

État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2020

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

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

2021

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3434

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.

2021

ÉTAT DES RESSOURCES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES ET DE CERTAINES
RESSOURCES HALIEUTIQUES DES ÉCOSYSTÈMES DES EAUX CANADIENNES
DU PACIFIQUE EN 2020

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

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, 2021
N° de cat. Fs97-6/3464F-PDF ISBN 978-0-660-42185-8 ISSN 1488-5379

La présente publication doit être citée comme suit :

J.L. Boldt, A. Javorski et P.C. Chandler (dir.) 2021. État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2020. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3434 : vii + 231 p.

Table des matières

Abstract.....	vii
Résumé	viii
Points saillants, introduction et aperçu	1
1. POINTS SAILLANTS	2
2. INTRODUCTION.....	4
3. APERÇU ET SOMMAIRE.....	8
4. RÉFÉRENCES.....	17
5. REMERCIEMENTS	18
Rapports individuels sur les conditions dans le nord-est de l’océan Pacifique et sur la côte extérieure de la Colombie-Britannique	19
6. TEMPÉRATURE DU SOL ET CONDITIONS HYDROLOGIQUES EN 2020.....	20
7. LA VAGUE DE CHALEUR MARINE SE POURSUIT MALGRÉ LA CROISSANCE DE LA NIÑA	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.....	33
9. COURANTS, TEMPÉRATURES ET TENSION DU VENT À L’ACCORE DU PLATEAU CONTINENTAL DE LA CÔTE OUEST DE L’ÎLE DE VANCOUVER.....	40
10. TEMPÉRATURE de LA SURFACE DE LA MER ET SALINITÉ OBSERVÉES DANS LES STATIONS CÔTIÈRES ET AUX BOUÉES MÉTÉOROLOGIQUES LE LONG DE LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020	46
11. NIVEAU DE LA MER EN COLOMBIE-BRITANNIQUE, DE 1910 À 2020	51
12. L’OXYGÈNE DANS LES EAUX DE SUBSURFACE SUR LE PLATEAU DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE	53
13. COURANTS DE SURFACE LE LONG DU BORD DU PLATEAU ET DU TALUS AU LARGE DE LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE	59
14. CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES AU LARGE DE LA CÔTE OUEST DE L’ÎLE DE VANCOUVER : 2020.....	62
15. ÉVALUATION DE L’HABITAT OCÉANIQUE DES OISEAUX DE MER – RÉSERVE NATIONALE MARINE DE FAUNE DES ÎLES SCOTT.....	68
16. LES NUTRIMENTS ET LE PHYTOPLANCTON LE LONG DE LA LIGNE P.....	76

17. SURVEILLANCE DE L'ACIDE DOMOÏQUE DANS LES EAUX CANADIENNES DU PACIFIQUE : 2016 À 2020	81
18. ANOMALIES DE LA BIOMASSE DU ZOOPLANCTON SUR LA CÔTE OUEST DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020	89
19. NIVEAUX TROPHIQUES INFÉRIEURS DANS LE NORD-EST DU PACIFIQUE	96
20. ÉTAT ET TENDANCES DE L'EULAKANE DANS LE SUD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET OBSERVATIONS DE L'ALGUE DIDYMO DANS LE BAS FRASER	103
21. HARENG DU PACIFIQUE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020	113
22. RELEVÉ D'AUTOMNE DES SAUMONS JUVÉNILES DE 2020 SUR LA CÔTE NORD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE	120
23. ÉTAT DU SAUMON DU PACIFIQUE AU CANADA EN 2020	125
24. INDICATEURS DE RENDEMENT DU SAUMON ROUGE SUR TOUTE LA CÔTE, APERÇU RÉGIONAL DES TENDANCES, remontes de 2020 ET PERSPECTIVES POUR 2021 À 2023	133
25. La faible abondance de la remonte de saumons de 2020 DANS LE PACIFIQUE NORD est-elle attribuable aux plus grosses remontes jamais enregistrées qui ont été observées en 2018-2019?	140
26. TENDANCES RELATIVES À LA TAILLE ET À L'ÂGE DU SAUMON ROUGE DU FRASER (<i>Oncorhynchus Nerka</i>) JUSQU'EN 2020	145
27. TENDANCES DE L'ÉTAT DES STOCKS CANADIENS DE POISSONS DE FOND	151
28. ABONDANCE ET TENDANCES DU THON BLANC DANS LES ZEE CANADIENNE ET AMÉRICAINE DANS LE PACIFIQUE	159
29. UN CADRE DE SURVEILLANCE PROPOSÉ POUR LA ZONE DE PROTECTION DU MONT SOUS-MARIN SGAAN KINGLAS-BOWIE	162
30. ÉVÉNEMENTS INHABITUELS SURVENUS DANS LES EAUX MARINES DU PACIFIQUE CANADIEN EN 2020	166
31. NGCC SIR JOHN FRANKLIN : LE NOUVEAU NAVIRE HAUTURIER DE SCIENCES HALIEUTIQUES DE LA RÉGION DU PACIFIQUE	170
32. LES OCÉANS DU CANADA MAINTENANT, 2020 – L'ÉTAT DES OCÉANS DU CANADA	174
Rapports individuels sur les eaux intérieures (y compris le détroit de Georgia)	176
33. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DANS LES BRAS DE MER RIVERS ET BUTE EN 2020 PAR RAPPORT AUX SÉRIES CHRONOLOGIQUES HISTORIQUES	177

34. OBSERVATIONS CÔTIÈRES DU CO ₂ DANS LE DÉTROIT DE FITZ HUGH ET LE NORD DE LA MER DES SALISH EN 2020	184
35. OBSERVATIONS DE LA TEMPÉRATURE, DE LA SALINITÉ ET DE L'OXYGÈNE DANS LA MER DES SALISH EN 2020	193
36. PROPRIÉTÉS DES EAUX PROFONDES, DES EAUX DE SURFACE ET DE LA COLONNE D'EAU DE LA MER DES SALISH EN 2020 : INSTRUMENTS CÂBLÉS ET TRAVERSIERS	198
37. PÉRIODE DU BLOOM PHYLOPLANCTONIQUE PRINTANIER, PRODUCTIVITÉ ESTIVALE INTERANNUELLE DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA	206
38. PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NUISIBLES ET CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA EN 2020	212
39. ÉTAT ET TENDANCES DU ZOOPLANCTON DANS LE CENTRE ET LE NORD DU DÉTROIT DE GEORGIA EN 2020	219
40. SAUMONS JUVÉNILES DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA	224
41. LE RÉGIME ALIMENTAIRE DU SAUMON CHINOOK ADULTE COMME INDICATEUR DE LA VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DES RÉSEAUX TROPHIQUES CÔTIERS 227	
42. LE TRANSECT DU BRAS DE MER SAANICH EN 2020 : UTILISATION DE VTG POUR SURVEILLER LA VULNÉRABILITÉ DE LA BIODIVERSITÉ BENTHIQUE À LA CHALEUR MARINE	231
43. EXPANSIONS CONTINUES DE L'AIRE DE RÉPARTITION DES INVERTÉBRÉS MARINS ENVAHISSANTS DANS LA RÉGION DU PACIFIQUE	237
44. TENDANCES RÉCENTES DU TRAFIC MARITIME ET DES MENACES CONNEXES DANS LA MER DES SALISH, BASÉES SUR LE SYSTÈME D'IDENTIFICATION AUTOMATIQUE (SIA) DES NAVIRES ET SUR DE NOUVELLES TECHNIQUES DE COLLECTE DE DONNÉES SUR LE TRAFIC MARITIME	242
Annexe 1 – Résumés des affiches	249
45. SURVEILLANCE CONTINUE DU PACIFIQUE NORD-EST AU MOYEN DE DONNÉES SUR LA CHLOROPHYLLE A ET LA TEMPÉRATURE DE SURFACE DE LA MER OBTENUES PAR SATELLITE.....	250
46. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DANS LA BAIE CLAYOQUOT, COLOMBIE-BRITANNIQUE, CANADA, EN 2020.....	254
47. MISE À JOUR DE L'ESTIMATION DE LA TAILLE DE LA REMONTE DE SAUMON ROUGE DU FLEUVE FRASER À L'AIDE DU MODÈLE D'ARBRE DE RÉGRESSION STIMULÉE	256

Annexe 2 – Ordre du jour de la réunion263

Annexe 3 – Participants à la réunion (noms des personnes connectées à l'aide de Zoom).....266

Abstract

Boldt, J.L., Javorski, A., and Chandler, P.C. (Eds.). 2021. State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2020. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3434: vii + 231 p.

Fisheries and Oceans Canada is responsible for the management and protection of marine resources on the Pacific coast of Canada. Oceanographically there is strong seasonality in coastal upwelling and downwelling, considerable freshwater influence, and 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 to bring together the marine science community in the Pacific Region and 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 2020 was convened virtually, March 2-4, 2021, due to the COVID-19 pandemic. This technical report includes submissions based on presentations given at the meeting and a few poster summaries.

Climate change is a dominant pressure acting on North Pacific marine ecosystems, causing, for example, increasing temperatures, deoxygenation, and acidification, and changes to circulation and vertical mixing. These pressures impact ecosystem nutrient concentrations and primary and secondary productivity, which then affect higher trophic levels through the food chain.

Résumé

J.L. Boldt, A. Javorski et P.C. Chandler (dir.) 2021. État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2020. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3434 : vii + 231 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 océanique, il y a une forte saisonnalité dans les remontées d'eaux profondes côtières et les plongées d'eaux, une forte incidence des eaux douces, et une variabilité provenant des phénomènes et des conditions dans l'océan Pacifique tropical et l'océan 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 organisée par le MPO afin de réunir la communauté scientifique dans la région du Pacifique et de présenter les résultats de la dernière année de surveillance dans le contexte d'observations précédentes, ainsi que les conditions futures attendues. En raison de la pandémie de COVID-19, l'atelier organisé du 2 au 4 mars 2021 pour examiner les conditions de l'écosystème en 2020 s'est déroulé virtuellement. Le présent rapport technique comprend des soumissions basées sur les présentations données durant l'atelier et des résumés d'affiches.

Les changements climatiques constituent une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du Pacifique Nord et sont la cause, entre autres, de l'augmentation des températures, de la désoxygénation et de l'acidification, et des changements dans le régime de circulation et le mélange vertical. Ces pressions ont des effets sur les concentrations d'éléments nutritifs et la productivité primaire et secondaire des écosystèmes, ce qui a une incidence sur les niveaux trophiques supérieurs par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Points saillants, introduction et aperçu

1. POINTS SAILLANTS

1. Les changements climatiques constituent une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du nord de l'océan Pacifique. La tendance à long terme à l'augmentation des températures de la surface de la mer se poursuit.
2. Une vague de chaleur marine dans le nord-est de l'océan Pacifique a été observée en 2019-2020; les effets de refroidissement de La Niña qui a commencé dans la seconde moitié de 2020 ont maintenu les températures océaniques extrêmement chaudes loin des eaux côtières de la Colombie-Britannique.
3. Les données sur la température de l'air et les précipitations en Colombie-Britannique montrent des tendances vers des conditions plus chaudes et plus humides. En 2020, les débits des rivières de la Colombie-Britannique ont été plus importants et ont atteint leur maximum plus tard que la normale.
4. Les concentrations d'oxygène dans les eaux plus profondes du plateau continental se situaient à des niveaux proches de la normale, mais ont continué à diminuer à la station océanique P. Les concentrations d'oxygène dans le détroit de Georgia étaient inférieures à la normale sur 20 ans.
5. La durée des conditions de pH sévères observées dans le nord de la mer des Salish et le détroit de Fitz Hugh a été plus courte en 2020 qu'en 2019; toutefois, l'acidification des océans continuera de s'intensifier à mesure que l'apport anthropique de carbone augmente.
6. Au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, la saison hivernale de plongée d'eau s'est terminée tôt en 2020, mais la transition vers la saison de remontée d'eau a été lente. L'ampleur des vents favorables à la remontée d'eau au cours de l'été 2020 était proche de la normale, avec une productivité moyenne prévue.
7. En hiver, les concentrations de nutriments en surface et les concentrations de chlorophylle en mer étaient inférieures à la moyenne, et si les concentrations de nutriments en été variaient selon les régions, les concentrations de chlorophylle en mer se situaient à l'extrémité inférieure partie inférieure de la fourchette normale.
8. En hiver, la composition de la communauté phytoplanctonique était similaire à celle de 2015 (une année de vague de chaleur marine), mais en été, elle était similaire à celle des années antérieures à la vague de chaleur marine. Il n'y a pas eu de relevé au printemps 2020. La période de prolifération printanière dans le détroit de Georgia a été moyenne.
9. La composition de la communauté zooplanctonique était proche de la moyenne dans les zones côtières, cependant, les espèces zooplanctoniques d'eau chaude ont dominé certaines zones sur le plateau continental et au large de celui-ci depuis la vague de chaleur marine de 2014-2016. La biomasse du zooplancton dans le détroit de Georgia a augmenté.
10. L'indice de la biomasse du stock reproducteur d'eulakane dans le fleuve Fraser en 2020 était à son point le plus élevé depuis 2001.

11. La biomasse du hareng du Pacifique variait d'une zone évaluée à l'autre; par exemple, la biomasse du stock de la côte ouest de l'île de Vancouver était faible alors que celle du stock du détroit de Georgia était élevée.

12. En 2020, la taille des remontes était faible pour la plupart des stocks de saumon rouge, de saumon chinook et de saumon kéta, tandis que celle du saumon coho et du saumon rose variait selon les stocks.

13. L'état moyen des stocks de poissons de fond a diminué de 1950 jusqu'à environ l'an 2000 et est resté relativement stable depuis.

14. Les espèces aquatiques marines envahissantes continuent de se propager en Colombie-Britannique. En juillet 2020, le crabe vert européen a été détecté pour la première fois à Haida Gwaii; il s'agit de la détection la plus au nord à ce jour.

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 au large de la côte ouest du Canada 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, ainsi que 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 considérée. La première réunion a eu lieu en 2000 pour évaluer les conditions en 1999; les rapports de ces examens peuvent être consultés 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 des avis scientifiques (SCAS) de Pêches et Océans Canada. En 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 2020 (portant sur les conditions de 2019) est disponible à l'adresse suivante :

<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2019/index-fra.html>

En raison de la pandémie de COVID-19, la réunion sur les conditions observées sur la côte ouest du Canada (figure 2-1) en 2020 s'est tenue virtuellement, du 2 au 4 mars 2021. Grâce à la plateforme en ligne, la réunion de cette année a atteint un public plus vaste et plus varié. 477 participants membres ou non du MPO, appartenant à la communauté des sciences de la mer de la côte du Pacifique, y compris des membres d'autres ministères fédéraux et de la Colombie-Britannique, des membres des Premières Nations et des groupes autochtones, des universitaires, des partenaires nationaux et internationaux et des membres du secteur privé, y ont assisté. Des scientifiques du MPO, du ministère de l'Environnement, de Parcs Canada, d'Environnement et Changement climatique Canada, de la nation Haïda, du Hakai Institute, de la province de la Colombie-Britannique, de l'Université de la Colombie-Britannique, de l'Université de Victoria, d'Ocean Networks Canada, de la Commission des poissons anadromes du Pacifique Nord, de l'Organisation des sciences de la mer pour le Pacifique Nord, de Grieg Seafood et de la T Buck Suzuki Foundation, entre autres, y ont participé. Ces réunions annuelles sont une occasion unique pour les scientifiques de différentes disciplines de mettre en lumière les résultats des observations atmosphériques, océanographiques et des espèces marines en 2020 dans le contexte des observations historiques.

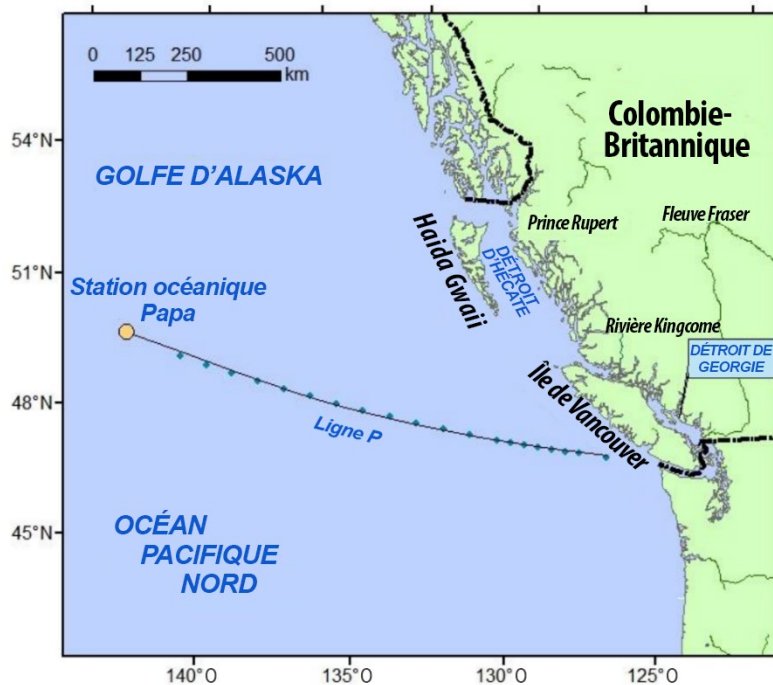


Figure 2-1. Carte des régions mentionnées dans le rapport.

Joe Seward, conseiller communautaire et linguistique de la Première Nation W̱SÁNEĆ Tsartlip, a prononcé le mot de bienvenue à la réunion et une prière. La directrice des Sciences de la région du Pacifique, Carmel Lowe, a prononcé une allocution de bienvenue et a présenté la réunion sur l'état de l'océan Pacifique, notamment les défis relevés pendant la pandémie de COVID-19 et les faits marquants relatifs aux conditions de l'océan et de l'écosystème en 2020. Bien que plusieurs programmes de surveillance ont été annulés en raison de la COVID, d'autres relevés ont pu être réalisés, du moins partiellement. Trente-huit

exposés ont eu lieu dans le cadre de cette réunion. Une présentation spéciale a eu lieu concernant le nouveau rapport national sur l'état des océans **Les océans du Canada maintenant**, qui est un document de synthèse de haut niveau décrivant l'état des trois océans du Canada et les tendances connexes, appuyé par des infographies attrayantes et un langage scientifique simple. De plus, il y a eu une présentation résumant le succès des relevés de 2020 effectués avec le navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) Sir John Franklin, le nouveau navire hauturier de sciences halieutiques de la région du Pacifique (Gauthier, section 31).



Joe Seward, conseiller communautaire et linguistique de la Première Nation W̱SÁNEĆ Tsartlip (à gauche), a prononcé le mot de bienvenue à la réunion et une prière. La directrice des Sciences de la région du Pacifique, Carmel Lowe (à droite), a prononcé une allocution de bienvenue et présenté la réunion sur l'état de l'océan Pacifique.

Comme la réunion était virtuelle, il n'y a pas eu de séances de présentation par affiches; cependant, certains résumés d'affiches sont inclus dans ce rapport. Les résumés des affiches sont présentés à l'annexe 1, l'ordre du jour de la réunion est présenté à l'annexe 2 et la liste des

participants à la réunion figure à l'annexe 3. La réunion a été coprésidée par Peter Chandler (Institut des sciences de la mer) et Jennifer Boldt (Station biologique du Pacifique), organisée par Ania Javorski, et tous les aspects techniques de la réunion virtuelle ont été gérés par Stephen Page (Institut des sciences de la mer).



Les organisateurs de la réunion sur l'état de l'océan Pacifique 2020 : Ania Javorski (en haut à gauche), Stephen Page (en haut à droite), Jennifer Boldt (en bas à gauche) et Peter Chandler (en bas à droite).

Le présent rapport technique contient les points saillants et des résumés des exposés et des discussions qui ont eu lieu lors de l'atelier. Ces rapports de synthèse 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 la réunion. Pour utiliser ces différentes présentations ou y faire référence, veuillez communiquer les auteurs individuels.

À la mémoire de M. Kim Hyatt

M. Kim Hyatt, un participant et contributeur dévoué de longue date aux réunions et rapports sur l'état de l'océan Pacifique, est décédé le 25 mai 2021. M. Hyatt était déterminé à assurer la conservation du saumon et à améliorer notre compréhension des facteurs qui l'affectent. Il a apporté des contributions scientifiques importantes à au moins 17 réunions et rapports sur l'état de l'océan Pacifique, dont le présent rapport. Sa capacité à communiquer efficacement ses connaissances et son expertise, en particulier sur le saumon rouge, nous manquera énormément.

Ce rapport est dédié à la mémoire de M. Kim Hyatt.



3. APERÇU ET SOMMAIRE

Les changements climatiques demeurent une pression dominante qui agit sur les écosystèmes marins du nord-est de l’océan Pacifique. En 2020, les températures des terres et des océans ont été les deuxièmes plus chaudes jamais enregistrées dans le monde. Les données sur la température de l’air et les précipitations en Colombie-Britannique montrent des tendances vers des conditions plus chaudes et plus humides (Anslow, section 6). En 2020, les débits des rivières de la Colombie-Britannique ont été plus importants et ont atteint leur maximum plus tard que la normale (Anslow, section 6; Chandler, section 35). Les données à long terme sur les températures de la surface de la mer (TSM) mesurées aux phares de la côte de la Colombie-Britannique ont montré que 2020 a été en général une année plus froide que 2019, mais a néanmoins été une continuation de la période chaude qui a commencé en 2014 (Chandler, section 10). Si l’on superpose les oscillations pluriannuelles de la TSM annuelle, on constate une tendance à long terme à la hausse des températures océaniques : 0,88 °C au cours des 100 dernières années (figure 3-1; Chandler, section 10). L’augmentation du CO₂ dans l’atmosphère a accentué l’acidification de l’océan, qui continuera à s’intensifier avec l’augmentation des niveaux de carbone anthropique dans l’atmosphère (Evans, section 34). En 2020, la fréquence des conditions de pCO₂ élevée et de conditions acides sévères a varié selon les saisons; toutefois, la durée des conditions sévères a été plus courte qu’en 2019 (Evans, section 34).

