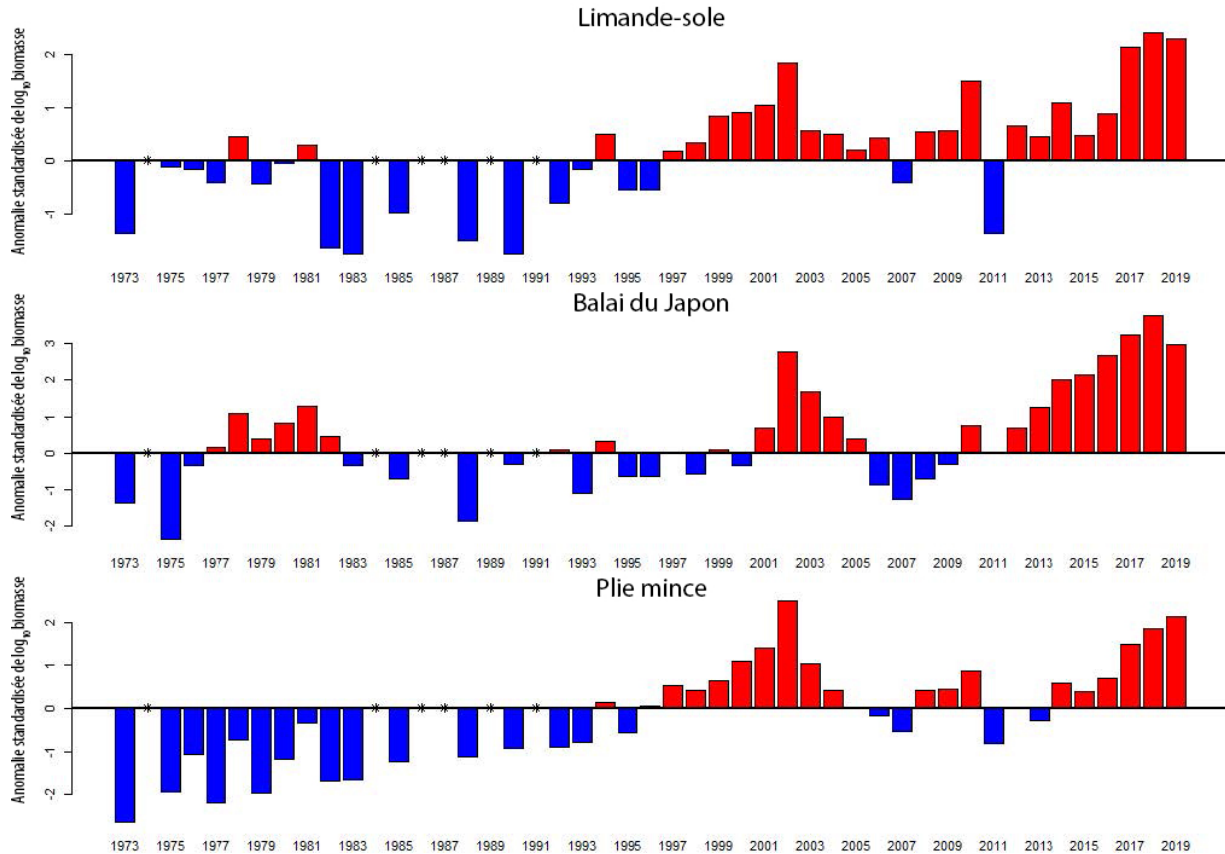


Figure 23-5. Anomalies standardisées (par l'écart-type) du log₁₀ de la biomasse des espèces pour la limande-sole, le balai du Japon et la plie mince. La période de climatologie est 1981-2010.

23.6. References

Perry, R.I., Fong, K., and Waddell, B. 2019. WCVI small-mesh multi-species bottom trawl surveys (target species: Smooth Pink Shrimp): 2018 update, p. 85-89. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.

24. EXAMEN DES RELEVÉS SUR LE POISSON DE FOND EN 2019

Philina A. English, Sean C. Anderson et Greg D. Workman, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Philina.English@dfo-mpo.gc.ca, Sean.Anderson@dfo-mpo.gc.ca, Greg.Workman@dfo-mpo.gc.ca

24.1. Faits saillants

- Les cinq espèces les plus importantes en poids dans le relevé au chalut de cette année dans le détroit d'Hécate sont la chimère d'Amérique, la plie à grande bouche, la plie royale, la limande-sole et le carlottin anglais. Dans le bassin de la Reine-Charlotte, les espèces dominantes étaient la morue charbonnière, le sébaste à longue mâchoire, la plie à grande bouche, le sébaste argenté et le merlu du Pacifique.
- Des tendances notables se sont dégagées des deux relevés au cours des deux dernières années, notamment les augmentations des indices de la biomasse pour plusieurs espèces de sébaste, y compris le bocaccio et le sébaste à bandes rouges; un renversement apparent de la tendance à la baisse à long terme de l'aiguillat commun du Pacifique Nord; un nivellement des tendances pour la morue charbonnière, la morue du Pacifique et le sébastolobe à courtes épines; et des diminutions à l'échelle décennale des indices de la plie à grande bouche et de la chimère d'Amérique.
- Les indices de la biomasse des poissons immatures ont augmenté plus fortement que ceux des poissons matures pour la morue charbonnière, la plie de Californie, la morue-lingue, la plie mince et le sébaste aux yeux jaunes.

24.2. Séries chronologiques sur le poisson de fond indépendantes de la pêche

La section du poisson de fond de Pêches et Océans Canada (MPO) effectue une série de relevés aléatoires au moyen de chaluts de fond, de palangres et de casiers qui, dans l'ensemble, couvrent toutes les eaux hauturières de la côte Pacifique du Canada. Les relevés dans le bassin de la Reine-Charlotte (BRC) et le détroit d'Hécate (DH) sont effectués les années impaires (figure 24-1) et les relevés sur la côte ouest de l'île de Vancouver et la côte ouest de Haida Gwaii les années paires. En plus des relevés au chalut de fond, deux relevés à la palangre sur fond dur sont effectués, l'un dans les eaux « intérieures » (à l'est de l'île de Vancouver) et l'autre dans les eaux « extérieures » (tout le reste). Chaque année, les relevés alternent entre les zones nord et sud (le relevé dans les zones nord a eu lieu en 2019). Enfin, un relevé au casier et à la palangre ciblant la morue charbonnière (relevé de recherche et d'évaluation de la morue charbonnière) est réalisé chaque année sur l'ensemble de la côte. En plus des relevés à stratification aléatoire de la profondeur, la section du poisson de fond recueille des informations supplémentaires à partir d'un relevé multispécifique au chalut de fond à petites mailles (relevé à stations fixes des lieux de pêche de la crevette importante pour la pêche commerciale au large de la côte ouest de l'île de Vancouver et dans l'est du bassin de la Reine-Charlotte) et du relevé à lignes fixes de la Commission internationale du flétan du Pacifique (CIFP).

Les relevés randomisés suivent des plans à stratification de la profondeur et ont en commun le dénombrement complet des prises (toutes les prises sont triées selon le taxon le plus bas possible), l'échantillonnage de la composition par taille et par sexe pour la plupart des espèces

et un échantillonnage biologique plus détaillé de certaines espèces. La plupart des relevés sont menés en collaboration avec l'industrie de la pêche commerciale en vertu de divers accords de collaboration. Les tendances et les résultats de l'échantillonnage biologique de tous ces relevés sont maintenant présentés dans une « Synthèse des données reproductible pour plus de 100 espèces de poisson de fond de Colombie-Britannique » (Anderson *et al.* 2019); seuls les résultats du chalut de fond synoptique sont actuellement mis à jour jusqu'en 2019 et sont présentés ici.

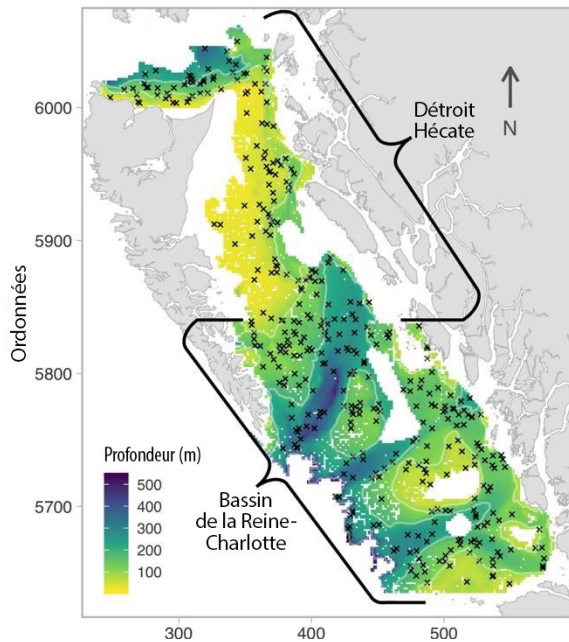


Figure 24-1. Emplacement de 378 traits réussis lors des relevés synoptiques au chalut de fond de 2019 dans le détroit d'Hécate (mai – juin) et le bassin de la Reine-Charlotte (juillet).

Les tendances décrites ici sont des tendances géostatistiques spatio-temporelles de l'indice de la biomasse telles que décrites dans Anderson *et al.* (2019), mais les données pour les deux zones de relevé de 2019 ont été combinées, et les densités de la biomasse ont été divisées par la proportion de poissons matures par rapport aux poissons immatures chaque fois que de telles données avaient été recueillies. À cette fin, nous avons utilisé les échantillons biologiques prélevés au cours de ces mêmes relevés pour estimer la longueur à laquelle 5 % des individus sont matures (définie par les stades de développement gonadique de l'immature ou de la maturation par rapport à l'adulte mature, mûr ou épuisé) en utilisant l'ajustement des ogives comme régressions logistiques propres au sexe pour les spécimens individuels. Lorsque des échantillons suffisants étaient disponibles pour toutes les années, nous avons inclus un effet aléatoire de l'année pour permettre un changement temporel de la taille à la maturité et ces seuils propres à l'année ont servi à répartir

les prises observées. Le poids total de tous les poissons mesurés qui dépassaient le seuil de longueur a été divisé par le poids total de tous les poissons mesurés, et multiplié par les estimations de la biomasse de la zone balayée pour chaque trait. Nous avons ainsi obtenu l'estimation de la biomasse des poissons matures (ou presque matures), le reste de la densité des prises étant classé comme immature. Pour les petites prises, pour lesquelles des mesures au niveau individuel n'ont pas été collectées, nous avons appliqué le rapport moyen de tous les traits mesurés pour estimer la biomasse propre à la maturité. Nous avons ensuite prédit les densités de la biomasse séparément pour les poissons adultes et immatures sur l'ensemble de la zone de relevé combinée et avons tracé les tendances de la biomasse totale estimée chaque année avec l'incertitude. Bien que les unités soient présentées en tonnes métriques de la biomasse de poissons, ces estimations supposent que la biomasse estimée peut être bien projetée à partir des lieux échantillonnés jusqu'au domaine complet du relevé et que la capturabilité du relevé est de 1, de sorte que ces valeurs sont plus adéquatement considérées comme un indice sans unité de la biomasse relative.

L'utilisation d'indices basés sur le modèle a permis d'assembler les relevés au chalut adjacents pour produire une estimation plus globale des tendances, tandis que la division des prises des

relevés par maturité pourrait être utile pour identifier les espèces dont le succès de la reproduction pourrait être influencé, positivement ou négativement, par les changements climatiques. En outre, les cartes de ces densités prévues de la biomasse peuvent être utilisées pour déterminer les habitats potentiellement importants et les changements dans la répartition.

24.3. État et tendances

Le poids total de tous les poissons capturés lors des deux relevés au chalut de fond était de 196,4 tonnes métriques, représentant 108 espèces (ou groupes taxonomiques distincts). La prise moyenne par trait était de 355 kg dans le détroit d'Hécate contre 612 kg dans le bassin de la Reine-Charlotte. Les espèces les plus importantes de par la masse dans le détroit d'Hécate étaient la chimère d'Amérique (*Hydrolagus colliei*, 10 000 kg), la plie à grande bouche (*Atheresthes stomias*, 6 700 kg), la plie royale (*Glyptocephalus zachirus*, 4 800 kg), la limande-sole (*Microstomus pacificus*, 4 100 kg) et le carlottin anglais (*Parophrys vetulus*, 3 000 kg). Dans le bassin de la Reine-Charlotte, les espèces dominantes étaient la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*, 20 600 kg), le sébaste à longue mâchoire (*Sebastes alutus*, 18 900 kg), la plie à grande bouche (*Atheresthes stomias*, 16 000 kg), le sébaste argenté (*Sebastes brevispinis*, 12 900 kg) et le merlu du Pacifique (*Merluccius productus*, 11 800 kg).

Des tendances notables se sont dégagées des indices de la biomasse des poissons adultes dans les deux relevés, notamment de fortes augmentations pour plusieurs espèces de sébastes, comme le sébaste à bandes rouges (*Sebastes babcocki*) et le bocaccio (*Sebastes paucispinis*), un renversement apparent de la tendance à la baisse à long terme de l'aiguillat commun du Pacifique Nord (*Squalus suckleyi*), le nivellement des tendances pour la morue charbonnière, la morue du Pacifique (*Gadus macrocephalus*) et le sébastolobe à épines courtes (*Sebastolobus alascanus*), et la diminution à l'échelle décennale de la plie à grande bouche et de la chimère d'Amérique (figure 24-2). De plus, dans un certain nombre de cas, les indices de la biomasse des poissons immatures semblent avoir augmenté plus fortement que ceux de la biomasse mature : morue charbonnière, plie de Californie (*Eopsetta jordani*), morue-lingue (*Ophiodon elongatus*), plie mince (*Lyopsetta exilis*) et sébaste aux yeux jaunes (*Sebastes ruberrimus*). Enfin, les prises de 2019 représentaient respectivement 82 % et 92 % du poids total des prises de toutes les années pour le sébaste de Goode (*Sebastes goodei*) et le sébaste à ventre court (*Sebastes jordani*), ce qui suggère une récente expansion de l'aire de répartition au nord de l'île de Vancouver.

24.4. Facteurs influençant les tendances

Les causes potentielles des tendances observées sont nombreuses, y compris les impacts directs des prélèvements par la pêche et des changements climatiques. Une analyse plus complète que celle présentée ici est nécessaire pour distinguer les différentes influences sur les tendances des relevés; cependant, d'autres travaux en cours permettent de penser que les changements locaux de l'abondance de beaucoup de ces espèces sont corrélés avec les tendances de la température et de la disponibilité de l'oxygène dissous.

24.5. Conséquences de ces tendances

Malgré les tendances persistantes apparentes pour certaines espèces, elles ne peuvent pas être considérées comme représentant à elles seules l'état des stocks. Ces indices doivent être

intégrés dans les analyses d'évaluation globale des stocks avant que l'on puisse tirer des conclusions sur l'état des stocks.

24.6. References

Anderson, S.C., Keppel, E.A., and Edwards, A.M. 2019. A reproducible data synopsis for over 100 species of British Columbia groundfish. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/041. vii + 321 p.

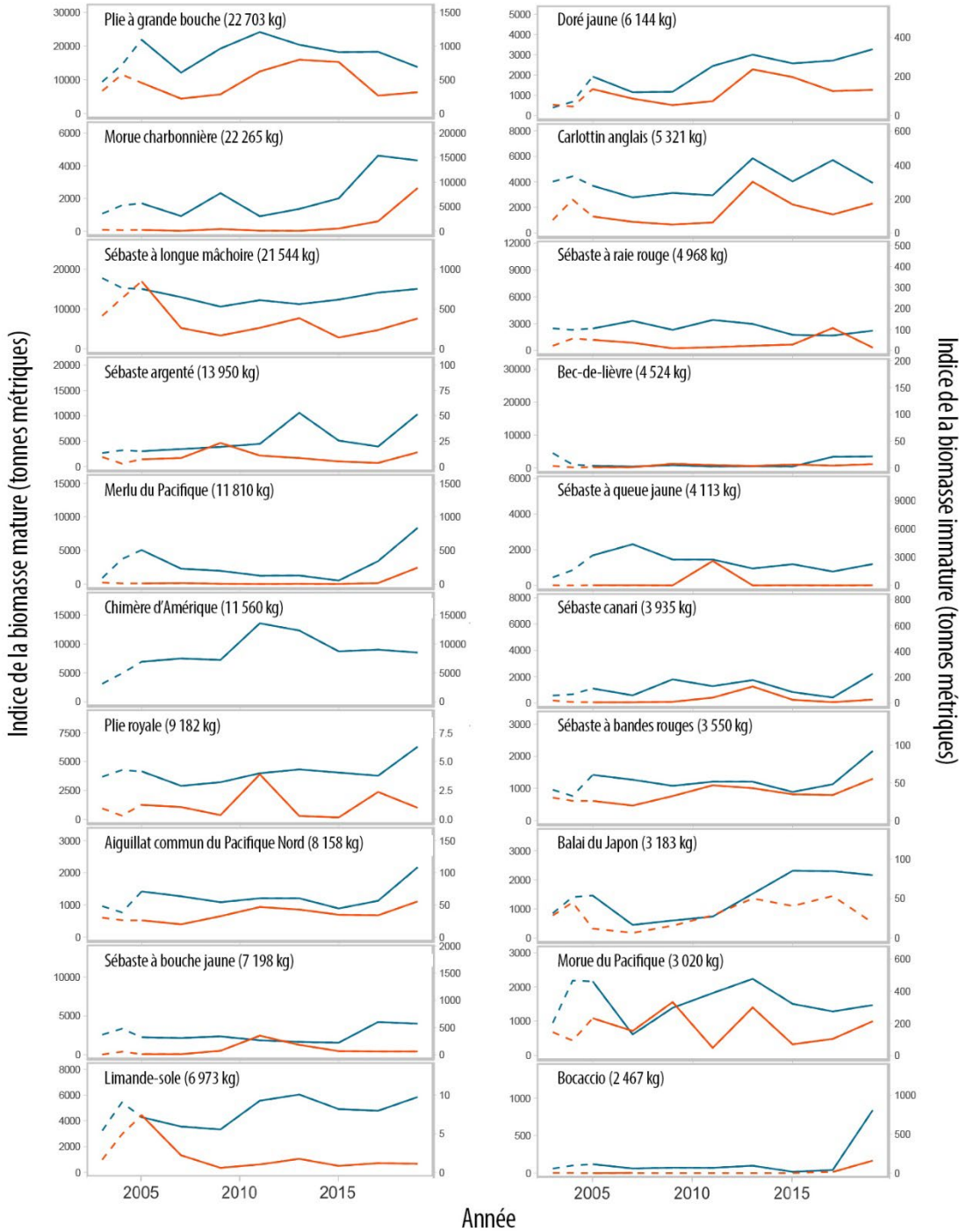


Figure 24-2. Indices de la biomasse basés sur un modèle pour 20 espèces ayant les plus grandes prises combinées (classées par ordre décroissant des prises totales) dans les relevés synoptiques au chalut de fond de 2019 (biomasse totale estimée pour la grille de relevé complète avec un IC à 95 %). Les lignes bleues (axe de gauche) représentent la biomasse totale des poissons matures (ou la biomasse globale, lorsque des données suffisantes sur la maturité n'ont pas été recueillies). Les lignes orange (axe de droite) représentent la biomasse des poissons immatures (voir les définitions dans le texte). Les lignes pointillées indiquent des estimations peu fiables en raison de l'absence de convergence du modèle, de très faibles prises ou d'un biais spatial dans les estimations antérieures à 2005 (elles commencent en 2003 pour le bassin de la Reine-Charlotte et en 2005 pour le détroit d'Hécate).

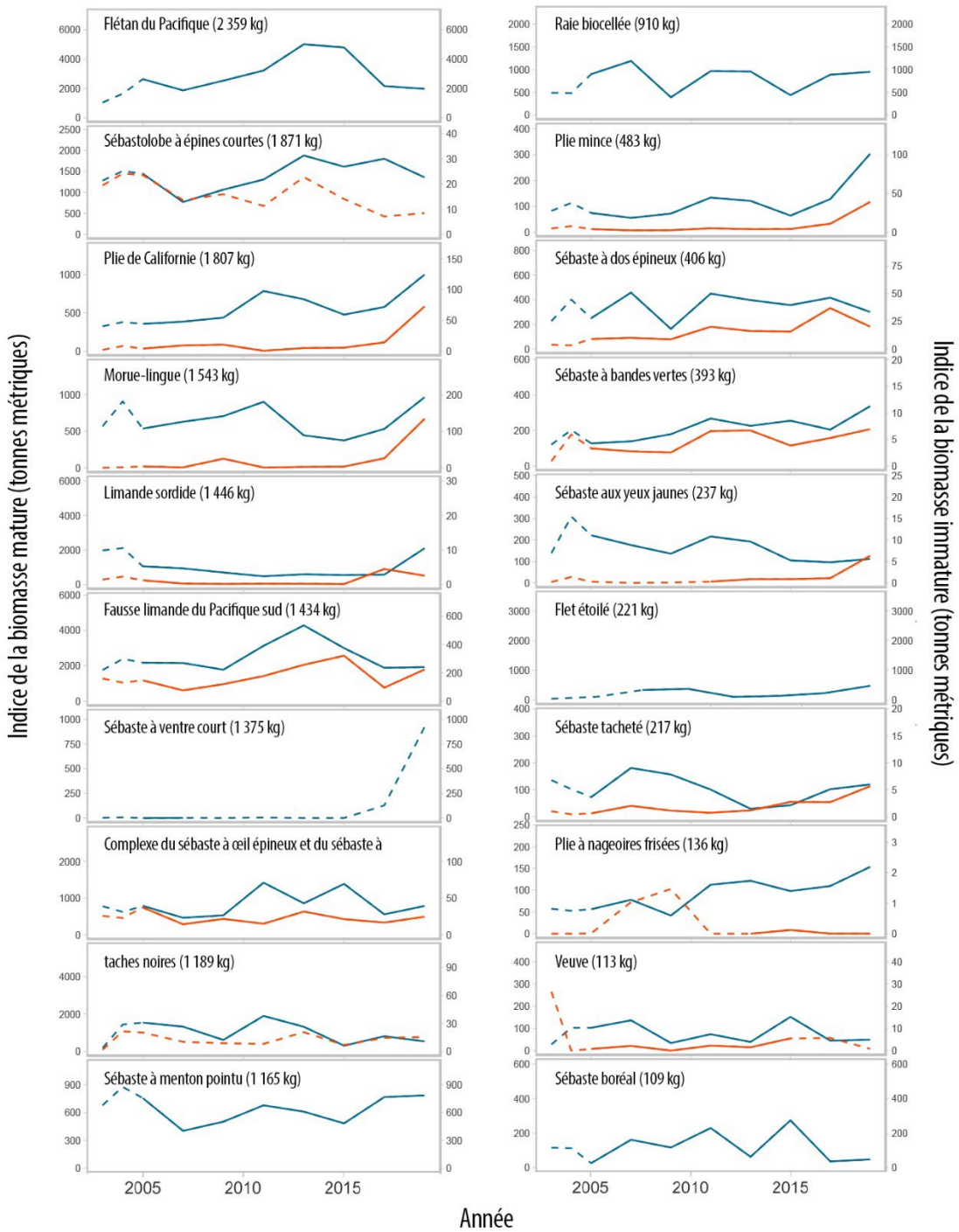


Figure 24-2 (suite).

25. RÉPARTITION ET ABONDANCE DU MERLU DU PACIFIQUE (*MERLUCCIUS PRODUCTUS*) EN 2019

Stéphane Gauthier¹, Chelsea Stanley¹ et Julia Clemons²

¹Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Stephane.Gauthier@dfo-mpo.gc.ca

² Northwest Fisheries Science Center, Seattle, WA, Julia.Clemons@noaa.gov

25.1. Faits saillants

- L'estimation de 1,723 million de tonnes de merlu du Pacifique pour 2019 était de 20 % supérieure à la médiane de la série chronologique, supérieure à l'estimation de 2017, mais inférieure aux deux relevés précédents de 2013 et 2015.
- Seulement 11 % environ de la biomasse totale estimée du relevé a été relevée dans les eaux canadiennes, et la répartition du merlu ne s'est pas étendue plus au nord que le banc Goose, au large de la pointe nord de l'île de Vancouver.

25.2. Description de la série chronologique

L'aire de répartition du merlu du Pacifique va du sud de la Californie au nord de la Colombie-Britannique (25-55° N). Il s'agit d'une espèce migratrice dont on pense qu'elle fraie au large de la côte sud et centrale de la Californie entre janvier et mars (Saunders et McFarlane 1997). Les merlus adultes migrent ensuite vers le nord au printemps et, en été, on peut les détecter en grands groupes depuis le nord de la Californie jusqu'à l'extrémité nord de la Colombie-Britannique, avec des répartitions dépassant parfois ces limites. La taille et l'âge augmentent généralement avec la latitude pendant la saison migratoire. Les populations de merlu du Pacifique présentes dans le détroit de Géorgie et la baie Puget sont génétiquement distinctes et ne sont pas incluses dans ce relevé (Iwamoto *et al.* 2004; King *et al.* 2012).

La pêche du merlu du Pacifique est l'une des plus importantes sur la côte Ouest des États-Unis et du Canada. La surveillance et la gestion de la population sont donc nécessaires des deux côtés de la frontière. Le Canada gère le merlu depuis 1992, et s'est joint au programme de recherche sur le merlu des États-Unis qui était en place depuis 1975. Le relevé intégré au chalut acoustique réalisé conjointement par les États-Unis et le Canada est le principal outil indépendant de la pêche utilisé pour évaluer la répartition, l'abondance et la biologie de la population de merlu du Pacifique. Il a été mené sur une base triennale jusqu'en 2003, date à laquelle on a décidé de passer à un cycle biennal. En 2004, les États-Unis ont promulgué un traité qui détaille un accord avec le Canada sur la gestion conjointe du merlu du Pacifique. Ce traité exigeait un relevé commun triennal, mais le relevé a lieu tous les deux ans (ou tous les ans) depuis 2003. Le traité répartit aussi le quota annuel entre les deux pays, accordant 73,88 % du quota aux États-Unis et 26,12 % à la pêche canadienne.

En 2019, l'effort de relevé comprenait des transects parallèles allant du sud de la Californie au sud de l'Alaska (figure 25-1). Les transects étaient espacés de 10 à 20 milles marins et s'étendaient de l'isobathe de 50 m à celui de 1 500 m le long de chaque transect. Les transects iraient au-delà de l'isobathe de 1 500 m s'il y avait encore un signal évident du merlu, afin de couvrir correctement toute la population hauturière. Les marques acoustiques ont été ciblées

avec un chalut pélagique pour évaluer la composition des espèces, la distribution de longueurs et d'autres paramètres biologiques. On a interpolé la rétrodiffusion attribuée au merlu du Pacifique entre les transects pour obtenir une estimation globale de l'abondance pour toute la côte. En utilisant les informations biologiques obtenues à partir des chaluts pélagiques, la rétrodiffusion a été mise à l'échelle de la biomasse en utilisant la relation entre la longueur du poisson et l'indice de réflexion (IR) (Traynor 1996).

25.3. État et tendances

La répartition du merlu a varié durant l'historique du relevé, la plus vaste ayant été observée en 1998 (figure 25-1). En 2019, elle ne s'étendait pas au-delà du banc Goose, au large de la pointe nord de l'île de Vancouver (figure 25-1 et figure 25-2). La biomasse totale estimée à 1,723 million de tonnes en 2019 était supérieure à celle de 2017, mais inférieure à celle des deux relevés précédents (2013, 2015, figure 25-3). Les données sur les prises du relevé ont indiqué une prédominance des classes d'âge de 2016, 2014 et 2010. Aucun merlu d'âge 1 (ni d'âge 0) n'a été observé au Canada. Bien que le merlu d'âge 1 ne soit pas utilisé dans l'estimation de la biomasse, il est inclus dans le modèle d'évaluation des stocks comme indicateur du recrutement. Seulement 11 % de la biomasse estimée des merlus adultes (âge 2+) du relevé a été observée dans les eaux canadiennes.

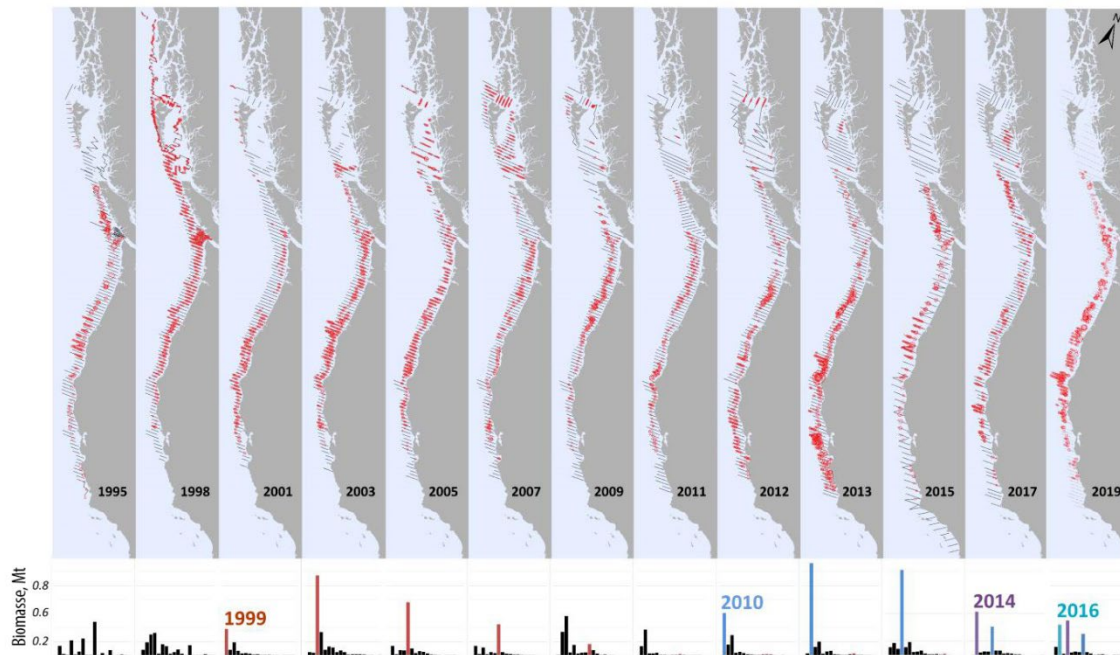


Figure 25-1. Répartition du merlu du Pacifique dans le nord-est de l'océan Pacifique de 1995 à aujourd'hui. Le diagramme à barres de la biomasse par âge en dessous de la carte met en évidence les classes d'âge dominantes dans la série chronologique.

25.4. Facteurs influençant les tendances

On a observé que lors de conditions océaniques chaudes (comme le phénomène El Niño de 1998), une plus grande proportion du stock migre dans les eaux canadiennes, apparemment en raison de l'intensification du transport vers le nord (Agostini *et al.* 2006). Ce phénomène a également été observé en 2015 (avec le « Blob » chaud), bien que la répartition ne s'étende pas beaucoup plus loin que la pointe nord de l'île de Vancouver. La proportion de merlu du Pacifique qui a migré dans les eaux canadiennes en 2017 était de plus de 27 % et la plus importante observée depuis 2005, alors qu'en 2019, la proportion au Canada n'était que de 11 %. C'était également la première fois dans la série chronologique qu'aucun regroupement de merlu n'était observé au nord du banc Goose. Selon certaines indications, les températures dans le nord du détroit d'Hécate étaient exceptionnellement élevées en 2019. Nous avons également observé moins de signes acoustiques attribuables aux espèces de poissons (comme le hareng du Pacifique, le doré jaune, le sébaste) dans le détroit d'Hécate que lors des relevés précédents. Ces tendances et observations soulignent la nécessité de poursuivre les recherches sur les liens entre les variables environnementales et la répartition et la migration du merlu du Pacifique et de la faune associée.

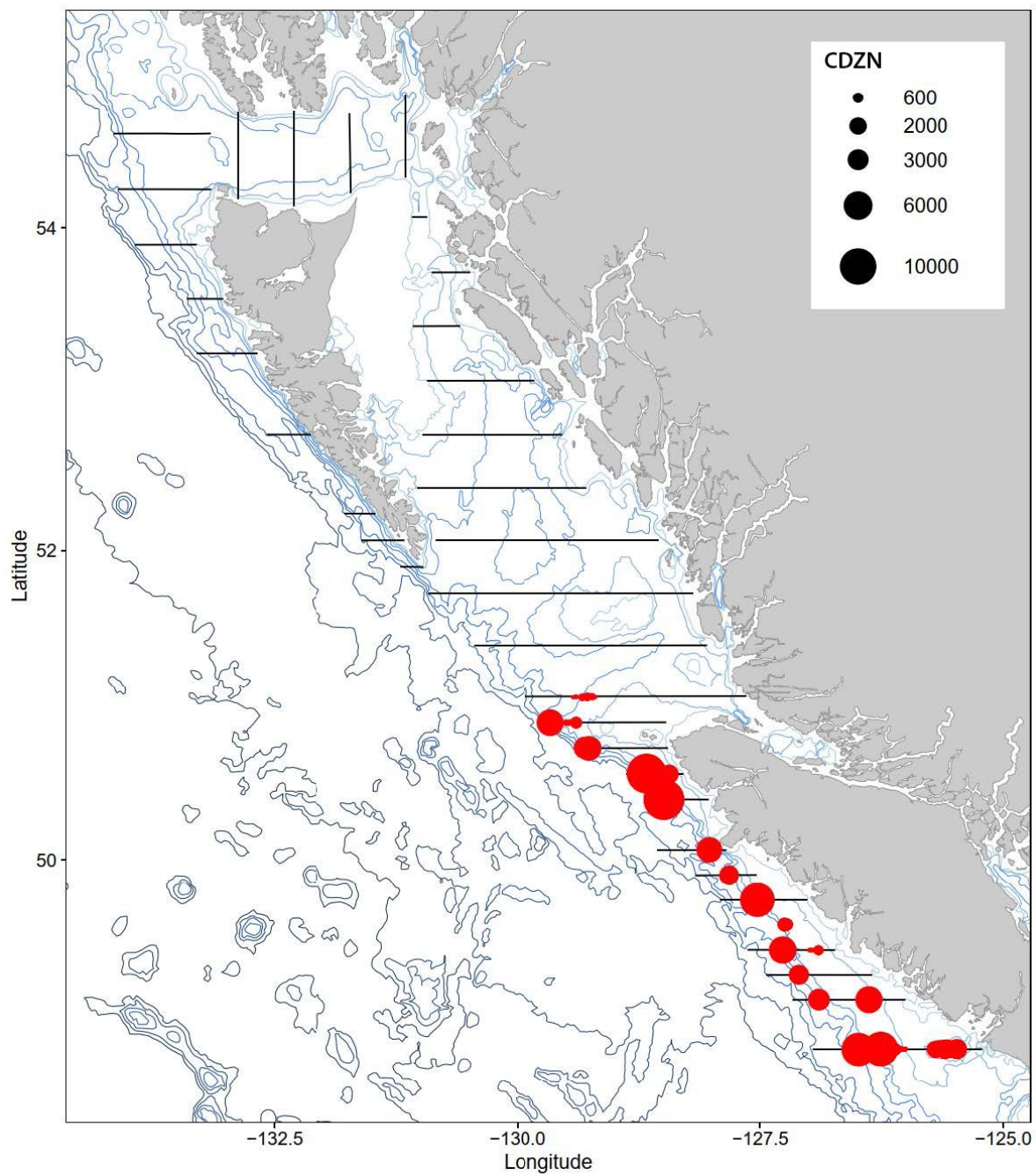


Figure 25-2. Répartition des merlus du Pacifique adultes dans les eaux canadiennes en 2019. Les cercles rouges représentent les coefficients de diffusion de la zone nautique (CDZN, m^2nm^{-2}).

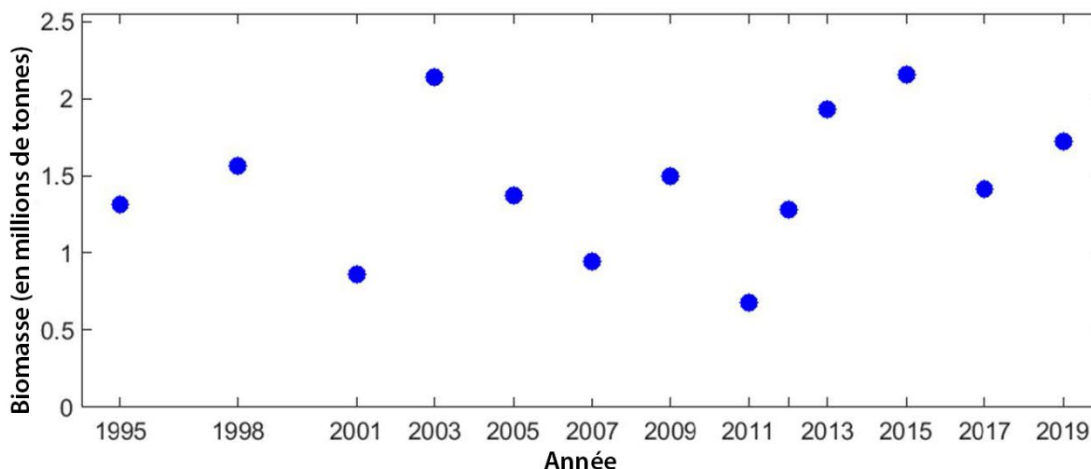


Figure 25-3. Série chronologique des estimations de la biomasse de merlu du Pacifique sur l'ensemble de la côte, tirées des relevés conjoints du MPO et de la NOAA.

25.5. Conséquences de ces tendances

Pendant le fort El Niño de 1998, le merlu est parvenu largement en Alaska, mais lors des récents réchauffements, sa répartition s'est rétractée et s'est surtout limitée à la côte ouest de l'île de Vancouver. Ces tendances laissent croire que la température seule n'est peut-être pas un bon prédicteur de l'étendue de la migration du merlu vers le nord, mais que d'autres mécanismes (tels que la source et le début des conditions de réchauffement) ont des effets différentiels sur les courants vers le pôle, la répartition et la disponibilité des proies, ou d'autres facteurs influençant la répartition de ces poissons. Il s'agit toutefois au mieux d'une hypothèse, qui souligne la nécessité d'approfondir les recherches sur les déplacements du merlu du Pacifique. Des efforts axés sur ces sujets sont en cours.

25.6. References

- Agostini, V.N., Francis, R.C., Hollowed, A., Pierce, S.D., Wilson, C.D., and Hendrix, A.N. 2006. The relationship between Pacific hake (*Merluccius productus*) distribution and poleward subsurface flow in the California Current system. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 2648-2659.
- Iwamoto, E., Ford, M.J., and Gustafson, R.G. 2004. Genetic population structure of Pacific hake, *Merluccius productus*, in the Pacific Northwest. *Environmental Biology of Fishes* 69: 187-199.
- King, J.R., McFarlane, G.A., Jones, S.R.M., Gilmore, S.R., and Abbott, C.L. 2012. Stock delineation of migratory and resident Pacific hake in Canadian waters. *Fisheries Research* 114: 19-30.
- Saunders, M.W., and McFarlane, G.A. 1997. Observation on the spawning distribution and biology of offshore Pacific hake. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 38: 147-160.

Traynor, J.J. 1996. Target-strength measurements of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*). ICES Journal of Marine Science 53: 253-258.

26. TENDANCES DE L'ABONDANCE ET DE LA RÉPARTITION DES PINNIPÈDES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

Strahan Tucker et Sheena Majewski, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, strahan.tucker@dfo-mpo.gc.ca, sheena.majewski@dfo-mpo.gc.ca

26.1. Faits saillants

- Le détroit de Georgie (DG) abrite la plus forte densité de phoques communs sur la côte de la Colombie-Britannique et a été le principal site repère pour les relevés de la population. L'abondance de la population en 2014, soit 38 900 individus (IC à 95 % de 34 810 à 42 250) est conforme aux estimations remontant au milieu des années 1990. Cependant, une nouvelle répartition évidente se poursuit entre les zones et entre les sites.
- Le nombre d'otaries de Steller relevé en 2017 indique un possible ralentissement du taux annuel d'augmentation de la production de petits depuis 2013, mais pas du taux de croissance de la composante de la population autre que les petits. La population ajustée pendant la saison de reproduction 2017 en Colombie-Britannique est estimée à 42 770 (IC à 95 % de 38 200 à 47 700). Cela ne représente aucun changement significatif par rapport à la dernière estimation en 2013.

26.2. Description de la série chronologique

Depuis le début des années 1970, le MPO effectue des relevés aériens normalisés pendant la saison de reproduction pour surveiller les populations de phoque commun (*Phoca vitulina*) et d'otarie de Steller (*Eumetopias jubatus*) en Colombie-Britannique. Les paramètres précis des relevés pour les phoques communs et les otaries de Steller sont présentés dans Olesiuk (2010) et Olesiuk (2018), respectivement. Ces relevés ont fourni des séries chronologiques des tendances relatives aux dénombrements; les estimations de l'effectif total de la population sont obtenues en appliquant un facteur de correction pour tenir compte des animaux qui étaient en mer et qui ont été manqués lors des relevés. Les facteurs de correction ont été calculés en suivant les profils d'échouerie des animaux individuels par télémétrie satellitaire.

26.3. État et tendances

26.3.1. Phoques communs

Le détroit de Georgie abrite la plus forte densité de phoques communs sur la côte de la Colombie-Britannique et a été le principal site d'étude de la population depuis la protection de

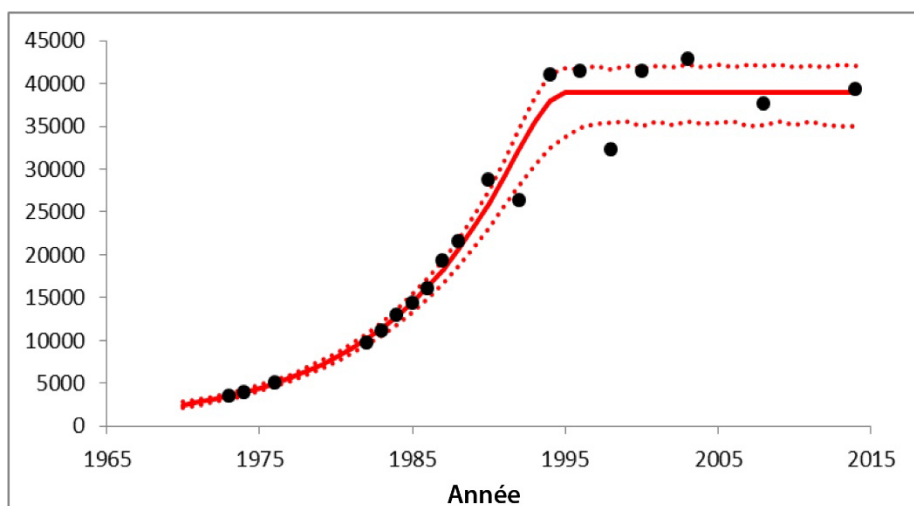


Figure 26-1. Tendence de la population de phoques communs dans le détroit de Georgie. La ligne pleine représente le modèle logistique généralisé ajusté par le maximum de vraisemblance, les lignes pointillées représentent les intervalles de confiance à 95 % et les points noirs indiquent l'abondance estimée (Majewski et Ellis, en cours d'examen).

l'espèce en 1973. On estime à 39 100 le nombre de phoques communs dans le détroit de Georgie en 2008, soit 37 % de la population totale de la Colombie-Britannique (Olesiuk 2010).

Pour le dernier relevé dans le détroit de Georgie en 2014 (Majewski et Ellis, en cours d'examen), l'abondance modélisée a été estimée à 38 900 individus (IC à 95 % de 34 810 à 42 250). Cela ne représente aucun

changement significatif par rapport à la précédente estimation de la population du détroit de Georgie en 2010. En fait, l'abondance des phoques dans le détroit de Georgie est restée relativement constante depuis le milieu des années 1990 (figure 26-1). Cependant, une nouvelle répartition évidente se poursuit entre les zones et entre les sites, avec d'autres augmentations de la proportion d'animaux au nord et au sud du détroit de Georgie (Majewski et Ellis, en cours d'examen).

26.3.2. Otaries de Steller

Les otaries de Steller résident toute l'année et se reproduisent dans les eaux canadiennes, qui font partie de leur aire de répartition dans le Pacifique. Elles sont présentes dans toutes les eaux côtières de la Colombie-Britannique. Les animaux sont très concentrés dans les roqueries et les échoueries de la côte extérieure pendant la saison de reproduction estivale et se dispersent vers d'autres zones de la côte pour se nourrir pendant l'automne et l'hiver.

En 2017, on a compté un total de 6 200 petits et de 25 136 individus plus âgés. Les modèles ajustés aux chiffres indiquent un possible ralentissement du taux annuel d'augmentation de la production de petits depuis 2013, mais pas du taux de croissance de la composante de la population autre que les petits (figure 26-2). La population ajustée pendant la saison de

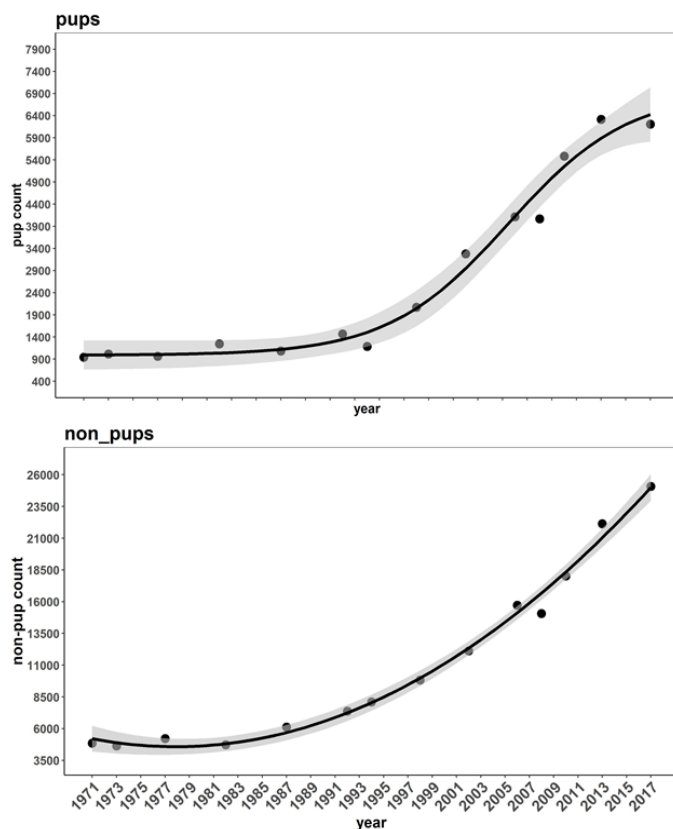


Figure 26-2. Tendances du nombre de petits (graphique supérieur) et d'individus plus âgés (graphique inférieur) d'après les relevés aériens pendant la saison de reproduction, de 1971 à 2017. Les lignes noires et les zones grisées indiquent le modèle logistique adapté au nombre de petits (graphique supérieur) et le modèle polynomial adapté au nombre d'individus plus âgés (graphique inférieur). Les nuances de gris indiquent les intervalles de confiance à 95 %. (Majewski et al. en cours d'examen).

reproduction 2017 est estimée à 42 770 (IC à 95 % de 38 200 à 47 700). Cela ne représente aucun changement significatif par rapport à la dernière estimation de 39 200 individus (IC à 95 % de 33 600 à 44 800) en 2013 (Olesiuk 2018).

26.4. Facteurs influençant les tendances

Les facteurs précis qui régissent les tendances des populations de pinnipèdes en Colombie-Britannique restent flous. En général, comme les pinnipèdes ont une durée de vie relativement longue, ils ont évolué pour maintenir des tailles de population relativement stables à la capacité de charge de l'environnement ou près de celle-ci, malgré le potentiel de grandes variations de la survie (en particulier des petits) et de la fécondité d'une année à l'autre (Wade 2018). À l'échelle mondiale, nous assistons actuellement au retour de nombreuses populations de pinnipèdes à des niveaux limités par leur capacité de charge à la suite d'une surexploitation. Parallèlement, on s'intéresse de plus en plus au rôle des prédateurs de niveau trophique supérieur (c'est-à-dire les épaulards) sur la dynamique des populations à mesure de leur rétablissement.

Les populations de phoque commun en Colombie-Britannique sont restées stables dans le détroit de Georgie au cours des 25 dernières années. On ne sait pas encore très bien ce qui motive la nouvelle répartition dans le détroit de Georgie, mais la disponibilité des proies et l'évitement des prédateurs sont deux éléments clés.

Bien qu'il s'agisse d'une observation préliminaire, il est possible qu'une réduction de la production de petits chez les otaries de Steller soit due à l'émergence de pressions de dépendance à la densité. Par ailleurs, elle pourrait être due à une variable environnementale qui touche les taux vitaux influençant directement les tendances démographiques.

26.5. Conséquences de ces tendances

Les phoques communs et les otaries de Steller ont été identifiés comme les principales espèces proie des épaulards de Bigg (ou épaulards migrateurs de la côte Ouest), une espèce menacée, sur la côte de la Colombie-Britannique. On soupçonne que le rétablissement des populations de pinnipèdes a contribué à l'augmentation de la population d'épaulard de Bigg ainsi qu'à la hausse des observations d'épaulards de Bigg dans le détroit de Georgie ces dernières années. Le programme de rétablissement de l'épaulard de Bigg indique qu'il est nécessaire de déterminer la quantité, la qualité et la répartition des proies requises pour assurer le maintien ou l'augmentation du niveau actuel de la population (MPO 2007). À l'appui de cet objectif de rétablissement, le MPO fournit des évaluations actualisées de l'abondance et de la répartition des populations reproductrices de pinnipèdes.

En plus de soutenir le rétablissement de la population d'épaulard de Bigg, des informations sur l'abondance et la répartition des pinnipèdes sont régulièrement nécessaires pour faciliter la gestion fondée sur les écosystèmes de soutien, notamment pour les évaluations environnementales, le choix du site des installations d'aquaculture de poissons et de crustacés, l'évaluation des impacts des populations de mammifères marins sur les ressources halieutiques ainsi que la concurrence potentielle avec l'épaulard résident pour les ressources alimentaires essentielles, et l'évaluation des impacts potentiels des conditions océaniques changeantes.

26.6. References

- DFO. 2007. Recovery Strategy for the Transient Killer Whale (*Orcinus orca*) in Canada, Species at Risk Act Recovery Strategy Series. Fisheries and Oceans Canada, Vancouver, vi + 46 pp.
- Majewski, S.P., and Ellis, G.M. *In review*. Abundance and distribution of harbour seals (*Phoca vitulina*) in the Strait of Georgia, British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/nnn. vi + xxp.
- Majewski, S.P., Szaniszlo, W., Nordstrom, C.A., Abernethy, R.M., and Tucker, S. *In review*. Trends in Abundance of Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*) in British Columbia: updates from 2016-17 Aerial Surveys. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/xxx. v + xx p.
- Olesiuk, P.F. 2010. An assessment of population trends and abundance of harbour seals (*Phoca vitulina*) in British Columbia. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2009/105. vi + 157 p.
- Olesiuk, P.F. 2018. Recent trends in Abundance of Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*) in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/006. v + 67 p.
- Wade, P.R., 2018. Population dynamics. *In* Encyclopedia of marine mammals (pp. 763-770). Academic press.

27. TENDANCES DU RÉTABLISSEMENT DES POPULATIONS DE MAMMIFÈRES MARINS : EXEMPLES RÉCENTS DANS LES EAUX CANADIENNES DU PACIFIQUE ET INTERACTIONS POTENTIELLES DES ÉCOSYSTÈMES

Thomas Doniol-Valcroze, Linda Nichol, Robin Abernethy, James Pilkington, Lisa Spaven, Eva Stredulinsky, Jared Towers et Brianna Wright, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, thomas.doniol-valcroze@dfo-mpo.gc.ca

27.1. Faits saillants

- Plusieurs populations de mammifères marins dans les eaux canadiennes du Pacifique ont affiché de fortes tendances de rétablissement et sont à nouveau des composantes importantes des écosystèmes marins.
- Les observations d'épaulards de Bigg ont augmenté dans la mer des Salish en même temps que leur principale proie, le phoque commun. Un sous-ensemble de population composé des 349 individus qui sont le plus souvent observés dans les eaux côtières augmente à un taux annuel moyen de 4,1 % depuis 2012.
- Un relevé mené par des navires sur toute la côte a montré que les rorquals à bosse ont continué à se rétablir de l'exploitation passée et occupent à nouveau leur ancien habitat en Colombie-Britannique, où leur abondance estivale a été estimée à 12 500 animaux (IC à 95 % de 8 500 à 18 600) en 2018.
- L'abondance des loutres de mer en Colombie-Britannique était estimée à 8 100 en 2017. Le taux d'augmentation annuel dans toute la Colombie-Britannique était de 5,2 % par an de 2013 à 2017, mais les taux de croissance sont plus faibles dans les zones qui ont été occupées pendant plus longtemps.

27.2. Description de la série chronologique

Des épaulards de Bigg (*Orcinus orca*) ont été vus et photo-identifiés en Colombie-Britannique de 1975 à 2019 lors de missions de recherche opportunistes et dédiées. Des milliers de photos prises de 1958 à aujourd'hui ont également été soumises par de nombreux contributeurs, de la Californie à l'Alaska, ce qui en fait l'un des ensembles de données de photo-identification des cétacés les plus importants et les plus anciens qui existent. Des images des nageoires dorsales et de la tache en forme de selle des épaulards ont permis de créer un catalogue des individus et de documenter l'historique des observations (Towers *et al.* 2019).

Des relevés systématiques par transect linéaire ont été menés par des chercheurs non gouvernementaux dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique entre 2004 et 2008, afin d'estimer l'abondance de dix espèces de mammifères marins, dont le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*; Best *et al.* 2015). Jusqu'à récemment, aucune autre information n'était disponible pour estimer les tendances à l'échelle de la côte. Le Relevé aérien international de la mégafaune marine dans la région du Pacifique (PRISMM), un relevé multispécifique par transect linéaire réalisé à partir de navires, a été mené entre le 4 juillet et le 5 septembre 2018 pour estimer l'abondance et la répartition des espèces de cétacés dans les eaux canadiennes du Pacifique.

Les loutres de mer (*Enhydra lutris*) endémiques de la Colombie-Britannique ont disparu en 1931. La population actuelle de loutre de mer du Canada est composée de descendants d'animaux de l'Alaska réintroduits dans la baie Checleset sur la côte ouest de l'île de Vancouver lors de trois efforts de transfert en 1969, 1970 et 1972. La population de loutre de mer de la Colombie-Britannique fait l'objet de relevés à des intervalles d'un à trois ans depuis 1977. Les dénombrements des relevés fournissent un indice de l'abondance et un rapport sur l'expansion de l'aire de répartition (Nichol *et al.* 2015).

27.3. État et tendances

En tout, 766 épaulards de Bigg ont été identifiés entre 1958 et 2018. Afin de déterminer le sous-ensemble de cette population affichant la plus grande fidélité aux eaux côtières, des critères ont été élaborés en fonction de leur taux d'occurrence. Au total, 206 individus matures qui étaient vivants en 2018 ont été aperçus au moins une fois depuis 2014 et leur présence a été relevée pendant au moins sept ans ou plus de 10 fois durant la période d'étude. Leur progéniture et d'autres membres inférés de la famille maternelle comptent 143 autres individus. Ce sous-ensemble de population de 349 individus a augmenté à un taux annuel moyen observé de 4,1 % depuis 2012 en raison d'une mortalité relativement faible et de la naissance de plus de 100 baleineaux au cours de cette période (Towers *et al.* 2019).

L'estimation de l'abondance totale des rorquals à bosse en 2018 dans les eaux canadiennes du Pacifique était de 12 500 (IC à 95 % de 8 500 à 18 600). Elle inclut la zone hauturière (8 700 baleines) pour laquelle aucune estimation d'abondance n'était disponible auparavant, et où la grande majorité des observations ont été faites sur le plateau continental au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 27-1). L'abondance pour la côte centrale était de 3 360 animaux, un chiffre comparable à l'estimation précédente de 1 540 baleines dans les mêmes strates, fondée sur les données de relevé recueillies entre 2004 et 2008 (Best *et al.* 2015), ce qui montre que les rorquals à bosse ont continué à réoccuper et à étendre leur aire de répartition dans les eaux de la Colombie-Britannique. De plus, les relevés systématiques précédents n'ont pas détecté de rorqual à bosse dans la mer des Salish, alors que l'abondance en 2018 était estimée à 430 baleines dans cette région, ce qui indique que l'espèce a étendu son aire de répartition dans une zone d'où elle était encore largement absente au début des années 2000.

La population de loutre de mer de la Colombie-Britannique a continué de croître en nombre et d'agrandir son aire de répartition ces dernières années, suivant les tendances typiques d'autres populations de loutre de mer en voie de rétablissement (p. ex. Tinker *et al.* 2019). L'abondance des loutres de mer en Colombie-Britannique était estimée à 8 100 en 2017. Le taux d'augmentation annuel dans toute la région de la Colombie-Britannique était de 5,2 % par an de 2013 à 2017, mais les taux de croissance sont plus faibles dans les zones qui ont été occupées pendant plus longtemps.

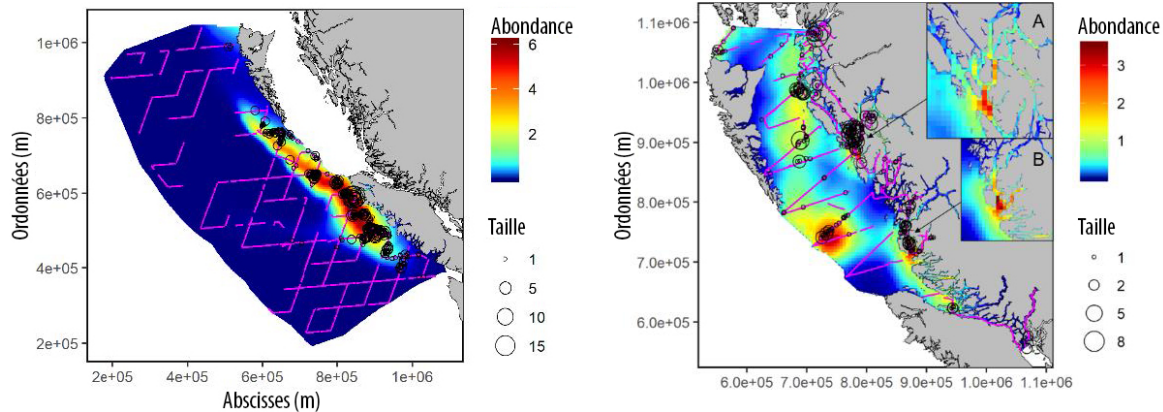


Figure 27-1. Densités estimées (la couleur de remplissage indique le nombre de rorquals à bosse par cellule de quadrillage de 25 km²) dans les blocs hauturiers (à gauche) et côtiers (à droite) en 2018.

27.4. Facteurs influençant les tendances

L'augmentation du nombre d'observations d'épaulards de Bigg dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique était probablement liée à la grande abondance de leur principale proie, le phoque commun (*Phoca vitulina*), qui a connu un rétablissement rapide depuis la fin de l'exploitation commerciale dans les années 1970.

Les rorquals à bosse ont été décimés par la chasse commerciale dans le Pacifique Nord entre 1870 et 1967. Après la protection mise en place contre l'exploitation, la population a augmenté à un rythme de 8 % par an. Cette augmentation du nombre d'animaux et la réoccupation de l'habitat historique sont probablement à l'origine de l'augmentation spectaculaire des observations de rorquals à bosse dans les eaux de la Colombie-Britannique depuis les vingt dernières années.

Immédiatement après leur réintroduction en Colombie-Britannique en 1969, les loutres de mer ont rapidement augmenté en nombre, à des taux proches du maximum physiologique de l'espèce. Cette croissance exponentielle rapide était probablement le résultat de leur statut d'espèce protégée et de l'abondance des invertébrés dont elles se nourrissent, qui avaient augmenté en l'absence des loutres de mer (Estes 1990). Au fil du temps, la croissance de la population à l'échelle régionale s'est ralentie en réaction à des processus densité-dépendants liés à la disponibilité de la nourriture. Les loutres de mer occupent de petits domaines vitaux et se dispersent peu, de sorte que les tendances de la croissance varient géographiquement dans la population, avec des taux de croissance plus faibles dans les zones qui approchent de la capacité de charge.

27.5. Conséquences de ces tendances

Plusieurs populations de mammifères marins dans les eaux canadiennes du Pacifique ont affiché de fortes tendances de rétablissement et sont à nouveau des composantes importantes des écosystèmes marins, ce qui entraîne un chevauchement accru avec les activités humaines et des conflits potentiels avec les pêches. Le retour de ces prédateurs dans les habitats d'où ils

étaient auparavant disparus (ou dans lesquels ils étaient peu nombreux) a d'importantes conséquences au niveau de l'écosystème. La pression de prédation exercée par les épaulards de Bigg a probablement influencé la population de phoque commun et pourrait ultérieurement avoir des effets sur la répartition et le comportement d'autres espèces proies. Les rorquals à bosse consomment de grandes quantités de biomasse (zooplancton et poisson fourrage) et peuvent avoir des répercussions sur les populations de poissons. Les loutres de mer exercent une forte pression descendante sur les proies invertébrées, ce qui a un effet positif sur les forêts de varech et l'abondance des poissons.

27.6. References

- Best, B.D., Fox, C.H., Williams, R.W., Halpin, P.N., and Paquet, P.C. 2015. Updated marine mammal distribution and abundance estimates in British Columbia. *Journal of Cetacean Research and Management* 15: 9-26.
- Estes, J.A. 1990. Growth and equilibrium in sea otter populations. *J. Anim. Ecol.* 59: 385–401.
- Nichol, L.M., Watson, J.C., Abernethy, R. Rechsteiner, E., and Towers, J. 2015. Trends in the abundance and distribution of sea otters (*Enhydra lutris*) in British Columbia updated with 2013 survey results. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document 2015/039: vii + 31 p.
- Tinker, M.T., Gill, V.A., Esslinger, G.G., Bodkin, J., Monk, M., Mangel, M., Monson, D.H., Raymond, W.W., and Kissling, M.L. 2019. Trends and Carrying Capacity of Sea Otters in Southeast Alaska. *J. Wildl. Manage.* 83: 1073-1089.
- Towers, J.R., Sutton, G.J., Shaw, T.J.H., Malleson, M., Matkin, D., Gisborne, B., Forde, J., Ellifrit, D., Ellis, G.M., Ford, J.K.B., and Doniol-Valcroze, T. 2019. Photo-identification Catalogue, Population Status, and Distribution of Bigg's Killer Whales known from Coastal Waters of British Columbia, Canada. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3311.

28. TENDANCES DES POPULATIONS D'OISEAUX DE MER ET DE BALEINE GRISE DANS LA RÉSERVE DE PARC NATIONAL DU CANADA PACIFIC RIM

Yuri Zharikov et Jennifer Yakimishyn, réserve de parc national du Canada Pacific Rim, Parcs Canada, Ucluelet, Colombie-Britannique, yuri.zharikov@canada.ca, jennifer.yakimishyn@canada.ca

28.1. Faits saillants

- Les espèces se nourrissant de poissons démersaux (guillemots et cormorans) ont affiché une augmentation constante sur l'ensemble de la série chronologique (1999 à 2019).
- 2019 a été une année favorable pour les oiseaux de mer pélagiques se nourrissant de poissons (Guillemot marmette, Macareux rhinocéros et Guillemot marbré) et les populations de baleine grise dans les eaux côtières de la réserve de parc national du Canada Pacific Rim.
- L'abondance des oiseaux de mer pélagiques se nourrissant de poissons pélagiques, en particulier le Guillemot marbré, et celle de la baleine grise ont suivi des profils similaires et peuvent refléter des conditions océanographiques semblables favorables aux proies zooplanctoniques.
- Dans l'ensemble, la communauté des oiseaux de mer a affiché un profil de fluctuation décennale de l'abondance.

28.2. Description de la série chronologique

Nous avons examiné les tendances de l'abondance de plusieurs oiseaux de mer communs (1999 à 2019) et de la baleine grise (2003 à 2019) à partir des dénombrements en mer dans les eaux côtières de la réserve de parc national Pacific Rim (RPNPR). Des dénombrements ont été effectués toutes les deux semaines de mai à août le long de trois transects pour les oiseaux de mer (deux dans l'archipel Broken Group et un le long de la piste de la côte Ouest), et seuls les dénombrements le long de la piste de la côte Ouest ont été pris en compte pour la baleine grise (figure 28-1). Pour les oiseaux de mer, nous avons calculé les tendances des populations par espèce à l'aide du progiciel *rtrim* (Bogaart *et al.* 2018; R Core Team 2019). *rtrim* est une implémentation en R du programme TRIM (Pannekoek et van Strien 2004) – l'outil standard d'analyse des tendances utilisé dans le programme paneuropéen de surveillance des oiseaux communs (Gregory *et al.* 2005). Le modèle statistique *rtrim* est basé sur la régression log-linéaire de Poisson, estimant les effets du site et de l'année sur l'abondance des espèces (dénombrements) ainsi qu'une tendance linéaire globale (sur l'échelle logarithmique). Le modèle de base est le suivant : nombre attendu = année + site, où l'année et le site sont des effets fixes, estimés à l'aide du maximum de vraisemblance et d'équations d'estimation généralisées pour traiter la surdispersion et l'autocorrélation en série.

Pour évaluer les tendances globales des populations d'oiseaux de mer côtiers, nous avons calculé un indicateur multispécifique (IM) selon la description dans Gregory *et al.* (2005), où l'indice pour chaque année est la moyenne géométrique des indices TRIM des espèces

d'oiseaux contributrices. Nous avons appliqué une méthode de Monte Carlo pour tenir compte de l'erreur d'échantillonnage dans l'estimation de la tendance dans l'indicateur multispécifique en utilisant l'outil MSI en R disponible à l'adresse suivante <https://www.cbs.nl/en-gb/society/nature-and-environment/indices-and-trends-trim-/msi-tool> (Soldaat *et al.* 2017).

L'abondance de la baleine grise (*Eschrichtius robustus*) une année donnée reflète le groupe s'alimentant le long de la côte du Pacifique, une population de baleine grise qui affiche une forte fidélité au site maternel dans les aires d'alimentation estivales (Calambokidis *et al.* 2017; Frasier *et al.* 2011). Dans l'ensemble, la tendance de la série chronologique a été évaluée à l'aide de la régression des moindres carrés ordinaires (MCO). Les données sur l'abondance tirées de chaque relevé ont été soumises à une analyse de variance à un facteur, où l'année était le facteur indépendant, et le test de Tukey a ensuite été effectué pour déterminer quelles années différaient.

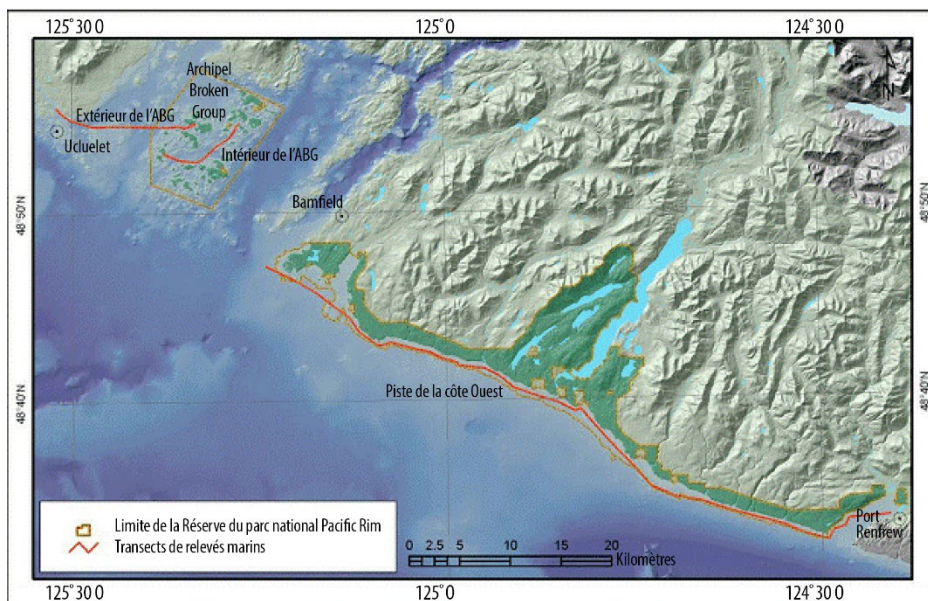


Figure 28-1. Transects en mer pour les oiseaux de mer et les mammifères marins dans les eaux de la réserve du parc national Pacific Rim. L'unité « Archipel Broken Group » de la réserve de parc se trouve dans le coin supérieur gauche.

28.3. État et tendances

Oiseaux de mer : les résultats sont présentés pour cinq taxons qui représentent ~90 % de tous les individus recensés. Les cinq espèces ont toutes affiché des tendances stables à fortement positives au cours des vingt dernières années (tableau 28-1). Pour toutes les espèces d'oiseaux de mer confondues, on a observé une tendance à la baisse de 1999 à 2008, une augmentation entre 2008 et 2014 et un déclin apparent par la suite (figure 28-2), ce qui ressemble à un profil de fluctuation décennale. En 2019, l'abondance était supérieure à la moyenne à long terme pour toutes les espèces visées par cette analyse, à l'exception du Macareux rhinocéros. De 2014 à 2016, toutes les espèces étaient particulièrement abondantes.

Tableau 28-1. Tendances des populations d'oiseaux de mer (tendance annuelle additive et écart-type [ET]) dans les eaux côtières de la réserve de parc national Pacific Rim, Canada, modélisées en rtrim. Le tableau comprend les statistiques sur la surdispersion (Surdisp.) et la qualité de l'ajustement (Ajust.). CORM fait référence aux dénombrements **combinés** de Cormorans pélagiques, de Cormorans de Brandt et de cormorans dont l'espèce n'a pu être identifiée. La signification des tendances est ajustée en fonction de la surdispersion.

Espèce (1999 à 2019)	Tendance	ET	p	Interprétation	Surdisp.	Ajust.
Guillemot marmette (<i>Uria aalge</i>)	0,023	0,011	0,050	Stable	6,72	0,000
Guillemot marbré (<i>Brachyramphus marmoratus</i>)	0,030	0,006	0,000	Augmentation modérée	11,05	0,000
Cormoran pélagique (<i>Phalacrocorax pelagicus</i>)	0,112	0,005	0,000	Forte augmentation	0,82	0,002
Guillemot colombin (<i>Cepphus columba</i>)	0,077	0,008	0,000	Forte augmentation	1,08	0,328
Macareux rhinocéros (<i>Cerorhinca monocerata</i>)	0,029	0,011	0,013	Augmentation modérée	2,68	0,000
CORM	0,025	0,005	0,000	Augmentation modérée	1,75	0,001

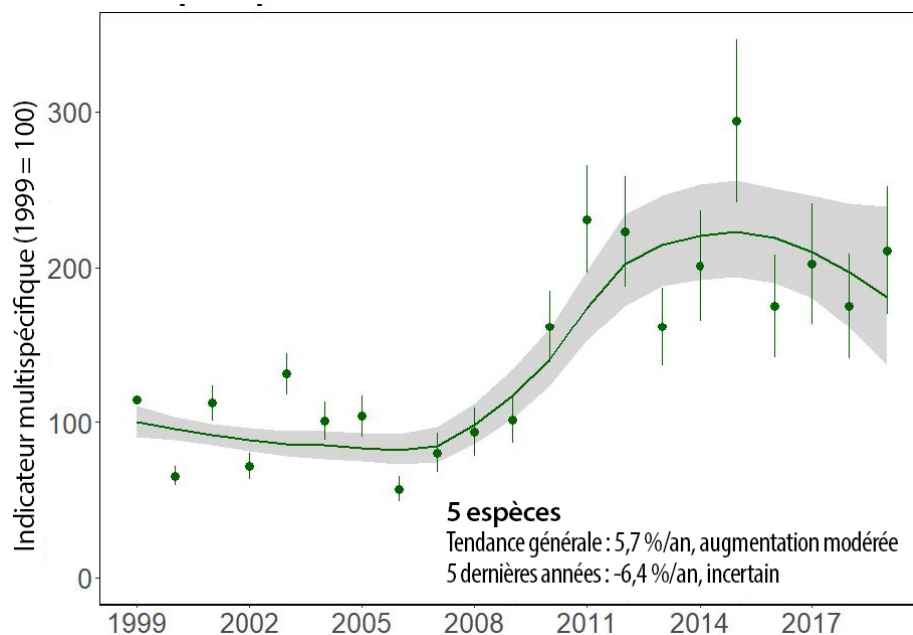


Figure 28-2. Tendance annuelle de l'indicateur multispécifique (IM) pour cinq espèces d'oiseaux de mer (voir le tableau 28-1) dans les eaux côtières de la réserve de parc national Pacific Rim. L'indicateur multispécifique pour l'année de départ (1999) est fixé à 100. Les barres d'écart-type reposent sur 1 000 simulations de Monte Carlo pour chaque année. La bande grise est l'intervalle de confiance à 95 % de la tendance lissée de l'indicateur multispécifique.

Baleine grise : il n'y a pas eu de tendance dans l'abondance de la baleine grise entre 2003 et 2019 (MCO, $F_{1,15} = 0,01$, $p=0,92$), mais l'abondance a varié d'une année à l'autre (figure 28-3; ANOVA, $F = 4,83$, $p < 0,001$; test de comparaison multiple de Tukey-Kramer, 2003 > 2007, 2009, 2017, 2018; 2015 > toutes les années sauf 2003, 2010, 2012, 2016 et 2019). L'abondance de la baleine grise était élevée en 2003 et 2015 et faible en 2007, 2017 et 2018 (figure 28-3).

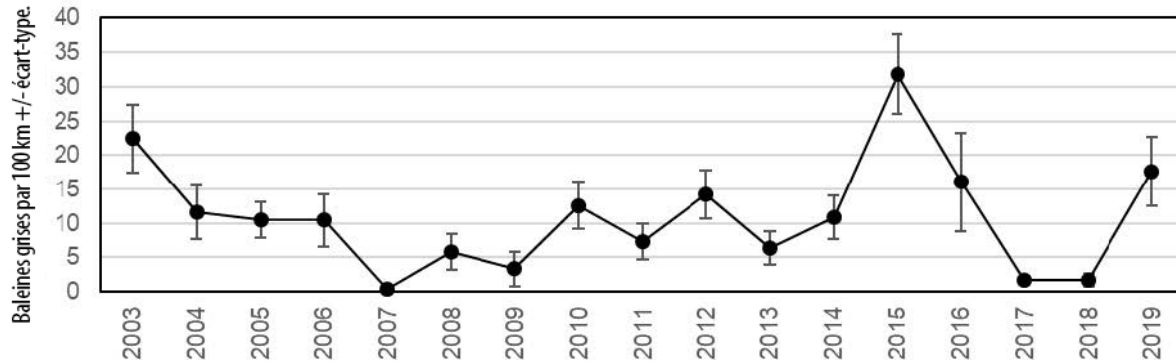


Figure 28-3. Abondance annuelle moyenne de la baleine grise observée lors des relevés (mai à août) le long de l'unité de la piste de la côte Ouest de la réserve de parc national Pacific Rim.

28.4. Facteurs influençant les tendances

Les tendances concernant les oiseaux de mer et la baleine grise reflètent probablement une amélioration de la base alimentaire. Les baleines grises se nourrissent de zooplancton et d'invertébrés côtiers, ainsi que dans les zones d'alimentation au large des côtes de la Colombie-Britannique, ciblant la mysis effilée, les amphipodes, les callianasses et les larves de porcellane (Dunham et Duffus 2001). Les poissons fourrages, proies des oiseaux de mer qui se nourrissent de poissons pélagiques, sont également des zooplanctonophages qui se nourrissent principalement de crustacés, comme les copépodes et les euphausiacés (Hipfner et Galbraith 2013). L'abondance des oiseaux de mer pélagiques se nourrissant de poissons pélagiques, en particulier le Guillemot marbré, et celle de la baleine grise ont suivi des profils similaires et peuvent refléter des conditions océanographiques semblables favorables aux proies zooplanctoniques. En outre, le Guillemot marbré et la baleine grise se rassemblent souvent dans les mêmes zones le long de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) et ce profil est constant d'une année à l'autre (Collyer *et al.* 2008).

28.5. Conséquences de ces tendances

L'augmentation du nombre d'oiseaux de mer et de baleines grises permet de penser que les conditions océaniques soutiennent les populations nicheuses (guillemots et cormorans) et attirent les oiseaux de mer en quête de nourriture (guillemots et stariques) venant de plus loin. En outre, les conditions de recherche de nourriture ont probablement été plus favorables pour les baleines grises que les années précédentes, notamment en 2017 et 2018. Les baleines grises ne semblent pas être en concurrence avec les oiseaux de mer pour les ressources alimentaires dans la région (voir Ainley et Hyrenback 2010).

Une étude antérieure (1996 à 2006) sur les oiseaux de mer le long de la ligne P a fait état de tendances de population positives pour différentes espèces, dont le Guillemot marmette et le Macareux rhinocéros (Thompson *et al.* 2012). Bien que nous ne disposions pas d'informations plus récentes sur les tendances régionales pour toutes les espèces couvertes dans ce rapport, une récente publication américaine sur le Guillemot marbré (McIver *et al.* 2019) suggère un déclin annuel important de 2001 à 2018 dans les eaux côtières de l'État de Washington (-3,9 %)

et des augmentations marquées en Oregon (2,2 %) et en Californie (4,6 %). Étant donné la proximité géographique entre l'État de Washington et la côte ouest de l'île de Vancouver, on pourrait envisager la possibilité que certains Guillemots marbrés de l'État de Washington aient émigré ou se soient nourris dans les eaux de la côte ouest de l'île de Vancouver. Cette hypothèse nécessiterait des analyses approfondies des données télémétriques individuelles.

28.6. References

- Ainley, D.G., and Hyrenback, K.D. 2010. Top-down and bottom-up factors affecting seabird population trends in the California current system (1985-2006). *Prog. Oceanogr.* 84: 242-254.
- Bogaart, P., Van der Loo, M., and Pannekoek, J. 2018. R Package rtrim. Accessed at: <https://cran.r-project.org/web/packages/rtrim/rtrim.pdf>.
- Calambokidis, J., Perez, A., and Laake, J. 2017. Updated analysis of abundance and population structure of seasonal gray whales in the Pacific Northwest, 1996-2017. Final report to NOAA, Seattle, Washington. pp. 1-72.
- Collyer, M., Yakimishyn, J., and Holmes, H. 2008. Integration of habitat needs of Species at Risk in Pacific Rim National Park Reserve. Parks Canada Species at Risk Recovery Action and Education Fund. 81 p.
- Dunham, J.S., and Duffus, D.A. 2001. Foraging patterns of gray whales in central Clayoquot Sound, British Columbia, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 223: 299-310.
- Frasier, T.R., Koroscil, S.M., White, B.N., and Darling, J.D. 2011. Assessment of population substructure in relation to summer feeding ground use in the eastern North Pacific gray whale. *Endang. Species Res.* 14: 39-48.
- Gregory, R.D., van Strien, A., Vorisek, P., Meyling, A.W.G., Noble, D.G., Foppen, R.P., and Gibbons, D.W. 2005. Developing indicators for European birds. *Philos. T. R. Soc. B.* 360: 269-288.
- Hipfner, J.M., and Galbraith, M. 2013. Spatial and temporal variation of the Pacific sand lance *Ammodytes hexapterus* in waters off the coast of British Columbia, Canada. *J. Fish. Biol.* 83: 1094-1111.
- McIver, W., Baldwin, J., Lance, M.M., Pearson, S.F., Strong, C., Lynch, D., Raphael, M.G., Young, R., and Johnson, N. 2019. Marbled murrelet effectiveness monitoring, Northwest Forest Plan: At-sea Monitoring - 2019 summary report. 23 p.
- Pannekoek, J., and van Strien, A. 2004. TRIM 3 Manual (TRends & Indices for Monitoring data). Statistics Netherlands, Amsterdam, Netherlands. Accessed at: <https://www.ebcc.info/art-13/>
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing, version 3.4.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Accessed at: <http://www.Rproject.org/>.

Soldaat, L.L., Pannekoek, J., Verweij, R.J.T., van Turnhout, C.A.M., and van Strien, A.J. 2017. A Monte Carlo method to account for sampling error in multi-species indicators. *Ecol. Indic.* 81: 340–347.

Thompson, S.A., Sydeman, W.J., Santora, J.A., Morgan, K.H., Crawford, W., and Burrows, M.T. 2012. Phenology of pelagic seabird abundance relative to marine climate change in the Alaska Gyre. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 454: 159-170.

29. OBSERVATIONS D'OISEAUX DE MER SUR LA CÔTE EXTÉRIEURE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2019

Mark Hipfner, Environnement et Changement climatique Canada, Division de la recherche sur la faune, Centre de recherche sur la faune du Pacifique, Delta, Colombie-Britannique, Mark.Hipfner@canada.ca

29.1. Faits saillants

- Le Starique de Cassin a connu une saison de reproduction inférieure à la moyenne en 2019 par rapport à la référence de 1996 à 2018 de la plus grande colonie du monde sur l'île Triangle, comme l'état faiblement négatif de l'oscillation décennale du Pacifique permettait de le prévoir.
- Les oisillons du Macareux rhinocéros des îles Pine, Triangle et Protection ont consommé peu de saumons juvéniles en 2019 (et aucun aux îles Cleland et S'Gang Gwaay). En revanche, les quantités consommées à l'île Lucy étaient parmi les plus élevées en treize ans d'étude. Les saumons juvéniles sont une proie secondaire pour ces oiseaux.

29.2. Description de la série chronologique

Chaque année depuis 1996, sur l'île Triangle, on calcule et estime la masse moyenne à 25 jours des oisillons du Starique de Cassin comme une approximation du taux de croissance; c'est un indicateur de la survie ainsi que de la disponibilité des proies zooplanctoniques (Hipfner *et al.* 2020).

Chaque année, depuis 2006, des scientifiques d'Environnement Canada et de Pêches et Océans Canada quantifient la prédation par le Macareux rhinocéros sur les saumoneaux comme indicateur de la mortalité des saumons et du succès de l'alimentation des oiseaux de mer (Tucker *et al.* 2016). Les régimes alimentaires des oisillons ont été quantifiés aux îles Pine, Lucy, Triangle, Cleland et S'Gang Gwaay, et aux États-Unis, des collaborateurs ont quantifié les régimes alimentaires sur l'île Protection.

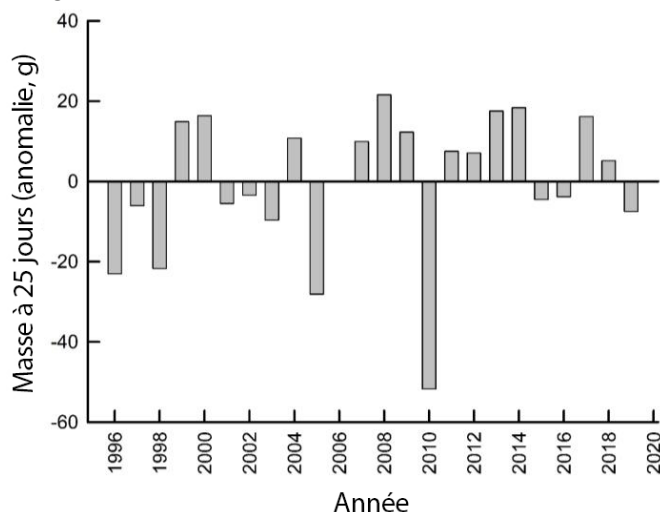


Figure 29-1. Anomalie annuelle de la masse moyenne à 25 jours (une approximation du taux de croissance) des oisillons du Starique de Cassin sur l'île Triangle, en Colombie-Britannique, en 2019 par rapport à la base de référence de 1996 à 2018.

29.3. État et tendances

En 2019, les taux de croissance du Starique de Cassin étaient inférieurs à la moyenne à long terme (1996 à 2018) (figure 29-1). La masse des oisillons à 25 jours était la 6^e plus basse de la série chronologique.

Il existe une variation temporelle et spatiale marquée dans l'importance et la composition des espèces et des stocks de saumon dans le régime alimentaire des oisillons du Starique rhinocéros. En général, le saumon est le plus important à l'île Pine; en 2019, la quantité de saumon dans les régimes alimentaires

était faible (figure 29-2), alors que la quantité de la principale proie de cet oiseau, le lançon du Pacifique (*Ammodytes personatus*), était également faible.

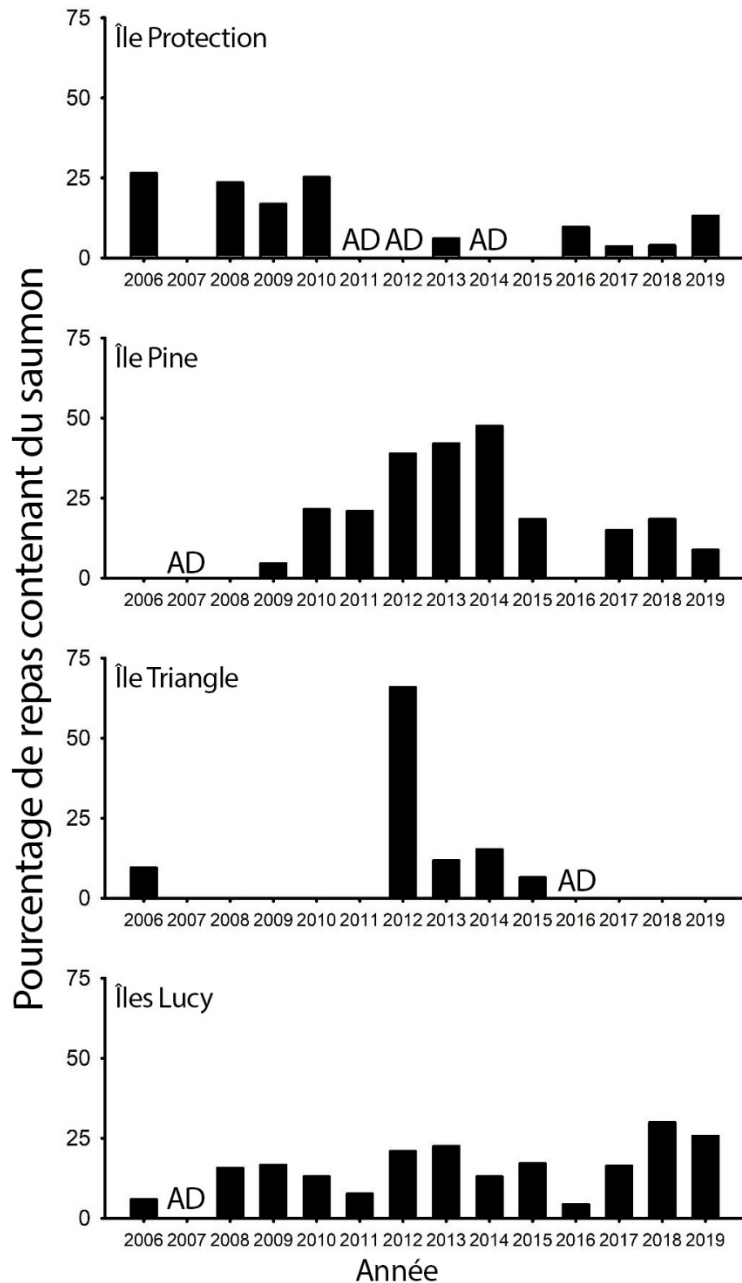


Figure 29-2. Pourcentage de repas des oisillons du Macareux rhinocéros comprenant un ou plusieurs saumons (rose, kéta ou rouge) dans trois colonies en Colombie-Britannique, dans les îles Triangle, Pine et Lucy, et dans l'État de Washington, sur l'île Protection, de 2006 à 2019. Aucun n'a été livré sur l'île Cleland ou S'Gang Gwaay.

Le saumon a généralement été moins important dans l'ensemble, et moins variable, dans les régimes alimentaires à l'île Lucy, mais la quantité présente en 2019 était parmi les plus élevées de toutes les années de la période d'étude. Le saumon n'a été un élément important du régime alimentaire des oisillons du Starique à l'île Triangle qu'en 2012 (principalement des saumons rouges du Fraser), et était totalement absent de l'échantillonnage en 2018. Nos collaborateurs dans l'État de Washington ont suivi le régime alimentaire des Macareux rhinocéros à l'île Protection pendant la même période, et le saumon était rare dans le régime alimentaire des oisillons du Starique à cet endroit en 2019.

29.4. Facteurs influençant les tendances

Comme d'autres paramètres de la reproduction, les taux de croissance des oisillons du Starique de Cassin (*Ptychoramphus aleuticus*) dépendent très fortement des conditions océanographiques, qui ont une profonde influence sur les profils saisonniers de la disponibilité des proies. En général, les oisillons du Starique se développent plus rapidement sur l'île Triangle, la plus grande colonie de reproduction au monde, pendant les années d'eaux froides et d'oscillation décennale du Pacifique (PDO) négative, lorsque le copépode subarctique

Neocalanus cristatus est abondant dans les eaux du large et persiste dans son régime alimentaire pendant la majeure partie de la période d'alimentation, de la mi-mai à la fin juin (Hipfner *et al.* 2020). Des taux de croissance inférieurs à la moyenne en 2019 étaient prévus

compte tenu de l'état faiblement positif de la PDO durant l'hiver et le printemps précédents (figure 29-1).

La principale espèce proie dont se nourrissent les oisillons est le lançon du Pacifique (*Ammodytes personatus*), et les oiseaux réagissent positivement aux variations de l'abondance de cette proie (Bertram et Kaiser 1993). Les espèces proie secondaires, notamment les saumoneaux, le hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) et les sébastes juvéniles (*Sebastes* spp.), représentent une part plus importante du régime alimentaire les années où le lançon est moins disponible. Cependant, on comprend encore mal le rôle des autres facteurs qui déterminent la représentation du saumon dans les régimes alimentaires, en particulier la variance environnementale physique.

29.5. Conséquences de ces tendances

Les faibles taux de croissance des oisillons du Starique de Cassin se traduiront par une mauvaise survie des oisillons et une croissance plus faible de la population. Le faible taux de croissance indique également que les conditions océaniques chaudes continuent à influencer le zooplancton et que ces effets sont transférés aux prédateurs de niveau trophique supérieur.

Les taux de mortalité pendant la phase marine du cycle biologique du saumon du Pacifique dépassent généralement 90 %, et il est largement admis que la plupart des mortalités sont dues à la prédation dans les premières semaines ou les premiers mois suivant l'entrée dans l'océan (Beamish et Mankhen 2001). Pendant leur migration vers le nord, la grande majorité des saumons roses (*O. gorbuscha*), des saumons kétas (*O. keta*) et des saumons rouges (*O. nerka*) des stocks du sud et du centre de la Colombie-Britannique passent devant des regroupements de centaines de milliers de Macareux rhinocéros (*Cerorhinca monocerata*) qui se reproduisent dans les colonies dispersées le long des côtes centrale et nord de la province. Les Stariques sont des oiseaux de mer plongeurs en profondeur qui se propulsent par leurs ailes et s'alimentent principalement dans les 5 à 10 premiers mètres de la colonne d'eau et dans un rayon de ~90 km de leurs colonies de reproduction. La migration des saumoneaux a lieu en juin et juillet, ce qui coïncide avec la période où les Stariques apportent des poissons entiers et intacts, y compris des saumoneaux, à leurs petits. Ces prédateurs pourraient avoir un impact sur la survie des saumons.

29.6. References

- Beamish, R.J., and Mankhen, C. 2001. A critical size and period hypothesis to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change. *Prog. Oceanogr.* 49: 423-437.
- Bertram, D.F., and Kaiser, G.W. 1993. Rhinoceros auklet (*Cerorhinca monocerata*) nestling diet may gauge Pacific sandlance (*Ammodytes hexapterus*) recruitment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1908-1915.
- Hipfner, J.M., Galbraith, M., Bertram, D.F., and Green, D.J. 2020. Basin-scale oceanographic processes, zooplankton community structure, and diet and reproduction of a sentinel North Pacific seabird over a 22-year period. *Prog. Oceanogr.* 182: 102290.

Tucker, S., Hipfner, J.M., and Trudel, M. 2016. Size- and condition-dependent predation: a seabird disproportionately targets substandard juvenile salmon. *Ecology* 97: 461-471.

30. ÉTAT ET TENDANCES DES ÉCOSYSTÈMES – INDICATEURS DE LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER

Jennifer L. Boldt*, Caihong Fu et R. Ian Perry, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, [*Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca](mailto:Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca)

30.1. Faits saillants

- L'état et les tendances de certains indicateurs environnementaux, anthropiques et écosystémiques peuvent être simplifiés en quelques tendances importantes.
- La plupart des relations pression-réaction sont linéaires; trois cas non linéaires peuvent fournir des indicateurs avancés avec des seuils.
- Les pressions les plus importantes sont les pressions anthropiques et environnementales.

30.2. Description des indices

Les objectifs de cette étude étaient de définir des indicateurs pour la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) et : 1) documenter l'état et les tendances de l'écosystème; 2) examiner les relations pression-réaction des facteurs humains et environnementaux; 3) déterminer les relations non linéaires entre les pressions et les réactions de l'écosystème; et 4) définir des seuils qui peuvent aider à déterminer, cibler ou limiter les points de référence.

Pour les objectifs écosystémiques déjà définis (énumérés dans le tableau 30-1), les indicateurs des pressions et des réactions environnementales, anthropiques et écosystémiques ont été choisis en fonction des critères et des cadres de sélection des indicateurs (p. ex. Bundy *et al.* 2017; cadre Force motrice-pression-état-impact-réponse (DPSIR); tableau 30-1) et des indicateurs de base définis par des études antérieures (p. ex. Shin *et al.* 2010a, 2010b; Link *et al.* 2010; Fu *et al.* 2019; Boldt *et al.* 2014). Les séries chronologiques des indicateurs ont été assemblées pour la période 1986 à 2017 (tableau 30-1 et figure 30-1). On a recouru à des analyses factorielles dynamiques multivariées (AFD; Holmes *et al.* 2012) pour dégager les tendances communes parmi les différents ensembles d'indicateurs environnementaux, anthropiques et écosystémiques. Les analyses de la forêt de gradients (Ellis *et al.* 2012) ont permis de déterminer les réactions de l'écosystème aux pressions environnementales et anthropiques et aux seuils. On a examiné les relations pression-réaction uniques pour détecter les non-linéarités (selon les méthodes de Samhuri *et al.* 2017), et utilisé des modèles additifs généralisés (MAG; Hastie et Tibshirani 1990; Large *et al.* 2013) pour examiner les relations non linéaires et les seuils. Il s'agit d'un travail en cours, dont l'un des objectifs est d'introduire des indicateurs de type synthèse, tels que le niveau trophique de la communauté étudiée et les tendances des analyses factorielles dynamiques, dans les rapports sur l'état des océans.

30.3. État et tendances

Les indicateurs écosystémiques pour la côte ouest de l'île de Vancouver affichent des tendances variables de 1986 à 2017 (figure 30-1); les tendances les plus notables sont l'augmentation de la biomasse des relevés multispécifiques à petites mailles, des débarquements totaux et des otaries de Steller au cours de la série chronologique, ainsi que le déclin des copépodes subarctiques depuis les années 1990 et la baisse du niveau trophique des prises et du rapport entre les prises remises à l'eau et les débarquements du début des années 2000 à 2012 environ (figure 30-1). Les analyses factorielles dynamiques multivariées ont réduit ces tendances à cinq : une pour les indicateurs environnementaux, une pour les indicateurs anthropiques et trois pour les indicateurs des écosystèmes (figure 30-1). L'analyse de la forêt de gradients a mis en évidence trois pressions importantes (anthropiques et environnementales) qui peuvent être associées aux seuils des écosystèmes (non-linéarités) : oscillation décennale du Pacifique (PDO), rapport entre les prises remises à l'eau et les débarquements, et période de la transition printanière (figure 30-2). La plupart des relations pression-réaction étaient linéaires (ou linéaires avec autocorrélation); trois cas non linéaires ont été déterminés à l'aide de modèles additifs généralisés. Des non-linéarités ont été constatées entre la proportion de poissons prédateurs et la PDO, l'abondance des copépodes du sud et la PDO, et l'abondance des copépodes boréaux et la période de la transition printanière (figure 30-3).

Tableau 30-1. Indicateurs des pressions environnementales et anthropiques (A); objectifs écosystémiques, pressions et réactions des écosystèmes (B), abréviations et sources des données.

(A)

Composante	Pression	Indicateur	Source
Environnementale	Variation de la SST	Oscillation décennale du Pacifique (PDO_Annual)	a
	Source d'eau	Oscillation du gyre du Pacifique Nord (NPGO)	b
	Variation de la SST	Indice multivarié de l'ENSO version 2 (MEI_Annual)	c
	Variation de la SST	Température locale de la surface de la mer (SST_satellite)	d
	Disponibilité des nutriments	Ampleur de la remontée d'eau	e
	Disponibilité des nutriments	Période de la transition printanière	e
Anthropique	Prélèvements par la pêche (débarquements)	Total des débarquements (Tot_Landings)	f
	Prélèvements par la pêche (rejets)	Ratio rejets/débarquements (Released_DivBy_Landings)	f
	Modification des fonctions des écosystèmes	Niveau trophique des débarquements (TL_Landings)	g
	Modification des fonctions des écosystèmes	Prises des groupes selon l'alimentation : benthivores, planctonophages, zoopiscivores, piscivores	f
	Modification des fonctions des écosystèmes	Prises des groupes selon les habitats : démersaux, pélagiques	f
	Modification des fonctions des écosystèmes	Indice de vulnérabilité intrinsèque (IVI)	g

(B)

Composante	Objectif	Indicateur	Source
Écosystème	Maintenir la structure et la fonction	Zooplankton « dur » (Zoopl_SVI_Crunchy)	h
	Maintenir la structure et la fonction	Zooplankton « mou »	h
	Maintenir la structure et la fonction	Copépodes du sud	h
	Maintenir la structure et la fonction	Copépodes boréaux	h
	Maintenir la structure et la fonction	Copépodes subarctiques	h
	Maintenir la structure et la fonction	Niveau trophique des espèces visées par le relevé (TL_SurveyedComm)	i
	Maintenir la structure et la fonction	Abondance des otaries de Steller	j
	Maintenir la structure et la fonction	Longueur moyenne (Mean_Len)	g
	Maintenir la stabilité et la résistance	Longueur moyenne (Mean_Len)	g
	Conserver la biodiversité	Proportion de poissons prédateurs (Prop_PredFish)	i
	Maintenir le potentiel des ressources	Biomasse des espèces visées par le relevé (Tot_B_Survey)	i
	Maintenir le potentiel des ressources, la structure, la fonction	Relevé sur la biomasse des groupes selon l'alimentation : benthivores, planctonophages, zoopiscivores, piscivores	i
Maintenir le potentiel des ressources, la structure, la fonction	Relevé sur la biomasse des groupes selon les habitats : pélagiques, démersaux	i	

- a. <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>; Mantua et al. 1997
- b. Di Lorenzo et al. 2008
- c. National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 20 Aug 2013. "The Climate Data Guide: Multivariate ENSO Index." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/multivariate-enso-index>.
- d. "https://www.ncdc.noaa.gov/oisst. Dataset Citation: Banzon et al. 2016, Reynolds et al. 2007.
- e. Hourston and Thomson 2019
- f. Maria Surry, Shelee Hamilton, Leslie Barton, Mary Thiess (DFO)
- g. Caihong Fu (DFO)
- h. Moira Galbraith, Kelly Young, Ian Perry (DFO); Galbraith and Young (2018)
- i. Brenda Waddell, Ian Perry, small mesh multispecies survey (DFO)
- j. Olesiuk 2018

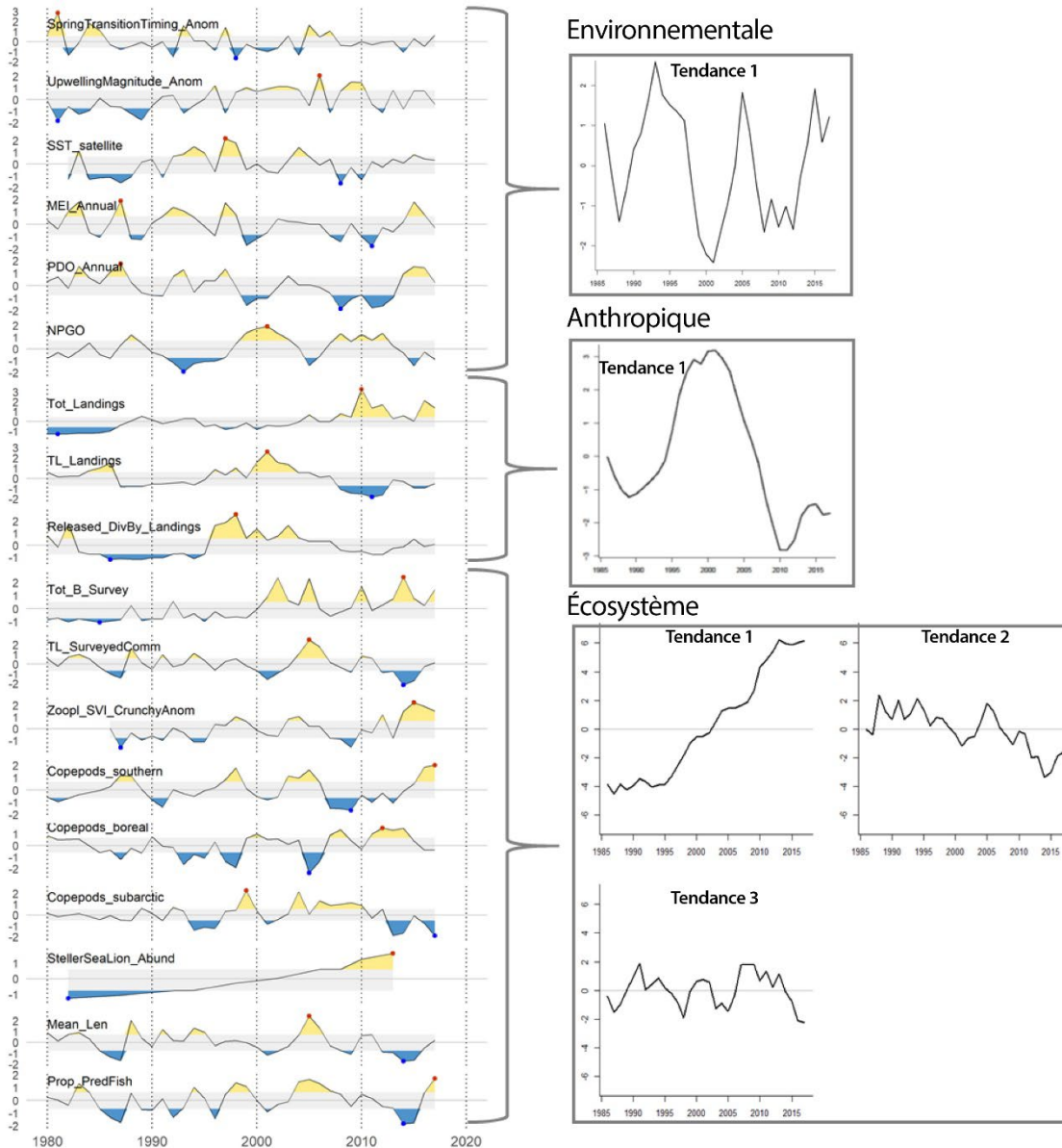


Figure 30-1. Anomalies des séries chronologiques des indicateurs des pressions environnementales et anthropiques, et réactions des écosystèmes (colonne de gauche) et tendances dégagées à partir de ces indicateurs par des analyses factorielles dynamiques multivariées (colonne de droite), pour la côte ouest de l'île de Vancouver. Voir les abréviations des indicateurs dans le tableau 30-1. Le point bleu est la valeur minimale et le point orange est la valeur maximale des anomalies des séries chronologiques. La zone grisée représente les 25^e et 75^e quartiles.

30.4. Facteurs à l'origine de ces tendances

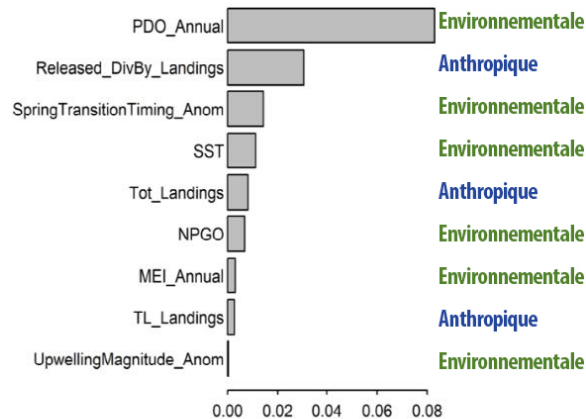


Figure 30-2. Facteurs environnementaux et humains importants des réactions des écosystèmes déterminés grâce à l'analyse de la forêt de gradients.

Les facteurs à l'origine des tendances dans plusieurs des séries chronologiques des différents indicateurs sont examinés ailleurs dans le présent rapport (p. ex- Galbraith et Young, section 16, Perry *et al.*, section 23). Les tendances des débarquements, du niveau trophique des débarquements et du rapport entre les prises remises à l'eau et les débarquements ont été déterminées en partie par les changements de la biomasse, mais aussi par les mesures de gestion. Une exploration plus approfondie des résultats des analyses factorielles dynamiques (p. ex. les relations entre les tendances) et de la forêt de gradients permettra de préciser les relations pression-réaction importantes. Les seuils pour les réactions

non linéaires peuvent être définis par des analyses des modèles additifs généralisés. Les analyses futures devront tenir compte de la non-stationnarité des relations.

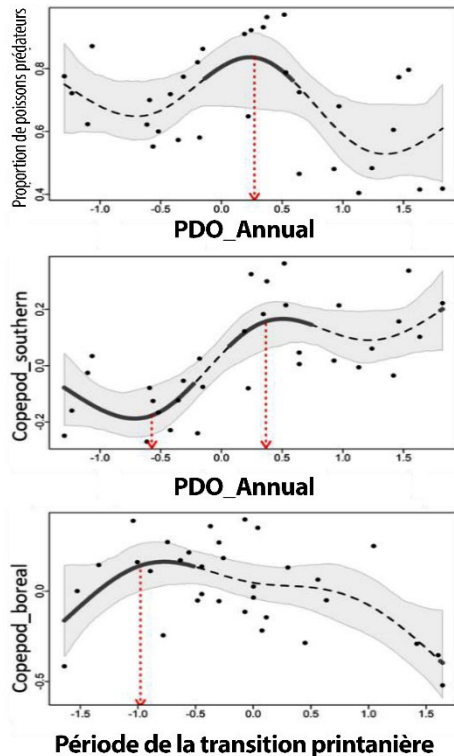


Figure 30-3. Trois relations non linéaires entre les pressions environnementales et les réactions de l'écosystème définies avec des modèles additifs généralisés (MAG). La ligne en pointillés est le lissage du MAG, la zone grisée est l'IC à 95 %, les points sont des données brutes, la ligne pleine épaisse est la plage du seuil où l'IC à 95 % de la dérivée seconde de la ligne lissée du MAG n'inclut pas 0, la flèche pointillée rouge indique la meilleure estimation des emplacements du seuil.

30.5. Conséquences des tendances

Une gestion saine des pêches nécessite la prise en compte des facteurs généraux qui influencent les écosystèmes marins. Compte tenu de l'initiative de l'approche écosystémique nationale de la gestion des pêches, on s'intéresse de plus en plus à l'état des écosystèmes marins. Plusieurs pressions peuvent avoir un impact sur la structure et les fonctions marines. Les réactions non linéaires des écosystèmes aux facteurs et pressions climatiques et anthropiques peuvent indiquer des seuils, où de légers changements de la pression peuvent provoquer des réactions importantes de l'écosystème. La détermination des relations non linéaires et des seuils peut fournir des indicateurs avancés des changements écosystémiques.

30.6. Remerciements

Merci aux personnes qui ont fourni des données ou un code R : Leslie Barton (MPO), Moira Galbraith (MPO), Shelee Hamilton (MPO), Elliott Hazen (NOAA), Kirsten Holsman (NOAA), Roy Hourston (MPO), Mary Hunsicker (NOAA), Peter Olesiuk (retraité du MPO), Xiujuan Shan (Yellow Sea Fisheries Research Institute), Mary Thiess (PC), Richard Thomson (MPO), Brenda Waddell (retraitée du MPO).

30.7. References

- Banzon, V., Smith, T.M., Chin, T.M., Liu, C., and Hankins, W. 2016. A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth Syst. Sci. Data* 8: 165–176, doi:10.5194/essd-8-165-2016.
- Boldt, J.L., Martone, R., Samhuri, J., Perry, R.I., Itoh, S., Chung, I.K., Takahashi, M., and Yoshie, N. 2014. Ecosystem indicators and approaches to characterize ecosystem responses to multiple stressors. *Oceanography* 27(4): 116-133, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.91>.
- Bundy, A., Gomez, C., and Cook, A.M. 2017. Guidance framework for the selection and evaluation of ecological indicators. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3232: xii + 212 p.

- Di Lorenzo, E., Schneider, N., Cobb, K.M., Franks, P.J.S., Chhak, K., Miller, A.J., McWilliams, J.C., Bograd, S.J., Arango, H., Curchister, E. Powell, T.M., Rivière, P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.* 35 (8): L08607, doi:10.1029/2007GL032838.
- Ellis, N., Smith, S.J., Pitcher, C.R. 2012. Gradient forests: calculating importance gradients on physical predictors. *Ecology* 93: 156-168.
- Fu, C., Xu, Y., Bundy, A., Grüss, A., Coll, M., Heymans, J.J., Fulton, E.A., Shannon, L.J., Halouani, G., Velez, L., Akoglu, E., Lynam, C.P., and Shin, Y.-J. 2019. Making Ecological Indicators Management Ready: Assessing their ability to detect impacts of fishing and environmental change. *Ecological Indicators* 105: 16-28.
- Galbraith, M., and Young, K. 2018. West Coast British Columbia zooplankton biomass anomalies 2017. In *State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2017*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3266. Edited by P.C. Chandler, S.A. King, and J.L. Boldt. pp. 69–75. Available from <https://dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2017/index-eng.html>.
- Hastie, T., and Tibshirani, R. 1990. *Generalized additive models*. John Wiley & Sons, Inc.
- Holmes, E.E., Ward, E.J., and Wills, K. 2012. MARSS: Multivariate autoregressive state-space models for analyzing time-series data. *R Journal* 4: 11-19.
- Hourston, R.A.S., and Thomson, R.E. 2019. Wind-driven upwelling/downwelling along the northwest coast of North America: timing and magnitude. p. 21-23 In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds), *State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2018*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.
- Large, S.I., Fay, G., Friedland, K.D., Link, J.S. 2013. Defining trends and thresholds in responses of ecological indicators to fishing and environmental pressures. *ICES Journal of Marine Science* 70(4): 755-767.
- Link, J.S., Megrey, B.A., Miller, T.J., Essington, T., Boldt, J.L., Bundy, A., Moksness, E., Drinkwater, K.F., and Perry, R.I. 2010. Comparative analysis of marine ecosystems: international production modelling workshop. *Biology Letters* 6(6): 723–726 doi:10.1098/rsbl.2010.0526.
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., and Francis, R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 1069-1079.
- Olesiuk, P.F. 2018. Recent trends in Abundance of Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*) in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/006. v + 67 p.
- Reynolds, R.W., Smith, T.M., Liu, C., Chelton, D.B., Casey, K.S. and Schlax, M.G. 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate* 20: 5473–5496, doi:10.1175/JCLI-D-14-00293.1.
- Samhuri, J.F., Andrews, K.S., Fay, G., Harvey, C.J., Hazen, E.L., Hennessey, S.M., Holsman, K., Hunsicker, M.E., Large, S.I., Marshall, K.N., Stier, A.C., Tam, J.C., and Zador, S.G.

2017. Defining ecosystem thresholds for human activities and environmental pressures in the California Current. *Ecosphere* 8(6): e01860. 10.1002/ecs2.1860

- Shin, Y.-J., Shannon, L.J., Simier, M., Coll, M., Fulton, E.A., Link, J.S., Jouffre, D., Ojaveer, H., Mackinson, S., Heymans, J.J., Raid, T. 2010a. Can simple be useful and reliable? Using ecological indicators to represent and compare the states of marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 67: 717–731.
- Shin, Y.-J., Shannon, L.J., Bundy, A., Coll, M., Aydin, K., Bez, N., Blanchard, J.L., Borges, M. F., Diallo, I., Diaz, E., Heymans, J.J., Hill, L., Johannesen, E., Jouffre, D., Kifani, S., Labrosse, P., Link, J.S., Mackinson, S., Masski, H., Möllmann, C., Neira, S., Ojaveer, H., Ould Mohammed Abdallahi, K., Perry, I., Thiao, D., Yemane, D., and Cury, P.M. 2010b. Using indicators for evaluating, comparing, and communicating the ecological status of exploited marine ecosystems. 2. Setting the scene. *ICES Journal of Marine Science* 67: 692–716.

31. PASSER À UN PLAN DE SURVEILLANCE POUR LA ZONE DE PROTECTION MARINE DU MONT SOUS-MARIN SGAAN KINGHLAS-BOWIE

Laís Chaves¹, Cherisse DuPreez², Tammy Norgard², Molly Clarkson¹ et Jacinthe Amyot²

¹Council of the Haida Nation, Haïda Gwaii, Colombie-Britannique, lais.chaves@haidanation.com; molly.clarkson@haidanation.com

²Pêches et Océans Canada, région du Pacifique, Colombie-Britannique, cherisse.dupreez@dfo-mpo.gc.ca; tammy.norgard@dfo-mpo.gc.ca; jacinthe.amyot@dfo-mpo.gc.ca

31.1. Faits saillants

- L'élaboration d'un plan de surveillance est une priorité pour la mise en œuvre du plan de gestion de la zone de protection marine du mont sous-marin SGAan Kinghlas-Bowie (ZPM SK-B). L'équipe technique chargée de superviser la mise en œuvre du plan de gestion de la zone de protection marine recherche actuellement des partenariats potentiels pour soutenir les activités de surveillance à long terme dans la ZPM.

31.2. Bref historique de la création de la zone de protection marine du mont sous-marin SGAan Kinghlas-Bowie

En 1997, le mont sous-marin SGAan Kinghlas a été désigné comme zone de protection de la Nation Haida. En 2008, le mont sous-marin SGAan Kinghlas-Bowie (SK-B), ainsi que ses deux monts sous-marins voisins, ont été désignés comme ZPM en vertu de la *Loi sur les océans* et font l'objet d'une entente de gestion coopérative entre la Nation Haïda (représentée par le Council of the Haida Nation, CHN) et le gouvernement du Canada (représenté par Pêches et Océans Canada, MPO). Le plan de gestion de la ZPM SK-B a été finalisé en 2019 (CHN et MPO 2019). Le mont sous-marin qui a donné son nom à la ZPM, SK-B, est un grand mont sous-marin unique de par sa faible profondeur, qui s'élève à moins de 24 m de la surface de la mer et qui abrite des espèces d'animaux et de varech généralement limitées à la côte. Son importance écologique et sa protection intéressent une communauté mondiale.

31.3. But de la conservation et objectifs stratégiques et opérationnels

Le cadre de gestion du plan de gestion de la ZPM SK-B définit un but de conservation et quatre buts de gestion. Les objectifs stratégiques et les objectifs opérationnels liés à ces buts sont décrits dans le plan. Ils serviront finalement de base à l'élaboration des indicateurs et des points de référence à déterminer dans le plan de surveillance de la ZPM.

31.4. Mise en œuvre du plan de gestion et priorités

Le CHN et le MPO se sont engagés à collaborer pour mettre en œuvre le présent plan de gestion de la ZPM SK-B, et suivront les principes directeurs, les mandats, les priorités et les capacités en matière de gestion des océans appliqués à SK-B. L'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de surveillance sont une priorité, car l'état et les tendances des indicateurs définis permettront au conseil de gestion de la ZPM SK-B d'évaluer l'efficacité des efforts de gestion et de procéder aux ajustements nécessaires.

Le plan (voir le tableau 31-1), y compris ses buts et objectifs, sera examiné en collaboration et mis à jour tous les cinq ans afin de tenir compte des besoins et priorités émergents en matière de gestion, ainsi que des résultats des rapports de suivi et des plans de travail annuels (tableau 31-1).

Tableau 31-1 : Ventilation des objectifs stratégiques et opérationnels liés au but de conservation du plan de gestion de la ZPM SK-B (but 1). Les fonctions des écosystèmes, l'habitat structurel et la biodiversité unique de la ZPM SK-B sont protégés et conservés.

OBJECTIFS STRATÉGIQUES	OBJECTIFS OPÉRATIONNELS
1.1 Les populations d'espèces vulnérables, endémiques, localisées et rares sont protégées et conservées.	a. L'état et l'abondance des coraux et éponges en eau froide correspondent à la fourchette de l'état naturel.
	b. L'état et l'abondance des autres invertébrés correspondent à la fourchette de l'état naturel.
	c. L'état et l'abondance des poissons (sébeste à taches noires et à œil épineux, bocaccio, sébeste aux yeux jaunes, morue charbonnière, zaprora) correspondent à la fourchette de l'état naturel.
1.2 Les habitats qui sont essentiels pour certains stades du cycle biologique des espèces se trouvant dans la ZPM sont protégés et conservés.	a. Les habitats benthiques vulnérables correspondent à la fourchette de l'état naturel.
	b. Les conditions pélagiques et à la surface de l'eau correspondent à la fourchette de l'état naturel.
1.3 Les réseaux trophiques de l'écosystème sont protégés et conservés.	a. Les fonctions des écosystèmes et la structure trophique correspondent à la fourchette de l'état naturel.

31.5. Bref historique des recherches menées dans la ZPM SK-B et prochaines étapes

Des relevés sporadiques ont été menés sur le mont sous-marin SK-B depuis les années 1940 à des fins géologiques, biologiques et navales, ce qui en fait l'un des monts sous-marins les mieux étudiés au monde. Les informations sur les poissons, les espèces d'invertébrés benthiques et mobiles, de même que les habitats benthiques, sont disponibles à partir des registres de la pêche commerciale et des relevés réalisés par des plongeurs sous-marins et des véhicules submersibles. Plus récemment (2011 à 2017), des données sur la répartition des coraux et des éponges ont été recueillies en partenariat avec la pêche au casier de la morue charbonnière, ainsi qu'avec le trafic maritime à l'aide d'hydrophones. En 2018, une expédition de recherche collaborative (CHN, MPO, Oceana Canada, Ocean Networks Canada) sur le mont sous-marin SK-B a permis de réaliser une cartographie supplémentaire des fonds marins,

d'enregistrer des vidéos et de collecter des espèces, ainsi que de placer des marqueurs dans les zones déterminées pour effectuer la surveillance à long terme. Les résultats préliminaires comprennent la découverte d'espèces nouvelles pour la science et l'identification de nouveaux habitats de coraux des grands fonds, plus abondants et plus diversifiés que ceux enregistrés précédemment. De plus amples informations sur cette expédition seront publiées dans les années à venir.

Le conseil de gestion soutient les activités de recherche et de surveillance dans la ZPM SK-B, pour autant que ces activités ne compromettent pas la protection et la conservation de la ZPM et que les impacts soient réduits au minimum si nécessaire. Avant de pouvoir mener des activités de surveillance ou de recherche scientifique dans la ZPM SK-B, les chercheurs doivent présenter un plan d'activité au MPO. Le conseil de gestion étudie les plans d'activité afin de s'assurer de leur cohérence avec les objectifs et buts décrits dans le plan de gestion, et il formule une recommandation au CHN et au MPO. Les chercheurs sont encouragés à proposer des activités de recherche et à travailler avec l'équipe technique pour cerner les lacunes et répondre aux besoins en matière de surveillance.

31.6. Facteurs influençant les tendances futures

En raison de son éloignement, de la réglementation et d'autres facteurs, les activités sont limitées dans la ZPM SK-B (p. ex. pas de pêche commerciale, tourisme limité) par rapport aux ZPM côtières. Dans cette optique, la ZPM SK-B est un site sentinelle potentiel pour détecter les changements environnementaux à plus grande échelle (effets des changements climatiques, bruit sous-marin) et leurs effets sur les environnements des grands fonds.

31.7. Reference

CHN and DFO 2019. SGaan Kinghlas–Bowie Seamount Gin siigee tl'a damaan kinggangs gin k'aalaagangs Marine Protected Area Management Plan 2019. 45 p.

32. ÉVÉNEMENTS INHABITUELS SURVENUS DANS LES EAUX MARINES DU PACIFIQUE CANADIEN EN 2019

Jennifer L. Boldt¹, R. Ian Perry¹ et Peter C. Chandler²

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca

² Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique

32.1. Faits saillants

- Des événements inhabituels se produisent chaque année dans les eaux marines du Pacifique canadien mais, souvent, ils ne sont pas signalés ou ne sont pas liés au contexte environnemental général.
- Plusieurs événements inhabituels ont été déclarés en 2019, notamment : le mois de juillet le plus chaud jamais enregistré sur la planète (terre et air), l'augmentation des échouements de baleines grises, des épisodes de mortalité du krill, l'apparition d'une tortue olivâtre et d'un poisson porc-épic.

32.2. Description de la série chronologique

Chaque année, des événements marins inhabituels se produisent dans le nord-est de l'océan Pacifique : certains sont signalés au MPO, mais beaucoup ne le sont pas. Ils sont souvent considérés comme des événements « uniques », isolés des autres événements dans le temps, l'espace et par différents observateurs. Il est donc difficile de présenter un récit complet ou une synthèse de ces observations. Toutefois, si un nombre suffisant de ces événements est observé et signalé, il sera peut-être possible de dégager des profils et des processus plus larges qui nous indiqueront collectivement comment nos écosystèmes marins changent et réagissent à diverses pressions. Par exemple, le programme REDMAP (Range Extension Database and Mapping Project; <http://www.redmap.org.au>), en Australie, invite les scientifiques citoyens et le public intéressé à signaler leurs observations d'organismes et événements inhabituels à un réseau structuré, qui permet ensuite de les utiliser dans des publications scientifiques (et autres) (p. ex. Pecl *et al.* 2014, Lenanton *et al.* 2017). Ce rapport présente quelques événements inhabituels survenus dans les eaux canadiennes du Pacifique en 2019 qui ont été signalés au personnel scientifique du MPO. Certains peuvent être inclus dans d'autres rapports de ce document, mais d'autres observations peuvent ne pas être présentées, en détail ou du tout. En outre, les personnes à qui cette affiche a été décrite ont été invitées à faire part de leurs propres observations d'événements inhabituels, étranges et merveilleux lors de la réunion sur l'état de l'océan Pacifique, qui figurent dans le présent rapport.

32.3. État et tendances

Les observations en 2019 qui ont été rapportées au MPO par les participants à l'atelier sur l'état de l'océan Pacifique en 2020 sont présentées dans le tableau 1-1. Le mois de juillet le plus chaud jamais enregistré a été observé en 2019, avec des températures terrestres et atmosphériques mondiales supérieures de 0,95 °C à la moyenne du XX^e siècle pour le mois de juillet. Les changements climatiques ont incité des milliers de scientifiques de 156 pays à

déclarer une urgence climatique (Ripple *et al.* 2020, <https://scientistswarning.forestry.oregonstate.edu/>). Dans les eaux du nord-est de l’océan Pacifique, on a constaté une augmentation des échouements de baleines grises; un nombre presque record de baleines grises mortes a été enregistré au large des côtes de la Californie et de l’Oregon, en plus des 11 qui se sont échouées dans l’État de Washington. En Colombie-Britannique, deux épisodes de mortalité d’euphausiacés (krill) ont été observés, et des fleurs d’eau nuisibles denses ont été repérées dans la baie Howe et le nord du détroit de Georgie, provoquant une coloration anormale de l’eau. Des efflorescences algales nuisibles près de l’île Binns, de Bawden Point et de Ross Pass dans le bras de mer Herbert, près de Tofino, ont entraîné des épisodes de mortalité des poissons dans trois exploitations aquacoles en novembre. Des espèces inhabituelles ont été observées en Colombie-Britannique, notamment une tortue olivâtre dans le bras de mer Alberni et un poisson porc-épic au large de la côte ouest de l’île de Vancouver (COIV), près de la rivière Jordan.

Tableau 32-1. Observations en 2019 d’événements marins étranges, merveilleux ou inhabituels signalés en 2019 ou rapportés lors de la réunion sur l’état de l’océan Pacifique en 2020.

Événement	Lieu	Date	Signalé par	(Brève) description
Épisode de mortalité de krill	Beach Gardens Resort and Marina, rivière Powell	27 mars 2019	Darlene Williams; mypowellrivernow.com	- semblait être des krill femelles durant l’accouplement ou peu après. - pourrait être lié à une prolifération antérieure et aux conditions anoxiques ou à une très faible teneur en oxygène qui en ont résulté, ou à une infection bactérienne.
Épisode de mortalité de krill	Quai pour hydravions, Masset, Haida Gwaii	4 avril 2019	Leila (citoyenne)	« des quantités extrêmement importantes de bébés crevettes morts flottant dans l’eau autour du quai ».
Échouements de baleines grises	Plage de North Saanich	1 ^{er} mai 2019	MPO; Chek News	- un nombre quasi record de baleines grises mortes au large de la Californie et de l’Oregon, en plus des 11 qui se sont échouées dans l’État de Washington.

				- causés par la famine? Tempêtes solaires (Granger et al. 2020)?
Le mois de juillet le plus chaud jamais enregistré	La Terre	Juillet 2019	NOAA; Chek News	Les températures de l'air et sur terre étaient supérieures de 0,95 degré Celsius à la moyenne du XX ^e siècle en juillet
Efflorescences algales nuisibles denses, provoquant une coloration anormale de l'eau	Baie Howe, nord du détroit de Georgie, Vancouver	Juillet 2019	Science citoyenne du détroit de Georgie, FSP; North shore news	- fleurs d'eau rouges/orange très denses causées par le dinoflagellé <i>Noctiluca scintillans</i> et peut-être <i>Mesodinium rubrum</i>
Tortue olivâtre	Bras Alberni	30 septembre 2019	Citoyen; Chek News; Aquarium de Vancouver	- « Berni » était le quatrième de son espèce trouvé dans les eaux de la Colombie-Britannique
Vaste prolifération de dinoflagellés, principalement <i>Ceratium divericatum</i>	Côté canadien de l'entrée ouest du détroit de Juan de Fuca	1 ^{er} octobre 2019	Nina Nemcek pendant le relevé d'automne sur les propriétés de l'eau de la mer des Salish	Des milliers d'oiseaux, des bancs de poissons et de nombreuses baleines en train de se nourrir ont été observés
Poisson porc-épic	COIV, près de la rivière Jordan	28 octobre 2019	Citoyen; Chek News	- peut-être un animal destiné au commerce des animaux de compagnie jeté par-dessus bord d'un bateau de pêche? - a nagé jusqu'ici avec les eaux plus chaudes?
Les scientifiques déclarent une urgence climatique	La Terre	5 novembre 2019	Ripple et al. 2020; HuffPost	13 422 scientifiques de 156 pays ont déclaré une urgence climatique, avertissant dans un

				nouveau rapport que « des souffrances humaines indicibles » sont « inévitables » sans des mesures drastiques
Efflorescences algales nuisibles dans des exploitations aquacoles	Île Binns, Bawden Point et Ross Pass dans la région du bras de mer Herbert, près de Tofino	20 novembre 2019	Cermaq Canada; Chek News	- mortalités de poissons dans trois élevages en raison d'efflorescences d'algues nuisibles - <i>Chaetoceros concavicornis</i> et <i>C. convolutes</i> – deux espèces indigènes

32.4. Facteurs influençant les tendances

Les facteurs qui ont pu influencer ces événements sont un climat changeant, des explosions naturelles de population et des pressions anthropiques. La maladie est un facteur potentiel de mortalité, mais elle est souvent négligée ou difficile à évaluer. Avec les changements climatiques, les phénomènes météorologiques extrêmes continueront à influencer la biologie marine et l'augmentation des températures à long terme se poursuivra. La hausse des températures va amener des espèces d'eaux plus chaudes dans les écosystèmes marins de la Colombie-Britannique. Par exemple, la tortue olivâtre, appelée Berni, est la quatrième de son espèce trouvée dans les eaux de la Colombie-Britannique. Le poisson porc-épic a pu arriver avec des eaux plus chaudes ou il peut s'agir d'un animal destiné au commerce des animaux de compagnie jeté par-dessus bord d'un bateau de pêche. Les fleurs d'eau nuisibles de 2019 étaient des espèces d'algues indigènes. On pense que les échouements de baleines grises sont dus à la famine ou aux tempêtes solaires (Granger *et al.* 2020).

32.5. References

- Granger, J., Walkowicz, L., Fitak, R., and Johnsen, S. 2020. Gray whales strand more often on days with increased levels of atmospheric radio-frequency noise. *Current Biology* 30(4): R155-R156. DOI: 10.1016/j.cub.2020.01.028
- Lenanton, R., Dowling, C., Smith, K., Fairclough, D., and Jackson, G. 2017. Potential influence of a marine heatwave on range extensions of tropical fishes in the eastern Indian Ocean —Invaluable contributions from amateur observers. *Regional Studies in Marine Science* 13: 19–31.
- Pecl, G., Barry, Y., Brown, R., Frusher, S., Gärtner, E., Pender, A., Robinson, L., Walsh, P., and Stuart-Smith, J. 2014. REDMAP: ecological monitoring and community engagement through citizen science. *The Tasmanian Naturalist* 136: 158-164.

Ripple, W.J., Wolf, C., Newsome, T.M., Barnard, P., and Moomaw, W.R. 2020. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience* 70(1): 8–12.
<https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>

33. LES OCÉANS DU CANADA MAINTENANT : RAPPORTS ANNUELS SUR L'ÉTAT DES OCÉANS DU CANADA

Katherine Middleton, Pêches et Océans Canada, Ottawa, Ontario, katherine.middleton@dfo-mpo.gc.ca

- Les rapports du Canada sur l'État des océans sont des résumés annuels de la situation et des tendances actuelles des écosystèmes marins dans les trois océans du Canada.
- Le cycle actuel de production de rapports présente chaque année des renseignements sur un des océans du Canada; il sera suivi d'un rapport national entrepris durant la quatrième année.
- Les produits sur l'état des océans pour chaque région océanique comprennent un rapport technique, un rapport public en langage simple intitulé « Les océans du Canada maintenant » et des produits de communication connexes tels que des infographies, des vidéos et des messages sur les médias sociaux.
- Les produits sur l'État de l'océan Pacifique, y compris le rapport technique, un rapport public et des produits de communication, seront publiés dans le cycle 2020-2021. Le contenu destiné au public peut comprendre des textes scientifiques en langage simple, des études de cas, des infographies et des matériels visuels attrayants pour les médias sociaux et la sensibilisation.

Les rapports du Canada sur l'État des océans sont des résumés annuels de l'état et des tendances actuelles des écosystèmes dans les trois océans du Canada. L'initiative sur l'état des océans cadre avec l'engagement du gouvernement du Canada visant à communiquer aux Canadiens les données scientifiques sur lesquelles les décisions sont fondées. Le cycle actuel de production de rapports permet de présenter chaque année des renseignements techniques et en langage simple sur un des océans du Canada. Un rapport national sera entrepris durant la quatrième année de ce cycle.

Les produits sur l'état des océans sont élaborés par le Secteur des sciences du MPO et comprennent un rapport technique et un rapport public. Les deux rapports contiennent des informations sur l'état et les tendances ainsi que les principales conclusions sur la santé des écosystèmes marins du Canada. En plus d'un rapport de synthèse en langage simple, des produits de communication scientifique sont également disponibles, tels que des infographies, des vidéos et d'autres matériels visuels attrayants pour les médias sociaux et la sensibilisation.

En 2021, le rapport de synthèse sur l'État de l'océan Pacifique et les produits de communication seront élaborés à partir des informations présentées lors de la réunion de mars 2020. Outre le rapport technique annuel, il y aura un rapport public en langage simple, des infographies et d'autres produits de communication scientifique attrayants.

Le rapport public sur l'État de l'océan Atlantique a été publié en avril 2019 sur un nouveau site Web consacré à l'état des océans. Le Secteur des sciences du MPO a lancé des produits sur l'état de l'océan Atlantique, notamment un rapport technique ([Rapport de synthèse sur l'état de l'océan Atlantique, 2018](#)), un rapport public ([Les océans du Canada maintenant : Écosystèmes de l'Atlantique, 2018](#)), 12 [infographies](#) sur les messages clés, un [livre électronique interactif](#) et

une page de foire aux questions. La publication du rapport sur l'Atlantique est accompagnée d'un contenu numérique supplémentaire résumant les [principales conclusions de la réunion sur l'état de l'océan Pacifique de 2016](#).

Le rapport sur l'état de l'océan Arctique et les produits associés ont également été publiés. Il s'agit notamment du premier rapport technique sur l'état des mers arctiques du Canada, un rapport public présentant des infographies intéressantes traduites en français, en inuktitut et en inuinnaqtun, une étude de cas et le contenu des médias sociaux correspondant (<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/soto-rceo/arctic-arctique/index-fra.html>).

Le rapport national sur l'État des océans sera également publié plus tard en 2020. Ce rapport sera un document de synthèse de haut niveau qui communiquera l'état des trois océans du Canada en utilisant des infographies attrayantes et un langage scientifique simple. D'autres produits de communication et de sensibilisation seront élaborés pour accompagner la publication.

**Rapports individuels sur les eaux intérieures (y compris le détroit
de Georgie)**

34. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DANS LES BRAS DE MER RIVERS ET BUTE EN 2019 PAR RAPPORT À UNE SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE 1951 À 2010

Jennifer Jackson, Hakai Institute, Victoria, Colombie-Britannique, jennifer.jackson@hakai.org

34.1. Faits saillants

- Dans les bras de mer Rivers et Bute, les eaux intermédiaires et profondes en 2019 étaient plus chaudes et plus salées que la moyenne de 1951 à 2010.
- Dans les bras de mer Rivers et Bute, les eaux de surface étaient les plus douces en mai et juin 2019, dénotant une crue précoce.
- Dans les bras de mer Rivers et Bute, les eaux profondes contenaient moins d'oxygène en 2019 que la moyenne de 1951 à 2010.

34.2. Description de la série chronologique

Des données sur la température, la salinité et l'oxygène sont recueillies dans les bras de mer Rivers et Bute depuis 1951. De 1951 à 1993, la température était mesurée avec un thermomètre à retournement, et la salinité et l'oxygène à partir de l'eau recueillie par une bouteille Niskin ou Nansen. Depuis 1998, la température et la salinité sont mesurées à l'aide d'un capteur de CTP Seabird ou RBR et l'oxygène à l'aide d'un capteur d'oxygène Seabird ou Rinko.

L'Université de la Colombie-Britannique a recueilli des données de 1951 à 1987. Pêches et Océans Canada a recueilli des données de 1990 à 2018 dans le bras de mer Rivers et de 1989 à 2014 dans le bras de mer Bute. L'institut Hakai a recueilli des données de 2008 à aujourd'hui dans le bras de mer Rivers et de 2017 à aujourd'hui dans le bras de mer Bute. Le présent rapport se concentre sur la station DFO2 (profondeur maximale de 334 m) dans le bras de mer Rivers et sur la station BU4 (profondeur maximale de 626 m) dans le bras de mer Bute (figure 34-1). En février 2020, 161 profils de température et de salinité et 132 profils d'oxygène ont été recueillis à la station DFO2, avec plus de 96 % des données recueillies depuis 2001. En février 2020, 118 profils de température et de salinité et 104 profils d'oxygène avaient été collectés à la station BU4, avec 23 % des données recueillies depuis 2001.

Selon la définition des types d'eau dans les fjords (Farmer et Freeland 1983), trois types d'eau ont été déterminés : les eaux de surface (densité potentielle par rapport à la pression de surface inférieure à $1\,022\text{ kgm}^{-3}$), les eaux intermédiaires (de la base de la couche de surface à la profondeur du seuil) et les eaux profondes (sous la profondeur du seuil). Les eaux intermédiaires ont été définies comme la base de la couche de surface jusqu'à 140 m à la station DFO2 et comme la base de la couche de surface jusqu'à 355 m à la station BU4. Les eaux profondes ont été définies comme de 141 à 334 m à la station DFO2 et comme de 356 à 626 m à la station BU4. On observe une variation saisonnière importante des propriétés de l'eau dans toute la colonne d'eau, qui normalement éclipse la variation interannuelle. Pour comparer 2019 aux séries chronologiques à long terme, on a d'abord calculé une moyenne mensuelle de la température, de la salinité et de l'oxygène en utilisant toutes les données de 1951 à 2010 pour tous les types d'eau. On a ensuite calculé la moyenne mensuelle de 2019.

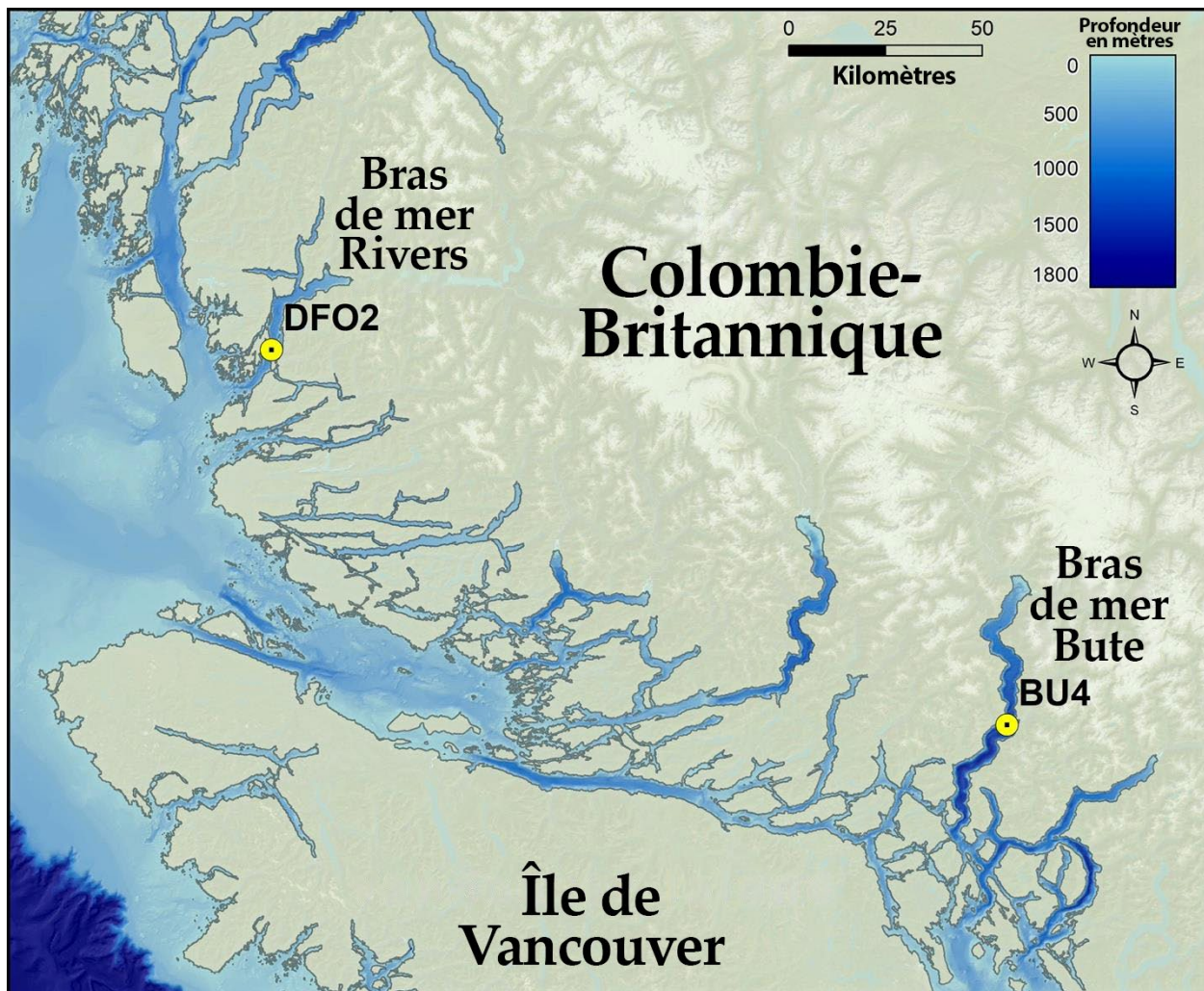


Figure 34-1. Le bras de mer Rivers est un fjord d'environ 46 km de long et 3 km de large situé sur la côte centrale de la Colombie-Britannique. À son embouchure se trouve un seuil d'environ 140 m de profondeur à marée basse (Pickard 1961), qui descend jusqu'à un bassin d'environ 340 m de profondeur qui remonte vers la tête du bras de mer. Le bras de mer Bute est un fjord d'environ 76 km de long et 4 km de large. Le seuil est d'environ 355 m à marée basse (Pickard 1961), et le fjord descend à une profondeur maximale de 660 m. Pour cette étude, les résultats proviennent de la station DFO2 dans le bras de mer Rivers et de la station BU4 dans le bras de mer Bute.

34.3. État et tendances

34.3.1. Bras de mer Rivers

La comparaison des séries chronologiques à long terme aux données de 2019 pour les eaux de surface (figure 34-2) montre que la surface était plus chaude et contenait moins d'oxygène que la moyenne de 1951 à 2010. La température en surface la plus froide (7,4 °C) a été observée en février et l'eau de surface la plus chaude (13,2 °C) en mai. L'eau de surface la plus douce (17,6) a été relevée en mai, environ un mois plus tôt que la date habituelle de juin (Wolfe *et al.* 2015) et le minimum de salinité de juin (Tommasi *et al.* 2013) constatés de 2006 à 2010.

En 2019, les eaux intermédiaires (figure 34-3) et profondes (figure 34-4) étaient plus chaudes, plus salées et moins oxygénées que la moyenne à long terme. Ces résultats permettent de penser que l'impact de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016 se poursuit sur les eaux côtières et que la chaleur anormale continue de s'attarder dans les fjords de la Colombie-Britannique (Jackson *et al.* 2018). L'augmentation de la salinité dans les eaux intermédiaires et profondes pourrait être due à une remontée d'eau accrue des eaux de mer ouverte à partir de profondeurs d'environ 140 m (Jackson *et al.* 2018) ou au fait qu'une salinité accrue est nécessaire pour compenser l'augmentation de la température et maintenir la densité. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer la diminution de l'oxygène causée par des eaux plus chaudes.

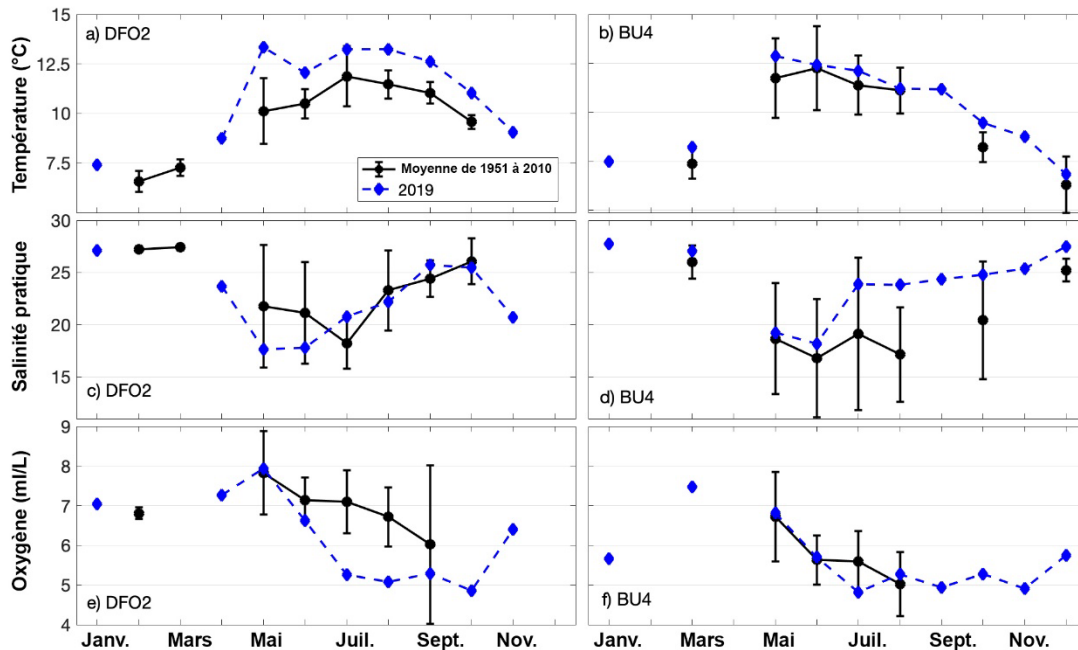


Figure 34-2. Conditions moyennes mensuelles des eaux de surface (définies comme une eau plus douce que $1\ 022\ \text{kgm}^{-3}$) pour la température (en haut), la salinité pratique (au milieu) et l'oxygène (en bas) aux stations DFO2 dans le bras de mer Rivers (graphiques a), c) et e)) et BU4 dans le bras de mer Bute (graphiques b), d) et f)). La ligne noire continue indique la moyenne mensuelle de 1951 à 2010 et la ligne bleue en pointillés la moyenne mensuelle de 2019. Les barres d'erreur représentent l'écart-type des séries chronologiques de 1951 à 2010 et seuls les mois échantillonnés au moins trois années différentes ont été indiqués.

34.3.2. Bras de mer Bute

La comparaison des séries chronologiques à long terme aux données de 2019 pour les eaux de surface (figure 34-2) montre que la surface était plus chaude et contenait moins d'oxygène que la moyenne de 1951 à 2010. La température en surface la plus froide ($6,8\ ^\circ\text{C}$) a été observée en décembre et l'eau de surface la plus chaude ($12,8\ ^\circ\text{C}$) en mai. L'eau de surface la plus douce ($17,3$) a été relevée en juin.

En 2019, les eaux intermédiaires (figure 34-3) et profondes (figure 34-4) étaient plus chaudes, plus salées et moins oxygénées que la moyenne à long terme. Tout comme pour le bras de mer Rivers, ces résultats montrent un changement à long terme, tout au long de l'année, dans les bras de mer de la côte centrale de la Colombie-Britannique. Dans le bras de mer Bute, ces changements peuvent être associés à la vague de chaleur marine de 2014 à 2016, mais l'échantillonnage limité entre 2000 et 2017 rend l'impact de la vague de chaleur difficile à interpréter. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer la diminution de l'oxygène causée par des eaux plus chaudes.

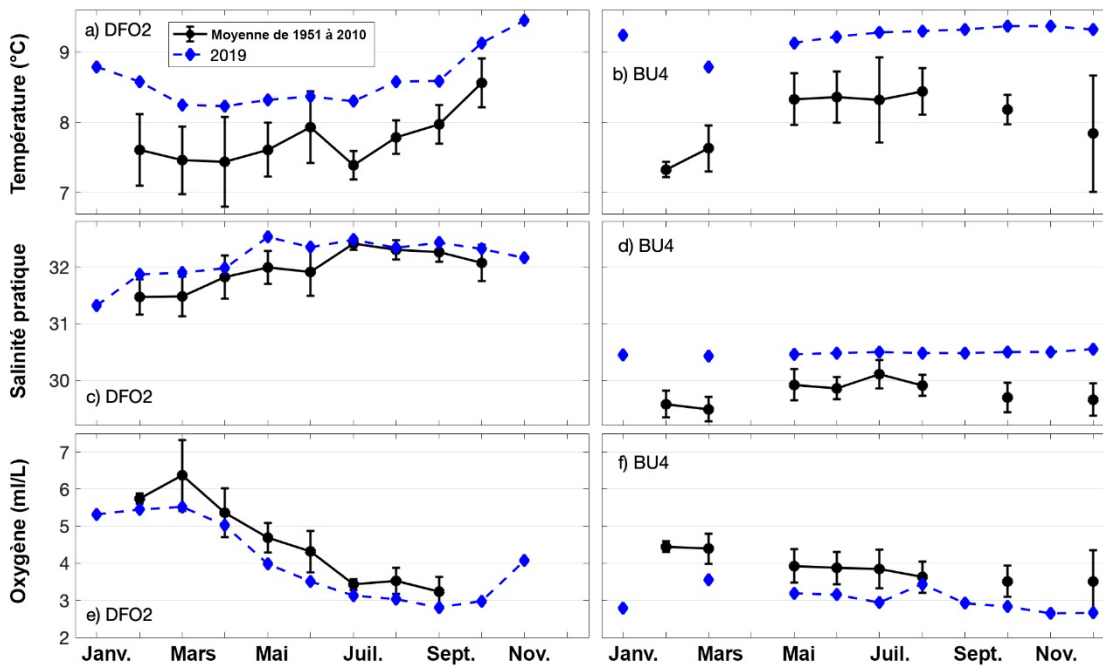


Figure 34-3. Comme sur la figure 34-2, mais pour les eaux intermédiaires, qui ont été définies comme les eaux entre la base de la couche de surface et la profondeur du seuil de 140 m pour la station DFO2 (bras de mer Rivers) et entre la base de la couche de surface et 355 m pour la station BU4 (bras de mer Bute).

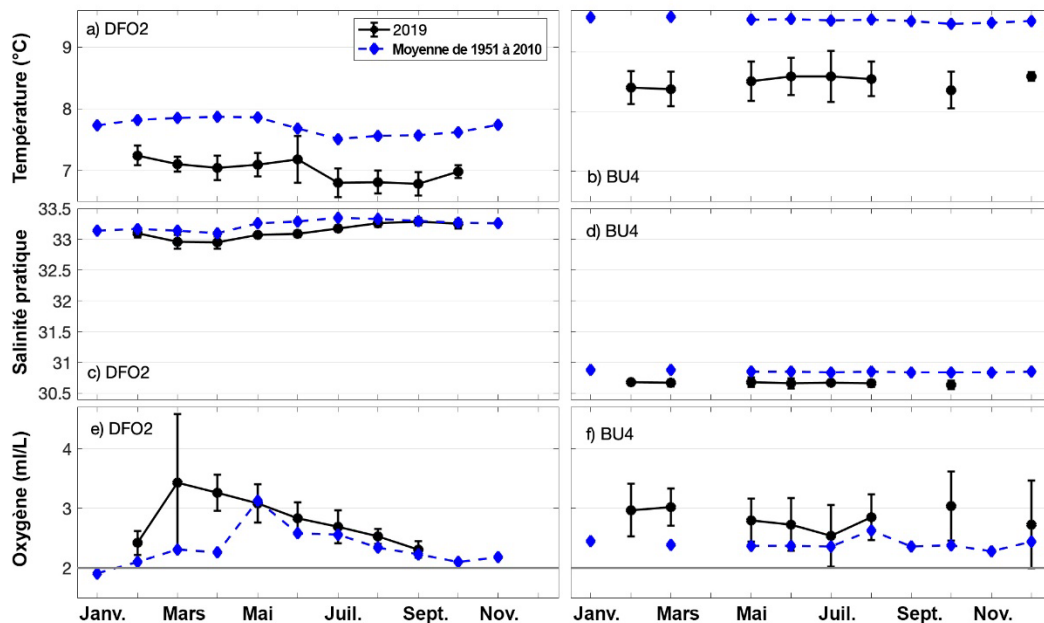


Figure 34-4. Comme sur la figure 34-2, mais pour les eaux profondes, définies comme les eaux entre la profondeur du seuil de 140 m et le fond (334 m) dans le bras de mer Rivers et entre la profondeur du seuil de 355 m et le fond (632 m) dans le bras de mer Bute. La ligne grise horizontale dans le graphique inférieur indique la concentration en oxygène de 2 ml/L, ou eau hypoxique.

34.4. Conséquences de ces tendances

Depuis 2015, les conditions océaniques anormalement chaudes sur la côte de la Colombie-Britannique ont été associées à un afflux d'espèces de copépodes du sud et à une abondance d'autres taxons d'eau chaude (Hipfner *et al.* 2020). Les communautés de zooplancton associées aux eaux chaudes sont connues pour être des proies pauvres en lipides et de mauvaise qualité pour les saumons juvéniles, les poissons fourrage et certains oiseaux de mer. Par conséquent, les conditions dans les bras de mer en 2019 étaient probablement associées à une réduction de la croissance des saumons pendant leur dévalaison de 2019. Du fait des eaux intermédiaires et profondes chaudes dans les bras de mer Rivers et Bute depuis 2015, cinq classes d'âge de saumon différentes ont connu des conditions d'eau de mer anormalement chaudes lorsque les saumons juvéniles ont pénétré dans les fjords.

Les eaux profondes du détroit de Georgie ont également connu une diminution de l'oxygène (Chandler, section 36), ce qui laisse à penser que les processus qui entraînaient un faible taux d'oxygène dans les bras de mer Rivers et Bute ont influencé une grande partie de la côte de la Colombie-Britannique. Les recherches menées dans le bras de mer Saanich (Chu *et al.*, section 45) montrent que la biodiversité change en fonction des différentes concentrations en oxygène, et l'eau hypoxique observée dans les bras de mer Rivers et Bute pourrait donc avoir un impact important sur l'écosystème local.

34.5. References

- Farmer, D.M., and Freeland, H.J. 1983. The physical oceanography of fjords. *Progress in Oceanography* 12: 147-220.
- Hipfner, J.M., Galbraith, M., Bertram, D.F., and Green, D.J. 2020. Basin-scale oceanographic processes, zooplankton community structure, and diet and reproduction of a sentinel North Pacific seabird over a 22 year period. *Progress in Oceanography* 182: 102290. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102290>
- Jackson, J.M., Johnson, G.C., Dosser, H.V., and Ross, T. 2018. Warming from recent marine heatwave lingers in deep British Columbia fjord. *Geophysical Research Letters*, 45(18): 9757-9764. <https://doi.org/10.1029/2018GL078971>.
- Pickard, G.L. 1961. Oceanographic features of inlets in the British Columbia mainland coast. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 18(6): 907 – 999.
- Tommasi, D., Hunt, B.P.V., Pakhomov, E.A, and Mackas, D.L. 2013. Mesozooplankton community seasonal succession and its drivers: Insights from a British Columbia, Canada fjord. *Journal of Marine Systems* 115-116: 10-32.
- Wolfe, A.M., Allen, S.E., Hodal, M., Pawlowicz, R., Hunt, B.P.V., and Tommasi, D. 2015. Impact of advection loss due to wind and estuarine circulation on the timing of the spring phytoplankton bloom in a fjord. *ICES Journal of Marine Science* 73(6): 1589–1609. doi:10.1093/icesjms/fsv151.