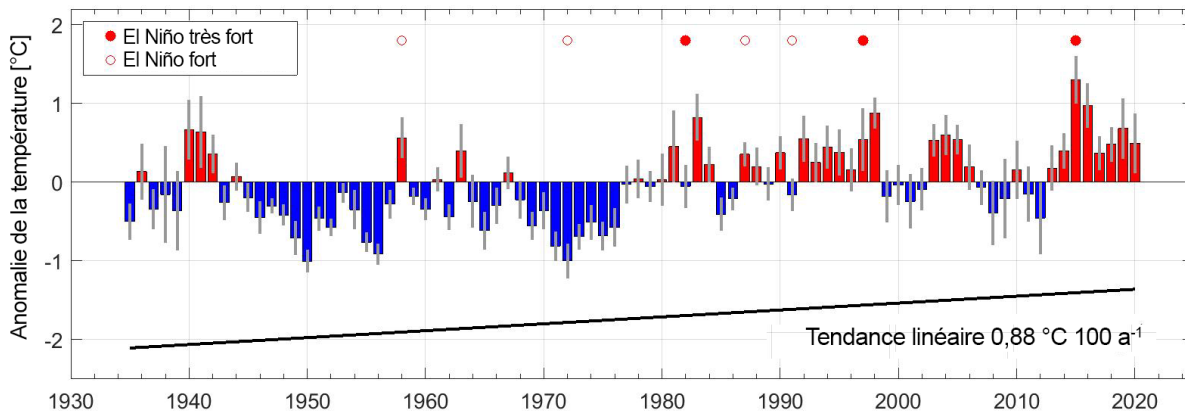
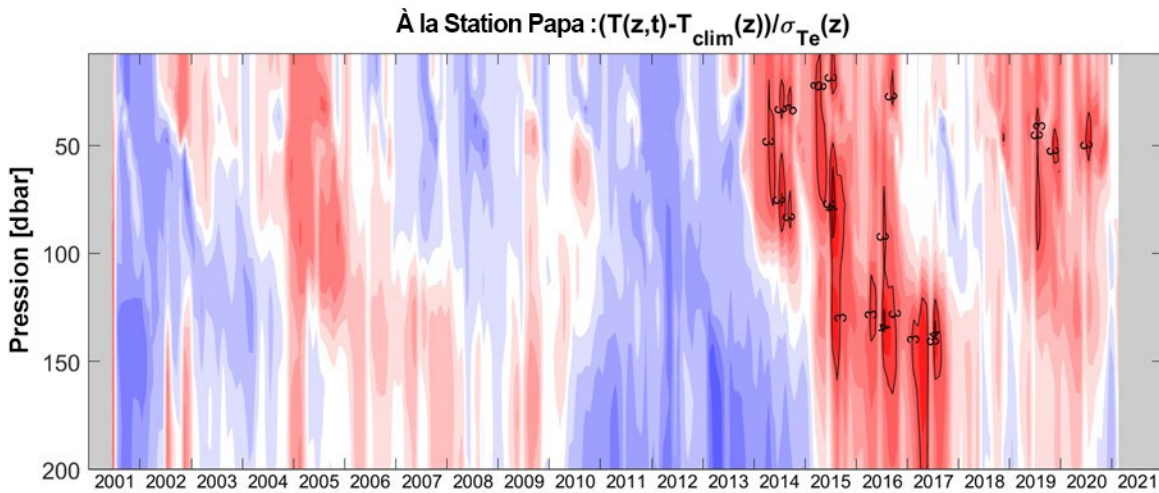
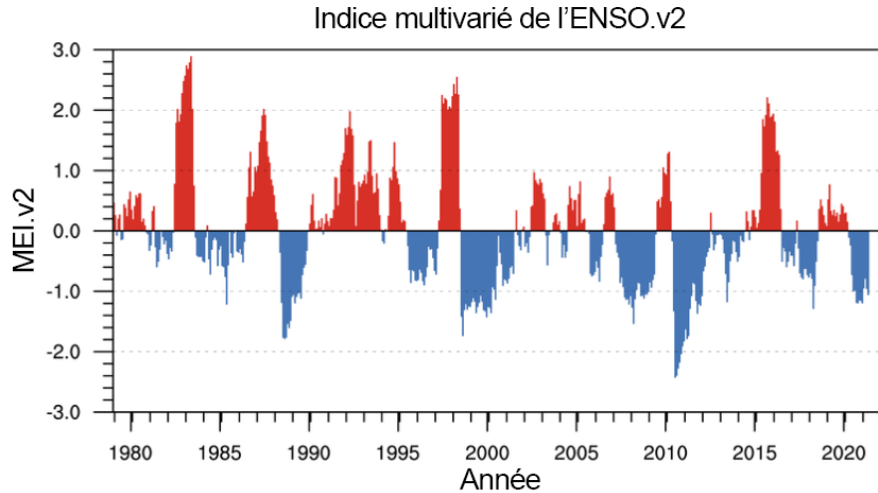


Figure 3-1. Tendence de la température annuelle d’après les observations de tous les phares. Les données indiquées sont les anomalies par rapport à la température moyenne à long terme (1935-2020). Les barres représentent la moyenne des anomalies sur toutes les stations (un indicateur pour toute la côte) (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.

section 14). Les vagues de chaleur marines sont de plus en plus fréquentes dans le nord-est de l'océan Pacifique; on en a observé de 2014 à 2016, en 2018 et en 2019-2020. Une telle période de huit années chaudes (2014-2020) n'avait été relevée qu'une seule fois au cours des 80 dernières années (de 1992 à 1998; Chandler, section 35).



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. La stratification hivernale a été forte en 2019-2020, mais pas aussi forte que l'hiver précédent, où on a observé un mélange hivernal extrêmement faible, similaire aux hivers des années de « Blob » (2013-2014, 2014-2015; Freeland 2015; Ross et

Robert, section 7). Ce faible mélange donne à penser 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 2020, mais pas aussi bas qu'en 2019 (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 18), 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 24) en raison de la sécheresse prolongée dans le nord de la Colombie-Britannique (Anslow, section 6).

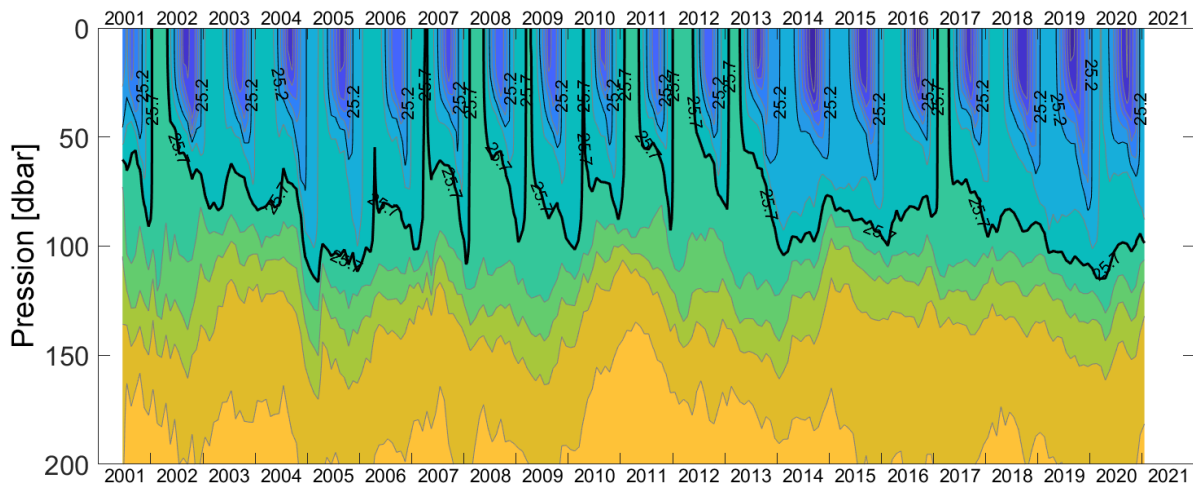


Figure 3-4. Graphique de contour en couleurs de la densité observée par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50°N, 145°O). Les couleurs indiquent la densité potentielle (le jaune est plus dense et le bleu plus léger). Les lignes noires mettent en évidence les isopycnaux σ_{θ} 25,2 kg/m³ (ligne mince) et 25,7 kg/m³ (ligne épaisse). Source : Ross et Robert, section 7.

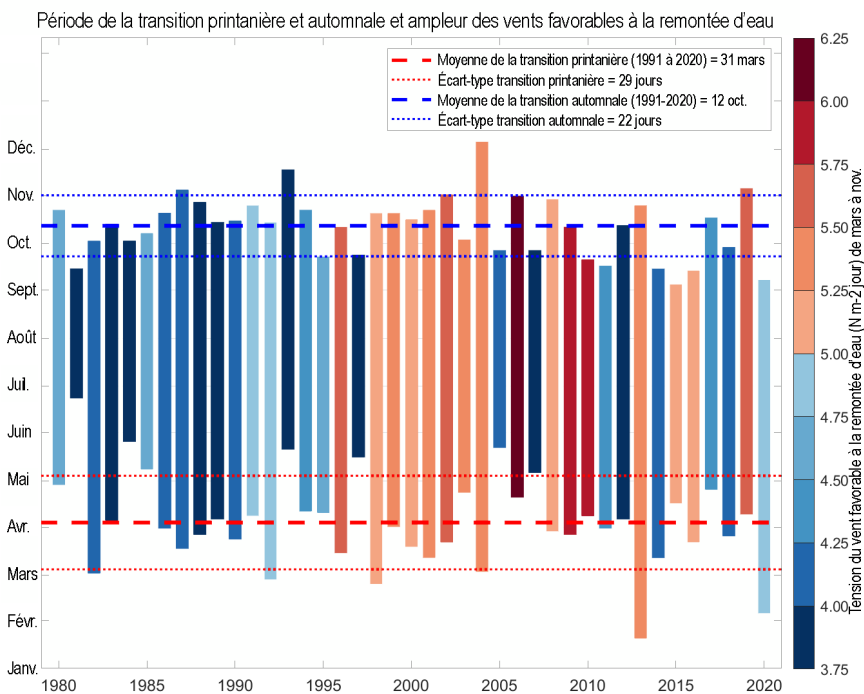


Figure 3-5. Période de la transition printanière et automnale annuelle et ampleur de la tension du vent favorable à la remontée d'eau de mars à novembre, de 1980 à 2020. La longueur de la barre correspond à la durée de la saison de remontée d'eau froide, colorée par l'intensité de la remontée (le rouge 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, section 8.

La période et l'ampleur des remontées d'eau froide et riche en nutriments au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) constituent un indicateur 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. En 2020, la saison de plongée d'eau hivernale s'est terminée tôt, mais la saison de remontée d'eau a commencé lentement. L'ampleur

des vents favorables à la remontée d'eau au cours de l'été 2020 était proche de la normale, avec une productivité moyenne prévue (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 36). La transition printanière de 2020 était très précoce par rapport à la moyenne de 1991 à 2020, ce qui est associé à une productivité côtière basée sur les remontées d'eau moyenne à supérieure à la moyenne (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 36; figure 3-5).

En 2020, les concentrations hivernales de nutriments en surface le long de la ligne P ont été parmi les plus faibles jamais enregistrées en raison d'une stratification accrue qui a limité le renouvellement des nutriments par transport vertical, ce qui avait également été observé les années précédentes (Peña et Nemcek, section 16). Un tourbillon Haïda avec des nutriments de surface inférieurs à la normale était présent aux stations en haute mer de la ligne P pendant l'hiver 2020. En été, les concentrations de nutriments de surface étaient similaires ou supérieures à celles observées en hiver. La biomasse phytoplanctonique était relativement faible le long de la ligne P en 2020, mais la composition de la communauté était similaire à celle

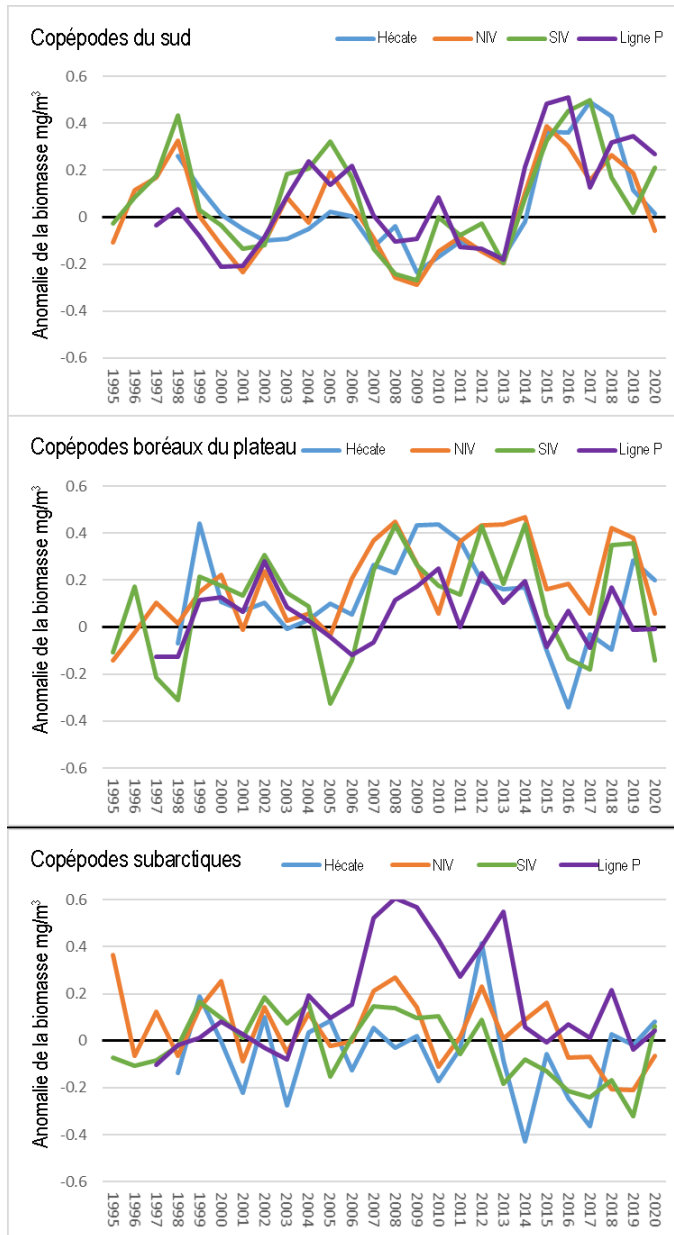


Figure 3-6. Série chronologique des anomalies des groupes d'espèces de zooplancton pour les régions indiquées sur la figure 16-1. Les graphiques linéaires sont les anomalies annuelles à l'échelle logarithmique. Sud de l'île de Vancouver (SIV) en vert; nord de l'île de Vancouver (NIV) en orange; détroit d'Hécale en bleu; 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.

an), a été annulé en 2020 en raison de la COVID-19. Les relevés sur les poissons de fond ont également été annulés; toutefois, de nouvelles analyses de l'état biologique des poissons de fond ont été fournies à partir des évaluations de stocks publiées. L'état moyen des stocks de poissons de fond a diminué de 1950 jusqu'à l'an 2000 environ et est resté relativement stable

des années précédentes, à l'exception d'une diminution de l'abondance des diatomées (Peña et Nemcek, section 16; Batten et Ostle, section 19).

Dans certaines zones au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), la communauté zooplanctonique a continué de refléter les conditions d'eau chaude, avec des abondances supérieures à la moyenne d'espèces méridionales (p. ex., les copépodes méridionaux le long de la ligne P et les espèces de chétognathes méridionaux dans toutes les zones) (Galbraith et Young, section 18) et, sur le plateau, une dominance des espèces de petits copépodes (Batten et Ostle, section 19). Les grands copépodes subarctiques et boréaux sont plus propices à la croissance des poissons que les petites espèces de copépodes du sud. En 2020, les anomalies de biomasse des copépodes boréaux et subarctiques sont passées à un niveau proche de la moyenne dans la plupart des régions (Galbraith et Young, section 18; figure 3-6). Les anomalies des copépodes du sud étaient positives le long et au large de la côte sud de l'île de Vancouver (figure 3-6; Galbraith et Young, section 18); les copépodes d'eau chaude étaient encore abondants dans les eaux du large (Ostle et Batten, section 19).

Les modifications de l'environnement physique et des communautés de phytoplancton et de zooplancton peuvent avoir des répercussions sur les niveaux trophiques supérieurs. Le relevé qui surveille habituellement la biomasse de crevettes océaniques de la COIV, qui est négativement corrélée à la température de la surface de la mer (décalée d'un

depuis. Le changement survenu autour de l'an 2000 a suivi la mise en place de quotas individuels transférables pour la flottille de chalutiers et le début des relevés synoptiques au chalut (Anderson *et al.*, section 27). Les captures par unité d'effort (CPUE) de thon blanc ont augmenté de 2018 à 2020 (Zhang, section 28).

Le taux de croissance des Stariques de Cassin est lié à l'abondance de leur proie principale, les copépodes *Neocalanus cristatus*, qui sont plus abondants pendant les années relativement froides (Hipfner *et al.* 2020). En 2020, les taux de croissance des oisillons du Starique de Cassin sur l'île Triangle n'ont pas pu être mesurés en raison de la COVID. Les tendances relatives aux populations de mammifères marins ne sont pas mises à jour annuellement; toutefois, les lecteurs sont invités à consulter le rapport 2020 sur l'état de l'océan Pacifique pour obtenir des renseignements récents.

Le relevé biophysique printanier de la mer des Salish a été annulé en raison de la pandémie de COVID-19. Le relevé d'été a montré des conditions de température et de salinité proches de la normale dans la majeure partie de la mer des Salish, avec des concentrations d'oxygène inférieures à la normale dans les 100 m supérieurs. Le relevé d'automne a détecté une intrusion d'eau plus froide, plus salée et faiblement oxygénée en provenance de l'océan Pacifique. L'échange d'eau dans le détroit de Haro a mélangé cette eau du Pacifique à faible teneur en oxygène avec de l'eau plus fraîche et plus chaude provenant du détroit de Georgia, ce qui a entraîné des conditions d'oxygène inférieur à la normale s'étendant vers le nord à travers le détroit de Georgia à des profondeurs de 50 à 100 m. (Chandler, section 35). Le débit du fleuve Fraser était nettement supérieur à la normale en 2020 (environ 30 % de plus que la moyenne sur 100 ans) (figure 3-7; Chandler, section 35).

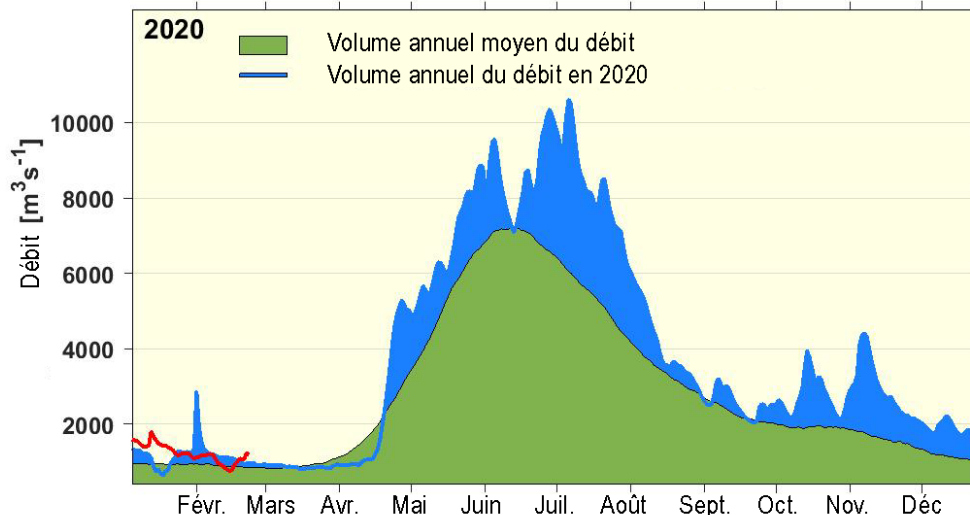


Figure 3-7. Débit du fleuve Fraser à Hope, en C.-B.; 2020 (bleu), moyenne sur 108 ans (vert), débit supérieur à la normale au début de 2021 (ligne rouge). Extrait du site Web « Données hydrométriques en temps réel » d'Environnement et Changement climatique Canada (https://eau.ec.gc.ca/mainmenu/real_time_data_index_f.html) le 23 février 2021.

Il y a eu des proliférations locales d'*Heterosigma akashiwo* avec des concentrations atteignant des milliers de cellules par mL dans la baie de Cowichan, la Sunshine Coast, et l'anse Irvine's/Sechelt en juillet et août 2020. Les proliférations d'*Heterosigma* de 2020 étaient plus abondantes qu'en 2015-2017 et 2019, mais moins qu'en 2018 (Esenkulova *et al.*, section 38).

Le crabe vert, une espèce aquatique envahissante qui a été observée pour la première fois dans en Colombie-Britannique après 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 sur la côte du centre de la Colombie-Britannique et dans la mer des Salish (Howard et Therriault, section 43). Cet envahisseur à fort impact qui a des effets négatifs sur la zostère, un habitat important pour les poissons, a été détecté pour la première fois à Haida Gwaii en juillet 2020 (Howard et Therriault, section 43). Le trafic maritime introduit divers facteurs de stress dans les écosystèmes marins (p. ex., le pétrole, le bruit, les collisions avec les navires, etc.). L'intensité du trafic maritime a augmenté dans la mer des Salish depuis 2015-2017 pour presque tous les types de navires, et on observe des preuves d'une intensité croissante pour les navires de plaisance et autres (O'Hara *et al.*, section 44).

La variation annuelle du moment de la prolifération printanière et de la composition des communautés peut avoir une incidence sur le réseau trophique, en fonction de la concordance ou non-concordance temporelle entre les proies et leurs prédateurs. Dans le détroit de Georgia, la période de prolifération printanière était similaire à la moyenne à long terme (Allen *et al.*, section 37; Dewey *et al.*, section 36) – ce qui signifie de bonnes conditions d'alimentation pour les poissons juvéniles.