35. OBSERVATIONS DU CO₂ DANS LES RÉGIONS CÔTIÈRES : 2019

Wiley Evans, Institut Hakai, Heriot Bay, Colombie-Britannique, wiley.evans@hakai.org

35.1. Faits saillants

- La variabilité de la pCO₂ en surface le long de la côte a été détaillée par plusieurs années d'observation à partir des traversiers.
- La température chaude de la surface de la mer a eu un impact prononcé sur la variabilité de la pCO₂ à la fin 2019 sur la côte nord de la Colombie-Britannique et dans le sud-est de l'Alaska.
- Les ensembles de données sur la côte centrale de la Colombie-Britannique ont révélé une variabilité interannuelle à infra-saisonnaire avec une augmentation de la pCO₂ subsuperficielle en profondeur à la fin de 2018 et en 2019 par rapport aux années précédentes.
- Les observations effectuées dans le nord de la mer des Salish ont montré une sous-saturation presque constante de la calcite dans le milieu de la colonne d'eau depuis juillet 2018.
- Une pCO₂ élevée, un pH bas et des conditions corrosives pour les biominéraux de carbonate de calcium continueront à s'intensifier à mesure que la teneur en carbone d'origine anthropique augmentera dans l'océan.

35.2. Description des ensembles de données sur le CO₂

Les ensembles de données sur le CO₂ dans les régions côtières décrits dans ce rapport proviennent de plateformes mobiles et stationnaires ainsi que d'échantillons discrets d'eau de mer prélevés à des stations hydrographiques clés. Ces ensembles de données couvrent trois domaines spatiaux : les eaux de surface littorales sur toute la côte, des observations plus détaillées des eaux de surface et de toute la colonne d'eau sur la côte centrale de la Colombie-Britannique, et la même chose pour le nord de la mer des Salish. Les observations relatives aux eaux de surface sur l'ensemble de la côte ont été recueillies à partir du traversier *Columbia* de l'Alaska Marine Highway System (AMHS), qui transitait deux fois par semaine entre le sud-est de l'Alaska et la mer des Salish. Des observations plus détaillées sur la côte centrale de la Colombie-Britannique sont composées de mesures en surface relevées par la bouée du chenal Kwakshua (KC) sur la côte centrale (http://www.ipacoa.org/Explorer?action=oiw:fixed_platform:HAKAI_KCBuoy:observations:H1_CO2) et des échantillons discrets d'eau de mer recueillis dans toute la colonne d'eau à une station hydrographique adjacente à la bouée (station KC10). Dans le nord de la mer des Salish, les observations des eaux de surface effectuées à la station de terrain sur l'île Quadra de l'Institut Hakai (http://www.ipacoa.org/Explorer?action=oiw:fixed_platform:HAKAI_Quadra1:observations:H2_CO2) suivent celles d'une station hydrographique voisine (station QU39) où des échantillons discrets d'eau de mer sont recueillis dans toute la colonne d'eau.

35.3. Tendances dans les ensembles de données sur le CO₂

Les observations effectuées sur toute la côte par le traversier *Columbia* de l'AMHS ont révélé des conditions de la pCO₂ en surface très variables le long de la côte, de la mer des Salish au sud-est de l'Alaska (figure 35-1). Des conditions de pCO₂ élevée par rapport à l'atmosphère ont été observées en hiver et dans les zones où les eaux sont mélangées par les marées. Les zones présentant une pCO₂ d'environ deux fois la concentration atmosphérique (~800 µatm) affichaient également des conditions corrosives pour l'aragonite, un biominéral de carbonate de calcium. Le détroit de Johnstone en particulier était une zone à forte teneur en CO₂ persistante due au mélange des marées et qui présentait également une faible teneur en oxygène en surface. Du printemps au début de l'automne, la pCO₂ est réduite dans les zones à forte production primaire et les zones influencées par la fonte des glaciers (sud-est de l'Alaska). La prolifération printanière est évidente dans ces données comme point de départ de la sous-saturation en pCO₂ par rapport à l'atmosphère chaque année. En 2019, la réduction de la pCO₂ dans la prolifération printanière semblait plus importante et plus étendue qu'en 2018, bien que limitée dans la mer des Salish au mois d'avril par l'apparition de conditions météorologiques orageuses. La majorité de la variabilité de la pCO₂ dans ce domaine est due aux changements du carbone inorganique total (TCO₂), de l'alcalinité totale (TA) et de la salinité. Cependant, l'influence de la température a été évaluée selon Takahashi *et al.* (2002) pour déterminer l'influence potentielle des conditions chaudes en 2019. Le refroidissement et le réchauffement saisonniers entraînent des variations positives et négatives de la pCO₂ de l'ordre de 100 µatm en hiver et en été, respectivement. En 2018, la température de la surface de la mer (STT) s'est refroidie par rapport au maximum saisonnier d'août à septembre, de sorte que l'influence de la température plus chaude sur la variabilité de la pCO₂ a diminué. En 2019, la température chaude de la surface de la mer a persisté jusqu'en septembre, en particulier dans le sud-est de l'Alaska et sur la côte nord de la Colombie-Britannique, de sorte que l'influence de la température sur la pCO₂ s'est maintenue, entraînant une augmentation de la pCO₂ en surface en fin de saison pendant cette année. En 2019, l'influence des températures plus chaudes en fin de saison a également été détectée dans les autres ensembles de données sur les eaux de surface décrits dans ce rapport, mais pas dans la même mesure que celle observée dans la région nord du trajet du traversier.

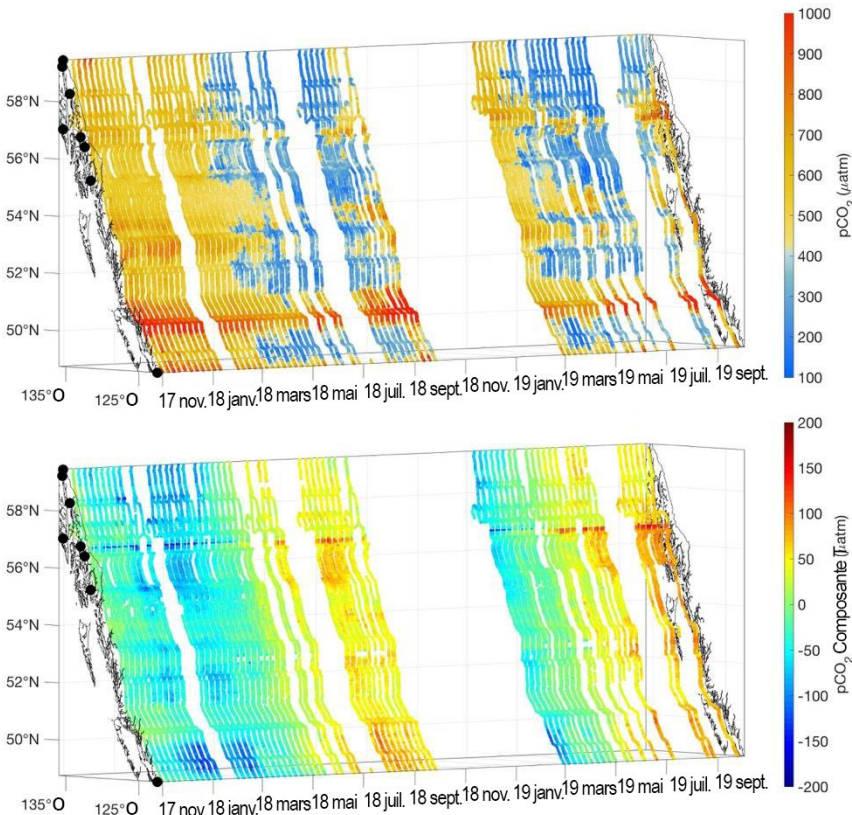


Figure 35-1. Le graphique supérieur représente la $p\text{CO}_2$ des eaux de surface (μatm), mesurée à partir du traversier Columbia de l'AMHS lors de ses transits entre l'État de Washington et le sud-est de l'Alaska. Les axes X, Y et Z sont respectivement la latitude, la longitude et le temps. Le littoral est indiqué à titre de référence par les points noirs qui marquent les terminaux du traversier. Le graphique inférieur représente l'effet de la température sur la variabilité de la $p\text{CO}_2$ (μatm).

Les enregistrements de la bouée KC sur la côte centrale de la Colombie-Britannique ont commencé en mai 2018, et ne reflètent donc que deux saisons d'été et d'hiver. Cependant, les mesures à plus haute résolution de la bouée montrent une variabilité à courte échelle de temps non observée dans les données du système en cours à bord du *Columbia*. Par exemple, la ventilation d'avril 2019 des conditions de surface sous-saturées par rapport à la $p\text{CO}_2$ atmosphérique observée dans la mer des Salish à partir du *Columbia* était de courte durée sur la côte centrale de la Colombie-Britannique, d'après les données de la bouée. Une structure aussi détaillée de la variabilité de la $p\text{CO}_2$ dans les enregistrements des bouées est actuellement à l'étude. Les données de la bouée KC ont également révélé des minima estivaux de la teneur en $p\text{CO}_2$ qui étaient plus bas en 2018 qu'en 2019, pouvant dénoter des taux plus intenses de production primaire pendant l'été 2018. Des mesures discrètes recueillies environ une fois par mois à une station hydrographique proche de la bouée (KC10) ont montré une augmentation de la $p\text{CO}_2$ sous la surface de juillet à janvier environ chaque année, avec des conditions légèrement plus élevées et plus longues en 2018 et 2019. Des cas de sous-saturation de la calcite, la forme la plus insoluble du carbonate de calcium, ont également été observés pendant ces périodes de $p\text{CO}_2$ plus élevée sous la surface.

Des mesures continues de la $p\text{CO}_2$ en surface ont maintenant été prises à partir de la station de terrain de l'île Quadra, dans le nord de la mer des Salish, depuis plus de cinq ans. Ces données montrent que les conditions hivernales présentent une $p\text{CO}_2$ élevée, mais stable par rapport aux conditions estivales beaucoup plus basses, mais parfois très variables. En 2019, la variabilité de la $p\text{CO}_2$ pendant l'été était faible par rapport à celle relevée en 2015 et 2016, ce qui indique des conditions estivales relativement stables pendant les trois dernières années. D'après les mesures effectuées dans toute la colonne d'eau à la station hydrographique voisine QU39, qui ont débuté en janvier 2016, la $p\text{CO}_2$ sous la surface augmente généralement en fin d'année et plus particulièrement à 100 m. Le mélange hivernal qui commence en novembre réoxygène cette zone de la colonne d'eau et interrompt les conditions saisonnières de $p\text{CO}_2$ élevée. En 2018 et 2019, les maxima de la $p\text{CO}_2$ en fin de saison sont apparus au début de l'année, ont couvert une plus grande proportion de la colonne d'eau, ont atteint des concentrations plus élevées et ont duré plus longtemps l'année précédente. Ces conditions de $p\text{CO}_2$ élevée ont coïncidé avec une sous-saturation de la calcite dans la colonne d'eau dans le nord de la mer des Salish. Des conditions de sous-saturation soutenue de la calcite ont été observées dans le milieu de la colonne d'eau depuis juillet 2018 (figure 35-2). La teneur en CO_2 d'origine anthropique a été estimée selon l'approche décrite dans Evans *et al.* (2019) avec une correction supplémentaire pour tenir compte de l'âge de la masse d'eau (dernier contact avec l'atmosphère). La teneur estimée en CO_2 d'origine anthropique correspond à d'autres estimations pour les eaux côtières de la mer des Salish et du nord-est du Pacifique (Feely *et al.* 2010; Carter *et al.* 2019), et affiche une saisonnalité et une variabilité avec la profondeur. La teneur estimée en CO_2 d'origine anthropique a été soustraite du TCO_2 , puis ce TCO_2 ajusté a servi à recalculer le système de CO_2 marin. La comparaison entre les états de saturation de la calcite observés et recalculés révèle que la majorité de la sous-saturation de la calcite est due à l'accumulation de CO_2 d'origine anthropique.

35.4. Conséquences des profils du CO_2

L'accumulation continue de CO_2 d'origine anthropique intensifiera la $p\text{CO}_2$ élevée, le pH bas et les conditions corrosives pour les biominéraux de carbonate de calcium (p. ex. augmentation de l'ampleur, augmentation de la durée de l'exposition, augmentation de la fréquence de l'exposition). Les conséquences biologiques seront un stress accru pour les organismes vulnérables, avec des coûts énergétiques potentiellement élevés (Waldbusser *et al.* 2013; Bednarsek *et al.* 2017; Gimenez *et al.* 2018). En raison des conditions corrosives pour la calcite dans les eaux subsuperficielles du nord de la mer des Salish, toutes les formes de carbonate de calcium sont thermodynamiquement instables et auront tendance à se dissoudre. La mer des Salish est un exemple de l'extrême sensibilité des régions où l'eau de mer est peu protégée contre l'augmentation de la teneur en CO_2 d'origine anthropique.

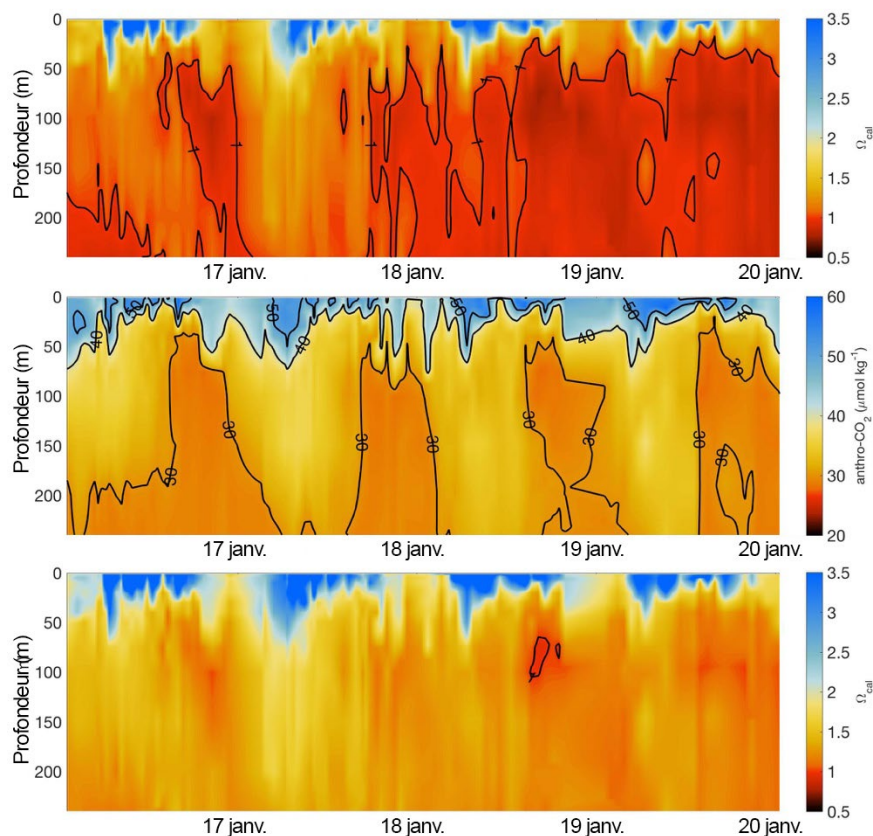


Figure 35-2. Le graphique supérieur représente l'état de saturation de la calcite (Ω_{cal}) dans toute la colonne d'eau de janvier 2016 à janvier 2020 à la station QU39, dans le nord de la mer des Salish. Le deuxième graphique représente la teneur estimée en CO_2 d'origine anthropique ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) à ce site. Le troisième graphique représente l'état de saturation de la calcite, recalculé avec la contribution du CO_2 d'origine anthropique à la teneur totale en carbone inorganique éliminée. Il convient de noter que la quasi-totalité des cas de sous-saturation de la calcite ne sont plus présents une fois la contribution du CO_2 d'origine anthropique prise en compte.

35.5. Disponibilité des données et remerciements

Les nouveaux ensembles de données décrits dans ce rapport sont disponibles sur les sites Web ci-dessous.

Bouée KC : <https://www.nodc.noaa.gov/ocads/data/0208810.xml>

Station de terrain de l'île Quadra : <https://www.nodc.noaa.gov/ocads/data/0208638.xml>

Traversier *Columbia* de l'AMHS : <https://www.nodc.noaa.gov/ocads/data/0209049.xml>

L'institut Hakai prépare des ensembles de données sur les échantillons discrets en vue de les publier : <https://hecate.hakai.org/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/home>. Je remercie Jennifer Jackson, Alex, Hare, Katie Pocock, Carrie Weekes, Shawn Hateley, Jessy Barrette, Chris O'Sullivan, Chris Mackenzie, Emma Myers, Bryne Fedje, Eva Jordison Justin Belluz, Christy Harrington, Geoff Lebon et Adrienne Sutton pour leurs contributions qui ont permis de maintenir

ces ensembles de données. Je remercie également Alaska Marine Highway System, Alaska Ocean Observing System, Alaska Coastal Rainforest Center et la Fondation Tula de leur soutien.

35.6. References

- Bednarsek, N., Feely, R.A., Tolimieri, N., Hermann, A.J., Siedlecki, S.A., Waldbusser, G.G., McElhany, P., Alin, S.R., Klinger, T., Moore-Maley, B., and Pörtner, H.O. 2017. Exposure history determines pteropod vulnerability to ocean acidification along the US West Coast. *Scientific Reports* 7(4526): DOI: 10.1038/s41598-41017-03934-z.
- Carter, B.R., Feely, R.A., Wanninkhof, R., Kouketsu, S., Sonnerup, R.E., Pardo, P.C., Sabine, C.L., Johnson, G.C., Sloyan, B.M., Murata, A., Mecking, S., Tilbrook, B., Speer, K., Talley, L.D., Millero, F.J., Wijffels, S.E., Macdonald, A.M., Gruber, N., and Bullister, J.L. 2019. Pacific Anthropogenic Carbon Between 1991 and 2017. *Global Biogeochemical Cycles* 33: 597-617.
- Evans, W., Pocock, K., Hare, A., Weekes, C., Hales, B., Jackson, J., Gurney-Smith, H., Mathis, J.T., Alin, S.R., and Feely, R.A. 2019. Marine CO₂ Patterns in the Northern Salish Sea. *Frontiers in Marine Science*: doi: 10.3389/fmars.2018.00536.
- Feely, R.A., Alin, S.R., Newton, J., Sabine, C.L., Warner, M., Devol, A., Krembs, C., and Maloy, C. 2010. The combined effects of ocean acidification, mixing, and respiration on pH and carbonate saturation in an urbanized estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 88: 442-449.
- Gimenez, I., Waldbusser, G.G., and Hales, B. 2018. Ocean acidification stress index for shellfish (OASIS): Linking Pacific oyster larval survival and exposure to variable carbonate chemistry regimes. *Elementa: Science of the Anthropocene* 6(51): doi.org/10.1525/elementa.1306.
- Takahashi, T., Sutherland, S.C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., Bates, N.R., Wanninkhof, R., Feely, R.A., Sabine, C.L., Olafsson, J., and Nojiri, Y. 2002. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Research II* 49: 1601-1622.
- Waldbusser, G.G., Brunner, E.L., Haley, B.A., Hales, B., Langdon, C.J., and Prah, F.G. 2013. A developmental and energetic basis linking larval oyster shell formation to acidification sensitivity. *Geophysical Research Letters* 40(10): 2171-2176.

36. OBSERVATIONS DE LA TEMPÉRATURE, DE LA SALINITÉ ET DE L'OXYGÈNE DANS LA MER DES SALISH EN 2019

Peter Chandler, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Peter.Chandler@dfo-mpo.gc.ca

36.1. Faits saillants

- En 2019, les températures de l'eau de la mer des Salish étaient généralement supérieures à la normale, à l'exception des températures proches de la normale dans les eaux à mi-profondeur du centre du détroit de Georgie au printemps et en été.
- Après des concentrations en oxygène inférieures à la normale en 2018, 2019 a vu une transition vers des concentrations proches de la normale dans tout le système, à l'exception des concentrations supérieures à la normale dans les eaux profondes du détroit de Haro.
- Le débit du Fraser était inférieur à la normale en 2019 (bien que la tendance à long terme soit une hausse du débit annuel), avec une période de débit relativement faible au milieu de l'été. Des débits normaux et supérieurs à la normale ont été observés pendant la période de dévalaison du saumon au printemps et la période de fraie à l'automne.

36.2. Description de la série chronologique

Deux sources de données sont utilisées pour décrire les changements des propriétés de l'eau du détroit de Georgie (entre la Colombie-Britannique continentale et l'île de Vancouver) et du détroit de Juan de Fuca (entre l'État de Washington et l'île de Vancouver). La première est constituée de données de profil recueillies avec un capteur CTP SeaBird 911 lors des relevés sur les propriétés de l'eau dans la mer des Salish (figure 36-1). En 2019, des relevés ont été menés du 6 au 13 avril, du 2 au 8 juin et à l'automne (du 30 septembre au 6 octobre). Le deuxième ensemble de données est fourni par le ministère de la Défense nationale à partir des 73 profils de température et de salinité recueillis en 2019 avec un capteur CTP SeaBird 19 à son Centre d'expérimentation et d'essais maritimes (CEEMFC) près de Nanoose. Les données des deux sources recueillies

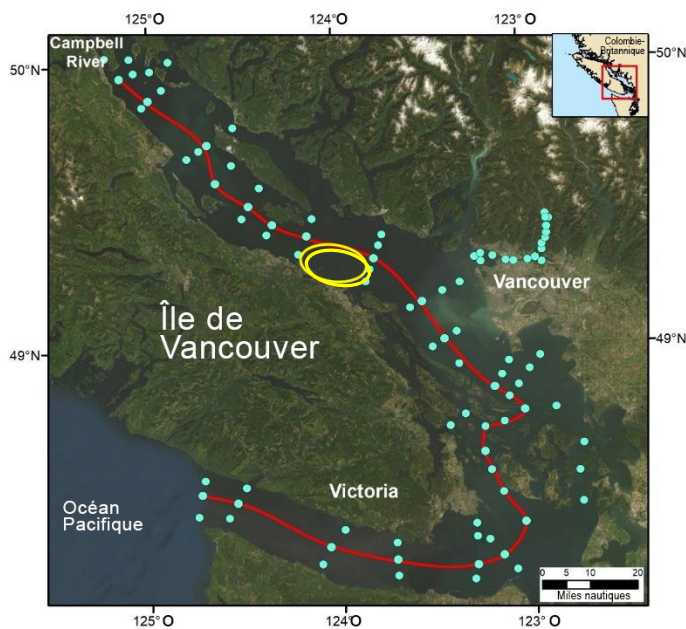


Figure 36-1. Les points indiquent l'emplacement des stations échantillonnées lors des relevés sur les propriétés de l'eau. Le talweg est représenté par la ligne rouge reliant les stations les plus profondes le long de la ligne centrale des détroits. L'ellipse jaune marque la zone de collecte des données du CEEMFC.

depuis 1999 sont utilisées pour calculer les moyennes à long terme et dégager les anomalies de 2019 à partir de ces conditions moyennes.

36.3. État et tendances

Les observations de la température et de l'oxygène effectuées en 2019 sont comparées aux moyennes de 1999 à 2019 et présentées sous forme d'anomalies sur la figure 36-2. La mer des Salish a été généralement plus chaude que la normale tout au long de 2019, surtout à l'automne. Les températures à mi-profondeur dans le détroit de Georgie étaient légèrement supérieures à la normale au printemps et proches de la normale en été.

Les anomalies de salinité (non indiquées) révèlent des conditions plus douces que la normale à mi-profondeur dans le détroit de Juan de Fuca au printemps, et dans les eaux profondes du détroit de Haro à l'automne. La salinité dans le détroit de Georgie était proche de la normale

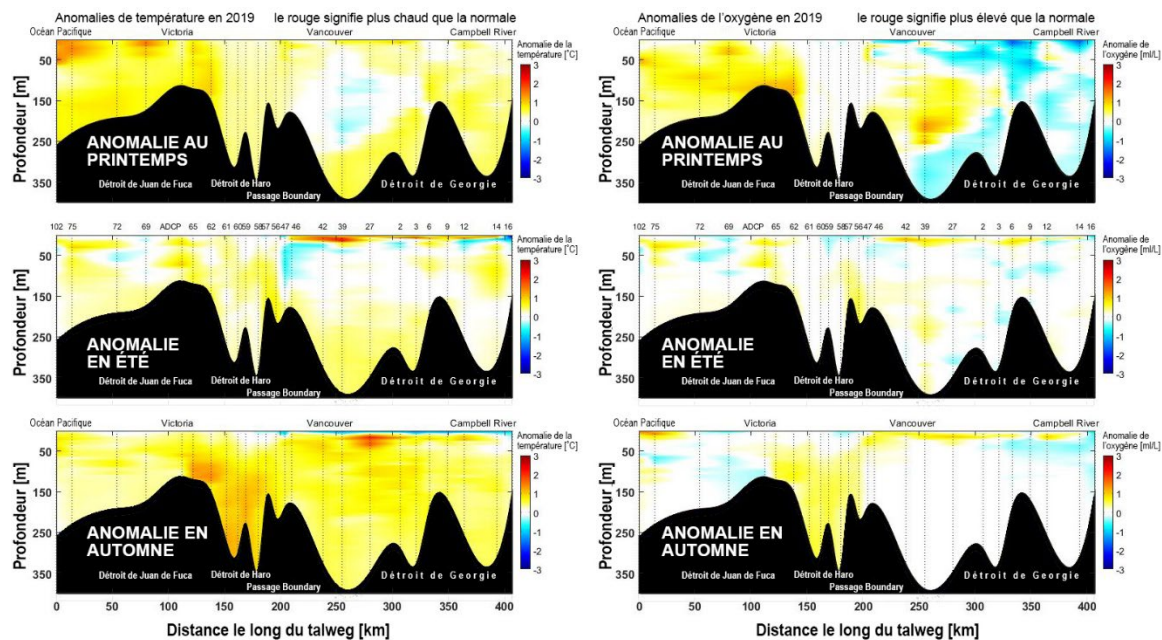


Figure 36-2. Anomalies de température (colonne de gauche) et d'oxygène (colonne de droite) le long du talweg, observées au printemps (rangée du haut), en été (rangée du milieu) et en automne (rangée du bas) en 2019.

pendant la plus grande partie de l'année, avec une couche superficielle d'eau saline peu profonde en été, probablement en raison de la diminution des précipitations et du ruissellement du Fraser au début de l'été.

Après 2018, où les niveaux d'oxygène dans la mer des Salish étaient inférieurs à la normale, 2019 a marqué un retour à des niveaux proches de la normale dès l'été. Des niveaux d'oxygène supérieurs à la normale ont été observés dans le détroit de Juan de Fuca au printemps, et dans les eaux profondes du détroit de Haro à l'automne. Les variations interannuelles de la température recueillie près de Nanoose (figure 36-3, graphique supérieur) affichent une moyenne des températures en profondeur en 2018 à des niveaux conformes à la moyenne à

long terme, et des températures avec des conditions de profondeur très similaires à celles de 2017 et de 2004 à 2006.

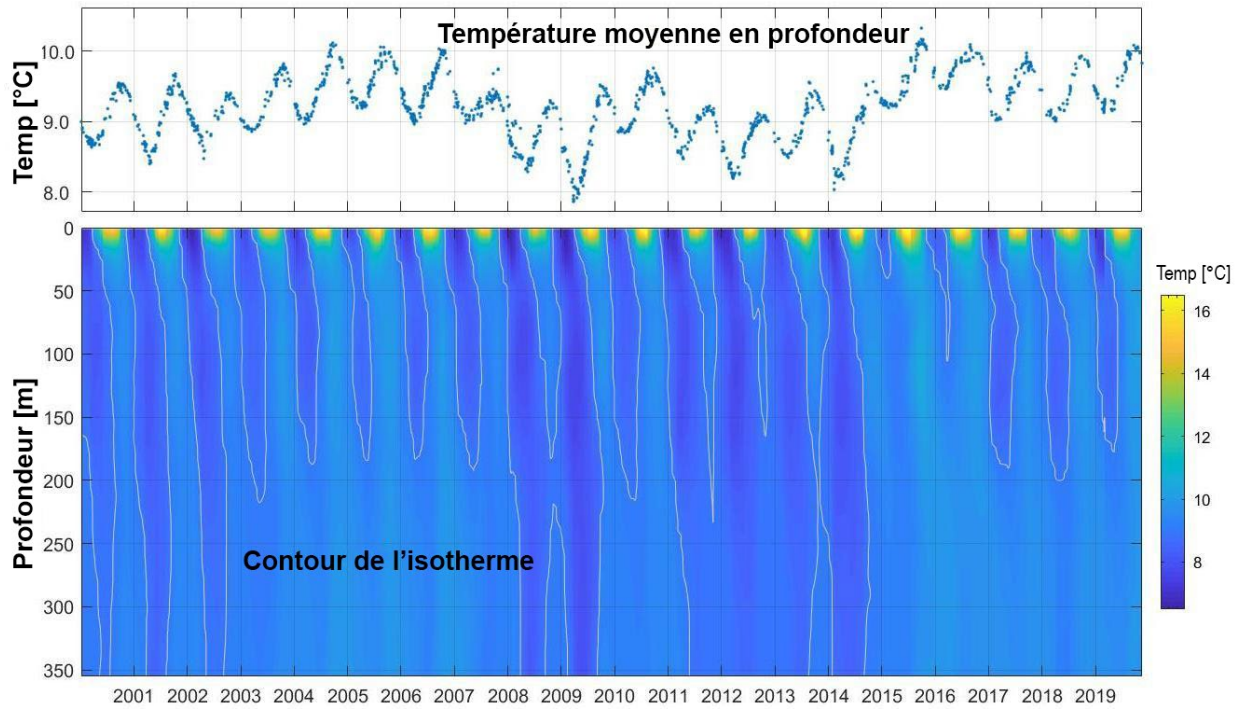


Figure 36-3. Série chronologique de la moyenne des températures en profondeur recueillies près de Nanoose, dans le centre du détroit de Georgie (en haut); la distribution verticale de ces données (en bas).

L'influence du débit du Fraser est particulièrement évidente dans la salinité des eaux de surface du centre et du sud du détroit de Georgie. Bien que le débit annuel du Fraser mesuré à Hope, en Colombie-Britannique, en 2019 (voir la figure 36-4) ait été légèrement inférieur à la moyenne sur 107 ans, il était supérieur à la moyenne au printemps et à l'automne, ce qui se traduit par un débit annuel médian huit jours plus tard que la normale, mais une date de pointe 10 jours plus tôt que la moyenne à long terme.

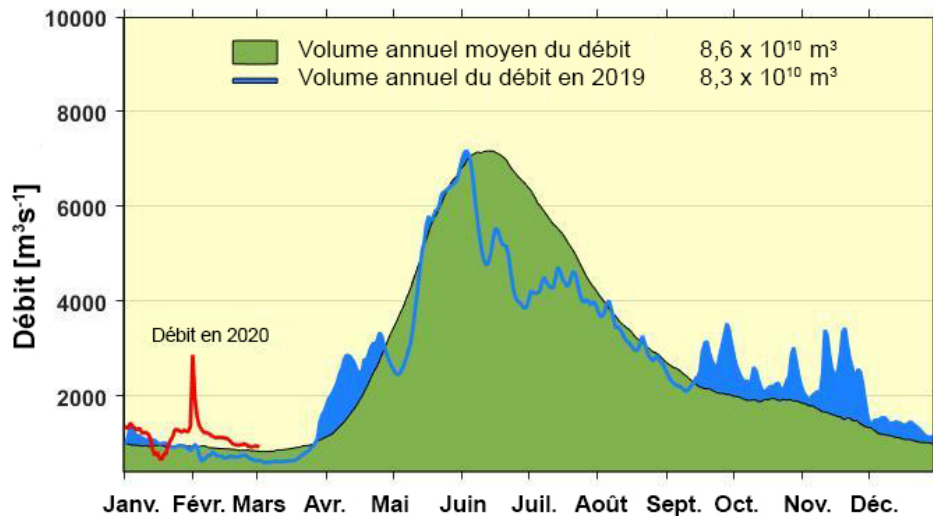


Figure 36-4. Débit du Fraser à Hope, en Colombie-Britannique; en 2019 (en bleu), et moyenne sur 107 ans (en vert). La ligne rouge indique le débit supérieur à la normale au début de 2020. Extrait du site Web « Données hydrométriques en temps réel » d'Environnement et Changement climatique Canada (https://eau.ec.gc.ca/mainmenu/real_time_data_index_f.html) le 2 mars 2020.

36.4. Facteurs influençant les tendances

Les propriétés de l'eau dans la mer des Salish sont principalement influencées par les conditions océaniques à l'entrée ouest du détroit de Juan de Fuca, et par l'écoulement d'eau douce du Fraser. En plus du réchauffement estival et du refroidissement hivernal, des changements saisonniers se produisent lorsque l'eau salée et pauvre en oxygène de l'océan remonte pendant les mois d'été, et que le ruissellement du Fraser atteint son maximum au début de l'été. Les tendances mondiales du réchauffement des océans se reflètent dans les propriétés de l'eau de la mer des Salish, et la tendance à l'augmentation du débit du Fraser se traduit par la tendance à la dessalure de la couche de surface. L'intense mélange des marées qui se produit dans le détroit de Haro contrôle efficacement l'échange de masses d'eau entre le détroit de Juan de Fuca et le détroit de Georgie (Masson 2002; Pawlowicz *et al.* 2007).

36.5. References

- Masson, D., 2002. Deep Water Renewal in the Strait of Georgia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 115-126.
- Pawlowicz, R., Riche, O., and Halverson, M. 2007. The circulation and residence time of the Strait of Georgia using a simple mixing-box approach. *Atmosphere-Ocean* 45 (2): 173-193.

37. PROPRIÉTÉS DES EAUX PROFONDES ET DES EAUX DE SURFACE DE LA MER DES SALISH EN 2019 : INSTRUMENTS CÂBLÉS ET TRAVERSIER

Richard Dewey¹, Mike Morley¹, Steve Mihaly¹ et Rich Pawlowicz²

¹Ocean Networks Canada, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, rdewey@uvic.ca, rdevey@uvic.ca, mmorley@uvic.ca

²Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, rich@eos.ubc.ca

37.1. Faits saillants

- Une remontée d'eau modérée (moyenne) a été enregistrée au large de la côte sud de la Colombie-Britannique (48° N 125° O) entre le 8 avril et le 9 septembre 2019.
- La plongée d'eau avant le 8 avril et après le 9 septembre était faible par rapport aux données remontant jusqu'à 1957.
- Les profils saisonniers de la température aux sites côtiers d'Ocean Networks Canada (ONC) : passage Folger (98 m); bras de mer Saanich (96 m); est du détroit de Georgie (DG) (170 m); et centre du détroit de Georgie (300 m), étaient similaires à ceux de 2018 et généralement plus chauds que les conditions d'avant 2015.
- Les conditions océaniques dans les eaux profondes de la mer des Salish restent environ 0,5 °C plus chaudes qu'avant 2015.
- Le renouvellement des eaux profondes (> 300 m) dans le détroit de Georgie, tel qu'enregistré au site du centre du détroit, a duré du début du mois de juin à la mi-décembre; c'est le dernier événement de renouvellement en date de ces douze dernières années.
- La prolifération phytoplanctonique printanière de 2019 dans le détroit de Georgie, tel qu'enregistré par le système de thermosalinographes de BC Ferries, a commencé le 8 mars 2019 ou aux alentours de cette date, comme en 2018.

37.2. Description de la série chronologique

Nous présentons ici plusieurs séries chronologiques enregistrées à partir d'un certain nombre d'installations permanentes, notamment une bouée météorologique à l'ouest du cap Flattery, et des plateformes câblées dans le passage Folger (baie Barkley) et dans le détroit de Georgie (centre du détroit). Nous faisons également état des données provenant des instruments installés sur le traversier *Queen of Alberni* de BC Ferry, qui traverse le détroit de Georgie de Tsawwassen à Duke Point jusqu'à six fois par jour.

1. Bouée météorologique 46119 de la NOAA à Cha'Ba La Push (48° N 125° O). L'index des remontées d'eau de Bakun (fichier texte) est disponible sur le site Web du Pacific Fisheries Environmental Laboratory de la NOAA :

<https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/upwelling.html>

L'indice de Bakun prend la composante moyenne quotidienne de la tension du vent le long des côtes et la met à l'échelle (avec f , le paramètre de Coriolis) pour produire une estimation en volume de la quantité d'océan transportée vers le large (positive – remontée d'eau) ou vers la côte (négative – plongée d'eau) par 100 m de côte.

2. Le site profond dans le passage Folger (100 m) d'ONC est une installation câblée à points fixes à 48° 48' N et 125° 17' O. La plateforme d'instruments est située sur le plateau intérieur de la côte ouest de l'île de Vancouver, à l'embouchure de la baie Barkley, et la série chronologique dont il est question ici a débuté en septembre 2009. Cette série chronologique fournit un indicateur des propriétés de l'eau dans la zone littorale et à mi-profondeur (T, S, O₂) qui sont fortement influencées par les conditions locales de remontée et de plongée d'eau.
3. Le site du centre du détroit de Georgie (300 m) d'ONC est une installation câblée fixe située à 49° 2,4' N et 123° 25,6' O. La plateforme d'instruments repose sur le fond du détroit central sud, du côté est du talweg, un conduit pour les flux denses de renouvellement de l'eau venant du sud. La plateforme a été installée en septembre 2008. Cette série chronologique fournit un indicateur des propriétés des eaux profondes (T, S, O₂) dans le sud du détroit, qui sont fortement influencées par les événements de renouvellement des eaux profondes.
4. ONC a installé des instruments sur le M/V *Queen of Alberni* de BC Ferry, qui circule entre Tsawwassen et Duke Point. Le système a été installé en mai 2012. Cette série chronologique fournit un indicateur des propriétés des eaux de surface (T, S, O₂, Chl) dans le sud du détroit, qui sont fortement influencées par le Fraser.



Figure 37-1. Côte sud de la Colombie-Britannique, illustrant les installations et les instruments d'ONC. Les sites dont les données seront affichées ont été mis en évidence par des cercles rouges/blancs (bouée NOAA, à l'ouest de l'État de Washington, passage Folger, près de l'entrée de la baie Barkley, et centre du détroit de Georgie, dans la mer des Salish) et la route du traversier Queen of Alberni (ligne rouge dans l'encart cartographique).

37.3. État et tendances – 2019

37.3.1. Remontée d'eau

Les eaux côtières de la Colombie-Britannique et la mer des Salish sont fortement influencées par les conditions de remontée d'eau le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord. Pour la mer des Salish, cela comprend la région située près de l'entrée du détroit de Juan de Fuca. En particulier, les eaux profondes qui s'écoulent pendant la saison des remontées d'eau entrent principalement par les canyons situés le long du rebord du plateau continental, y compris le canyon de Juan de Fuca (figure 37-1).

En additionnant les indices quotidiens de la remontée d'eau du 1^{er} janvier au 31 décembre de chaque année, nous pouvons évaluer la nature des conditions locales de la remontée et de plongée d'eau qui influencent les eaux côtières du sud de la Colombie-Britannique (figure 37-2). Les vents de 2019 présentent quelques caractéristiques critiques. Premièrement, des forts vents ont soufflé vers le nord seulement au début de l'année (janvier 2019), révélés par une tendance marquée à la baisse de l'indice cumulé (ligne noire, figure 37-2). Après cette première période venteuse, les vents propices à la plongée d'eau étaient plus faibles et ont été remplacés par les vents favorables à la remontée d'eau le 8 avril 2019 ou à peu près à cette date. Les conditions de la remontée des eaux en 2019 (force et durée) étaient plutôt typiques, se terminant le 9 septembre ou aux alentours. Après cette date, les vents favorables à la plongée d'eau sont restés faibles pendant le reste de l'année (avec peu de tempêtes d'automne), se terminant par une plongée d'eau nette inférieure à la moyenne à long terme (figure 37-2, courbe bleue).

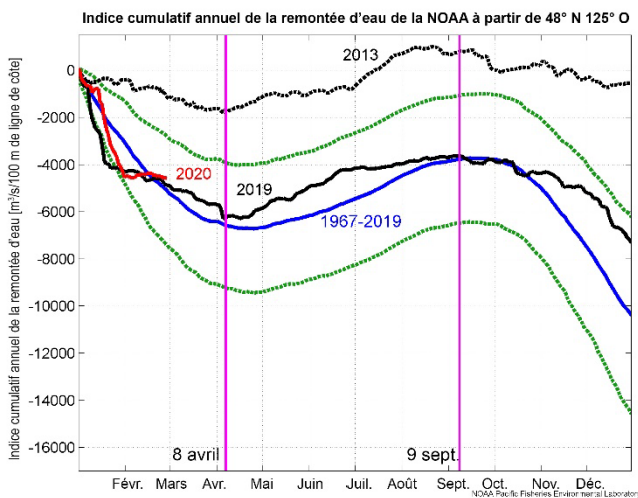


Figure 37-2. Indice cumulé de la remontée d'eau à partir des vents le long des côtes, enregistré à 48° N 125° O, à l'ouest de l'État de Washington (figure 37-1). Les tendances à la baisse (plongée d'eau) se produisent pendant les vents soufflant vers le nord (vents du sud) et les tendances à la hausse (remontée d'eau) pendant les vents soufflant vers le sud (vents du nord). L'année 2019 est indiquée par une ligne noire pleine. La courbe bleue est la moyenne quotidienne à long terme, avec plus et moins un écart-type (courbes en pointillés verts). L'année 2013 est l'année de la plongée d'eau la plus faible enregistrée, contribuant à la formation du « Blob » chaud dans le nord-est de l'océan Pacifique.

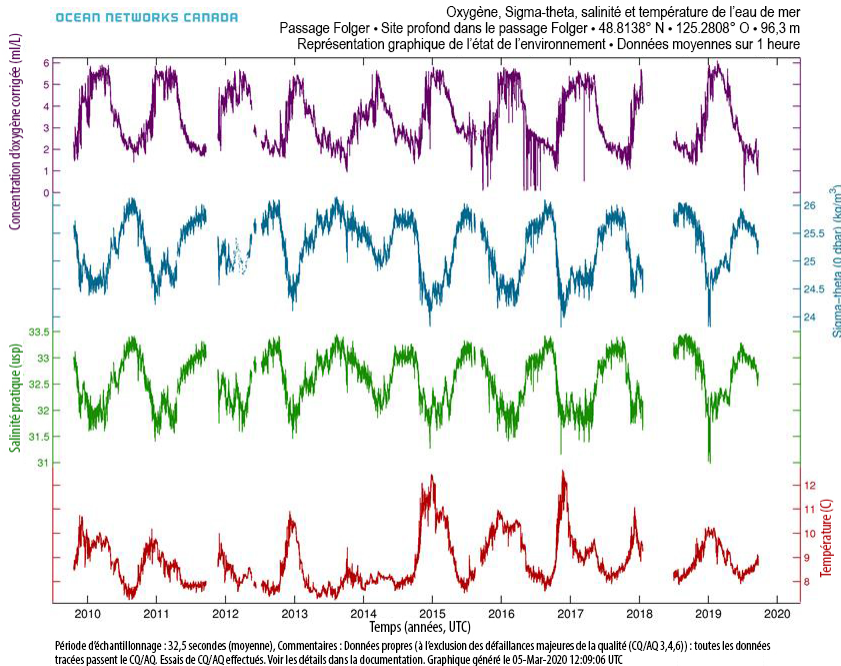


Figure 37-3. Série chronologique des propriétés de l'eau à partir de la station câblée du passage Folger (100 m) située près de l'entrée de la baie Barkley, sur la côte ouest de l'île de Vancouver (figure 37-1). Les propriétés illustrées sont (de haut en bas) : l'oxygène (en violet), la densité_{σ_t} (en bleu), la salinité (en vert) et la température (en rouge). Des défaillances des instruments au début de 2018 et à la fin de 2019 ont introduit des lacunes dans les données.

37.3.2. Passage Folger

ONC a de nombreuses stations dans la mer des Salish (zone côtière, anciennement VENUS) et au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (zone hauturière, anciennement NEPTUNE). Sur la côte ouest de l'île de Vancouver, le câble hauturier a une station dans le passage Folger (figure 37-1), près de l'entrée de la baie Barkley. Cette station dispose d'une plateforme fixe à une profondeur de 100 m. La figure 37-3 montre les enregistrements CTP et de l'oxygène pour le passage Folger (100 m). Alors que la densité est dominée par les variations de salinité, l'oxygène et la température sont inversement corrélés à la densité. Toutes les variations sont étroitement liées au signal régional de remontée d'eau et de plongée d'eau. Pendant les mois de plongée d'eau en hiver, les eaux de surface sont poussées vers l'est le long du rivage, ce qui rend l'eau de mer plus douce et plus chaude. Pendant la saison des remontées d'eau, l'eau salée plus fraîche est entraînée dans les eaux côtières.

Plusieurs signaux sont intéressants. L'absence de plongée d'eau (pic de chaleur) pendant l'hiver 2013-2014 indique que l'eau chaude reste au large et forme le « Blob » au début de 2014. Lorsque la plongée d'eau a repris à la fin de 2014, les températures maximales de la fin de 2014 et du début de 2015 étaient les plus chaudes de l'enregistrement. Bien que la fin de 2019 soit tronquée à partir du 23 septembre en raison d'une défaillance d'instrument, la plongée d'eau (pic chaud de 10 °C) et la remontée d'eau (période plus froide, jusqu'à 8 °C) ne sont généralement pas remarquables.

37.3.3. Eaux profondes du détroit de Georgie

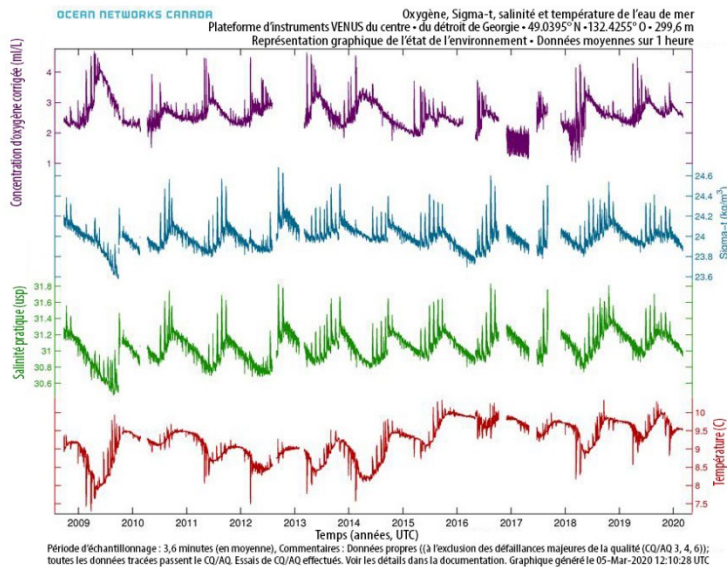


Figure 37-4. Propriétés de l'eau de mer à la station câblée d'ONG dans le centre du détroit de Georgie (300 m), montrant (de haut en bas) : l'oxygène, la densité (σ_t), la salinité et la température. Il convient de noter l'augmentation des températures de référence lors de l'intrusion du « Blob » du nord-est de l'océan Pacifique à la fin de 2014 et au début de 2015. Depuis 2015, l'ensemble du bassin profond du détroit de Georgie est en moyenne plus chaud de 0,7 °C qu'avant 2015. Les pics sont réels et associés (en température) aux éléments suivants : vers le bas – les événements de ventilation froide (hiver), et vers le haut – les événements de renouvellement des eaux profondes salées (été).

température liées au forçage saisonnier, avec des eaux douces plus froides en hiver et des eaux salées plus chaudes en été, et l'oxygène influencé par la respiration locale et la ventilation hivernale. Les températures fluctuent en fonction du réchauffement et du refroidissement de l'atmosphère locale. La salinité est forcée par la dessalure générale pendant la saison hivernale des pluies et par l'afflux d'eaux salées du Pacifique pendant la saison estivale de remontée des eaux. Il est intéressant de noter que s'il existe plusieurs sources locales d'eau douce (rivières et pluie), il n'y a qu'une seule source d'eau plus salée (augmentation de la salinité), à savoir l'océan Pacifique, qui est relié par un échange d'eaux profondes via le détroit de Juan de Fuca. L'oxygène est généralement aspiré par la respiration, et reconstitué l'hiver par une ventilation profonde (de haut en bas) depuis la surface, qui se révèle également être des intrusions froides. Ces tendances sont conformes aux conclusions présentées dans LeBlond *et al.* (1991) et Masson (2002).

Un examen plus approfondi de la série chronologique des eaux profondes du détroit de Georgie en 2019 mettra en lumière ces tendances et événements importants. La figure 37-5 présente les séries chronologiques des propriétés de l'eau pour 2019. Aux variations saisonnières générales s'ajoutent les événements de renouvellement prononcés, associés à la ventilation descendante (pics d'oxygène d'avril à juin) et les événements de renouvellement des eaux

Dans la mer des Salish, la série chronologique provient du site du centre du détroit de Georgie (figure 37-1), situé dans la région centre-sud à une profondeur de 300 m. Ce site se trouve sur le côté droit (est) du talweg, entre le sud du détroit peu profond et le bassin central profond, avec des profondeurs maximales dépassant 400 m. La figure 37-4 montre les enregistrements CTP et de l'oxygène à partir de 2008. Hormis quelques lacunes dans les données dues à des défaillances des capteurs et à des cellules de conductivité bouchées, les données révèlent plusieurs caractéristiques essentielles des propriétés des eaux profondes du détroit. Il y a d'abord les cycles annuels dans tous les chenaux, avec la salinité qui domine les variations de densité, les variations de la salinité et de la

profondes denses (pics de salinité de juin à décembre). Selon Griffin et LeBlond (1990), les événements de renouvellement des eaux profondes peuvent être liés aux taux de mélange des marées dans les îles San Juan et Gulf, qui sont les plus faibles une fois par mois et correspondent aux événements de renouvellement des eaux profondes (figure 37-5).

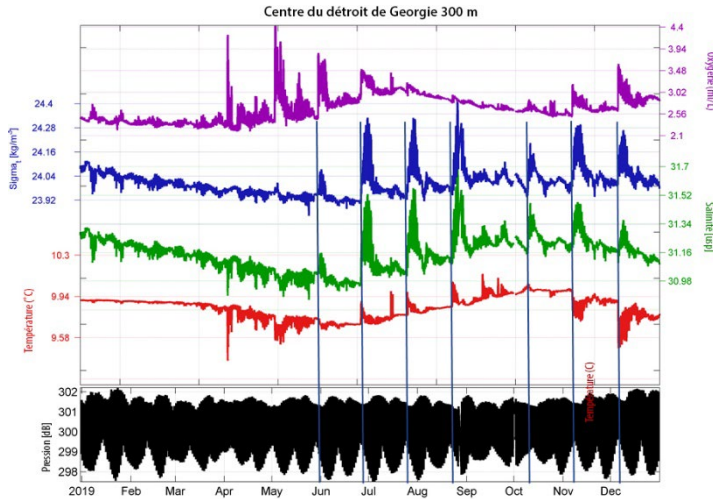
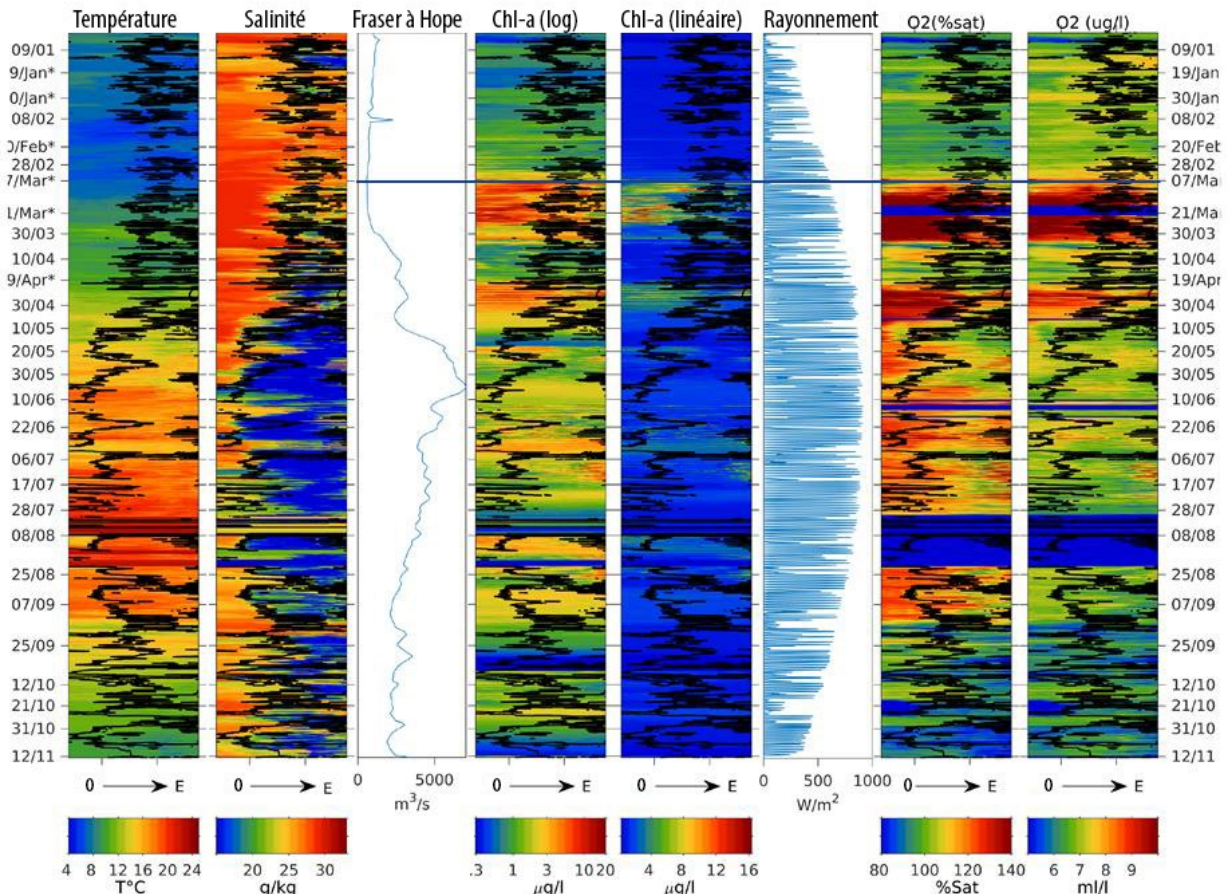


Figure 37-5. Série chronologique de la station du centre du détroit de Georgie (300 m), montrant, de haut en bas : l'oxygène, la densité (σ_t), la salinité, la température et la pression (hauteur de la marée). Il est intéressant de noter les événements intrusifs associés : a) aux événements de ventilation descendante en hiver (à la fois refroidissement et réoxygénation) et b) aux événements de renouvellement des eaux profondes modulés par les marées pendant la saison estivale de remontée des eaux (événements associés à une salinité plus élevée). Les événements de renouvellement en fin d'année (novembre et décembre) sont uniques en 2019, lorsqu'il y a encore de l'eau salée qui entre dans le système, alors que le refroidissement/la ventilation de surface a également commencé.

L'année 2019 est marquée par des événements de renouvellement des eaux profondes en fin de saison. La figure 37-5 illustre deux à trois événements de fin de saison (octobre à décembre) dénotés par des pics de salinité plus élevés. À cette époque tardive de la saison, les températures régionales se refroidissent, comme les eaux de surface (riches en oxygène). Un automne sec a réduit la quantité d'eau douce de surface, permettant la persistance de conditions salines profondes dans les détroits voisins (détroits de Juan de Fuca et de Haro).

37.3.4. Propriétés des eaux de surface d'après BC Ferries

ONC maintient également un système de thermosalinographes (TSG) sur le traversier *Queen of Alberni*, qui relie Duke Point à Tsawwassen (figure 37-1, encart). Ce système est équipé de capteurs d'oxygène et de fluorimètres pour mesurer la chlorophylle, qui peuvent détecter la prolifération phytoplanctonique printanière. La figure 37-6 représente des séries chronologiques spatio-temporelles en colonnes. La prolifération phytoplanctonique printanière est peut-être plus évidente dans la quatrième colonne, Chl-a (log), avec une transition nette vers des concentrations plus élevées de chlorophylle-a. À titre de référence, la prolifération printanière commence vers le 8 mars dans cet enregistrement.



*les données de l'échantillonnage sur les passages des traversiers sont

Figure 37-6. Séries chronologiques dans le temps et l'espace d'après des capteurs montés sur le traversier Queen of Alberni, le temps progressant de haut en bas et l'espace de gauche (ouest, Duke Point) à droite (est, Tsawwassen). Les colonnes représentent (de gauche à droite) : la température de la surface de la mer, la salinité, le débit du Fraser (à Hope), la chlorophylle a à l'échelle logarithmique et linéaire, le rayonnement solaire et l'oxygène dissous, à la fois en % de saturation et en $\mu\text{g}/\text{L}$.

37.4. Sommaire

L'évaluation des conditions marines de 2019 sur la côte sud-ouest de l'île de Vancouver, dans les zones hauturières et côtières, révèle plusieurs caractéristiques :

- Les saisons de plongée d'eau et de remontée d'eau n'ont pas été remarquables. Il n'y a eu qu'une seule période de forte plongée d'eau au début de l'année (janvier 2019), suivie d'une plongée d'eau relativement faible (jusqu'au début du mois d'avril), d'une faible remontée d'eau (jusqu'au début du mois de septembre) et d'une faible plongée d'eau (jusqu'en décembre).
- Les signaux de la remontée d'eau sur le plateau du sud-ouest de l'île de Vancouver n'étaient pas remarquables.
- Les propriétés des eaux profondes de la mer des Salish sont restées chaudes après l'intrusion de l'eau du « Blob » en 2015. Les températures des eaux profondes restent entre 0,5 et 0,7 °C au-dessus des conditions d'avant la formation du « Blob ».

- Les événements de renouvellement des eaux profondes dans le détroit de Georgie se produisent pendant la saison estivale de remontée des eaux, de la mi-juin à la mi-décembre, la dernière saison de renouvellement enregistrée.
- Les conditions en surface dans le détroit de Georgie, telles que révélées par les capteurs montés sur le *Queen of Alberni*, révèlent une prolifération phytoplanctonique printanière débutant le ou vers le 8 mars 2019, comme dans les enregistrements à long terme.

37.5. References

- Foreman, M.G.G., Sutherland, G., and Cummins, P.F. 2004. M2 Tidal Dissipation around Vancouver Island: An Inverse Approach. *Continental Shelf Research* 24: 2167-2185.
- Griffin, D.A., and LeBlond, P.H. 1990. Estuary/Ocean Exchange Controlled by Spring-Neap Tidal Mixing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30: 275-297.
- LeBlond, P.H., Ma, H., Doherty, F., and Pond, S. 1991. Deep and intermediate Water Replacement in the Strait of Georgia. *Atmosphere-Ocean* 29(2): 288-312.
- Masson, D. 2002. Deep Water Renewal in the Strait of Georgia *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 115-126.

38. PÉRIODE DE PROLIFÉRATION PHYTOPLANCTONIQUE PRINTANIÈRE, PRODUCTIVITÉ ESTIVALE INTERANNUELLE DANS LE DÉTROIT DE GEORGIE

Susan Allen, Doug Latornell et Elise Olson, Sciences de la Terre, des Océans et de l'Atmosphère, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, sallen@eoas.ubc.ca, dlatornell@eoas.ubc.ca, eolson@eoas.ubc.ca

38.1. Faits saillants

- La période de prolifération printanière de 2019 correspondait à la moyenne. Ce devrait également être le cas pour celle de 2020.
- Depuis 2006, la période de prolifération printanière a peu changé d'une année à l'autre, contrairement aux dix années précédentes.
- La contribution des diatomées à la productivité estivale du phytoplancton en 2019 était faible par rapport à la moyenne de 2007 à 2019.

38.2. Description de la série chronologique

Si l'on se fonde sur les régions du détroit de Georgie (DG) définies par le MPO à partir des caractéristiques hydrographiques et du plancton (inédit, Perry et Galbraith, Pêches et Océans, Canada), les résultats du modèle unidimensionnel présentés ici se rapportent au centre du détroit de Georgie. À partir du modèle tridimensionnel, nous présentons les résultats du sud, du centre et du nord du détroit de Georgie.

38.2.1. *Modèle biophysique unidimensionnel : SOG – pour la prolifération printanière*

SOG est un modèle de mélange physique vertical unidimensionnel couplé à un modèle biologique Nitrate-Diatomées (Collins *et al.* 2009). Tous les processus océanographiques bidimensionnels non résolus par le modèle sont paramétrés. L'emplacement du modèle, la station S3 de STRATOGEM, se trouve sur la route du traversier qui relie Tsawwassen à Duke Point. Le modèle est forcé par les vents mesurés à Sand Heads, les nuages et la température mesurés à l'aéroport YVR (Vancouver) et les mesures du débit fluvial à Hope (représentant la partie du Fraser dominée par la fonte des neiges) et dans la rivière Englishman (représentant toutes les autres rivières et la partie du Fraser dominée par les pluies). À l'aide de ces sources de données, nous avons produit une série chronologique de la prolifération printanière remontant jusqu'à 1967 (Allen et Wolfe 2013).

38.2.2. *Modèle biophysique tridimensionnel : SalishSeaCast – pour la productivité estivale*

SalishSeaCast est un modèle biophysique couplé tridimensionnel de la mer des Salish. Le modèle physique est basé sur NEMO (Madec *et al.* 2012), avec des résolutions de grille d'environ 500 m à l'horizontale et de 1 à 22 m à la verticale (Soontiens *et al.* 2016). La résolution est plus élevée près de la surface. Le modèle est forcé par les facteurs réalistes de vents d'Environnement et Changement climatique Canada (2019) et les apports fluviaux basés sur une climatologie (Morrison *et al.* 2011) ou, dans le cas du Fraser, sur les observations à

Hope. Le modèle biologique, SMELT, est fondé sur le modèle à trois nutriments, trois phytoplanctons, deux zooplanctons, trois détritux (Olson *et al.* 2020). La série chronologique s'étend sur 13 ans, de 2007 à 2019.

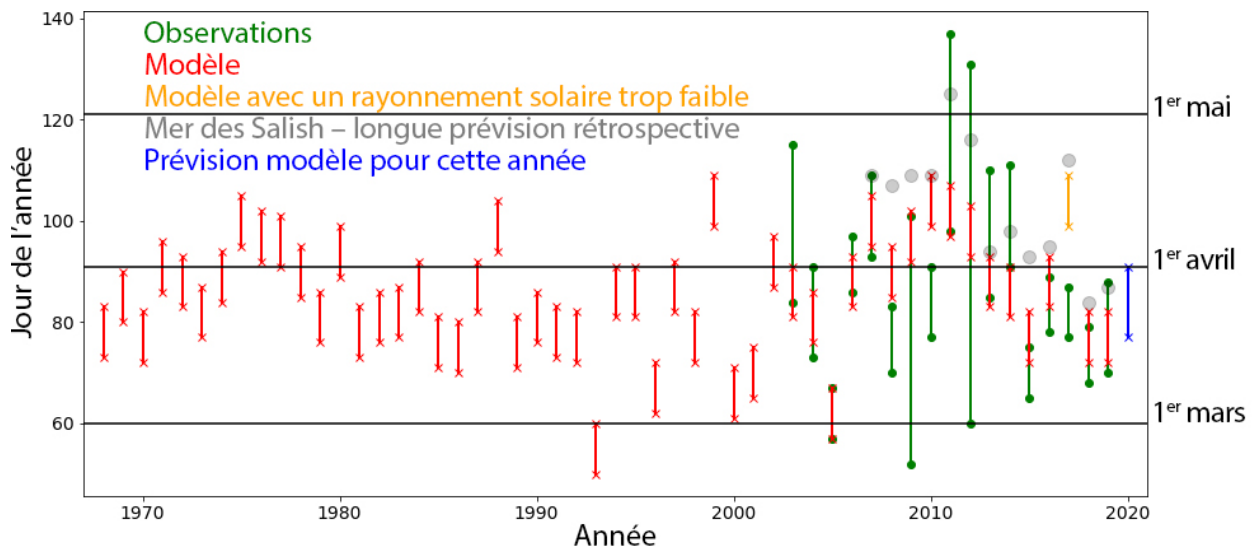


Figure 38-1 : Série chronologique de la période du pic de la prolifération phytoplanctonique printanière. Vert – observations des systèmes montés sur le traversier. Rouge – modèle SOG. Orange – modèle SOG avec un rayonnement solaire trop faible (voir Allen *et al.* 2018), Bleu – prévision du modèle SOG pour 2020 et Gris – SalishSeaCast (tous tardifs).

38.3. État et tendances

38.3.1. Prolifération printanière

La prolifération printanière de 2019 s'est produite entre le 13 et le 23 mars 2019 selon le modèle SOG (figure 38-1). Les observations provenant du traversier donnent une prolifération printanière d'une hauteur de $\frac{1}{2}$ pic à une hauteur de $\frac{1}{2}$ pic du 11 mars au 29 mars 2019 (figure 38-1). Pour obtenir plus de détails sur les observations provenant du traversier, voir Dewey *et al.*, section 37. Cette période correspond aux observations des satellites (Gower *et al.*, section 12). La prolifération printanière de 2020 devrait culminer entre le 17 mars et le 1^{er} avril 2020.

Ces proliférations ont une période typique. La moyenne de la série chronologique du SOG est le 26 mars, avec un écart-type de 11 jours. Il est à noter que depuis 2011, la date de la prolifération printanière n'a pas beaucoup varié d'une année à l'autre. Cette situation est similaire à celle des séries chronologiques antérieures à 1993 et très différente des grandes variations observées entre 1993 et 2006.

38.3.2. Productivité estivale

La productivité estivale (figure 38-2, graphique supérieur gauche) montre que le nord et le sud du détroit de Georgie sont plus productifs que la région centrale. Dans tout le détroit, à l'exception de certains bras de mer, la productivité estivale en 2019 était inférieure d'environ 5 à 10 % à la moyenne des treize dernières années. Le modèle comprend trois grandes classes de

photosynthétiseurs : les diatomées, *Mesodinium rubrum* et les flagellés. En 2019, une plus grande partie de la photosynthèse était réalisée par des flagellés par rapport aux diatomées. Le cilié, *Mesodinium rubrum*, ne contribue qu'en faible quantité. La variation de la productivité primaire entre les classes de phytoplancton est beaucoup plus importante que la variation de la productivité primaire totale. En 2019, jusqu'à 40 % de plus de la productivité provenait des flagellés.

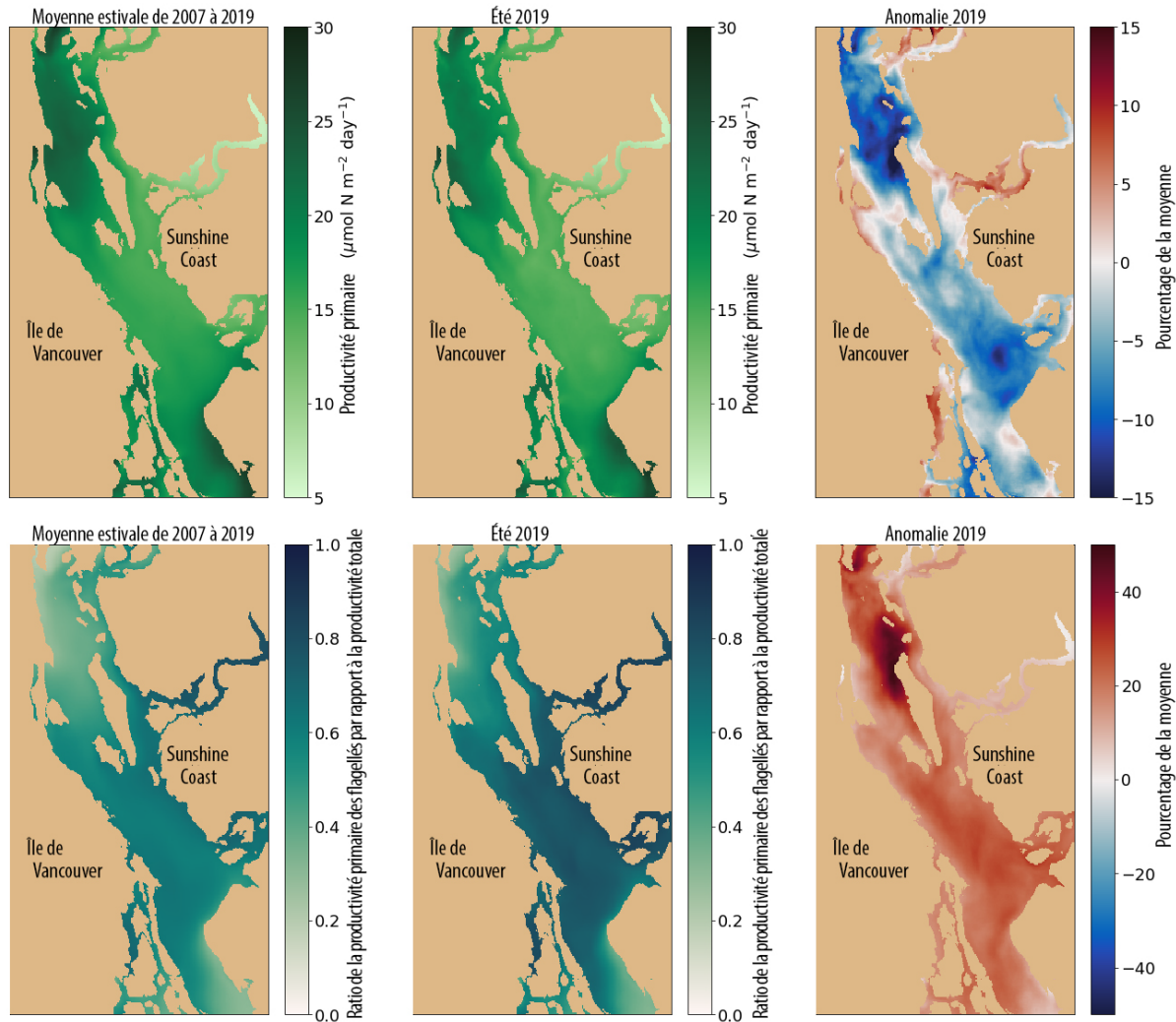


Figure 38-2 : Productivité estivale dans le détroit de Georgie et sa variation en 2019 par rapport à la moyenne de 2007 à 2019. La moyenne des valeurs est calculée sur les mois de juin, juillet et août et intégrée pour les 30 premiers mètres de la colonne d'eau. Seules les profondeurs de l'eau supérieures à 35 m sont indiquées. Rangée du haut : productivité primaire dans le modèle. Rangée du bas : rapport entre la productivité primaire des flagellés et la productivité totale. Colonne de gauche : moyenne sur treize ans. Colonne du milieu : 2019. Colonne de droite : anomalies par rapport à la moyenne pour 2019 en pourcentage.

38.4. Facteurs influençant les tendances

38.4.1. Prolifération printanière

Selon le modèle SOG, la prolifération printanière de 2019 a commencé à la fin du mois de février, car les vents étaient faibles et il y avait moins de nuages que d'habitude (figure 38-3). Elle a été fortement interrompue par une grosse tempête au début du mois de mars. Par la suite, la prolifération printanière a été rapide et a atteint son apogée le 18 mars.

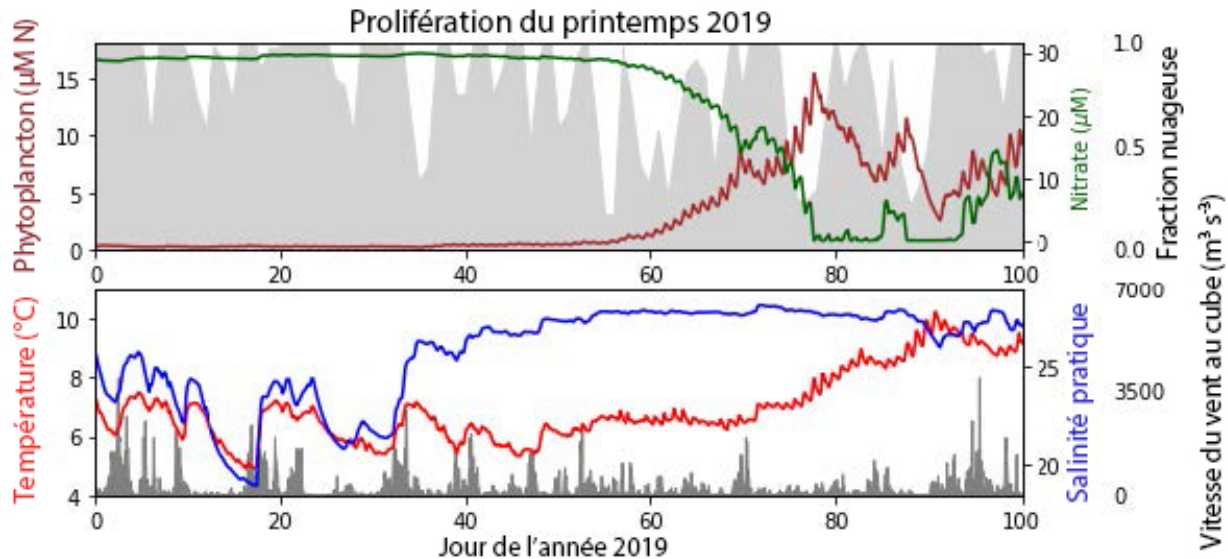


Figure 38-3 : Prédiction rétrospective de la prolifération printanière de 2019 et des conditions connexes dans le détroit de Georgie. Le graphique inférieur indique la moyenne de la température (en rouge) et de la salinité (en bleu) sur les trois premiers mètres de la colonne d'eau; en gris se trouve le cube de la vitesse du vent, qui est directement lié à la force du mélange. Le graphique supérieur montre la biomasse du phytoplancton (en rouge foncé) et le nitrate (en vert); en gris, la moyenne de la fraction nuageuse sur la journée. La prolifération printanière de 2019 a eu lieu le 18 mars, plus ou moins cinq jours. Les tracés couvrent la période du 1^{er} janvier 2019 au 11 avril 2019.

38.5. Conséquences de ces tendances

Le moment de la période de prolifération phytoplanctonique printanière peut avoir une incidence sur l'abondance du hareng d'âge 0, l'abondance étant plus importante pour les proliférations dont la période est typique (Boldt *et al.* 2018). Ainsi, la période la prolifération phytoplanctonique printanière en 2019 était *favorable pour le hareng d'âge-0*. Les décalages extrêmes de la période ont entraîné une faible croissance du zooplancton (p. ex. Sastri et Dower 2009). La période constante de la prolifération phytoplanctonique printanière observée dans les années 2010 devrait être *bonne pour le zooplancton tel que les copépodes*.

La quantité de productivité primaire devrait aider à définir la disponibilité ascendante de la nourriture pour les niveaux trophiques supérieurs. Le modèle SalishSeaCast est toujours en cours d'évaluation, mais il semble que la disponibilité brute de la nourriture soit assez stable

(± 10 %) d'une année à l'autre. Les groupes du phytoplancton responsables de la productivité primaire estivale semblent varier plus fortement.

38.6. References

- Allen, S.E., Olson, E., Latornell, D.J., Pawlowicz, R., Do, V., Stankov, K., and Esenkulova, S. 2018. Spring phytoplankton bloom timing, interannual summer productivity. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J. (Eds.). State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2017. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3266: viii + 245 p.
- Allen, S.E., and Wolfe, M.A. 2013. Hindcast of the timing of the spring phytoplankton bloom in the Strait of Georgia, 1968-2010. Prog. Oceanogr. 115: 6-13.
- Boldt J., Thompson, M., Rooper, C., Hay, D., Schweigert, J., Quinn, T.J. II, Cleary, J., and Neville, C. 2018. Bottom-up and top-down control of small pelagic forage fish: factors affecting age-0 herring in the Strait of Georgia, British Columbia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 617: 53-66.
- Collins, A.K., Allen, S.E., and Pawlowicz, R. 2009. The role of wind in determining the timing of the spring bloom in the Strait of Georgia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 66: 1597-1616.
- Environment and Climate Change, Canada. 2019. HRDPS data in GRIB format [online]. weather.gc.ca/grib/grib2_HRDPS_HR_e.html
- Madec, G. 2012. NEMO ocean engine. Note du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace, No. 27, France.
- Morrison, J., Foreman, M., and Masson, D. 2011. A method for estimating monthly freshwater discharge affecting British Columbia coastal waters. Atmos.-Ocean. 50: 1-8.
- Olson, E.M., Allen, S.E., Do, V., Dunphy, M., and Ianson, D. 2020. Assessment of nutrient supply by a tidal jet in the Northern Strait of Georgia based on a biogeochemical model. J. Geophys. Res.: Oceans, *In review*.
- Sastri, A.R., and Dower, J.F., 2009. Interannual variability in chitinase-based production rates of the crustacean zooplankton community in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. Mar. Ecol. Prog. Ser. 288: 147-157.
- Soontiens, N., Allen, S.E., Latornell, D., Le Souef, K., Machuca, I., Paquin, J-P, Lu, Y., Thompson, K., and Korabel, V. 2016. Storm surges in the Strait of Georgia simulated with a regional model. Atmos.-Ocean 54: 1-21.

39. DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DE LA COMMUNAUTÉ PHYTOPLANCTONIQUE DANS LA MER DES SALISH D'APRÈS LES MESURES PAR CLHP DE 2015 À 2019

Nina Nemcek, Melissa Hennekes et Ian Perry, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, nina.nemcek@dfo-mpo.gc.ca, melissa.hennekes@dfo-mpo.gc.ca, ian.perry@dfo-mpo.gc.ca

39.1. Faits saillants

- Comme les années précédentes, les diatomées centriques constituaient la majeure partie de la communauté phytoplanctonique en avril, malgré une biomasse de la Chl-a beaucoup plus faible durant le relevé de 2019.
- Une grande prolifération du dinoflagellé *Ceratium diveracatum* a été observée dans le détroit de Juan de Fuca au début du mois d'octobre.
- En moyenne, la biomasse était plus faible en 2019 que les années précédentes lors des relevés de printemps, d'été et d'automne, mais cela était dû, au moins en partie, au fait que les relevés n'ont pas été effectués durant la prolifération printanière.