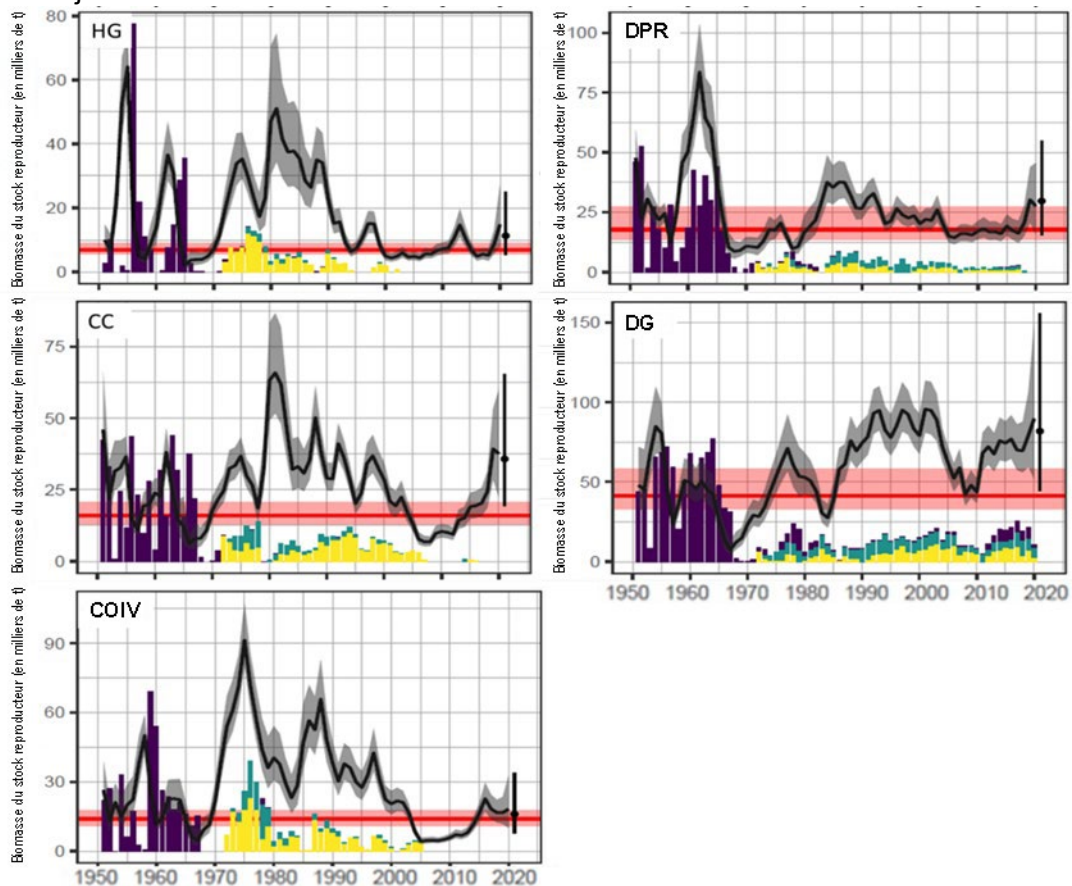


Figure 3-8. Sommaire de la dynamique des cinq stocks de hareng du Pacifique de 1951 à 2020; les lignes pleines entourées d'une enveloppe grise représentent les médianes et les intervalles de crédibilité de 5 à 95 %. La reconstitution de la biomasse reproductrice pour chaque année t est également présentée, les valeurs non pêchées étant indiquées à l'extrême gauche (cercle plein et lignes verticales) et la biomasse reproductrice projetée avec des prises nulles 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 2021). Ligne rouge= point de référence limite (0,3 B0). B0 = biomasse non exploitée. Figure adaptée de MPO (2021). Figure adaptée de MPO (2020).

En 2020, la biomasse zooplanctonique dans le détroit de Georgia était supérieure à la moyenne à long terme (Young *et al.*, section 39). Les tendances relatives à l'abondance et à la biomasse étaient similaires à celles observées en 2019 pour les taxons zooplanctoniques crustacés, qui constituent une nourriture importante pour les saumons juvéniles (Young *et al.*, section 39). En 2020, la biomasse reproductrice du hareng du Pacifique variait entre les zones évaluées. Par exemple, depuis 2000, la biomasse de Haida Gwaii est faible, avec une augmentation en 2020. De plus, en 2020, la biomasse du stock du détroit de Georgia était relativement élevée par rapport aux niveaux historiques (Cleary *et al.*, section 21; figure 3-8). En 2020, le relevé des harengs du Pacifique juvéniles du détroit de Georgia a été annulé en raison de la COVID. En 2020, on a estimé que l'indice de la biomasse du stock reproducteur d'eulakane du fleuve Fraser était relativement élevé (environ 624 tonnes), ce qui est à peu près égal à l'indice de 2001 et supérieur à toutes les années depuis 2001 (Flostrand, section 20). En 2020, il a été confirmé qu'une diatomée benthique d'eau douce appelée didymo était une composante majeure des matières recueillies dans les échantillons d'eau du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane du fleuve Fraser. La croissance importante de l'algue didymo dans les bassins versants supérieurs de la Colombie-Britannique et le fort débit sortant de didymo dans le bas Fraser ont des répercussions inconnues et peut-être négatives pour les habitats et l'écosystème des bassins versants supérieurs et inférieurs (Flostrand, section 20).

Dans le détroit de Georgia, le relevé printanier sur les saumons juvéniles du Pacifique a été annulé, mais le relevé d'automne a été effectué et a révélé que l'indice d'abondance du saumon coho était le quatrième plus élevé observé dans la série chronologique (Neville, section 40). De plus, l'indice d'abondance du saumon chinook était le plus important observé dans la série chronologique (Neville, section 40). Le relevé de l'écosystème pélagique intégré (REPI) de l'été a été annulé, de sorte qu'il n'y a pas de mises à jour sur l'abondance des harengs du Pacifique et des saumons juvéniles du Pacifique. En octobre 2020, un relevé des saumons juvéniles a été effectué dans le bassin Reine-Charlotte, l'entrée Dixon et le détroit d'Hécate pour mesurer l'abondance relative, la condition et l'identification génétique des stocks des différentes espèces (Anderson *et al.*, section 22). Les anomalies d'abondance et de condition varient selon les régions et les espèces (Anderson *et al.*, section 22). En 2019, les remontes de saumons rouges, chinook et kéta adultes étaient généralement peu abondantes (Grant *et al.*, section 23). En ce qui a trait aux remontes de saumon coho et de saumon rose en 2020, le saumon rose a généralement eu de meilleures remontes que la plupart des espèces au cours des dernières années dans certaines zones du détroit de Johnstone, tandis que les remontes de saumon coho étaient généralement dans la moyenne ou inférieures à la moyenne, à quelques exceptions près (Grant *et al.*, section 23). Entre 2015 et 2020, la plupart des stocks indicateurs de saumons rouges de la Colombie-Britannique ont généralement présenté des remontes inférieures ou très inférieures à leur moyenne sur 40 ans (Hyatt *et al.*, section 24), et l'abondance de la remonte ainsi que la productivité du regroupement du saumon rouge du Fraser étaient faibles (figure 3-9, Grant *et al.*, section 23). Les saumons rouges du fleuve Fraser qui sont arrivés à maturité durant les années impaires étaient généralement plus petits que ceux qui sont arrivés à maturité les années paires, les tailles selon l'âge en 2019 et 2020 étant parmi les plus faibles observées depuis plus de 60 ans (Latham *et al.*, section 26). Pour

l'ensemble du Pacifique Nord, les abondances récentes de saumon ont atteint les niveaux de 2018 ou ont approché des niveaux records jusqu'en 2020, année à laquelle le nombre de saumons qui sont remontés été bien inférieur aux prévisions; l'écosystème du Pacifique Nord a peut-être été suffisamment perturbé par des années consécutives d'abondance de saumon rose pour réduire les remontes de saumon en 2020 (Irvine *et al.*, section 25).

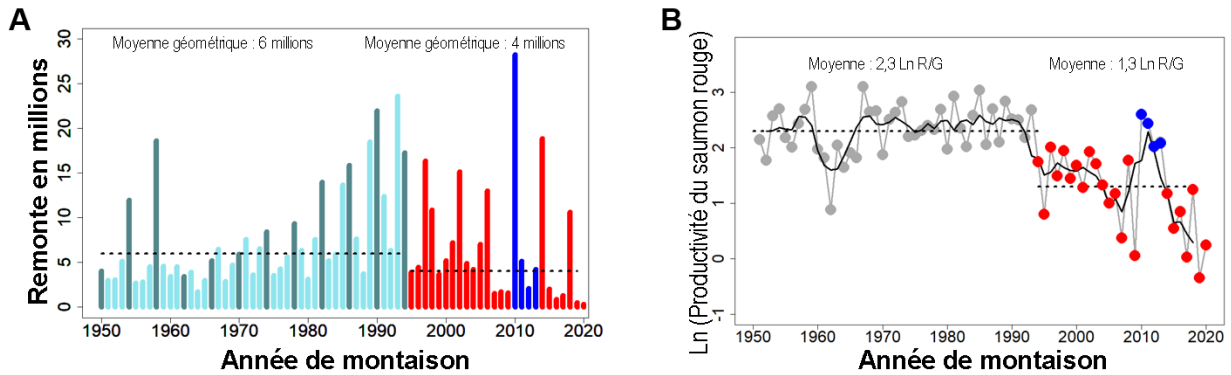


Figure 3-9. (A) Remontes annuelles totales de saumon rouge du Fraser. Pour les années de 1950 à 1994, les barres vert foncé correspondent à la lignée du cycle de 1950, et les barres bleu clair aux trois autres lignées du cycle. Pour les années de 1995 à 2020, les barres verticales rouges indiquent une période de réduction de la productivité du saumon rouge du Fraser, à l'exception d'une période, allant de 2010 à 2013 (barres verticales bleues), où la productivité était plus proche de la période précédente (1950 à 1994). (B) Productivité totale du saumon rouge du Fraser (\log_e (remontes/femelles ayant frayé)). Les points et lignes gris représentent les estimations de la productivité annuelle. La productivité et la taille des remontes ont diminué au cours des dernières décennies, mises en évidence en rouge, à l'exception de quatre années de 2010 à 2013, qui étaient plus proches de la période précédente (1950-1994), mises en évidence en bleu. Sur les deux figures, la ligne pointillée représente la moyenne de la série chronologique. Source : Grant *et al.*, section 23.

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.
- 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>
- 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 2020

Faron Anslow, Pacific Climate Impacts Consortium, Victoria, Colombie-Britannique,
fanslow@uvic.ca

6.1. Points saillants

- Les conditions d'El Niño-oscillation australe (ENSO) étaient neutres, avec une tendance vers un développement de La Niña à la fin du printemps.
- La Colombie-Britannique a connu des précipitations supérieures à la normale, des températures maximales quotidiennes proches de la normale et des températures minimales quotidiennes supérieures à la normale en 2020.
- Un manteau neigeux normal à supérieur à la normale a persisté pendant une bonne partie du mois de juin dans le sud-est et le nord de la Colombie-Britannique.
- La fin du printemps et l'été ont été marqués par une humidité record et des températures maximales quotidiennes très froides.
- Les tendances de la température ont été positives entre 1950 et 2020 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 se produisent sur la terre ont des répercussions sur les eaux côtières voisines par le biais des débits des rivières, des températures et des nutriments provenant des rivières et des ruisseaux et, de manière ponctuelle, la sédimentation provoquée par les feux de forêt a des impacts sur les eaux océaniques. Une approche holistique pour décrire l'état de l'océan Pacifique nécessite une description de 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 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 les mesures mensuelles de l'équivalent en eau de la neige. Cette section fait également référence aux indicateurs de l'El Niño-oscillation australe (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 d'anomalies quadrillées 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 121 pour 2020. Nous définissons de grandes catégories d'anomalies allant d'un 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 100^e, 100^e à 90^e, 90^e à 66^e, 66^e à 33^e, 33^e à 10^e, 1^{re} classes de centiles.

6.3.2. Neige

Le ministère de l'Environnement et de l'Action 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 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 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 attentes historiques. En ce qui concerne le débit des rivières, le manteau neigeux détermine le risque supplémentaire (ou l'absence de risque) d'inondation pendant la saison de fonte printanière. Dans cette section, nous décrivons l'évolution des anomalies cartographiées de l'enneigement.

6.4. État et tendances

6.4.1. Température et précipitations

Les températures étaient supérieures à la normale dans l'ensemble de la Colombie-Britannique par rapport au record à long terme (1900 à 2020). Les moyennes des températures minimales quotidiennes étaient parmi les 15 plus élevées annuellement pour tout le sud de la Colombie-Britannique, au nord de Prince George et de Smithers. Vers le nord, les températures minimales quotidiennes ont été parmi les 23 plus élevées annuellement de l'enregistrement à long terme. 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 du nord-ouest de la province, près d'Atlin (C.-B.), et du coin sud-est, dans le sud des monts Kootenay, où les températures ont été supérieures à la normale, se situant du 41^e au 14^e rang. Les anomalies de précipitations dans toute la province ont été de supérieures à très supérieures à la normale, les anomalies les plus élevées traçant une bande du sud-ouest de la Colombie-Britannique vers le nord jusqu'à Prince George et Valemount. Cette région a connu des anomalies parmi les 13^e à 5^e plus humides dans l'enregistrement à long terme. Les régions plus humides que la normale au nord se sont classées du 26^e au 32^e rang, tandis que les régions plus humides que la normale au sud-est se sont classées du 16^e au 27^e rang. Des conditions sèches se sont étendues dans tout le nord de la Colombie-Britannique, tandis que des précipitations proches de la normale sont tombées dans le sud des monts Kootenay, près de Cranbrook.

Sur les échelles de temps saisonnières et mensuelles, les principales anomalies ont été liées aux conditions estivales. La moitié nord de la Colombie-Britannique, à partir de Smithers et Prince George vers le nord, a connu des précipitations record pour la saison estivale. Vers le sud, les conditions ont été humides, mais moins extrêmes et la tendance est à des conditions normales ou plus sèches que la normale dans la partie la plus méridionale de la province, à l'est de la chaîne côtière. Il s'agissait du deuxième été consécutif de fortes précipitations et par conséquent, comme en 2019, la saison des feux de forêt a connu une très faible activité.

L'été humide s'est accompagné d'anomalies de température typiques des conditions nuageuses. La moyenne des températures maximales quotidiennes a été très froide, avec des anomalies considérablement inférieures à la normale enregistrées dans toute la province, sauf dans le sud des monts Kootenay. Ces températures diurnes froides ont été accompagnées de températures nocturnes chaudes qui ont été supérieures à la normale à partir des régions de Smithers et de Prince George vers le sud, et très supérieures à la normale vers le nord.

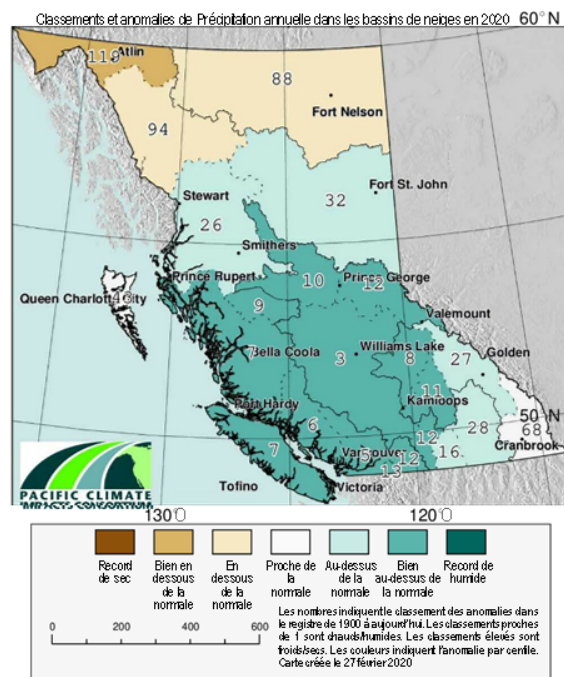
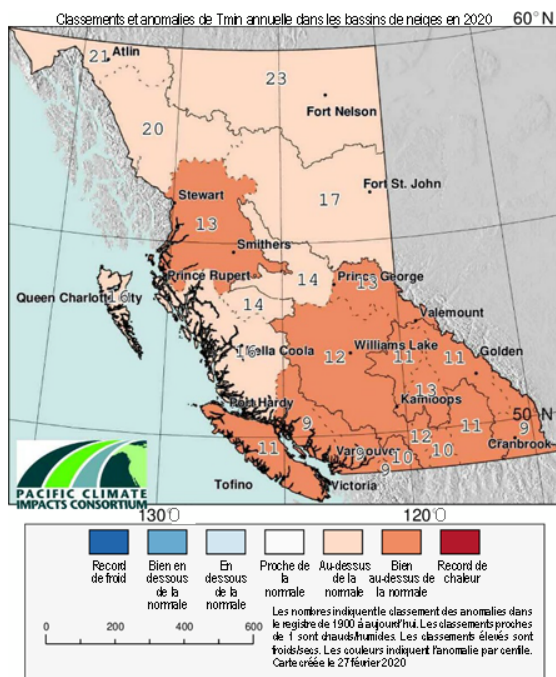


Figure 6-1. Anomalies annuelles de la température minimale quotidienne moyenne (graphique de gauche) et des précipitations annuelles totales (graphique de droite) pour 2020 en Colombie-Britannique. Les quantiles définissant l'échelle de couleurs sont décrits dans le texte. Les nombres sur la carte correspondent au classement parmi les 121 années d'observation de 1900 à 2020.

Nous calculons les tendances pour l'ensemble de la période allant de 1900 à 2020 et de 1950 à 2020 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, vu la faible variabilité spatiale et interannuelle des anomalies de température par rapport aux précipitations. Les valeurs tendanciennes 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 1950-2020 (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 2020 et de 1950 à 2020. En raison du faible niveau de confiance dans la représentativité spatiale du réseau des précipitations au début du siècle, la tendance à long terme des précipitations n'est pas présentée. Les tendances statistiquement significatives sont indiquées en gras.

<i>Tendances des températures et précipitations annuelles</i>	1900 – 2020	1950 – 2020
<i>Tmax (°C an⁻¹)</i>	0,01	0,02
<i>Tmin (°C an⁻¹)</i>	0,02	0,03
<i>Précip. (% an⁻¹)</i>		0,07

6.4.2. Neige

L'évolution du manteau neigeux en Colombie-Britannique au cours de l'hiver 2019-2020 était plutôt typique jusqu'à ce qu'elle soit ponctuée, dans l'ouest de la province, par des conditions chaudes et sèches au printemps. L'accumulation de neige a atteint de 88 % à 144 % de la normale à la fin du mois de mars, les valeurs les plus faibles ayant été enregistrées sur l'île de Vancouver, tandis que celles du bassin du haut Fraser étaient bien au-dessus de la normale (figure 6-2). Le printemps plutôt chaud et sec dans l'ouest de la Colombie-Britannique a fait en sorte que les quantités de neige étaient faibles à la fin du mois de mai. Le manteau neigeux dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique est passé de 22 % de la normale sur l'île de Vancouver à 78 % de la normale le long de la côte centrale. Au nord et à l'est, les quantités de neige sont restées supérieures à la normale, soutenues par des quantités de précipitations supérieures à la normale (figure 6-2). Le passage de quantités de neige proches de la normale

à une faible accumulation de neige indique une fonte accélérée et une crue printanière plus précoce que la normale dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, tandis que les quantités élevées de neige conservée dans le reste de la province correspondent à des pointes plus tardives que la normale de la crue printanière. Les températures diurnes fraîches et les fortes précipitations ont prolongé le pic de ruissellement du printemps jusqu'au début de l'été.

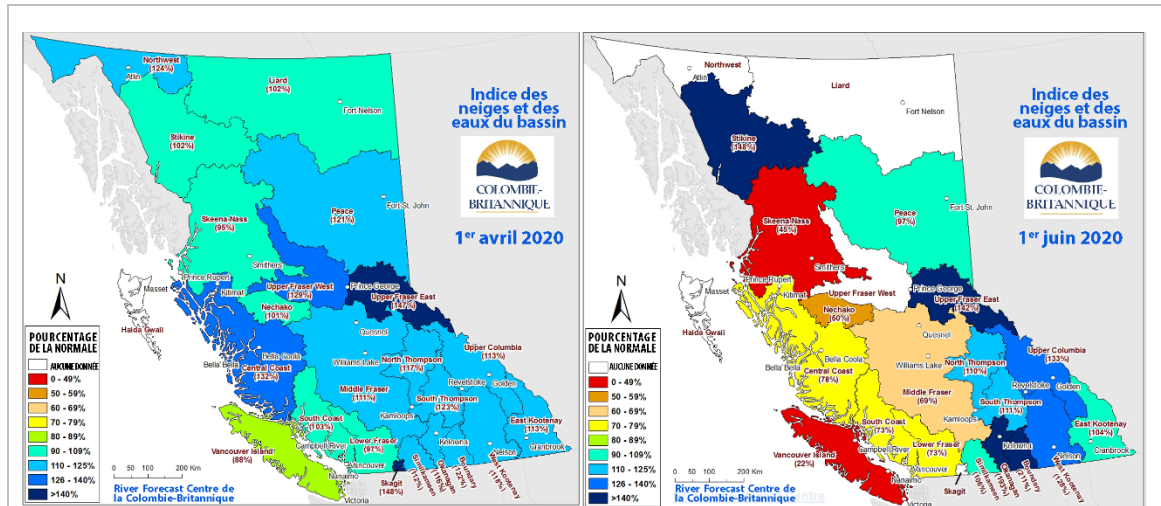


Figure 6-2. Anomalies du manteau neigeux de la Colombie-Britannique pour avril (à gauche) et juin (à droite) 2020. Les cartes sont produites par le Centre de prévision des rivières (River Forecast Centre) du ministère des Forêts, des Terres, de l'Exploitation des ressources naturelles et du Développement rural de la Colombie-Britannique (River Forecast Centre 2020).

6.5. Discussion

En Colombie-Britannique, l'année 2020 a été légèrement plus chaude que la normale, les anomalies de température les plus élevées ayant été enregistrées en septembre. Les précipitations ont été supérieures à la normale dans une grande partie du centre et du sud de la Colombie-Britannique; la fin du printemps et l'été ont été extrêmement humides.

Les conditions anormales observées sont probablement dues en partie au réchauffement en cours dans la province et pourraient être liées à l'activité de l'ENSO. Le début de l'année a été neutre du point de vue de l'ENSO, de sorte que l'hiver et le printemps ont connu peu de forçage de cette téléconnexion. Toutefois, on a observé un régime La Niña dans les températures océaniques, qui s'est formé à la fin du printemps et a persisté jusqu'à la fin de l'année 2020. Les impacts d'ENSO atteignent généralement un pic à la fin de l'hiver et au printemps; il est donc possible que le développement de La Niña ait joué un rôle dans la forte humidité de la fin du printemps et de l'été (Stahl *et al.* 2006). Bien que les conditions La Niña soient associées à des températures plus fraîches que la normale, la période humide du printemps et de l'été a connu des journées froides, mais des nuits chaudes qui ont rendu les températures moyennes quotidiennes proches de la normale. À l'approche de l'automne, l'incidence de l'ENSO sur les conditions météorologiques de la Colombie-Britannique est généralement faible, de sorte que les anomalies sont attribuables à la variabilité naturelle.

6.6. Références

River Forecast Centre. 2020. Snow Water and Water Supply Bulletins for 2020. BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, Victoria, B.C., 142 p.

<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/river-forecast/2020.pdf>, accessed 20 February, 2021.

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. LA VAGUE DE CHALEUR MARINE SE POURSUIT MALGRÉ LA CROISSANCE DE LA NIÑA

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. Points saillants

- Pendant la majeure partie de l'année 2020, le nord-est de l'océan Pacifique a connu des conditions de vague de chaleur marine pour les eaux de surface et de subsurface.
- Le mélange hivernal de 2019-2020 était faible, ce qui indique des niveaux de nutriments de surface plus faibles au printemps 2020, mais pas aussi faibles qu'en 2019.
- Malgré les conditions de La Niña, les conditions de vague de chaleur marine ont persisté tout au long de la seconde moitié de 2020, ce qui donne à penser que les températures auraient été plus élevées dans le nord-est de l'océan Pacifique si ce n'était de la phase du cycle ENSO.

7.2. Résumé

D'après les données de la NOAA sur la température de la surface de la mer et des terres remontant jusqu'à 1880, 2020 a été la deuxième année la plus chaude jamais enregistrée au niveau mondial (NOAA State of the Climate 2020). Cela correspond à la tendance récente, avec neuf des dix années les plus chaudes dans la dernière décennie. Dans l'ordre, les dix années les plus chaudes sont 2016, 2020, 2019, 2015, 2017, 2018, 2014, 2010, 2013 et 2005. Les températures de la surface de la mer (TSM) dans le nord-est de l'océan Pacifique étaient supérieures d'environ 1 °C par rapport à la moyenne de la période de référence 1981-2010 (<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/service/global/map-blended-mntp/202001-202012.png>).

Dans le nord-est de l’océan Pacifique, les températures de la surface de la mer ont été chaudes tout au long de 2020 (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 une grande partie de l’année. Cette situation représente le prolongement de la vague de chaleur marine qui a commencé en 2019 (Amaya *et al.* 2020; Hannah *et al.* 2020; Ross et Robert 2020). Contrairement à la vague de chaleur marine de 2014 à 2016, où les anomalies positives relatives à la température de la surface de la mer ont été amplifiées par un important phénomène El Niño en 2015, les conditions liées à La Niña se sont amplifiées tout au long de 2020, comme le montre la figure 7-1. Les conditions de La Niña diminuent

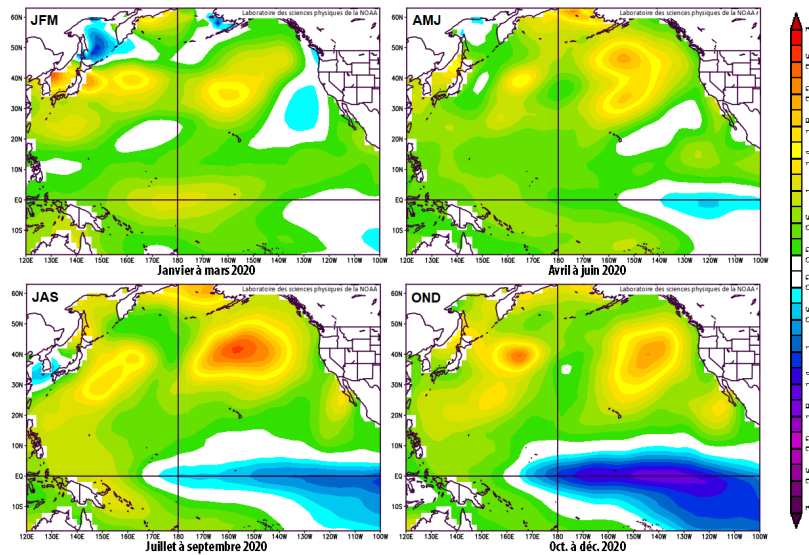


Figure 7-1. Cartes saisonnières des anomalies de température dans l’océan Pacifique pour 2020. La barre de couleur sur la droite, montrant l’anomalie de température en °C, s’applique à tous les graphiques. Les anomalies sont calculées par rapport à la période de référence 1981-2010. Source : NOAA Extended SST v4 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>.

généralement la température de la surface de la mer dans le nord-est de l'océan Pacifique; la vague de chaleur marine aurait donc probablement été plus forte sans La Niña.

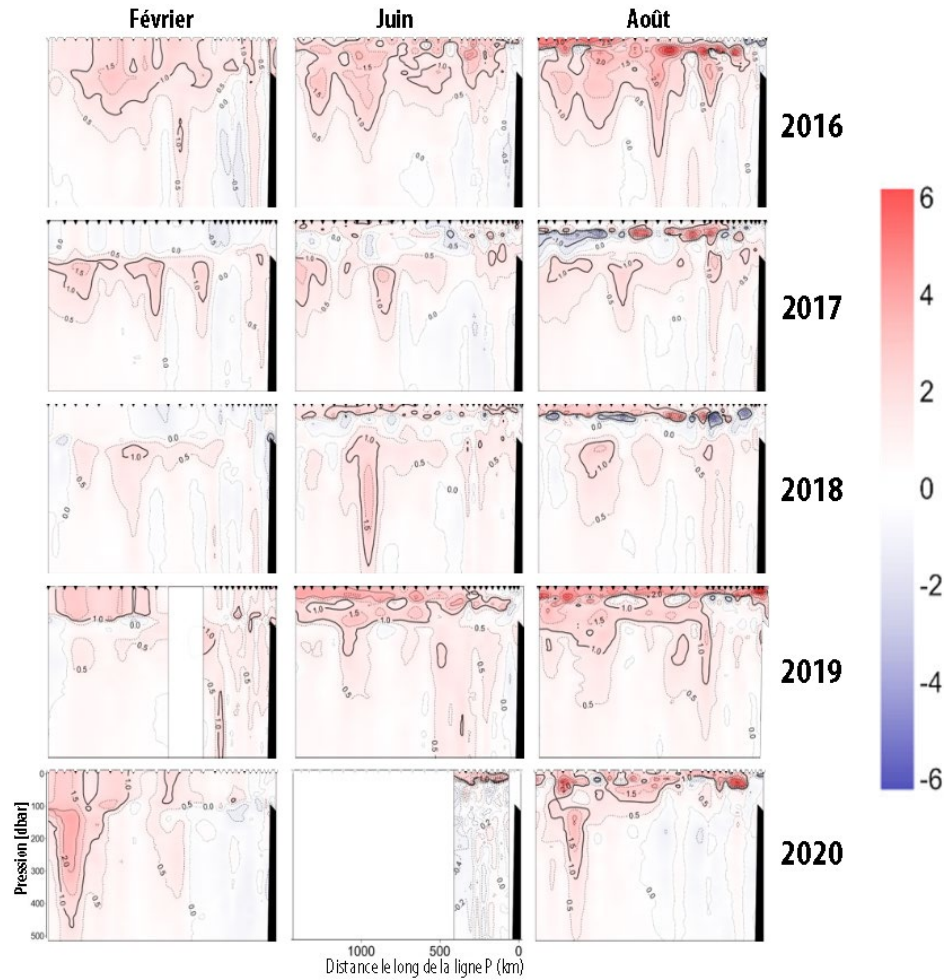


Figure 7-2. Anomalies de température (°C) le long de la ligne P de 2016 à 2020 par rapport à la moyenne de 1981 à 2010.

A la Station Papa $(T(z,t) - T_{\text{clim}}(z)) / \sigma_{T_e}(z)$

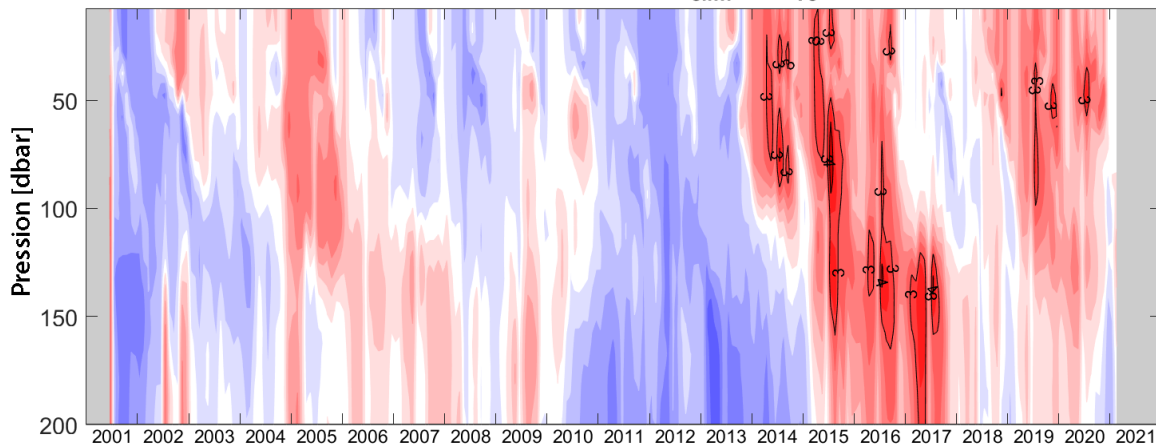


Figure 7-3. Graphique des anomalies de température par rapport à la moyenne désaisonnalisée de 1956 à 2012 et à l'écart-type (d'après la série chronologique de la ligne P), observées par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50° N, 145° O). Les couleurs froides indiquent des températures 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.

Des températures supérieures à la moyenne (par rapport aux moyennes de 1981 à 2010 [figures 7-1 et 7-2] et de 1956 à 2012 [figure 7-3]) 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 l'emplacement de la station Papa; figure 7-3) ont révélé des températures de subsurface supérieures à la moyenne à la station Papa tout au long de 2020. Cette situation est très similaire à celle de 2019. 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. Contrairement à la vague de chaleur marine de 2014 à 2016, rien n'indique que la profondeur du pic de l'anomalie de température ait augmenté au fil du temps. La vague de chaleur marine a été observée sur l'ensemble de la ligne P (figure 7-2; notez qu'un tourbillon était présent près de l'extrémité de la ligne la plus au large en février, les anomalies de température en profondeur étaient donc liées à cette caractéristique

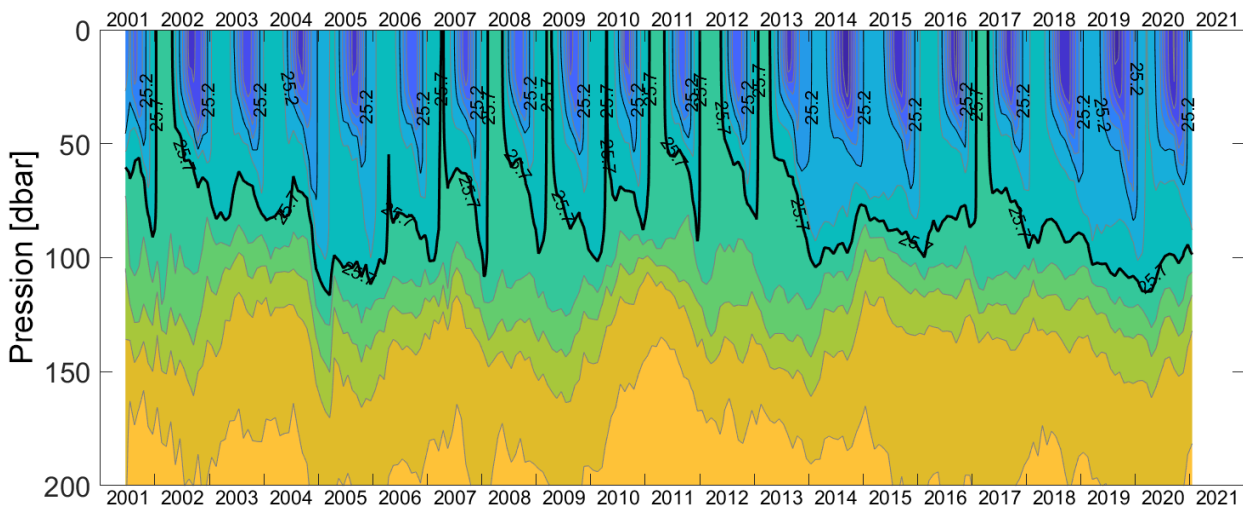


Figure 7-4. Graphique de contour en couleurs de la densité observée par les flotteurs Argo près de la station Papa (P26 : 50° N, 145° O). Les couleurs indiquent la densité potentielle (le jaune est plus dense et le bleu plus léger). Les lignes noires mettent en évidence les isopycnaux $\sigma_t=25,2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

transitoire et non à la vague de chaleur marine). Les anomalies les plus importantes ont été observées dans les données d'août 2020, qui ne présentaient que des anomalies légèrement plus faibles qu'en 2019, malgré les conditions relatives à La Niña.

La stratification hivernale a été forte en 2019-2020, mais pas aussi forte que l'hiver précédent, où on a observé un mélange hivernal extrêmement faible, similaire aux hivers des années de « Blob » (2013-2014, 2014-2015; Freeland 2015). Pendant les années 2017 et 2018, il semblait que le mélange hivernal était revenu à la normale, mais la récente vague de chaleur marine a de nouveau réduit le mélange hivernal. 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 2014 à 2016, 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 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 suggère 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 2020, mais pas

aussi bas qu'en 2019. Avec les conditions de vague de chaleur marine qui semblent s'estomper (figure 7-3) et un hiver touché par La Niña, il est probable que l'année 2020-2021 connaisse un mélange hivernal plus important.

Si l'on examine les indices climatiques dans leur ensemble (figure 7-5), 2020 aurait dû être une année fraîche; tous les indices indiquent une période fraîche, sauf l'indice NPGO. Cependant, le nord-est de l'océan Pacifique a connu une année très chaude avec des conditions de vague de chaleur marine pendant la plus grande partie de l'année.

7.3. Indices climatiques

L'**indice Nino océanique (INO)** est un indice mensuel qui est une moyenne mobile sur trois mois des anomalies de la température de la surface de la mer (TSM) 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 5 ans, afin de tenir compte du réchauffement climatique et d'une partie de la variabilité de la TSM à l'échelle décennale (comme on le voit dans l'indice PDO). L'INO 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 Pacifique Nord (IPN)** représente la pression au niveau de la mer pondérée en fonction de la superficie sur le Pacifique Nord de 30° N à 65° N et de 160° E à 140° O. Cet indice, comme l'indice de dépression des Aléoutiennes (ALPI; Surry et King 2015) rapporté l'année dernière, est un indicateur utile de l'intensité et de l'étendue du système de basse pression dans les Aléoutiennes. L'IPN a été généralement positif (bleu) de 1950 à 1976, et généralement négatif (rouge) de 1977 à 2008, un changement qui peut être attribué au renforcement du système de basse pression des Aléoutiennes après 1977. De 2008 à aujourd'hui, l'IPN a été principalement positif, en raison de la faiblesse des dépressions des Aléoutiennes. L'anomalie de l'IPN, représentée sur la figure 7-5, a été calculée à partir de l'IPN en supprimant la moyenne de 1950 à 2018. Les séries chronologiques mensuelles de l'IPN sont fournies par la section de l'analyse climatique du National Center for Atmospheric Research (NCAR) à Boulder, au Colorado, et sont basées sur

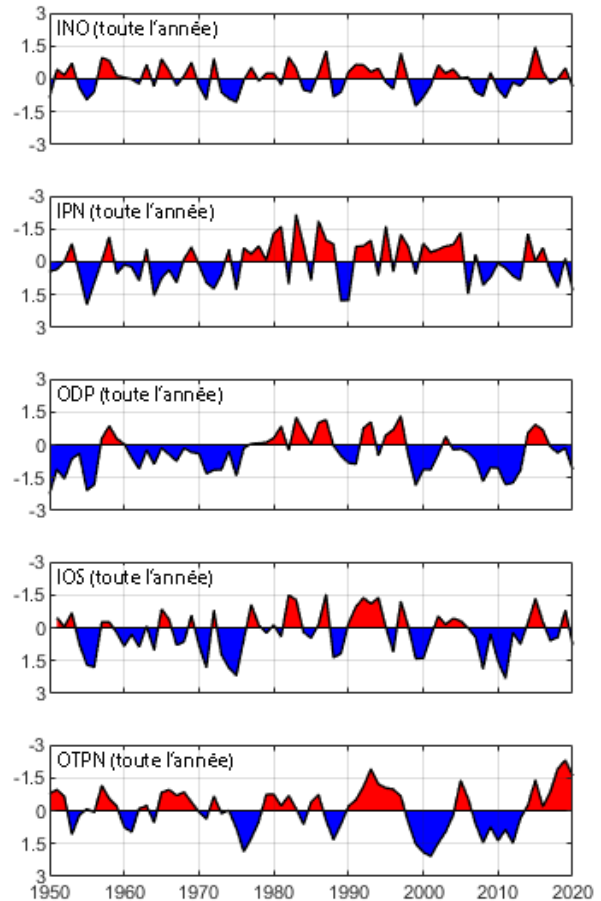


Figure 7-5. Série chronologique des indices climatiques de l'océan Pacifique. La moyenne de chacun des indices mensuels a été calculée sur l'ensemble de l'année. Certaines séries sont inversées (les valeurs négatives sont au-dessus des axes) de sorte que toutes les séries sont en rouge lorsque les températures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

Trenberth et Hurrell (1994) : https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/cas_data_files/asphilli/npindex_monthly.txt.

L'**indice de l'oscillation décennale du Pacifique (ODP)** 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 TSM) 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. L'ODP 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'**indice de l'oscillation sud (IOS)** 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 et La Niña, l'INO le suit de très près. L'IOS 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'**oscillation du tourbillon du Pacifique Nord (OTPN)** est un profil climatique qui apparaît comme le deuxième mode dominant de variabilité de la hauteur de la surface de la mer (2^e composante principale de la hauteur de la surface de la mer) 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 l'OTPN 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. Références

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>

Hannah, C., Chandler, P., and Page, S. The Marine Heatwaves of 2018 and 2019. In 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.

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 2020: NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020, published online January 2021, retrieved on February 26, 2021 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.

Ross, T., and Robert, M. Are Marine Heatwaves the new Normal for the Northeast Pacific Ocean? In 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.

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: 31 + v p.

Trenberth, K.E., and Hurrell, J.W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics* 9: 303-319.

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. Points saillants

- D'après la période des vents favorables à la remontée des eaux et des courants littoraux, la période de la transition printanière de 2020 était très précoce par rapport à la moyenne de 1991 à 2020. Cette période est associée à une productivité côtière basée sur la remontée des eaux moyenne à supérieure à la moyenne.
- Les vents favorables à la remontée des eaux supérieurs à la moyenne sont généralement associés à une augmentation de la productivité côtière. Entre 45° et 60° N, l'ampleur des vents favorables à la remontée des eaux en 2020 était près de la moyenne de 1991 à 2020 pendant la saison chaude. Cela a favorisé la productivité côtière basée sur la remontée des eaux moyenne.
- 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, qu'elles se sont déplacées vers l'ouest au large, que la saison des tempêtes était plus courte, ou une combinaison de ces trois phénomènes s'est produite. Ces conditions sont associées à des vagues de chaleur marines, comme en 2013-2014. En décembre 2020, l'hiver 2020-2021 semble se situer dans la moyenne.

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

Le passage, au printemps, des vents circulant en direction du pôle et propices à la plongée d'eau en hiver à des vents circulant en direction de l'équateur et favorables à la remontée en été est appelé « transition printanière ». Le processus inverse 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

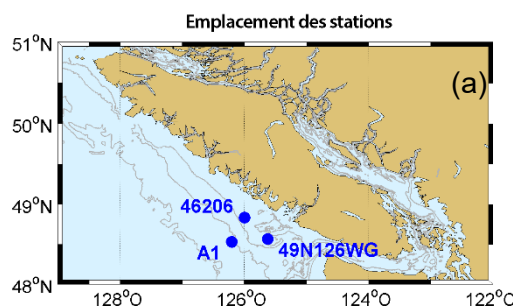


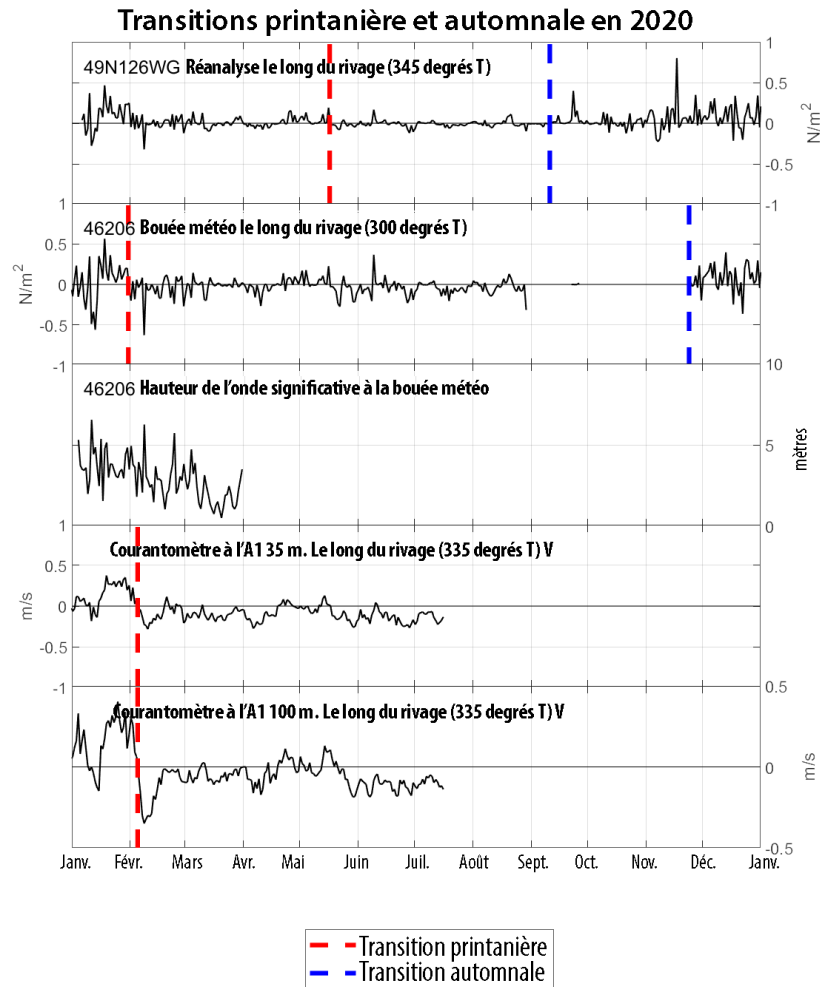
Figure 8-1. (a) Emplacements des observations délimitant les transitions printanières et automnales historiques.

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 de la côte tirées de la réanalyse-1 NCEP/NCAR (Kistler *et al.* 2001), de la vitesse du vent le long de la côte mesurée par 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 telles que 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, et 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).