39.2. Description de la série chronologique

Il est important de surveiller la variabilité saisonnière et interannuelle de la biomasse et de la composition des communautés de phytoplancton pour comprendre les fonctions des écosystèmes, en particulier en ce qui concerne la disponibilité de la nourriture pour les niveaux trophiques supérieurs (zooplancton et poissons). Alors que la biomasse de la chlorophylle *a* (Chl-a) donne une indication de la quantité de nourriture disponible, il est important d'élucider la composition de la communauté phytoplanctonique pour étudier la qualité de la nourriture et la structure du réseau trophique. Des mesures fluorométriques de la Chl-a ont été effectuées dans le cadre des relevés menés dans le détroit de Georgie (DG) depuis 1999, au début de la série chronologique; des mesures par chromatographie liquide haute performance (CLHP) pour déterminer la composition des communautés ont été ajoutées en 2004 avec un hiatus entre 2012 et 2014. La série chronologique dans sa forme actuelle a été relancée en 2015 et est présentée ici.

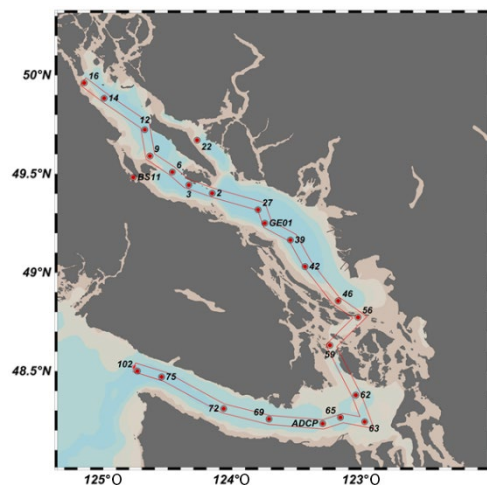


Figure 39-1. Carte des lieux d'échantillonnage dans la mer des Salish avec le talweg mis en évidence.

Les missions ont lieu à bord du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Vector* au moins trois fois par an, en avril, juin et septembre/octobre, avec des échantillonnages d'eau aux stations situées le long du talweg (figure 39-1). Depuis 2018, des relevés supplémentaires réalisés depuis le NGCC *Neocaligus* et le NGCC *John P. Tully* ont permis de dresser un tableau plus complet de la progression saisonnière de la communauté phytoplanctonique. La biomasse

et la composition de la communauté phytoplanctonique ont été déterminées à partir des concentrations de pigments mesurées par CLHP, comme décrit dans Nemcek et Peña (2014). Un programme de factorisation matricielle (CHEMTAX) a été utilisé pour estimer la contribution des principaux groupes taxonomiques du phytoplancton à la Chl-a totale (Mackey *et al.* 1996) et les résultats ont été vérifiés sur le terrain par comparaison avec l'analyse microscopique des échantillons conservés au Lugol.

39.3. État et tendances

La composition de la communauté phytoplanctonique lors des relevés d'avril était similaire sur les cinq années dans toute la région du relevé (figure 39-2). C'est dans le centre du détroit de Georgie que la communauté phytoplanctonique était la plus constante, avec une plus grande variabilité interannuelle observée dans le nord et dans le détroit de Juan de Fuca. Les diatomées centriques (diatomées-1) étaient la principale composante de la prolifération printanière et représentaient environ 90 à 100 % de la communauté phytoplanctonique dans les zones où la biomasse était la plus élevée (figure 39-2), *Thalassiosira* spp., *Chaetoceros* spp. et *Skeletonema costatum* étant les espèces les plus fréquemment observées. En 2019, la biomasse d'avril était beaucoup plus faible dans toute la zone du relevé en raison du temps orageux au début du relevé qui a dispersé les efflorescences phytoplanctoniques (figure 39-2). La composition du phytoplancton dans le nord du détroit de Georgie ressemblait à celle observée en 2015 avec une proportion d'haptophytes plus élevée que dans les années intermédiaires.

Des groupes tels que les raphidophytes, les dinoflagellés et les cyanobactéries, qui étaient pratiquement absents au printemps, contribuaient davantage à la communauté en juin (figure 39-2). La biomasse estivale était beaucoup plus faible dans toute la région du relevé qu'au printemps, comme prévu, mais particulièrement faible en 2019 par rapport aux quatre années précédentes. Toutes les années, la biomasse estivale la plus faible a été constamment observée dans le nord et c'est également la région où la communauté phytoplanctonique est la plus diversifiée (figure 39-2). Les diatomées étaient pratiquement absentes en juin dans le nord du détroit de Georgie et avaient été remplacées par des flagellés plus petits. La composition de la communauté dans le nord en 2019 était très similaire à celle de 2015 et 2016, avec une absence quasi totale de diatomées et des haptophytes constituant la majorité de la communauté phytoplanctonique. Cette composition particulière pourrait représenter un stade plus tardif dans la succession des conditions printanières que celui observé en 2017 et 2018 et donc dépendre de la période du relevé plutôt que de différences interannuelles dans la composition du phytoplancton. Dans le centre du détroit de Georgie, la biomasse estivale des diatomées était beaucoup plus faible en 2018 et 2019 que les trois années précédentes, ce qui peut être lié à la période du relevé, comme ci-dessus. Même si le raphidophyte *Heterosigma akashiwo* était présent durant l'été 2019, on n'a pas observé de grandes proliférations comme celles de l'été 2018.

En automne, la biomasse phytoplanctonique est plus élevée qu'en été, avec des proliférations épisodiques plus petites que celles observées au printemps. La diversité est généralement la plus grande pendant cette saison dans toute la région. En 2019, la biomasse dans le détroit de Georgie était la plus faible des cinq dernières années, les prasinophytes dominant la communauté phytoplanctonique dans le centre et le nord du détroit (figure 39-2). La

caractéristique la plus frappante des relevés de 2019 était la grande prolifération de dinoflagellés observée dans le détroit de Juan de Fuca (figure 39-2). L'analyse microscopique a révélé qu'il s'agissait d'une prolifération de *Ceratium divericatum*. Bien que l'on n'ait pas observé de prolifération de dinoflagellés au cours des cinq dernières années de relevés et que ce groupe soit généralement un contributeur mineur à la biomasse du détroit de Georgie tout au long de l'année, des proliférations de dinoflagellés ont été repérées à la fin de l'été et à l'automne dans le détroit de Juan de Fuca, en particulier près de l'embouchure, à proximité du tourbillon Juan de Fuca. Cette prolifération semble soutenir un réseau trophique actif puisque des milliers d'oiseaux de mer et des rorquals à bosse ont été observés en train de se nourrir à proximité pendant cet échantillonnage.

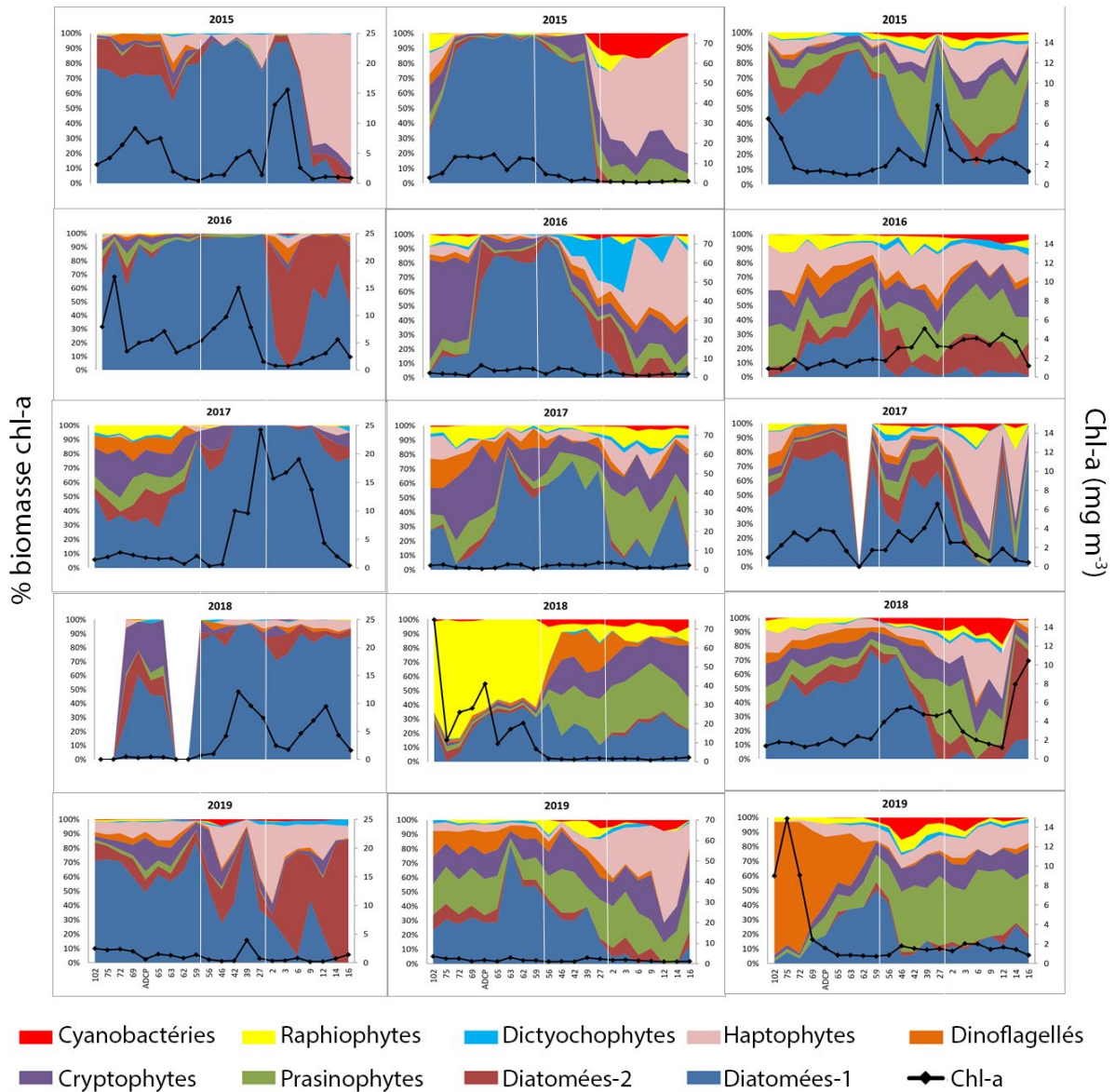


Figure 39-2. Résultats de CHEMTAX par station (voir la figure 39-1), montrant la contribution relative de chaque groupe phytoplanctonique à la biomasse totale de la Chl-a (axes de gauche) pour chaque année et saison; en avril, juin et septembre/octobre dans le graphique de gauche, le graphique central et le graphique de droite, respectivement. Diatomées-1 représentent les diatomées centriques et diatomées-2, les diatomées pennées. Les valeurs absolues de la Chl-a (lignes noires) sont tracées sur les axes de droite. Noter les différentes échelles pour chaque saison. Les lignes blanches désignent les limites approximatives (de gauche à droite) du détroit de Juan de Fuca, ainsi que du centre et du nord du détroit de Georgie.

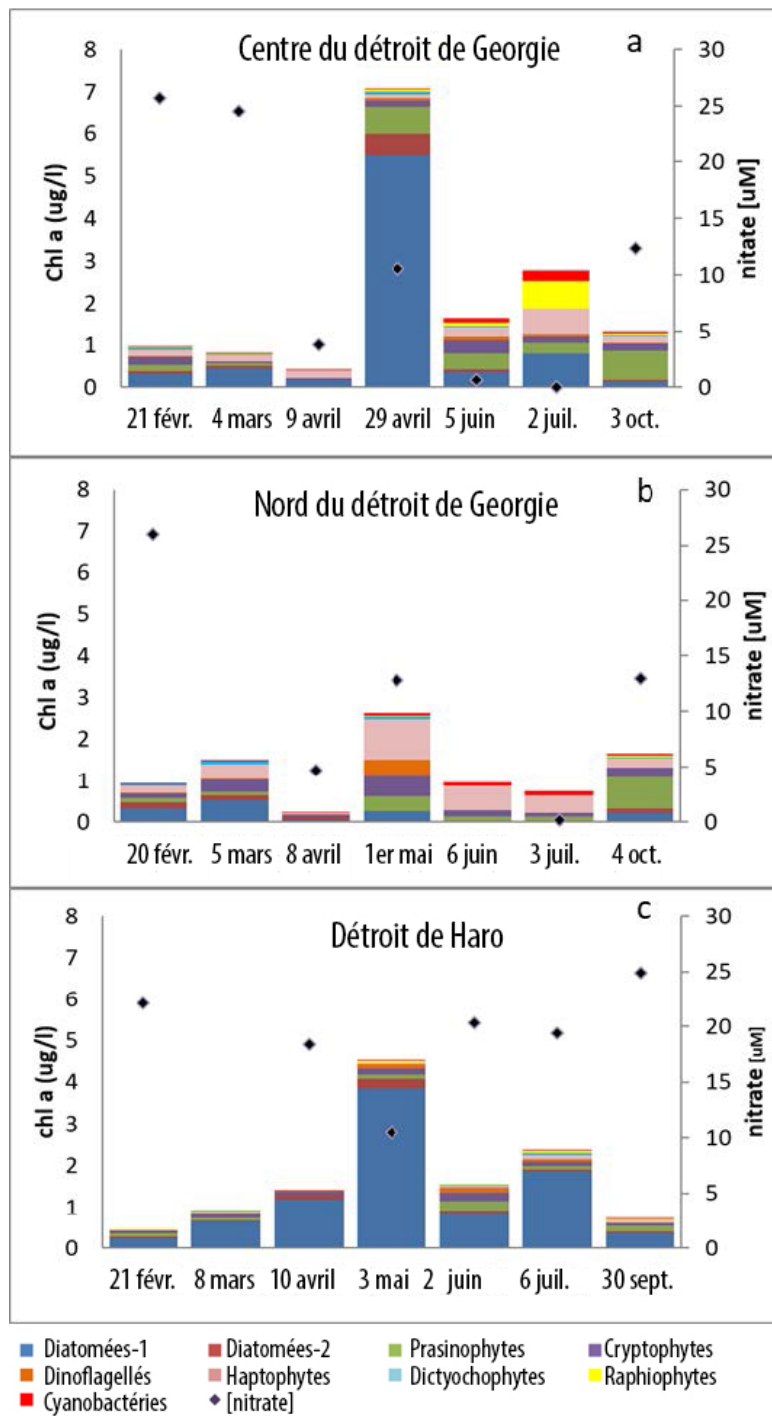


Figure 39-3 : Changements saisonniers dans la communauté phytoplanctonique à trois stations : a) GEO1, b) station 12 et c) station 59. Chaque groupe de phytoplancton est représenté en équivalents de biomasse absolue de la Chl-a tels que déterminés par CHEMTAX (axes de gauche) avec les concentrations de nitrates correspondantes (axes de droite). Noter que les concentrations de nitrates n'ont pas été mesurées à toutes les dates.

La progression saisonnière de la communauté phytoplanctonique dans trois stations représentant le centre et le nord du détroit de Georgie ainsi que le détroit de Haro est indiquée sur la figure 39-3 (le détroit de Juan de Fuca n'a été échantillonné que trois fois par an comme sur la figure 39-2). La biomasse de la chlorophylle a était généralement faible pendant tous les relevés de 2019, seul celui de la fin du mois d'avril/début du mois de mai montrant des signes d'un bloom phytoplanctonique dans le centre du détroit de Georgie (figure 39-3a). Les concentrations de nitrates indiquent que le bloom printanier a commencé un peu après le 4 mars dans le centre du détroit de Georgie, car on relève une forte baisse des nitrates évidente entre cette date et le relevé suivant au début du mois d'avril (figure 39-3a). Il est probable que notre échantillonnage de mars a manqué le bloom printanier dans le centre du détroit de Georgie de quelques jours seulement, car les images satellites (Gower, section 12), la fluorescence de la chlorophylle a en cours constatée à partir des traversiers (Dewey *et al.*, section 37) et les prévisions du modèle (Allen *et al.*, section 38) indiquent qu'elle a commencé vers le 6-8 mars. Les données en cours sur la $p\text{CO}_2$ provenant d'un traversier transitant par le détroit de Georgie ont également montré une baisse intense de la $p\text{CO}_2$ dénotant une croissance rapide du phytoplancton tout au long du mois de mars

(Evans, section 35), qui s'est nettement infléchi avec le temps orageux du début du mois d'avril et est restée élevée pendant la majeure partie du mois d'avril jusqu'à la reprise des conditions de prolifération à la fin du mois (figure 39-3a). Toutes ces sources de données indiquent un bloom fort et prononcé dans le centre du détroit de Georgie tout au long du mois de mars, qui a été encadré à chaque extrémité par notre échantillonnage à partir des navires.

L'évolution de la communauté phytoplanctonique dans le centre et le nord du détroit de Georgie a affiché différents profils après la prolifération printanière. De février au début du mois d'avril, la structure des communautés et les niveaux de nutriments étaient similaires dans les deux zones (figure 39-3a-b). Cependant, fin avril/mai, le centre du détroit de Georgie était caractérisé par une prolifération dominée par les diatomées alors que plus au nord, un passage à une communauté mixte de flagellés composée en grande partie d'haptophytes s'était déjà produit malgré des niveaux de nitrates très similaires dans les deux régions (figure 39-3a-b). Ces observations sont semblables à celles de 2018, où le passage à une communauté mixte de flagellés a eu lieu environ un mois plus tôt dans le nord du détroit de Georgie par rapport à la région centrale (Nemcek *et al.* 2019). Au début du mois d'octobre, la structure des communautés dans les deux parties du détroit était à nouveau similaire, avec une composition mixte de flagellés dominée par les prasinophytes (figure 39-3a-b). Malgré l'augmentation des concentrations de nitrates à l'automne après la reprise du mélange, la communauté des flagellés n'est pas revenue aux diatomées, dans aucune des régions du détroit de Georgie. En revanche, dans le détroit de Haro, le mélange des marées a maintenu les niveaux de nitrates élevés toute l'année et les diatomées centriques étaient la principale composante de la communauté phytoplanctonique tout au long de l'année (figure 39-3c).

39.4. Facteurs influençant les tendances

Un certain nombre de facteurs environnementaux contrôlent la croissance du phytoplancton et la composition des communautés, les deux plus importants étant la disponibilité des nutriments et de la lumière. En hiver, les concentrations de nutriments sont élevées, mais le mélange en profondeur et la faible irradiance empêchent le phytoplancton de se développer. Une fois que la colonne d'eau se stabilise, la prolifération printanière peut commencer et est suivie d'une baisse des nutriments. Dans le détroit de Georgie, nous avons observé un changement dans la communauté phytoplanctonique, qui est passée d'une majorité de diatomées à une majorité de flagellés une fois que le nitrate de surface était épuisé (les concentrations de silicate n'ont jamais été limitatives). En raison de leur plus grand rapport surface/volume, les cellules plus petites des flagellés ont un avantage compétitif par rapport aux diatomées beaucoup plus grandes lorsque les niveaux de nutriments sont bas. Ce changement s'est produit plus tôt dans le nord du détroit de Georgie que dans le centre.

39.5. Conséquences de ces tendances

Le phytoplancton est à la base de tous les réseaux trophiques marins. Sa biomasse et sa composition détermineront donc à la fois la qualité et l'abondance de la nourriture disponible pour les niveaux trophiques supérieurs. On pense que les réseaux trophiques basés sur les diatomées sont plus courts et comportent moins de niveaux trophiques, car l'énergie est transmise plus efficacement du phytoplancton au zooplancton aux poissons, tandis que les réseaux trophiques fondés sur les flagellés reposent sur le recyclage des nutriments et comportent plus de liens et donc plus de pertes lorsque l'énergie est transmise aux niveaux

trophiques supérieurs. En outre, leurs profils d'acides gras variables signifient que les diatomées et les flagellés ont des valeurs nutritionnelles différentes pour leurs consommateurs. Les compositions de communautés phytoplanctoniques étaient très différentes dans le détroit de Georgie, le détroit de Haro et le détroit de Juan de Fuca en raison des différences d'océanographie.

39.6. References

- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, H.W., and Wright, S.W. 1996. CHEMTAX-a program for estimating class abundance from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144: 265-283.
- Nemcek, N., and Peña, M.A. 2014. Institute of Ocean Sciences Protocols for Phytoplankton Pigment Analysis by HPLC. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3117: x + 80 p.
- Nemcek, N., Hennekes, M., and Perry, I. 2019. Seasonal Dynamics of the Phytoplankton Community in the Salish Sea from HPLC Measurements 2015-2018. In Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.

40. PROLIFÉRATIONS PHYTOPLANCTONNIQUES NUISIBLES DANS LA MER DES SALISH EN 2019

Svetlana Esenkulova, Nicole Frederickson et Isobel Pearsall, Fondation du saumon du Pacifique (FSP), Vancouver, Colombie-Britannique, svesen@uvic.ca, nicolehfrederickson@gmail.com, pearsalli@shaw.ca

40.1. Faits saillants

- D'après les données recueillies dans le cadre du programme d'océanographie citoyenne de la FSP, il y a eu d'importantes proliférations d'algues nuisibles dans le détroit de Georgie (DG) en 2019, mais elles n'étaient pas aussi répandues qu'en 2018; il y en avait plus en 2019 que de 2015 à 2017.
- On a observé des proliférations orange vif de *Noctiluca scintillans* dans les bras de mer du nord-est à la fin du mois de juillet 2019.
- On a aussi assisté à des proliférations importantes, mais localisées, de *Heterosigma akashiwo* en août 2019.

40.2. Programme de science citoyenne

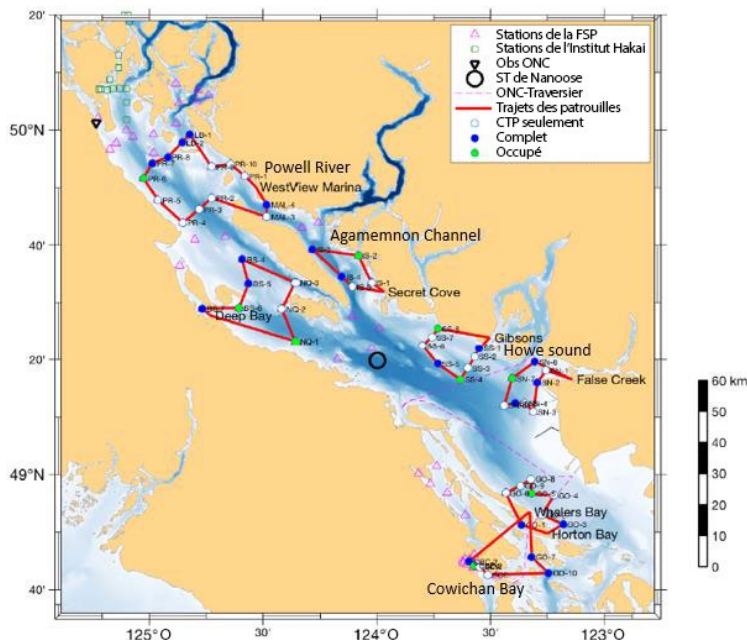


Figure 40-1. Carte du détroit de Georgie avec les lieux d'échantillonnage du programme de science citoyenne en 2019.

Le programme de science citoyenne a été initialement proposé par Eddy Carmack, du MPO, qui a imaginé une flottille de petites embarcations composée de bateaux privés qui recueilleraient des données pour la science partout dans le détroit de Georgie en même temps. La Fondation du saumon du Pacifique a financé le programme de 2015 à 2020. Des membres formés des communautés locales ont recueilli des informations dans le détroit de Georgie deux à trois fois par mois entre février et octobre. En 2019, le nombre de stations d'échantillonnage était d'environ 55 sites (figure 40-1), soit une légère diminution par rapport aux 70 sites échantillonnés entre 2015

et 2018. Des profils de conductivité-température-profondeur (CTP) ont été recueillis à toutes les stations (données disponibles au Centre de données du détroit de Georgie <http://soqdatacentre.ca>), des échantillons de nutriments à une trentaine de stations, des échantillons de phytoplancton à toutes les stations, et de zooplancton à trois stations. Le traitement et l'analyse des échantillons et des mesures ont été effectués à la FSP, à l'Université de la Colombie-Britannique, à Ocean Networks Canada, à Pêches et Océans Canada et à

l'Université de Victoria. Le programme de science citoyenne a fourni des données uniques pour l'ensemble du détroit à une résolution qui n'avait pas été possible auparavant.

40.3. Description de la série chronologique

Des échantillons de phytoplancton ont été prélevés deux à trois fois par mois entre février et octobre; à la surface (0 m) à environ 55 sites et à des profondeurs de 5, 10 et 20 m à environ 10 sites. Les échantillons de phytoplancton ont été analysés sur une lame Sedgewick-Rafter; l'identification des spécimens se fait au niveau taxonomique le plus bas possible; le dénombrement (sous forme de cellules mL^{-1}) a été effectué pour l'espèce ou le groupe dominant dans l'échantillon et les espèces dont on savait ou soupçonnait qu'elles avaient un effet négatif sur les salmonidés en Colombie-Britannique (Haigh *et al.* 2004). Le présent rapport repose sur plus de ~800 échantillons (environ 70 % du nombre total d'échantillons recueillis en 2019).

40.4. État et tendances

Après la prolifération printanière annuelle (composée principalement de *Thalassiosira*, *Skeletonema* et *Chaetoceros*, comme de 2016 à 2018, mais pas en 2015), plusieurs proliférations phytoplanctoniques nuisibles ont été relevées. Des proliférations du dinoflagellé *Noctiluca Scintillans* (figures 40-2 à 40-4) ont été observées dans des bras de mer au nord de Vancouver à la fin du mois de juillet.



Figure 40-2. *Noctiluca Scintillans* sous un microscope. Photo de S. Esenkulova.



Figure 40-3. Photo aérienne de la prolifération de *Noctiluca Scintillans* dans la baie Howe, le 25 juillet 2019. Photo de M. Bahrey.



Figure 40-4. Photo de la prolifération dense de *Noctiluca Scintillans* dans le chenal Agamemnon, le 26 juillet 2019. Photo de T. Woodard.

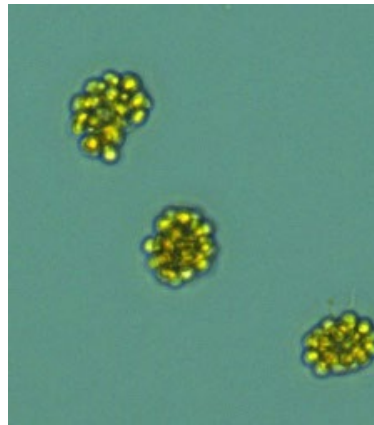


Figure 40-5. Cellules de *Heterosigma akashiwo*. Photo de S. Esenkulova.

Il y a eu des proliférations de raphidophytes ichthyotoxiques – *Heterosigma akashiwo* (figure 40-5), avec plusieurs cellules (moins de 100 cellules mL⁻¹) dans des échantillons prélevés entre le début du mois de mai et juillet dans les régions de la baie de Cowichan, l'anse Irvine's/Sechelt, la rivière Powell et la Sunshine Coast. Des fleurs d'eau très denses avec des concentrations maximales atteignant 25 000 cellules mL⁻¹ ont été observées dans la baie de Cowichan le 20 août 2019.



Figure 40-6. Photo d'une prolifération dense de *Ceratium* spp. à Long Beach, le 21 septembre, et de cellules de *Ceratium* spp. provenant du même échantillon d'eau. Photos de J. Pudota.

Sur la côte ouest de l'île de Vancouver (données non issues de la science citoyenne), on a observé de fortes proliférations de dinoflagellés *Ceratium* spp. (J. Pudota, Programme de surveillance des algues nuisibles, communication personnelle; figure 40-6) et *Alexandrium* spp. à l'automne. Les fortes proliférations d'*Alexandrium* ont entraîné une

concentration de toxines responsables de l'IPP dans les mollusques et crustacés jusqu'à 250 fois supérieure aux limites fixées par l'Agence canadienne d'inspection des aliments et une paralysie partielle chez 15 personnes qui avaient récolté des mollusques et crustacés sur des plages fermées par le MPO (Vancouver Sun 2019).

Dans l'ensemble, nos résultats préliminaires indiquent que la dynamique des proliférations d'algues nuisibles dans le détroit de Georgie en 2019 était un peu plus proche de celle de 2018 que de 2015 à 2017.

40.5. Facteurs influençant les tendances

La dynamique du phytoplancton est directement régie par des facteurs environnementaux primaires. Les données océanographiques à haute résolution de 2015 à 2019 tirées du programme de science citoyenne sont résumées par R. Pawlowicz (Pawlowicz *et al.* 2020). La

base de données pluriannuelles sur les concentrations d'algues nuisibles et les paramètres environnementaux permet d'analyser les liens entre les proliférations d'algues nuisibles et les caractéristiques environnementales dans le détroit de Georgie.

40.6. Conséquences de ces tendances

Les proliférations de *Noctiluca* peuvent faire augmenter les taux d'ammoniac, provoquer une hypoxie et perturber le transfert d'énergie habituel fondé sur les diatomées. Les proliférations d'*Heterosigma* dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique sont la principale cause des pertes directes de saumons d'élevage (Haigh et Esenkulova 2014). On ignore les effets des proliférations d'algues nuisibles sur la vie marine dans la mer des Salish.

40.7. References

- Haigh, N., and Esenkulova, S. 2014. Economic losses to the British Columbia salmon aquaculture industry due to harmful algal blooms, 2009-2012. PICES Scientific Report. 47
- Haigh, N., Whyte, J.N.C., and Sherry, K.L. 2004. Biological and oceanographic data from the harmful algae monitoring program associated with salmon farm sites on the west coast of Canada in 2003. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1158: v + 157p.
- Pawlowicz, R., Suzuki, T., Chappel, R., and Esenkulova, S. 2020. Atlas of Oceanographic Conditions in the Strait of Georgia (2015–2019) based on the Pacific Salmon Foundation's Citizen Science Dataset. Can. Tec. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 000: vii + 103 p. (*in prep*)
- Vancouver Sun. "Closed B.C. beaches serve up worst of paralytic shellfish poisonings". Retrieved from <https://vancouver.sun.com/> on November 22, 2019.

41. LA PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE A-T-ELLE DIMINUÉ DANS LA MER DES SALISH?

Sophia Johannessen¹, Robie W. Macdonald¹ et Jonathan E. Strivens²

¹Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, sophia.johannessen@dfo-mpo.gc.ca, robie.macdonald@dfo-mpo.gc.ca

²Pacific Northwest National Laboratory, Seattle, WA, jonathan.strivens@pnnl.gov

41.1. Faits saillants

- La productivité primaire totale n'a ni augmenté ni diminué dans le détroit de Georgie ou la baie Puget au cours des 100 dernières années.
- Le déclin des populations de saumon coho et chinook dans la mer des Salish depuis les 30 dernières années ne peut être attribué à une baisse de la productivité primaire.

41.2. Description de la série chronologique

Les sédiments marins conservent un enregistrement continu des conditions dans les eaux sus-jacentes. Nous avons analysé 17 carottes de sédiments prélevées dans le détroit de Georgie entre 2002 et 2018, ainsi que quatre carottes prélevées dans la baie Puget en 2007 (Brandenberger *et al.* 2011). Le carbone organique, l'azote total et les isotopes stables du carbone organique et de l'azote ont été mesurés dans toutes les carottes. À partir des données isotopiques, nous avons déterminé les contributions de la matière organique d'origine marine et terrigène au fil du temps, selon les procédures décrites dans Johannessen *et al.* (2005).

Les résultats de l'analyse des carottes de sédiments ont été combinés avec ceux d'un bilan régional de l'azote publié précédemment (Sutton *et al.* 2013).

41.3. État et tendances

Aucune tendance ne s'est dégagée dans le flux de matière organique d'origine marine vers les sédiments du détroit de Georgie ou de la baie Puget au cours des 100 dernières années. Une augmentation apparente du flux marin ces dernières années est due à la reminéralisation de la matière organique dans les sédiments de surface.

En revanche, le flux de matière organique terrigène a augmenté au cours du siècle dernier dans le détroit de Georgie, tandis que le flux terrigène a atteint son point culminant au milieu du XX^e siècle dans la baie Puget.

L'estimation indépendante de la productivité primaire fournie par le bilan d'azote de Sutton et ses collaborateurs (2013), comparée à une estimation datant de 30 ans plus tôt (Harrison *et al.* 1983), permet de conclure que la productivité primaire totale n'a pas changé au cours de cette période.

41.4. Facteurs influençant les tendances

Nous avons pu différencier la reminéralisation sur place de la matière organique d'origine marine d'une véritable augmentation du flux de matière terrigène : l'augmentation totale du flux

organique apparent vers la surface des sédiments dépendait du temps dans le cas du flux terrigène, mais était indépendante du temps pour le flux marin (figure 41-1).

L'augmentation du flux terrigène a probablement résulté des changements dans l'utilisation des terres dans le bassin de Georgie (foresterie, agriculture, urbanisation) au cours du siècle dernier (p. ex. Tunnicliffe 2000).

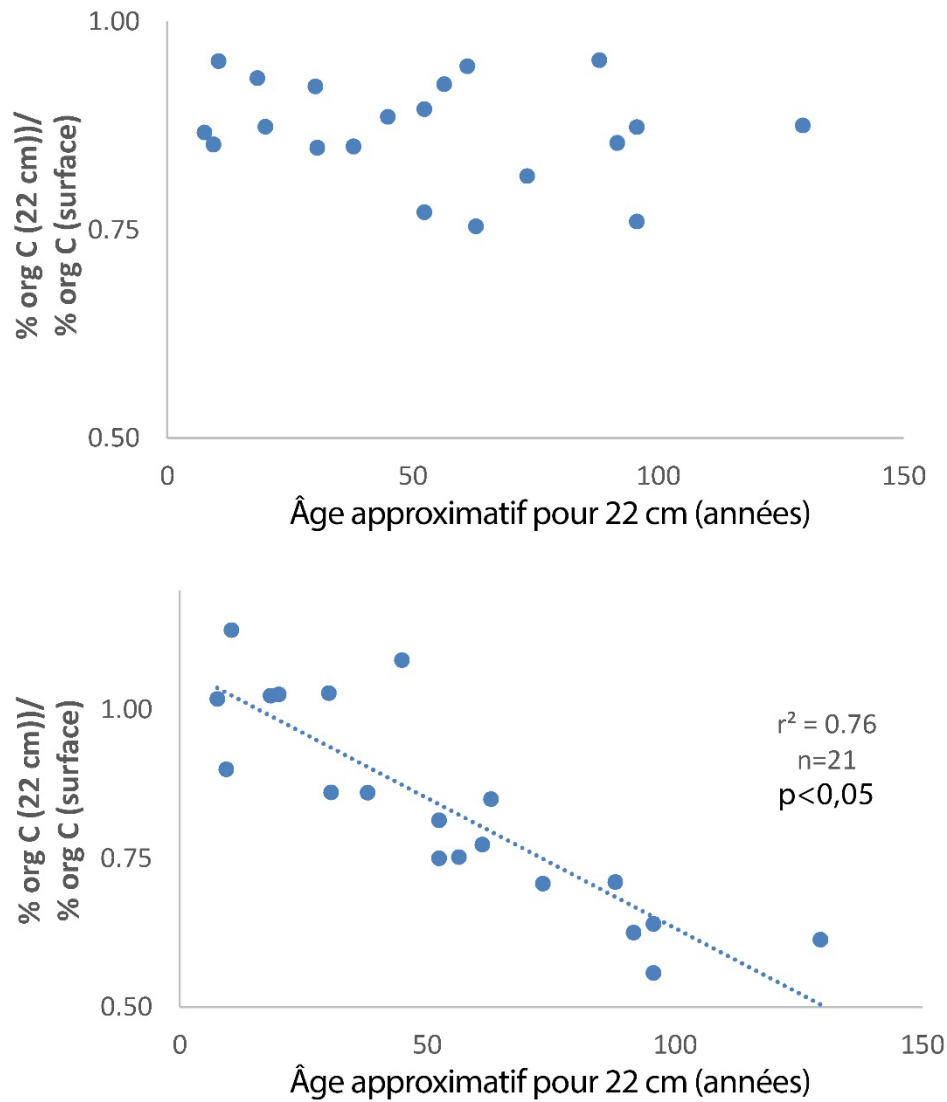


Figure 41-1. Rapport entre le flux organique à 22 cm de profondeur (sous la couche de mélange la plus profonde de l'ensemble d'échantillons) et celui à la surface, en fonction du nombre approximatif d'années nécessaires pour accumuler 22 cm de sédiments dans chaque carotte. Le rapport de flux pour la matière organique terrigène dépend du temps (graphique du bas), mais pas celui de la matière organique d'origine marine (graphique du haut).

41.5. Conséquences des tendances observées

Un déclin de la productivité à la base du réseau trophique a été proposé pour expliquer le déclin observé des populations de saumon chinook et coho (p. ex. Preikshot *et al.* 2013). Les séries chronologiques des sédiments et le bilan nutritif de la colonne d'eau indiquent que la productivité primaire totale de la mer des Salish n'a pas changé au cours des 30 dernières années, ni même au cours du siècle dernier. Par conséquent, le déclin des populations de saumon n'est pas dû à une baisse de la productivité primaire.

Cette conclusion permet de réduire l'éventail des explications du déclin du saumon, ce qui contribuera à soutenir une gestion efficace de la pêche dans l'avenir.

41.6. References

- Brandenberger, J.M., Louchouart, P., and Crecelius, E.A. 2011. Natural and post-urbanization signatures of hypoxia in two basins of Puget Sound: historical reconstruction of redox sensitive metals and organic matter inputs. *Aquat. Geochem.* 17: 645-670.
- Harrison, P.J., Fulton, J.D., Taylor, F.J.R., and Parsons, T.R. 1983. Review of the biological oceanography of the Strait of Georgia: pelagic environment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1064-1094.
- Johannessen, S.C., O'Brien, M.C., Denman, K.L., and Macdonald, R.W. 2005. Seasonal and spatial variations in the source and transport of sinking particles in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. *Mar. Geol.* 216: 59-77.
- Preikshot, D., Beamish, R.J., and Neville, C.M. 2013. A dynamic model describing ecosystem-level changes in the Strait of Georgia from 1960 to 2010. *Progr. Oceanogr.* 115: 28-40.
- Sutton, J.N., Johannessen, S.C., and Macdonald, R.W. 2013. A nitrogen budget for the Strait of Georgia, British Columbia. *Biogeosci.* 10: 7179-7194.
- Tunncliffe, V. 2000. A fine-scale record of 130 years of organic carbon deposition in an anoxic fjord, Saanich Inlet, British Columbia. *Limnol. Oceanogr.* 45(6): 1380-1387.

42. ÉTAT ET TENDANCES DU ZOOPLANCTON DANS LE CENTRE ET LE NORD DU DÉTROIT DE GEORGIE EN 2019

Kelly Young¹, Moira Galbraith¹ et Ian Perry²

¹Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Kelly.Young@dfo-mpo.gc.ca, Moira.Galbraith@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, et Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Ian.Perry@dfo-mpo.gc.ca

42.1. Faits saillants

- En 2019, la biomasse de zooplancton était la plus élevée en été (juin-juillet), soit un peu plus tard que les années précédentes, selon les relevés mensuels effectués de 2016 à 2019.
- L'ampleur du pic de la biomasse en 2019 était inférieure à celle de l'année précédente, mais une biomasse supérieure à la moyenne a persisté plus longtemps dans l'année.
- La biomasse globale du zooplancton est en hausse, celle de 2019 étant supérieure à la moyenne (données préliminaires).

42.2. Description de la série chronologique

Depuis la fin des années 1960, l'échantillonnage du zooplancton dans le détroit de Georgie (DG) a été sporadique, avec peu de coordination entre les programmes d'échantillonnage à court terme. L'échantillonnage s'est amélioré à la fin des années 1990; cependant, avant 2014, l'échantillonnage du zooplancton ne suivait pas des protocoles cohérents.

De 2015 à 2017, des échantillons de zooplancton ont été prélevés dans une vingtaine de stations normalisées toutes les deux à trois semaines de février à octobre dans le cadre du programme de survie du saumon dans la mer des Salish (soutenu en partie par la Fondation du saumon du Pacifique). Pour 2018 et 2019, la série chronologique a été poursuivie avec un échantillonnage mensuel à ces mêmes stations. Les trois principaux objectifs du programme d'échantillonnage du zooplancton étaient d'étudier les profils saisonniers et interannuels de la communauté zooplanctonique, les causes possibles des changements, et les conséquences potentielles de ces changements.

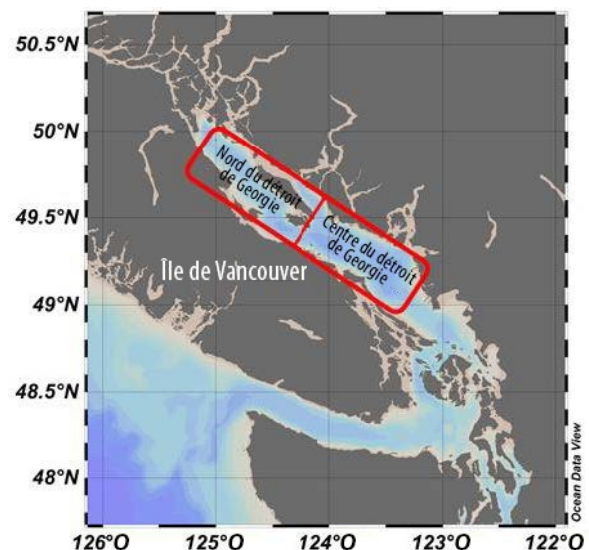


Figure 42-1. Le centre et le nord du détroit de Georgie (DG), indiqués par les cases rouges.

Pour le présent rapport, nous abordons le premier objectif et décrivons les tendances actuelles de l'abondance (m^{-3}) et de la biomasse ($mg\ m^{-3}$) en tant que moyennes mensuelles de tous les échantillons recueillis en 2019 dans les eaux profondes (fonds à plus de 80 m de profondeur et échantillons prélevés par des traits de filet vertical qui couvrent plus de 70 % de la colonne d'eau ou qui vont à plus de 150 m de jour ou de nuit) du centre et du nord du détroit de Georgie (moyennes cumulées; figure 42-1). Les données ont été limitées aux régions du centre et du nord, car ce sont celles pour lesquelles nous disposons des séries chronologiques les plus complètes à ce jour. Le traitement des échantillons est en cours pour remplir les autres régions et les résultats sont préliminaires.

À des fins de comparaison historique, la variabilité saisonnière des données sur le zooplancton a été supprimée en calculant une anomalie de la biomasse régionale à l'échelle logarithmique pour certaines espèces une année donnée. Un cycle saisonnier moyen (« climatologie ») pluriannuel (1996 à 2019) a été calculé comme base de référence pour comparer les conditions mensuelles au cours d'une année donnée. La moyenne des anomalies saisonnières a ensuite été calculée pour chaque année afin d'obtenir une anomalie annuelle (Mackas *et al.* 2013).

42.3. État et tendances

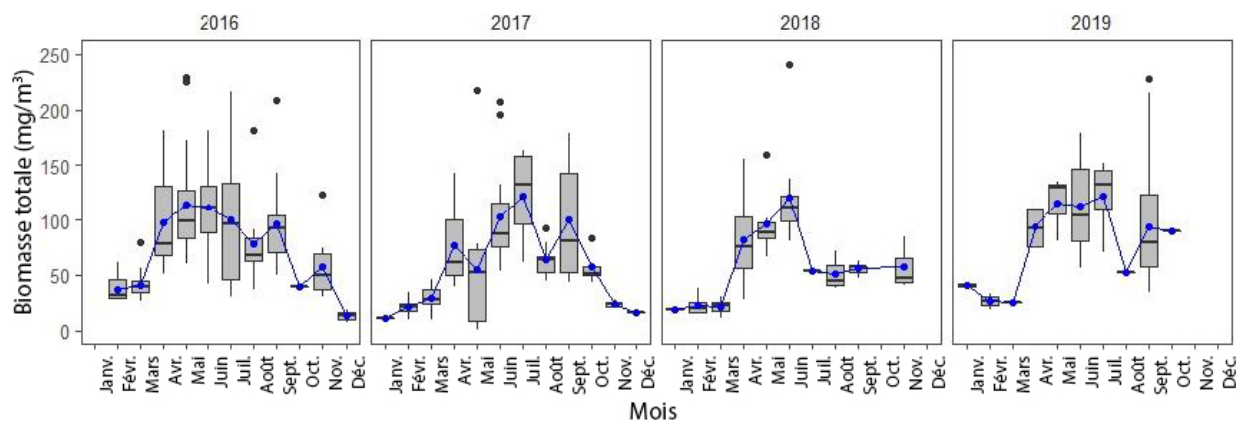


Figure 42-2. Biomasse totale moyenne ($mg\ m^{-3}$) de zooplancton par mois dans le nord et le centre (moyenne cumulée) du détroit de Georgie de 2016 à 2019. Les tracés en boîtes illustrent la médiane et la distribution des données, le point bleu et la ligne suivent la biomasse moyenne.

En 2019, la biomasse totale du zooplancton allait de 19,15 à 227,64 $mg\ m^{-3}$, la plus faible étant observée en hiver et la plus élevée en été (juin-juillet; figure 42-2). Le pic de l'été a été plus tardif que les années précédentes (figure 42-2). Dans l'ensemble, la biomasse totale était supérieure à la moyenne en 2019 (figure 42-3).

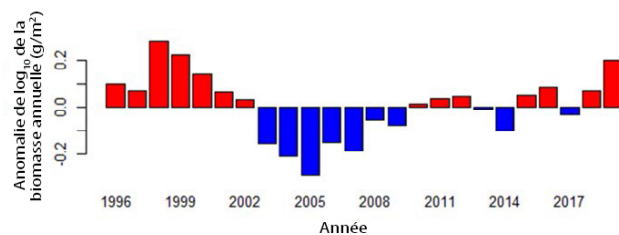


Figure 42-3. Anomalies annuelles de la biomasse totale de zooplancton dans les eaux profondes du centre et du nord du détroit de Georgie, de 1996 à 2019.

Les copépodes, en particulier les copépodes calanoïdes, dominaient le zooplancton en abondance (figure 42-4, à gauche). Les copépodes calanoïdes moyens et gros

et les crustacés plus grands (euphausiacés et amphipodes) dominaient en biomasse (figure 42-4, à droite).

Parmi les copépodes, les petits copépodes (tels que *Pseudocalanus* spp. et les copépodes de type cyclopoïde) étaient très abondants, mais ils contribuaient peu à la biomasse globale (figure 42-5). Parmi les copépodes plus gros, le copépode *Eucalanus bungii* constituait la majorité de la biomasse des grands copépodes dans le détroit au printemps (figure 42-5), ce qui représente un changement par rapport au grand copépode typique dominant au printemps, *Neocalanus plumchrus* (figure 42-6).

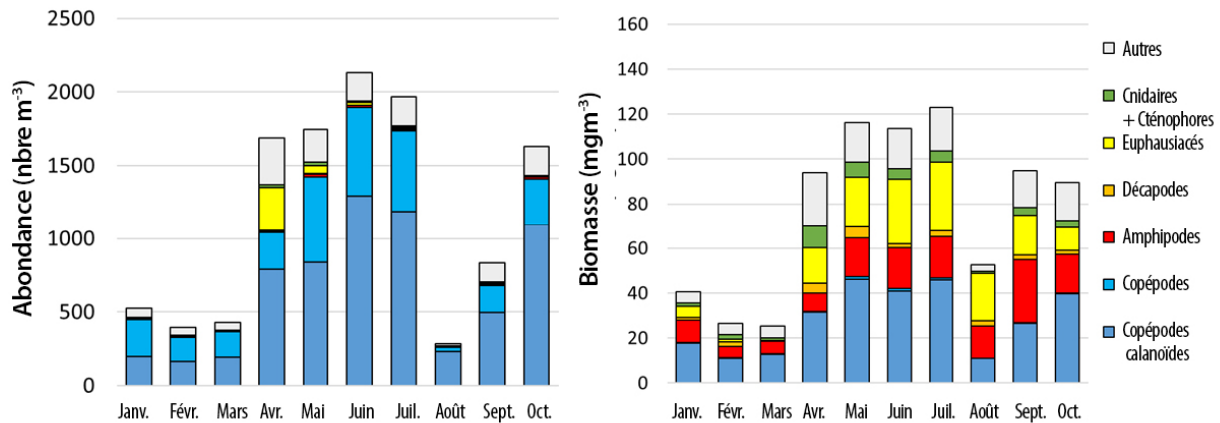


Figure 42-4. Composition taxonomique du zooplancton dans le nord et le centre du détroit de Georgie en 2019, en moyenne mensuelle. À gauche : abondance (m^{-3}); à droite : biomasse ($mg\ m^{-3}$). Légende : Copépodes calanoïdes – tous les copépodes calanoïdes; Copépodes – tous les autres copépodes; Amphipodes – tous les amphipodes (hypéridés et gammaridés); Décapodes – tous les décapodes (crevettes, larves de crabe); Euphausiacés – tous les euphausiacés (œufs, larves et adultes); Cnidaires + Cténophores – tous les cnidaires (méduses et siphonophores) et cténophores; Autres – tout le reste : mollusques, polychètes, chétognathes, ichthyoplancton, appendiculaires, etc.

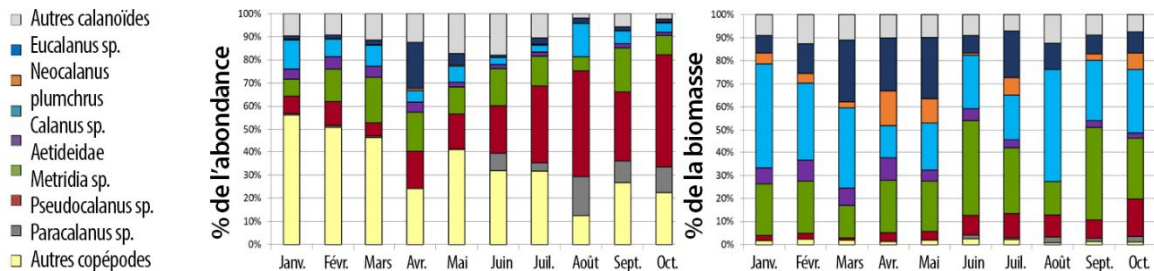
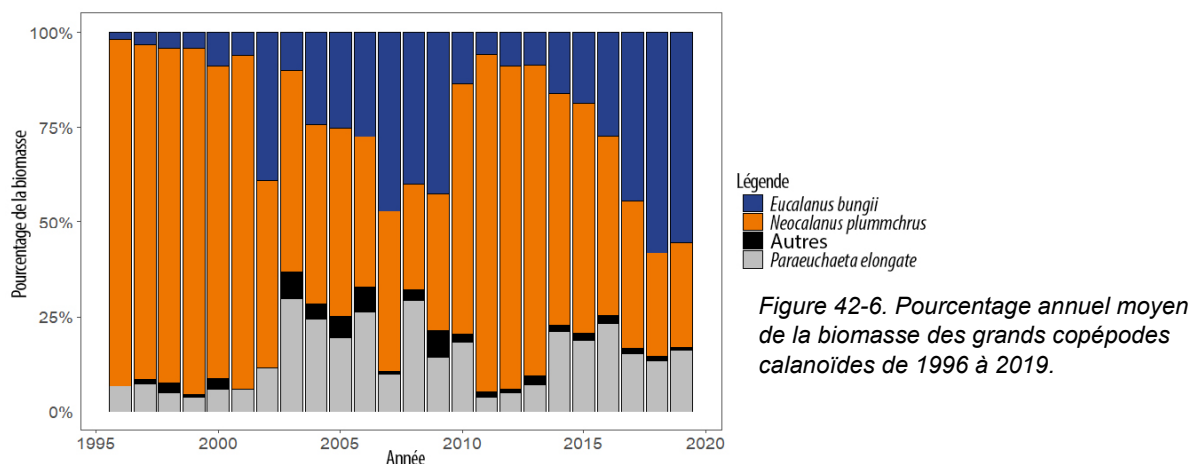


Figure 42-5. Abondance relative (à gauche) et biomasse relative (à droite) de tous les copépodes prélevés dans le nord et le centre du détroit de Georgie en 2019, en moyenne mensuelle. Légende : Autres copépodes – tous les copépodes non calanoïdes; Paracalanus sp. – *P. indicus* et *P. parvus*; Pseudocalanus sp. – mélange de *P. minutus*, *P. moultoni*, *P. newmani* et *P. mimus*, varie selon la saison; Metridia sp. – principalement *M. pacifica*, mais aussi *M. pseudopacifica*; Aetideidae – tous les copépodes Aetideidae tels que *Aetidius divergens*, *Gaetanus* sp.; Calanus sp. – *C. pacificus* et *C. marshallae*; Neocalanus plumchrus – tous les stades (CI-adultes) de *N. plumchrus*; Eucalanus sp. – principalement *E. bungii*, mais avec de rares cas de *E. californicus*; Autres calanoïdes – tous les autres copépodes calanoïdes.

La période de pointe de l'abondance et de la biomasse du zooplancton dans le détroit de Georgie varie selon les espèces (figure 42-4). Parmi les groupes de crustacés considérés

comme la nourriture de prédilection des saumons juvéniles (« nourriture des poissons »), l'abondance des euphausiacés a atteint son maximum au printemps, principalement en raison du grand nombre d'œufs et de stades larvaires (figure 42-4). Par rapport au pic de juin 2018, la biomasse des euphausiacés a atteint son apogée en juillet 2019 et représentait près de la moitié du maximum de 2018, soit 56,8 mg m⁻³ (Young *et al.* 2019). L'abondance et la biomasse des larves de décapodes (crabes et crevettes) en 2019 étaient similaires à celles de 2018; l'abondance a atteint un pic au printemps, mais la biomasse a chuté au cours du printemps et de l'été, lors du passage des larves planctoniques aux adultes benthiques. En 2019, l'abondance et la biomasse des amphipodes ont augmenté pendant l'été et ont culminé en septembre. Pour les trois groupes, la biomasse est restée élevée pendant plus longtemps que ce qui avait été observé en 2018 (figure 42-4, à droite).



Pour 2019, l'abondance et la biomasse de l'ichtyoplancton, des gadiformes, principalement de la merluche (*Merluccius productus*), ont atteint un pic en avril. En ce qui concerne les osmériidés, principalement du leuroglosse luisant (*Leuroglossus schmidti*), la biomasse a légèrement augmenté au printemps et a culminé en été, et leur quantité était similaire à celle de 2018 (Young *et al.* 2019). En 2019, la biomasse des clupéiformes a augmenté en avril, principalement des larves de hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*), ainsi qu'en septembre, des larves d'anchois du Pacifique (*Engraulis mordax*).

42.4. Facteurs influençant les tendances

Les tendances de la composition et de la biomasse du zooplancton ont été liées à des indices climatiques à grande échelle, tels que l'indice d'oscillation australe (SOI) et l'oscillation du gyre du Pacifique Nord (NPGO; Li *et al.* 2013; Mackas *et al.* 2013), ainsi qu'à des facteurs locaux (p. ex. la période de la crue du Fraser; Mackas *et al.* 2013; la salinité de la surface de la mer et la période du début de la prolifération phytoplanktonique printanière; Perry *et al.* en préparation).

42.5. Conséquences de ces tendances

De grands changements ont été documentés dans le zooplancton de la côte ouest de l'île de Vancouver en 2019 (Galbraith et Young, section 16); cependant, ces changements négatifs n'ont pas été observés dans les communautés zooplanctoniques du détroit de Georgie à ce jour. La communauté zooplanctonique du détroit de Georgie ressemble davantage à celle de la

zone océanique subarctique qu'à celle du plateau continental voisin de la Colombie-Britannique, liée par des événements de renouvellement des eaux profondes du large durant lesquels les eaux profondes du large pénètrent par les eaux du fond du détroit de Georgie (Masson 2002; Mackas *et al.* 2013). Il a été démontré que les réactions du zooplancton du détroit de Georgie peuvent être décalées de 12 mois par rapport à celles de la région hauturière (Mackas *et al.* 2013), et on s'attend donc à ce que les conditions en 2020 commencent à afficher une transition vers une productivité plus faible avec des hausses de la température si les conditions du détroit de Georgie deviennent similaires à celles du large de la côte ouest de l'île de Vancouver. Il est possible que les conditions de l'environnement marin soient passées à une « nouvelle normale » (comme les anomalies de température/salinité; voir Ross et Robert, section 7; Chandler, section 36) et que les réactions correspondantes de la communauté qui se produisent actuellement soient déphasées par rapport à ce qui était prévu (p. ex. voir Perry *et al.*, section 50). Les programmes d'observation sur le terrain tels que le présent projet, en soutien à l'initiative de la mer des Salish lancée à la suite de la Commission Cohen, sont très importants pour comprendre les changements qui se produisent dans l'environnement marin. Un programme cohérent de surveillance du zooplancton dans la mer des Salish peut aider à projeter l'abondance future des saumons juvéniles.

42.6. References

- Li, L., Mackas, D. Hunt, B., Schweigert, J., Pakhomov, E., Perry, R.I., Galbraith, M., and Pitcher, T.J. 2013. Large changes in zooplankton communities in the Strait of Georgia, British Columbia, covary with environmental variability. *Progr. Oceanogr.* 115: 90–102.
- Mackas, D.L, Galbraith, M., Faust, D., Masson, D., Young, K., Shaw, W., Romaine, S., Trudel, M., Dower, J., Campbell, R., Sastri, A., Bornhold Pechter, E.A., Pakhomov, E., and El-Sabaawi, R. 2013. Zooplankton time series from the Strait of Georgia: Results from year-round sampling at deep water locations, 1990–2010. *Progr. Oceanogr.* 115: 129-159.
- Masson, D. 2002. Deep Water Renewal in the Strait of Georgia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 115-126.
- Young, K., Galbraith M., and Perry I. 2019. Zooplankton status and trends in the central and northern Strait of Georgia, 2018. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.

43. RELEVÉS DU HARENG JUVÉNILLE DANS LE DÉTROIT DE GEORGIE

Jennifer L. Boldt^{1*}, Matt Thompson¹, Hilari Dennis-Bohm¹, Matthew H. Grinnell¹, Jaclyn Cleary¹, Chris Rooper¹, Jake Schweigert² et Doug Hay²

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, *Jennifer.Boldt@dfo-mpo.gc.ca

²Scientifique émérite, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique

43.1. Faits saillants

- En 2019, l'indice de la biomasse relative des harengs juvéniles (âge 0) était de la même ampleur générale que celui observé depuis 2013; il était plus élevé qu'en 2018, mais avec une variance plus importante.
- En 2019, la longueur et le poids des harengs d'âge 0 étaient similaires à ceux mesurés en 2018; leur état était légèrement moins bon que celui mesuré en 2018, mais toujours supérieur à la moyenne.
- En 2019, l'anchois du Pacifique figurait encore parmi les captures, mais la proportion de calées avec des anchois était plus faible que celle observée entre 2016 et 2018.

43.2. Description des indices

Le relevé sur les harengs du Pacifique juvéniles (âge 0) dans le détroit de Georgie (DG) est un programme de surveillance qui échantillonne la communauté de poissons pélagiques du littoral,

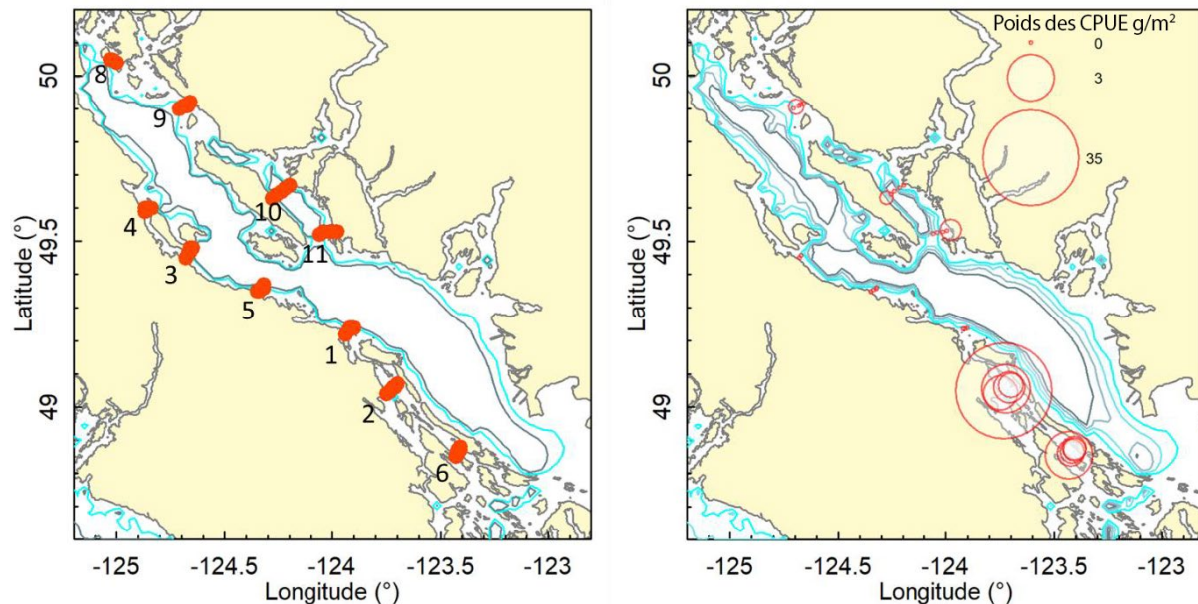


Figure 43-1. Stations de base le long des 10 transects principaux du relevé sur les harengs juvéniles dans le détroit de Georgie (graphique de gauche; il n'y a pas de transect n° 7) et poids des captures par unité d'effort des harengs d'âge 0 échantillonnés en 2019 (graphique de droite).

la communauté de zooplancton et les propriétés physiques de la colonne d'eau (température, salinité, oxygène). L'un des objectifs du relevé est d'estimer un indice de la biomasse relative (abondance) du hareng d'âge 0 comme prédicteur potentiel de l'abondance des recrues de hareng d'âge 3 estimée dans le modèle d'évaluation annuelle des stocks. Cet indice peut également représenter les tendances de la disponibilité potentielle des proies pour le saumon coho et chinook et d'autres prédateurs.

Dix transects de base, comptant chacun trois à cinq stations de base (48 stations de base au total), répartis autour du périmètre du détroit de Georgie, sont échantillonnés de façon constante en septembre-octobre depuis 1992 (sauf en 1995; Thompson *et al.* 2013; voir le plan détaillé et les méthodes du relevé dans Thompson *et al.* 2003 et Boldt *et al.* 2015; figure 43-1). L'échantillonnage a été effectué après le crépuscule, lorsque les harengs se trouvaient près de la surface, à l'aide de traits de senne coulissante réalisés à des stations prédéterminées. Le poids des prises par espèce a été estimé et, en laboratoire, les poissons ont été triés par espèce, pesés et mesurés (au mm près). Les harengs mesuraient entre 54 et 125 mm (longueur standard) toutes les années échantillonnées. On a calculé l'indice du poids des captures par unité d'effort (CPUE et variance associée) des harengs d'âge 0 selon la méthode en deux étapes (transect, station) et l'estimateur de variance de Thompson (1992) (voir Boldt *et al.* 2015). En outre, l'état du hareng a été calculé comme étant le résidu d'une régression longueur-poids à double transformation logarithmique (Boldt *et al.* 2019).

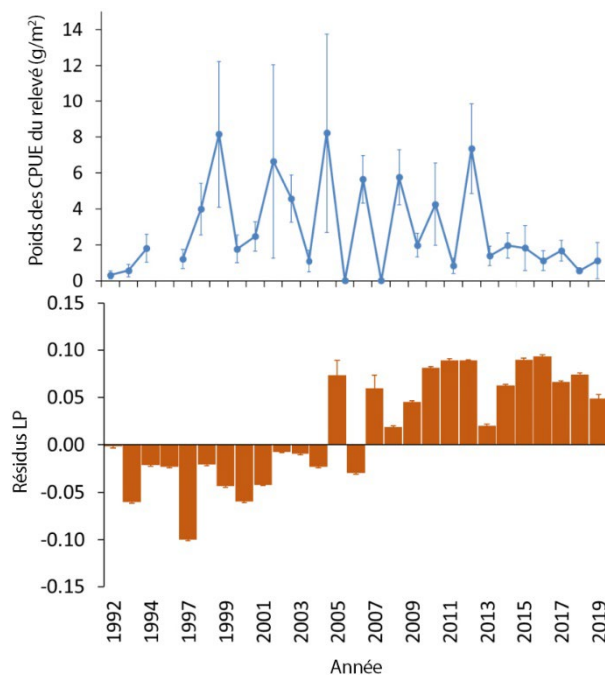


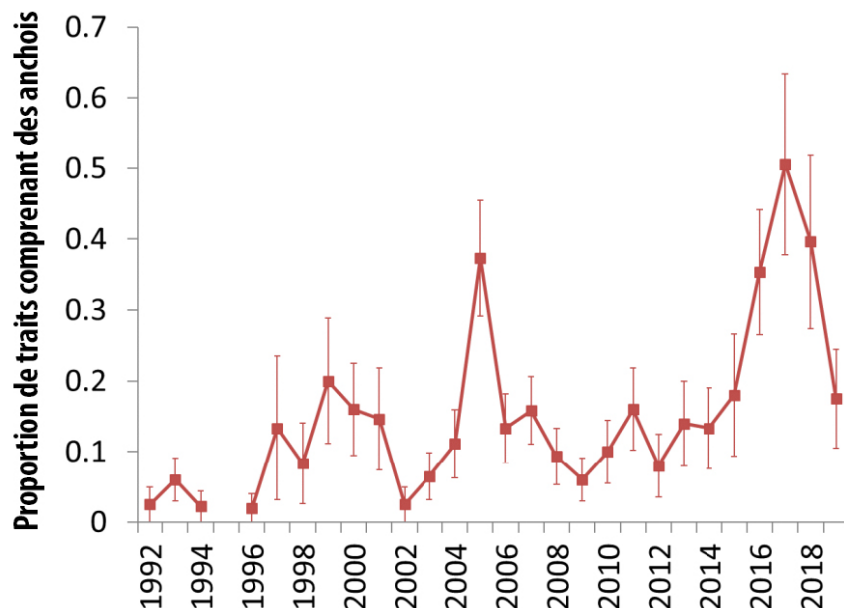
Figure 43-2. Poids moyen des captures par unité d'effort (CPUE; graphique supérieur) et état moyen (résidu d'une régression longueur-poids à double transformation logarithmique; graphique inférieur) des harengs du Pacifique d'âge 0 capturés dans le cadre du relevé sur les harengs juvéniles dans le détroit de Georgie sur les transects et les stations de base de 1992 à 2019 (pas de relevé en 1995; Boldt *et al.* 2015). Les barres d'erreur standard sont indiquées.

43.3. État et tendances

En 2019, 34 des 48 stations de base ont été échantillonnées; plusieurs stations n'ont pas pu être échantillonnées en raison de problèmes de météo ou d'équipement. Les transects 4 et 8 n'ont pas été échantillonnés; trois des cinq stations de base du transect 1 et deux des cinq stations de base du transect 3 ont été échantillonnées. Les harengs d'âge 0 ont été échantillonnés dans 13 des 24 stations, avec une très grande prise sur le transect 2 (figure 43-1).

Les estimations de CPUE en poids des prises d'âge 0 (l'indice) varient chaque année, sans tendance linéaire globale entre 1992 et 2019 (figure 43-2). L'indice du hareng d'âge 0 a eu tendance à atteindre un pic tous les deux ou trois ans, les pics se produisant les années paires entre 2004 et 2012. De 2013 à 2019, l'indice était intermédiaire à bas par rapport aux pics de la série chronologique.

En 2019, un indice de la biomasse relative du hareng d'âge 0 présentait la même ampleur générale que celui observé depuis 2013; il était plus élevé qu'en 2018, mais avec une variance plus importante (probablement en partie parce que toutes les stations de base n'ont pu être échantillonnées). Des estimations élevées de la variabilité sont associées à des estimations de pic; le coefficient de variation (CV) du relevé était de 0,48.



Les résidus de la longueur-poids des harengs d'âge 0 ont augmenté entre 1997 et 2012, et étaient positifs en 2005 de 2007 à 2019 (figure 43-2). En 2019, des anchois du Pacifique ont été capturés à sept des 34 stations (figure 43-3), ce qui représente une proportion plus faible de calées avec des anchois que celle observée entre 2016 et 2018.

Figure 43-3. Proportion des traits de senne coulissante qui contenaient des anchois du Pacifique, de 1992 à 2019 (pas de relevé en 1995). Série chronologique mise à jour à partir de Duguid et al. (2018). Les barres d'erreur standard sont indiquées.

43.4. Facteurs à l'origine de ces tendances

Les processus ascendants (reposant sur les proies)

sont les principaux facteurs qui influent sur la variabilité interannuelle de l'abondance et de l'état des harengs d'âge 0 (Boldt *et al.* 2018). Les facteurs ascendants sont la disponibilité des proies zooplanctoniques, la biomasse des œufs de hareng, la température et la date à laquelle la plupart des harengs frayent par rapport à la date de la prolifération printanière. Le moment, ou la concordance/le décalage entre les harengs reproducteurs et la disponibilité ultérieure des proies pour les juvéniles, semble important pour déterminer l'abondance des harengs d'âge 0 à l'automne (Schweigert *et al.* 2013; Boldt *et al.* 2018). Aucun effet négatif des concurrents ou des prédateurs examinés (saumons juvéniles) n'a été détecté sur l'abondance des harengs d'âge 0 (Boldt *et al.* 2018), ce qui signifie que lorsque les conditions sont bonnes pour les harengs d'âge 0, elles le sont également pour les saumons juvéniles. Il existe des preuves que les processus descendants (induits par les prédateurs; p. ex. les saumons cohos et chinooks juvéniles) peuvent avoir un effet négatif sur l'état des harengs d'âge 0 (mais pas sur leur abondance; Boldt *et al.* 2018). Le recrutement et la survie du hareng ont également été liés à la température de l'eau (Tester 1948; Ware 1991) et au contrôle ascendant de la production (Ware et Thompson 2005; Perry et Schweigert 2008; Schweigert *et al.* 2013).

43.5. Conséquences des tendances

Les analyses montrent que les indices des relevés sur le hareng d'âge 0 sont corrélés avec l'abondance des recrues d'âge 3 (2,5 ans plus tard) telle qu'elle est estimée par le modèle

d'évaluation des stocks structurés par âge (Hay *et al.* 2003; Schweigert *et al.* 2009; Boldt *et al.* 2018). Cette corrélation dépend fortement de deux années avec à la fois des abondances faibles de poissons d'âge 0 et de recrues d'âge 3 (p. ex. en 2005 et 2007). Le relevé sur le hareng d'âge 0 peut donc fournir un indicateur avancé des années où le recrutement est faible.

Les harengs du Pacifique sont des proies pour les poissons piscivores, les mammifères marins et les oiseaux de mer et sont des espèces commerciales importantes dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique. Les changements dans l'abondance du hareng peuvent influencer la disponibilité pour les pêches commerciales ainsi que la survie des prédateurs, tels que le saumon coho et le saumon chinook. Les harengs d'âge 0 en meilleur état peuvent être plus denses en énergie (Paul *et al.* 1998; Boldt et Rooper 2009). Les poissons qui ont une densité énergétique plus élevée ont de meilleures chances de survivre lorsque les possibilités d'alimentation sont réduites en hiver (Paul *et al.* 1998; Foy et Paul 1999) et ils constituent une proie plus riche en énergie pour les prédateurs. Une surveillance à long terme de l'écosystème pélagique côtier est nécessaire pour comprendre les tendances des populations de petites espèces de poissons pélagiques et des facteurs qui influencent leur abondance et leur état.

43.6. Remerciements

En hommage et en remerciement à Doug Henderson pour ses nombreuses années de travail acharné et sa bonne humeur en tant que capitaine, et également à Terrance J. Quinn II pour son soutien lors des premières analyses.

Le relevé de 2019 sur les harengs juvéniles dans le détroit de Georgie a été financé par le ministère des Pêches et des Océans; certains des relevés précédents ont été partiellement financés par la Société de conservation et d'étude du hareng et la Fondation du saumon du Pacifique. Merci au capitaine Phil Dupuis pour son aide dans le relevé de cette année.

43.7. References

- Boldt, J.L., and Rooper, C.N. 2009. Abundance, condition, and diet of juvenile Pacific ocean perch (*Sebastes alutus*) in the Aleutian Islands. *Fish. Bull.* 107(3): 278-285.
- Boldt, J.L., Thompson, M., Fort, C., Rooper, C.N., Schweigert, J., Quinn II, T.J., Hay, D., and Therriault, T.W. 2015. An index of relative biomass, abundance, and condition of juvenile Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in the Strait of Georgia, British Columbia. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3081: x + 80 p.
- Boldt, J.L., Thompson, M., Rooper, C.N., Hay, D.E., Schweigert, J.F., Quinn II, T.J., Cleary, J.S., and Neville, C.M. 2018. Bottom-up and top-down control of small pelagic forage fish: factors affecting age-0 herring in the Strait of Georgia, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* <https://doi.org/10.3354/meps12485>.
- Boldt, J.L., Thompson, M., Grinnell, M.H., Cleary, J., Dennis-Bohm, H., Rooper, C., Schweigert, J., Quinn II, T.J., and Doug, D. 2019. Strait of Georgia juvenile herring survey. p. 151-155 In: Boldt, J.L., Leonard, J., Chandler, P.C. (Eds.). *State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018*. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.

- Duguid, W.D.P., Boldt, J.L., Chalifour, L., Greene, C.M., Galbraith, M., Hay, D., Lowry, D., McKinnell, S., Qualley, J., Neville, C., Sandell, T., Thompson, M., Trudel, M., Young, K., and Juanes, F. 2019. Historical fluctuations and recent observations of Northern Anchovy *Engraulis mordax* in the Salish Sea. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography* 159: 22-41. 10.1016/j.dsr2.2018.05.018.
- Foy, R.J., and Paul, A.J. 1999. Winter feeding and changes in somatic energy content of age-0 Pacific Herring in Prince William Sound, Alaska. *Trans. Am. Fish. Soc.* 28: 1193-1200.
- Hay, D.E., Schweigert, J.F., Thompson, M., Haegele, C.W., and Midgley, P. 2003. Analyses of juvenile surveys for recruitment prediction in the Strait of Georgia. *Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2003/107: 28 p.
- Paul, A.J., Paul, J.M., and Brown, E.D. 1998. Fall and spring somatic energy content for Alaskan Pacific herring (*Clupea pallasii* Valenciennes 1847) relative to age, size and sex. *J. Exper. Mar. Biol. and Ecol.* 223: 133-142.
- Perry, R.I., and Schweigert, J.F. 2008. Primary productivity and the carrying capacity of herring in NE Pacific marine ecosystems. *Progress in Oceanography* 77: 241–251.
- Schweigert, J.F., Hay, D.E., Therriault, T.W., Thompson, M. and Haegele, C.W. 2009. Recruitment forecasting using indices of young-of-the-year Pacific herring (*Clupea pallasii*) abundance in the Strait of Georgia (B.C.). *ICES Journal of Marine Science* 66: 1681–1687.
- Schweigert, J.F., Thompson, M., Fort, C., Hay, D.E., Therriault, T.W., and Brown, L.N. 2013. Factors linking Pacific herring (*Clupea pallasii*) productivity and the spring plankton bloom in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. *Progress in Oceanography* 115: 103-110.
- Szarzi, N.J., Quinn II, T. J., and McBride, D.N. 1995. Assessment of shallow-water clam resources: case study of razor clams, eastern Cook Inlet, Alaska. - *ICES Marine Science Symposium* 199: 274-286.
- Tester, A.L. 1948. The efficacy of catch limitation in regulating the British Columbia herring fishery. *Transactions of the Royal Society of Canada, Vol. XLII: Series III:* 135-163.
- Thompson, S.K. 1992. *Sampling.* John Wiley and Sons, Inc. New York. 343 p.
- Thompson, M., Hrabok, C. Hay, D.E., Schweigert, J. Haegele, C., and Armstrong, B. 2003. Juvenile herring surveys: methods and data base. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2651: 31 p.
- Thompson, M., Fort, C., and Schweigert, J. 2013. Strait of Georgia juvenile herring survey, September 2011 and 2012. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3016: vi + 63 p.
- Ware, D.M., 1991. Climate, predator and prey: behavior of a linked oscillating system, pp. 279–291. In: Kawasaki, T. (Ed.), *Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment.* Pergamon Press, Tokyo.
- Ware, D., and Thomson, R. 2005. Bottom-up ecosystem trophic dynamics determine fish production in the northeast Pacific. *Science* 308: 1280-1284.

44. LES SAUMONS JUVÉNILES DANS LE DÉTROIT DE GEORGIE EN 2019

Chrys Neville, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Chrys.Neville@dfo-mpo.gc.ca

44.1. Faits saillants

- En septembre, les saumons cohos étaient toujours très abondants et de grande taille, ce qui correspond à la tendance observée ces dernières années.
- Le nombre de saumons kétas en septembre était le deuxième plus élevé de la série chronologique et plus de 30 fois supérieur à la CPUE de septembre 2017.
- Des anchois du Pacifique ont été trouvés dans les régimes alimentaires de saumons chinooks et cohos de tous les âges. En outre, les anchois du Pacifique capturés dans le cadre du relevé étaient de différentes classes de taille.