(b)



(c)

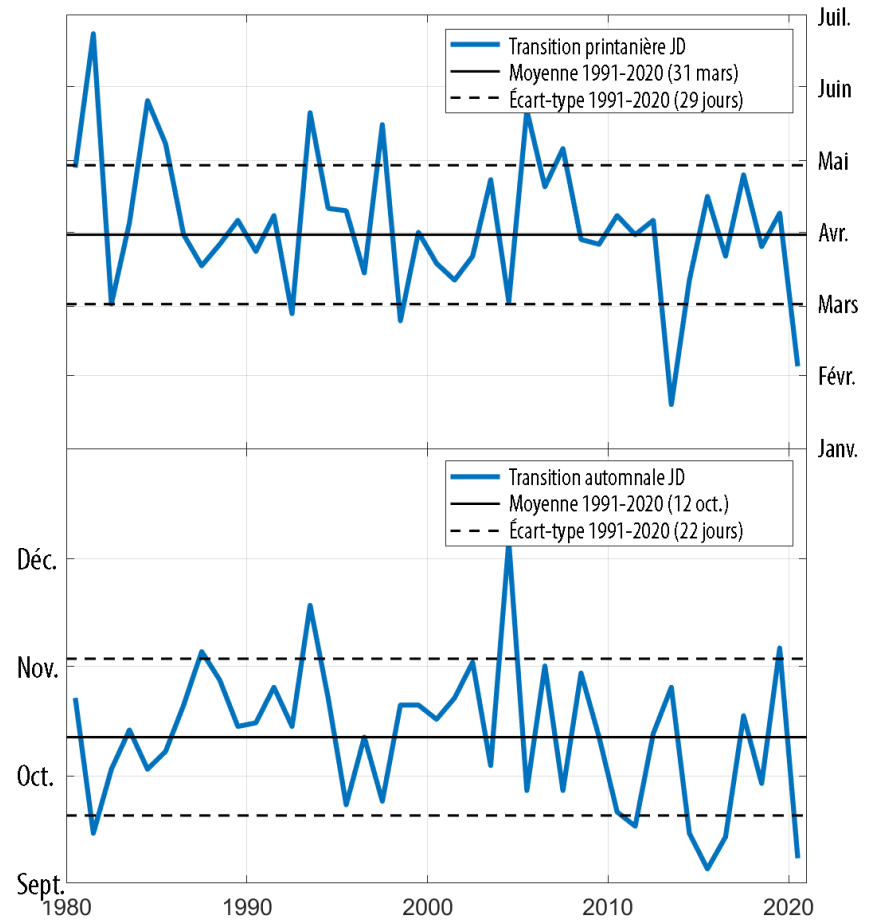


Figure 8-1. (b) Séries chronologiques décrivant les transitions printanières et automnales au large de la côte ouest de l'île de Vancouver en 2020. Tension du vent au point 49N126O de la grille de réanalyse-1 et à la bouée météorologique 46206; hauteur de l'onde significative à 46206; vitesse du courant 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 2020, le moment de la transition printanière était très précoce par rapport à la moyenne de 1991 à 2020 (figure 8-1 et figure 8-4), et le deuxième plus précoce depuis 2013. Il n'y a pas assez de données pour évaluer avec certitude la transition automnale de 2020. Depuis 2005, il semble y avoir une légère tendance à une transition printanière plus précoce. Cela semble être également le cas pour la période de transition automnale (de la remontée d'eau à la descente d'eau, également illustrée sur les figures 8-1 et 8-4), de sorte que la saison de la remontée d'eau peut être plus précoce, mais pas plus longue.

8.3.1. 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 au 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 2020 pour obtenir l'indice de la remontée d'eau.

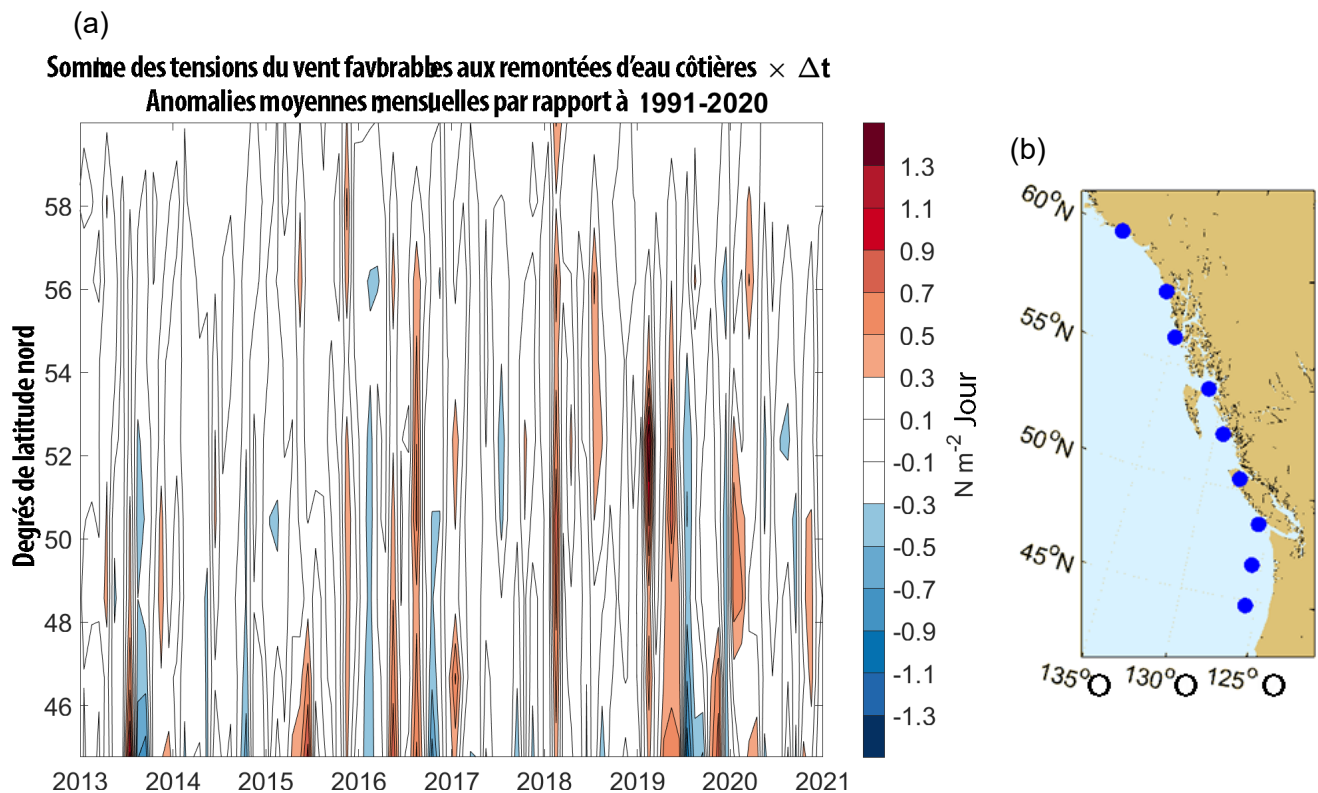


Figure 8-2. Anomalies moyennes mensuelles récentes (2013 à 2021) (par rapport à 1991-2020) des sommes mensuelles de la tension du vent (vers l'équateur) favorable à la remontée d'eau le long de la côte (a) provenant des emplacements de la grille de réanalyse-1 NCEP/NCAR de la tension du vent de surface côtier, 45-60°N (b).

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 est revenue à un niveau proche de la moyenne entre 45° et 60° de latitude nord en 2020, après une période de variabilité beaucoup plus élevée en 2019. Ces données indiquent un retour à des conditions similaires à celles de 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 des tendances récentes relatives aux vents favorables à la remontée d'eau.

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

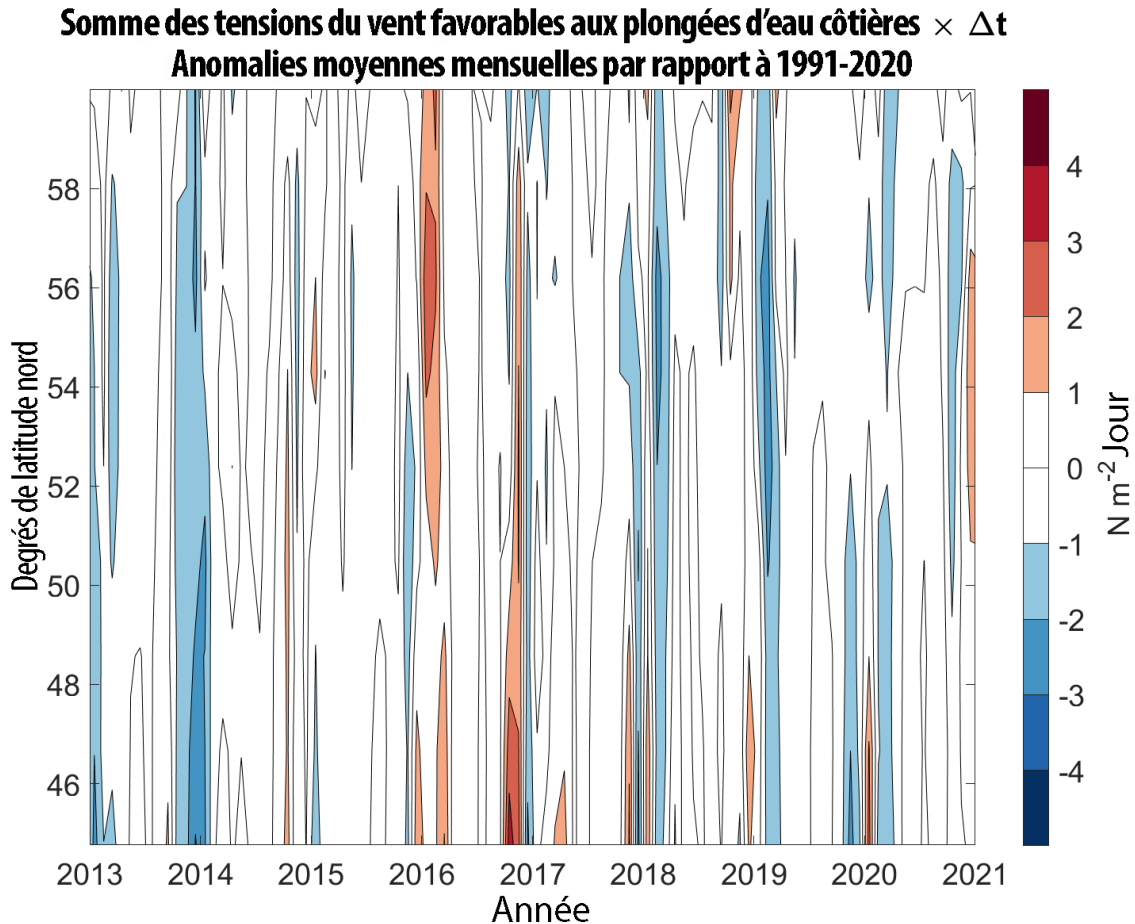


Figure 8-3. Anomalies moyennes mensuelles récentes (2013 à 2021) (par rapport à 1991-2020) des sommes mensuelles de la tension du vent (vers le pôle) favorable à la plongée d'eau le long de la côte provenant des emplacements de la grille de réanalyse-1 NCEP/NCAR de la tension du vent de surface côtier, 45-60° N (figure 8-2(b)).

Comme l'indice de la remontée d'eau, l'indice de la plongée d'eau est calculé de la même manière, mais en ne tenant compte que des tensions du vent circulant 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, un déplacement des trajectoires des tempêtes plus près ou plus loin de la côte, une saison des tempêtes plus courte ou plus longue

ou une combinaison de ces trois phénomènes. L'indice reflète également la force/faiblesse du mélange vertical hivernal de la colonne d'eau de surface près de la côte.

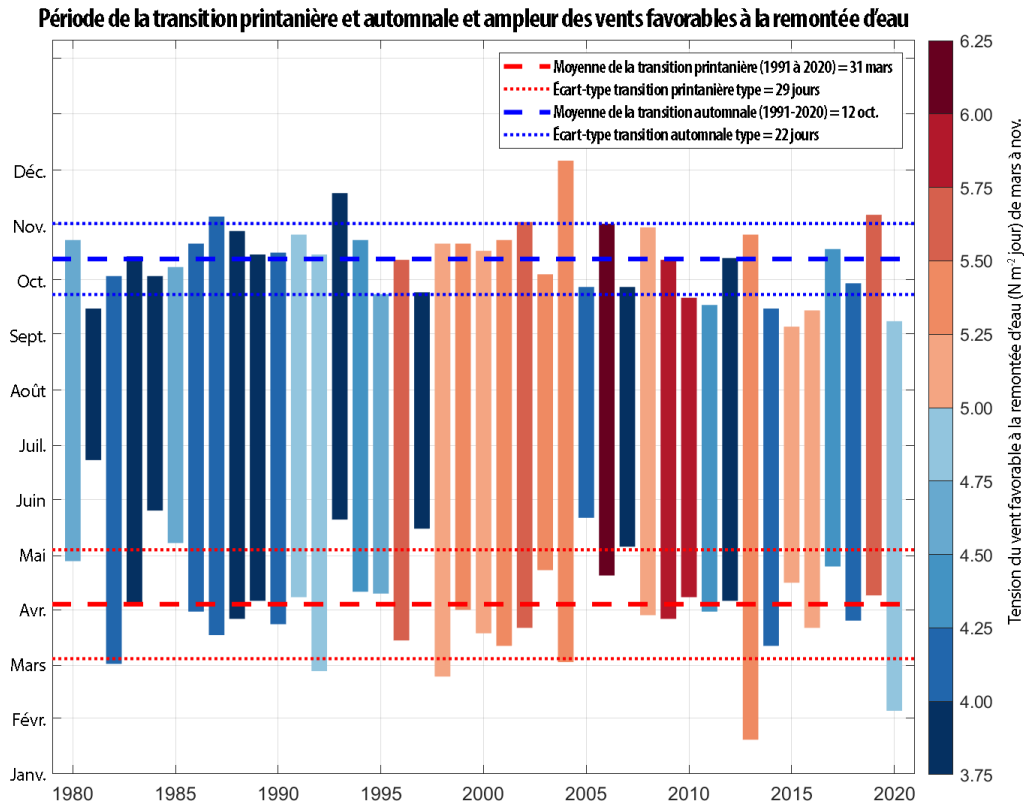


Figure 8-4. Période de la transition printanière et automnale annuelle et ampleur de la tension du vent favorable à la remontée d'eau de mars à novembre, de 1980 à 2020.

Au cours des derniers hivers (2017-2018, 2018-2019 et 2019-2020), l'indice de la plongée d'eau était inférieur à la moyenne, comme pour l'hiver 2013-2014, mais pas tout à fait aussi bas. Cela indique une réduction du mélange de surface hivernal près de la côte et est généralement associé à des températures de surface plus élevées l'été suivant, comme les conditions de vague de chaleur marine observées en 2014 et 2019.

8.4. Facteurs influençant les tendances

On ne sait pas pourquoi l'indice de transition printanière pourrait se produire plus tôt au cours des 15 dernières années. Alors que 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 (dénnotant une période de vents toujours plus forts à la fois en été et en hiver), l'indice de la plongée d'eau a été plus faible que la moyenne pendant les sept dernières années au nord du 50° N, excepté en 2015 et 2016. Cela indique que les tempêtes hivernales sont plus faibles, que la saison des tempêtes hivernales est plus courte, que les tempêtes hivernales se déplacent vers le nord-ouest en s'éloignant de la côte, ou une combinaison de ces trois facteurs. L'indice de la plongée d'eau nettement plus faible que la moyenne durant l'hiver de 2013-2014 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 et 2020.

8.5. Conséquences de ces tendances

On ignore les conséquences de l'apparente tendance récente à une transition printanière et automnale précoce (figure 8-1c et figure 8-4). Les tendances de l'indice de la remontée d'eau ne sont pas évidentes. Les années récentes, où l'indice de la plongée d'eau était inférieur à la moyenne, sont associées à des vagues de chaleur marines.

8.6. 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/>.

8.7. Références

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* 200: 103229. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103229>.

9. COURANTS, TEMPÉRATURES ET TENSION DU VENT À L'ACCORE DU 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. Points saillants

- Les températures de surface de la mer étaient proches de la moyenne pendant la majeure partie de l'année 2020 à la bouée météorologique 46206 sur la côte ouest de l'île de Vancouver, mais elles étaient nettement inférieures à la moyenne en octobre et en novembre. Il n'a pas été possible d'obtenir des données sur la température de subsurface à partir du poste d'amarrage A1 situé à proximité, en raison de problèmes d'instruments et de la reconfiguration du poste (figure 9-2).
- Le flux littoral au poste d'amarrage A1 en 2020 était anormalement et fortement orienté vers l'équateur (favorable à la remontée d'eau) en février et mars pour la troisième année consécutive.
- En 2020, la tension du vent et les courants de surface et de subsurface à l'accore du plateau continental de la côte ouest étaient d'une ampleur inférieure à la moyenne (plus forts vers l'équateur et plus faibles vers les pôles) par rapport aux flux vers les pôles et vers l'équateur plus forts que la moyenne associés à l'événement 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 et au-dessus de la moyenne en profondeur au cours des années suivantes.

9.2. Description de la série chronologique

La température de la subsurface et la vitesse des courants à l'accore du plateau continental sont observées au poste d'amarrage A1, à une profondeur d'environ 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.

9.3. État et tendances

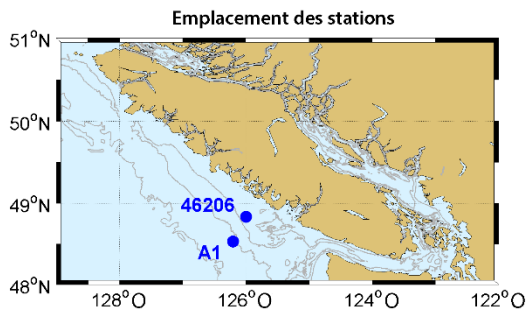


Figure 9-1. Emplacements du poste d'amarrage A1 et de la bouée météorologique 46206.

En 2020, les températures à la surface étaient proches de la moyenne pendant la majeure partie de l'année, sauf en octobre et en novembre, où elles étaient nettement inférieures à la moyenne (figure 9-2, à gauche). Les données de température aux profondeurs de subsurface n'ont pas été recueillies, car les instruments ont été perdus au cours du premier semestre et aucun instrument n'a été déployé au cours du second semestre. Les températures de surface n'indiquaient pas de conditions de vague de chaleur marine.

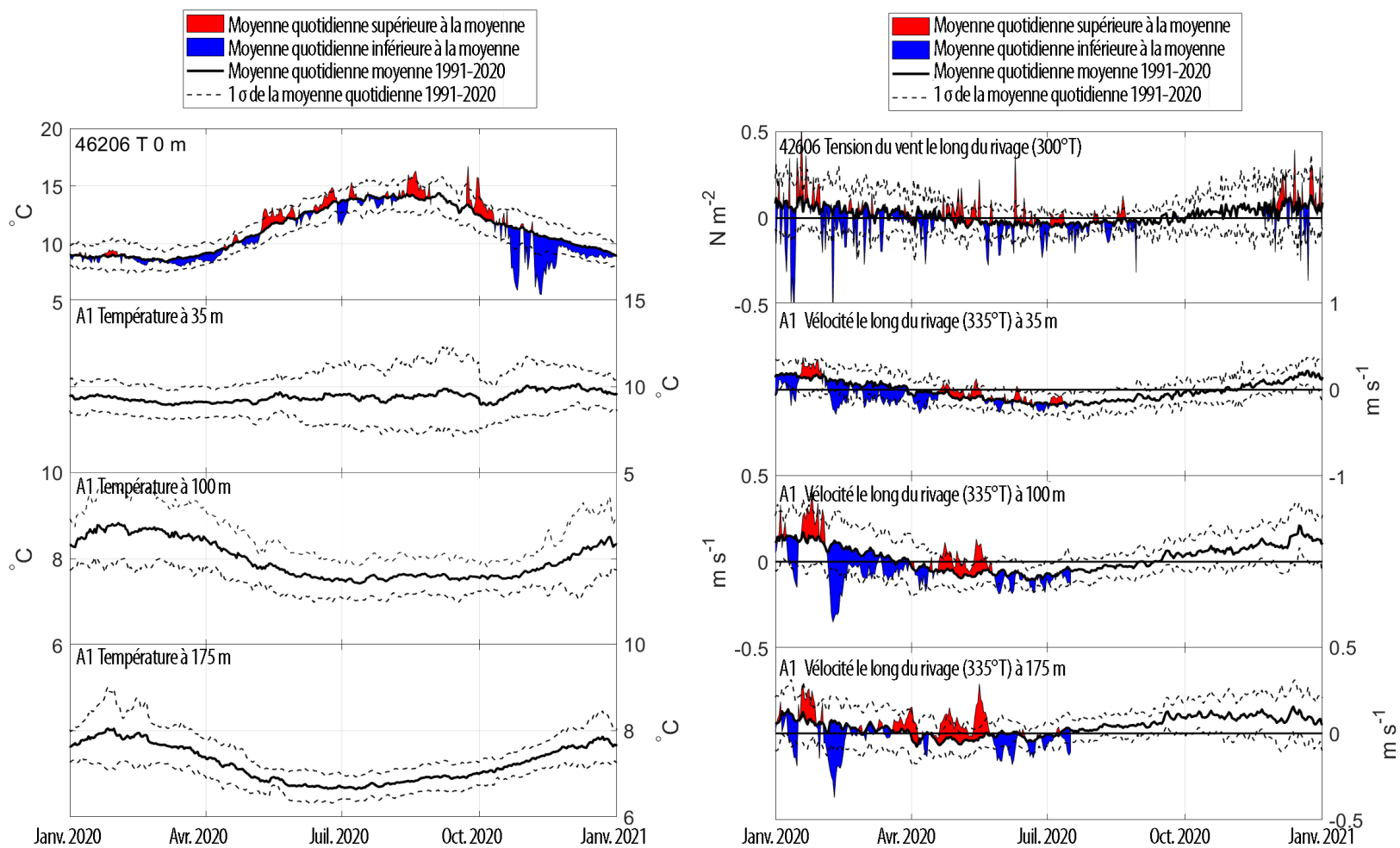


Figure 9-2. Moyennes quotidiennes. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoraux (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses (°T) est la direction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

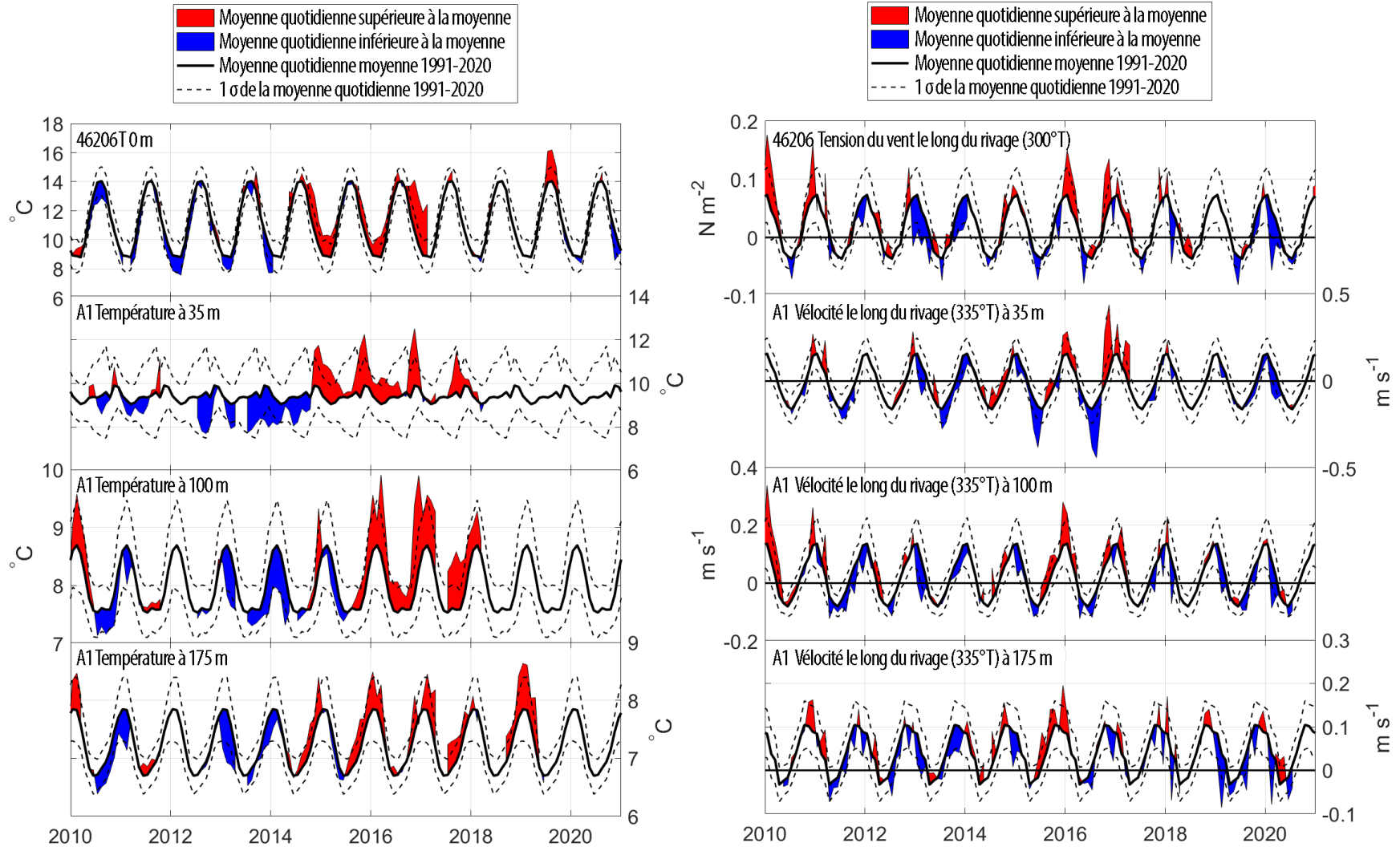


Figure 9-3. Moyennes mensuelles. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoraux (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses (°T) est la direction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

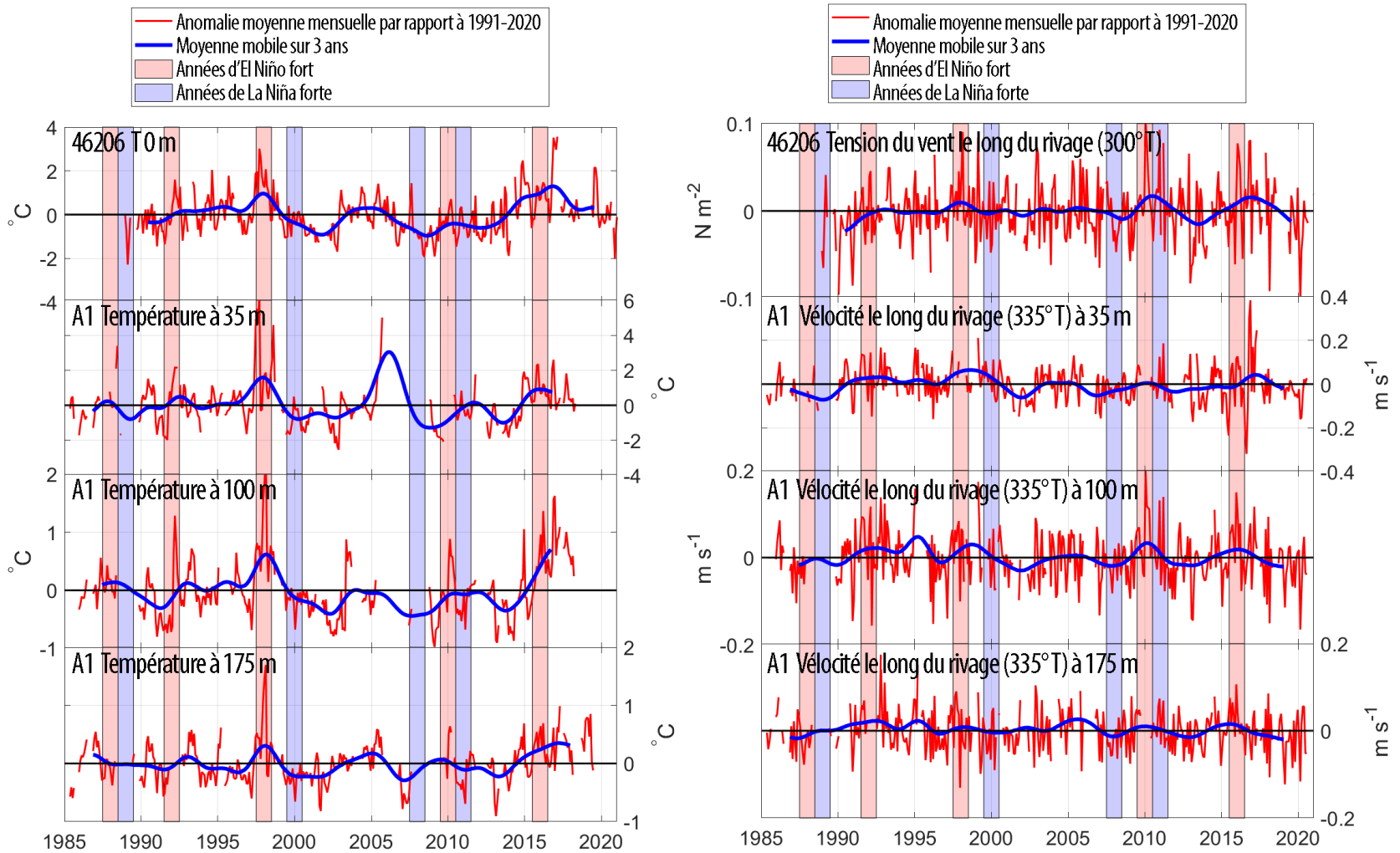


Figure 9-4. Anomalies mensuelles. Température (graphiques de gauche) et tension du vent/courant océanique littoraux (graphiques de droite) à la surface, à 35 m, à 100 m et à 175 m de profondeur, à la bouée météorologique 46206 et au poste d'amarrage A1. L'angle entre parenthèses (°T) est la direction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

Les vents de surface et courants littoraux étaient généralement proches des conditions de la moyenne de la période 1991-2020 (figure 9-2, à droite). Cependant, le flux était constamment et anormalement fortement équatorial (favorable à la remontée d'eau) en février-mars. Il n'y a pas de données de subsurface après le mois de juillet, car le déploiement de ce poste d'amarrage sera récupéré à l'été 2021.

Des anomalies de température positives ont été associées à la vague de chaleur marine et à El Niño pendant la période de 2014 à 2016 (figure 9-3). Les anomalies de température positives sont réapparues en 2019 à la surface et étaient également observées à 175 m de profondeur, mais il n'y a pas de données aux autres profondeurs. 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. Pour la troisième année consécutive, le mois de février 2020 a été marqué par un flux anormalement fort vers l'équateur (favorable à la remontée d'eau).

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 semble maintenant être plus orienté vers l'équateur (ou plus faible vers le pôle) que la moyenne, l'absence d'anomalies de température observées récemment empêche leur évaluation.

Il ne semble pas y avoir de tendances dans les températures et les courants de surface et de subsurface des eaux du plateau/de l'accroche sur la côte ouest de l'île de Vancouver de 1985 à 2020.

9.4. Facteurs influençant les tendances

Bien que les tendances à long terme ne semblent pas évidentes, le fort El Niño de 2015-2016 et l'intensification de la fréquence des vagues de chaleur marine ces dernières années se traduisent par des températures océaniques plus élevées que la moyenne, à la surface et en profondeur. Un flux vers les pôles plus faible que la moyenne en hiver est également associé aux vagues de chaleur marine (activité de tempête plus faible ou déplacement de l'activité de tempête vers l'ouest). Les forts événements El Niño, comme celui de 2015 et 2016, sont associés à un renforcement du flux vers les pôles en hiver, ce qui était manifeste pendant l'hiver 2015-2016.

9.5. Conséquences de ces tendances

Les événements El Niño et les vagues de chaleur marines récents ont été associés à des écarts importants par rapport à la moyenne des températures et des courants de surface et de subsurface de l'océan. Cependant, les conditions sont revenues à la moyenne un an ou deux après ces événements, et les observations les plus récentes indiquent que les conditions sont proches de la moyenne, sans tendance apparente. Si ces événements deviennent plus fréquents à l'avenir, ils pourraient influencer les tendances à long terme.

10. TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DE LA MER ET SALINITÉ OBSERVÉES DANS LES STATIONS CÔTIÈRES ET AUX BOUÉES MÉTÉOROLOGIQUES LE LONG DE LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020

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

10.1. Points saillants

- La température annuelle moyenne de la surface de la mer (TSM) de 10 des stations côtières participantes en 2020 (10,42 °C) était généralement plus basse qu'en 2019, avec une diminution annuelle moyenne de 0,23 °C sur l'ensemble de la côte.
- Les anomalies par rapport à la moyenne à long terme (1935-2020) de la température de la surface de la mer des stations côtières révèlent des périodes chaudes et froides régulières d'une durée de plusieurs années; 2020 est la continuation d'une période chaude qui a commencé en 2014. Cette période de températures de la surface de la mer annuelles supérieures à la normale est la plus longue période chaude jamais enregistrée.
- Sept des douze bouées météorologiques côtières ont fourni suffisamment de données en 2020 pour permettre une analyse statistique. La température de la surface de la mer annuelle moyenne des sept bouées côtières de mesure des vagues en 2020 (10,76 °C) était plus froide qu'en 2019, avec une diminution annuelle moyenne de 0,27 °C sur l'ensemble de la côte.
- 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 0,88 °C sur 100 ans.
- Les observations annuelles de la salinité ont révélé une diminution à 9 des 12 stations côtières, avec une diminution moyenne de 0,60 sur l'ensemble de la côte (écart-type de 0,53).

10.2. Description de la série chronologique

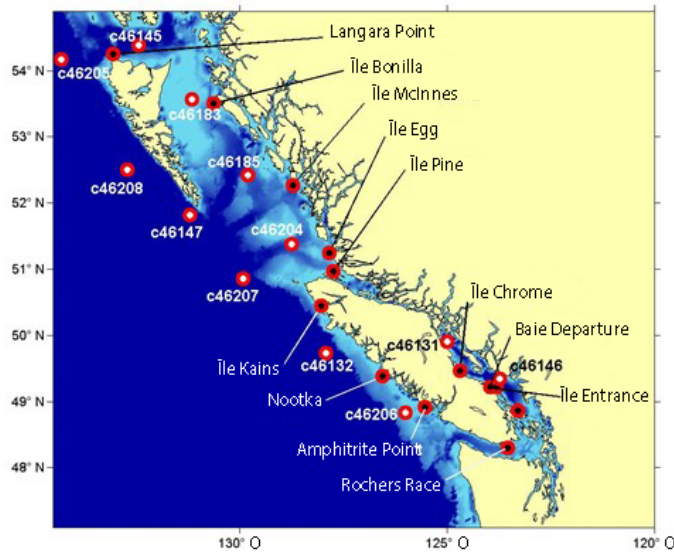


Figure 10-1. Les points rouges avec un centre noir indiquent l'emplacement des 12 stations côtières. Les points rouges avec un centre blanc indiquent l'emplacement des 12 bouées météorologiques dans le réseau canadien de bouées météorologiques. Voir les détails dans le tableau ci-dessous.

Station	Années de données	ID de la bouée	Emplacement	Années de données
Baie Departure	106	c46146	Banc Halibut	28
Rochers Race	98	c46131	Haut-fond Sentry	28
Nootka	53	c46206	La Pérouse	31
Amphitrite	86	c46132	Brooks sud	26
Kains	85	c46207	Dellwood est	31
Langara	84	c46147	Moresby sud	27
Entrance	84	c46208	Moresby ouest	29
Île Pine	83	c46205	Dixon ouest	32
McInnes	66	c46145	Dixon centre	29
Bonilla	60	c46204	Sea Otter ouest	31
Chrome	59	c46185	Hécate sud	29
Île Egg	50	c46183	Hécate nord	29

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 2020. Dans le cadre du programme océanographique des stations côtières de la Colombie-Britannique, 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 des données toutes les heures.

10.3. État et tendances

Les observations des stations côtières montrent que la température quotidienne de la surface de la mer annuelle moyenne (figure 10-2, graphique supérieur) dans toutes les stations était généralement plus fraîche en 2020 qu'en 2019 (diminution moyenne de 0,23 °C dans les dix stations disposant de suffisamment de données pour une analyse statistique). Les données des bouées du Système d'acquisition de données océaniques (SADO) montrent une diminution de la température quotidienne de la surface de la mer annuelle moyenne de 0,27 °C entre 2019 et 2020 (en excluant les stations présentant une forte incertitude en raison de données manquantes ou du degré de précision des capteurs). En 2020, la température de surface de la côte est restée constamment inférieure à celle de 2015, année de la vague de chaleur marine appelée le « Blob ». Par convention, la valeur moyenne, ou normale, est déterminée en calculant la moyenne pour la période de 30 ans la plus récente se terminant par une année se terminant par 0 (par exemple, auparavant 1981-2010, maintenant 1991-2020). Les normales précédentes et actuelles pour chaque station sont incluses dans la figure 10-2 et montrent que les normales de température ont augmenté sur toute la côte de 0,9 °C (de 10,35 à 10,44 °C).

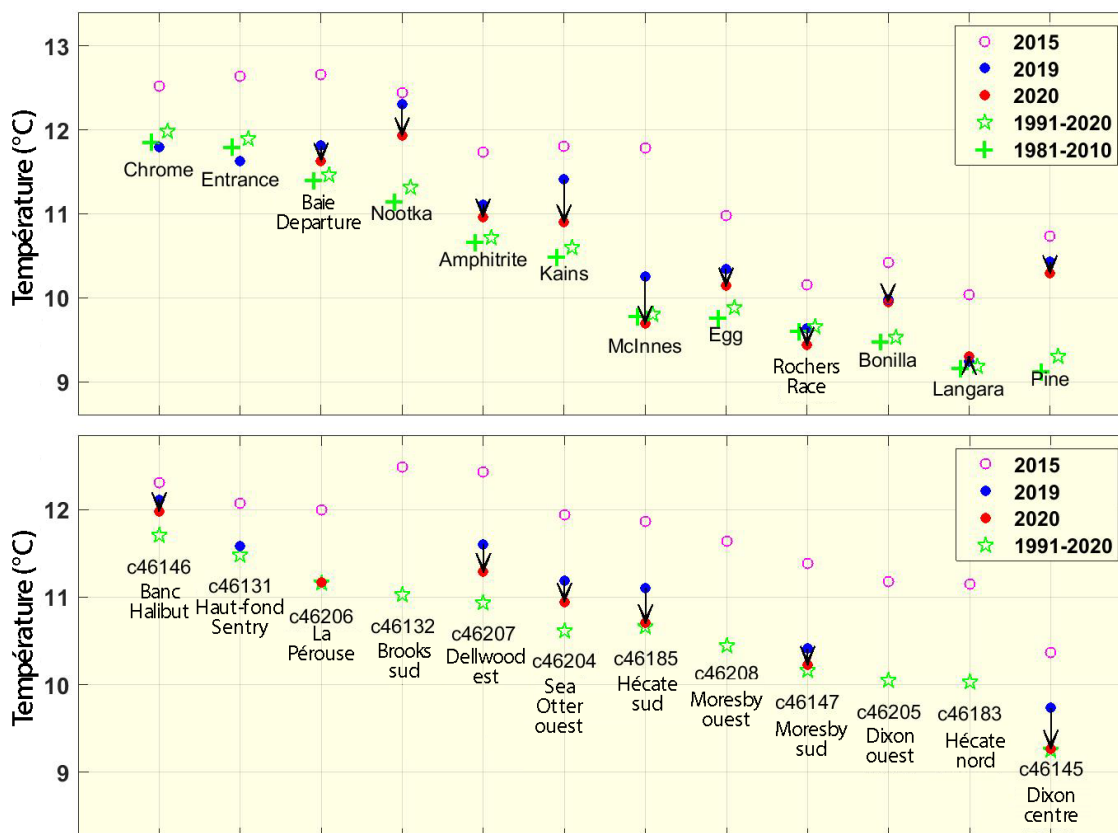


Figure 10-2. Graphique supérieur : Température de la surface de la mer moyenne en 2019 (points bleu foncé) et en 2020 (points rouges) d'après les observations quotidiennes aux stations côtières sur la côte ouest du Canada. Les étoiles représentent la nouvelle température climatologique annuelle moyenne. 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 montrent les conditions en 2015, lorsque la température de la surface de la mer était considérablement plus élevée que la normale.

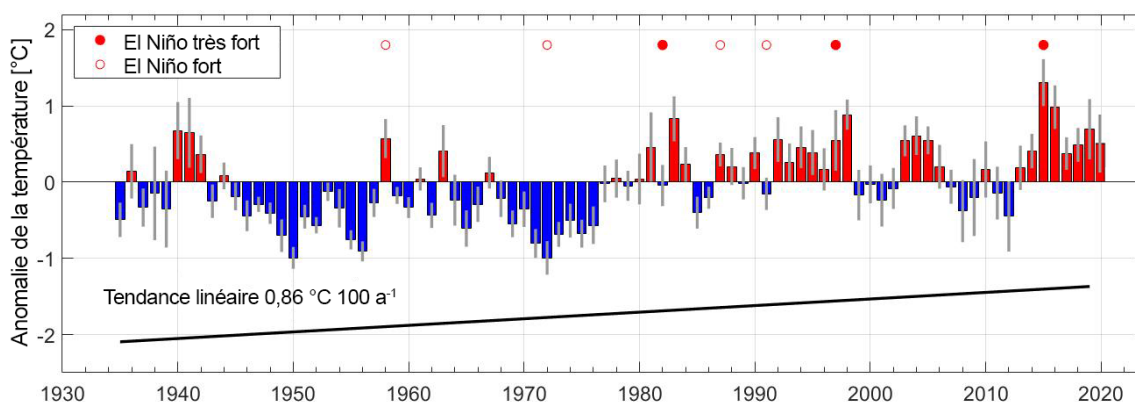


Figure 10-3. Tendence de la température annuelle d'après les observations de tous les phares. Les données indiquées sont les anomalies par rapport à la température moyenne à long terme (1935-2020). Les barres représentent la moyenne des anomalies sur toutes les stations (un indicateur pour toute la côte) (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.

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 0,88 °C sur 100 ans.

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 Georgia). Une analyse de tendance linéaire appliquée à la salinité montre une tendance continue à long terme vers des conditions moins salines.

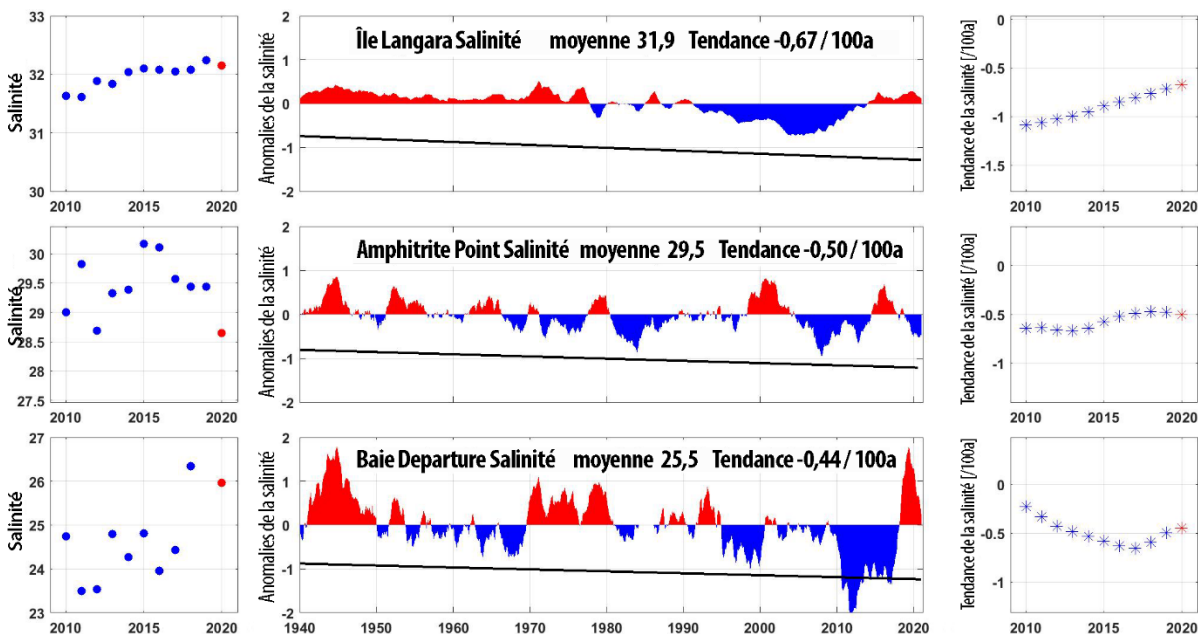


Figure 10-4. Série chronologique d'observations de la salinité quotidienne, en moyenne sur 12 mois, à des stations représentant la côte nord, la côte ouest de l'île de Vancouver et le détroit de Georgia. Les anomalies positives par rapport à la salinité moyenne de l'ensemble du registre sont indiquées en rouge, les anomalies négatives en bleu. Le graphique de gauche représente la salinité moyenne annuelle 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

La température de l'océan constitue un indicateur environnemental important, car elle influence les processus physiques comme la circulation et le mélange, les processus chimiques comme la désoxygénation, ainsi que l'état et le comportement des espèces qui vivent dans l'océan. La température de la surface de la mer est un indicateur efficace des changements à long terme, car des observations directes sont effectuées depuis de nombreuses décennies et, grâce aux capteurs satellitaires, aux plateformes de surveillance autonomes et à d'autres progrès techniques, la quantité de données incluses dans les analyses de la température de la surface de la mer ne cesse de croître.