44.2. Introduction

Les saumons juvéniles entrent généralement dans le détroit de Georgie (DG) d'avril à juin et beaucoup peuvent y rester et y grandir jusqu'à l'automne. Les relevés au chalut sur les juvéniles sont conçus pour échantillonner les saumons juvéniles dans l'ensemble du détroit de Georgie pendant ces premiers été et automne dans l'océan. En 2019, des saumons juvéniles ont été échantillonnés lors de deux relevés au chalut (du 18 juin au 6 juillet et du 10 au 28 septembre). La pêche a été effectuée à bord navire affrété commercial FV *Sea Crest*, le même que les deux années précédentes. Les relevés ont été menés dans les délais impartis et les traits de chalut ont été réalisés sur les trajectoires standard qui sont pêchées depuis 1998, selon le protocole de Beamish et ses collaborateurs (2000) et Sweeting et ses collaborateurs (2003). En outre, certains traits ont été réalisés dans la baie Desolation, les îles Discovery, les îles Gulf et le détroit de Juan de Fuca.

44.3. Description de la série chronologique

Les captures par unité d'effort (CPUE) pour chaque relevé sont calculées à l'aide de traits de chaluts effectués le long d'une trajectoire standard dans le bassin principal du détroit de Georgie (eaux canadiennes) et pour des profondeurs d'habitat précises (saumon chinook : 0-60 m, saumon coho : 0-45 m, saumon rose, kéta et rouge : 0-30 m) (Beamish *et al.* 2000; Sweeting *et al.* 2003). Pour les traits particuliers, on utilise la prise totale et la zone du relevé pour calculer la prise moyenne par heure. En plus des prises, les séries chronologiques de la longueur moyenne des saumons juvéniles incluaient les saumons de moins de 300 mm dans le relevé d'été et de moins de 350 mm dans celui de septembre. Cette série chronologique de 22 ans montre qu'il existe à la fois des changements interannuels et des tendances à plus long terme dans l'abondance, la répartition et l'état des saumons juvéniles qui grandissent dans le détroit de Georgie.

44.4. État et tendances

En été, les CPUE du saumon coho et du saumon chinook étaient moyennes ou supérieures à la moyenne (figure 44-1). En été, la CPUE du saumon chinook était similaire aux valeurs observées depuis 2010. La CPUE des saumons kéta et rouge était basse pendant les mois d'été, alors que la taille et l'état des juvéniles capturés étaient bons. La CPUE du saumon rouge était similaire aux observations de 2007, qui ont donné lieu à la mauvaise montaison de 2009. À l'automne, la CPUE du saumon kéta était la deuxième plus élevée observée dans la série chronologique et celle du saumon coho a poursuivi une tendance observée au cours des huit dernières années. La taille du kéta et du coho était supérieure à la moyenne. À l'automne, la CPUE du saumon chinook était moyenne et celle du saumon rouge était inférieure à la moyenne, semblables aux faibles CPUE des cinq dernières années.

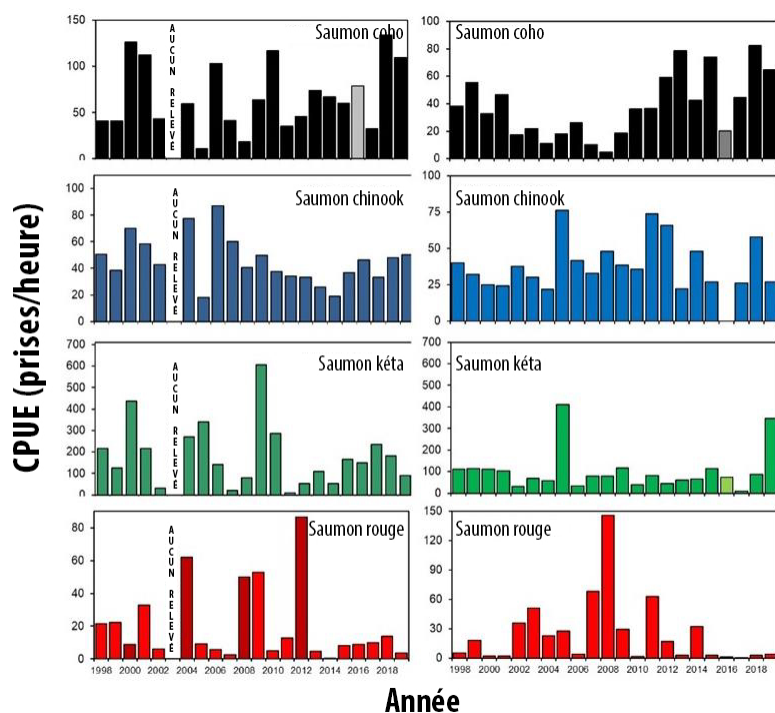


Figure 44-1. CPUE de saumon au début de l'été (à gauche) et à l'automne (à droite) de 1998 à 2019.

Des anchois du Pacifique ont été capturés dans plusieurs zones du détroit de Georgie, les plus grandes prises ayant été effectuées à l'automne dans les bras de mer continentaux (baie Desolation, anse Jervis). Pendant les mois d'été, les prises d'anchois du Pacifique étaient plus petites, mais elles ont été observées dans une plus grande proportion de calées. La fréquence bimodale des longueurs dans les prises et la présence de larves d'anchois du Pacifique dans le régime alimentaire du saumon chinook et du saumon coho semblent indiquer la présence de plusieurs classes d'âge et une fraie réussie dans le détroit de Georgie en 2019.

44.5. Facteurs influençant les tendances

Plusieurs observations semblent indiquer de bonnes conditions pour la croissance des saumons juvéniles dans le détroit de Georgie en 2019. L'augmentation de la taille des saumons juvéniles, en particulier du saumon coho, permet de déduire une bonne croissance au début de la vie en mer dans le détroit de Georgie. La faible proportion d'estomacs vides chez les saumons cohos et chinooks est également une indication que les proies étaient bonnes dans cette région. Les principaux éléments du régime alimentaire des saumons juvéniles n'ont pas changé, mais l'évolution de la taille des individus fait penser qu'une plus grande partie de leur

nourriture est capable de soutenir leur croissance plutôt que d'autres besoins physiologiques et de survie.

44.6. Conséquences de ces tendances

Les changements et tendances observés dans les taux de prise, la répartition et la taille des saumons juvéniles dans le détroit de Georgie au fil du temps indiquent que les facteurs qui les régulent ne sont pas aléatoires. Selon plusieurs hypothèses, la croissance et le stockage d'énergie pendant le premier été en mer sont directement liés à la capacité des poissons à survivre à leur premier hiver dans l'océan et influencent leur survie totale en mer. Beamish et ses collaborateurs (2010) ont démontré que l'abondance des saumons cohos juvéniles en septembre était liée aux montaisons totales pour la période antérieure à 2010. Des recherches plus récentes ont indiqué que, bien que cela reste vrai, des changements de la productivité modifient aussi cette relation. La capacité à comprendre les moteurs de ce changement et à les déterminer peut permettre de déceler les changements de la productivité des espèces et des stocks dès le début de leur résidence en mer.

44.7. References

- Beamish, R.J., McCaughran, D., King, J.R., Sweeting, R.M., and McFarlane, G.A. 2000. Estimating the abundance of juvenile coho salmon in the Strait of Georgia by means of surface trawls. *North American Journal of Fisheries Management* 20: 369-375.
- Beamish, R.J., Sweeting, R.M., Lange, K.L., Noakes, D.J., Preikshot, D., and Neville, C.M. 2010. Early marine survival of coho salmon in the Strait of Georgia declines to very low levels. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science* 2: 424-439.
- Sweeting, R.M., Beamish, R.J., Noakes, D.J., and Neville, C.M. 2003. Replacement of wild coho salmon by hatchery-reared coho salmon in the Strait of Georgia over the past three decades. *North American Journal of Fisheries Management* 23: 492-502.

45. LE TRANSECT DU BRAS DE MER SAANICH EN 2019 : LE LENT RÉTABLISSEMENT D'UNE POPULATION DE CORAUX D'EAU FROIDE INDIQUE LA VULNÉRABILITÉ À UN AGENT DE STRESS CLIMATIQUE MAJEUR

Jackson W. F. Chu¹, Benjamin M. Grupe², Ryan Gasbarro³ et Janelle Curtis⁴

¹ Université Memorial de Terre-Neuve, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, jwfchu@gmail.com

² Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, bengrupe@uvic.ca

³ Temple University, Philadelphie, PA, États-Unis, rgasbarro1@gmail.com

⁴ Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Janelle.curtis@dfo-mpo.gc.ca

45.1. Faits saillants

- Dans le bras de mer Saanich, c'est la première fois qu'il n'a pas été possible de calculer l'exposition à l'hypoxie biologiquement pertinente depuis le début de la surveillance ONC-VENUS en raison d'un manque de données sur quatre mois dans le système ONC-VENUS, mais elle semble synoptiquement similaire à 2018.
- La densité des crevettes commerciales (p. ex. la crevette tachetée *Pandalus platyceros*) s'est rétablie au niveau de la période de référence.
- Des populations soutenues et de faible niveau de nouvelles espèces (*Armina californica* et *Pentamera cf. pseudocalcigera*) demeurent présentes dans la communauté.
- Le recrutement des gorgones (*Halipterus willemoesi*) est la première indication de leur potentiel de rétablissement après un effondrement de la population provoqué par une hypoxie grave, bien qu'elles soient encore à moins de 8 % de la population qui existait avant la période de référence (2006 à 2013).
- Le taux de rétablissement des coraux d'eau froide est sensiblement plus lent que le rétablissement du régime d'oxygène de l'habitat et de la communauté d'espèces mobiles qui sont pour la plupart revenues à des niveaux comparables à ceux de la période de référence (2006 à 2013).

45.2. Description de la série chronologique

Depuis 2006, des véhicules sous-marins téléguidés (VTG) équipés d'un ensemble de capteurs de CTP et d'oxygène dissous (OD) ainsi que de caméras vidéo haute définition ont répété le même transect benthique (n=16) dans la baie Patricia du bras de mer Saanich, en Colombie-Britannique (Chu et Tunnicliffe 2015a; Gasbarro *et al.* 2019a). Ce relevé quasi annuel (à l'exception de 2014-2015) est la plus longue série chronologique au Canada conçue pour surveiller la biodiversité benthique à l'aide de méthodes standardisées faisant appel à des VTG. Le transect commence dans le bassin profond et traverse des profondeurs au fond de 180 à 40 m tout en passant de zones à faible teneur en oxygène à des zones à forte teneur en oxygène sur une pente graduelle à fond meuble. Ce relevé écologique produit des données sur l'abondance de l'épifaune sur fond meuble à partir d'images, avec des mesures concomitantes de l'occupation de l'oxygène prises à 1 m au-dessus du fond marin.

L'observatoire câblé VENUS (96 m de profondeur) d'Ocean Networks Canada (ONC) mesure également l'oxygène dissous à intervalles d'une minute depuis 2006. La plateforme d'instruments ONC-VENUS se trouve à peu près à la moitié du transect. La variabilité saisonnière du gradient spatial de l'oxygène et de la communauté d'espèces a été évaluée sur ce site à l'aide de relevés par VTG menés au printemps, à l'été et à l'automne en 2013 (Chu and Tunnicliffe 2015a) et 2016 (Gasbarro et al. 2019a), au printemps 2017, à l'automne 2018 et au printemps 2019. Les protocoles standard (Chu et Tunnicliffe 2015a) ont été modifiés pour utiliser un ensemble de capteurs CTP et d'oxygène dissous (capteur CTP RBR Concerto3 avec une optode d'oxygène dissous Rinko) avec une plateforme VTG Phantom exploitée par le MPO tout en maintenant l'intégrité des données de la série chronologique.

Dans le contexte écologique de cette série chronologique, l'hypoxie a été empiriquement définie par les besoins en oxygène de plusieurs espèces clés présentes, qui varient généralement de 0,3 à 1,1 ml L⁻¹ (Chu et Tunnicliffe 2015a; Chu et Gale 2017). Le plan de l'étude permet de comparer directement les changements induits par l'hypoxie dans la répartition des animaux épibenthiques au fil du temps. Parmi les espèces documentées, nous avons utilisé la plie mince (*Lyopsetta exilis*) et la galathée (*Munida quadrispina*) comme espèces indicatrices de la communauté tolérante à l'hypoxie, la crevette tachetée (*Pandalus platyceros*) comme indicatrice de la communauté sensible à l'hypoxie, et les gorgones (*Halimeteris willemoesi*), un corail d'eau froide, comme indicatrices de la communauté sessile.

45.3. État et tendances

Un manque de données sur quatre mois (entre mai et septembre) dans les enregistrements ONC-VENUS de 2019 a empêché de calculer les mesures d'exposition annuelle à l'hypoxie. Les tendances de l'oxygène environnemental ne peuvent être présentées que de manière qualitative et doivent être interprétées avec prudence étant donné cette lacune importante dans les données. Le niveau moyen annuel d'oxygène a diminué chaque année depuis 2006. En décembre 2019, le taux annuel de baisse est resté à -0,05 ml L⁻¹ année⁻¹ par rapport à 2018 (figure 45-1a, données de février 2006 à décembre 2019) (figure 45-1b). La durée annuelle de l'hypoxie à ce site augmente au fil du temps (figure 45-1c). De 2006 à 2018, le nombre de jours où ONC-VENUS a mesuré des conditions d'oxygène inférieures aux seuils de l'hypoxie grave de 0,88 ml L⁻¹ et de 0,5 ml L⁻¹ a augmenté respectivement de 9 et 8 jours par an. 2019 est la première année depuis 2006 où il n'a pas été possible de calculer la durée de l'exposition

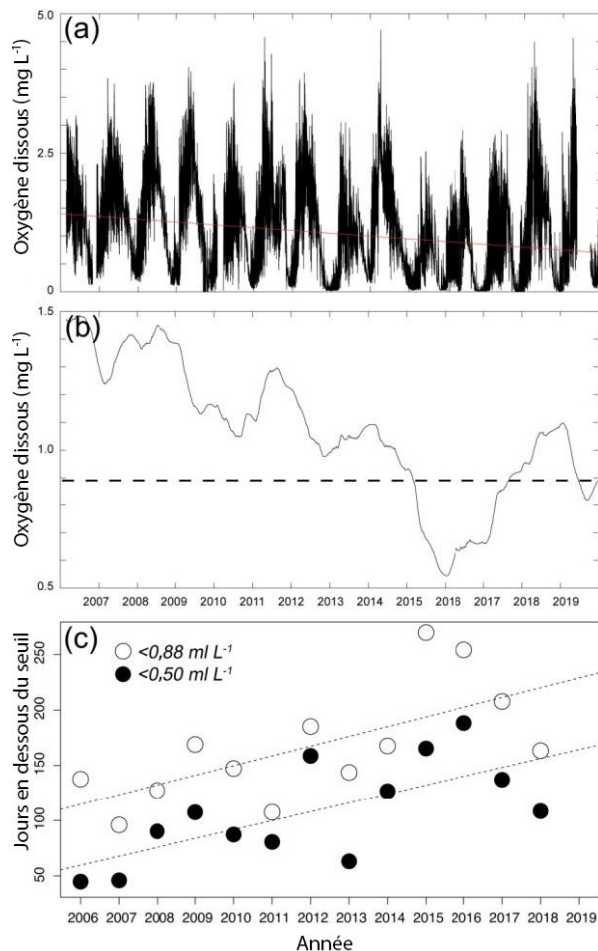


Figure 45-1. Enregistrements continus sur 14 ans de l'oxygène dissous (OD) par ONC-VENUS, mesurés par minute à 96 m dans la baie Patricia du bras de mer Saanich. (a) Déclin de l'OD à long terme (ligne pointillée). (b) Moyenne mobile sur un an du graphique -a. La ligne en pointillés correspond au seuil d'hypoxie de $0,88 \text{ ml L}^{-1}$ dans le Pacifique Est. (c) Il n'a pas été possible de calculer le nombre cumulé de jours par an en dessous des seuils d'hypoxie pour 2019 en raison du manque de données sur quatre mois dans les enregistrements ONC-VENUS.

hypoxique. Au moment de notre relevé, le 28 mai 2019, l'habitat montrait des signes de rétablissement de l'épuisement soutenu en oxygène, les niveaux annuels d'oxygène à ONC-VENUS s'étant rétablis juste au-dessus du seuil d'hypoxie grave de $0,88 \text{ ml L}^{-1}$. Le niveau d'oxygène mesuré à ONC-VENUS était encore loin de revenir aux niveaux de référence de 2006 à 2013 ($1,0\text{-}1,5 \text{ ml L}^{-1}$). Cependant, le profil d'oxygène mesuré par le VTG au printemps 2019 semblait plus similaire aux profils printaniers de la période de référence 2006-2013, marquant un rétablissement après le fort épisode d'eaux hypoxiques observé en 2016 (figure 45-2).

Un changement marqué de la communauté d'espèces, induit par l'hypoxie, s'est produit à l'automne 2016, après le début d'une période notable de déficit soutenu en oxygène de 2015 à 2017 (Gasbarro 2017; Chu *et al.* 2018; Gasbarro *et al.* 2019a). Les facteurs les plus notables sont l'absence, à l'automne 2016, de la crevette tachetée et d'autres espèces commerciales de crevettes (*P. jordani* et *P. hypsinotus*), le déclin des gorgones et des populations généralement faibles d'autres espèces de l'épifaune (Gasbarro *et al.* 2019a) et la présence de deux « nouvelles espèces » (le nudibranche *Armina californica* et l'holothurie *Pentamera cf. pseudocalcigera*) qui n'avaient pas été observées dans ce système avant 2016 (Gasbarro *et al.* 2019a).

En 2019, la communauté épibenthique a continué à afficher des stades de rétablissement successifs. Les espèces tolérantes à l'hypoxie (plie mince et galathée) étaient réparties à des profondeurs typiques et présentes à une abondance normale. En 2019, les densités et les répartitions en profondeur de la crevette

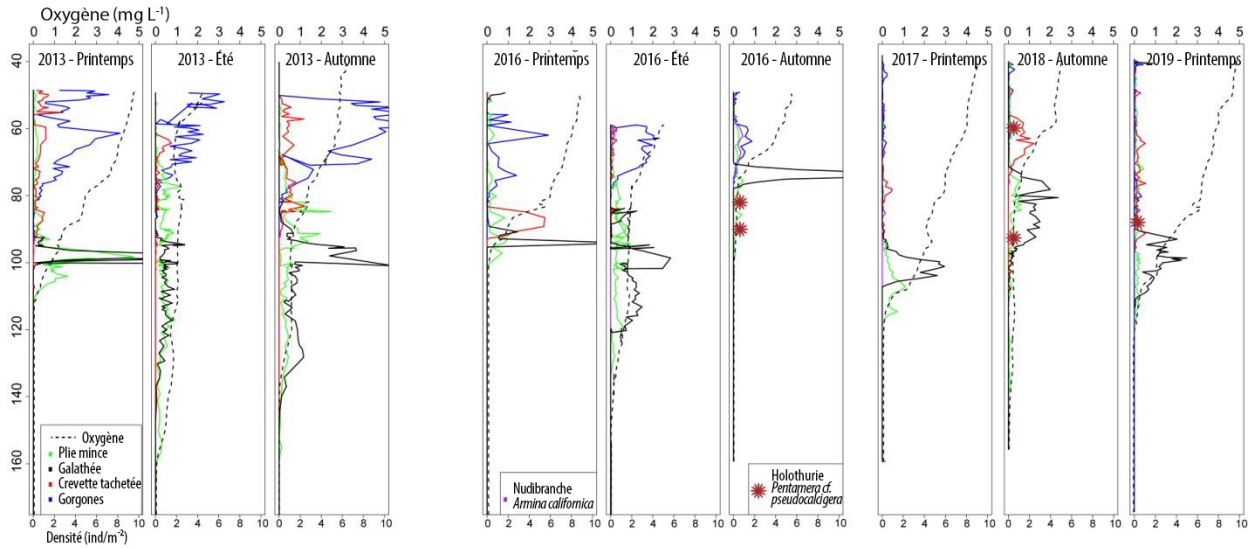


Figure 45-2. Relevés des densités des espèces clés en fonction de la profondeur dans la baie Patricia du bras de mer Saanich par rapport au gradient de l'oxygène dissous (ligne pointillée) en 2013 ($n=3$), 2016 ($n=3$), 2017 ($n=1$), 2018 ($n=1$) et 2019 ($n=1$). Aucun relevé n'a été effectué en 2014 et 2015.

tachetée étaient quelque peu similaires à celles de 2013 (figures 45-2 et 45-3). Les espèces qui sont apparues pour la première fois dans le système en 2016 restent présentes en faible nombre au printemps 2019 (figure 45-3). Le nombre observé de gorgones ($n=191$) a été multiplié par trois par rapport à 2018 ($n=66$, Chu et al. 2019) en raison du recrutement de nombreux juvéniles au cours de l'année passée.

45.4. Conséquences de ces tendances

Après la période d'hypoxie prolongée de 2015 à 2017, les niveaux d'oxygène du fond marin dans le bras de mer Saanich sont demeurés supérieurs au seuil de l'hypoxie grave pendant plus d'un an. Compte tenu de l'abondance, la plupart des populations de la faune mobile clé semblent s'être remises de cet événement climatique extrême. Comme on pouvait s'y attendre, les impacts ont été minimes sur les espèces qui prospèrent normalement dans des eaux hypoxiques (plie mince, galathée), qui se sont rapidement rétablies, suivies par les espèces mobiles plus sensibles à l'hypoxie (comme les crevettes pandalidées), qui se sont rétablies après environ deux ans.

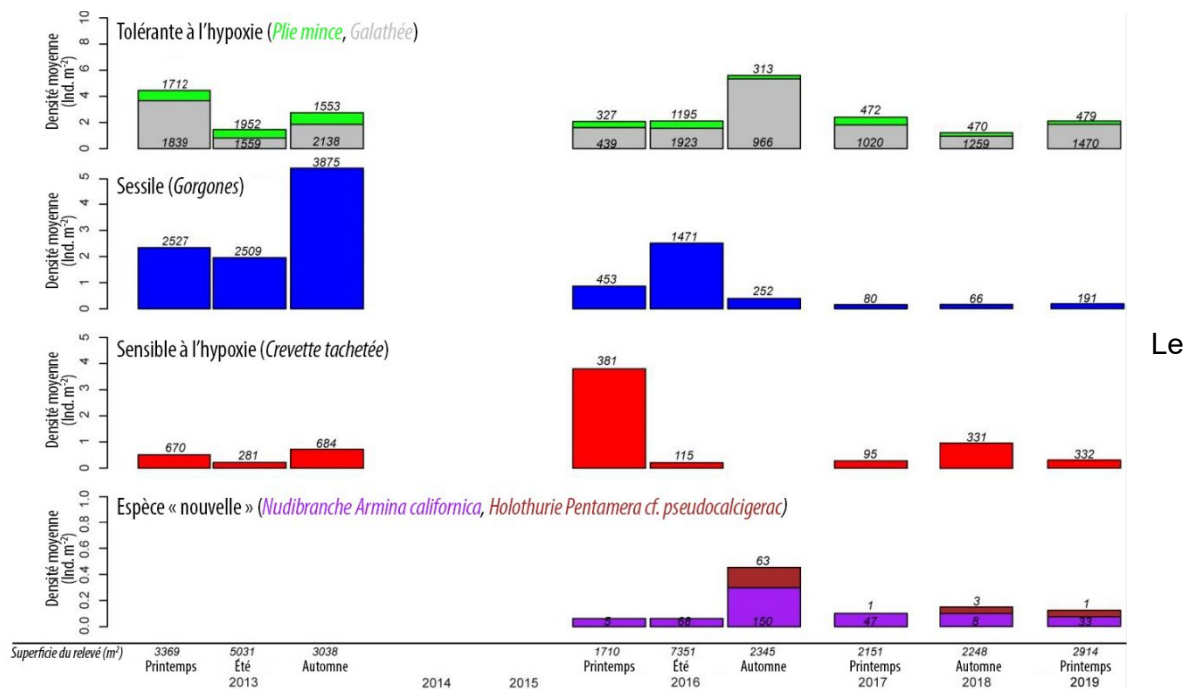


Figure 45-3. Densités moyennes par relevé pour chaque espèce clé présentée. Les totaux sont indiqués sur chaque barre. La superficie totale du relevé (m²) pour chaque année est indiquée sur l'axe des abscisses. Les différences de la superficie du relevé d'une année à l'autre sont principalement attribuables à la troncature de la partie la plus profonde du transect et au rendement variable sur le terrain des différentes plateformes de VTG. Aucun relevé n'a été effectué en 2014 et 2015. Les « nouvelles espèces » (nudibranche *Armina californica*, holothurie *Pentamera cf. pseudocalcigerac*) sont des taxons qui étaient absents durant la période de référence 2006-2013. Les densités moyennes ont été calculées à partir des abondances dans des sections de 20 m² le long de chaque transect où les espèces étaient présentes. Les données de 2013 sont tirées de Chu et Tunnicliffe (2015a). Les données de 2016 proviennent de Gasbarro et al. (2019b). Les relevés antérieurs (2006 à 2012) ne sont pas présentés, mais sont publiés dans Chu et Tunnicliffe (2015b).

recrutement des juvéniles est le premier signe de rétablissement de la population de gorgones, qui indique également que le rétablissement de la communauté d'espèces sessiles est le dernier stade après un changement au niveau de la communauté induit par un événement climatique extrême. Bien que cela montre qu'une population de coraux d'eau froide peut se rétablir après une mortalité importante au niveau de la population, la population est toujours à moins de 8 % du total observé pendant la période de référence. Le taux de rétablissement des gorgones au niveau de la population est nettement inférieur à celui de la communauté d'espèces mobiles, qui semble s'être stabilisé au cours des deux dernières années. En supposant une croissance nette générale et linéaire de la population de 100 gorgones par an, il faudra plusieurs décennies pour que la population revienne aux niveaux d'abondance de référence ($n > 2\ 000$). Les fonctions des écosystèmes prendront probablement beaucoup plus de temps à se rétablir, car les taux de croissance sont généralement lents chez les coraux d'eau froide (Neves *et al.* 2015). Des recherches spéciales sont requises pour déterminer si la pression continue des prédateurs des gorgones dans le système ralentit le taux de croissance de la population. Au Canada, cette série chronologique reste le seul programme de surveillance benthique par VTG qui a établi un lien empirique entre la variabilité d'un agent de stress

climatique et les réactions au niveau de la communauté avant les changements de la référence induits par l'événement climatique extrême.

45.5. Remerciements

La poursuite de cette série chronologique a été rendue possible grâce au soutien du MPO qui a offert du temps de navire, permis l'utilisation de son VTG Phantom et acheté des capteurs pour la campagne sur le terrain de 2019. Nous apprécions le soutien de Tammy Norgard, Stephanie Kraft-Archer, Ben Snow, Jackie Detering, Henrik Kreiberg et d'autres qui ont rendu possible le relevé de 2019.

45.6. References

- Chu, J.W.F., Curkan, C., and Tunnicliffe V. 2018. Drivers of temporal beta diversity of a benthic community in a seasonally hypoxic fjord. *R. Soc. Open Sci.* 5: 172284
- Chu, J.W.F., and Gale, K.S.P. 2017. Ecophysiological limits to aerobic metabolism in hypoxia determine epibenthic distributions and energy sequestration in the northeast Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 62: 59–74.
- Chu, J.W.F., Grupe, B.M., Curtis, J., Gasbarro, R., Boschen-Rose, J.M. and Tunnicliffe, V. 2019. The Saanich Inlet Transect 2018: Incomplete Recovery of the Epibenthic Community after Two Years of Sustained, Severe Hypoxia. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chander, P.C. (Eds.). *State of the physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian Ecosystems in 2018.* Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.
- Chu, J.W.F., and Tunnicliffe, V. 2015a. Oxygen limitations on marine animal distributions and the collapse of epibenthic community structure during shoaling hypoxia. *Glob. Chang. Biol.* 21: 2989–3004.
- Chu, J.W.F., and Tunnicliffe, V. 2015b. Data from: Oxygen limitations on marine animal distributions and the collapse of epibenthic community structure during shoaling hypoxia. Dryad Digital Repository. <https://doi.org/10.5061/dryad.1p55v>
- Gasbarro, R. 2017. Benthic ecology in two British Columbia fjords: compositional and functional patterns. MSc Thesis. University of Victoria.
- Gasbarro, R., Chu, J.W.F., and Tunnicliffe, V. 2019a. Disassembly of an epibenthic assemblage in a sustained severely hypoxic event in a northeast Pacific basin. *J. Mar. Syst.* 198: 103184.
- Gasbarro, R., Chu, J.W.F., and Tunnicliffe, V. 2019b. Data from: Disassembly of an epibenthic assemblage in a sustained severely hypoxic event in a northeast Pacific basin. Dryad Digital Repository. <https://doi.org/10.5061/dryad.88dd3vk>
- Neves, B.D.M., Edinger, E., Layne, G.D., and Wareham V.E. 2015. Decadal longevity and slow growth rates in the deep-water sea pen *Halipteris finmarchica* (Sars, 1851) (Octocorallia: Pennatulacea): implications for vulnerability and recovery from anthropogenic disturbance. *Hydrobiologia* 759: 147–170.

46. EXPANSIONS RÉCENTES DE L'AIRE DE RÉPARTITION DES INVERTÉBRÉS MARINS ENVAHISSANTS DANS LA RÉGION DU PACIFIQUE

Brett R. Howard et Thomas W. Therriault, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Brett.Howard@dfo-mpo.gc.ca, Thomas.Therriault@dfo-mpo.gc.ca

46.1. Faits saillants

- Les espèces aquatiques marines envahissantes (EAE) continuent de se propager en Colombie-Britannique.
- La détection précoce des espèces aquatiques envahissantes peut éclairer la gestion et les politiques.
- La gestion des espèces aquatiques envahissantes devrait se concentrer sur les voies d'entrée et les vecteurs anthropiques.

46.2. Description des indices – Surveillance des espèces aquatiques envahissantes dans la région du Pacifique

Les espèces aquatiques marines envahissantes (EAE) sont de plus en plus courantes dans toute la région du Pacifique. Deux programmes de surveillance à long terme sont présentés ici : le programme des plaques de fixation, qui surveille les espèces de salissures aquatiques envahissantes dans toute la province, et le programme de piégeage du crabe vert, qui cible le crabe vert (*Carcinus maenas*), une espèce envahissante (figure 46-1). Ces programmes de surveillance nous permettent de mieux comprendre les voies de passage anthropiques, ont facilité les efforts de détection précoce et ont donné lieu à des partenariats productifs avec les Premières Nations et les intervenants.

46.2.1. *Programme des plaques de fixation*

Depuis 2014, la méthode normalisée de surveillance des espèces aquatiques envahissantes dans la région du Pacifique consiste à utiliser des plaques de carrés en PVC lestées (14 cm²) déployées à partir de quais flottants. Les plaques sont analysées pour détecter la présence (ou l'absence) d'espèces aquatiques envahissantes et déterminer leur abondance. Comme cette méthode permet de détecter les espèces de salissures les plus susceptibles de s'établir dans la partie supérieure de la colonne d'eau et sur les structures anthropiques, elle est utile pour comprendre le risque de propagation de ces espèces transportées par les petits bateaux (Clarke Murray *et al.* 2011) et sur les structures statiques comme les camps et les quais de pêche flottants (Iacarella *et al.* 2019).

46.2.2. *Programme de piégeage du crabe vert*

La surveillance du crabe vert a débuté en 2006 dans la région du Pacifique, huit ans après son introduction en provenance des États-Unis par dispersion naturelle des larves (Gillespie *et al.* 2007). Comme il s'agit d'une espèce intertidale, elle est piégée au niveau ou au-dessus du niveau moyen de la basse mer à l'aide de pièges à poissons Fukui appâtés.

L'ensemble de données produit par le programme de piégeage a été utile pour comprendre la propagation continue des crabes verts sur toute la côte de la Colombie-Britannique, et a servi de base à la modélisation de la répartition de l'espèce et à des études génétiques. En outre, le programme a permis la détection précoce et l'éradication ciblée des crabes verts dans de nouvelles zones, dont la mer des Salish.

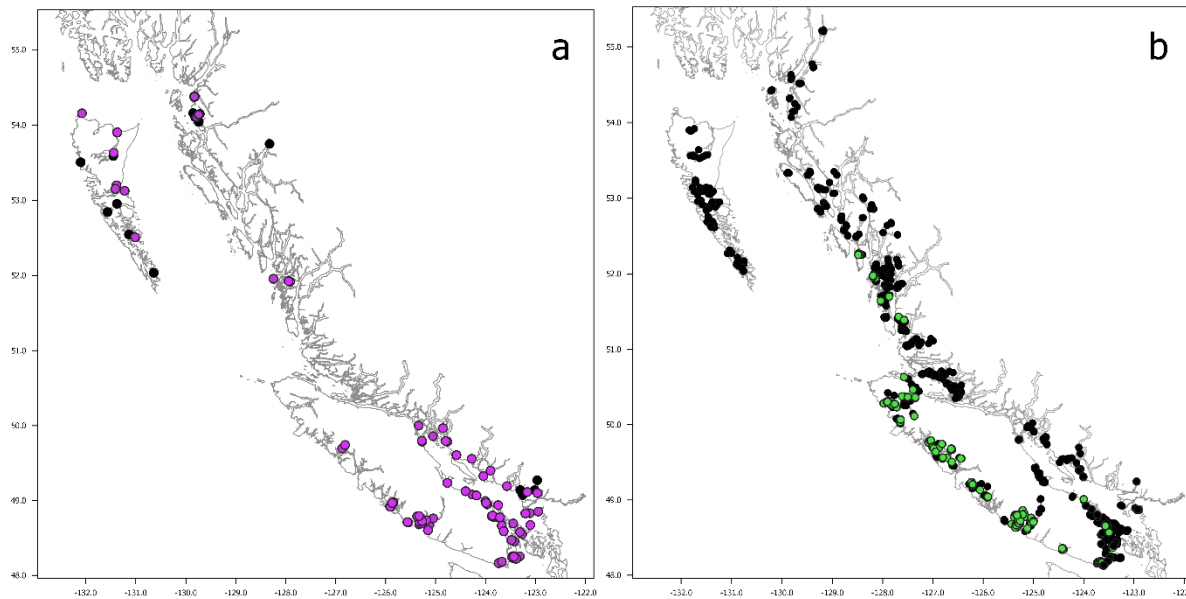


Figure 46-1. a) Tous les sites de déploiement de plaques de fixation entre 2006 et 2019. Pour démontrer l'aire de répartition de certaines espèces d'intérêt, les points indiquent si des tuniciers botryloïdes envahissants (*B. violaceus* et *B. schlosseri*) ont été détectés (en violet) ou non (en noir). b) Tous les endroits où des crabes verts ont été capturés par le MPO ou ses partenaires entre 2006 et 2019. Les points indiquent si des crabes verts ont été détectés (en vert) ou non (en noir).

46.3. État et tendances – Tendence à la hausse de la propagation et de l'abondance des espèces aquatiques envahissantes

Les changements dans l'abondance observée des espèces de salissures aquatiques envahissantes sur les plaques de fixation sont propres à l'espèce et à la zone (figure 46-2). Parmi les espèces de salissures aquatiques envahissantes d'intérêt surveillées, quatre ont été détectées dans toute la région, notamment à Haida Gwaii : *Botrylloides violaceus* et *Botryllus schlosseri* (tuniciers coloniaux), et *Schizoporella japonica* et *Cryptosula pallasiana* (bryozoaires incrustants). Cependant, on observe encore une propagation à plus petite échelle. La première détection de *B. violaceus* et *B. schlosseri* sur la côte nord a eu lieu en 2018 sur le territoire des Lax Kw'alaams, et une propagation localisée à Prince Rupert a été relevée en 2019.

Bien que les tolérances thermiques et de salinité du crabe vert semblent indiquer que l'espèce pourrait être présente dans une grande partie de la région, l'invasion a été largement limitée à la côte ouest de l'île de Vancouver jusqu'à récemment (figure 46-3). On assiste maintenant à des expansions de l'aire de répartition sur la côte continentale, avec notamment la détection de larves de crabe vert à Prince Rupert en 2019 et dans la mer des Salish (figure 46-1b). Si les CPUE de crabe vert dans ces nouvelles zones restent actuellement faibles, les prises sur l'île de Vancouver montrent que cette espèce pourrait devenir hyperabondante dans des conditions favorables (figure 46-3).

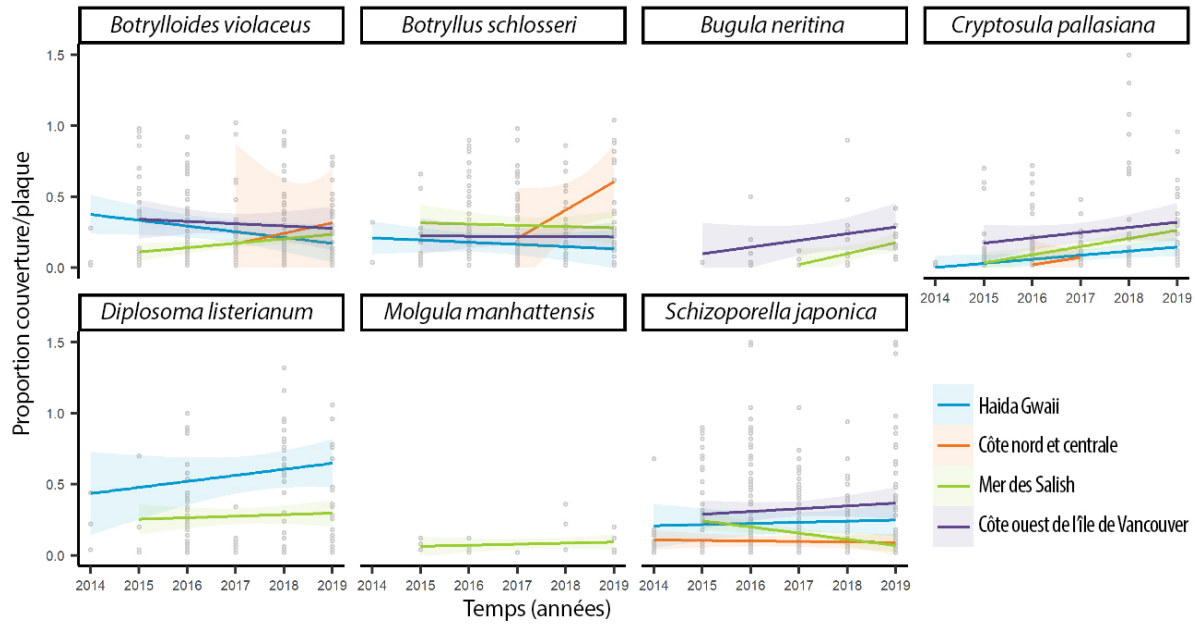


Figure 46-2. Variation de l'abondance de certaines espèces aquatiques envahissantes trouvées sur les plaques de fixation dans chacune des quatre zones, présentée comme la moyenne conditionnelle lissée de la proportion des plaques couvertes (IC à $\pm 95\%$), par espèce, par zone. Les points gris représentent la couverture proportionnelle par les espèces aquatiques envahissantes pour chaque plaque (données brutes). Les proportions peuvent être supérieures à 1,0 en raison des espèces qui se développent en couches, de sorte que plus d'une occurrence d'une espèce peut être enregistrée par point.

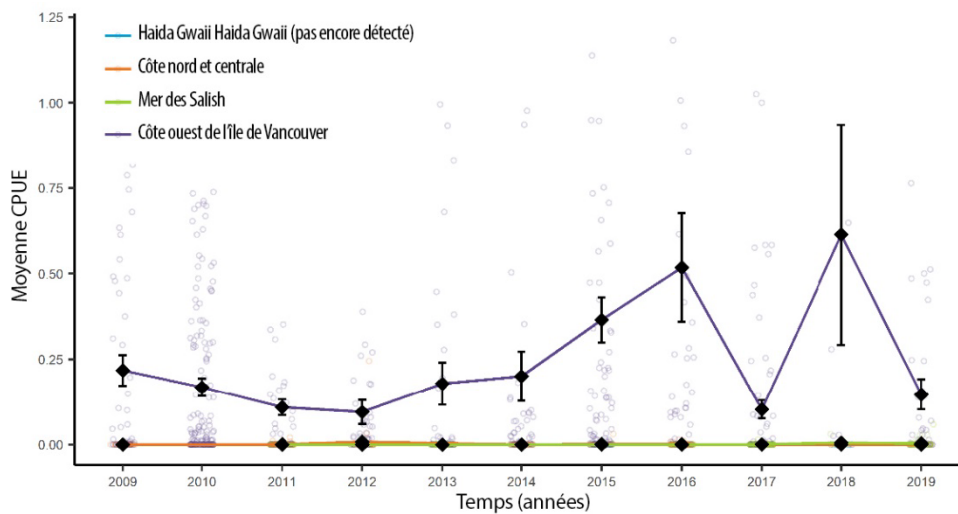


Figure 46-3. Captures annuelles moyennes par unité d'effort (CPUE) de crabe vert ($\pm ET$) pour tous les casiers posés dans chacune des quatre zones de la côte. Les points de couleur représentent les différents événements de piégeage dans chaque zone. Noter que toutes les données brutes sont tracées, mais que la plupart des CPUE sont trop petites pour que les points soient visibles.

46.4. Facteurs influençant la propagation et l'abondance des espèces aquatiques envahissantes

Dans la région du Pacifique, les changements climatiques permettront probablement à des espèces aquatiques envahissantes actuellement limitées à des endroits plus au sud de survivre. Cette situation est particulièrement préoccupante pour Haida Gwaii (Howard *et al.* 2018). Il est également probable que les périodes de réchauffement important, comme l'El Niño de 2014-2016, faciliteront les pics de population et les événements de dispersion larvaire sur de longues distances pour des espèces comme le crabe vert (Gillespie *et al.* 2007; Brasseale *et al.* 2019). Le potentiel de propagation des espèces aquatiques envahissantes par les navires, les structures et les équipements infestés restera un vecteur principal pour les espèces aquatiques envahissantes existantes (connues) et nouvelles dans la région, et pourrait s'accroître à mesure que des zones isolées de la côte s'ouvriront au trafic maritime.

46.5. Conséquences des expansions de l'aire de répartition des espèces aquatiques envahissantes dans la région du Pacifique

Le potentiel de propagation anthropique localisée des espèces aquatiques envahissantes, combiné à une abondance croissante, signifie que les espèces aquatiques envahissantes continueront à avoir des impacts plus importants sur les espèces indigènes, les écosystèmes et l'industrie. L'élargissement du règlement sur les EAE de la *Loi sur les pêches* et de nouveaux plans de gestion des espèces aquatiques envahissantes à haut risque sont en cours d'élaboration.

Le programme des plaques de fixation a été un outil utile pour suivre la dispersion des espèces de salissures aquatiques envahissantes. Les campagnes d'éducation et de sensibilisation qui visent à modifier le comportement humain, comme les procédures de décontamination « Nettoyer, vider, sécher », peuvent réduire la probabilité de déplacement accidentel des espèces aquatiques envahissantes. En axant la gestion sur les principaux vecteurs de transport, on a plus de chances de réduire la propagation des espèces aquatiques envahissantes établies et des espèces de salissures nouvellement introduites ou non détectées dont les impacts ne sont pas encore connus.

On sait que les crabes verts ont des impacts négatifs importants sur les populations de bivalves, en particulier les palourdes, et sur l'habitat de zostère (Howard *et al.* 2019). La tendance à l'augmentation de l'abondance et de la propagation de cette espèce dans la mer des Salish a donné lieu au Plan d'action transfrontalier de la mer des Salish pour le crabe vert européen envahissant (Drinkwin *et al.* 2019), un plan de gestion conjoint entre le MPO et ses partenaires de l'État de Washington. Conformément à ce plan d'action, le Programme de protection du poisson et de son habitat (PPPH) mène un programme de détection précoce et d'éradication des crabes verts.

46.6. References

- Brasseale E., Grason E.W., McDonald P.S., Adams J., and MacCready P. 2019. Larval transport modeling support for identifying population sources of European green crab in the Salish Sea. *Estuaries Coasts* 42:1586–1599.
- Clarke Murray C., Pakhomov E.A., and Therriault T.W. 2011. Recreational boating: A large unregulated vector transporting marine invasive species. *Divers. Distrib.* 17:1161–1172
- Drinkwin, J., Pleus, A., Therriault, T., Talbot, R., Grason, E.W., McDonald, P.S., Adams, J., Hass, T., and Little K. 2019. Salish Sea Transboundary Action Plan for Invasive European Green Crab. Puget Sound Partnership.
- Gillespie G.E., Phillips A.C., Paltzat D.L., and Therriault T.W. 2007. Status of the European green crab, *Carcinus maenas*, in British Columbia - 2006. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2700: vii–39.
- Howard B.R., Tamburello N., and Francis F.T. 2018. Risk Assessment for Marine Invasive Species in Haida Gwaii. Report prepared by ESSA Technologies Ltd. for the Marine Plan Partnership (MaPP). 144 pp + appendices.
- Howard B.R., Francis F.T., Côté I.M., and Therriault T.W. 2019. Habitat alteration by invasive European green crab (*Carcinus maenas*) causes eelgrass loss in British Columbia, Canada. *Biol. Invasions*. 21:3607–3618.
- Iacarella, J.C., Davidson, I.C., and Dunham, A. 2019. Biotic exchange from movement of 'static' maritime structures. *Biol Invasions* 21:1131–1141.

47. MISE À JOUR CONCERNANT LES RAPPORTS LOCAUX SUR L'ÉTAT DES OCÉANS CÔTIERS : INTÉGRATION DES CONNAISSANCES AUTOCHTONES, DE LA SCIENCE OCCIDENTALE ET DE LA SCIENCE CITOYENNE

Aroha Miller, Jennifer Chapman et Amber Dearden, Ocean Watch, Institut de recherche Ocean Wise, Vancouver, Colombie-Britannique, aroha.miller@ocean.org

47.1. Faits saillants

- Les rapports locaux sur les océans côtiers intègrent des données probantes scientifiques, les connaissances communautaires et les connaissances autochtones, ce qui permet de prendre des mesures de conservation unifiées.
- Les principaux problèmes pour la santé des océans côtiers ont été déterminés; un plan d'action a été créé pour y remédier.
- La communauté a formé un groupe de travail pour donner suite aux mesures recommandées.
- Les communautés font partie intégrante de la création d'outils de conservation significatifs et de la réduction du fossé entre la science et l'action.

47.2. Conservation à l'initiative de la communauté

Ocean Watch, qui fait partie de l'association Ocean Wise Conservation, produit des rapports sur l'état de la santé des océans côtiers. Deux rapports ont été publiés à ce jour – Ocean Watch : Howe Sound Edition (OWHS 2017), et Ocean Watch : BC Coast Edition (OWBC 2018). Les deux rapports utilisent un style de communication non technique, de type narratif, avec des graphiques simplifiés, qui a été très populaire. Depuis la publication de ces rapports, des succès ont été obtenus en matière de conservation à l'initiative de la communauté.

Ici, nous nous concentrons sur le rapport OWHS 2017 parce qu'il s'agit d'un emplacement géographique limité suscitant un vif intérêt et une grande participation dans la communauté; un certain nombre de mesures de conservation fructueuses ont été prises; et la mise à jour de ce premier rapport devrait être publiée à l'été 2020.

Située au nord de Vancouver,

Átl'ka7tsem/Txwnéwu7ts/la baie Howe est un bras de mer de la mer des Salish, sculptée par la glace de glacier dans les montagnes environnantes pour former un fjord (figure 47-1). Il s'agit du territoire traditionnel non cédé de la Sk̓wx̓wú7mesh Úxwumixw/Nation Squamish.



Figure 47-1. Átl'ka7tsem/Txwnéwu7ts/Baie Howe, les points rouges représentant les principales communautés. Encadré : emplacement par rapport à Vancouver, Colombie-Britannique

Le rapport OWHS 2017 présentait 32 sujets relatifs à la santé des océans (p. ex. les sébastes, l'apprentissage en plein air, le réchauffement de l'océan) classés en sept thèmes (figure 47-2). Chaque article décrivait les connaissances actuelles disponibles en utilisant une combinaison de science occidentale, de science citoyenne et de connaissances communautaires, ainsi que le savoir traditionnel autochtone. Le cas échéant, le lien avec les Premières Nations était inclus. Nous avons fourni une liste de mesures recommandées que les personnes, les organisations et les gouvernements (à tous les niveaux) pourraient prendre pour améliorer la santé du milieu marin local.

Une cote de santé a été attribuée à chaque article, le cas échéant, en fonction de la disponibilité et de la tendance indiquées par les données présentées, et du degré de risque ou de vulnérabilité d'un sujet ou d'un enjeu. Les principaux obstacles pour améliorer la cote et la faire passer à « sain » ont été déterminés, dont beaucoup comportaient des thèmes transversaux (p. ex. les données de surveillance et de référence limitées, la perte d'habitat et la contamination dues à l'industrialisation, la gouvernance par plus de dix organismes gouvernementaux locaux différents). La détermination des principaux enjeux et les mesures recommandées dans les articles ont permis d'élaborer un plan d'action pour guider les communautés de la baie sur la façon dont elles pourraient améliorer la santé globale de leur environnement côtier local.



Figure 47-2. Les sept thèmes sous lesquels tous les articles ont été regroupés dans le rapport Ocean Watch : Howe Sound Edition (2017).

La publication du rapport OWHS 2017 a donné un nouvel élan aux nombreuses communautés d'Átl'ka7sem/Txwnéwu7ts/baie Howe, qui travaillaient déjà ensemble pour créer un plan global pour guider l'intendance et la croissance durable. Pour mettre en œuvre le plan d'action tiré du rapport OWHS 2017, le groupe de travail sur la surveillance des océans (Ocean Watch Task Force - OWTF) a été formé – un sous-comité du Forum communautaire de la baie Howe (Howe Sound Community Forum) qui existait déjà. Le groupe de travail était composé de membres des gouvernements locaux, des Premières Nations, de représentants du gouvernement, du personnel de planification et d'ONG. Un résultat clé a été la création d'un plan stratégique (OWHS 2019) pour guider les gouvernements locaux dans la prise de mesures coordonnées et collaboratives visant à assurer la santé des environnements côtiers.

Plusieurs autres outils de conservation importants ont été mis au point ou sont encore en cours de développement, par exemple :

- l'évaluation de la légende de la classification de la surveillance des océans (Ocean Watch Rating Legend Assessment, OWHS 2017);
- la création de la carte en ligne d'évaluation de la conservation marine d'Átl'ka7sem/baie Howe (Beaty *et al.* 2018);

- l'évaluation provinciale des effets cumulatifs (gouvernement de la Colombie-Britannique 2019);
- l'élaboration d'un guide de référence marine pour Atl'ka7tsem/baie Howe (MRG 2019).

Ce sont tous des outils importants fondés sur des données recueillies par la science occidentale ou citoyenne, des connaissances et des histoires locales, avec le savoir de Skwxwú7mesh Úxwumixw/la Nation Squamish. En outre, les travaux se poursuivent en vue de la désignation d'Atl'ka7tsem/Txwnéwu7ts/baie Howe comme région de la biosphère de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) (HSBRI 2019).

Le rapport OWHS 2017 fournissait une source intégrée de différents types de connaissances aux nombreuses communautés de la baie. Pour combler efficacement le fossé entre la science et l'action à partir de ce rapport de 2017, il fallait le mettre à jour. Cette mise à jour est presque terminée et sa publication est prévue à l'été 2020. Elle met fortement l'accent sur les impacts des changements climatiques sur le milieu marin. Nous prévoyons qu'elle continuera à unifier et à motiver les communautés d'Atl'ka7tsem/baie Howe à travailler pour obtenir des résultats positifs en matière de conservation, en particulier face à l'incertitude que posent les changements climatiques.

47.3. References

B.C. Government. 2019. Howe Sound cumulative effects project area.

<https://catalogue.data.gov.bc.ca/dataset/howe-sound-cumulative-effects-project-area-data-howe-sound-cumulative-effects> (accessed February 20, 2020).

Beaty, F., van Riet, W., Wareham, B., and Schultz, J. 2019. Howe Sound/Atl'ka7tsem map.

<https://howesoundconservation.ca/mapapp/#> (accessed February 20, 2020).

Howe Sound Biosphere Region Initiative (HSBRI). 2019. www.howesoundbri.org (accessed February 20, 2020).

Marine Reference Guide (MRG). 2019. Howe Sound/Atl'ka7tsem Marine Reference Guide.

<https://howesoundguide.ca/> (accessed February 20, 2020).

Ocean Watch: Howe Sound/Atl'ka7tsem Strategic Plan 2019 – 2021. 2019. Prepared by Eclipse Environmental Consulting Limited. Prepared for Ocean Wise Conservation Association. 22 pp.

https://assets.ctfassets.net/fsquhe7zbn68/35qzo0mjdczkcfHbZeWMTV/b80b29d633a9ae1bd5275b3acf0f82f1/OWTF-Strategic-Plan_updated.pdf (accessed February 20, 2020).

Ocean Watch: Howe Sound Edition (OWHS). 2017. Producer: Day, A. Editor: Bodtker, K.

<http://oceanwatch.ca/howesound/> (accessed February 20, 2020).

Ocean Watch: B.C. Coast Edition (OWBC). 2018. Producer: Day A. Editor: Bodtker K.

<http://oceanwatch.ca/bccoast/> (accessed February 20, 2020).

Rapports individuels sur la séance spéciale

48. LES VAGUES DE CHALEUR MARINES DE 2018 ET 2019

Charles Hannah, Peter Chandler et Stephen Page, Pêches et Océans Canada, Sidney, Colombie-Britannique, Charles.Hannah@dfo-mpo.gc.ca, peter.chandfler@dfo-mpo.gc.ca, stephen.page@dfo-mpo.gc.ca

48.1. Faits saillants

- 2018 et 2019 ont été généralement plus chaudes que la normale dans le nord-est de l'océan Pacifique.
- À l'automne 2018 et de nouveau en 2019, la région a connu des vagues de chaleur marines comparables au « Blob » (2013-2016) de par leur taille et leur ampleur, mais pas en durée.
- La température de la surface de la mer (SST) sur la côte nord de la Colombie-Britannique a été généralement plus élevée que la normale de l'été 2018 à la fin de l'automne 2019. Cependant, la vague de chaleur marine extrême relevée dans le nord du détroit d'Hécate était probablement un artefact d'un capteur de température défectueux.
- Le sud de l'île de Vancouver (bouée météo La Pérouse) était en état de vague de chaleur marine pendant l'été 2019 (50 jours en catégorie 1 et plus), mais pas à l'automne.

48.2. Description de la série chronologique

La définition d'une vague de chaleur marine (Hobday *et al.* 2016, 2018) est qu'elle se produit « si elle dure cinq jours ou plus, avec des températures supérieures au 90^e centile fondé sur une période historique de 30 ans » (Hobday *et al.* 2016). Les catégories de vague de chaleur marine sont définies en fonction de la différence entre le 90^e centile et la moyenne, où les deux résolvent le cycle annuel. Une vague de chaleur marine de catégorie 1 a une température de la surface de la mer supérieure au 90^e centile pendant cinq jours consécutifs. Si l'on définit la différence entre le 90^e centile et la moyenne comme « l'augmentation », une vague de chaleur marine de catégorie 2 dépasse le 90^e centile, plus une augmentation pendant cinq jours consécutifs, une vague de chaleur marine de catégorie 3 dépasse le 90^e centile plus deux augmentations, et ainsi de suite.

L'indice de vague de chaleur marine est vraiment une statistique extrême. Avec 30 ans de données quotidiennes, seuls trois jours peuvent dépasser le 90^e centile et une vague de chaleur marine nécessite au moins cinq de ces jours d'affilée. Il faut donc s'attendre à ce que les calculs soient sensibles aux détails de la manière dont les observations ont été faites et traitées.

De nombreuses séries chronologiques de la température de la surface de la mer ont été utilisées dans cette analyse

- Les statistiques de la température de la surface de la mer et de la vague de chaleur marine obtenues auprès du groupe de travail international sur les vagues de chaleur marines (Marine Heatwaves International Working Group) à l'adresse marineheatwaves.org. La source des données est 1/4 de la valeur quotidienne de l'Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) de la NOAA, qui est

construite en combinant les observations des satellites, des navires et des bouées. La période de climatologie est de 1982 à 2011. Un point important pour ce rapport est que l'OISST n'est pas indépendant des données des bouées météorologiques.

- Les cartes des anomalies hebdomadaires de la température de la surface de la mer (globales) ont été obtenues sur le site Web du National Centre for Environmental Prediction http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis/sous_les_archives_des_anomalies_hebdomadaires.
- Le réseau de bouées météorologiques de la Colombie-Britannique, composé de bouées Axis 3 m entretenues par Environnement et Changement climatique Canada (figure 48-1), mesure la température de la surface de la mer à environ 80 cm sous la surface de la mer. Les données sont disponibles auprès du MPO à l'adresse <http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/isdm-gdsi/waves-vagues/data-donnees/index-fra.asp>. Pour ce rapport, nous avons calculé les statistiques de vague de chaleur marine pour les bouées du centre de l'entrée Dixon (C46145), d'Hécate Nord (C46183), d'Hécate Sud (46185) et du banc La Pérouse (46206). Pour La Pérouse, le registre commence en novembre 1988, ce qui signifie que nous disposons de 30 ans de données. Les autres registres sont un peu plus courts (généralement à partir de 1991); nous avons utilisé tout le registre pour définir le cycle annuel et le 90^e centile à chaque emplacement. L'emplacement des bouées est indiqué sur la figure 9-2 de Hannah *et al.* (2019).
- Le programme océanographique des stations côtières de la Colombie-Britannique mesure quotidiennement la température de la surface de la mer à de nombreux phares de la province. Nous avons utilisé les données du phare de Bonilla, qui commencent en 1960, <https://dfo-mpo.gc.ca/science/data-donnees/lightstations-phares/index-fra.html>.
- Les cartes des moyennes mensuelles des anomalies de hauteur de 500 mb sont disponibles auprès de l'International Research Institute for Climate and Society, de l'Université de Columbia http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Atm_Circulation/Monthly_Height_500hPa.html
- La moyenne mensuelle de la température de la surface de la mer mesurée par satellite à une résolution de 4 km a été fournie par Emmanuel Devred, de l'Institut océanographique de Bedford (IOB/MPO).

48.3. État et tendances

Les nombreuses séries chronologiques examinées ont toutes montré que les années 2018 et 2019 étaient généralement plus chaudes que la normale, mais pas partout, ni à tout moment. Il y a également eu des vagues de chaleur marines majeures dans les eaux du nord-est de l'océan Pacifique en 2018 et 2019 (Livingston 2018; NOAA 2019). Sur le plateau, ce qui semblait être une vague de chaleur marine majeure dans le nord du détroit d'Hécate de l'été 2018 à l'automne 2019 était en fait un artefact d'un thermomètre problématique sur la bouée météo d'Hécate Nord. Ces données ont ensuite influencé celles utilisées par le site du Marine Heatwave Tracker. Nous pensons que la série chronologique du phare de Bonilla (figure 48-1) rend compte des conditions dans le nord du détroit d'Hécate pendant cette période – une chaleur persistante, mais pas une vague de chaleur marine soutenue.

Pour le sud de l'île de Vancouver, la série chronologique des températures au phare d'Amphitrite (figure 48-2) montre que les conditions étaient généralement supérieures à la normale en 2018 et 2019. Il y a eu des conditions de vague de chaleur marine soutenue durant l'été 2019 et des conditions fraîches à l'automne 2019. Les résultats de l'automne 2019

semblent contredire l'annonce de la NOAA (2019) concernant les vagues de chaleur marines majeures, mais un examen attentif de l'imagerie satellitaire de la température de la surface de la mer donne à penser que le sud de l'île de Vancouver n'était pas plus chaud que la normale. Il convient de noter que la série chronologique des bouées météorologiques de La Pérouse présente de grandes lacunes en 2018 et 2019 et n'a pas pu être utilisée dans l'analyse.

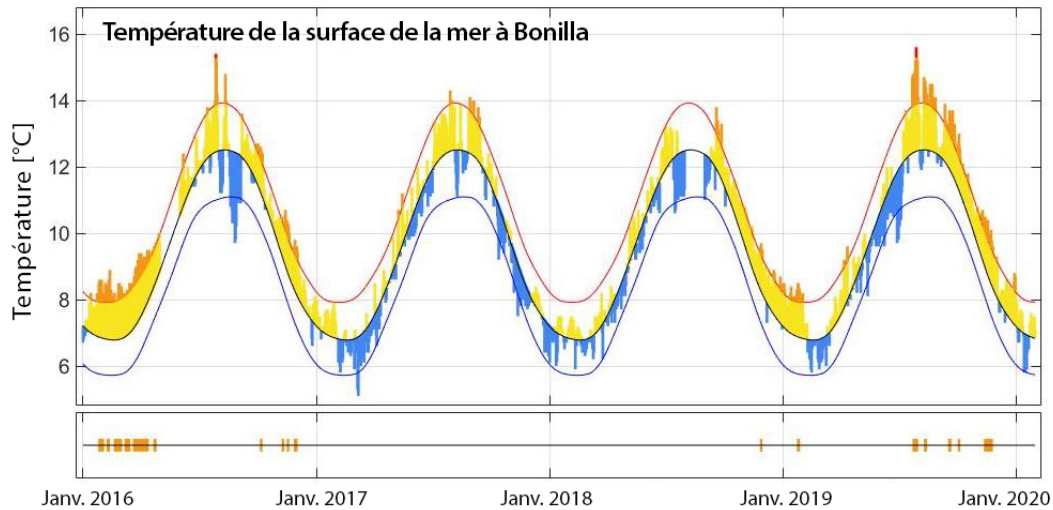


Figure 48-1. Série chronologique de la température de la surface de la mer au phare de Bonilla pour 2016 et jusqu'au début de 2020. Cycle saisonnier climatologique (en noir), 90^e centile (en rouge) et le 10^e centile (en violet) sont indiqués sur la base de 30 années de données à partir de 1990. Les températures supérieures à la normale sont indiquées en jaune et les températures inférieures à la normale en bleu. Les événements de vague de chaleur marine sont indiqués en orange (Cat. 1) et en rouge (Cat. 2).

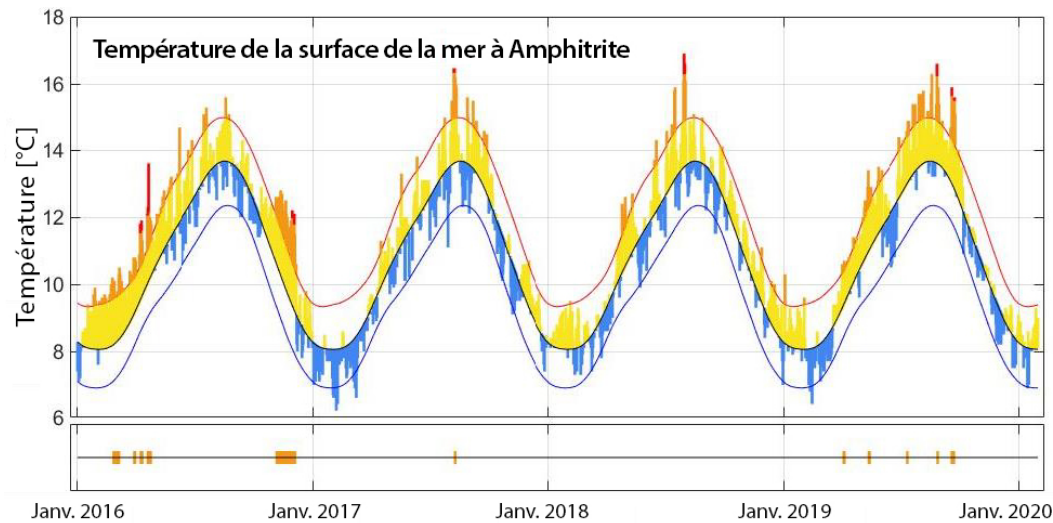


Figure 48-2. Série chronologique de la température de la surface de la mer au phare d'Amphitrite pour 2016 et jusqu'au début de 2020. Les couleurs sont les mêmes que pour la figure 48-1.

Les figures 48-3 et 48-4 représentent les statistiques de vague de chaleur marine aux bouées météorologiques d'Hécate Sud et de La Pérouse. Ces statistiques montrent la prédominance de la période du « Blob » et « post-Blob » dans les statistiques de vague de chaleur marine et l'importance de l'événement El Niño de 1997-1998. Il y a également eu un petit événement en 2004.

48.4. Facteurs influençant les tendances

Les grandes vagues de chaleur marines récentes (le « Blob » de 2013 à 2015; 2018, 2019) semblent avoir leur origine à l'automne (Bond *et al.* 2015; Peterson *et al.* 2016; Britten 2018; Livingston 2018; NOAA 2019). Une hypothèse est que les crêtes de haute pression dans la haute atmosphère (dénotées par les anomalies de hauteur de 500 mb) empêchent les tempêtes d'automne d'atteindre la Colombie-Britannique, ce qui limite le refroidissement de la couche supérieure de l'océan à un moment où elle se refroidit habituellement à un rythme d'environ 2 °C par mois. Lorsque la crête disparaît après deux ou trois semaines, l'océan de surface est de 1 à 2 °C plus chaud, et plus fortement stratifié que la normale. L'anomalie de chaleur peut persister pendant de nombreux mois jusqu'à ce que le retour des « tempêtes normales » rétablisse le taux de refroidissement normal. Un taux de refroidissement supérieur à la normale est nécessaire pour éliminer l'anomalie de température de la surface. Cette hypothèse n'est pas vérifiée.

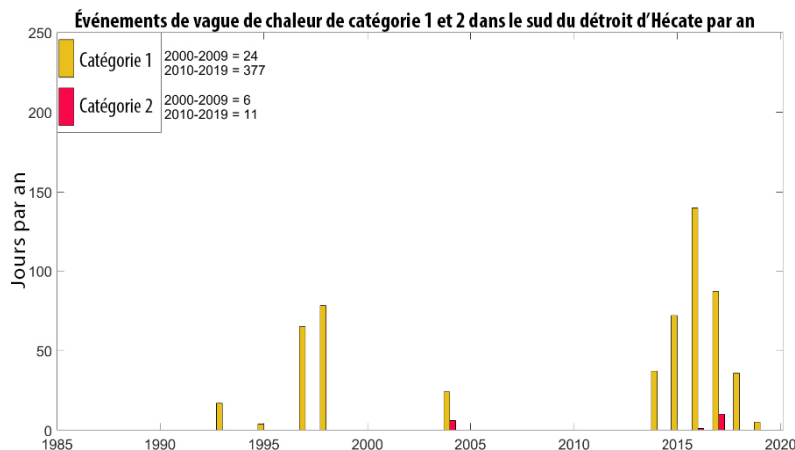


Figure 48-3. Statistiques de vague de chaleur marine pour la température de la surface de la mer à la bouée météorologique d'Hécate Sud. La catégorie 1 fait référence à tous les événements de vague de chaleur marine de catégorie 1 et plus; la catégorie 2 se réfère à tous les événements de catégorie 2 et plus.

48.5. Conséquences de ces tendances

La sécheresse persistante en Californie de 2012 à 2015 a été attribuée à la présence accrue de crêtes de haute pression dans la haute atmosphère (anomalie de 500 mb de hauteur centrée sur Victoria, Colombie-Britannique; Swain 2015). La présence accrue de ces crêtes a été liée

aux changements climatiques (Swain *et al.* 2014, 2017; Wang *et al.* 2014). Il est donc possible que les récentes vagues de chaleur marines dans le nord-est du Pacifique soient l'un des mécanismes par lesquels les changements climatiques s'exprimeront dans les eaux de la Colombie-Britannique. Il semble raisonnable de penser que ces vagues de chaleur marines font partie de notre système (le climat) plutôt que d'être des anomalies.

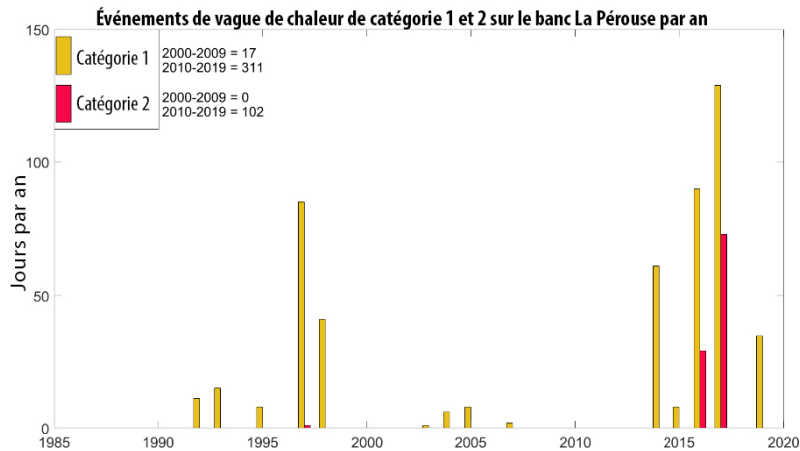


Figure 48-4. Statistiques de vague de chaleur pour la température de la surface de la mer à la bouée météorologique de La Pérouse. La catégorie 1 fait référence à tous les événements de vague de chaleur marine de catégorie 1 et plus; la catégorie 2 se réfère à tous les événements de catégorie 2 et plus. Il y a de grandes lacunes dans la couverture des données pour l'automne et l'hiver 2018-2019 et l'automne 2019. La température de la surface de la mer mesurée par satellite indique qu'il n'y a pas eu d'événements de vague de chaleur marine soutenue pendant ces périodes.

48.6. References

- Bond, N.A., Cronin, M.F., Freeland, H., and Mantua, N. 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters* 42(9): 3414-3420.
- Britten, L. 2018. 'Son of the Blob': Unseasonably warm weather creating new anomaly off B.C. coast. Canadian Broadcasting Corporation. October 18, 2018. <https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/blob-pacific-ocean-bc-1.4867674>
- Hannah, C.G., Page, S., Ross, T. 2019. Ocean Surface Temperatures in 2018: Another Marine Heatwave? In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.
- Hennig, B. 2018. Unprecedented low water levels' in northern, central B.C. raise fears for future of wildlife. Canadian Broadcasting Corporation. October 17, 2018. <https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/drought-bc-impacting-wildlife-1.4866760? cmp=rss>

- Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D.A., Straub, S.C., Oliver, E.C.J., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Scannell, H.A., Sen Gupta, A., and Wernberg, T. 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography* 141: 227–238, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>.
- Hobday, A.J., Oliver, E.C.J., Sen Gupta, A., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Thomsen, M.S., Wernberg, T., and Smale, D.A. 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31(2):162–173, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>.
- [Livingston, I. 2018.](https://www.washingtonpost.com/weather/2018/10/18/persistent-alaska-warmth-this-fall-has-brought-back-blob-if-it-lasts-it-could-mean-wild-winter-lower/) Persistent Alaska warmth this fall has brought back ‘the Blob.’ If it lasts, it could mean a wild winter in the Lower 48. *Washington Post*, October 18, 2018. <https://www.washingtonpost.com/weather/2018/10/18/persistent-alaska-warmth-this-fall-has-brought-back-blob-if-it-lasts-it-could-mean-wild-winter-lower/>
- NOAA. 2019. New Marine Heatwave Emerges off West Coast, Resembles “the Blob”. <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/new-marine-heatwave-emerges-west-coast-resembles-blob>
- Peterson, W., Bond, N., and Robert, M. 2016. The Blob (part three): Going, going, gone? *PICES Press* 24(1): 46.
- Ross, T., Fisher, J., Bond, N.A., Galbraith, M., and Whitney, F. 2019. The Northeast Pacific: Current status and recent trends. *PICES Press* 27(1).
- Swain, D.L., Tsiang, M., Haugen, M., Singh, D., Charland, A., Rajaratnam, B., and Diffenbaugh, N.S. 2014. The extraordinary California drought of 2013/2014: Character, context, and the role of climate change. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 95(9): S3-S7.
- Swain, D.L. 2015. A tale of two California droughts: Lessons amidst record warmth and dryness in a region of complex physical and human geography. *Geophysical Research Letters* 42(22): 9999-10.
- Swain, D.L., Singh, D., Horton, D.E., Mankin, J.S., Ballard, T.C., and Diffenbaugh, N.S. 2017. Remote linkages to anomalous winter atmospheric ridging over the northeastern Pacific. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 122(22): 12,194-12,209.
- Wang, S.Y., Hips, L., Gillies, R.R., and Yoon, J.H. 2014. Probable causes of the abnormal ridge accompanying the 2013–2014 California drought: ENSO precursor and anthropogenic warming footprint. *Geophysical Research Letters* 41(9): 3220-3226.

49. DÉFINIR LES VAGUES DE CHALEUR MARINES – AVONS-NOUS BIEN COMPRIS?

Peter Chandler, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Peter.Chandler@dfo-mpo.gc.ca

49.1. Faits saillants

- La fréquence et la durée moyennes globales des vagues de chaleur marines sont à la hausse, ce qui se traduit par une augmentation du nombre de jours annuels de vague de chaleur marine dans le monde.
- Les vagues de chaleur marines sont des événements extrêmes et peuvent avoir des impacts négatifs importants sur les écosystèmes marins régionaux.
- Pour la recherche sur les écosystèmes axée sur l'impact à l'échelle régionale, comme sur la côte Ouest du Canada, il est avantageux d'inclure des facteurs de définition supplémentaires propres à la région.

49.2. La définition mondiale des vagues de chaleur marines

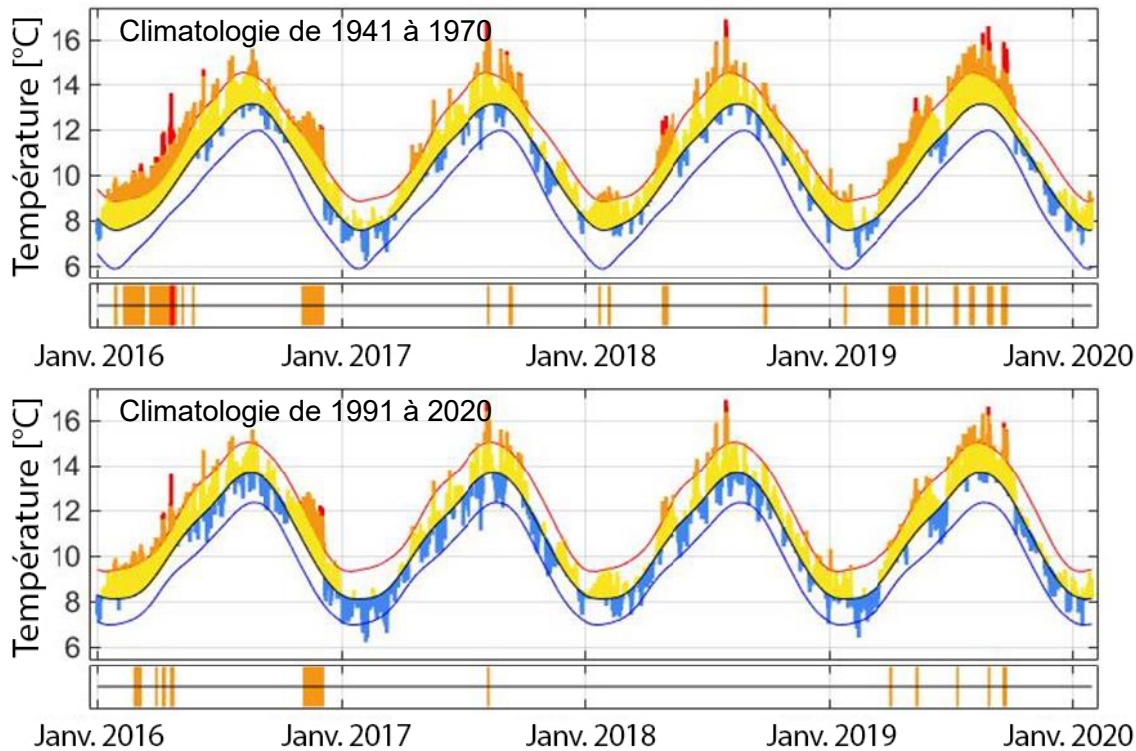
Outre la tendance à long terme au réchauffement de l'océan, les données sur la température de la surface de la mer (SST) révèlent des événements d'eau anormalement chaude (vagues de chaleur marines) qui se produisent sur plusieurs mois et couvrent des centaines ou des milliers de kilomètres carrés. Hobday et ses collaborateurs (2016 et 2018) ont appliqué une définition fondée sur la durée et l'intensité du dépassement d'un seuil de température climatologique par la température de la surface de la mer; en utilisant cette définition, les études sur les vagues de chaleur marines montrent que celles-ci ont doublé de fréquence depuis 1982 et augmentent en intensité (GIEC 2019).

L'utilisation d'une définition commune pour définir les vagues de chaleur marines à l'échelle mondiale constitue un moyen important et efficace de sensibiliser un large public à ces événements extrêmes. Cette définition uniforme est également utile pour planifier la recherche sur les impacts des vagues de chaleur marines sur les écosystèmes, dont beaucoup sont négatifs. Bien que la définition mondiale des vagues de chaleur marines soit un point de départ nécessaire, la connaissance de l'écosystème régional touché permet d'élaborer une définition plus propre à la région.

49.3. Facteurs régionaux des vagues de chaleur marines sur la côte Ouest du Canada

Les vagues de chaleur marines sont définies comme un événement fondé sur les données de température à la surface de la mer. Au cours d'une vague de chaleur marine, les eaux superficielles plus chaudes se mélangent avec la couche inférieure et réchauffent l'océan de subsurface, mais si l'expression en surface de la vague de chaleur marine peut disparaître, il reste des preuves d'anomalies positives durables de la température de la subsurface, jusqu'à 100 m de profondeur (Ross et Robert, section 7). Cette période prolongée de réchauffement de la subsurface, avec son impact sur l'écosystème, n'est pas prise en compte dans la définition mondiale des vagues de chaleur marines et brouille les paramètres de la durée et de la date de la fin des événements.