Bien que les températures de la surface de la mer aient été plus chaudes pendant la vague de chaleur marine de 2014-2016, les conditions en 2020 représentent la suite de la période d'eau plus chaude que la normale (où la normale est définie comme la moyenne du registre à long

terme des températures de la surface de la mer depuis 1935). Cette période d'eau chaude dure depuis huit ans, la plus longue période de températures supérieures à la normale dans la série chronologique. Bien que le registre montre des oscillations pluriannuelles dans les températures annuelles de la surface de la mer, il subsiste une tendance à long terme à la hausse des températures océaniques.

Les observations de la salinité à long terme indiquent une tendance à 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 Georgia est fortement influencé par le débit du Fraser (Cummins et Masson 2014).

10.5. Conséquences de ces tendances

Il y a un intérêt croissant à déterminer la prévisibilité des processus physiques de l'océan Pacifique Nord, y compris les réponses biologiques connexes, sur des échelles de temps allant de quelques mois à quelques années. Les modèles utilisés à cet effet sont similaires à ceux utilisés pour les études sur le changement climatique. Le processus d'élaboration, d'évaluation et d'amélioration des systèmes de prévision peut fournir des renseignements importants sur les processus clés qui contrôlent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des océans. Il reste à déterminer dans quelle mesure les réponses des écosystèmes à un réchauffement lent ressembleront à celles qui ont été associées aux récentes vagues de chaleur marines. Les répercussions de ces changements dépendront des échelles de temps et d'espace pertinentes pour les organismes d'intérêt et sont décrites pour différents niveaux trophiques dans les eaux de la Colombie-Britannique par Peña et Nemcek (section 16), Galbraith (section 18) et Neville (section 40).

10.6. Références

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. NIVEAU DE LA MER EN COLOMBIE-BRITANNIQUE, DE 1910 À 2020

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

11.1. Points saillants

- Les niveaux d'eau moyens annuels à Victoria, Tofino et Prince Rupert pour 2020 étaient inférieurs à la ligne de tendance à long terme.
- La suppression du soulèvement tectonique vertical modifie la tendance à long terme aux trois emplacements.

11.2. Résumé

Le Service hydrographique du Canada surveille le niveau de la mer sur toute la côte de la Colombie-Britannique. Les écarts annuels par rapport à la moyenne à long terme sont présentés à la figure 11-1 pour Victoria, Tofino et Prince Rupert. Les registres de Tofino et de Victoria ont commencé en 1910, tandis que le registre de Prince Rupert a commencé en 1912.

Une ligne de tendance linéaire a été juxtaposée aux données pour chaque emplacement. En 2020, le niveau moyen de la mer pour les trois stations était inférieur à la ligne de tendance de 1910 à 2020.

La tendance linéaire relative à l'élévation du niveau de la mer par rapport à la terre à chaque emplacement (en cm/siècle) :

Prince Rupert +10,7

Victoria +6,9

Tofino -12,2

Le mouvement tectonique soulève la terre à Tofino plus rapidement que le niveau de la mer ne s'élève, de sorte que le niveau local de la mer (mesuré par rapport à la terre) baisse à un rythme moyen de 12 cm par 100 ans. En retirant le mouvement tectonique des valeurs du niveau de la mer à l'aide de la moyenne des années 1994 à 2017 de 1,9 mm de soulèvement annuel (Thomas James, Commission géologique du Canada, comm. pers.,

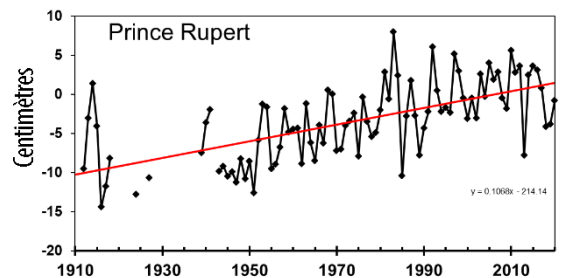
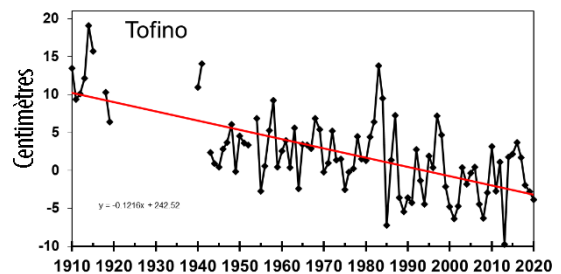
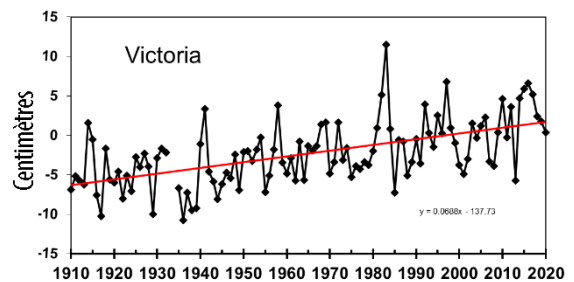


Figure 11-1. Anomalies moyennes annuelles du niveau de la mer dans trois ports de la Colombie-Britannique. Les années de référence pour le calcul des anomalies sont 1981 à 2010. Les tendances linéaires moyennes sont représentées par des lignes rouges.

2018) appliquée aux années 1910 à 2020, on obtient une tendance linéaire à Tofino de 6,8 cm par 100 ans (figure 11-2).

Les terres s'élèvent également à Victoria et Prince Rupert, mais pas au même rythme qu'à Tofino. Lorsque ce mouvement est supprimé à Victoria, la tendance linéaire devient 12,6 cm par 100 ans et à Prince Rupert, la tendance linéaire devient 15,7 cm par 100 ans (figure 11-2).

Tendance linéaire de la hausse du niveau de la mer dans chaque port, corrigée pour tenir compte du mouvement vertical des terres (en cm/siècle) :

Prince Rupert +15,7

Victoria +12,6

Tofino +6,8

Le niveau de la mer à l'échelle mondiale a augmenté de 17 ± 5 cm au cours du 20^e siècle (Church et White, 2011). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) prévoit une augmentation du niveau de la mer de 26 à 55 cm à 45 à 82 cm vers la fin du

21st siècle, en fonction de l'atténuation des émissions de CO₂, mais des observations récentes de la fonte des glaces au Groenland et en Antarctique indiquent que ces projections pourraient être trop faibles. Par conséquent, nous pouvons nous attendre à observer des taux plus élevés d'élévation du niveau de la mer en Colombie-Britannique dans le futur.

11.3. Références

Church, J.A, and White, N.J. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. *Surveys in Geophysics* 32: 585–602.

IPCC. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

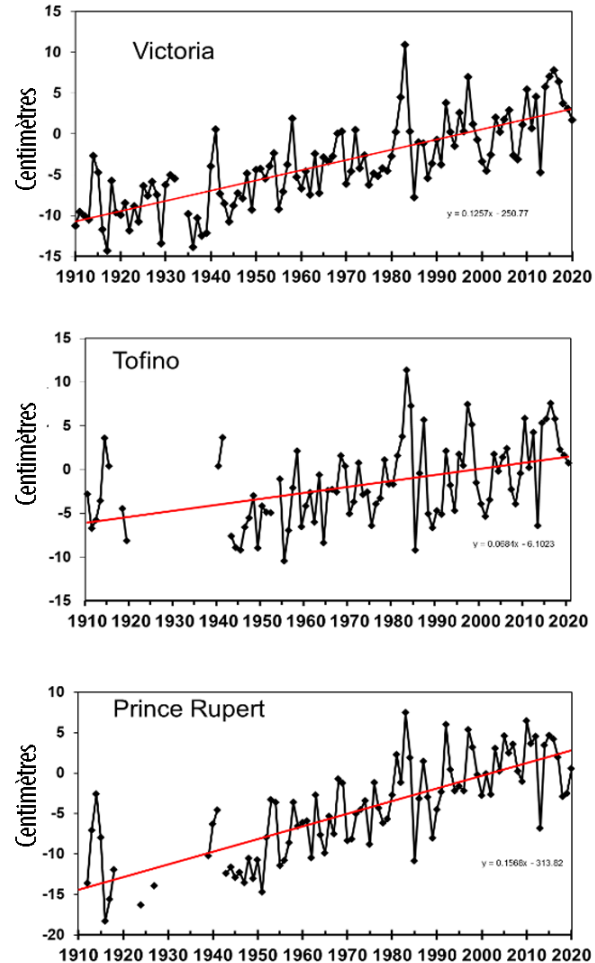


Figure 11-2. Anomalies moyennes annuelles du niveau de la mer dans trois ports de la Colombie-Britannique, sans tenir compte du mouvement vertical des terres. Les années de référence sont de 1981 à 2010. Avec le mouvement vertical de la terre supprimé.

12. L'OXYGÈNE DANS LES EAUX DE SUBSURFACE SUR LE PLATEAU DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

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

12.1. Points saillants

- La concentration d'oxygène dissous (O_2) a continué de baisser à la station océanique P, où elle est surveillée depuis 65 ans. Dans l'ensemble, peu de changements ont été observés à la station P4 sur le talus continental, en raison de l'augmentation de la teneur en oxygène depuis 2010. Cependant, il y a de grands changements à l'échelle décennale.
- À la fin de l'été, le niveau d' O_2 dans les eaux de subsurface du plateau continental au sud-ouest de l'île de Vancouver était généralement faible. Les observations effectuées en 2020 ont montré des niveaux normaux et bas, contrairement aux niveaux d'oxygène très bas de 2017 à 2019.
- Le niveau plus faible d'oxygène dans les eaux de subsurface du plateau continental au cours des 30 dernières années est généralement associé à une eau plus dense et plus salée qui coule du sud. Cependant, la diminution soudaine de l'oxygène observée au début des années 1990 était associée à une eau plus douce.

12.2. L'oxygène sur le plateau continental

Les observations historiques de l'oxygène effectuées près du fond en été révèlent des emplacements avec des conditions d'hypoxie (figure 12-1). L'hypoxie est définie comme une concentration en O_2 inférieure à 1,4 mL/L ou 60 $\mu\text{mol/kg}$. Beaucoup d'observations réalisées dans les bras de mer ont indiqué des conditions hypoxiques; l'eau des profondeurs des bras de mer est naturellement hypoxique en raison des faibles apports d'eau de régions extérieures.

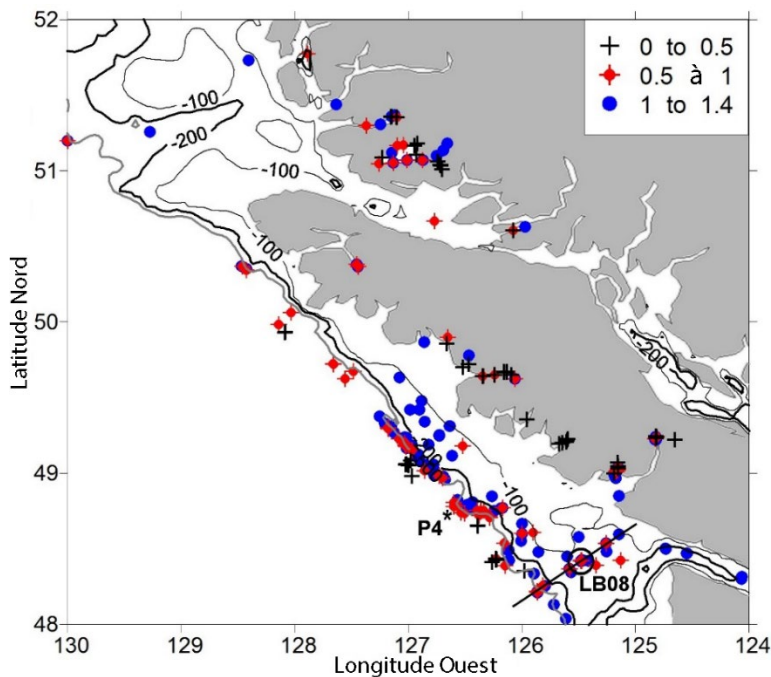


Figure 12-1. Concentration d'oxygène (O_2 , en mL/L) en été à moins de 20 m du plancher océanique pour les régions du plateau continental et du talus où la profondeur est inférieure à 1 000 mètres (1 mL/L = 43,5 $\mu\text{mol/kg}$). Chaque symbole représente une mesure des programmes de recherche du 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 \circ 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. L'emplacement de la station P4 le long de la ligne P est indiqué par le symbole *. La figure est fondée sur les données de Crawford et Peña (2013).

On trouve des niveaux plus faibles d'oxygène dans les eaux plus profondes du plateau continental et du talus parce que le niveau d'oxygène diminue avec l'augmentation de la profondeur et de la densité de l'eau. Le plus faible niveau d'oxygène observé sur le plateau en été se trouve 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 niveau d'oxygène est généralement le plus bas entre la mi-août et le début octobre (jours 230 à 280, figure 12-2). On observe une diminution générale à la fin de l'été, avec un niveau d'oxygène plus élevé de 1979 à 2005 et un niveau plus bas de 2006 à 2019, à l'exclusion de 2015. Les concentrations de 2017 à 2019 (carrés bleus) étaient proches des niveaux les plus bas jamais enregistrés. Cependant, les niveaux d'oxygène en 2020 (triangle noir) étaient proches de la moyenne pour cette saison. 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 les rapports sur l'état de l'océan antérieurs.

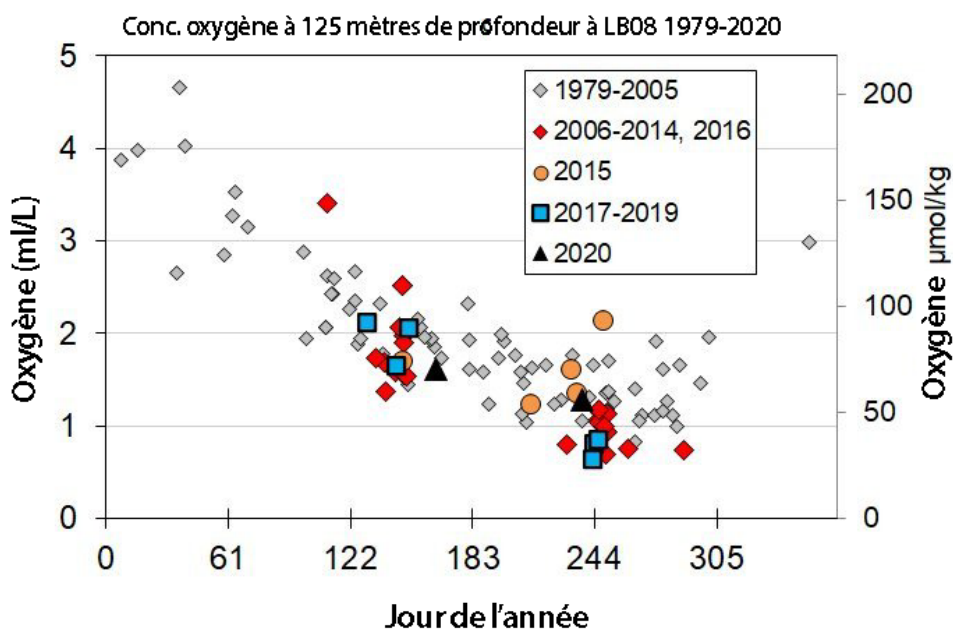


Figure 12-2. Concentration en oxygène (O_2) à 125 m sous la surface de l'océan à la station LB08. Les symboles représentent les observations relevées le jour de l'année où l'échantillon a été prélevé. Le jour 244 est le 1^{er} septembre. La profondeur du fond de l'océan est ici de 145 m. La figure est fondée sur les données de Crawford et Peña (2013).

Les variations de concentration en oxygène observées à la station LB08 à la fin de l'été depuis 1991 sont généralement relevées dans des eaux plus denses et plus salées, peut-être en raison d'une augmentation du flux vers le nord des eaux plus salées du Pacifique équatorial le long du talus. La plus grande concentration en oxygène se trouve généralement dans l'eau plus douce qui coule de l'ouest. Ainsi, une partie de la variabilité interannuelle est due aux différents

mélanges de ces deux types d'eau. Cependant, les observations antérieures à 1991 montrent des eaux plus salées et plus denses, avec une concentration élevée d'oxygène, ce qui indique qu'il y a eu un changement dans les niveaux d'oxygène dans ces deux types d'eau au début des années 1990.

Le niveau d'oxygène à la fin de l'été 2019 était le plus bas jamais mesuré à 125 m de profondeur à la station LB08 (figure 12-3). La figure 12-3b montre des niveaux d'oxygène plus élevés sous 100 m en 2020 que ceux observés à cette profondeur en 2019. Ces concentrations de 2020 sont proches de la moyenne à long terme pour cette période de l'année. Les niveaux d'oxygène dans les eaux de subsurface au large du centre et du nord de l'île de Vancouver étaient également proches de la moyenne en août 2020.

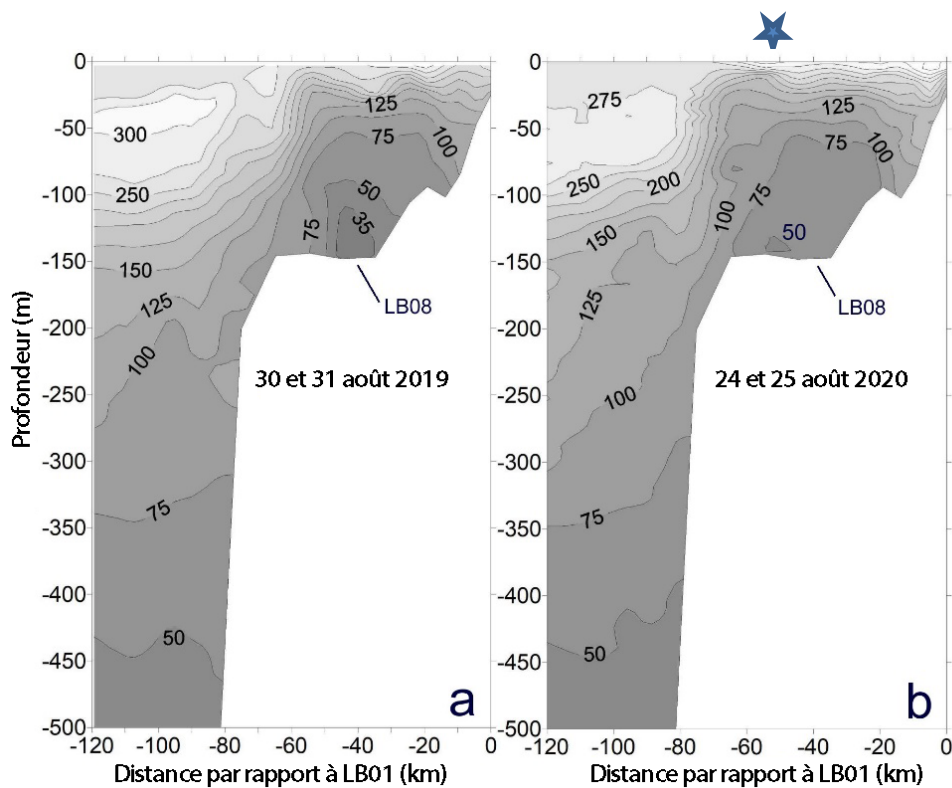


Figure 12-3. Concentration en oxygène ($\mu\text{mol/kg}$) sur le plateau continental et le talus le long de la ligne LB des stations d'échantillonnage du MPO au sud-ouest de l'île de Vancouver. Les contours montrent la concentration pour (a) août 2019 et (b) août 2020. Voir l'emplacement de la ligne LB sur la figure 12-1.

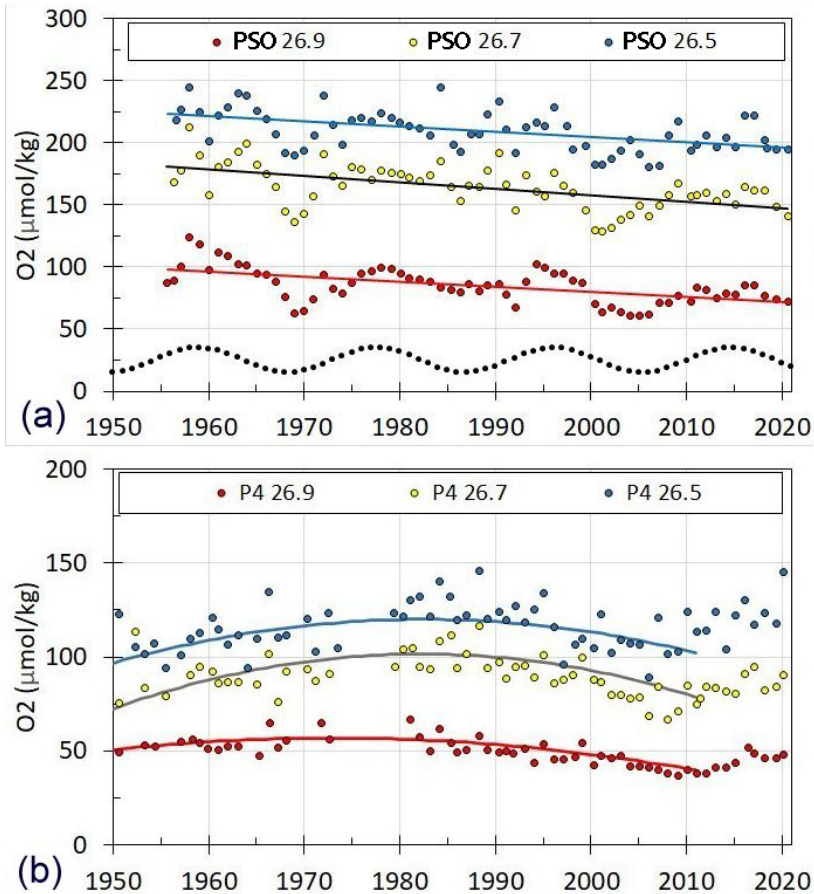
12.3. Concentration d'oxygène dans les eaux du talus et du large

Peu de stations dans les eaux du talus 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 P26 (OSP) et pour la station P4 sur la figure 12-4 ci-dessous. La station OSP se trouve à environ 1 400 km au large, le long de la ligne P, par 4 300 m de fond. La station P4 se trouve sur le talus, par 1 300 m de fond (figure 12-1).