L'enregistrement par satellite fournit une excellente base de données pour examiner les changements temporels et spatiaux des températures de la surface de la mer depuis les années 1980. L'Organisation météorologique mondiale a recommandé d'utiliser les normes climatiques sur 30 ans pour établir le registre climatologique essentiel afin de définir les vagues de chaleur marines. On peut examiner la sensibilité de l'enregistrement climatologique utilisé dans l'analyse des vagues de chaleur marines en utilisant des enregistrements de données sur la température de la surface de la mer à plus long terme, comme les données quotidiennes collectées à Amphitrite Point depuis 1935, qui permettent d'utiliser plusieurs normales sur 30 ans pour cerner les vagues de chaleur marines. La figure 49-1 montre qu'en utilisant une climatologie de 1991 à 2020 (lorsque les conditions de la température de la surface de la mer étaient plus chaudes), on obtient des vagues de chaleur marines moins nombreuses et moins intenses que lorsqu'on utilise une climatologie plus froide de 1941 à 1970. Cette sensibilité des paramètres physiques de la vague de chaleur marine à la climatologie peut influencer les recherches qui effectuent des prévisions sur plusieurs dizaines d'années.



Climatologie de 1941 à 1970			Climatologie de 1991 à 2020		
Nombre de vagues de chaleur marines de catégorie 1	Durée (jours)	Intensité maximale °C	Nombre de vagues de chaleur marines de catégorie 1	Durée (jours)	Intensité maximale °C
20	12.9 ± 11.5	2.6 ± 0.71	11	9.1 ± 8.2	2.5 ± 0.68
Nombre de vagues de chaleur marines de catégorie 2			Nombre de vagues de chaleur marines de catégorie 2		
1	8	4	-	-	-

Figure 49-1. Graphique supérieur : Série chronologique des vagues de chaleur marines à partir de la température quotidienne de la surface de la mer à Amphitrite Point (voir Chandler, section 10), basée sur une climatologie de 1941 à 1970 (en jaune : au-dessus de la normale, en orange : vague de chaleur marine de catégorie 1, en rouge : vague de chaleur marine de catégorie 2). Graphique inférieur : La même série chronologique des vagues de chaleur marines basée sur la climatologie de la température de la surface de la mer de 1991 à 2020. Le tableau donne les statistiques de la vague de chaleur marine. La durée est le nombre consécutif de jours où la température de la surface de la mer dépasse la climatologie en tant que vague de chaleur marine de catégorie 1 (dépassement du seuil du 90^e centile pendant cinq jours) ou de catégorie 2 (plus du double du 90^e centile pendant cinq jours consécutifs), l'intensité maximale est l'anomalie de la température de la surface de la mer la plus élevée pendant la vague de chaleur marine.

On peut dresser un tableau plus clair des impacts du réchauffement de l'océan sur les écosystèmes marins en séparant les effets du réchauffement à long terme dus aux changements climatiques, les effets périodiques de la variabilité climatique et l'effet de l'événement des vagues de chaleur marines. La côte Ouest du Canada est influencée par la variabilité de la température de la surface de la mer due à l'oscillation méridionale El Niño

(ENSO, telle que représentée dans l'indice Niño océanique, ONI) et à l'oscillation décennale du Pacifique (PDO). La figure 49-2 montre la coïncidence des vagues de chaleur marines dans l'enregistrement de la température quotidienne de la surface de la mer à Amphitrite Point avec l'ONI et la PDO. Les événements ENSO sont associés à une augmentation de la moyenne et de la variabilité de la durée des vagues de chaleur marines dans le nord-est de l'océan Pacifique (Oliver *et al.* 2018), ce qui nécessite une compréhension des vagues de chaleur marines et de la variabilité climatique à l'échelle régionale.

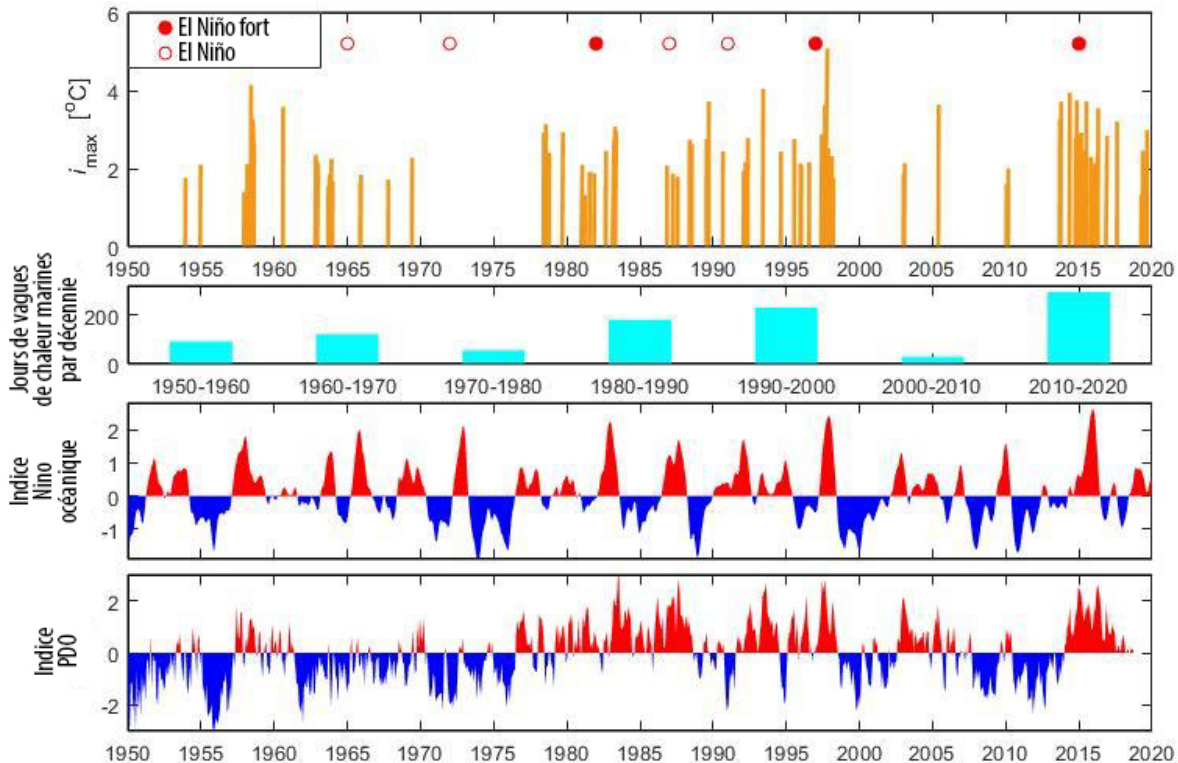


Figure 49-2. Série chronologique des vagues de chaleur marines à Amphitrite Point (deux graphiques supérieurs) et indices climatiques ONI et PDO (deux graphiques inférieurs) dont on sait qu'ils influencent la température de la surface de la mer au large de la côte Ouest du Canada.

49.4. Conséquences d'une définition améliorée

À mesure que les océans du monde se réchauffent, la probabilité d'événements de vague de chaleur marine continue d'augmenter. La côte Ouest du Canada a connu à la fois une longue vague de chaleur marine (le « Blob » de 2014 à 2016) et des événements récents de plus courte durée en 2019. Toutes les vagues de chaleur marines ont des effets négatifs sur différents taxons et processus biologiques, en particulier lorsque des niveaux élevés de biodiversité ou de nombreuses espèces se trouvent à la limite de leur aire de répartition chaude (Smale *et al.* 2019). Si la définition mondiale des vagues de chaleur marines est importante pour comparer les attributs physiques de ces événements extrêmes qui se produisent dans le monde entier, il reste nécessaire de l'améliorer pour la recherche sur l'impact des écosystèmes à l'échelle régionale.

49.5. References

- Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D., Straub, S., Oliver, E.C.J., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Scannell, H.A., Sen Gupta, A., and Wernberg, T. 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Prog. Oceanogr.* 141: 227–238.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>
- Hobday, A.J., Oliver, E.C.J., Sen Gupta, A., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Thomsen, M.S., Wernberg, T., and Smale, D.A. 2018. Categorizing and Naming Marine Heatwaves. *Oceanography* 31(2): 162–173.
www.jstor.org/stable/26542662.
- IPCC: Summary for Policymakers. 2019. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Edited by H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. In press.
- Oliver, E.C.J., Donat, M.G., Burrows, M.T., Moore, P.J., Smale, D.A., Alexander, L.V., Benthuisen, J.A., Feng, M., Sen Gupta, A., Hobday A.J., Holbrook, N.J., Perkins-Kirkpatrick, S.E., Scannell, H.A., Straub, S.C., and Wernberg, T. 2018. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nat Commun* 9(1): 1324.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>.
- Smale, D.A., Wernberg, T., Oliver, E.C.J., Thomsen, M., Harvey, B.P., Straub, S.C., Burrows, M.T., Alexander, L., Benthuisen, J.A., Donat, M.G., Feng, M., Hobday, A.J., Holbrook, N.J., Perkins-Kirkpatrick, S.E., Scannell, H.A., Sen Gupta, A., Payne, B.L., and Moore, P.J. 2019. Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change* 9(4): 306-312.
<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>.

50. RÉACTIONS DU ZOOPLANCTON SUR LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER À LA VAGUE DE CHALEUR MARINE DANS LE NORD-EST DE L'OCÉAN PACIFIQUE

R. Ian Perry^{1,2}, Moira Galbraith², Kelly Young² et Akash Sastri²

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Ian.Perry@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Moira.Galbraith@dfo-mpo.gc.ca, Kelly.Young@dfo-mpo.gc.ca, Akash.Sastri@dfo-mpo.gc.ca

50.1. Faits saillants

- Les réactions du zooplancton à la vague de chaleur marine de 2015 et 2016 ont été similaires à celles affichées lors d'autres événements chauds tels que l'ENSO et la transition printanière tardive.
- Cependant, les réactions du zooplancton ont été plus intenses (ce qui correspond à la nature plus intense de cet événement) et plus persistantes (les impacts sur le zooplancton des événements chauds précédents n'ont duré qu'un à deux ans).
- Les anomalies de la biomasse totale du zooplancton sur la côte ouest de l'île de Vancouver étaient très élevées les années des dernières vagues de chaleur marines.
- Les anomalies de la biomasse des taxons de zooplanctons crustacés et gélatineux n'ont pas été déphasées comme on s'y attendait; les deux ont présenté de fortes anomalies pendant les années de vague de chaleur marine, mais les crustacés ont rapidement décliné après (2017 à 2019).

50.2. Description de la vague de chaleur marine dans le nord-est de l'océan Pacifique

La vague de chaleur marine dans le nord-est de l'océan Pacifique s'est formée à l'automne 2013 et sa surface s'est étendue jusqu'en 2014, les températures de l'eau de la couche supérieure atteignant plus de 3 °C au-dessus des conditions climatologiques (p. ex. Bond *et al.* 2015; di Lorenzo et Mantoue 2016). À l'automne 2014, cette vaste étendue d'eau très chaude avait été transportée par advection sur la côte Ouest de l'Amérique du Nord, où elle a persisté jusqu'en 2015 et s'est combinée à un événement El Niño à la fin de 2015 et au premier semestre de 2016.

50.3. État et tendances

Les températures annuelles moyennes des eaux de surface mesurées à Amphitrite Point, sur la côte ouest de l'île de Vancouver, en 2015 étaient de 1 °C supérieures à la moyenne climatologique de 1981 à 2010, qui était la plus chaude sur la période 1979 à 2019. Les températures annuelles moyennes de la surface de la mer à Amphitrite Point en 2016 étaient les troisièmes plus chaudes sur la période 1979 à 2019, après les épisodes El Niño de 1997 et 1983 (figure 50-1).

Les anomalies annuelles de la biomasse totale du zooplancton dans les zones du plateau et à l'extérieur du plateau des régions sud et nord de la côte ouest de l'île de Vancouver affichaient

un creux de la série en 2008 par rapport à la moyenne climatologique de 1981 à 2010, mais elles ont augmenté régulièrement pour atteindre un maximum pendant les années de vague de chaleur marine de 2015 et 2016. Ces anomalies de la biomasse totale du zooplancton sont ensuite passées sous la biomasse moyenne de 1981 à 2010 en 2017 et 2018 (figure 50-1).

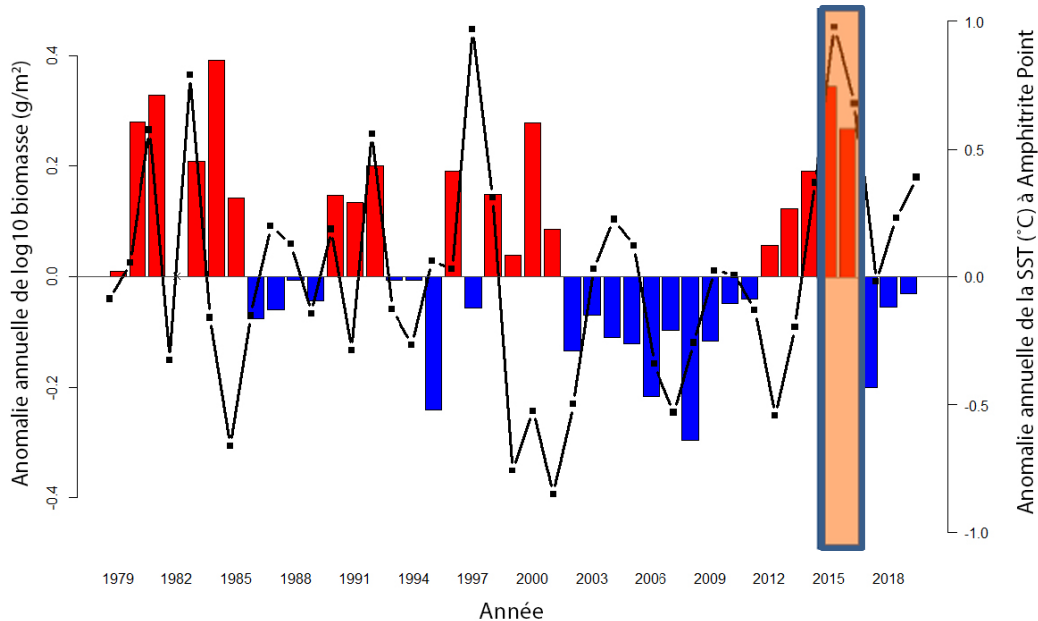


Figure 50-1. Anomalie de la température annuelle moyenne de la surface de la mer (SST, en °C; points et ligne noirs pleins; axe des ordonnées à droite), et anomalies de la biomasse totale du zooplancton (d'après la climatologie de 1981 à 2010; barres, axe des ordonnées à gauche). La barre verticale orange représente les années 2015 et 2016, qui sont définies comme les années de vague de chaleur marine sur la côte sud-ouest de l'île de Vancouver.

Le long de la côte Nord-Ouest de l'Amérique du Nord, on sait que la composition des espèces de zooplancton change avec la température de l'eau (p. ex. Mackas *et al.* 2004). Les copépodes « boréaux » et « subarctiques » se trouvent généralement dans les régions du nord (boréale) et des grands fonds (subarctique) du nord-est de l'océan Pacifique. Ce sont de grandes espèces nutritives qui constituent une bonne nourriture pour les poissons. En général, ils présentent des anomalies de biomasse plus importantes lorsque la température de l'eau est plus froide. Les copépodes « du sud » se trouvent normalement dans les régions au sud de la Colombie-Britannique. Il s'agit habituellement d'espèces de petite taille et de mauvaise qualité qui constituent une mauvaise nourriture pour les poissons. Ils ont tendance à afficher des anomalies de biomasse plus importantes lorsque les températures de l'eau sont plus chaudes. Des exemples d'espèces de ces trois groupes sont donnés dans le tableau 50-1.

Tableau 50-1. Définitions des espèces de copépodes pour les taxons « du sud », « boréaux » et « subarctiques ».

Copépodes originaires du sud	Copépodes d'origine boréale	Copépodes d'origine subarctique
<i>Acartia danae</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Eucalanus bungii</i>
<i>Acartia tonsa</i>	<i>Calanus marshallae</i>	<i>Neocalanus cristatus</i>
<i>Calocalanus</i> spp.	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<i>Neocalanus flemingeri</i>
<i>Clausocalanus</i> spp.		<i>Neocalanus plumchrus</i>
<i>Ctenocalanus vanus</i>		
<i>Mesocalanus tenuicornis</i>		
<i>Metridia pseudopacifica</i>		
<i>Paracalanus</i> spp.		

Les anomalies de la biomasse des taxons boréaux et du sud affichaient l'alternance attendue dans des conditions plus chaudes et plus froides, c'est-à-dire que la biomasse des taxons du sud était relativement plus élevée que leur moyenne de 1981 à 2010 pendant les années chaudes, et vice versa pour les taxons boréaux pendant les années froides (figure 50-2). Cependant, pendant les années de vague de chaleur marine (2015, 2016), la séparation de ces deux séries chronologiques a été extrême, avec des records des anomalies de biomasse positives pour les taxons du sud, mais des quasi-records des anomalies de biomasse faibles pour les taxons boréaux, ce qui correspond à la nature très chaude de cette vague de chaleur sur la côte ouest de l'île de Vancouver.

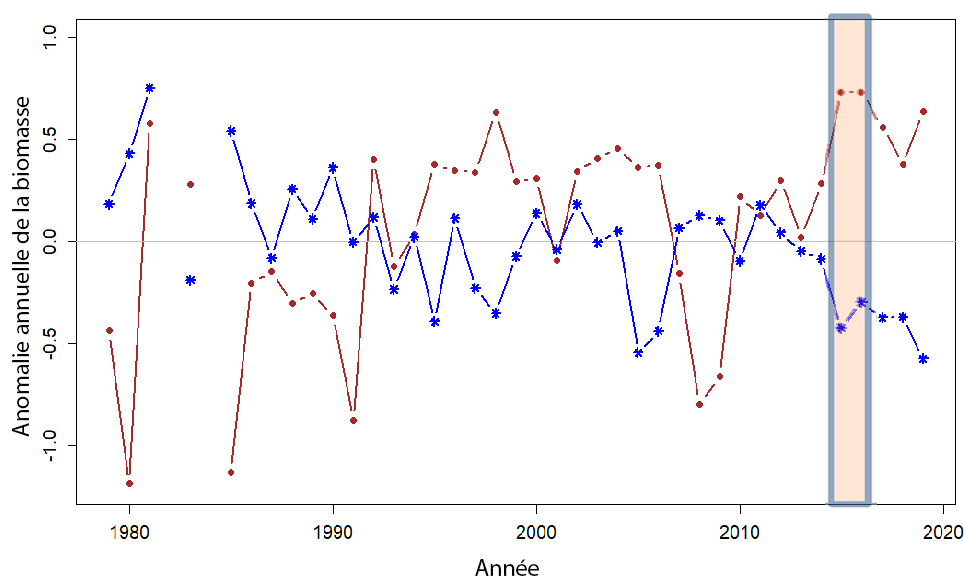


Figure 50-2. Anomalies annuelles de la biomasse des copépodes « boréaux » (ligne bleue et étoiles) et « du sud » (ligne et points bruns) sur le plateau continental sud de la côte ouest de l'île de Vancouver. La barre verticale orange représente les années 2015 et 2016, qui sont définies comme les années de vague de chaleur marine sur la côte sud-ouest de l'île de Vancouver.

Tableau 50-2. Taxons définis dans les catégories « Crustacés », « Gélatineux » et « Autres ».

« Crustacés » (plancton à corps dur)	« Gélatineux » (plancton gélatineux)	Autres
Classe Malacostraca (p. ex. euphausiacés, amphipodes, décapodes)	Phylum Ctenophora	Phylum Chaetognatha
Classe Maxillopoda (p. ex. copépodes)	Classe Scyphozoa	Phylum Arthropoda (p. ex. insectes)
Classe Ostracoda	Classe Hydrozoa (à l'exclusion des siphonophores)	Phylum Chordata (p. ex. poissons)
Classe Branchiopoda (p. ex. cladocère)	Ordre Siphonophora	Phylum Cnidaria (p. ex. anémones)
Infraclasse Cirripedia (p. ex. cirripèdes)	Classe Thaliacea (p. ex. salpes, pyrosomes, doliolides)	Phylum Echinoderma
	Classe Appendicularia (p. ex. appendiculaires)	Phylum Mollusca (p. ex. calmar, pieuvre)
	Ptérotopodes (p. ex. Limacina, Clione)	Classe Polychaeta (p. ex. vers)

Les ouvrages scientifiques ont beaucoup discuté de la possibilité que le plancton « gélatineux » remplace le plancton « crustacés », et des conséquences possibles sur la production de poissons (p. ex. Richardson *et al.* 2009; Bode *et al.* 2013). Cette possible alternance a été examinée pour la côte ouest de l'île de Vancouver pendant ces années de vague de chaleur marine. Les taxons inclus dans la définition du plancton « crustacés » et du plancton « gélatineux » sont indiqués dans le tableau 50-2.

Les anomalies annuelles de la biomasse du zooplancton « crustacés » et « gélatineux » en 2015 et 2016 étaient parmi les plus élevées observées pour les deux groupes taxonomiques. Cependant, les anomalies de la biomasse du zooplancton « crustacés » sont rapidement devenues négatives après 2016, alors que celles du zooplancton « gélatineux » sont restées positives après 2016 (bien qu'à des niveaux inférieurs au pic de 2015; figure 50-3).

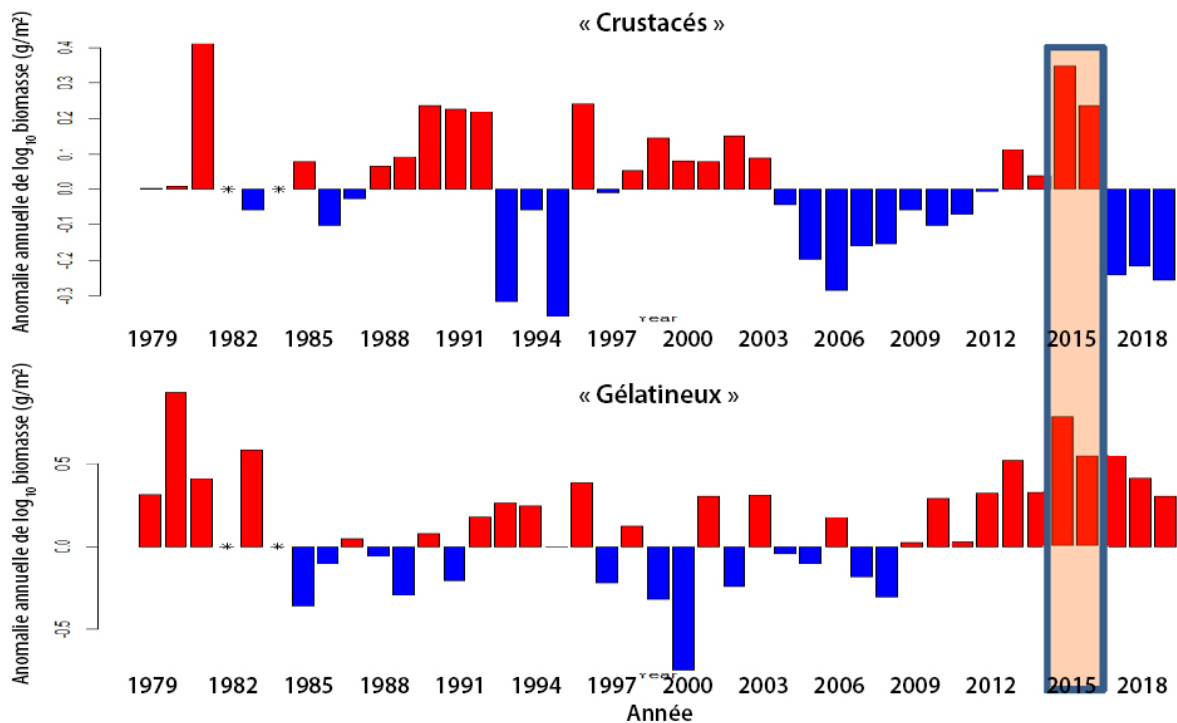


Figure 50-3. Anomalies de la biomasse annuelle du zooplancton « crustacés » et « gélatineux » sur le sud-ouest du plateau continental de l'île de Vancouver. La barre orange représente les années de vague de chaleur marine de 2015 et 2016.

Le regroupement contraint (chronologique) des taxons de zooplancton inclus dans les trois groupes taxonomiques définis dans le tableau 50-2 a montré une similarité taxonomique très étroite entre 2015 et 2016, et une certaine similitude avec 2017, mais une rupture significative entre 2015 et les années précédentes (figure 50-4). Cela correspond aux anomalies de la biomasse présentées sur la figure 50-3.

50.4. Incidences des résultats

En général, les réactions du zooplancton à la vague de chaleur marine de 2015 et 2016 ont été similaires à ses réactions à d'autres événements chauds tels que l'ENSO et une transition printanière tardive. Cependant, elles ont été plus intenses, ce qui correspond à la nature plus intense de cet événement, c'est-à-dire des anomalies négatives plus basses pour les copépodes boréaux et des anomalies positives plus hautes pour les copépodes du sud. Ces réactions ont également été plus persistantes, dans la mesure où les impacts sur le zooplancton des événements chauds précédents ne duraient qu'un à deux ans après l'événement, alors que nous constatons encore des changements/impacts en 2019 résultant des événements de 2015 et 2016. On n'avait pas prévu d'observer des anomalies de la biomasse totale du zooplancton très élevées sur le sud-ouest du plateau continental de l'île de Vancouver pendant ces années de vague de chaleur, mais elles sont probablement le résultat de l'advection d'un plus grand nombre d'animaux venant surtout du sud sur le plateau continental de l'île de Vancouver. Il a été surprenant de constater que les anomalies de la biomasse des taxons de zooplancton « crustacés » et « gélatineux » ne présentaient pas le

décalage pendant les années de vague de chaleur auquel on s'attendait d'après les résultats mentionnés dans la documentation pour d'autres endroits. Bien que les deux groupes aient présenté de fortes anomalies de biomasse pendant les années de vague de chaleur, les « crustacés » ont rapidement décliné par la suite (2017 à 2019), tandis que les anomalies de biomasse du plancton « gélatineux » ont décliné plus modérément. On ignore actuellement dans quelle mesure ces résultats peuvent être représentatifs des futures vagues de chaleur marines sur le plateau continental de l'île de Vancouver, et ils font l'objet d'une observation et d'une surveillance étroites.

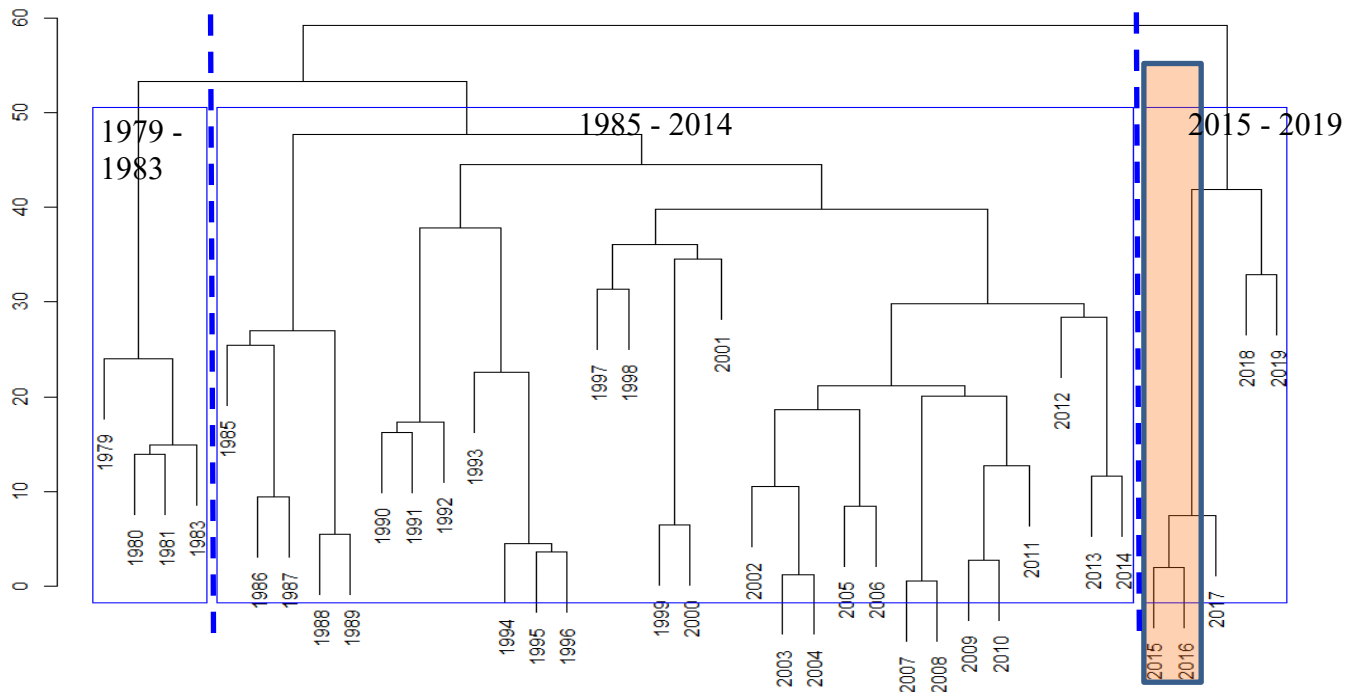


Figure 50-4. Regroupement contraint (chronologique) des taxons de zooplancton (définis dans le tableau 50-2) en fonction des anomalies de leur biomasse. Les différences marquées ($P < 0,05$) tirées d'une procédure de répartition aléatoire sont indiquées par les lignes bleues pointillées. La barre orange représente les années de vague de chaleur marine de 2015 et 2016.

50.5. References

- Bode, A., Álvarez-Ossorio, M., Miranda, A., and Ruiz-Villarreal, M. 2013. Shifts between gelatinous and crustacean plankton in a coastal upwelling region. – *ICES Journal of Marine Science* 70: 934–942.
- Bond, N., Cronin, M., Freeland, H., and Mantua, N. 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *JGR Biogeosciences* 42(9): 3414-3420. <https://doi.org/10.1002/2015GL063306>
- Di Lorenzo, E., and Mantua, N. 2016. Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave. *Nature Climate Change* 6: 1042–1047.

- Mackas, D, Peterson, W, and Zamon, J. 2004. Comparisons of interannual biomass anomalies of zooplankton communities along the continental margins of British Columbia and Oregon. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51: 875-896.
- Richardson, A., Bakun, A., Hays, G., and Gibbons, M. 2016. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 312-322.

51. IMPACTS DE LA VAGUE DE CHALEUR MARINE DE 2013 À 2016 SUR LE SAUMON ROUGE

Kim Hyatt*, Howard Stiff et Margot Stockwell, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, [*Kim.Hyatt@dfo-mpo.gc.ca](mailto:Kim.Hyatt@dfo-mpo.gc.ca)

51.1. Faits saillants

- Dans les eaux du nord, du sud et du centre de l'Alaska (Cook Inlet) à la côte nord de la Colombie-Britannique (rivières Nass et Skeena), les saumons adultes remontant en eau douce de 2015 à 2017 étaient d'une taille inférieure à la moyenne. Pour plusieurs stocks, la période du retour dans les zones des pêches marines en estuaire était en retard de 10 à 17 jours par rapport à la moyenne, en conjonction avec l'exposition à des températures anormalement élevées pendant la croissance dans le golfe d'Alaska de 2013 à 2016 (Hyatt *et al.* 2019a).
- Dans les eaux plus méridionales, le nombre total et les caractéristiques morphologiques (taille selon l'âge, âge à la maturité) des saumons rouges adultes de la baie Barkley en montaison après avoir séjourné dans le golfe d'Alaska (GOA) pendant les années du NEP13, soit de 2014 à 2016, n'ont pas été exceptionnellement touchés.
- Des retards fréquents, dus à la température, de l'entrée des saumons rouges adultes de la baie Barkley dans la rivière Somass ont été observés en 2015, ce qui a entraîné un regroupement des poissons en attente dans le bras de mer Alberni et une exposition à l'hypoxie (Stiff *et al.* 2016). Une errance inhabituelle s'est produite dans des systèmes non natals jusqu'à 450 km de distance en 2015, mais pas toutes les années de la vague de chaleur marine (Hyatt *et al.* 2016b).
- Des épisodes de mortalité sans précédent (85 à 90 %) chez les saumons rouges juvéniles qui ont hiverné dans les lacs Great Central et Sproat dans des conditions anormalement chaudes en 2014 et 2015 ont entraîné une réduction importante des remontes de saumons rouges adultes dans la baie Barkley de 2017 à 2019.

51.2. Séries chronologiques des montaisons annuelles et des attributs biologiques des « stocks indicateurs » de saumon rouge

Hyatt et ses collaborateurs (2019a) ont brièvement décrit les sources de données sur les populations de saumon comprenant un ensemble de facto d'indicateurs de rendement du saumon rouge sur toute la côte. En outre, on échantillonne aussi chaque année les attributs biologiques (p. ex. la taille selon l'âge, la période de la montaison en eau douce, la production annuelle d'alevins ou de saumoneaux, la taille des saumoneaux, l'âge et la période de la montaison) de certaines populations qui permettent d'évaluer si les variations annuelles du recrutement des saumons adultes pour les pêches en estuaire sont déterminées principalement aux stades biologiques en eau douce ou en mer d'une année d'origine donnée des parents. Les programmes de recherche qui complètent les données sur les prises et les échappées des adultes par d'autres observations des attributs biologiques du saumon surveillent aussi souvent divers indices biophysiques des conditions ou événements environnementaux susceptibles d'influencer le saumon. Dans quelques cas, ces programmes ont permis de créer des séries chronologiques à l'échelle décennale qui fournissent des indices des attributs biophysiques

moyens des poissons et des environnements associés à des stades biologiques précis; on peut alors déterminer si les caractéristiques ou les conditions associées peuvent être considérées comme véritablement anormales. La documentation des méthodes et des observations des séries chronologiques pour le saumon rouge de la baie Barkley et les conditions environnementales correspondantes est disponible pour : la période annuelle de l'entrée des adultes dans la rivière Somass (Hyatt *et al.* 2015), l'abondance annuelle et la croissance des alevins de saumon rouge dans les lacs d'alevinage de Barkley (Hyatt *et al.* 2011), la taille et l'âge des saumoneaux lors de la dévalaison (Hyatt *et al.* 2019c, 2019d) et les montaisons ultérieures des adultes (Hyatt *et al.* 2019a, section 22).

Il faut normalement de quatre à six années à une seule génération de saumon rouge pour accomplir son cycle biologique complet. Il n'a donc pas été possible de compiler les résultats pour examiner l'influence potentielle des conditions de l'année de la vague de chaleur marine NEP13 sur un plus large éventail d'événements du cycle biologique et de caractéristiques biologiques du saumon rouge de la baie Barkley (p. ex. la survie en mer) avant la montaison des saumons rouges juvéniles qui ont dévalé la dernière année de la vague de chaleur marine NEP13, à savoir 2016, pour la fraie à l'automne 2019.

51.3. Aperçu général de l'état et des tendances du saumon rouge par rapport à la vague de chaleur marine de 2013 à 2016

Hyatt et ses collaborateurs (2016a, 2019a) ont indiqué que :

- Des montaisons supérieures à la moyenne du saumon rouge de Bristol Bay en Alaska ont eu lieu ces dernières années, mais celles de nombreux autres stocks remontant dans les eaux du sud-est au centre-sud de l'Alaska (AK) ont été bien inférieures aux prévisions de 2017 à 2019. Les variations des montaisons ont été associées à des températures largement supérieures à la moyenne et à des modifications du réseau trophique subies par les saumons juvéniles pendant la dévalaison et supposés avoir grandi dans le golfe d'Alaska (GOA) pendant les années de la vague de chaleur marine de 2015 et 2016.
- La taille moyenne de tous les stocks de saumon rouge, de Bristol Bay jusqu'au nord de la Colombie-Britannique, a marqué un déclin exceptionnel entre 2015 et 2018 en raison d'un âge à la maturité plus précoce ou d'une taille selon l'âge plus petite (Hyatt *et al.* 2019b). De plus, en 2017 et 2018, la période de la montaison dans les rivières d'origine du saumon rouge du nord de la Colombie-Britannique (rivières Nass et Skeena) était retardée de 10 à 17 jours par rapport à la moyenne (Steve Cox-Rogers, MPO, comm. pers.).
- Durant la vague de chaleur marine NEP13, les gestionnaires des pêches et les scientifiques craignaient que les changements biophysiques n'altèrent de manière significative la survie en mer et les caractéristiques biologiques des populations de saumon rouge du sud. Cependant, d'après des observations préliminaires, les saumons rouges qui remontaient dans la baie Barkley et la rivière Somass au sud se trouvaient bien dans la fourchette des variations de la taille selon l'âge observées ces 15 dernières années (Hyatt *et al.* 2019a, 2019b).

Les informations sur les séries chronologiques, qui étayent l'évaluation des impacts potentiels des années de la vague de chaleur marine NEP13 sur les différents stades biologiques et les années d'origine des parents pour le saumon rouge de la baie Barkley, sont maintenant complètes et appuient plusieurs conclusions concernant les réactions de cette population :

- La production moyenne de saumoneaux de la baie Barkley en eau douce pour les années d'entrée en mer 2014 à 2016 était inférieure à 50 % de la moyenne sur 35 ans (22,0 contre 54,7 saumoneaux par géniteur; fourchette de 10 à 32 et 19 à 109 respectivement) et a atteint un creux record de 11 saumoneaux par adulte au printemps 2015. Ce dernier événement a été associé à des hausses exceptionnelles de la température de l'eau de surface, de 1 à 2 degrés Celsius, pendant l'hivernage (décembre à mars) des alevins de saumon rouge dans les lacs Great Central et Sproat (Hyatt *et al.* données inédites).
- La production de saumoneaux en eau douce était inférieure à la moyenne pendant les années de la vague de chaleur marine NEP13, mais les tailles lors de la dévalaison étaient généralement supérieures à la moyenne à long terme (4,1 contre 3,2 g respectivement pour les saumoneaux du lac Great Central). Les coefficients de condition (K) des saumoneaux en dévalaison étaient soit proches de la moyenne (2015), soit légèrement inférieurs à la moyenne (2016) (Hyatt *et al.* 2019d).
- La productivité du saumon rouge de la baie Barkley, d'après les montaisons du saumoneau à l'adulte, était proche de la moyenne de l'année (montaison du saumoneau à l'adulte de 5,1 contre une moyenne de 5,6). Ce résultat était surprenant étant donné nos observations précédentes selon lesquelles la survie des saumoneaux à l'âge adulte diminue normalement en association avec les années d'entrée en mer durant lesquelles les températures sont supérieures à la moyenne.
- Des réductions marquées des montaisons de saumons rouges adultes dans la baie Barkley ont été constatées de 2017 à 2019 (Hyatt *et al.*, section 22). D'après les observations présentées ici, ces réductions étaient principalement attribuables à des événements du cycle biologique touchant la production de saumons juvéniles en eau douce, sous l'influence des conditions de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016, plutôt qu'à des effets touchant les événements du cycle biologique marin du saumon.
- Les nombres des saumons rouges adultes de la baie Barkley qui sont remontés de 2015 à 2018 étaient conformes aux prévisions d'avant-saison (Hyatt *et al.*, section 22), qui tiennent régulièrement compte des effets de conditions anormales en eau douce ou en mer (p. ex. El Niño, PDO) sur la productivité de certaines années d'éclosion (Hyatt *et al.* 2003, 2013). Ces poissons présentaient des caractéristiques biologiques (âge à la montaison, période de la montaison) qui permettent de penser que la vague de chaleur marine NEP13 n'a pas eu d'effet exceptionnel sur leur croissance dans le golfe d'Alaska.
- La cohorte des saumoneaux entrés dans l'océan en 2013 a établi un nouveau record d'abondance et, par la suite, un nouveau record de 2,2 millions de saumons rouges adultes sont remontés dans la baie Barkley en tant que prises et échappées durant l'année du pic de la vague de chaleur marine, 2015 (Hyatt *et al.* 2016). Cependant, les retards dans l'entrée des saumons adultes dans la rivière Somass en 2015, dus à la

température, et le regroupement des poissons en attente dans le bras de mer Alberni les ont exposés à l'hypoxie (Stiff *et al.* 2016). Une errance ultérieure du saumon rouge de la rivière Somass, vérifiée par analyse d'ADN, a été observée dans des rivières non natales (Elwha R., Quinsam R.) à plus de 100 km, en association avec l'année de la vague de chaleur marine de 2015. Des observations antérieures d'errance fréquente des saumons rouges dans des rivières non natales du nord de la Californie jusqu'à l'extrémité nord de l'île de Vancouver durant l'année de la vague de chaleur marine de 1997 (McKinnell *et al.* 1999) suggèrent fortement que des conditions de vague de chaleur marine sont à l'origine de ce comportement inhabituel.

51.4. Facteurs influençant les tendances des effectifs et les caractéristiques biologiques du saumon rouge

La vague de chaleur marine NEP13 qui a duré plusieurs années s'est traduite par une fréquence plus élevée que la moyenne d'événements biophysiques anormaux, notamment : une température saisonnière élevée, des inondations et des sécheresses plusieurs années, des changements structurels et de productivité dans les écosystèmes aquatiques aux niveaux trophiques inférieurs (voir les références dans Chandler *et al.* 2016, 2018; Boldt *et al.* 2019).

L'apparition sérielle et parfois simultanée de conditions environnementales anormales dans les écosystèmes d'eau douce et marins (voir les références dans Chandler *et al.* 2016, 2018; Boldt *et al.* 2019), a conduit Hyatt et ses collaborateurs (2016, 2019a, section 22) à conclure que les anomalies environnementales étaient à l'origine d'un profil émergent de déclin de la survie et des montaisons totales sur l'ensemble de la côte, ainsi que de changements dans les caractéristiques biologiques (taille selon l'âge, âge à la montaison ou période de la montaison) des stocks indicateurs de saumon rouge entre le sud et le centre de l'Alaska, au nord, jusqu'au Columbia au sud. Il s'agissait de stocks qui ont grandi dans des rivières et des lacs d'eau douce au sud des Aléoutiennes de 2014 à 2018, ont dévalé entre 2015 et 2019 et ont atteint la maturité dans le golfe d'Alaska pour remonter dans leurs rivières d'origine de 2016 à 2019.

Une tendance commune semble se dégager dans les réactions comportementales de nombreuses populations de saumon rouge adulte qui, au cours d'une ou de plusieurs années de montaison entre 2015 et 2019, ont affiché des retards prolongés de l'entrée dans leurs réseaux d'eau douce d'origine, ainsi que d'importants taux d'errance de ces derniers en raison de températures élevées ou d'un débit insuffisant (Somass – COIV, Okanagan et Wenatchee – Columbia, lac Washington – mer des Salish, Meziadin – rivière Nass sur la côte nord de la Colombie-Britannique, ruisseau Auke – Juneau, Alaska, etc.).

Plusieurs études qui ont examiné les séries chronologiques des recrues par géniteur (R/G) ont permis de déterminer que la température est la seule variable dominante associée aux variations de la production de la majorité des stocks de saumon rouge (références dans Peterman et Dorner 2012). Bien que les indices R/G ne permettent pas de distinguer clairement si les facteurs influençant les variations globales de la survie proviennent des écosystèmes d'eau douce ou marins, la plupart de ces études ont conclu que le mécanisme causal se produit dans l'océan étant donné une association significative entre les variations de la survie et la température de la surface de la mer. Cependant, il est également vrai que la plupart de ces études ont relevé une association équivalente entre les températures de l'eau douce et les variations de l'indice R/G à la fin de l'hiver précédant l'entrée en mer. Les observations de la

suppression de la survie dans les lacs Sproat et Great Central pendant les périodes d'hivernage, caractérisées par des températures supérieures à la moyenne, indiquent que des mécanismes en eau douce et en mer sont à l'origine de ces grandes variations de la production du saumon rouge.

51.5. Conséquences de la NEP13 et perspectives d'après les conditions de la NEP19

Des preuves anecdotiques publiées montrent que les échecs du recrutement de saumons ont touché un grand nombre, et peut-être la majorité, des populations de plusieurs espèces de saumon dans cette même zone entre 2015 et 2019. Les échecs de recrutement simultanés dans des populations de saumon originaires de réseaux d'eau douce couvrant une si grande zone géographique sont relativement rares, survenant peut-être un an sur quinze, parmi les stocks indicateurs de saumon rouge (Hyatt *et al.*, section 22).

L'apparition d'une vague de chaleur marine en 2018 et 2019 (NEP19) n'a pas été un événement encourageant pour le rétablissement des stocks de saumon. Les observations selon lesquelles les anomalies climatiques de la NEP19 s'étaient largement dissipées en janvier 2020 permettent d'espérer que les perturbations associées aux écosystèmes d'eau douce et marins ne seront pas aussi graves que celles de la vague de chaleur marine NEP13. Pour mieux comprendre l'étendue et la nature des interactions entre le cycle biologique du saumon et le climat dans les écosystèmes d'eau douce et marins qui contrôlent les variations du recrutement du saumon, il faudra établir un réseau plus large de stocks indicateurs, comme celui du saumon rouge de la baie Barkley, dont on étudie attentivement les facteurs contrôlant le succès du recrutement et les attributs biologiques à plusieurs stades biologiques.

51.6. References

- Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3314: vii + 248 p.
- Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2016. State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2015. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3179: viii + 230 p.
- Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J.L. (Eds.). 2018. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2017. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3266: vi + 245 p.
- Hannah, C., Bolingbroke, N., and Crawford, W. 2017. Patterns of SST variability along the west coast of North America. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Boldt, J.L. (Eds.). 2017. State of the physical, biological & selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2016. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3225: vi + 243 p.
- Hyatt, K.D., Luedke, W., Rankin, D.P., Till, J., and Lewis, D. 2003. Review of the 2002 return of Barkley Sound sockeye salmon and forecasts for 2003. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2003/033. www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Rankin, D.P., and Demers, E. 2011. Density-dependent growth in juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *The Open Fish Science Journal* 4: 53-65.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M. M., and Rankin, D.P. 2013. Sockeye salmon indicator stocks - Regional overview of trends and 2012 returns. In: J. Irvine and W. Crawford (Eds.). *State of the Pacific Ocean Report for 2012. DFO State of the Pacific Ocean 2012. CSAS Science Advisory Report 2013/0xx.* http://www.dfo-mpo.gc.ca/CSAS/Csas/publications/sar-as/2010/2011_032_e.pdf
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., Stockwell, M.M., Luedke, W., Rankin, D.P., Till, J., and Dobson, D. 2015. A synthesis of adult sockeye salmon migration and environmental observations for the Somass Watershed, 1974-2012. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3115: vii + 199 p.
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., Stockwell, M.M., and Ferguson, R. 2016a. Sockeye salmon indicator stocks - Regional overview of trends, 2015 returns and 2016-2018 outlook, pp. 100-104. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2016. *State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2015.* *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3179: viii + 230 p.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., and Stiff, H.W. 2016b. Salmon responses to hydroclimatological conditions in British Columbia in 2015, pp 198-205. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2016. *State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2015.* *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3179: viii + 230 p.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., Stiff, H.W., and Ogden, A. 2019a. Sockeye Salmon indicator stocks – Regional overview of trends, 2018 returns, and 2019-2020 outlook. Pp 199-205. In: Boldt, J.L., Leonard, J., and Chandler, P.C. (Eds.). 2019. *State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2018.* *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3314: vii + 248 p.
- Hyatt, K.D., Stockwell, M.M., Stiff, H.W., Rankin, P.D., Ferguson, R., Hanslit, B., Cox-Rogers, S., Carr-Harris, C., Ogden, A., Irvine, J., Grant, S., MacDonald, B., McQueen, D., Hertz, E., Wright, H., Machin, D., Alexander, R., Fryer, J., and Munro, A. 2019b. An overview of Sockeye Salmon trends at basin-wide to local-area spatial scales in the North Pacific Ocean. Pp. 5-11. In: Irvine J., Chapman, K., and Park, J. (Eds.). *Report of the Proceedings for the IYS Workshop: International Year of the Salmon Workshop on Salmon Status and Trends.* North Pacific Anadromous Fish Commission Tech. Rep. No. 13. <https://npafc.org>
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., and Rankin, D.P. 2019c. Observations of Size-at-Age for Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) Smolts from Sproat Lake, British Columbia (1977-2016). *Can. Ms. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3186: vii + 77 p.
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., and Rankin, D.P. 2019d. Observations of size-at-age for Sockeye Salmon smolts from Great Central Lake, British Columbia (1971-2018). *Can. Ms. Rep. Fish. Aquat. Sci.* No.3189 vi + 99 p.

- McKinnell, S.M., Wood, C.C., Lapointe, M., Woodey, J.C., Kostow, K.E., Nelson, J., and Hyatt, K.D. 1999. Reviewing the evidence that adult Sockeye Salmon strayed from the Fraser River and spawned in other rivers in 1997. In: Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the impacts of the 1997/98 El Niño event on the North Pacific Ocean and its marginal seas. PICES Scientific Report No. 10.
https://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report10/mckinnell.pdf
- Peterman, R.M., and Dorner, B. 2012. A widespread decrease in productivity of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) populations in North America. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69: 1255-1260 p.
- Stiff, H.W., Hyatt, K.D., and Ferguson, R. 2016. Ocean state changes and variations in environmental conditions affecting Sockeye Salmon in the terminal marine area of Alberni Inlet in 2015. Pp. 122-126. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 2016. State of the Physical, Biological and Selected Fishery Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2015. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3179: vi + 230 p.

Annexe 1 – Résumés des séances de présentation d'affiches

52. DONNÉES MARINES POUR LA COLOMBIE-BRITANNIQUE : UN RÉFÉRENTIEL DE DONNÉES COMPLET ET UN CATALOGUE DE CARTES D'INTERPRÉTATION ([HTTP://SOGDATACENTRE.CA](http://sogdatacentre.ca))

Isobel Pearsall, Terry Curran et Benjamin Skinner, Fondation du saumon du Pacifique, Vancouver, Colombie-Britannique, pearsalli@psf.ca

52.1. Description

Le Centre de données du détroit de Georgie est un programme de collaboration entre la Fondation du saumon du Pacifique (FSP) et l'Institut des océans et des pêches (IOF UBC), qui vise à créer des archives de données sécurisées pour les informations sur les écosystèmes marins du détroit de Georgie. Les données disponibles gratuitement sont conservées dans le nuage informatique de l'Université de la Colombie-Britannique et sont financées par la Fondation Sitka et la FSP.

Les archives de données sont entièrement conformes à toutes les normes internationales de partage des données et utilisent les outils et techniques de gestion des données à code source ouvert pour assurer une maintenance peu coûteuse et une compatibilité maximale. Les applications utilisées sont GeoNetwork pour la gestion des métadonnées et la cartographie en ligne, Geoserver pour la création de couches de données à télécharger et l'accès au système d'information géospatiale (SIG), et une grappe de base de données spatiales PostgreSQL fiable pour héberger les métadonnées et les données. Les principes de base sont l'absence de duplication des données et le fait que les données doivent être gérées au plus près de leur origine, si elles sont librement disponibles et sous une forme « à emporter » ailleurs. Parfois, les ensembles de données ne sont pas instantanément partageables, et dans ce cas, la FSP est tenue d'en héberger une copie.

52.2. État

En 2019, le nombre d'ensembles de données indexés est passé de 502 à 663. Il existe actuellement deux StoryMaps (cartes avec texte) et treize cartes d'interprétation. Des travaux sont en cours pour améliorer le site Web avec un guide de référence marine.

52.3. Partenaires contributeurs

Ministère de l'environnement de la Colombie-Britannique, Études d'Oiseaux Canada, BC Marine Conservation Analysis Program, Service canadien de la faune, Washington State Department of Ecology, Environnement et Changement climatique Canada, Pêches et Océans Canada, Living Oceans Society (pour la BCMCA), Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique, Ressources naturelles Canada, Ocean Networks Canada, Underwater Harvesters Association, Université de la Colombie-Britannique, UVic Pacific Climate Impacts Consortium, Université de l'île de Vancouver, WWF Canada et de nombreux groupes de science citoyenne.

53. INDICATEURS POUR LA PROTECTION : ÉVALUER LE COURANT DE MARÉE COMME INDICATEUR DE LA BIODIVERSITÉ

Sarah Dudas¹, Sharon Jeffery² et Jessica Nephin²

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Sarah.Dudas@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique

Les océans du Canada abritent environ 16 500 espèces sur un littoral de 243 042 km (Hutchings *et al.* 2012). Environ 14 % des zones marines et côtières du Canada sont actuellement protégées, le gouvernement du Canada s'étant fixé de nouveaux objectifs en vue de porter cette protection à 20 % d'ici 2025 et à 30 % d'ici 2030. L'étendue des zones côtières du Canada et le nombre d'espèces qu'elles abritent représentent un défi pour les scientifiques qui tentent de déterminer la répartition et l'abondance des espèces et de classer les zones à protéger par ordre de priorité. L'une des façons d'y parvenir est de mettre au point des indicateurs de la biodiversité. Le principal objectif du travail décrit ici était d'évaluer la vitesse des courants de marée en tant qu'indicateur de la biodiversité des invertébrés marins.

Deux études distinctes ont été menées dans l'habitat infratidal à des sites à courants forts et faibles sur deux tranches d'eau dans le détroit de Georgie (DG) pour évaluer la biodiversité (figure 53-1) :

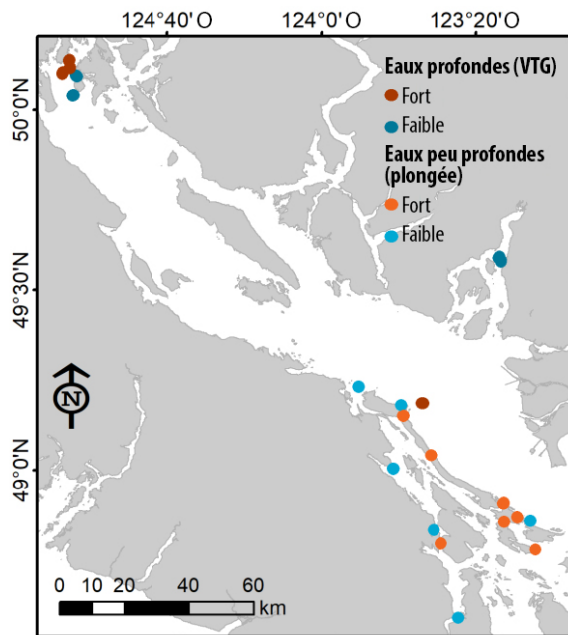


Figure 53-1. Carte des sites d'étude à courants forts et faibles dans le détroit de Georgie pour les relevés effectués par VTG en eaux profondes (en rouge – courant fort, en bleu foncé – courant faible) et les relevés par plongée en eaux peu profondes (en orange – courant fort, en bleu – courant faible). Certains sites semblent se chevaucher à cette échelle.

1. Pour les études en eaux profondes (50 à 260 m), les zones à courants faibles et forts ont été définies comme des zones où la vitesse des courants de marée au fond est supérieure ou inférieure au 60^e centile des valeurs du modèle SOG (Soontiens *et al.* 2016). Des transects ont été effectués par des véhicules sous-marins téléguidés en plusieurs endroits du détroit de Georgie. L'emplacement des transects était limité aux zones où l'on prévoyait un substrat rocheux (où la pente était supérieure à 5 degrés, où il y avait des crêtes ou des monticules et où la rugosité était relativement élevée). Parmi de nombreux transects choisis au hasard dans des zones à courants forts et faibles, huit au total ont été réalisés, chacun d'une longueur d'environ 500 m. Les images fixes tirées de la vidéo ont été annotées, en comptant toutes les espèces benthiques, à l'aide de Biigle (<https://biigle.de/>). Les dénombrements des espèces ont été normalisés par l'effort d'échantillonnage estimé par la distance du transect multipliée par la surface moyenne de l'image du transect.

2. Pour les relevés en eaux peu profondes (3 à 15 m), les sites à courants forts ont été définis comme ceux où les plongeurs ne peuvent entrer dans l'eau en toute sécurité qu'à l'étape de la marée, et les sites à courants faibles comme ceux où l'on peut plonger en toute sécurité à tout moment du cycle des marées. Les sites ont été choisis dans les îles Gulf à partir d'informations provenant d'une vaste base de données de plongée et d'espèces, puis affinés sur le terrain à l'aide des observations sur place de la vitesse des courants. Les relevés sur les invertébrés ont été menés par des plongeurs dans des quadrats de 1 m² à des profondeurs de 3, 9 et 15 m, le long de trois transects perpendiculaires au rivage pour chaque site. La présence des espèces a été enregistrée et la biomasse totale de tous les invertébrés a été estimée, pour chaque quadrat. En tout, 14 sites ont fait l'objet d'un relevé. Par la suite, les sites ont été filtrés en utilisant les mesures sur place de la vitesse du courant de marée au fond. Seuls huit sites ont été retenus pour l'analyse des données : les sites où la vitesse du courant était la plus élevée et la plus faible (quatre pour chacun).

Les habitats des zones à fort courant de marée soutiennent des communautés biologiques uniques. Les relevés en eaux profondes ont montré que la composition des communautés différait entre les sites à courants de marée forts et faibles (NMDS, $r^2=0,45$, p -valeur=0,028, figure 53-2), mais pas la richesse en espèces. En outre, la surface occupée par des éponges formant des récifs était plus grande dans les transects à courants forts, avec une moyenne de 49,6 m² contre 0,5 m² dans les transects à courants faibles (d'après les valeurs corrigées en fonction de l'effort). Il est important de noter que les transects à courants faibles ont été effectués à des profondeurs plus faibles (moyenne de 106 m pour les courants faibles contre 166 m pour les courants forts) et ont couvert des habitats moins rocheux (28 % pour les

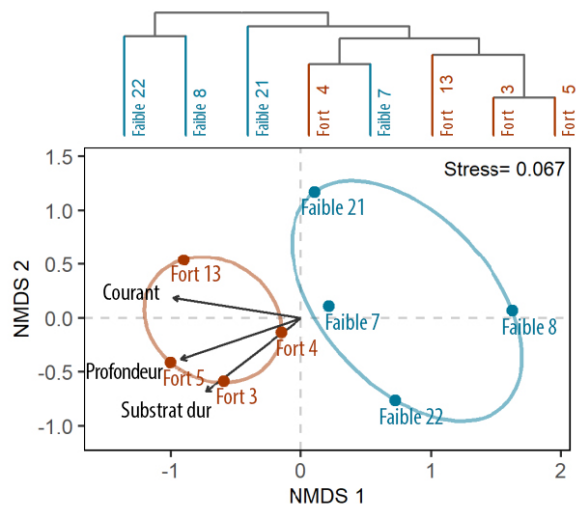


Figure 53-2. Dendrogramme en grappes et ordination NMDS selon la distance de Bray-Curtis pour les sites à courants forts et faibles en eaux profondes (50-260 m). L'ordination affiche les vecteurs des transects et environnementaux (flèches). Les ellipses représentent des ellipsoïdes de surface minimale (pour les courants forts et faibles).

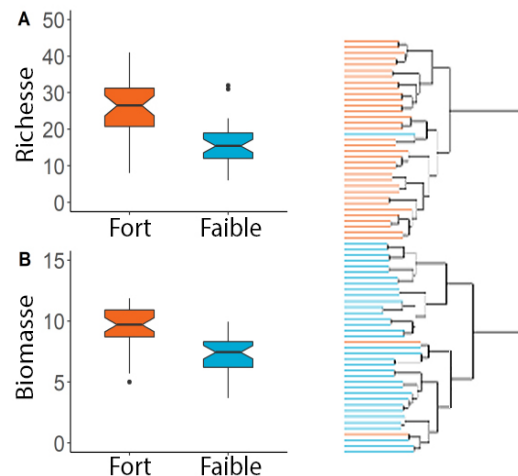


Figure 53-3. Richeesse en espèces (A) et biomasse (B) des invertébrés et dendrogramme en grappes (à droite) pour les sites à courants forts et faibles en eaux peu profondes (3-15 m). Dendrogramme en grappes basé sur les distances de Jaccard (les lignes rouges indiquent les quadrats à courants forts et les lignes bleues les quadrats à courants faibles).

courants forts et seulement 1 % pour les courants faibles). Les relevés en plongée en eaux peu profondes ont montré que la richesse en espèces d'invertébrés et la biomasse étaient sensiblement plus élevées sur les sites à courants forts (respectivement 1,3 et 5X de plus) (figure 53-3). La composition des communautés d'invertébrés diffère également entre les sites à courants forts et à courants faibles (ANOSIM, $R=0,24$, $p=0,001$).

Ces études fournissent quelques-unes des premières preuves empiriques de l'influence de la vitesse des courants de marée sur les profils de biodiversité, et viennent étayer la récente proposition de considérer les zones à fort courant de marée comme des zones d'importance écologique et biologique lorsque l'on dispose d'informations suffisantes (Rubidge *et al.*, sous presse). Les habitats à forts courants de marée semblent abriter différentes communautés d'invertébrés dont la biodiversité et la biomasse sont potentiellement plus élevées que dans les zones à courants faibles, et peuvent être un indicateur utile de la biodiversité des habitats des zones moins profondes. Des travaux futurs pourraient inclure l'ajout de sites à courants forts et faibles dans d'autres parties de la biorégion du Pacifique. L'application de cet indicateur en conservation marine est actuellement à l'étude.

53.1. References

- Hutchings, J.A., Côté, I.M., Dodson, J.J., Fleming, I.A., Jennings, S., Mantua, N.J., Peterman, R.M., Riddell, B.E., Weaver, A.J., and VanderZwaag, D.L. 2012. Sustaining Canadian marine biodiversity: responding to the challenges posed by climate change, fisheries, and aquaculture. Expert panel report prepared for the Royal Society of Canada, Ottawa.
- Rubidge, E., Jeffery, S., Gregr, E.J., Gale, K.S.P., and Frid, A. 2020. Assessment of nearshore features in the Northern Shelf Bioregion against criteria for determining Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. In press.
- Soontiens, N., Allen, S., Latornell, D., Le Souef, K., Machuca, I., Paquin, J.-P., Lu, Y., Thompson, K., and Korabel, V. 2016. Storm surges in the Strait of Georgia simulated with a regional model. *Atmosphere-Ocean* 54: 1-21.

54. L'APPROCHE DU GOUVERNEMENT OUVERT AU SECTEUR DES SCIENCES DE LA RÉGION PACIFIQUE DU MPO

Lu Guan¹ et Jason Parsley²

¹Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Lu.Guan@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Jason.Parsley@dfo-mpo.gc.ca

Le gouvernement du Canada (GC) produit un large éventail de données (scientifiques, géospatiales, océanographiques, halieutiques, etc.) pour régir et orienter ses décisions. Ces dernières années, la divulgation proactive des données et des informations gouvernementales représente le point de départ des activités liées au gouvernement ouvert. Conformément à la Directive sur le gouvernement ouvert (<https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=28108>), les données ouvertes sont définies comme des données structurées lisibles par machine et partagées, utilisées et étendues librement sans restriction. Un accès accru aux données de recherche fédérales facilite la recherche primaire dans les communautés universitaires canadiennes et internationales, ainsi que dans les communautés de recherche du secteur public et de l'industrie, et soutient également l'innovation dans le secteur privé en réduisant les doubles emplois et en favorisant la réutilisation des ressources existantes.

Un ensemble de données publié sur le portail de données ouvertes est composé de quatre éléments : les fichiers de données, les métadonnées de publication de l'ensemble de données, le dictionnaire de données et les documents justificatifs. Les fichiers de données doivent être dans un format modifiable non exclusif (p. ex. CSV, TEXT, XML, HTML, NetCDF, etc.). Les métadonnées de l'ensemble de données décrivent la structure, la signification, le contexte et les systèmes hôtes de l'ensemble de données. Un dictionnaire de données est un fichier contenant des définitions claires de chaque rubrique (lignes et colonnes). Les documents justificatifs, tels que les rapports publiés, donnent des explications supplémentaires sur l'ensemble des données et aident les utilisateurs à mieux comprendre, interpréter et utiliser les données publiées.

Jusqu'à présent, la région du Pacifique du MPO a publié 56 ensembles de données sur Cartes Ouvertes et le portail de données ouvertes. Pour l'année financière 2019-2020, neuf nouveaux ensembles de données ont été publiés et treize ont été mis à jour. Plus précisément, les nouveaux ensembles de données publiés sont les suivants :

- Données détaillées sur le zooplancton de la station océanographique « Papa » : 1956 à 1980
- Relevé sur l'ichtyoplancton du détroit de Georgie, 1979-1981
- Relevés synoptiques au chalut de fond des poissons de fond
- Unités de conservation, sites et état du saumon du Pacifique
- Stations standard d'échantillonnage océanographique
- Dénombrements de la loutre de mer (*Enhydra lutris*), Colombie-Britannique, 1977-2013
- Surveillance du crabe vert (*Carcinus maenas*), espèce aquatique envahissante présente en Colombie-Britannique
- Base de données sur les échantillons biologiques de hareng

Les ensembles de données mis à jour sont les suivants :

- Unités de conservation, sites et état du saumon kéta
- Unités de conservation, sites et état du saumon chinook du sud de la Colombie-Britannique
- Unités de conservation, sites et état du saumon rouge de type rivière

- Unités de conservation, sites et état du saumon rouge de type lacustre
- Unités de conservation, sites et état du saumon rose/année paire
- Unités de conservation, sites et état du saumon rose/année impaire
- Unités de conservation, sites et état du saumon chinook
- Unités de conservation, sites et état du saumon coho
- Pêche commerciale au saumon dans la région du Pacifique – Estimations des prises en cours de saison
- NuSEDS-Nouveau système de base de données sur les échappées de saumons (non spatial)
- Transects permanents des œufs de hareng.
- Colombie-Britannique - Données sur la température et la salinité de la surface de la mer des stations côtières (Pacifique), de 1914 à aujourd'hui
- Dépôts de récupération des têtes de salmonidés du Pacifique provenant de la pêche récréative

55. ESTIMATION DE LA VULNÉRABILITÉ ÉCOLOGIQUE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LES LIEUX DE PÊCHE HISTORIQUES DU PACIFIQUE

Karen L. Hunter¹, Joy Wade², Andrew McMillan¹, Miranda Smith³, Danielle Perron⁴ et Mike Foreman⁵

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, karen.hunter@dfo-mpo.gc.ca, andrew.mcmillan@dfo-mpo.gc.ca

²Fundy Aqua Services, Nanaimo, Colombie-Britannique, joywadefundyaqua@gmail.com

³MC Wright and Associates, Nanaimo, Colombie-Britannique, miranda.smith@mcwrightonline.com

⁴Pêches et Océans Canada, Vancouver, Colombie-Britannique, danielle.perron@dfo-mpo.gc.ca

⁵Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, mike.foreman@dfo-mpo.gc.ca

Les espèces et les communautés marines réagissent aux changements environnementaux (Alabia *et al.* 2018; Kleisner *et al.* 2016; Pinsky *et al.* 2013). En fonction de la gravité et de la nouveauté, les réactions peuvent aller de l'absence de changement à des changements de la répartition ou de la migration, à une augmentation de la mortalité ou à la disparition (Pecl *et al.* 2017; Ainsworth *et al.* 2011). Pour que les pêches prospèrent et fournissent des moyens de subsistance fiables, il est nécessaire de détecter les changements climatiques dans leur contexte.

Nous avons estimé la vulnérabilité écologique relative pour les principales pêches commerciales dans les eaux canadiennes du Pacifique en combinant une analyse de l'exposition thermique et une évaluation de la sensibilité réalisée par des experts. Nous avons estimé les limites thermiques pour le stade adulte de certaines espèces en utilisant deux méthodes : l'extraction des données d'une base de données sur les limites physiologiques (Steiner *et al.* 2018) et les résultats d'un modèle hiérarchique bayésien de répartition des espèces (McMillan *et al.* en cours d'examen). Le changement thermique saisonnier moyen a été déterminé à partir de la différence entre les modèles contemporains (Masson et Fine 2012) et projetés (Foreman *et al.* 2014; a2 (pas de réduction), AR4; 2060-70s) du Regional Ocean Modelling System (ROMS). La différence de température entre les périodes et entre les empreintes de la pêche par rapport au seuil thermique de chaque espèce a été traduite en un indice d'exposition prenant en compte la variation : 1) de l'étendue (empreinte totale de la pêche), 2) de l'ampleur (proportion de l'empreinte où le seuil est atteint ou dépassé), 3) de la fréquence à laquelle le seuil est atteint ou dépassé et 4) du degré de dépassement du seuil par rapport au seuil de chaque espèce (figure 55-1). Nous avons recommencé l'évaluation de l'exposition en utilisant des seuils ajustés de +1 °C et -1 °C pour tester la sensibilité de l'évaluation. Le risque économique potentiel pour les pêches dû au changement thermique dans la biorégion du plateau nord de la Colombie-Britannique a été cartographié en superposant une distribution de la valeur économique des pêcheries dérivée de Marxan à la fréquence cumulée du dépassement du seuil thermique pour toutes les pêches évaluées. Nous avons utilisé les attributs de la sensibilité au climat élaborés dans de précédentes études de la vulnérabilité climatique pour évaluer qualitativement la sensibilité des espèces aux changements climatiques (Hare *et al.* 2016; Stortini *et al.* 2015). Le classement de la vulnérabilité a été déterminé à partir

de la matrice de classement fondée sur la combinaison de l'indice d'exposition et des cotes de sensibilité (figure 55-1).

Les changements de température prévus dans les lieux de pêche historiques peuvent avoir un impact sur certaines pêches commerciales importantes, 11 des 15 espèces évaluées étant considérées comme étant dans la catégorie de vulnérabilité élevée (classement 3 sur 4). Le hareng du Pacifique était la seule espèce classée dans la catégorie de vulnérabilité la plus élevée. Les changements de température futurs prévus (d'après le maximum saisonnier moyen) entraînant un dépassement des limites thermiques pour toutes les espèces évaluées allaient de 0 °C à 2,04 °C. D'après la superposition de la valeur économique de la pêche et de l'indice d'exposition cumulée (c'est-à-dire le seuil thermique atteint ou dépassé) réalisée pour la biorégion du plateau nord, le chevauchement le plus important concerne les lieux de pêche situés le long du rebord du plateau continental, mais aucune zone n'a été classée à la fois comme ayant la valeur économique la plus élevée et la plus forte exposition thermique. Pour les 15 espèces visées par l'évaluation, les cotes de sensibilité vont de « faible » à « très élevée ». L'état des stocks et la dispersion au début de la vie étaient en moyenne les attributs aux cotes les plus faibles, le taux de croissance de la population, le cycle de fraie et la sensibilité à l'acidification des océans ceux aux cotes les plus élevées pour les espèces, individuellement et collectivement.

Le classement de la vulnérabilité montre les domaines dans lesquels entreprendre de nouvelles recherches scientifiques et la planification de l'adaptation pour la gestion des pêches. D'après notre évaluation spatiale des lieux de pêche historiques, pour la majorité des espèces que nous avons étudiées, le changement de température prévu pour les eaux de la Colombie-Britannique exposera une plus grande partie de la répartition actuelle des espèces pêchées à des conditions thermiques qui dépassent les seuils de la majorité des espèces évaluées. En revanche, les températures de l'eau prévues ne dépasseront pas les seuils thermiques pour certaines espèces et pourraient en fait agrandir l'habitat thermique qui leur convient (merlu du Pacifique, aiguillat commun du Pacifique Nord, panope). La précision des prévisions des modèles océaniques dans les zones littorales est moins bien comprise que dans les zones côtières et hauturières. Par conséquent, les cotes d'exposition des pêches dont une grande partie de la récolte a lieu dans la zone littorale, notamment la panope, la crevette tachetée et le hareng du Pacifique, pourraient être surestimées ou sous-estimées. Les évaluations futures pourraient inclure des variables environnementales supplémentaires lorsque les valeurs des seuils sont connues et être recommencées à mesure que de nouveaux produits de modélisation océanique et de nouvelles études de la sensibilité au climat deviennent disponibles.

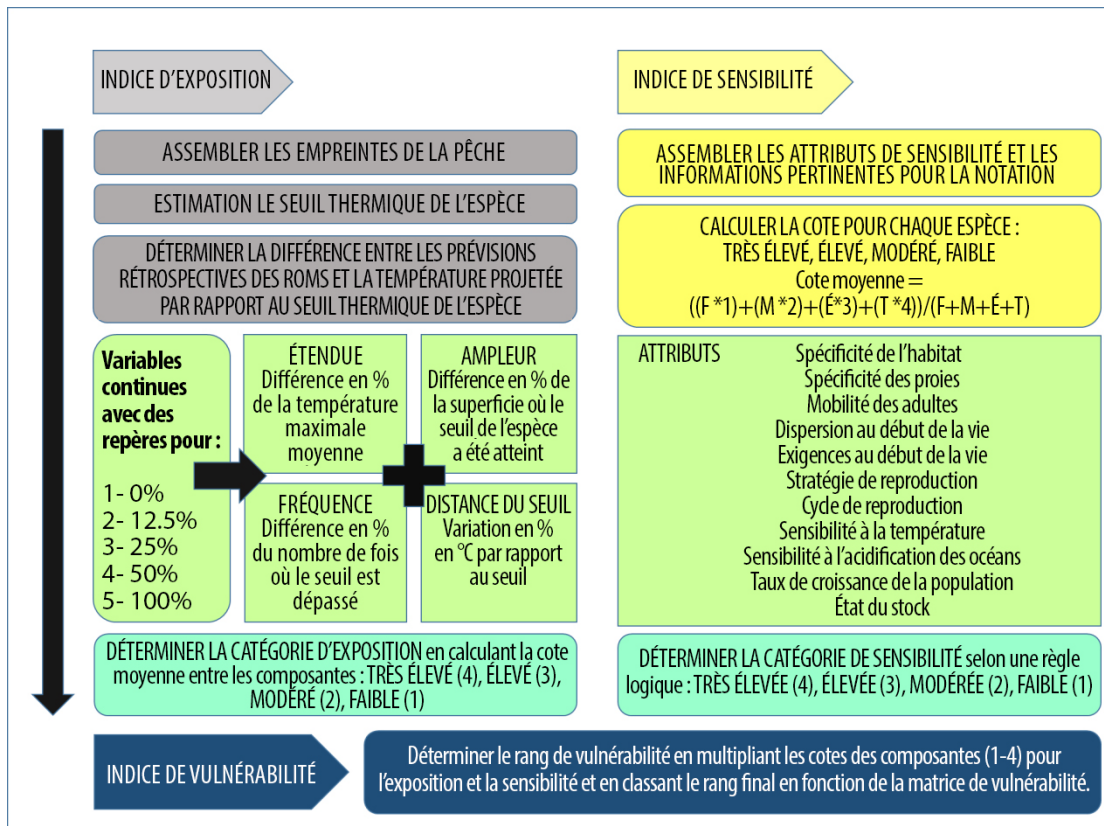


Figure 55-1. Flux de travail pour le calcul des indices d'exposition et de sensibilité, combinés pour produire un indice de la vulnérabilité pour les pêches au large des côtes de la Colombie-Britannique.

55.1. References

- Ainsworth, C.H., Samhuri, J.F., Busch, D.S., Cheung, W.W.L., Dunne, J., and Okey, T.A. 2011. Potential impacts of climate change on Northeast Pacific marine foodwebs and fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* 68: 1217–1229. doi.org/10.1093/icesjms/fsr043
- Alabia, I.D., Molinos, J.G., Saitoh, S.-I., Hirawake, T., Hirata, T., and Mueter, F.J. 2018. Distribution shifts of marine taxa in the Pacific Arctic under contemporary climate changes. *Divers. Distrib.* 24: 1583–1597. doi.org/10.1111/ddi.12788
- Foreman, M.G.G., Callendar, W., Masson, D., Morrison, J. and Fine, I. 2014. A model simulation of future oceanic conditions along the British Columbia continental shelf, Part II: Results and analyses. *Atmosphere-Ocean* 52: 20-38.
- Hare, J.A., Morrison, W.E., Nelson, M.W., Stachura, M.M., Teeters, E.J., Griffis, R.B., Alexander, M.A., Scott, J.D., Alade, L., Bell, R.J., Chute, A.S., Curti, K.L., Curtis, T.H., Kircheis, D., Kocik, J.F., Lucey, S.M., McCandless, C.T., Milke, L.M., Richardson, D.E., Robillard, E., Walsh, H.J., McManus, M.C., Marancik, K.E., and Griswold, C.A. 2016. A vulnerability assessment of fish and invertebrates to climate change on the Northeast U.S. Continental Shelf. *PLoS ONE* 11(2): e0146756. doi.org/10.1371/journal.pone.0146756

- Kleisner, K.M., Fogarty, M.J., McGee, S., Barnett, A., Fratantoni, P., Greene, J., Hare, J.A., Lucey, S.M., McGuire, C., Odell, J., Saba, V.S., Smith, L., Weaver, K.J., and Pinsky, M.L. 2016. The effects of sub-regional climate velocity on the distribution and spatial extent of marine species assemblages. *PLoS ONE* 11(2): e0149220. doi.org/10.1371/journal.pone.0149220
- Masson, D. and Fine, I. 2012. Modeling seasonal to inter-annual ocean variability of coastal British Columbia. *J. Geophys. Res.* 117: C10019.
- McMillan A.K.L., Lecomte, J.-B., and Hunter, K.L. (in review) Species distribution and temperature range of select Pacific groundfish species occurring in Queen Charlotte Sound and Hecate Strait, British Columbia, Canada. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* Fisheries and Oceans Canada.
- Pinsky, M.L., Worm, B., Fogarty, M.J., Sarmiento, J.L., and Levin, S.A. 2013. Marine taxa track local climate velocities. *Science* 341: 1239–1243. [doi.org.10.1126/science.1239352](https://doi.org/10.1126/science.1239352)
- Pecl, G.T., Araújo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.-C., Clark, T.D., Colwell, R.K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R.A., Griffis, R.B., Hobday, A.J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M.A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H.I., Martin, V.Y., McCormack, P.C., McDonald, J., Mitchell, N.J., Mustonen, T., Pandolfi, J.M., Pettoirelli, N., Popova, E., Robinson, S.A., Scheffers, B.R., Shaw, J.D., Sorte, C.J., Strugnell, J.M., Sunday, J.M., Tuanmu, M.N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., and Williams, S.E. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355: eaai9214.
- Steiner, N., Drost, H.E., and Hunter, K. 2018. A Physiological Limits Database for Arctic and Subarctic Aquatic Species. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3256: v + 56 p.
- Stortini, C., Nancy, L., Shackell, N.L., Tyedmers, P., and Beazley, K. 2015. Assessing marine species vulnerability to projected warming on the Scotian Shelf, Canada. *ICES J. Mar. Sci.* 72: 1731-1743. doi:10.1093

56. LES RÉGIMES ALIMENTAIRES DES SAUMONS ADULTES COMME OUTIL DE SURVEILLANCE DES ÉCOSYSTÈMES SUR LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Katie Innes, Jessica Qualley, Micah Quindazzi, Nick Bohlender, Will Duguid* et Francis Juanes, Laboratoire d'écologie des pêches et de conservation marine, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, *wildduguid@hotmail.com

Le saumon chinook et le saumon coho sont une composante importante des écosystèmes côtiers du nord-est de l'océan Pacifique. Étonnamment, les données sur le régime alimentaire des saumons adultes en Colombie-Britannique sont rares, avec aucune donnée publiée depuis les années 1960 et aucune publication sur le régime alimentaire hivernal. Depuis 2017, nous élaborons un programme de science citoyenne à faible coût pour échantillonner les régimes alimentaires des saumons chinooks et cohos adultes toute l'année en Colombie-Britannique. À court terme, nous cherchons à caractériser les variations spatiales et saisonnières des régimes alimentaires des saumons adultes. Les données sur la taille (y compris les dimensions des otolithes) de chaque proie nous permettent de déduire l'importance saisonnière de différents stades du cycle biologique des espèces proie importantes. Nos résultats à ce jour suggèrent une variation spatiale et saisonnière du régime alimentaire dans la partie canadienne de la mer des Salish. Les mécanismes qui sous-tendent cette variation peuvent avoir des répercussions non seulement sur la croissance et la fécondité du saumon chinook adulte, mais aussi sur la croissance et la survie des saumons du Pacifique juvéniles et d'autres espèces.

À long terme, nous espérons développer ce programme en méthode pour surveiller les changements dans l'écosystème du point de vue des saumons eux-mêmes. Pour étudier les variations interannuelles de la composition du régime alimentaire du saumon chinook dans la mer des Salish, nous avons mis au point à titre préliminaire des « indices de plénitude partielle de la mer des Salish » (figure 56-1). Ces indices permettent de faire le suivi de la contribution gravimétrique moyenne des différentes catégories de proies au régime alimentaire du saumon chinook, leur somme fournissant un indice de la plénitude globale des estomacs. Pour tenir compte des différents nombres d'échantillons dans les diverses régions et saisons au fil des ans, nous calculons ces indices comme les moyennes de 100 échantillons aléatoires de régimes alimentaires tirés, avec remplacement, de nos données. Chaque échantillon aléatoire (N = 141) est équilibré par rapport aux secteurs de gestion des pêches du Pacifique (SGPP) et aux saisons (printemps, été, hiver), la taille des échantillons étant définie comme le nombre minimum d'échantillons disponibles dans chaque combinaison SGPP/saison entre les années. Le hareng du Pacifique domine largement les régimes alimentaires et l'anchois du Pacifique semble avoir perdu de son importance en 2019. Dans l'ensemble, on constate une légère diminution de la plénitude des estomacs de 2017 à 2019. Ces résultats sont préliminaires, mais à mesure que notre série chronologique s'étoffe, nous espérons valider cette approche par des comparaisons avec les programmes d'échantillonnage existants. La surveillance du régime alimentaire des saumons adultes peut compléter les relevés existants et futurs indépendants de la pêche en élucidant les changements d'origine naturelle et anthropique dans les zones côtières de la Colombie-Britannique. Elle offre également l'avantage d'inclure directement les participants à la pêche publique de la Colombie-Britannique dans la science des écosystèmes.

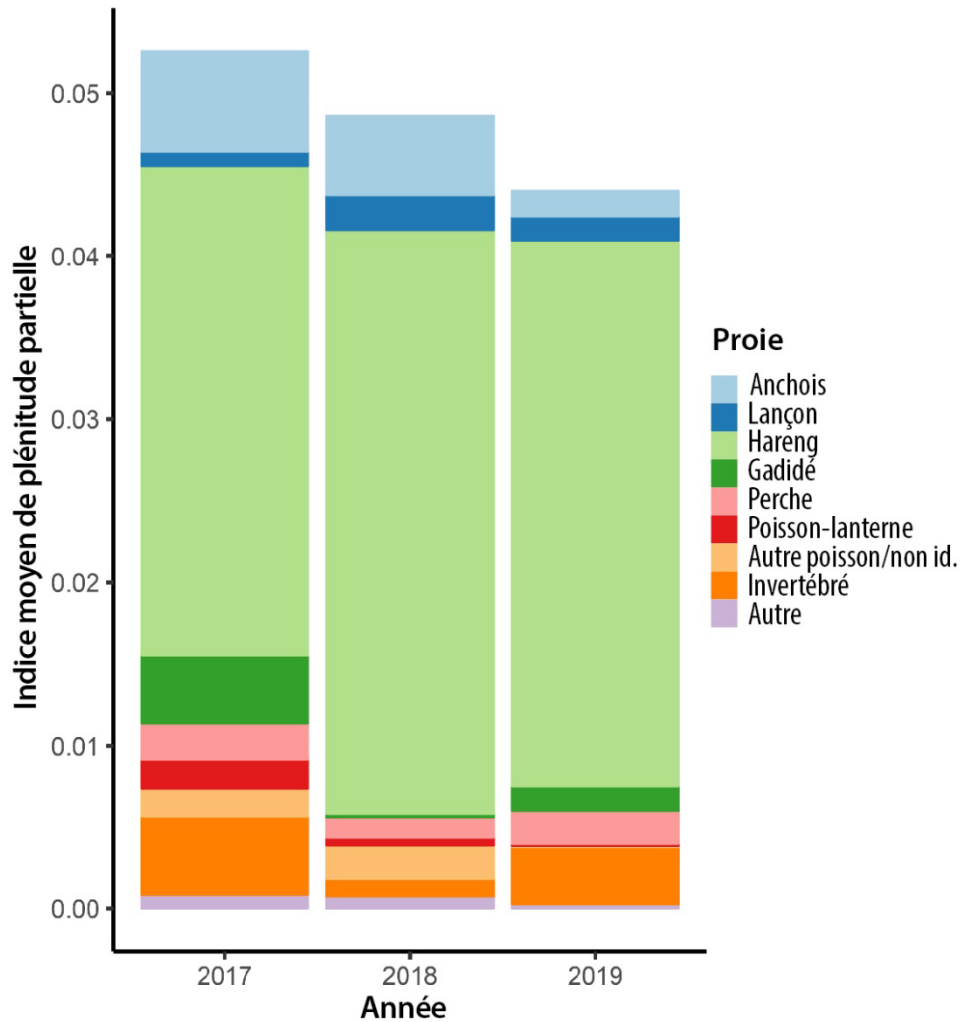


Figure 56-1. Indice des cotes moyennes de la plénitude partielle (\sim masse des proies/longueur du prédateur³) pour le saumon chinook adulte dans la mer des Salish de 2017 à 2019. Les valeurs ont été obtenues en calculant la moyenne de 100 échantillons aléatoires (avec remplacement) des régimes alimentaires de 141 saumons chinooks adultes chaque année. La taille de l'échantillon pour le rééchantillonnage était fondée sur la taille minimale de l'échantillon des secteurs de gestion des pêches du Pacifique/saison entre les années (N agrégé = 141; printemps (avril à juin) = 12, été (juillet à septembre) = 46, hiver (octobre à mars) = 83; nord du détroit de Georgie = 29, sud du détroit de Georgie = 29, îles Gulf/détroit de Haro/détroit de Juan de Fuca = 83; N total exposé au rééchantillonnage = 980; nombre moyen d'échantillons = 100).

57. ÉVALUATION DE L'HABITAT OCÉANIQUE DES OISEAUX DE MER – RÉSERVE NATIONALE MARINE DE FAUNE DES ÎLES SCOTT

Greg Jones et Charles Hannah, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, reshook@shaw.ca, Charles.Hannah@dfo-mpo.gc.ca

57.1. Faits saillants

- L'évaluation complète du milieu marin touchant les oiseaux de mer dans la réserve nationale marine de faune (RNF) des îles Scott est facilitée par la coordination de l'échantillonnage périodique à bord de navires, des données continues enregistrées par des amarrages sous-marins équipés et le déploiement de dériveurs GPS (figure 57-1). Les données par satellite viennent également compléter les sources de données énumérées.
- Les dériveurs GPS, transportés par les courants de surface, démontrent que la RNF fait partie d'un écosystème marin plus vaste, que des substances peuvent être transportées sur de longues distances dans des délais relativement courts et que des substances provenant de grands couloirs de navigation lointains peuvent atteindre la RNF.
- Les dériveurs des années précédentes ont montré qu'en été, les courants pouvaient pousser les eaux de surface dans la RNF depuis plus de 100 km. Les dériveurs déployés en janvier 2019 (figure 57-1) ont été les premiers à montrer qu'un tel transport pouvait également avoir lieu en hiver, et que donc les eaux de surface et les substances peuvent entrer dans la RNF en toute saison.
- La reproduction des oiseaux de mer planctonophages est meilleure lorsque les copépodes subarctiques, en particulier *Neocalanus cristatus*, sont très disponibles, ce qui se produit lorsque l'eau froide se déplace vers le sud dans la région (Hipfner *et al.* 2020). La biomasse des copépodes subarctiques a diminué sur le plateau et à l'extérieur de celui-ci ces dernières années, avec d'éventuels effets négatifs sur les prédateurs marins planctonophages (figure 57-2).
- Une surveillance à long terme de l'oxygène et d'autres paramètres de l'habitat marin est essentielle pour détecter les tendances d'origine naturelle ou anthropique. L'hypoxie ($< 1,4 \text{ ml O}_2/\text{L}$) n'a pas été détectée aux deux points d'amarrage (exemple sur la figure 57-3), ni sur une section transversale de la RNF en juin 2019 (figure 57-4).
- Les données d'un relevé sur le plateau dans la RNF en juin 2019 montrent que l'oxygène dissous sous la couche de mélange de surface est bien stratifié (figure 57-4).
- Les biologistes d'Environnement et Changement climatique Canada utilisent les résultats de ce projet pour évaluer les populations d'oiseaux de mer par rapport aux tendances dans leur approvisionnement en nourriture et leurs habitats océaniques.

57.2. Description

Le gouvernement du Canada a créé la RNF des îles Scott en 2018 (figure 57-1). La RNF assure la conservation des oiseaux de mer migrateurs et des habitats de quête de nourriture en mer essentiels pour soutenir leur reproduction et leur productivité et permet de mener des recherches sur ces sujets. Environ 40 % des oiseaux de mer nichant dans l'océan Pacifique au Canada se reproduisent sur les îles Scott, dont environ 50 % de la population mondiale de Starique de Cassin (*Ptychoramphus aleuticus*).

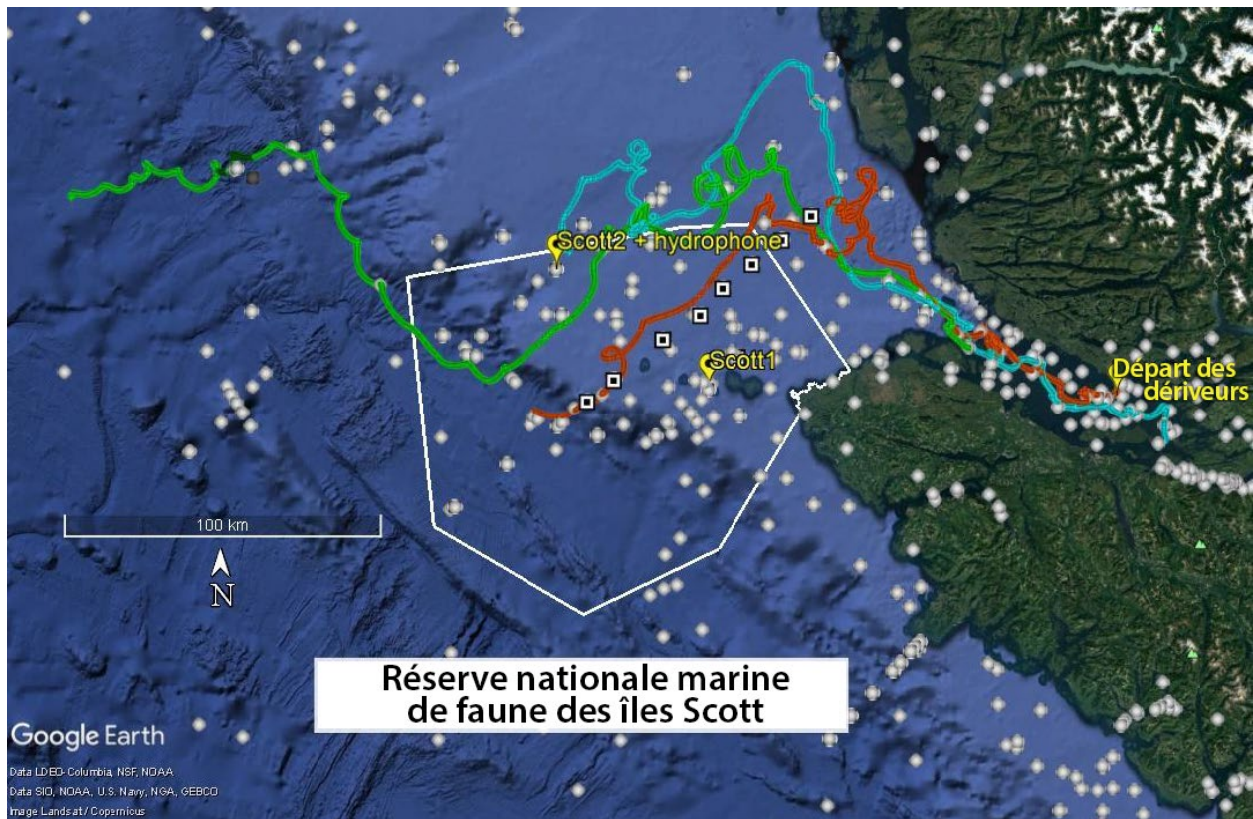


Figure 57-1. Réserve nationale marine de faune des îles Scott. Ligne blanche : limite de la RNF. Carrés noirs et blancs : sites d'échantillonnage permanents dont les données sont illustrées sur la figure 57-4. Points blancs : tous les lieux échantillonnés entre 2016 et 2019 lors des missions de surveillance du MPO. La plupart des sites ont été échantillonnés plusieurs fois, il y a donc plus d'échantillons que de points sur la carte. Icônes jaunes Scott : déploiements d'amarrage sous la surface entre 2016 et 2019. Icône jaune Start : exemple de dériveur GPS déployé en janvier 2019. Trois dériveurs déployés à l'extérieur de la réserve nationale de faune ont dérivé vers l'ouest jusque dans celle-ci, et l'un d'eux a continué sa trajectoire sous l'effet des courants de surface pendant 16 à 19 jours (traces verte, rouge et bleue).

- En tant que partie intégrante de l'écosystème marin plus vaste, la réserve nationale de faune peut être touchée assez rapidement par les effets négatifs des rejets de substances se produisant à une grande distance, possiblement en toute saison. Il est notamment possible que des substances provenant de grands couloirs de navigation éloignés parviennent dans la réserve nationale de faune. Les résultats sont également cohérents avec les résultats précédents montrant le déplacement vers l'ouest des nutriments jusque dans la RNF (Borstad *et al.* 2011).
- Les oiseaux de mer sont des animaux marins :
 - Toute leur nourriture vient de l'océan.
 - Les conditions océaniques influent sur la reproduction des oiseaux de mer par leurs effets sur les espèces fourragères.

- Les oiseaux de mer sont touchés par la dynamique des océans de la même manière que les autres prédateurs marins tels que les poissons et les mammifères marins.
- En 2015, le Service canadien de la faune d'Environnement et Changement climatique Canada et la Division des sciences océanologiques de Pêches et Océans Canada ont passé un accord de collaboration, qui se poursuit actuellement jusqu'à la fin de l'exercice financier 2021-2022. L'objet de l'accord était de tirer parti des succès passés en fournissant conjointement des fonds et de l'expertise, afin d'étendre l'utilisation de l'océanographie pour évaluer les habitats des oiseaux de mer. Les résultats aideront à comprendre les habitats marins pour tous les prédateurs marins.
- Le projet des îles Scott s'inscrit dans le cadre de la surveillance océanique à long terme et sur l'ensemble de la côte, lancée par la Division des sciences océanologiques afin de comprendre les causes et les effets des changements de l'environnement océanique sur l'écosystème et les ressources du milieu marin. Toute zone définie fait partie de l'environnement marin et il est donc nécessaire d'adopter une approche écosystémique.
- Les travaux menés dans le cadre de l'accord ont été réalisés sur la base de l'écosystème océanique, et non sur la limite légale de la réserve nationale de faune. Les projets les plus importants mis en œuvre dans la RNF étaient les suivants :
 - Poursuite des études océanographiques du banc La Pérouse dans la RNF, dans le cadre du réseau côtier, en mettant en particulier l'accent sur l'analyse du zooplancton en raison de son importance en tant qu'espèce fourragère, ainsi que sur les conditions océaniques telles que l'oxygène dissous, qui est important pour toute la vie marine (figures 57-1, 57-2 et 57-4).
 - Mise en place de deux amarrages océanographiques sous-marins, dans le cadre d'un réseau côtier qui enregistre en continu les caractéristiques de l'océan à différentes profondeurs (figures 57-1 et 57-3). La RNF abrite environ 10 % du réseau d'amarrages côtiers. L'un ou l'autre des deux amarrages qui se trouvent dans la RNF peut parfois être déplacé dans d'autres endroits de la RNF, afin de mieux comprendre l'écosystème marin. Scott2 comprend un hydrophone pour enregistrer les sons naturels et anthropiques.
 - Les relevés océaniques et les amarrages dans la RNF ont donné lieu collectivement à environ 290 événements d'échantillons de 2016 à 2019, produisant des milliers de points de données (total des événements tel que téléchargé de Waterproperties.ca).
 - Des dériveurs GPS ont été déployés dans la réserve nationale de faune, et des dériveurs déployés ailleurs y ont été entraînés par les courants (figure 57-1).
 - Les données satellitaires ont permis d'évaluer la productivité primaire en utilisant la chlorophylle *a* (NASA Giovanni) et la température de la surface de la mer (NOAA), car ces deux paramètres sont corrélés avec les populations d'oiseaux de mer de par leur influence sur les espèces fourragères (Borstad *et al.* 2011).

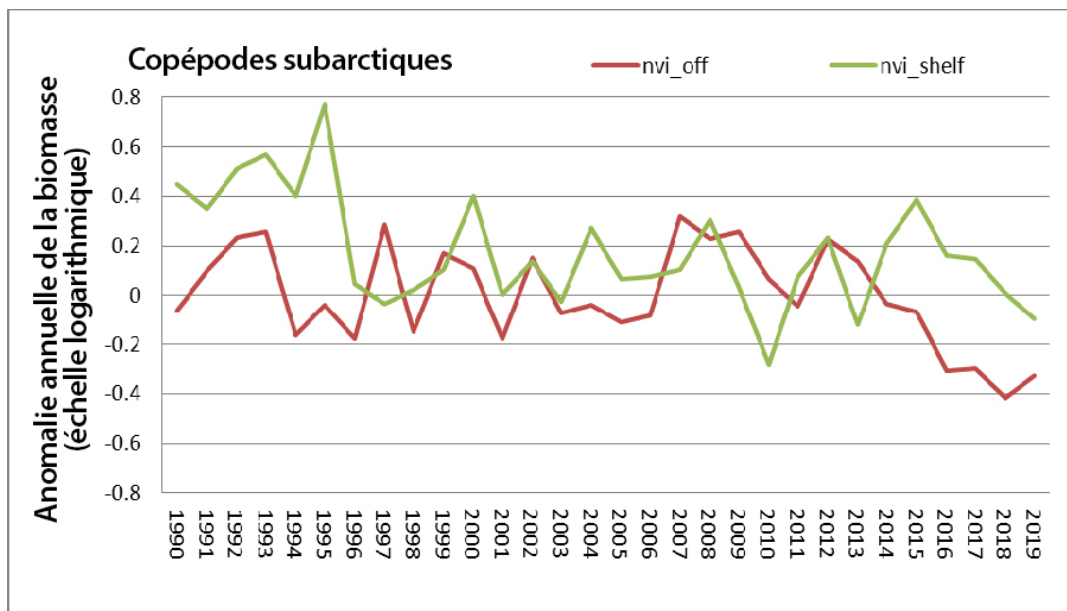


Figure 57-2. Indice du zooplancton dans l'écosystème des îles Scott. Le plateau et les zones extracôtières du nord de l'île de Vancouver (NIV) comprennent des parties de la RNF des îles Scott (Moira Galbraith, comm. pers. 2020).

- La composition et l'abondance des espèces de zooplancton varient en fonction des conditions océaniques annuelles et saisonnières. La reproduction des oiseaux de mer planctonophages est optimale avec une grande disponibilité des copépodes subarctiques, en particulier *Neocalanus cristatus*, ce qui se produit lorsque l'oscillation décennale du Pacifique est en phase négative, alors que l'eau froide traverse la région vers le sud (Hipfner *et al.* 2020). La biomasse des copépodes subarctiques a diminué sur le plateau et à l'extérieur de celui-ci ces dernières années, avec d'éventuels effets négatifs sur les prédateurs marins planctonophages (figure 57-2).

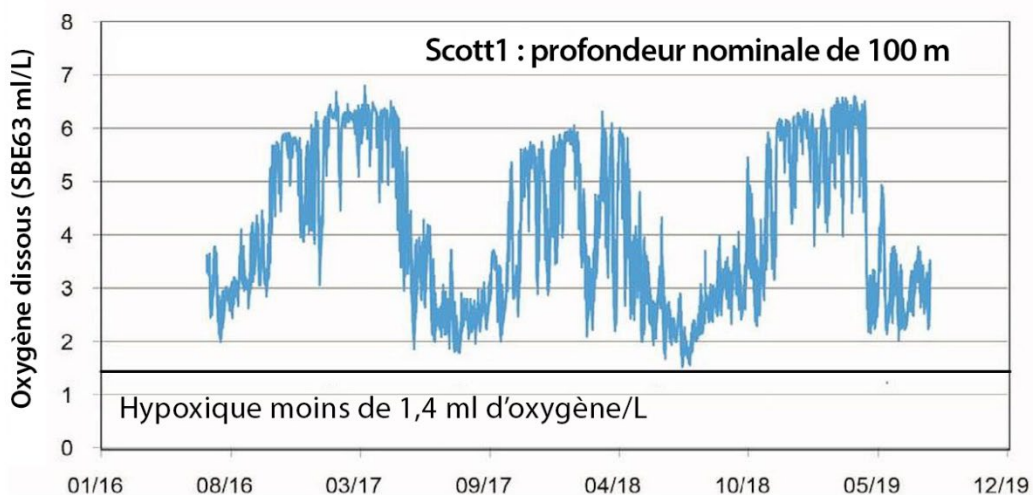


Figure 57-3. Oxygène dissous à ~100 m de profondeur, amarrage sous la surface à Scott1 dans la RNF des îles Scott (Cindy Wright, comm. pers. 2020). L'emplacement de Scott1 est illustré sur la figure 57-1.

- La teneur en oxygène dissous à environ 100 m, près du fond, varie en raison du mélange des différentes profondeurs, et est normalement plus faible en été, plus élevée les autres saisons. Aucune hypoxie ($< 1,4$ ml O₂/L) n'a été détectée aux emplacements des amarrages ni sur les sites d'échantillonnage de La Pérouse indiqués (figures 57-3 et 57-4). Cependant, certaines espèces d'autres régions présentent des effets sublétaux à certains des niveaux d'oxygène observés au-dessus de l'hypoxie (Ekau *et al.* 2010; Vaquer-Sunyer et Duarte 2008).

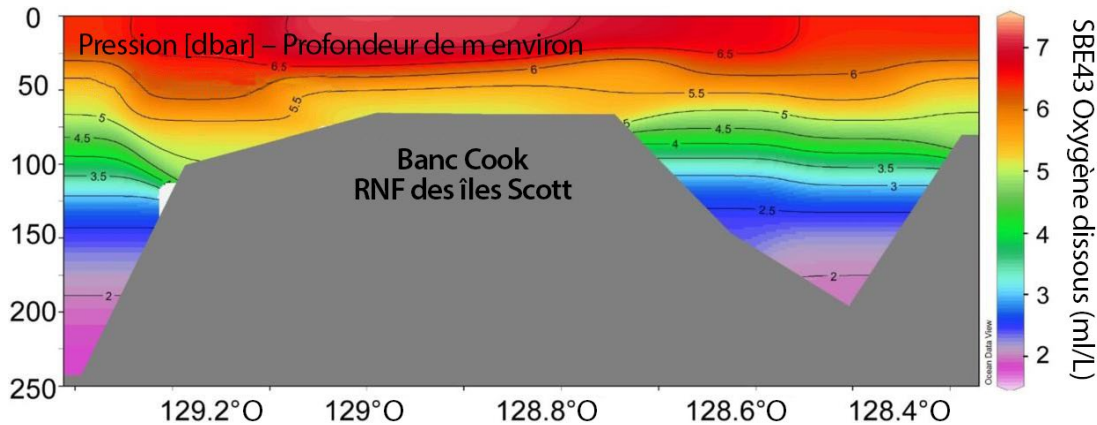


Figure 57-4. Oxygène dissous dans la réserve nationale de faune des îles Scott, en juin 2019. L'oxygène dissous dans la RNF est généralement stratifié, avec des niveaux plus faibles à mesure que la profondeur augmente. Données recueillies sur les sites d'échantillonnage permanents indiqués sur la figure 57-1 (Cindy Wright, comm. pers. 2020).

57.3. References

- Borstad, G., Crawford, W., Hipfner, J.M., Thomson, R., and Hyatt, K. 2011. Environmental control of the breeding success of rhinoceros auklets at Triangle Island, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 424: 285-302.
- Ekau, W., Auel, H., Portner, H.O. and Gilbert, D. 2010. Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences* 7: 1669-1699.
- Hipfner, J.M., Galbraith, M., Bertram, D.F. and Green, D.J. 2020. Basin-scale oceanographic processes, zooplankton community structure, and diet and reproduction of a sentinel North Pacific seabird over a 22-year period. *Prog. Oceanogr.* 182: 1 – 11.
- Vaquer-Sunyer, R. and Duarte, C.M. 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS* 105 (40): 15452-15457.

58. LES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES MARINES DU DÉTROIT DE GEORGIE À LA CÔTE CENTRALE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Colleen Kellogg¹, Carolyn Prentice¹, Rebecca Piercey², Justin Del Bel Belluz¹, Brian Hunt^{1,3}, Jennifer Jackson¹ et The Hakai Oceanography Team

¹Institut Hakai, Heriot Bay, Colombie-Britannique, colleen.kellogg@hakai.org, carolyn.prentice@hakai.org, justin.belluz@hakai.org, b.hunt@ocean.ubc.ca, jennifer.jackson@hakai.org

²University of New South Wales, Sydney, Australie.

³Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique

Les microbes (bactéries, archaebactéries et protistes) jouent un rôle important dans les réseaux trophiques marins. Ce sont des producteurs primaires et des aliments pour les niveaux trophiques supérieurs. Ce sont des recycleurs du carbone et des nutriments, qui sous-tendent les cycles biogéochimiques mondiaux. Malgré leur rôle essentiel dans la chimie et la biologie de la mer, nous ne comprenons pas bien leur diversité et leurs fonctions dans les écosystèmes de la côte de la Colombie-Britannique. Depuis 2014, nous recueillons des échantillons dans le cadre du programme d'océanographie de Hakai afin de surveiller et de comprendre les facteurs des changements de la diversité microbienne sur la côte de la Colombie-Britannique, une région touchée par des conditions océaniques et terrestres changeantes. Les détails sur les prélèvements d'échantillons sont résumés dans le tableau 58-1.

Tableau 58-1. Détails sur les stations des séries chronologiques océanographiques de l'Institut Hakai auxquelles les échantillons microbiens sont prélevés. Le programme d'océanographie échantillonne d'autres sites et profondeurs, mais ils ne sont pas décrits ici, car seuls les sites échantillonnés par la composante d'océanographie microbienne du programme d'océanographie sur le terrain de Hakai sont présentés.

Station	Latitude	Longitude	Dates d'échantillonnage	Profondeurs échantillonnées (m)	Fréquence
QU39	50.0307	-125.0092	Nov. 2014 (QU24), puis QU39 de mars 2015 à aujourd'hui	0, 5, 30, 100, 260	Toutes les semaines
QU43	50.3392104	-125.11764	De mai 2018 à aujourd'hui	0, 5, 30, 150, 500	Tous les mois
FZH01	51.6394	-127.8958	De mars 2016 à janvier 2019	0, 5, 30, 100, 275	Tous les mois - toutes les 6 semaines
KC10	51.6505	-127.9516	De février 2019 à aujourd'hui	0, 5, 30, 100, 325	Tous les mois - toutes les 6 semaines

QCS01	51.705	-128.2384	De mars 2018 à aujourd'hui	0, 5, 30, 115	Tous les mois - toutes les 6 semaines
DFO2	51.5208	-127.5583	De janvier 2019 à aujourd'hui	0, 5, 30, 100, 300	Tous les mois - toutes les 6 semaines

Nous utilisons un séquençage d'amplicon massivement parallèle pour cibler par réaction en chaîne de la polymérase (PCR) et séquencer par Illumina MiSeq la région V4V5 du gène ARNr 16S, un marqueur génétique conservé, couramment utilisé dans les relevés sur la biodiversité des microbes océaniques.

Jusqu'à présent, nous disposons de résultats de 2014 à 2018 pour la station QU39 et du début de la collecte des échantillons jusqu'à la fin 2019 pour tous les autres sites. La communauté des procaryotes (bactéries et archaebactéries) affiche une saisonnalité évidente de la surface à la profondeur à tous les sites, les protéobactéries constituant (sans surprise) la plus grande fraction des séquences. Nous avons observé des augmentations saisonnières (printemps-été) des séquences appartenant à l'embranchement des Bacteroidetes, bien connus pour être d'habiles décomposeurs de la matière organique. De 100 m à 260 m, les séquences liées à Thaumarchaeota (archaebactérie oxydant l'ammoniac) et à d'autres microbes chimolithoautotrophes (comme *Nitrospina* sp. ou *Marinimicrobia* sp.) constituent une partie notable de la communauté des procaryotes. De 2014 à 2017, les fluctuations des membres de la communauté microbienne étaient très prévisibles, mais à partir de 2018, nous avons observé des changements potentiels entre 100 m et le fond à QU39, avec une augmentation de la proportion des séquences identifiées comme *Thiomicrospirales* sp. et une diminution de la proportion des séquences liées au clade bactérien cosmopolite, SAR11. En comparant les différentes régions, du détroit de Georgie à la côte centrale, autour de l'île Calvert, nous constatons que les séquences de *Thiomicrospirales* sp. constituent, en moyenne, une plus grande fraction des séquences dans les échantillons de la côte centrale. Qu'est-ce qui a provoqué leur augmentation dans les eaux profondes du détroit de Georgie? Cette tendance va-t-elle se poursuivre lorsque nous aurons terminé les analyses pour 2019?

Nous pouvons également évaluer la diversité de l'ADN plastidial dans nos échantillons (et donc du phytoplancton), car l'ADN chloroplastique est également amplifié par nos amorces PCR. Nous observons donc que les taxons de diatomées dominants varient selon les régions, les séquences identifiées comme *Thalassiosira* sp. étant plus abondantes dans les échantillons de la côte centrale. Nous observons une plus grande diversité de taxons de diatomées dans le détroit de Georgie, avec une plus grande variabilité interannuelle. Il convient de noter les abondances relatives élevées des séquences *Chaetoceros* sp. et *Rhizosolenia* sp., en plus des séquences *Thalassiosira* sp. La cause de cette variabilité régionale est une question que nous aborderons dans les prochains mois. La dominance des séquences liées aux diatomées était de courte durée, en particulier dans le détroit de Georgie, et la majeure partie des séquences plastidiques pendant toutes les autres périodes de l'année étaient liées à *Phaeocystis* sp., aux cryptophytes et à plusieurs picophytoplanctons différents, notamment *Bathycoccus* sp. et *Micromonas* sp. Cela souligne l'importance des petits phytoplanctons dans le détroit de Georgie. Il n'est pas facile d'identifier ces petits phytoplanctons appartenant à l'ordre des

Mamiellales au microscope, ce qui montre qu'il est important de coupler les outils basés sur la génomique pour améliorer notre compréhension de la dynamique du phytoplancton dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique.

59. RÉGIONALISATION BIOGÉOCHIMIQUE DE L'OCÉAN CÔTIER DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Andrew R. Margolin^{1*}, Hayley V. Dosser¹, Jennifer M. Jackson², Patrick Pata¹, Stephanie Waterman¹ et Brian P.V. Hunt^{1,2}

¹Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, *
a.margolin@oceans.ubc.ca

²Institut Hakai, Victoria, Colombie-Britannique

L'océan côtier de la Colombie-Britannique est un environnement très complexe influencé par divers processus tels que la remontée et la plongée des eaux, le mélange intense des marées et les grands volumes d'eau douce/terrigène provenant de la forêt pluviale tempérée de la côte du Pacifique. Cette région du nord-est de l'océan Pacifique est en outre soumise aux effets d'oscillations climatiques de grande amplitude (p. ex. oscillation décennale du Pacifique, oscillation méridionale El Niño) et est de plus en plus touchée par des vagues de chaleur marines. Cette étude vise à examiner la régionalisation biogéochimique, la variabilité spatiotemporelle et les tendances des propriétés des eaux côtières de la Colombie-Britannique en analysant une combinaison de données historiques et récentes. Les observations physiques et chimiques des neuf dernières décennies sont utilisées, y compris les mesures de la température, de la salinité, de l'oxygène et des nutriments. Les données d'observation sont tirées du Système intégré d'observation des océans du Canada (SIOOC Pacifique 2019a, 2019b), une plateforme nationale permettant d'intégrer des données océaniques provenant de diverses sources et facilitant l'accès aux données pour divers utilisateurs finaux. Les données permettent de définir et de caractériser les régions de l'océan côtier de la Colombie-Britannique en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques, à l'aide d'analyses des composantes principales et de concentration et en tenant compte de la variabilité à court terme et des tendances à long terme. Les propriétés biogéochimiques de l'océan sont fondamentales pour la structure et les fonctions des écosystèmes et ce travail établit des indicateurs régionaux qui peuvent servir à détecter et prévoir les conséquences des changements induits par le climat. Cette régionalisation des eaux côtières de la Colombie-Britannique permettra d'améliorer la gestion spatiale des ressources marines, de la qualité de l'eau et des zones protégées de la province.

59.1. References

CIOOS Pacific. 2019a. Institute of Ocean Sciences CTD Profile Data. Oct. 1965 - Jul. 2019, 46°N, 122°W; 60°N, 140°W. <https://catalogue.cioospacific.ca/dataset/d98c6fb7-fbdf-4430-85f2-1472c9be3b9a>. Accessed 28 Feb. 2020.

CIOOS Pacific. 2019b. Institute of Ocean Sciences Rosette Bottle Data. Nov. 1930 - Jul. 2019, 46°N, 122°W; 60°N, 140°W. <https://catalogue.cioospacific.ca/dataset/bf0ad274-c085-4fe0-b739-2821235464f1>. Accessed 28 Feb. 2020.

60. COMPOSITION EN ACIDES GRAS DE LA MATIÈRE ORGANIQUE PARTICULAIRE DANS LE NORD DU DÉTROIT DE GEORGIE

Anna K. McLaskey¹, Ian Forster², Jessica Garzke¹ et Brian P.V. Hunt¹

¹Institut pour les océans et les pêches, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, a.mclaskey@oceans.ubc.ca, b.hunt@oceans.ubc.ca, j.garzke@oceans.ubc.ca

²Pêches et Océans Canada, West Vancouver, Colombie-Britannique, Ian.Forster@dfo-mpo.gc.ca

60.1. Faits saillants

- Nous avons caractérisé la composition en acides gras de la matière organique particulaire collectée environ chaque semaine de 2015 à 2018 à la station QU39 de l'Institut Hakai dans le nord du détroit de Georgie.
- La composition en acides gras révèle un fort cycle saisonnier et une variabilité interannuelle des acides gras importants sur le plan nutritionnel.

60.2. Description de la série chronologique

Cette série chronologique est constituée de la composition en acides gras de la matière organique particulaire (MOP) échantillonnée chaque semaine depuis 2015 par l'Institut Hakai à la station QU39, près de l'île Quadra (50.0307 N, -125.099 O), dans le nord du détroit de Georgie (figure 60-1). L'eau de mer a été recueillie avec des bouteilles Niskin à des profondeurs de 0, 5, 10 et 30 m, et on a passé 2,5 litres prélevés à chaque profondeur (10 litres au total) sur un filtre GF/F avant de les stocker à -80 °C jusqu'à l'analyse.

Les acides gras ont été mesurés sous forme d'esters méthyliques d'acides gras (EMAG) quantifiés par chromatographie en phase gazeuse. L'extraction et l'estérification des lipides ont été réalisées en une seule étape selon un protocole modifié à partir de Puttick *et al.* (2009). Pour résumer, des échantillons lyophilisés ont été extraits dans 2 ml de HCl 3M dans du méthanol et 0,5 ml d'hexane, et incubés à 80 °C pendant la nuit. Le lendemain, on a ajouté 2 ml de solution de NaCl à 0,9 % et 1,5 ml d'hexane, centrifugé les échantillons et séparé la couche d'hexane contenant les EMAG pour analyse. Les EMAG ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (SCION 436, gaz porteur d'hydrogène), séparés à l'aide d'une colonne Agilent CP-Sil 88 (50 m, 0,25 mm de diamètre), identifiés à l'aide de mélanges étalons d'acides gras (Nu-Chek Prep GLC-37, GLC-463) et de comparaisons avec d'autres laboratoires, et quantifiés en ajoutant une quantité connue de C19:0 à chaque échantillon à la première étape de l'extraction.

60.3. État et tendances

Pendant les quatre années, les acides gras de la matière organique particulaire suivent un cycle saisonnier avec des concentrations plus élevées d'acides gras totaux et d'acides gras polyinsaturés (AGPI) importants sur le plan nutritionnel durant la saison de productivité biologique (figure 60-2). En général, la composition des acides gras est caractéristique d'une communauté dominée par les diatomées au printemps (mars et avril) et d'une communauté

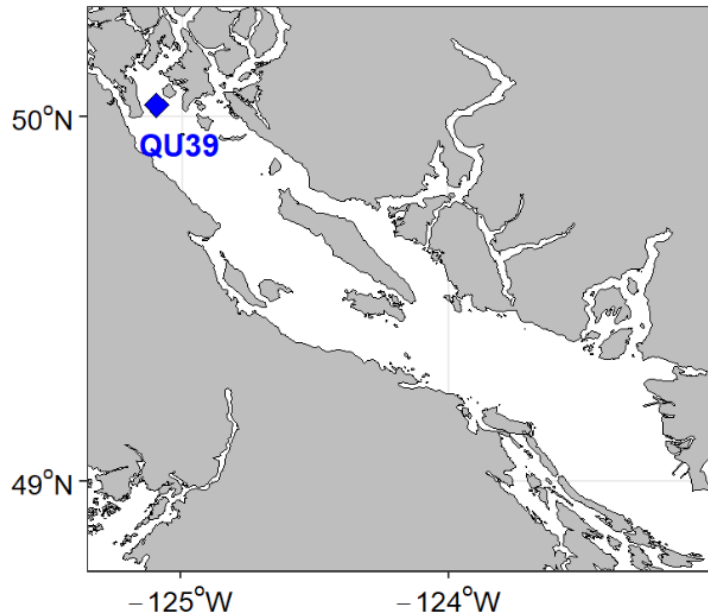


Figure 60-1. Emplacement de la station QU39, dans le nord du détroit de Georgie, où la série chronologique est échantillonnée.

phytoplanctonique mixte complexe, potentiellement composée de cryptophytes, de chlorophytes et de dinoflagellés à la fin de l'été et en automne (septembre et octobre). En hiver, la matière organique particulaire est principalement composée d'acides gras saturés qui sont moins labiles que les autres acides gras et représentent donc une réserve de matière organique particulaire plus dégradée. Ce signal était particulièrement marqué pendant l'hiver 2017-2018. En 2016, la communauté dominée par les diatomées a persisté tout l'été, tandis qu'à l'été 2015 et 2017, la matière organique particulaire était principalement composée de la communauté mixte complexe. En 2018, les deux communautés étaient présentes tout l'été.

60.4. Conséquences de ces tendances

Ces données révèlent une variabilité interannuelle de la qualité nutritionnelle de la matière organique particulaire qui influence probablement les niveaux trophiques supérieurs. Les différences d'une année sur l'autre dans la composition des acides gras de la matière organique particulaire sont en grande partie dues aux changements des acides gras essentiels que sont l'acide alpha-linolénique (C18:3n-3) et l'acide stéaridonique (C18:4n-3), qui sont tous deux des acides gras polyinsaturés importants sur le plan nutritionnel et des précurseurs de l'acide eicosapentaénoïque (AEP) et de l'acide docosahexaénoïque (ADH). Ce travail fournit une base pour utiliser les acides gras comme traceurs du réseau trophique dans la communauté zooplanctonique, qui sont également échantillonnés au même endroit, et a des implications pour la croissance et la survie des poissons, y compris les saumons juvéniles.

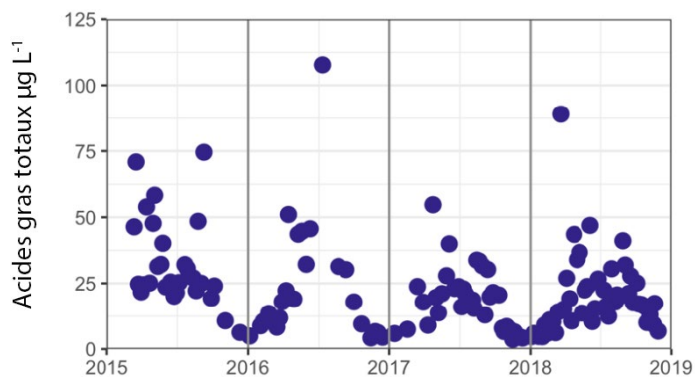


Figure 60-2. Série chronologique des acides gras totaux ($\mu\text{g L}^{-1}$) de la matière organique particulaire collectée à la station QU39 de 2015 à 2018.

60.5. References

- Puttick, D., Dauk, M., Lozinsky, S. and Smith, M.A. 2009. Overexpression of a FAD3 Desaturase Increases Synthesis of a Polymethylene-Interrupted dienoic fatty acid in seeds of *Arabidopsis thaliana* L. *Lipids* 44: 753-757.

61. L'INITIATIVE DE TRANSITION DE L'AQUACULTURE DE BROUGHTON

Thomas A. Okey, directeur et coordonnateur des Premières Nations

Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton, *Première Nation Kwikwasut'Inuxw Haxwa'mis*, *Première Nation Mamalilikulla* et *Première Nation Namgis*,
Tom.Okey@namgis.bc.ca

61.1. Faits saillants

- Trois Premières Nations de la région de Broughton ont choisi un avenir pour le saumon sauvage.
- De nombreux accords encadrent l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton.
- L'Initiative met en œuvre trois accords de contribution du Fonds de restauration et d'innovation pour le saumon de la Colombie-Britannique.
- La surveillance et l'évaluation des bassins versants et des milieux marins dans la zone de Broughton peuvent être communiquées publiquement et utilisées dans l'évaluation intégrée des écosystèmes.
- Un avenir pour le saumon sauvage améliorera la santé des écosystèmes ainsi que la subsistance, la santé et la prospérité des communautés des Premières Nations.

61.2. Sommaire

La *Première Nation Mamalilikulla*, la *Première Nation Namgis* et la *Première Nation Kwikwasut'Inuxw Haxwa'mis* ont dirigé l'élaboration d'accords de gouvernement à gouvernement, de recommandations et de cadres pour activer et superviser le rétablissement du saumon sauvage du Pacifique sur leurs territoires dans la région de Broughton. Reconnaissant que différents aspects de l'élevage du saumon, notamment l'infestation par le pou du poisson, les agents pathogènes et la pollution, sont nuisibles pour le saumon sauvage du Pacifique, les accords établissent un calendrier pour le retrait des élevages de saumon et fournissent des cadres et du soutien pour un plan de surveillance et d'inspection autochtone visant à superviser et à réglementer les opérations et la mise hors service des élevages de saumon. Les accords-cadres prévoient également la création d'un laboratoire de génomique des Premières Nations de la Colombie-Britannique et l'élaboration d'un projet de restauration du saumon sauvage qui comprend des évaluations, l'établissement de priorités et la restauration de l'habitat du saumon dans les bassins versants et les estuaires des territoires de ces trois Premières Nations.

61.3. Accords-cadres

Les accords suivants, auxquels sont parties les Premières Nations susmentionnées, le gouvernement de la Colombie-Britannique, le gouvernement du Canada et des entreprises aquacoles privées, constituent le cadre de l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton.

61.3.1. *Lettre d'entente*

- Une lettre d'entente entre les gouvernements des Premières Nations et le gouvernement provincial (Premières Nations et C.-B. 2018a) a promulgué un processus pour aborder l'aquaculture des poissons à nageoires dans la région de Broughton, y compris des recommandations sur le remplacement de la tenure provinciale.

61.3.2. *Recommandations du Comité directeur*

- La lettre d'entente a créé un Comité directeur chargé d'élaborer des solutions de collaboration pour les fermes aquacoles de poissons à nageoires dans la région de Broughton (Premières Nations et C.-B. 2018b), y compris un calendrier pour la mise hors service des salmonicultures.

61.3.3. *Accord-cadre sur le Plan de surveillance et d'inspection autochtone*

- L'accord-cadre sur le Plan de surveillance et d'inspection autochtone, conclu entre les entreprises d'aquaculture Mowi West Canada et Cermaq Canada et la *Première Nation Kwikwasut'Inuxw Haxwa'mis*, la *Première Nation Mamalilikulla* et la *Première Nation 'Namgis* est mis en œuvre par l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton et toutes les parties concernées (voir la figure 61-1) (Premières Nations, Mowi, Cermaq 2019).

61.3.4. *Accords de contribution dans le cadre du Fonds de restauration et d'innovation pour le saumon de la Colombie-Britannique*

Trois contributions du Fonds de restauration et d'innovation pour le saumon de la Colombie-Britannique sont approuvées pour soutenir les projets suivants de l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton :

- Le projet de laboratoire de génomique indépendant des Premières Nations de la Colombie-Britannique
- Le projet de restauration du saumon sauvage de Broughton
- Le Plan de surveillance et d'inspection autochtone des Premières Nations de Broughton

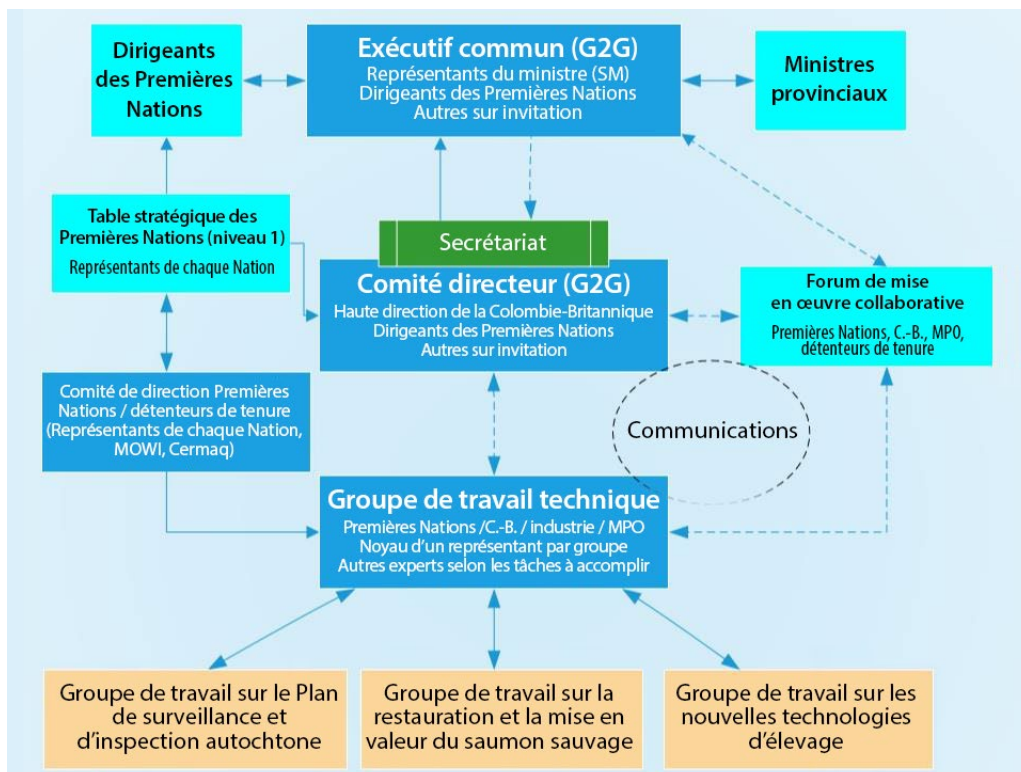


Figure 61-1. Structure de gouvernance et de mobilisation pour le Plan de surveillance et d'inspection autochtone (Premières Nations, Colombie-Britannique, MPO, Cermaq, Mowi 2019).

61.4. Mesures de gestion

La proposition des trois Premières Nations de mettre en œuvre une approche du nombre total de poux par zone pour calculer des seuils annuels de pou du poisson propres aux fermes salmonicoles de la région de Broughton à partir de 2021 est un exemple de progrès dans la gestion des impacts du pou du poisson dans la région de Broughton pendant la transition vers la priorisation des écosystèmes du saumon sauvage. Cette proposition fondée sur la science part de l'hypothèse qu'une telle approche permettrait de gérer le plus efficacement possible l'exposition des saumons en dévalaison aux concentrations de poux du poisson associées aux fermes salmonicoles (voir la figure 61-2).

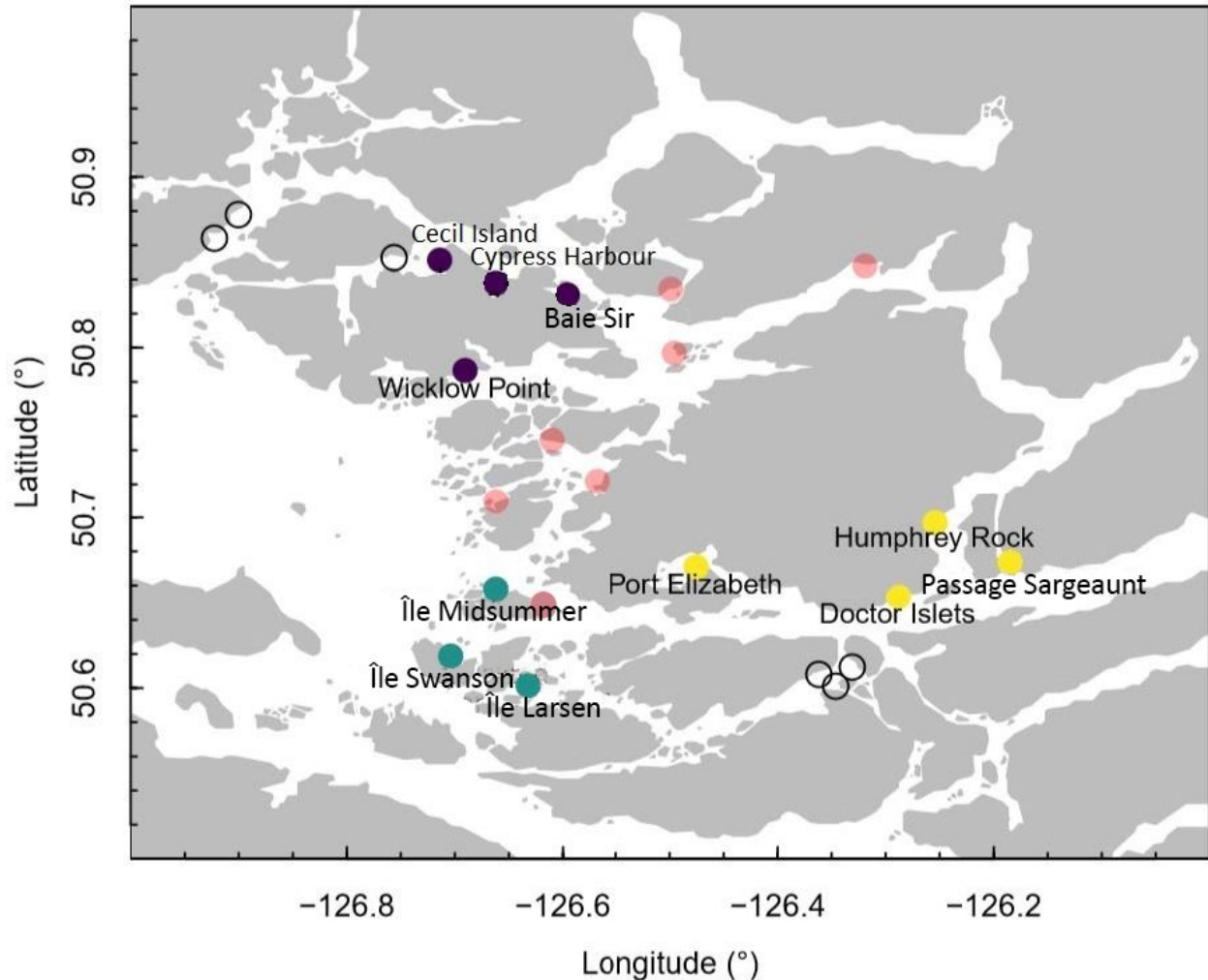


Figure 61-2. Groupes restants de fermes salmonicoles dans la région de Broughton (points violets, verts et jaunes). Les points roses indiquent les fermes salmonicoles récemment retirées (figure préparée par Andrew Bateman pour le présent projet).

61.5. Intégration des données pour la communication publique et l'évaluation intégrée des écosystèmes

Toutes les parties disposant de séries chronologiques de données relatives à la zone de Broughton, telles que Mowi, Cermaq, le MPO, les ministères de la Colombie-Britannique, l'ONC, les Premières Nations et des sources américaines comme NOAA Fisheries pourraient partager des ensembles de données sur des plateformes en ligne telles que le Data Plotting Tool développé par NOAA Fisheries (voir la figure 61-3) (NOAA 2020) ou d'autres indicateurs et plateformes de partage de données de ce type. Cette approche pourrait également être appliquée à d'autres zones marines du Pacifique canadien ou à l'ensemble du Pacifique canadien et des autres océans du Canada. Les informations provenant de l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton et du Plan de surveillance et d'inspection autochtone, ainsi que les rapports du MPO sur l'état de l'océan Pacifique, peuvent tous être intégrés à ces

plateformes et considérés comme la base des évaluations régionales intégrées des écosystèmes, car ils peuvent guider la gestion adaptative.

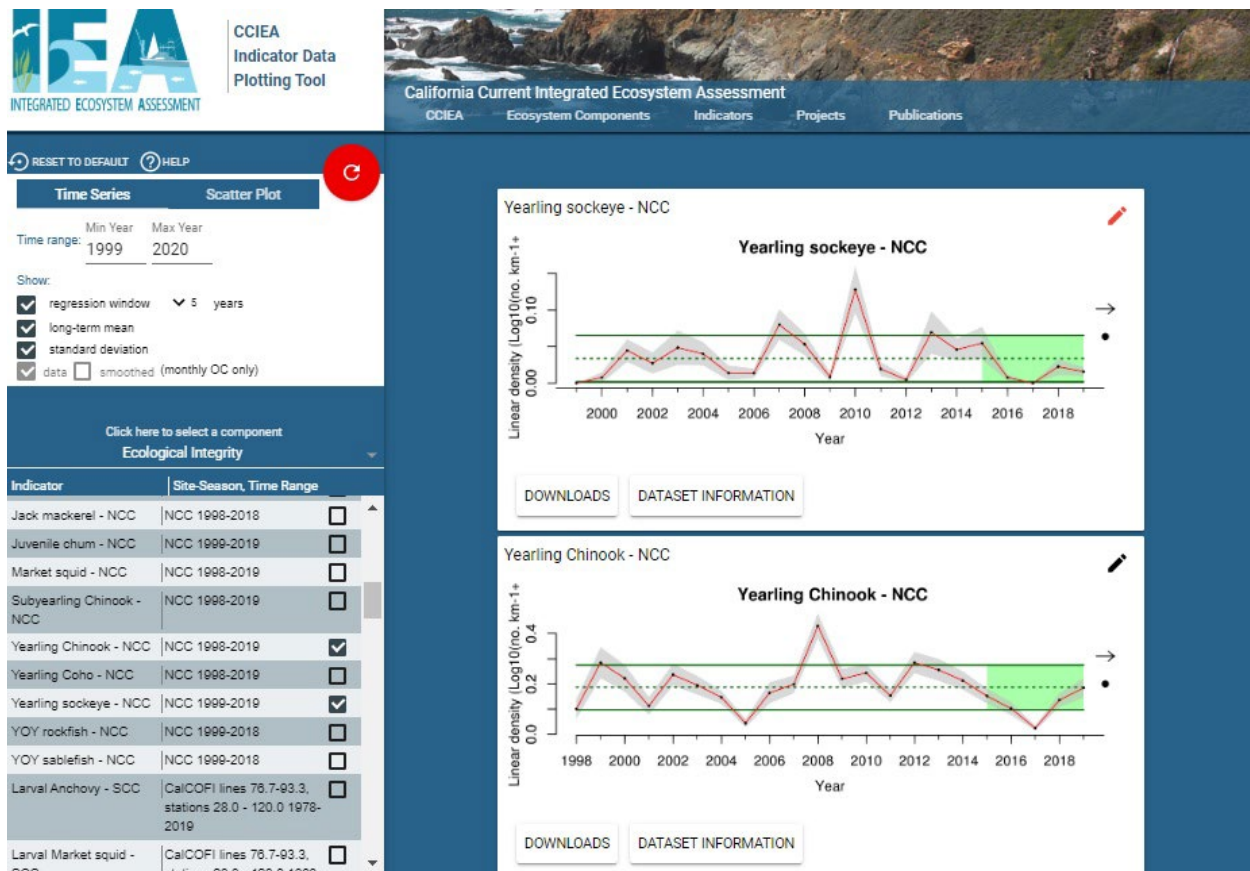


Figure 61-3. Le Custom Data Plotting Tool se trouve sur le site Web California Current Integrated Ecosystem Assessment (NOAA 2020) et présente des ensembles de données de séries chronologiques sur le nord du courant de la Californie.

61.6. Conclusion

L'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton est une occasion pour l'industrie de l'aquaculture en Colombie-Britannique de faire la transition vers des pratiques plus durables et de s'adapter à la surveillance et à la réglementation des Premières Nations sur les territoires desquelles elle exerce ses activités. Elle offre également à la province de la Colombie-Britannique et au gouvernement du Canada la possibilité de reconnaître la primauté de la conservation, de l'intendance et de la gestion des ressources naturelles par les Premières Nations dans ces territoires, et de travailler avec les communautés autochtones à un avenir socioécologique plus sain. De plus, elle permet aux membres et aux communautés des Premières Nations de manifester leurs connaissances, leurs compétences et leur pouvoir fondamental en matière de conservation et de gestion des ressources naturelles sur leurs territoires. Reconnaissant que toutes les choses sont liées, les trois Premières Nations de l'Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton donnent la priorité à la restauration et au rétablissement des populations de « saumon sauvage du Pacifique », sachant que cela contribuera également au rétablissement de la biodiversité et de la productivité historiques dans

la région, en plus d'autres aspects des structures, fonctions et valeurs écosystémiques et socioculturelles.

61.7. References

- First Nations and BC. 2018a. Letter of Understanding regarding a government-to-government process to address finfish aquaculture in the Broughton Area, including recommendations on Provincial Tenure Replacement Decisions. Retrieved from https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/consulting-with-first-nations/agreements/broughton_nations_and_bc_letter_of_understanding_june_2018_final_signed.pdf
- First Nations and BC. 2018b. Collaborative Solutions for Finfish Aquaculture Farms in the Broughton Area: Steering Committee Recommendations. Retrieved from <https://news.gov.bc.ca/releases/2018PREM0151-002412>
- First Nations, Mowi, Cermaq. 2019. Indigenous Monitoring and Inspection Plan Framework Agreement. Retrieved from <https://www.mccollmagazineonline.com/indigenous-monitoring-and-inspection-plan-for-the-broughton-archipelago---.html>
- First Nations, BC, DFO, Cermaq, Mowi. 2019. Broughton Finfish Aquaculture Transition and Wild Salmon Restoration Implementation Plan.
- NOAA. 2020. California Current Integrated Ecosystem Assessment: Custom Plotting Tool. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved from <https://oceanview.pfeg.noaa.gov/cciea-plotting/?opentab=0&ind=1>

62. BIORÉGIONALISATION DU ZOOPLANCTON DANS L'OCÉAN CÔTIER DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Patrick Pata^{1,2}, Andrew Margolin¹, Moira Galbraith³, Kelly Young³, Ian Perry⁴ et Brian P.V. Hunt^{1,2,5}

¹Institut des océans et des pêches, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, p.pata@oceans.ubc.ca

²Département des sciences de la terre, des océans et de l'atmosphère, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique

³Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique

⁴Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique

⁵Institut Hakai, Victoria, Colombie-Britannique

L'objectif du projet est de développer une biorégionalisation dynamique de l'océan côtier de la Colombie-Britannique, fondée sur la répartition du zooplancton. Un sous-ensemble de la base de données sur le zooplancton de la région du Pacifique de Pêches et Océans Canada a été analysé. Il comprenait 3 703 échantillons prélevés au filet vertical au printemps et en été de 1995 à 2014, avec 464 taxons de zooplancton identifiés au niveau de l'espèce ou au niveau taxonomique le plus bas possible. Une analyse en coordonnées principales (ACP) a été effectuée sur la dissimilarité de Sorensen de la matrice présence/absence. Les axes de l'analyse en coordonnées principales ont été corrélés avec les métadonnées des échantillons, la température et la salinité sur place intégrées sur la profondeur de trait de filet et la couche supérieure de 0 à 50 m, et les indices climatiques. L'axe 1 (variance de 22,8 % expliquée) représentait le gradient bathymétrique (de profond à peu profond) et l'axe 2 (variance de 10,1 % expliquée), le gradient de salinité (d'estuaire à océanique). Les axes 3 et 4 (variance de 9,7 % expliquée) représentaient des gradients temporels mixtes de la variabilité interannuelle à décennale. Les 16 premiers axes de l'analyse, représentant 75 % de la variance totale, ont été utilisés dans une analyse de concentration à k-moyennes. Sept biorégions ont été déterminées (figure 62-1) pour représenter des communautés de zooplancton typiques de (1) la zone hauturière nord/ouest, (2) la zone hauturière sud/est, (3) la zone profonde du plateau, (4) la zone côtière froide du plateau, (5) la zone côtière chaude du plateau, (6) la zone estuarienne profonde et (7) la zone estuarienne peu profonde. Une étude plus approfondie de l'affectation des biorégions pour les stations de recherche fréquemment échantillonnées (figure 62-1) a fait ressortir une composante temporellement dynamique de la variabilité intra-annuelle et interannuelle. La transformation log de corde des abondances des taxons a été corrélée avec les axes de l'analyse en coordonnées principales et utilisée dans une analyse de la valeur des indicateurs par rapport aux sept biorégions. On a ainsi démontré la sensibilité à la biorégionalisation au niveau de l'espèce, et que les abondances relatives des taxons courants de zooplancton étaient les plus indicatrices des biorégions. Le calcul de la moyenne de la biomasse de tous les échantillons dans chaque biorégion a fait apparaître des différences régionales dans la biomasse totale du mésozooplancton et la composition des communautés. Le nombre de biorégions a été choisi de manière à produire des profils qualitativement pertinents. Les travaux futurs consisteront à utiliser une base quantitative et écologiquement significative pour délimiter les biorégions.

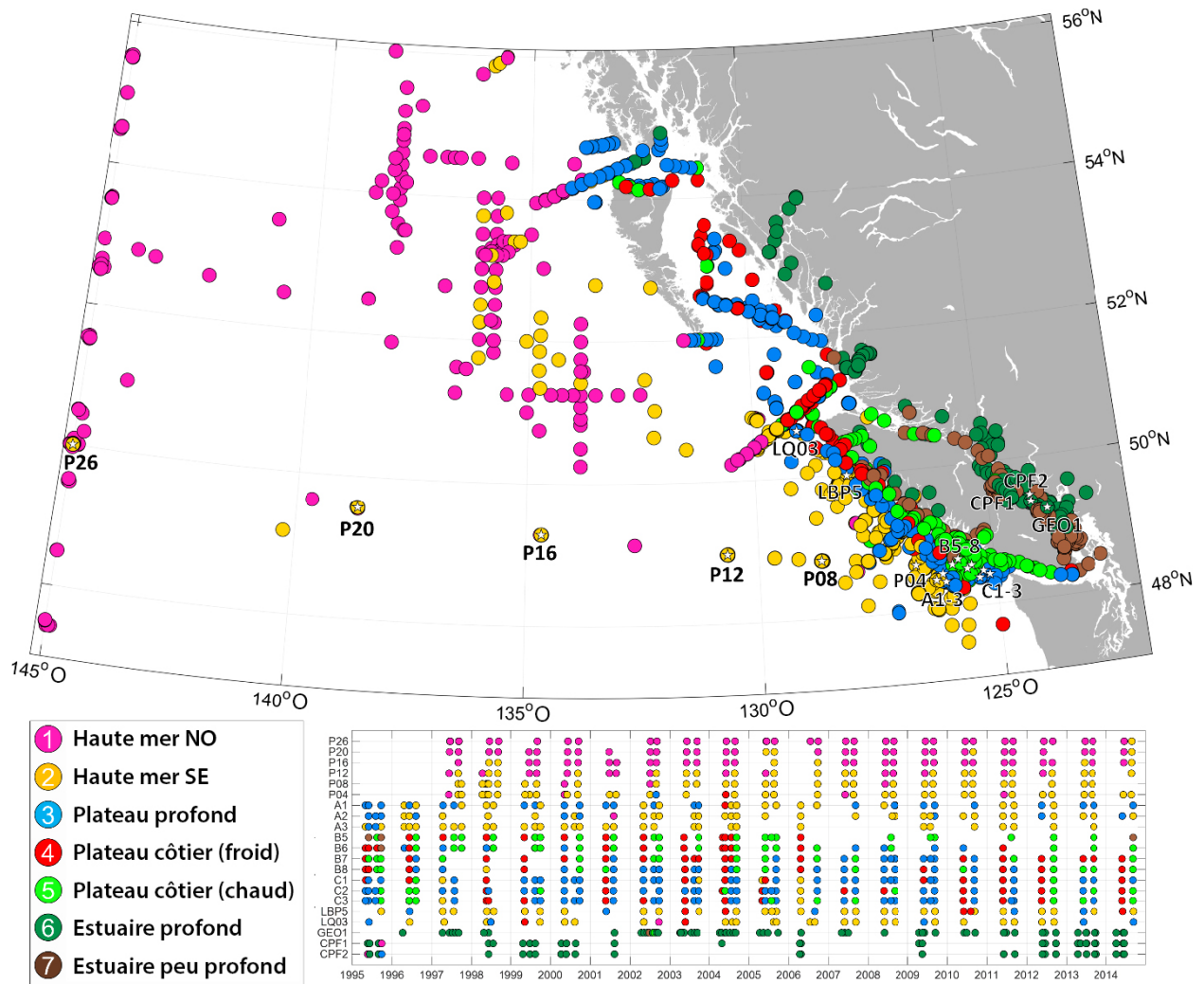


Figure 62-1. La figure du haut illustre les sept biorégions représentant les communautés de zooplancton. Légende en bas à gauche. La grappe la plus récente se trouve au sommet, car les échantillons se chevauchent dans l'espace. La figure en bas à droite représente une série chronologique des stations les plus souvent échantillonnées (marquées sur la carte).

63. UNE CLIMATOLOGIE DU DÉTROIT DE GEORGIE : L'ENSEMBLE DE DONNÉES DE SCIENCE CITOYENNE DE LA FSP 2015-2019

Richard Pawlowicz¹, Isobel Pearsall², Svetlana Esenkulova², Sam Stevens¹, Ben Skinner² et Ryan Flagg³

¹Ocean Dynamics Laboratory, Département des sciences de la terre, des océans et de l'atmosphère, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique
rpawlowicz@eoas.ubc.ca, sstevens@eoas.ubc.ca

²Fondation du saumon du Pacifique, Vancouver, Colombie-Britannique, pearsalli@psf.ca, svesen@uvic.ca, bskinner@psf.ca

³Ocean Networks Canada, Victoria, Colombie-Britannique, rmflagg@uvic.ca

63.1. Contexte

Un programme de « science citoyenne » visant à collecter des données hydrographiques a été proposé à l'origine par Eddy Carmack, de Pêches et Océans Canada (MPO), qui a imaginé une flottille de petites embarcations composée de bateaux privés qui recueilleraient des données dans des zones du détroit de Georgie (DG) qui se chevauchent, les mêmes jours toute l'année. Ce programme existe maintenant depuis 2015, financé et géré par la Fondation du saumon du Pacifique (FSP).

Les principaux objectifs du programme sont les suivants :

- Réaliser la surveillance océanographique du détroit de Georgie à une échelle temporelle et spatiale jamais atteinte auparavant.
- Examiner comment les changements de la température océanique, de la teneur en oxygène, de la salinité et des nutriments ont un impact sur le réseau trophique, passant du phytoplancton au zooplancton et finalement au saumon du Pacifique.
- Déterminer la prévalence des blooms phytoplanctoniques nuisibles dans tout le détroit de Georgie.
- Déterminer la période et la propagation de la prolifération printanière dans le détroit.

Pour mener à bien ce programme, des membres formés des communautés locales recueillent des informations dans le détroit de Georgie une à trois fois par mois tout au long de l'année à environ 70 sites (figure 63-1). Des profils de conductivité-température-profondeur (CTP), avec des informations supplémentaires sur la fluorescence de la chlorophylle et la teneur en oxygène dissous, sont collectés à toutes les stations, ainsi que des mesures prises d'après le disque de Secchi et la teneur en phytoplancton. Des échantillons de nutriments à 0 et 20 m de profondeur sont prélevés à une quarantaine de stations, la chlorophylle filtrée à 5 m de profondeur à neuf stations, et des échantillons de zooplancton prélevés par des traits de filets à trois stations.

Le soutien logistique, ainsi que le traitement et l'analyse initiale de ces données de terrain, sont assurés par des groupes de la FSP, de l'Université de la Colombie-Britannique, d'Ocean Networks Canada (ONC), de Pêches et Océans Canada et de l'Université de Victoria. Les données de profils électroniques sont gérées par ONC, qui a développé une application de

transfert de données pour téléphone intelligent afin que les petits bateaux puissent lui envoyer les profils directement et qui en assure le contrôle de la qualité avant de les archiver et de les mettre à disposition gratuitement sur Internet. ONC effectue également des étalonnages d'instruments et offre un soutien technique.

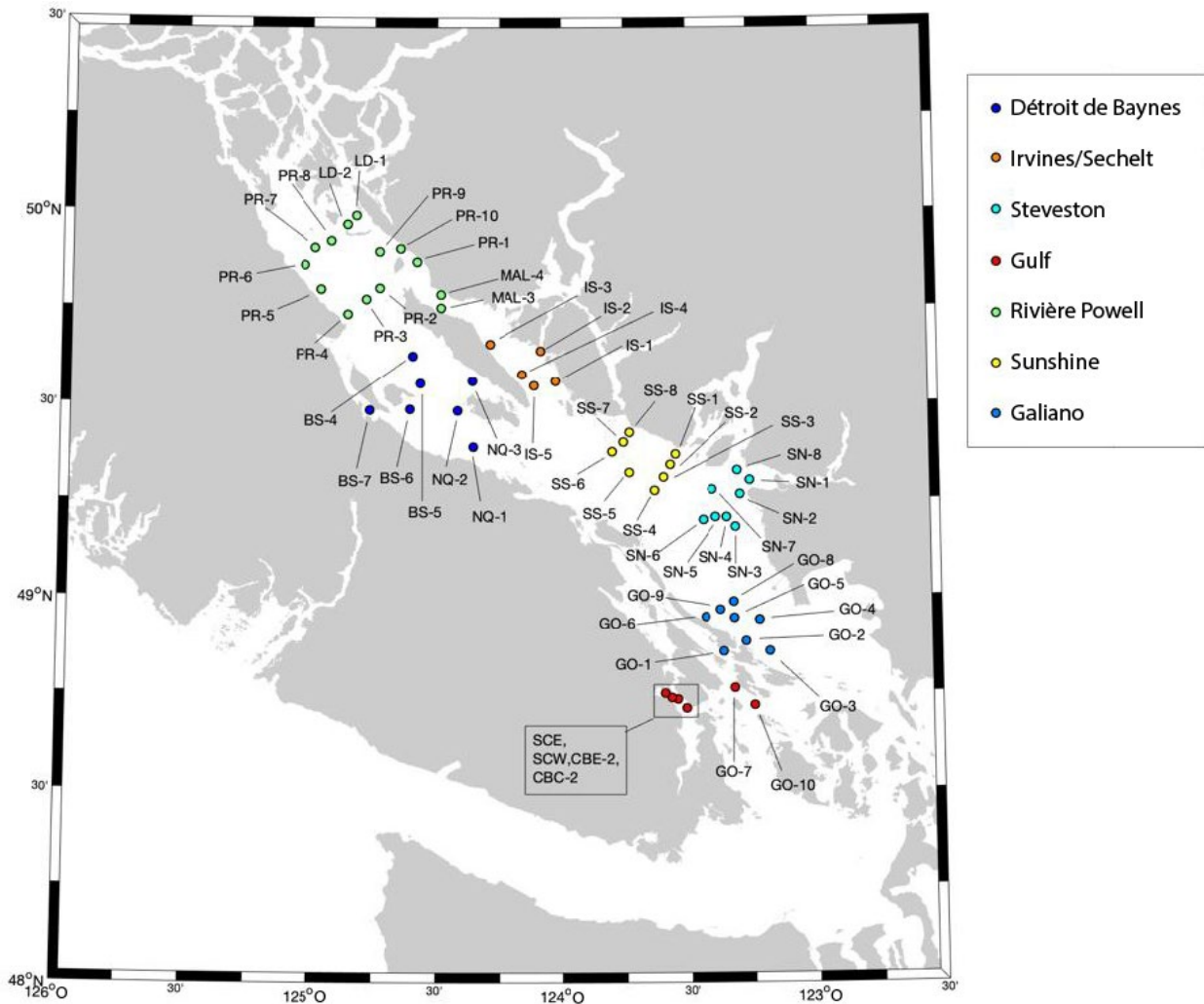


Figure 63-1. Carte du détroit de Georgie avec les lieux d'échantillonnage du Programme de science citoyenne de 2019.

63.2. Description de la série chronologique

Un grand nombre d'échantillons ont été recueillis chaque année entre 2015 et 2019 (tableau 63-1). Le stockage des données, le contrôle de la qualité et les étalonnages sont effectués par ONC et l'Université de la Colombie-Britannique. Toutes les données sont disponibles gratuitement sur Oceans 2.0 et les données, cartes et animations sont en libre accès au Centre de données du détroit de Georgie, à l'adresse www.sogdatacentre.ca. On y retrouve notamment les données des profils CTP et des données sur les nutriments (nitrate+nitrite, silicate et phosphate), la chlorophylle *a* filtrée, les profondeurs d'après le disque de Secchi, le phytoplancton (y compris

les proliférations phytoplanctoniques nuisibles) et l'abondance et la biomasse du zooplancton par espèce.

Rich Pawlowicz et d'autres de ses collègues à l'Université de la Colombie-Britannique préparent actuellement un atlas climatologique. La figure 63-2 donne un exemple du type d'informations de séries chronologiques qui sont rassemblées. Le programme de science citoyenne fournit des données uniques pour l'ensemble du détroit à une résolution qui n'était pas possible auparavant.

Tableau 63-1. Nombre d'échantillons prélevés chaque année entre 2015 et 2019.

Années d'échantillonnage	Sorties en mer	Profils CTP	Nutriments collectés	Phytoplancton collecté	Chlorophylle collectée	Enregistrements d'après le disque de Secchi	Zooplancton collecté	Nombre total d'échantillons
2015	150	1 132	2 264	1 381	193	2 088	146	7 204
2016	199	1 445	1 587	2 064	349	2 825	60	8 330
2017	197	1 420	1 529	1 934	340	2 814	54	8 091
2018	205	1 160	1 621	2 037	362	2 903	69	8 152
2019	133	741	972	1 053	186	1 482	54	4 488
5 ans	884	5 898	7 973	8 469	1 430	12 112	383	36 265

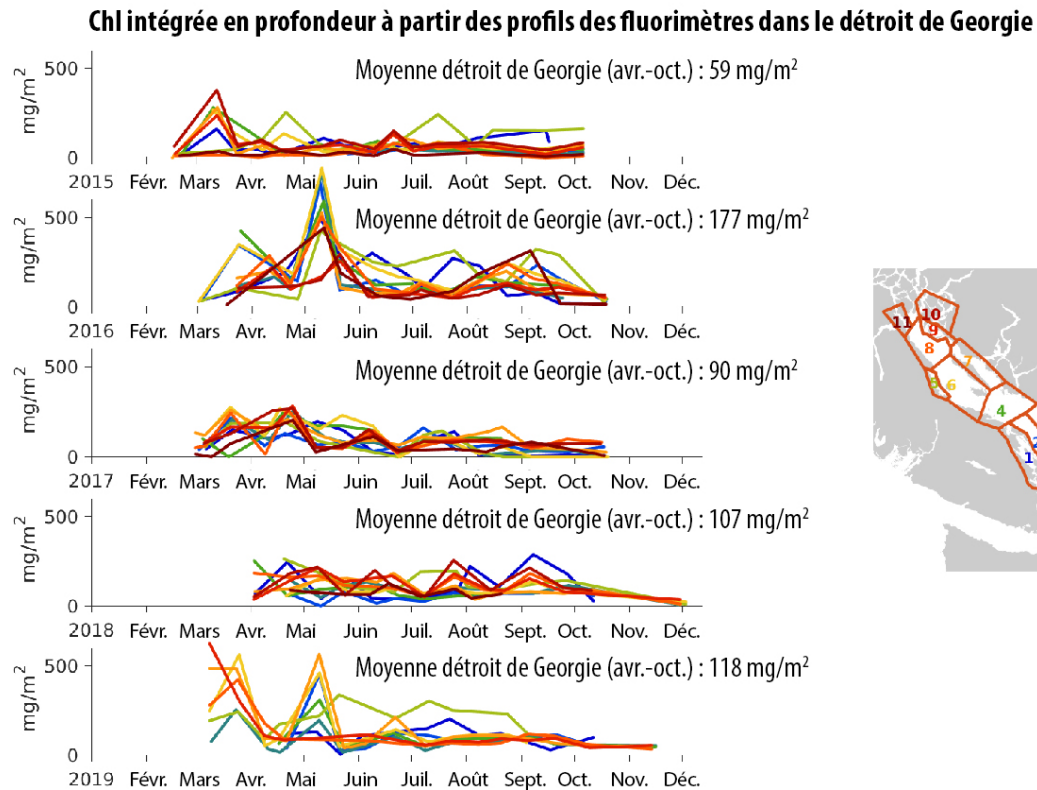


Figure 63-2. Chl-a intégrée en profondeur à partir des profils des fluorimètres CTP dans le détroit de Georgie de 2015 à 2019 (le graphique supérieur est celui de 2015, le graphique inférieur celui de 2019).

63.3. Remerciements

Ce projet ne serait pas possible sans le travail acharné de nombreuses personnes, que nous remercions chaleureusement. L'épine dorsale logistique du projet est gérée par Nicole Frederickson (actuellement) et Colin Novak (de 2015 à 2019), qui ont également répondu à de nombreuses questions. Des scientifiques du MPO ont aidé à la planification initiale et à l'établissement du programme. De nombreuses personnes d'ONC ont participé aux étalonnages, au développement de l'application et à l'assurance de la qualité/contrôle de la qualité. L'évaluation scientifique des données a été réalisée dans le laboratoire Pawlowicz de l'Université de la Colombie-Britannique, avec l'aide de Janet Lam, Nicholas Larsen, Reese Chappel et Trent Suzuki. Enfin, ce projet n'aurait pas vu le jour sans les scientifiques citoyens dévoués dans le détroit de Georgie qui prennent la mer pour aller effectuer ces mesures. Et merci à la FSP pour son financement continu de cet important programme.

64. LES MICROCYSTINES DANS LES EAUX CÔTIÈRES DU SUD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET LEURS EFFETS SUR LA SANTÉ DES SAUMONS

Ryan B. Shartau*¹, Lenora Turcotte¹, Albert Caballero Solares², Heinrich Snyman³, Pearse McCarron⁴, Julia C. Bradshaw¹, Matthew Rise² et Stewart C. Johnson¹.

¹Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, *Ryan.Shartau@dfo-mpo.gc.ca

² Sciences de l'océan, Université Memorial, St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador

³ Division des services de laboratoire, Université de Guelph, Kemptville, Ontario

⁴ Conseil national de recherches, Halifax, Nouvelle-Écosse

Les toxines produites par les algues nuisibles ont un impact négatif sur les organismes marins, y compris le saumon sauvage et d'élevage. Dans les eaux côtières du sud de la Colombie-Britannique (C.-B.), de nombreux épisodes de mortalité attribués à l'exposition à des toxines d'algues ont été enregistrés dans les exploitations aquacoles. En outre, l'analyse histologique de saumons sauvages permet de penser qu'ils sont également exposés à des toxines d'algues pendant leur séjour en mer. L'une des maladies attribuées à l'exposition aux toxines d'algues en Colombie-Britannique est la maladie du foie des parcs en filet (NPLD), une maladie hépatique toxicopathique signalée pour la première fois dans l'État de Washington et en Colombie-Britannique vers 1990 (Kent 1990). Ces dernières années, l'incidence et la gravité de cette maladie ont augmenté dans les fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique, entraînant des pertes de production de plusieurs millions de dollars. Cette maladie se caractérise par une perte de la structure hépatique macroscopique et des changements histologiques, dont une mégalocytose hépatique importante. Il est intéressant de noter que des lésions similaires ont été signalées chez des saumons chinooks sauvages et d'élevage prélevés dans le détroit de Georgie et en Oregon et chez des saumons roses dans l'archipel de Broughton (Kent *et al.* 1988; Stephen *et al.* 1993). Cette maladie est attribuée à l'exposition aux microcystines (MC), un groupe d'hépatotoxines étroitement apparentées produites par les cyanobactéries (Andersen *et al.* 1993).

Dans ce projet, nous avons établi un programme de surveillance des microcystines et d'autres toxines algales, examiné le rôle des microcystines dans le développement de la maladie du foie des parcs en filet et comparé les processus physiologiques (p. ex. immunitaires, endocriniens, cardiaques et métaboliques) et les effets cellulaires de l'exposition sublétales aux microcystines pertinentes sur le plan de l'environnement sur le saumon de l'Atlantique et le saumon chinook.

La présence de toxines algales a été surveillée à l'aide d'un système de suivi passif des toxines par adsorption en phase solide (SPATT) et d'un échantillonnage discret de l'eau à cinq sites

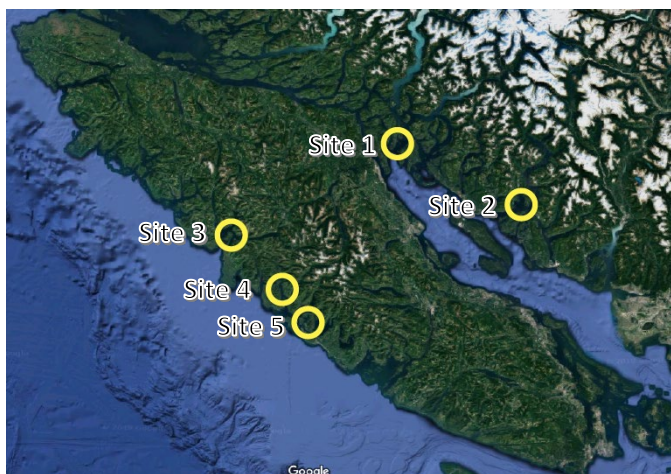


Figure 64-1. Sites d'échantillonnage des microcystines, de l'acide okadaïque et de l'acide domoïque dans le sud de la Colombie-Britannique.

d'exploitations aquacoles de juin 2017 à septembre 2019 (figure 64-1). Les échantillons ont été analysés pour détecter la présence de microcystines, d'acide okadaïque (AO), qui a un mécanisme de toxicité similaire à celui des microcystines, et d'acide domoïque (AD), une toxine potentiellement préoccupante pour les producteurs de saumon. Les trois toxines ont été décelées à tous les sites les deux années dans les échantillons d'eau et à l'aide du système SPATT. En ce qui concerne les microcystines, la fourchette des échantillons SPATT à tous les sites était de 0,04 – 6,70 ng MC g SPATT⁻¹ jour⁻¹ (figure 64-2) et les concentrations dans les

échantillons d'eau variaient de 0,15 – 2,26 ng MC L⁻¹ à tous les sites; ces valeurs sont comparables aux milieux marins de la Californie où les microcystines dans les eaux côtières sont un problème environnemental reconnu (Gibble *et al.* 2016; Peacock *et al.* 2018).

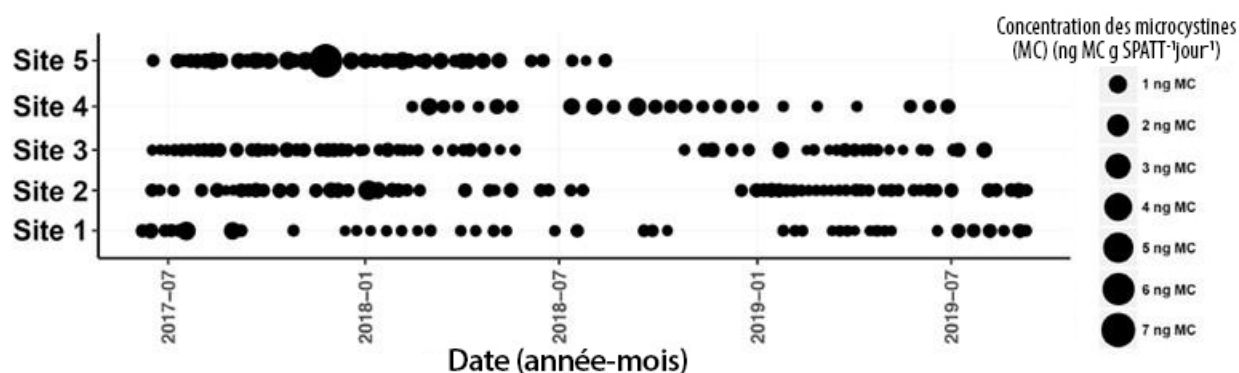


Figure 64-2. Concentration des microcystines dans les échantillons SPATT (suivi des toxines par adsorption en phase solide) (ng MC g SPATT⁻¹ jour⁻¹) à cinq sites entre juin 2017 et septembre 2019 (voir la carte sur la figure 64-1).

L'effet d'une exposition sublétales aux microcystines sur le saumon a été étudié par gavage oral de saumons de l'Atlantique et chinooks juvéniles à l'aide de différentes concentrations de cyanobactéries productrices de microcystines (1 700, 2 200 et 3 200 µg kg⁻¹), de cyanobactéries non toxiques et de solution saline. Les poissons ont été échantillonnés à cinq moments après le gavage (6, 12, 24, 72 h et 2 semaines) et des tissus (foie, partie antérieure des reins et cerveau) ont été prélevés pour l'histologie et l'expression génique. L'histopathologie a indiqué que les changements structurels hépatiques, notamment une hyperplasie biliaire des cellules préductulaires et une dégénérescence hydropique hépatocellulaire, se produisaient six heures après le gavage chez les deux espèces et persistaient jusqu'à 24 heures; les lésions étaient en grande partie résolues en 72 heures. De même, l'expression des gènes associés à la

fonction hépatique et à la santé du foie était régulée positivement à 6 h et revenue aux niveaux de contrôle 72 h et deux semaines après le gavage. L'expression des gènes de la partie antérieure des reins associés aux réponses immunitaires et inflammatoires a changé de manière similaire. Le gavage d'une seule dose sublétales de microcystines n'a pas produit de mégalo-cytose hépatique, la caractéristique déterminante de la maladie du foie des parcs en filet, même si des changements graves, mais réversibles, sont survenus dans l'histopathologie hépatique, indiquant que les microcystines avaient induit des changements structurels rapides. L'expression génique a démontré une réponse transcriptionnelle due à l'exposition aux microcystines typique de l'exposition aux toxines, car les gènes associés aux réponses immunitaires, inflammatoires et au stress étaient régulés positivement dans le foie et les reins, dénotant un stress dû à l'exposition aux microcystines.

La maladie du foie des parcs en filet ne s'est pas développée chez le saumon de l'Atlantique ou le saumon chinook à la suite de cette expérience d'exposition aux microcystines pertinentes sur le plan de l'environnement. On peut en déduire que le développement de la maladie du foie des parcs en filet chez les poissons sauvages et d'élevage peut nécessiter une exposition à des concentrations plus élevées de microcystines pendant les proliférations ou par l'ingestion d'aliments naturels contaminés, ou une exposition chronique à plus long terme aux microcystines (éventuellement en conjonction avec d'autres toxines) par la consommation d'eau de mer contaminée ou l'absorption par des tissus tels que les branchies. En outre, l'acide okadaïque, présent simultanément à des concentrations beaucoup plus élevées que les microcystines dans nos échantillons, pourrait contribuer au développement de la maladie du foie des parcs en filet, car c'est une hépatotoxine dont le mode de toxicité est similaire.

Chez le poisson-zèbre et le medaka, on a constaté qu'une exposition sublétales aux microcystines avait des effets sur le comportement, la reproduction et la capacité à tolérer d'autres agents de stress en l'absence de maladie (Liu *et al.* 2014; Manach *et al.* 2018). Les effets de l'exposition chronique pertinente sur le plan de l'environnement du saumon aux microcystines et à d'autres toxines d'algues (individuellement ou en combinaison) n'ont pas été examinés. Nous pensons que le saumon a une certaine tolérance naturelle à la présence de toxines dans le milieu marin; cependant, la fréquence ou l'ampleur de l'exposition aux toxines peuvent être modifiées sous l'effet des changements climatiques ou d'autres influences anthropiques (Wells *et al.* 2015). Il reste à étudier les seuils de tolérance sublétales et létales pour les saumons en réponse à l'exposition aux toxines d'algues, et comment l'exposition aux toxines agit sur leur capacité à répondre aux agents de stress environnementaux naturels (p. ex. l'hypoxie ou les changements de température). L'étude des voies d'exposition et de l'impact physiologique de ces toxines sur le saumon (et d'autres organismes marins) sera un élément important pour comprendre les effets des proliférations phytoplanctoniques nuisibles dans les écosystèmes marins, y compris leur rôle possible dans le déclin des populations de saumon (Noakes *et al.* 2000).

64.1. References

- Andersen, R.J., Luu, H.A., Chen, D.Z.X., Holmes, C.F.B., Kent, M.L., Blanc, M.L., Taylor, F.J. R., and Williams, D.E. 1993. Chemical and biological evidence links microcystins to salmon 'netpen liver disease. *Toxicon* 31: 1315–1323.
- Gibble, C.M., Peacock, M.B., and Kudela, R.M. 2016. Evidence of freshwater algal toxins in marine shellfish: Implications for human and aquatic health. *Harmful Algae* 59: 59–66.
- Kent, M.L. 1990. Netpen liver disease (NLD) of salmonid fishes reared in sea water: species susceptibility, recovery, and probable cause. *Diseases of Aquatic Organisms* 8: 21–28.
- Kent, M.L., Myers, M.S., Hinton, D.E., Eaton, W.D., and Elston, R.A. 1988. Suspected toxicopathic hepatic necrosis and megalocystosis in pen-reared Atlantic salmon *Salmo salar* in Puget Sound, Washington, USA. *Diseases of Aquatic Organisms* 4(2): 91-100.
- Liu, W., Qiao, Q., Chen, Y., Wu, K., and Zhang, X. 2014. Microcystin-LR exposure to adult zebrafish (*Danio rerio*) leads to growth inhibition and immune dysfunction in F1 offspring, a parental transmission effect of toxicity. *Aquatic Toxicology* 155: 360–367.
- Manach, S.L., Sotton, B., Huet, H., Duval, C., Paris, A., Marie, A., Yépreman, C., Catherine, A., Mathéron, L., Vinh, J., Edery, M., Marie, B. 2018. Physiological effects caused by microcystin-producing and non-microcystin producing *Microcystis aeruginosa* on medaka fish: A proteomic and metabolomic study on liver. *Environmental Pollution* 234: 523–537.
- Noakes, D.J., Beamish, R.J., and Kent, M.L. 2000. On the decline of Pacific Salmon and speculative links to salmon farming in British Columbia. *Aquaculture* 183: 363–386.
- Peacock, M.B., Gibble, C.M., Senn, D.B., Cloern, J.E., and Kudela, R.M. 2018. Blurred lines: Multiple freshwater and marine algal toxins at the land-sea interface of San Francisco Bay, California. *Harmful Algae* 73: 138–147.
- Stephen, C., Kent, M.L., and Dawe, S.C. 1993. Hepatic megalocytosis in wild and farmed Chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* in British Columbia, Canada. *Diseases of Aquatic Organisms* 16: 35–39.
- Wells, M.L., Trainer, V.L., Smayda, T.J., Karlson, B.S.O., Trick, C.G., Kudela, R.M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulff, A., Anderson, D.M., and Cochlan, W.P. 2015. Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae* 49: 68–93.

65. UTILISER LA SAISONNALITÉ POUR SUIVRE LES MASSES D'EAU DANS UN OCÉAN CÔTIER

Samuel W. Stevens, Rich Pawlowicz et Susan Allen, Département des sciences de la terre, des océans et de l'atmosphère, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique, sstevens@eoas.ubc.ca, rpawlowicz@eoas.ubc.ca, sallen@eoas.ubc.ca

Les eaux intermédiaires du détroit de Georgie reçoivent directement environ la moitié des eaux usées de la région du Grand Vancouver via un émissaire sous-marin au large d'Iona Beach. Cependant, on connaît mal la circulation des eaux intermédiaires qui agit pour disperser les polluants anthropogéniques à la sortie de cet émissaire dans le détroit. Cette étude utilise une synthèse de l'hydrographie tirée de divers programmes de séries chronologiques – dont le plus important est le programme de science citoyenne de la Fondation du saumon du Pacifique – pour y remédier. Auparavant, les études menées dans les eaux de la Colombie-Britannique ont exploité le signal variable dans l'espace de la saisonnalité de quelques stations hydrographiques pour suivre les signaux de la ventilation en subsurface (Leblond *et al.* 1991; Pawlowicz *et al.* 2007). Nous élargissons cette analyse à une échelle régionale, en utilisant les données de plus de 130 stations hydrographiques du détroit de Georgie pour comparer la différence de phase et la variabilité de l'amplitude des cycles saisonniers de la température afin de déduire l'âge et le mélange des masses d'eau. Nous utilisons également les sorties du modèle SalishSeaCast – un modèle barocline tridimensionnel à équations primitives de la mer des Salish – pour compléter ces analyses. Nous constatons que le signal de la ventilation des eaux intermédiaires se propage vers le nord à partir du détroit de Haro à une vitesse moyenne de $1,5 - 2,0 \text{ cm s}^{-1}$, bien que des vitesses de propagation allant jusqu'à 3 cm s^{-1} soient observées dans un courant limitrophe sur les rives est du bassin sud. Les eaux intermédiaires les plus âgées, d'environ 120 jours, se trouvent dans le nord-ouest de la région, où un amortissement de l'amplitude du cycle saisonnier pouvant atteindre 85 % permet de penser qu'un grand pourcentage des eaux intermédiaires a été modifié par des processus de mélange au cours de leur mouvement. Un deuxième signal de renouvellement est relevé dans la couche supérieure des eaux intermédiaires, émanant vers le sud depuis la zone du passage Discovery, bien qu'on ne sache pas précisément s'il indique un nouvel apport d'eau dans le système ou simplement une manifestation des processus de transformation de la masse d'eau dans le passage. Enfin, nous réalisons des expériences de suivi des particules selon le modèle lagrangien de dispersion dans SalishSeaCast afin de suivre les trajectoires des deux flux d'arrivée de ventilation et d'utiliser ces particules virtuelles pour calculer les statistiques de dispersion et de temps de séjour pour la région.

65.1. References

- Leblond, P.H., Ma, H., Doherty, F., and Pond, S. 1991. Deep and Intermediate Water Replacement in the Strait of Georgia. *Atmos.-Ocean* 29: 288-312.
- Pawlowicz, R., Riche, O., and Halverson, M. 2007. The circulation and residence time of the strait of Georgia using a simple mixing-box approach. *Atmos.-Ocean* 45: 173-193.

66. « LACUNES DANS LES DONNÉES » SUR LES ZONES DE PROTECTION MARINE

Di Wan, Pramod Thupaki, Roy Hourston et Charles Hannah, Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Di.Wan@dfo-mpo.gc.ca

Il existe actuellement 14 zones de protection marine (ZPM) au Canada, dont trois dans l'océan Pacifique : le champ hydrothermal Endeavour, le mont sous-marin SGaan Kinghlas-Bowie et les récifs d'éponges siliceuses dans le détroit d'Hécate/bassin de la Reine-Charlotte. Les ZPM sont fondamentales pour la santé du milieu marin et offrent une compréhension scientifique de l'environnement et des communautés de la côte. Les enregistrements de données de l'Institut des sciences de la mer de Pêches et Océans Canada, qui héberge la plupart des données recueillies dans la région du Pacifique, montrent que la distribution des données dans ces trois ZPM n'est pas uniforme dans le temps ou l'espace (figure 66-1). On dispose de davantage de données sur le champ hydrothermal Endeavour que sur les deux autres ZPM, mais elles sont concentrées entre 1985 et 2008; on possède des échantillons depuis les années 1950 jusqu'à aujourd'hui, avec des lacunes au milieu, sur le site du récif d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate; on ne dispose que de quelques échantillons discrets pour certaines années sur le site du mont sous-marin SGaan Kinghlas-Bowie. Des programmes de surveillance continue dans les ZPM sont nécessaires, car ils sont importants pour comprendre les tendances écologiques et environnementales à long terme et l'efficacité de l'outil de gestion des ZPM.

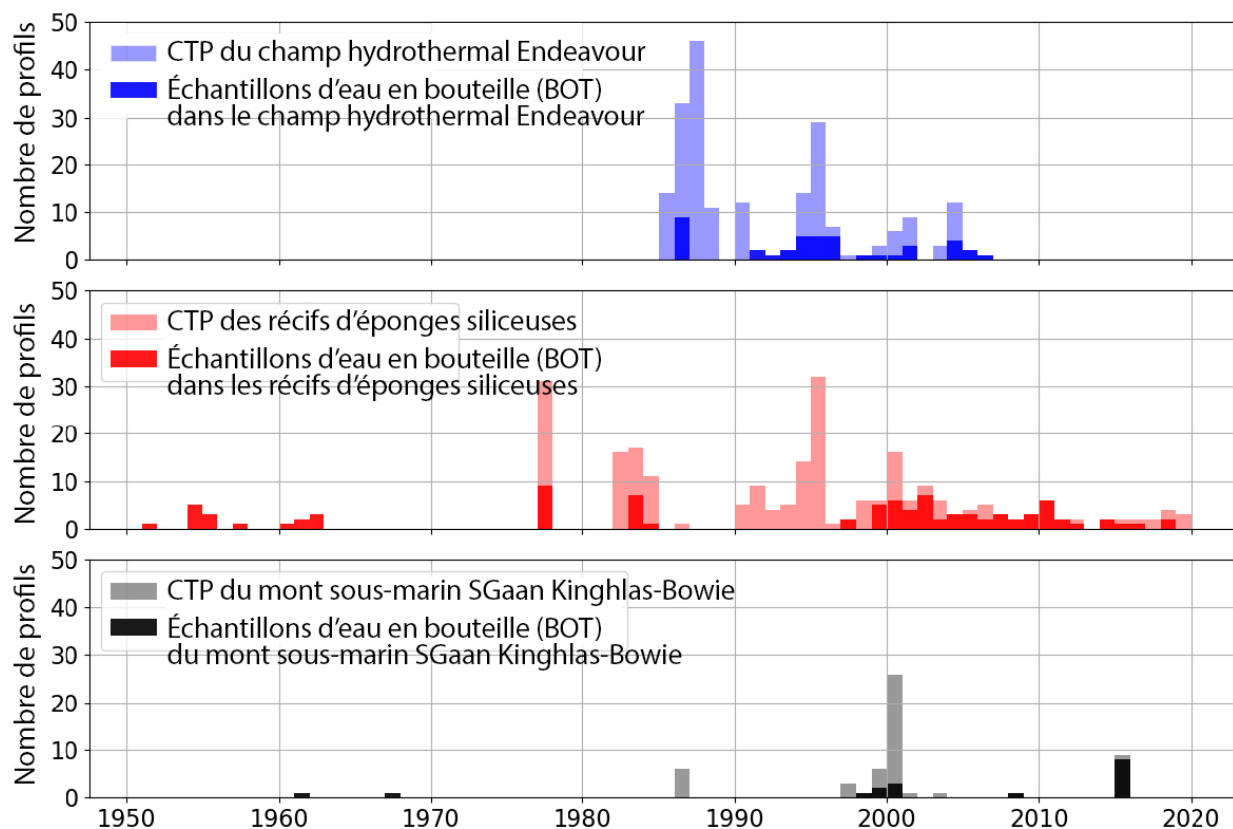


Figure 66-1. Distribution détaillée des échantillons CTP (conductivité, température et profondeur) et des échantillons d'eau en bouteille (BOT) dans les trois ZPM au fil du temps. H.T.V. = champ hydrothermal.

66.1. Remerciements

Toutes les données sont compilées à partir du portail de données ouvertes et du Système intégré d'observation des océans du Canada (SIOOC) pour le Pacifique, une puissante plateforme en libre accès pour le partage d'informations sur l'état de notre océan.

- <https://cioospacific.ca/fr/accueil/>
- <https://www.waterproperties.ca/data/>
- <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/a1e18963-25dd-4219-a33f-1a38c4971250>
- <https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/mpa-zpm/index-fra.html>

67. LES PANNEAUX D'AMARRAGE NOUS AIDENT À EN APPRENDRE PLUS SUR LES DÉBRIS MARINS ET LES ESPÈCES ENVAHISSANTES

Linsey Haram^{1*}, Cathryn Murray², Cindy Wright², Greg Ruiz¹ et Jim Carlton³

¹Smithsonian Environmental Research Center, Edgewater, MD, États-Unis *HaramL@si.edu

²Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique

³Williams College, Williamstown, MA, États-Unis

Les débris marins artificiels sont constitués à 75 % de matière plastique (Thompson et Maximenko 2016), et on estime qu'au moins 8 millions de tonnes de plastique, allant de gros morceaux à des microbilles et des fibres, pénètrent dans l'océan chaque année (Jambeck *et al.* 2015). Les découvertes à la suite du tsunami de 2011 au Japon montrent que ces débris agissent comme des habitats sur lesquels plus de 300 espèces ont parcouru des milliers de kilomètres pour arriver sur des côtes lointaines (Carlton *et al.* 2017). Le mouvement des débris marins à travers les bassins océaniques imite en distance, mais pas en nature, les événements naturels extrêmement rares de transport par corps flottant qui ont peuplé les îles sur des échelles de temps géologiques (Kay et Palumbi 1987). Du fait de l'extrême longévité du plastique en tant que substrat dans l'océan et des quantités de plastique qui augmentent rapidement, les débris de plastique joueront un rôle croissant en tant que vecteur d'espèces potentiellement envahissantes, transportées par un « écosystème flottant » dans le « vortex de déchets » (Barnes 2002; Gregory 2009).

Nous décrivons ici notre étude sur le développement de la communauté d'espèces de salissures marines associée aux débris marins, en particulier en haute mer et dans le « vortex de déchets ». Pour représenter les débris marins, nous avons fixé des panneaux d'encrassement aux structures d'amarrage dans les eaux canadiennes et américaines du Pacifique et nous présentons les résultats de la diversité et de la communauté des espèces qui s'y développent. Les panneaux d'encrassement sont un dispositif expérimental passif de basse technologie permettant d'identifier et de surveiller les espèces de salissures marines dans un écosystème. Leur déploiement sur des structures d'amarrage en haute mer est une application unique et innovante. En utilisant les données de la recherche sur les panneaux d'amarrage pour compléter le projet plus vaste qui vise à échantillonner la diversité biologique sur les débris marins flottants de manière opportuniste dans le « vortex de déchets » et à modéliser le mouvement des débris marins dans le Pacifique Nord, nous donnons un nouvel aperçu de la question des débris marins et de l'interaction entre deux agents de stress émergents – les débris marins et les espèces envahissantes.

67.1. References

Barnes, D.K. 2002. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416(6883): 808-809.

Carlton, J.T., Chapman, J.W., Geller, J.B., Miller, J.A., Carlton, D.A., McCuller, M.I., Treneman, N.C., Steves, B.P., and Ruiz, G.M. 2017. Tsunami-driven rafting: Transoceanic species dispersal and implications for marine biogeography. *Science* 357(6358): 1402-1406.

- Gregory, M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 2013-2025.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., and Law, K.L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347(6223): 768-771.
- Kay, E.A., and Palumbi, S.R. 1987. Endemism and evolution in Hawaiian marine invertebrates. *Trends in Ecology & Evolution* 2(7): 183-186.
- Thompson, R.C., and Maximenko, N. 2016. Plastic pollution in the marine environment. *Future of the Ocean and Its Seas, a Non-Governmental Scientific Perspective on Seven Marine Research Issues of G7 Interest*, 12-18.

68. ESTIMATION DE L'ABONDANCE DE LA REMONTE DE SAUMON ROUGE DU FRASER À L'AIDE D'UNE MÉTHODE D'APPRENTISSAGE MACHINE

Yi Xu¹, Mike Hawkshaw¹, Caihong Fu², Roy Hourston³, David Patterson⁴ et Peter Chandler³

¹Pêches et Océans Canada, Secteur du Fraser et de l'intérieur, Delta, Colombie-Britannique, yi.xu2@dfo-mpo.gc.ca, mike.hawkshaw@dfo-mpo.gc.ca

²Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, caihong.fu@dfo-mpo.gc.ca

³Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, roy.hourston@dfo-mpo.gc.ca peter.chandler@dfo-mpo.gc.ca

⁴Pêches et Océans Canada, Direction des sciences, région du Pacifique, École de gestion des ressources et de l'environnement, Université Simon Fraser, Burnaby, Colombie-Britannique, david.patterson@dfo-mpo.gc.ca

68.1. Faits saillants

- Un modèle d'arbres de régression accélérée (BRT) a été élaboré pour étudier les relations mathématiques entre le recrutement du saumon rouge du Fraser et plusieurs variables environnementales.
- En général, le modèle BRT est capable de reproduire les principales variations observées et peut expliquer plus de 50 % de la variabilité du recrutement de tous les stocks de saumon rouge sélectionnés.
- Les principaux paramètres environnementaux qui expliquent la variabilité diffèrent d'un stock à l'autre.
- Les prévisions du recrutement du saumon rouge préparées à l'aide d'un modèle BRT sont une solution de rechange viable aux modèles de prévision actuels pour guider la planification de la pêche et de l'évaluation des stocks pour la prochaine saison de pêche.

68.2. Descriptions des séries chronologiques de données et de la méthode d'apprentissage machine

68.2.1. *Données sur les populations de poissons*

Les séries chronologiques sur le recrutement du saumon rouge du Fraser (*Oncorhynchus nerka*) (1948-2015) ont été fournies par la Commission du saumon du Pacifique (CSP) et les séries chronologiques sur les femelles reproductrices ayant frayé (FRF) et l'abondance des juvéniles (Juv) pour la même période par le MPO pour 19 stocks principaux (figure 68-1). Ces ensembles de données, détaillés dans Grant *et al.* (2011), ont été utilisés pour prévoir l'abondance de la remonte de saumon rouge en 2019 (MPO 2019).

68.2.2. *Données environnementales*

Les modèles de prévision pour 2019 intégraient les séries chronologiques de l'oscillation décennale du Pacifique (PDO, novembre à mars), les températures de la surface de la mer

(SST) de l'île des Pins (avril à juillet), l'île Entrance (avril à juin) et le débit du Fraser (avril à juin) à Hope comme covariables environnementales. Dans cette nouvelle prévision, nous avons ajouté des variables océanographiques et des indices climatiques supplémentaires comme covariables possibles (tableau 68-1). Les variables océanographiques sont : la température moyenne de la surface de la mer du golfe d'Alaska d'après le modèle Centennial in-situ Observation-Based Estimates (COBE; Ishii *et al.* 2005) et la tension régionale du vent favorable à la remontée et à la plongée d'eau (Kistler *et al.* 2001; Hourston et Thomson, section 8). Les indices climatiques pris en compte sont : l'oscillation saisonnière et annuelle du gyre du Pacifique Nord (NPGO; di Lorenzo *et al.* 2008), l'indice de l'oscillation boréale (NOI; Schwing *et al.* 2002) et l'indice de la bifurcation du courant dans le Pacifique Nord (BI; Cummins et Freeland 2007). Les séries chronologiques de toutes ces variables vont de 1950 à 2015, à l'exception de celle de l'indice de la bifurcation (de 1967 à 2013).

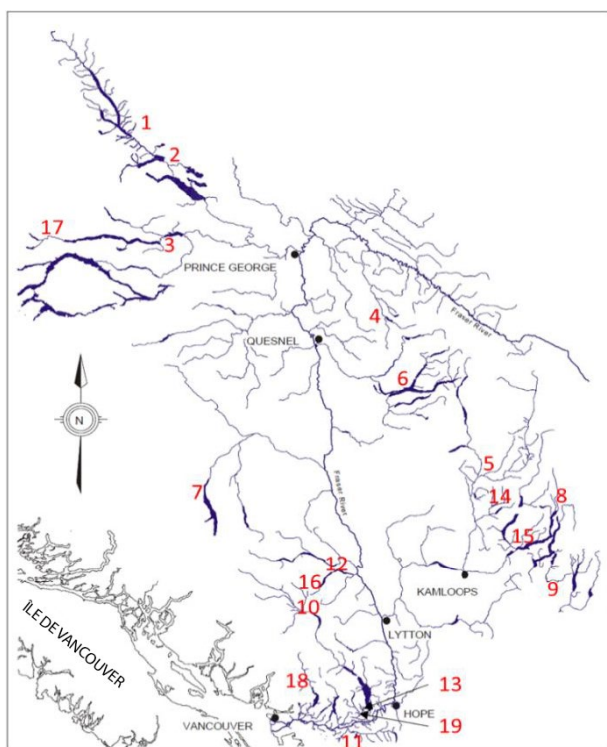


Figure 68-1. Emplacements des 19 principaux stocks de saumon rouge du Fraser pour lesquels des données sur la fraie ont été recueillies.

1. Stuart (hâtive)
2. Stuart (tardive)
3. Stellako
4. Bowron
5. Raft
6. Quesnel
7. Chilko
8. Seymour
9. Shuswap tardive
10. Birkenhead
11. Cultus
12. Portage
13. Ruisseau Weaver
14. Ruisseau Fennel
15. Ruisseau Scotch
16. Gates
17. Nadina
18. Haute Pitt
19. Harrison

Tableau 68-1. Principaux facteurs environnementaux identifiés par le modèle des arbres de régression accélérée.

Indices climatiques	Oscillation décennale du Pacifique, annuel (ODP) ODP d'été (juin, juillet, août) NPGO d'hiver (décembre, janvier, février) Indice de l'oscillation boréale, en hiver Indice de la bifurcation	pdo pdo.sum npgo.win noi.win BI
Température régionale de la surface de la mer	Île Entrance, SST en avril Île Entrance, SST en juin Île Pine, SST en avril Île Pine, SST en mai Île Pine, SST en juillet Golfe d'Alaska, SST en été (juin, juillet, août) Golfe d'Alaska, SST en mai	apesst jnesst appsst mapsst jlpst ocean.sst.sum ocean.sst5
Tension du vent	Remontée d'eau estivale favorisée sur la côte ouest de l'île de Vancouver Remontée d'eau hivernale favorisée sur la côte ouest de l'île de Vancouver Remontée d'eau annuelle favorisée sur la côte centrale Plongée d'eau annuelle favorisée sur la côte centrale Plongée d'eau hivernale favorisée dans le district de Prince Rupert Remontée d'eau annuelle favorisée dans le district de Prince Rupert	wind.wcvi.up.sum wind.wcvi.up.win wind.cc.up.annuel wind.cc.dn.annuel wind.prd.dn.winter wind.prd.up.annuel
Débit	Débit du Fraser à Hope en avril et juin	aflow

68.2.3. Modèles d'arbres de régression accélérée

Un modèle arborescent (BRT, arbres de régression accélérée; Elith *et al.* 2008) a été développé pour étudier les relations mathématiques entre le recrutement du saumon rouge et différentes covariables environnementales. Il repose sur une méthode d'apprentissage machine et présente trois avantages : 1) il peut facilement s'adapter à des relations non linéaires complexes avec plusieurs prédicteurs; 2) il n'est pas sensible aux valeurs aberrantes et à la transformation des données; et 3) il est capable de traiter les données manquantes. Le modèle BRT a été mis en œuvre à l'aide de progiciels de « gbm » (modèles de régression accélérée généralisée, v2.1.5) et « dismo » (modélisation de la répartition des espèces, v1.1-4) dans R (R Development Core Team 2019).

68.3. État et tendances

Depuis la fin des années 1990, la plupart des stocks de saumon rouge du Fraser ont connu un faible recrutement. En général, l'ajustement du modèle BRT a pu expliquer une grande partie de la variabilité des séries chronologiques du recrutement (figure 68-2), le niveau le plus élevé (85,9 %) étant atteint pour le stock de la Stuart (remonte hâtive). Pour la majorité des stocks, le modèle BRT a pu prévoir les tendances générales du recrutement, bien qu'il ait manqué certains extrêmes dans les valeurs observées, ce qui s'est traduit par des écarts-types relativement faibles dans les prévisions.

68.4. Facteurs influençant les tendances

Pour la plupart des stocks de saumon rouge du Fraser, les modèles BRT ont identifié les FRF ou Juv comme le principal contributeur ayant la plus grande influence relative (%) pour la prévision du recrutement du saumon rouge (figure 68-3). Pour tous les stocks (à l'exception du ruisseau Weaver), le recrutement prévu a affiché une relation de type Beverton-Holt avec les FRF ou Juv, et les influences relatives ont varié de 20 à 70 % entre les différents stocks. Alors que la relation entre le recrutement et le facteur biologique supérieur (FRF ou Juv) a été démontrée comme étant de type Beverton-Holt, la relation entre le recrutement et le facteur environnemental dominant a pris des formes diverses. Par exemple, la tension du vent et l'indice de la bifurcation présentaient des relations non linéaires complexes, et des températures plus chaudes de la surface de la mer et une oscillation décennale du Pacifique (PDO) positive ont été négativement liées au recrutement du saumon rouge. Les facteurs environnementaux expliquaient moins de 30 % de la variance totale du recrutement. Pour les stocks pour lesquels un facteur environnemental dominant a été identifié comme le principal contributeur (c'est-à-dire les stocks de la rivière Stellako, de la rivière Birkenhead et du ruisseau Weaver), le facteur environnemental dominant avait une contribution plus faible (avec une influence relative plus faible) par rapport à un facteur biologique supérieur dans d'autres stocks.

68.5. Prévisions de l'abondance de la remonte et conséquence de la méthode de modélisation BRT

Le modèle BRT a produit des prévisions de l'abondance de la remonte de saumon rouge pour 2020 (figure 68-4), soit un total d'environ 1,69 million, et de la remonte du stock de la rivière Chilko d'environ 580 000 – le plus grand des 19 stocks de saumon rouge du Fraser, qui représente 34 % du total prévu de tous les stocks combinés. Selon les prévisions, d'autres stocks, dont ceux de la rivière Stellako, de la rivière Quesnel, de la rivière Birkenhead, du ruisseau Weaver et de la rivière Nadina, devraient compter plus de 75 000 recrues; il s'agit du seuil d'abondance le plus bas recommandé pour déterminer s'il faut prévoir des méthodes d'échappée de géniteurs de haute précision (p. ex. sonar, marquage-recapture) pour l'année à venir. Les prévisions relatives à la remonte tardive de la rivière Stuart et à la remonte de la rivière Harrison sont toutes deux proches du seuil, entre 70 000 et 75 000, et les informations sur l'abondance de la remonte en début de saison pourraient être cruciales pour apporter des changements de dernière minute aux opérations sur le terrain relatives aux échappées de géniteurs. En revanche, les populations restantes, de la rivière Stuart (hâtive), la rivière Bowron, la rivière Raft, la rivière Seymour, la rivière Shuswap (tardive), la rivière Cultus, la rivière Portage, le ruisseau Fennel, le ruisseau Scotch, la rivière Gates et la haute Pitt sont relativement petites (moins de 70 000 poissons). Ces résultats par stock fournissent des informations utiles et opportunes tant aux gestionnaires de la pêche qu'aux opérations d'évaluation des stocks pour les prochains relevés de dénombrement de l'été/automne 2020.

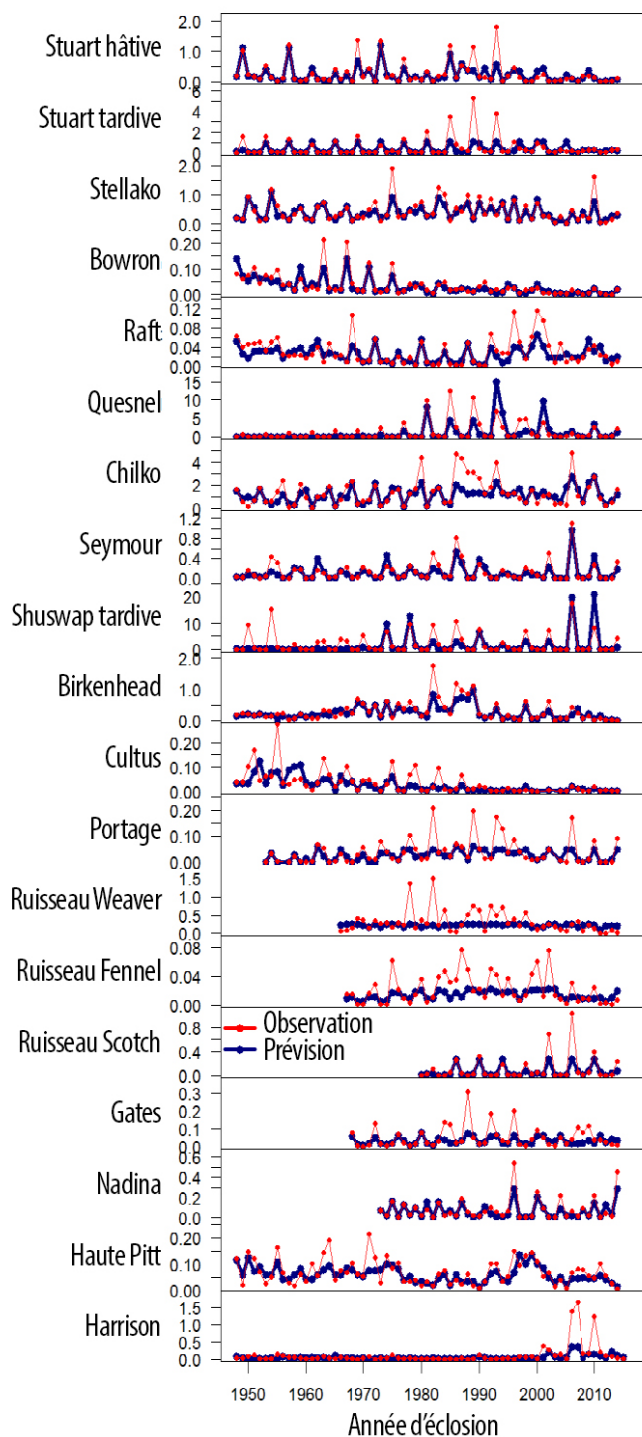


Figure 68-2. Recrutement observé et prédit à l'aide d'arbres de régression accélérée (échelle logarithmique) de 19 stocks de saumon rouge du Fraser.

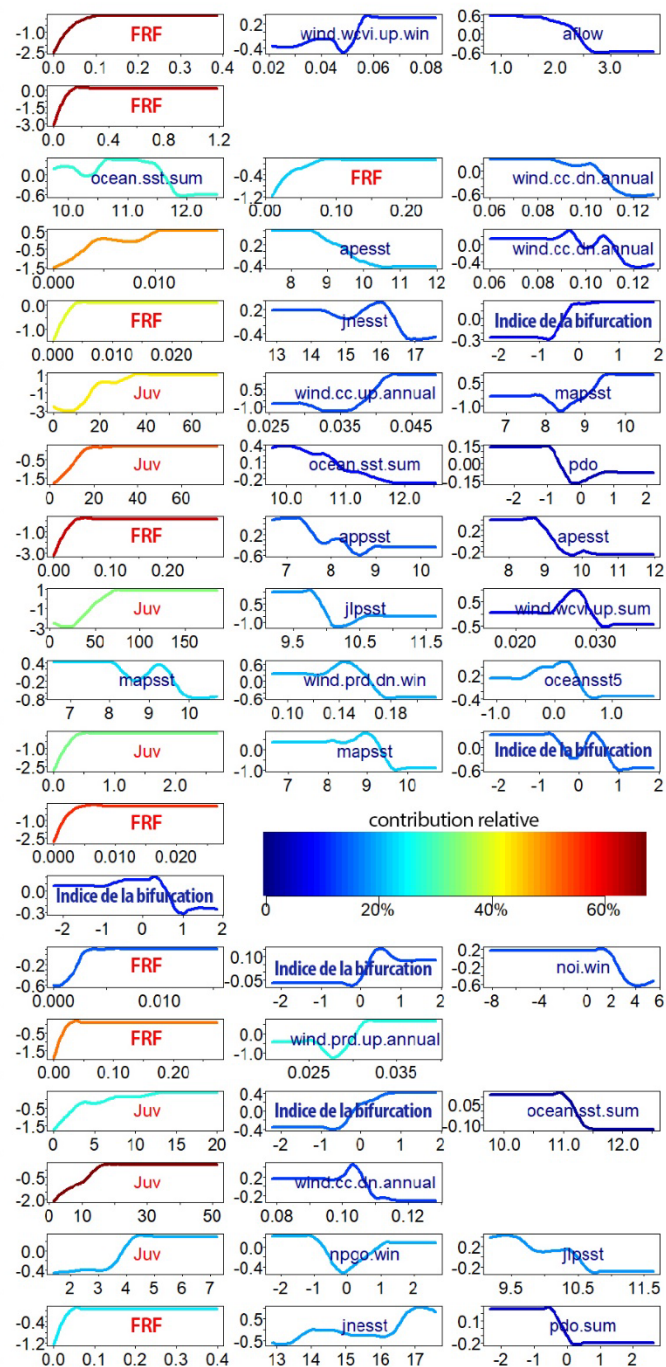


Figure 68-3. Fonctions ajustées des trois principaux prédicteurs et contributions relatives des modèles d'arbres de régression accélérée (voir les définitions des acronymes dans le tableau 68-1 et texte).

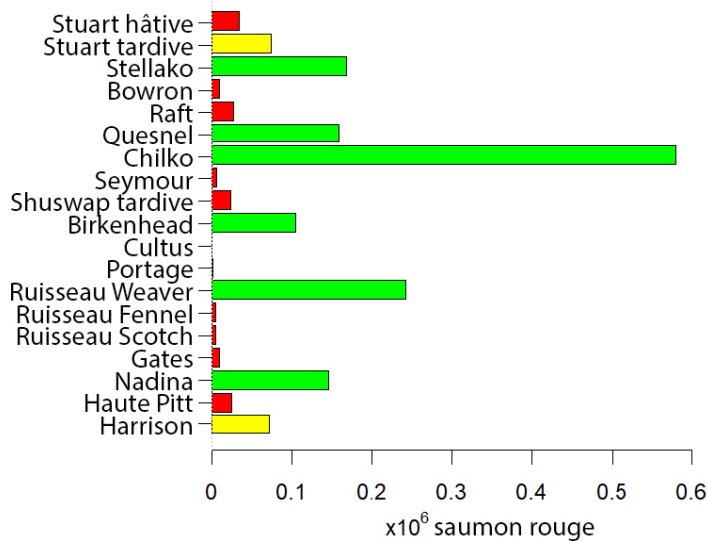


Figure 68-4. Prévisions de la remonte par le modèle d'arbres de régression accélérée pour 19 stocks de saumon rouge du Fraser en 2020 (en rouge : $\leq 70\ 000$, en jaune : $70\ 000$ à $75\ 000$, en vert : $\geq 75\ 000$).

68.6. References

- Cummins, P.F., and Freeland, H.J. 2007. Variability of the North Pacific Current and its bifurcation. *Progress in Oceanography* 75: 253-265.
- DFO. 2019. Pre-Season run size forecasts for Fraser River Sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and pink (*O. gorbuscha*) salmon in 2019. <https://frafs.ca/sites/default/files2/2019%20Fraser%20Sockeye%20Forecast.pdf>
- Di Lorenzo, E., Schneider, N., Cobb, K.M., Chhak, K, Franks, P.J.S., Miller, A.J., McWilliams, J.C., Bograd, S.J., Arango, H., Curchister, E., Powell, T.M., and Rivere, P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophysical Research Letters* 35: L08607.
- Elith, J., Leathwick, J.R., and Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77: 802-813.
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., Cone, T.E., Holt, C.A., Cass, A., Porszt, E.J., Hume, J.M.B., and Pon, L.B. 2011. Evaluation of uncertainty in Fraser Sockeye (*Oncorhynchus nerka*) Wild Salmon Policy status using abundance and trends in abundance metrics. *Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2011/087: viii + 183 p.
- Ishii, M., Shouji, A., Sugimoto, S., and Matsumoto, T. 2005. Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *Int. J. Climatol.* 25: 865-879.

Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den Dool, H., Jenne, R., and Fiorino, M. 2001. The NCEP–NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of American Meteorological Society* 82: 247–268.

R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org>

69. ABONDANCE ET TENDANCES DU THON BLANC DANS LES ZEE CANADIENNE ET AMÉRICAINNE DANS LE PACIFIQUE

Zane Zhang, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique,

zane.zhang@dfo-mpo.gc.ca

69.1. Faits saillants

- Les captures annuelles de thon blanc par unité d'effort (CPUE) ont considérablement diminué en 2016 et 2017 par rapport aux valeurs élevées de 2013 à 2015, et ont augmenté en 2018 et 2019.
- En 2019, les CPUE dans la zone économique exclusive (ZEE) canadienne dans le Pacifique étaient similaires à celles de la ZEE américaine; la plupart des années précédentes, les CPUE dans la ZEE canadienne étaient sensiblement inférieures à celles de la ZEE américaine.
- Les CPUE sont significativement et positivement corrélées avec les indices de l'oscillation du gyre du Pacifique Nord (NPGO) dans les ZEE canadienne et américaine dans le Pacifique.

69.2. Description de la série chronologique

Le thon blanc du Pacifique Nord (*Thunnus alalunga*) est une espèce pélagique hautement migratoire. Certains juvéniles âgés de 2 à 4 ans migrent de façon saisonnière dans les eaux au large de la côte Nord-Ouest de l'Amérique du Nord en juin-juillet et partent en octobre. La pêche canadienne du thon blanc se déroule principalement dans les ZEE canadienne et américaine, ainsi que dans les eaux adjacentes de la haute mer, à l'aide d'engins de pêche à la traîne. Le Canada pêche le thon blanc depuis longtemps, mais la déclaration des prises n'était pas fiable avant 1995 (Stocker *et al.* 2007). Aucun relevé scientifique sur le thon blanc juvénile n'a été mené dans la ZEE canadienne, et les données de séries chronologiques présentées ici ont été tirées des statistiques sur la pêche recueillies depuis 1995. Les CPUE ont été calculées en divisant les prises totales en tonnes par le nombre total de jours de pêche de tous les bateaux de pêche dans la zone concernée, et ont servi à indiquer l'abondance relative du thon blanc. Les CPUE dans la ZEE américaine en 1995 sont exclues, car la pêche canadienne n'y a consacré qu'un faible effort (2,2 %) cette année-là. Il n'existe pas de données sur les CPUE dans la ZEE américaine en 2013, car aucune pêche canadienne du thon blanc n'y a eu lieu.

69.3. État et tendances

Les CPUE de thon blanc dans la ZEE canadienne par la pêche canadienne ont affiché une légère baisse de 1995 à 1997, puis une augmentation générale jusqu'en 2010, jusqu'à un maximum de 0,81 t par navire-jour. Elles ont diminué de plus de 50 % entre 2010 et 2011, et sont restées basses en 2012. Les CPUE ont augmenté de 2013 à 2015, atteignant le niveau le plus élevé observé de 0,90 t par navire-jour en 2014. Après 2015, il y a eu une baisse spectaculaire, jusqu'au niveau le plus bas observé depuis 1995, qui a été enregistré en 2017. Les CPUE ont augmenté en 2018 et 2019 après cette baisse drastique, dépassant la moyenne globale en 2019 (figure 69-1A). Les CPUE de thon blanc dans la ZEE américaine par

la pêche canadienne ont affiché une tendance générale à la hausse entre 1996 et 2015. Elles ont diminué en 2016 et 2017, se sont redressées en 2018 avant de chuter à nouveau en 2019 (figure 69-1B). Les ratios des CPUE dans la ZEE canadienne par rapport aux CPUE dans la ZEE américaine ont présenté une variation substantielle entre 1996 et 2019, même s'ils étaient tous inférieurs à un (figure 69-2). Ce ratio était supérieur à 0,9 en 2019, comme en 2002, 2005 et 2010.

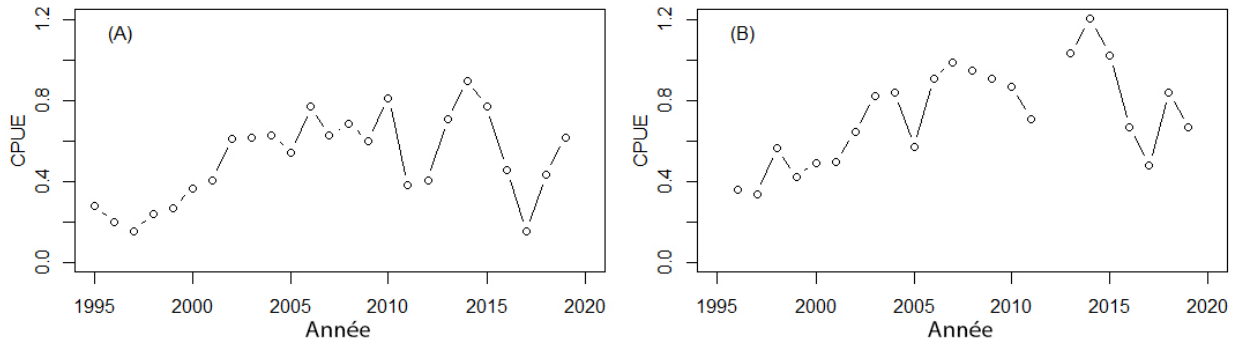


Figure 69-1. Captures annuelles par unité d'effort (CPUE) dans la ZEE canadienne (A) et la ZEE américaine (B) pour la pêche canadienne.

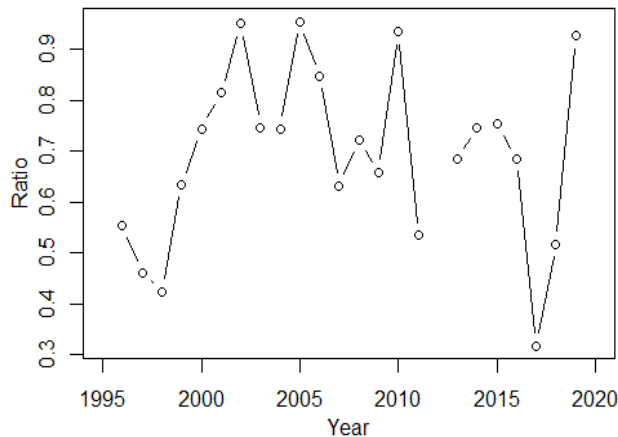


Figure 69-2. Ratio entre les CPUE annuelles dans la ZEE canadienne et les CPUE annuelles dans la ZEE américaine pour la pêche canadienne.

69.4. Facteurs influençant les tendances

On ignore les facteurs qui ont influencé les CPUE relativement élevées dans la ZEE canadienne en 2002, 2005, 2010 et 2019. Les pêcheurs canadiens mesurent la température de la surface de l'eau sur les lieux de pêche. Les températures moyennes mesurées ont varié entre des niveaux bas, intermédiaires et élevés au cours de ces quatre années.

Les CPUE dans la ZEE canadienne ou américaine sont significativement et positivement corrélées avec l'indice de l'oscillation du gyre du Pacifique Nord (NPGO). La figure 69-3 illustre les relations entre les CPUE et l'indice NPGO quatre ans plus tôt.

L'indice NPGO reflétait étroitement les variations interannuelles de la salinité, de la remontée des nutriments et de la chlorophylle *a* à la surface (Di Lorenzo *et al.* 2008), et était positivement corrélé avec l'abondance du phytoplancton en Oregon (Menge *et al.* 2009) et la productivité du stock de thon blanc du Pacifique Nord (Zhang *et al.* 2014). L'indice NPGO pourrait avoir une certaine influence positive sur l'abondance du thon blanc dans l'est de l'océan Pacifique.

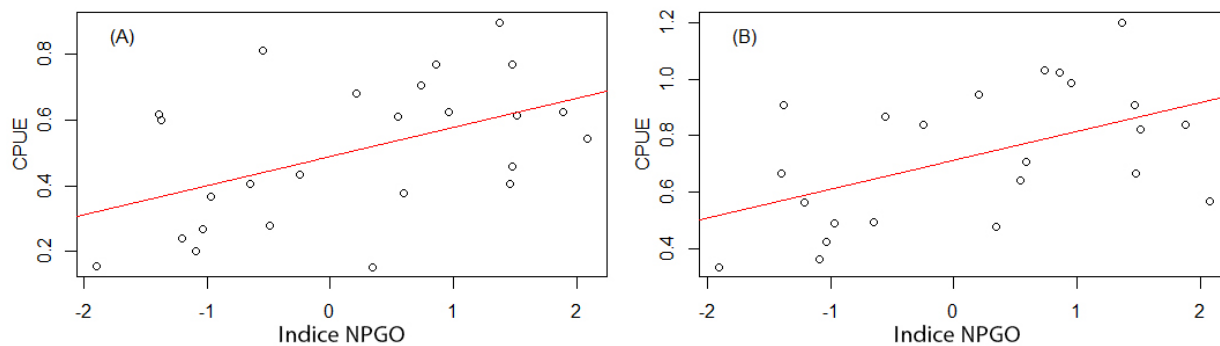


Figure 69-3. Corrélation entre les moyennes annuelles des indices NPGO quatre ans auparavant et les CPUE dans la ZEE canadienne (A) et dans la ZEE américaine (B) pour la pêche canadienne.

69.5. Conséquences de ces tendances

Le thon blanc est une espèce de thon économiquement importante dans l'océan Pacifique. Son abondance dans la ZEE canadienne revêt une importance particulière pour les pêcheurs canadiens, car la plupart d'entre eux ne pêchent que dans la ZEE canadienne. L'abondance du thon blanc semble avoir augmenté plus rapidement dans la ZEE canadienne que dans la ZEE américaine ces deux dernières années. On ignore les mécanismes physiques et biologiques à l'origine de cette différence. Des séries chronologiques plus longues de données sur les prises sont nécessaires pour déterminer s'il s'agit d'une tendance générale et pour évaluer l'importance de l'influence de l'indice NPGO sur l'abondance du thon blanc dans les ZEE canadienne et américaine.

69.6. References

- Di Lorenzo, E., Schneider, N., Cobb, K. M., Chhak, K., Franks, P. J. S., Miller, A. J., McWilliams, J. C., Bograd, S. J., Arango, H., Curchister, E., Powell, T. M., and Rivere, P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.* 35: L08607.
- Menge, B.A., Chan, F., Nielsen, K.J., Di Lorenzo, E., and Lubchenco, J. 2009. Climatic variation alters supply-side ecology: impact of climate patterns on phytoplankton and mussel recruitment. *Ecol. Monogr.* 79:379 – 395.
- Stocker, M., Stiff, H., Shaw, W., and Argue, A.W. 2007. The Canadian albacore tuna catch and effort relational database. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2701: vi+76 p.

Zhang, Z., Holmes, J., and Teo, S.L.H. 2014. A study on relationships between large-scale climate indices and estimates of North Pacific albacore tuna productivity. *Fish. Oceanogr.* 23: 409–416.

Annexe 2 – Ordre du jour de la réunion

État de l'océan Pacifique – JOUR 1 – Mardi 10 mars 2020		
Point n°	Nom	Titre
	Chandler/Boldt	Introduction
	James Johnny	Bienvenue des Snuneymuxw
	Carmel Lowe	Bienvenue du MPO
1	Faron Anslow	Température du sol et conditions hydrologiques en 2019
2	Tetjana Ross	Température, salinité et densité du nord-est de l'océan Pacifique d'après les données Argo, satellite et de la ligne P
3	Roy Hourston	Remontée d'eau sous l'effet du vent sur la côte Nord-Ouest de l'Amérique du Nord : période et ampleur
4	Peter Chandler	Température et salinité de la surface de la mer aux phares de la Colombie-Britannique
5	Bill Crawford	Variations de l'oxygène dans les eaux de subsurface du plateau de la Colombie-Britannique et du golfe d'Alaska
6	Jim Gower	Observations par satellite des eaux de la Colombie-Britannique
7	Jennifer Jackson	Tendances océanographiques interdécennales dans le bras de mer Rivers, en Colombie-Britannique
8	Wiley Evans	Les conditions de l'océan côtier en 2019 révélées par les ensembles de données continues sur le CO ₂ de l'Institut Hakai
9	Akash Sastri	Conditions océanographiques au large de la côte ouest de l'île de Vancouver 2019
Pause-repas		
10	Angelica Pena	Surveillance du phytoplancton le long de la ligne P et au large de la côte ouest de l'île de Vancouver
11	Moira Galbraith	Zooplancton de la côte ouest : série chronologique des anomalies annuelles
12	Sonia Batten	Niveaux trophiques inférieurs dans les eaux du plateau et du large d'après l'échantillonnage de l'enregistreur continu de plancton
13	Ian Perry	Relevé multispécifique au chalut de fond à petites mailles sur la côte ouest de l'île de Vancouver (espèce ciblée : crevette océanique) – mise à jour de 2019
14	Jennifer Boldt	Poissons pélagiques : le point sur l'état et les tendances
15	Philina English	Un examen des relevés sur le poisson de fond
16	Stéphane Gauthier	Mises à jour du relevé acoustique conjoint MPO-NOAA de 2019 sur le merlu du Pacifique (<i>Merluccius productus</i>)
Pause		

17	Erika Anderson	Relevés sur les saumons juvéniles de 2019 sur le plateau continental de l'île de Vancouver
18	Sue Grant	État du saumon du Pacifique au Canada en 2019
19	Howard Stiff	Variations du recrutement du saumon rouge, changements dans l'état des océans, rendement en 2019 et « perspectives » pour 2020
20	Strahan Tucker	Tendances de l'abondance et de la répartition des pinnipèdes en Colombie-Britannique
21	Thomas Doniol-Valcroze	Tendances du rétablissement des populations de mammifères marins : exemples récents dans les eaux canadiennes du Pacifique et interactions potentielles des écosystèmes
22	Jennifer Yakimishyn	Tendances des populations d'oiseaux de mer et de baleine grise dans la réserve de parc national du Canada Pacific Rim
23	Mark Hipfner	Observations sur les oiseaux de mer sur la côte extérieure en 2019
24	Chandler/Boldt	Discussion
Séance d'affiches parrainée par Ocean Networks Canada		
État de l'océan Pacifique – JOUR 2 – mercredi 11 mars 2020		
	Chandler/Boldt	Réflexions et faits marquants du premier jour
1	Kat Middleton	Les océans du Canada maintenant : Rapports annuels sur l'État des océans du Canada
2	Chandler/Boldt	Discussion nationale sur l'État de l'océan Pacifique – région du Pacifique; présentation des rapports
3	Brett Howard	Expansions récentes de l'aire de répartition des invertébrés marins envahissants dans la région du Pacifique
4	Peter Chandler	Relevés sur les propriétés de l'eau dans le détroit de Georgie en 2019
5	Richard Dewey	Propriétés des eaux profondes et des eaux de surface dans le détroit de Georgie en 2019 : instruments câblés et traversiers
Pause		
6	Susan Allen	Période de la prolifération printanière et variations interannuelles de la productivité primaire dans le détroit de Georgie
7	Nina Nemcek	Dynamique saisonnière de la communauté phytoplanctonique dans le détroit de Georgie
8	Nicole Frederickson	Proliférations phytoplanctoniques nuisibles dans la mer des Salish en 2019
9	Sophie Johannessen	La productivité primaire a-t-elle diminué dans la mer des Salish?
10	Kelly Young	État et tendances du zooplancton dans le centre du détroit de Georgie en 2019
	James Johnny	Cérémonie de clôture des Snuneymuxw
Pause-repas		
11	Janelle Curtis	Le transect du bras de mer Saanich en 2019 : le lent rétablissement d'une population de coraux d'eau froide trois ans après un épisode d'hypoxie prolongée indique la vulnérabilité à un agent de stress climatique majeur

12	Cherisse Du Preez et Laís Chaves	Passer à un plan de surveillance pour la zone de protection marine du mont sous-marin SGaan Kinghlas -Bowie
13	Aroha Miller	Mise à jour sur les rapports locaux sur l'état des océans côtiers : intégrer les connaissances autochtones, la science occidentale et la science citoyenne
14	Jennifer Boldt et Caihong Fu	État et tendances des écosystèmes – Indicateurs de la côte ouest de l'île de Vancouver
	Séance spéciale	
15	Charles Hannah	Les vagues de chaleur marines de 2018 et 2019
	Pause	
16	Peter Chandler	Définir les vagues de chaleur marines – avons-nous bien compris?
17	Ian Perry	Réactions du zooplancton sur la côte ouest de l'île de Vancouver à la vague de chaleur marine dans le nord-est de l'océan Pacifique
18	Doug Bertram	Les effets des vagues de chaleur marines sur les oiseaux de mer
19	Kim Hyatt	Les effets des vagues de chaleur marines sur le saumon
	Chandler/Boldt	Récapitulation

Annexe 3 – Participants à la réunion

Participant	Organisme d'appartenance	Réunion ou WebEx
Adam Batty	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Akash Sastri	Pêches et Océans Canada	Réunion
Al Magnan	Pêches et Océans Canada	Réunion
Aleria Ladwig	Pêches et Océans Canada	WebEx
Alicia Andersen	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Allison Oliver	Skeena Fisheries Commission	Réunion
Amber Dearden	Ocean Wise	WebEx
Ana C. Franco	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Andrew Edwards	Pêches et Océans Canada	Réunion
Andrew Leising	Southwest Fisheries Science Centre, National Marine Fisheries Service (États-Unis)	WebEx
Andrew Margolin	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Andrew McMillan	Pêches et Océans Canada	Réunion
Andrew Trites	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Andy Lin	ASL Environmental Sciences Inc.	Les deux
Angela Addison	North Coast Skeena First Nations Stewardship Society	Réunion
Angelica Peña	Pêches et Océans Canada	Réunion
Ania Javorski	Environmental Research & Consulting	Réunion
Anna McLaskey	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Anne Ballantyne	Pêches et Océans Canada	WebEx
Ann-Marie Huang	Pêches et Océans Canada	Réunion
Aroha Miller	Ocean Watch	Réunion
Art Bass	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Ashley Park	Pêches et Océans Canada	Réunion
Athena Ogden	Pêches et Océans Canada	WebEx
Bill Crawford	Pêches et Océans Canada	Réunion
Bill Sydeman	Farallon Institute	WebEx
Brett Howard	Pêches et Océans Canada	Réunion
Brianna Wright	Pêches et Océans Canada	Réunion
Brock Ramshaw	Pêches et Océans Canada	WebEx
Bronwyn MacDonald	Pêches et Océans Canada	WebEx
Bruce Baxter	Pêches et Océans Canada	WebEx
Bruce Nairn	Comté de King	WebEx
Caihong Fu	Pêches et Océans Canada	Réunion
Cameron Freshwater	Pêches et Océans Canada	Réunion
Candice St. Germain	Pêches et Océans Canada	Réunion
Carl Walters	Université de la Colombie-Britannique	WebEx

Carly Taylor	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Carmel Lowe	Pêches et Océans Canada	Réunion
Carolyn Gibson	Nation Haïda	Réunion
Carrie Holt	Pêches et Océans Canada	WebEx
Cecilia Wong	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	WebEx
Charles Hannah	Pêches et Océans Canada	Réunion
Chelsea Stanley	Pêches et Océans Canada	WebEx
Cherisse Du Preez	Pêches et Océans Canada	Réunion
Chris Harvey	Southwest Fisheries Science Centre, National Marine Fisheries Service (États-Unis)	WebEx
Chris Rooper	Pêches et Océans Canada	Réunion
Chrissy Czembor	Pêches et Océans Canada	Réunion
Cindy Wright	Pêches et Océans Canada	Réunion
Claire Dawson	Ocean Wise	WebEx
Cliff Robinson	Pêches et Océans Canada	WebEx
Colleen Kellogg	Institut Hakai	Les deux
Dan Clark	Pêches et Océans Canada	Réunion
Darren Tuele		WebEx
David Blackburn	Pêches et Océans Canada, retraité	Réunion
Di Wan	Pêches et Océans Canada	Réunion
Doug Bertram	Pêches et Océans Canada	WebEx
Doug Hay	Pêches et Océans Canada, retraité	Réunion
Doug Latornell	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Eddy Kennedy	Pêches et Océans Canada	Réunion
Elise Olson	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Erika Anderson	Pêches et Océans Canada	Réunion
Erika Lok	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	Réunion
Erin Rechisky	Kintama Research Services	Les deux
Faron Anslow	Pacific Climate Impacts Consortium	Réunion
Florian Luskow	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Gabriela Hannach	Comté de King	WebEx
Greg Jones	Pêches et Océans Canada	Réunion
Greig Oldford	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Hana Hourston	Pêches et Océans Canada	WebEx
Hayleigh Rados	Pêches et Océans Canada	WebEx
Hilari Dennis-Bohm	Pêches et Océans Canada	Réunion
Holly McCullough	Pêches et Océans Canada	Réunion
Hongsik		WebEx
Howard Stiff	Pêches et Océans Canada	Les deux

Ian Perry	Pêches et Océans Canada	Réunion
Iselle Flores	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Isobel Pearsall	Fondation du saumon du Pacifique	WebEx
Jacinthe (Jazz) Amyot	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jackie Detering	Pêches et Océans Canada	WebEx
Jackie King	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jackson Joly	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	WebEx
Jake Schweigert	Pêches et Océans Canada, retraité	Les deux
James Johnny	Première Nation Snuneymuxw	Réunion
James Mortimor	Pêches et Océans Canada	Les deux
Jan Newton	Université de Washington	WebEx
Janelle Curtis	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jasmine Wietzke	Pêches et Océans Canada	WebEx
Jason Parsley	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jay Pudota	Samudra Environmental Consulting	Réunion
Jen Chapman	Ocean Wise	WebEx
Jennifer Boldt	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jennifer Jackson	Institut Hakai	Réunion
Jennifer Sandher	Pêches et Océans Canada	WebEx
Jennifer Yakimishyn	Agence Parcs Canada/ gouvernement du Canada	Réunion
Jenny Ferone	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	WebEx
Jessie Bell	Pêches et Océans Canada	WebEx
Jessy Barrette	Institut Hakai	Les deux
Jim Gower	Pêches et Océans Canada	Réunion
Jim McIsaac	T Buck, Fondation Suzuki	WebEx
Jocelyn Nelson	Pêches et Océans Canada	Réunion
Johanna Fee	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Julia Bos	Université de Western Washington	WebEx
Julie Vandendor	Université de l'île de Vancouver, station de terrain de la baie Deep	Réunion
Justin Del Bel Belluz	Institut Hakai	Les deux
Karen Hunter	Pêches et Océans Canada	Réunion
Karyn Suchy	Université de Victoria	WebEx
Kate Schuler	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Katherine Middleton	Pêches et Océans Canada	Réunion
Katie Gale	Pêches et Océans Canada	Réunion
Katie Innes	Université de Victoria	Réunion
Kayleigh Gillespie	Pêches et Océans Canada	WebEx

Kelly Young	Pêches et Océans Canada	Réunion
Keri Benner	Pêches et Océans Canada	WebEx
Kevin Romanin	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Kilian Stehfest	Fondation David Suzuki	Réunion
Kim Hyatt	Pêches et Océans Canada	Réunion
Kimberle Stark	Comté de King	WebEx
Kristin Gravelle	Pêches et Océans Canada	Les deux
Laís Chaves	Nation Haïda	Réunion
Larry Neilson	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Laura Tessier	Commission des poissons anadromes du Pacifique Nord	Réunion
Lauri Sadorus	Commission internationale du flétan du Pacifique	WebEx
Liam Krider	Pêches et Océans Canada	Réunion
Linnea Flostrand	Pêches et Océans Canada	Les deux
Lisa Setterington	Pêches et Océans Canada	WebEx
Lu Guan	Pêches et Océans Canada	Réunion
Lucie Hannah	Pêches et Océans Canada	WebEx
Lynn Lee	Réserve de parc national du Canada Gwaii Haanas, Parcs Canada	Réunion
Lyse Godbout	Pêches et Océans Canada	WebEx
March Klaver	Pêches et Océans Canada	Réunion
Margot Hessing-Lewis	Centre de données du détroit de Georgie	WebEx
Margot Stockwell	Pêches et Océans Canada	WebEx
Mark Hipfner	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	Réunion
Mark Potyrala	Pêches et Océans Canada	Réunion
Martin Nantel	Pêches et Océans Canada	Les deux
Meaghan McCord	Réserve de parc national du Canada des Îles-Gulf, Parcs Canada	Réunion
Melinda Scott	Pêches et Océans Canada	WebEx
Melissa Hennekes	Pêches et Océans Canada	Réunion
Michael Thom	Pêches et Océans Canada	WebEx
Michel Breton	Pêches et Océans Canada	Réunion
Midoli Bresch	Pêches et Océans Canada	Réunion
Moira Galbraith	Pêches et Océans Canada	Réunion
Nadine Templeman	Pêches et Océans Canada	WebEx
Natasha Salter	Pêches et Océans Canada	WebEx
Nicole Frederickson	Fondation du saumon du Pacifique	Réunion
Nina Nemcek	Pêches et Océans Canada	Réunion
Pam Allen	Pêches et Océans Canada	WebEx
Pasan Samarasin	Commission du saumon du Pacifique	WebEx

Patrick O'Hara	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	Réunion
Patrick Pata	Université de la Colombie-Britannique	Les deux
Patrick Thompson	Pêches et Océans Canada	WebEx
Peter Chandler	Pêches et Océans Canada	Réunion
Philina English	Pêches et Océans Canada	Les deux
Pramod Thupaki	Pêches et Océans Canada	Réunion
Rachael Gravon	Comté de King	WebEx
Rachel Chudnow	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Rebecca Wardle	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Rhian Evans	Pêches et Océans Canada	Réunion
Richard Dewey	Ocean Networks Canada, Université de Victoria	Réunion
Rick Page		WebEx
Robert Izett	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Roy Hourston	Pêches et Océans Canada	Réunion
Ryan Shartau	Pêches et Océans Canada	Réunion
Sahir Advani	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Sam Stevens	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Sarah Bartnik	Environnement et Changement climatique Canada/ gouvernement du Canada	WebEx
Sarah Dudas	Pêches et Océans Canada	Réunion
Sarah Rosengard	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Scott Akenhead	Pêches et Océans Canada	Réunion
Scott Wallace	Fondation David Suzuki	Réunion
Sean MacConnachie	Pêches et Océans Canada	Réunion
Sean Tippet	Pêches et Océans Canada	Réunion
Selina Agbayani	Pêches et Océans Canada	WebEx
Shelley Jepps	Pêches et Océans Canada	Réunion
Sonia Batten	Marine Biological Association; Organisation des sciences de la mer pour le Pacifique Nord	Réunion
Sophie Johannessen	Pêches et Océans Canada	Réunion
Stephane Gauthier	Pêches et Océans Canada	Réunion
Stephanie King	Inwatertech	Réunion
Stephanie Taylor	Commission des poissons anadromes du Pacifique Nord	Réunion
Stephen Page	Pêches et Océans Canada	Réunion
Steve Latham	Commission du saumon du Pacifique.	Réunion
Strahan Tucker	Pêches et Océans Canada	Réunion
Sue Grant	Pêches et Océans Canada	WebEx
Susan Allen	Université de la Colombie-Britannique	Réunion
Tamara Fraser	Pêches et Océans Canada	Réunion
Tammy Norgard	Pêches et Océans Canada	Réunion
Terry Curran	Fondation du saumon du Pacifique	Réunion

Tetjana Ross	Pêches et Océans Canada	Réunion
Thomas Doniol-Valcroze	Pêches et Océans Canada	Réunion
Tom Okey	Initiative de transition de l'aquaculture de Broughton	Réunion
Tyson Carswell	Gouvernement de la Colombie-Britannique	WebEx
Victoria Postlethwaite	Pêches et Océans Canada	Réunion
Villy Christensen	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Wafa Tafesh	Comté de King	WebEx
Wayne Jacob	Institut Hakai	WebEx
Wendy Eash-Loucks	Comté de King	WebEx
Wiley Evans	Fondation Tula – Institut Hakai	Réunion
Will Duguid	Université de Victoria	WebEx
Yi Xu	Pêches et Océans Canada	Les deux
Zarah Zheng	Université de la Colombie-Britannique	WebEx
Ziwei Wang	Université de Victoria	WebEx