Au large du plateau continental, la hauteur dynamique des eaux de subsurface augmente et diminue avec les saisons et, dans certains cas, avec les changements des vents locaux, ce qui crée du bruit dans les enregistrements de l'oxygène à des profondeurs constantes. Pour supprimer ce bruit, nous calculons l'oxygène sur des surfaces de densité constante plutôt qu'à profondeur constante (figure 12-4).

On observe une diminution générale de l'oxygène à la station OSP depuis 1956 (figure 12-4a), 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 *et al.* (2007). L'oxygène à des profondeurs constantes a également diminué au cours de cette période (Cummins et Ross, 2020).

À la station P4, l'oxygène a atteint un pic vers 1980, les concentrations plus basses ayant été enregistrées dans les années 1950 et 2000, comme le montrent les courbes solides pour les surfaces de densité de 26,5, 26,7 et 26,9 (figure 12-4b). Les niveaux d'oxygène de P4 ont



augmenté depuis 2012, mais ces concentrations étaient encore inférieures au pic des années 1980 pour les surfaces de 26,7 et 26,9. Ces trois séries indiquent peu de tendances, mais une grande variabilité décennale.

Figure 12-4. 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. 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 (+10), 170 (-10) et 300 m (-40) à la station OSP, et de 180 (-20), 280 (-25) et 490 m (0) à la station P4. Les nombres entre parenthèses montrent les tendances relatives à la profondeur de ces surfaces de densité sur toute la durée de chaque série, le symbole indiquant une diminution de la

profondeur marine (+) ou un approfondissement (-). Les tendances relatives à l'oxygène à la station OSP sont de $-0,4 \mu mol kg^{-1} a^{-1}$ sur les surfaces de 26,5 et 26,9, et de $-0,5 \mu mol kg^{-1} a^{-1}$ sur la surface de 26,7. La figure est basée sur des données de Crawford et Peña (2016) et Whitney et ses collaborateurs (2007).

12.4. Références

- 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. 2020. Secular trends in water properties at Station P in the Northeast Pacific: an updated analysis. *Prog. in Oceanogr.* 186, 102329.
- Ross, T., Du Preez, C., and Ianson, D. 2020. Rapid deep ocean deoxygenation and acidification threaten life on Northeast Pacific Ocean seamounts. *Glob. Change Biol.* 26, 6424.
- 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.

12.5. Remerciements

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

13. COURANTS DE SURFACE LE LONG DU BORD DU PLATEAU ET DU TALUS CONTINENTAL AU LARGE DE LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Guoqi Han¹ et Nancy Chen²

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

²Pêches et Océans Canada, Centre des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest, St. John's, T.-N.-L., Nancy.Chen@dfo-mpo.gc.ca

13.1. Points saillants

- En 2020, le courant de surface orienté vers l'équateur d'été et d'automne d'un transect de l'ouest de l'île de Vancouver était plus fort que la normale et le courant de surface orienté vers le pôle durant toute l'année d'un transect du bassin Reine-Charlotte était plus faible que la normale.

13.2. Description de la série chronologique

Les courants de surface géostrophiques ont été calculés au niveau de deux transects (figure 13-1), à l'aide de données obtenues par altimétrie satellitaire le long de la trajectoire à intervalle de 10 jours à la hauteur de la surface de la mer, d'octobre 1992 à décembre 2020, en suivant la méthode décrite dans Han *et al.* (2014). Un de ces transects est situé sur la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV). L'autre est situé à l'embouchure du bassin Reine-Charlotte (BRC). Les courants de surface géostrophiques sont dans la direction normale au transect (positif vers les pôles) et représentent approximativement le flux le long du plateau. La moyenne des courants de surface géostrophiques est ensuite calculée par saison et par transect. Au

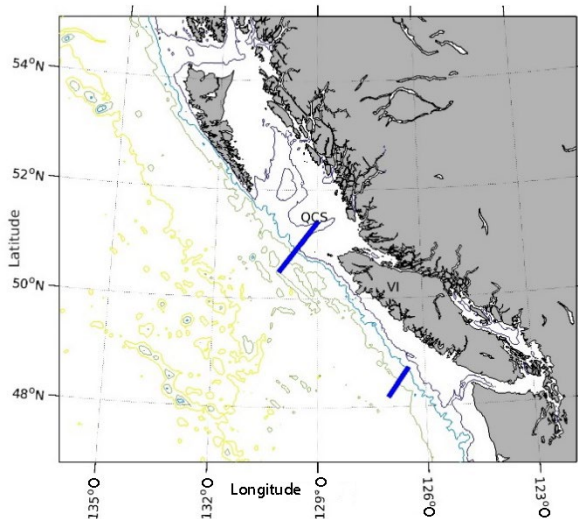


Figure 13-1. La zone d'étude, avec l'emplacement des deux transects et la bathymétrie (isobathes de 200, 1 000, 2 000 et 3 000 m).

niveau du transect COIV (figure 13-2, graphique supérieur), le courant de surface hivernal est orienté vers le pôle et le courant de surface estival est orienté vers l'équateur, le courant de surface moyen à long terme étant proche de zéro. Au transect BRC (figure 13-2, graphique inférieur), le courant de surface est orienté vers les pôles toute l'année, plus fort en hiver et plus faible en été.

13.3. État et tendances

Il n'y a pas de tendances à long terme apparentes relatives aux courants de surface géostrophiques à l'un ou l'autre des transects au cours de la période de 1992 à 2020. Les variations interannuelles sont évidentes; par exemple, un courant de surface plus fort vers l'équateur pendant les étés de 2015 et 2016, et un courant de surface plus fort vers les pôles pendant les automnes de 2015-2016 et 2016-

2017 (Hourston et Thomson, 2020). Au cours de l'été et de l'automne 2020, le courant de surface vers l'équateur au transect COIV était plus fort que la normale et le courant de surface vers les pôles au transect BRC était plus faible que la normale.

13.4. Facteurs influençant les tendances

Des courants de surface plus forts au niveau du transect COIV ont été observés lors des années d'El Niño et de La Niña, ce qui est cohérent avec les résultats des mesures in situ de Hourston et Thomson (2020). Les courants de surface pourraient également être influencés par l'oscillation décennale du Pacifique, peut-être en raison de son incidence sur les régimes de vent régionaux. En 2020, un épisode La Niña modéré est survenu et l'oscillation décennale du Pacifique était dans la phase froide.

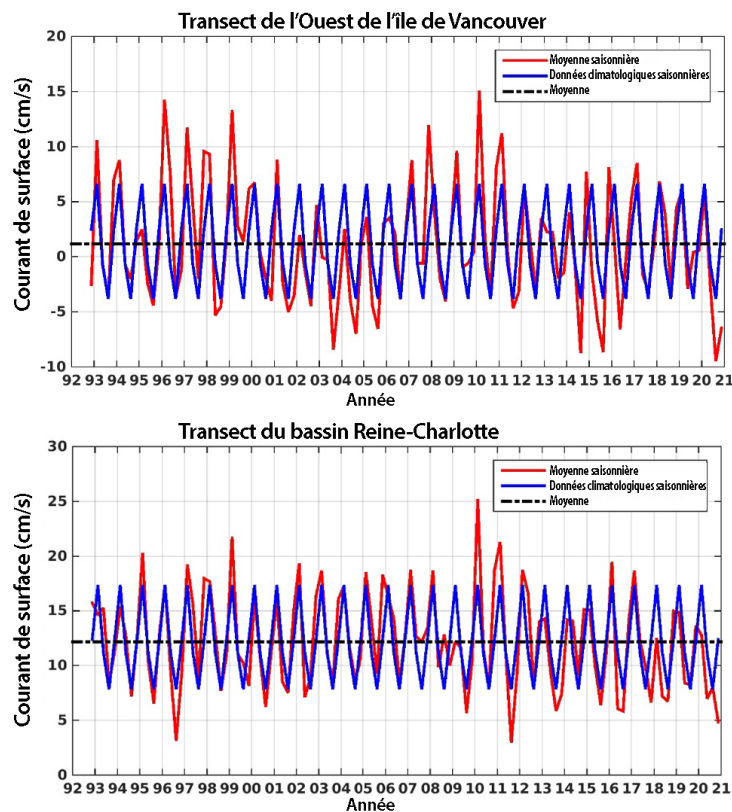


Figure 13-2. Moyenne saisonnière des courants de surface géostrophiques (positifs vers les pôles) à deux transects, situés au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) (graphique supérieur) et à l'embouchure du bassin Reine-Charlotte (BRC) (graphique inférieur).

13.5. Conséquences de ces tendances

Les courants de surface le long du bord du plateau et du talus peuvent avoir une incidence sur les échanges de chaleur et de sel ainsi que sur l'apport en nutriments. Ils peuvent également avoir une incidence sur le transport et la répartition des œufs et des larves de poisson. Folkes et ses collaborateurs (2018) ont montré que les courants de surface peuvent être un prédicteur utile pour le moment de la montaison et le taux de déviation par le nord du saumon rouge du Fraser.

13.6. Références

- Folkes, M.J.P, Thomson, R.E., and Hourston, R.A.S. 2018. Evaluating models to forecast return timing and diversion rate of Fraser sockeye salmon. DFFFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/021. vi + 220 p.
- Han, G., Chen, N., and Ma, Z. 2014. Is there a north-south phase shift in the surface Labrador Current transport on the interannual-to-decadal scale? *Journal of Geophysical Research - Oceans* 119: 276-287, DOI:10.1002/2013JC009102.
- Hourston, R., and Thomson, R. 2020. Vancouver Island West Coast shelf break currents, temperatures and wind stress. In: Boldt J.L., Javoski, A., and Chandler, P. (Eds.). 2020. State of physical, biological and selected fisheries resources of Pacific Marine ecosystem in 2019. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3377: x +288 p.

14. CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES AU LARGE DE LA CÔTE OUEST DE L'ÎLE DE VANCOUVER : 2020

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

14.1. Points saillants

- Il y avait des anomalies de température positives dans la couche de mélange de surface dans la plupart des stations d'échantillonnage pendant l'enquête de juin et juillet (0,36 - 1,8 °C) et pendant le relevé de fin d'été (0,6 - 2,6 °C); les anomalies de température de la couche de mélange de surface au large augmentent avec la latitude (1,5 - 2,6 °C).
- La partie supérieure de la colonne d'eau (< 100 m) était généralement plus fraîche que la moyenne pendant les deux relevés, à l'exception des stations au milieu du nord de l'île, qui étaient plus salées que la moyenne en juin.
- Les conditions à la fin de l'été 2020 ont été similaires, mais moins extrêmes que les conditions de vague de chaleur marine observées en septembre 2019.

14.2. Description de la série chronologique

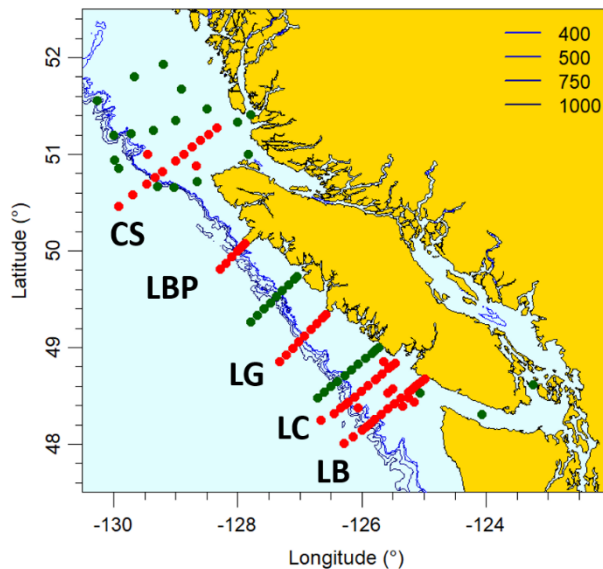


Figure 14-1. Carte des stations de relevé standard du banc La Pérouse-Côte ouest de l'île de Vancouver. Les stations de chacune des lignes de relevé (étiquetées) traitées dans ce rapport sont indiquées par des symboles rouges. Les contours bathymétriques indiquent l'accroissement du plateau et les profondeurs (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, généralement en mai et en septembre, et fournit des instantanés synoptiques des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques aux stations du plateau, du talus et de la zone extracôtère. 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 36). Notez toutefois que l'élaboration et la mise en œuvre de protocoles de terrain liés à la

protection contre la COVID ont retardé le début du premier relevé de 2020 au 22 juin 2020. 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 14-1) : 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 2020 et la moyenne de la série chronologique correspondante.

14.3. 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 la période correspondant au relevé de juin 2020 (22 juin - 6 juillet 2020) ont eu tendance à être plus fraîches le long des lignes du nord (10,45 °C) par rapport aux lignes du sud (11,81 °C), avec seulement des différences modérées entre les stations du plateau (profondeur inférieure à 200 m), de l'accroche du plateau et de la zone extracôtière. 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 (~13,4 °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 juin 2020, les profondeurs moyennes de la couche de mélange pour les lignes LB, LC et LG variaient entre 15 et 27 m pour les stations du plateau. La profondeur moyenne de la couche de mélange aux stations du plateau sur la ligne CS était de 39 m. Une mer agitée a empêché l'échantillonnage aux stations du plateau de la ligne LBP en juin 2020. Au large, la profondeur moyenne de la couche de mélange était moins variable, mais similaire et se situait entre 16 et 32 m à chaque ligne. La température de la couche de mélange aux stations du plateau pour la ligne CS en juin 2020 était de 1,71 °C supérieure à la moyenne. En haute mer, les lignes CS et LBP dépassaient de 0,36 et 1,45 °C les moyennes de leurs séries chronologiques respectives. Les températures entre 100 m de profondeur et la base de la couche de mélange étaient légèrement plus froides que la moyenne de la série chronologique pour chaque ligne; les températures à plus grande profondeur (100 à 250 m) étaient modérément plus chaudes (environ 0,5 °C) que la moyenne au large pour toutes les stations, sauf celles de la ligne CS, qui ont observé des températures typiques. Les anomalies de température de la couche de mélange pour les stations du sud du plateau sur les lignes LB et LC étaient plus chaudes que la moyenne (1,37 et 1,67 °C, respectivement) et étaient de 0,22 °C plus froides et de 0,26 usp plus salées que la moyenne aux stations du plateau sur la ligne LG. Les stations du sud en haute mer ont également connu des températures plus chaudes que la moyenne avec des anomalies de température de la couche de mélange aux stations LB, LC et LG de 1,30, 1,81 et 0,48 °C, respectivement.

La période de juillet à septembre qui suit le relevé de juin et qui précède celui d'août à septembre (24 août au 1^{er} septembre 2020) était caractérisée par de faibles vents positifs de remontée, d'une intensité inférieure à la moyenne (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 36). Les anomalies de température de la surface de la mer (voir Ross et Robert,

section 7; Chandler, section 10) étaient invariablement plus chaudes ($> 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) que la moyenne dans la zone du nord des lignes CS et LBP, alors que le profil des anomalies de la température de la surface de la mer était plus hétérogène le long du sud de la COIV.

Les conditions océanographiques lors du relevé de septembre 2020 étaient similaires à celles de 2019 et reflétaient les faibles conditions de remontée d'eau couplée au réchauffement saisonnier de la surface pendant la période de juillet à septembre, avec des anomalies de température de la couche de mélange nettement plus chaudes pour toutes les stations le long de chacune des cinq lignes étudiées ici. La profondeur moyenne de la couche de mélange varie entre 12 et 31 m aux stations du plateau le long des lignes LB, LC, LG et LBP. En haute mer, les profondeurs moyennes de la couche de mélange étaient moins variables, se situant entre 18 et 25 m. Les températures de la couche de mélange de surface aux stations du plateau le long des lignes sud LB, LC et LG, étaient de 1,1, 1,6 et 0,8 $^{\circ}\text{C}$ plus chaudes que les moyennes de leurs séries chronologiques respectives. Les températures de la couche de mélange aux stations en haute mer pour les lignes LB, LC et LB, étaient de 1,5, 1,7 et 1,9 $^{\circ}\text{C}$ supérieures à la moyenne. Ces tendances étaient similaires, mais moins extrêmes, aux observations des relevés pendant la vague de chaleur marine de 2019. Pour les stations de la ligne LBP (au large de la péninsule Brooks) et les stations en haute mer, la couche de mélange était plus chaude de 0,6 et 2,3 $^{\circ}\text{C}$ que la moyenne des séries chronologiques. Les anomalies de température pour les stations du plateau et en haute mer de la ligne CS étaient de 2,6 et 2,5 $^{\circ}\text{C}$ plus chaudes que la moyenne des séries chronologiques, et considérablement plus chaudes qu'en septembre 2019. Comme ci-dessus, la température de la colonne d'eau dans la couche de mélange de surface était supérieure à la moyenne pour toutes les lignes, augmentant de 1,5 à 2,5 $^{\circ}\text{C}$ avec la latitude pour les stations hauturières. Les extrêmes étaient largement limités à la surface, les schémas verticaux d'anomalie de température sous la profondeur de la couche de mélange étant moins extrêmes ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) et similaires à ceux du relevé de juin (figure 14-2). La couche de mélange de surface sur le plateau était de 0,4, 0,7 et 0,5 usp plus douce que la moyenne pour les trois lignes du sud, LB, LC et LG, tandis que la salinité de la couche de mélange était anormalement élevée pour les stations du nord du plateau, LBP et CS. Au large, les conditions d'eau anormalement douce s'étendaient de la surface à la couche de mélange jusqu'à environ 75 m (figure 14-3). La salinité n'était pas sensiblement différente de la moyenne de chaque série chronologique sous 75 m de profondeur. Ce schéma est similaire à celui de juin et juillet 2020 (figure 14-3, graphique de gauche), lorsque les eaux de surface ($< 100\text{ m}$) étaient généralement plus douces que les moyennes de chaque série chronologique. Il faut toutefois noter l'exception d'une couche mixte plus salée que la moyenne en juin et d'une subsurface (20 à 100 m) plus salée en août 2020 aux stations LG du plateau et aux stations LBP de l'accroche du plateau (figure 14-3).

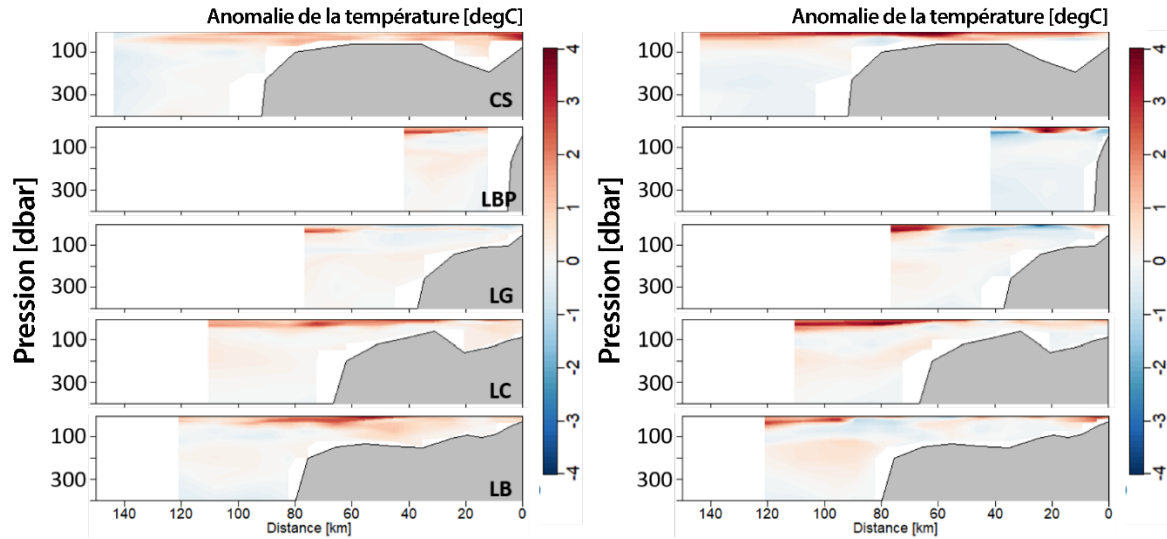


Figure 14-2. Graphiques de section des anomalies de température (°C) pour chaque ligne d'échantillonnage. Profondeur maximale fixée à 400 dbar. De haut en bas, lignes du nord au sud (voir la figure 14-1). De gauche à droite, sections des relevés de mai et de septembre, respectivement. La moyenne de la 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 2020 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.

14.4. Facteurs influençant les tendances

Les profils temporels et spatiaux à grande échelle indiquant des températures de la colonne d'eau supérieure plus élevées que la moyenne en 2020 pour le golfe d'Alaska (Ross et Robert, section 7) se sont également étendus à la côte ouest de l'île de Vancouver. Les vents propices à la plongée d'eau ont diminué tôt (mi-février) en 2020, et ont été suivis d'une période de quiescence avant la remontée d'eau à la mi-mai (Hourston et Thomson, section 8; Dewey *et al.*, section 36). Le relevé de La Pérouse de juin et juillet (22 juin au 6 juillet 2020) a été précédé par cette période « calme », mais s'est déroulé pendant une période de remontée active le long de la côte sud-ouest de l'île de Vancouver, comme le reflètent les conditions de surface salées et fraîches sur le plateau au milieu de l'île (ligne LG). Les températures de la couche de mélange de surface au large devraient se réchauffer de façon saisonnière en raison (en partie) du transport Ekman vers l'ouest des eaux du plateau. Les tendances en travers du plateau relatives à la température de surface en août et septembre reflètent une remontée d'eau faible, mais constante pendant la période entre les relevés. Il convient toutefois de noter que la couche de mélange de surface pour les stations du plateau et du large le long de la ligne CS nord était anormalement chaude ($> 2\text{ °C}$), ce qui reflète une remontée anormalement faible dans le nord pendant une grande partie de 2020. Les profils de température et de salinité de la colonne d'eau supérieure le long de la côte ouest de l'île de Vancouver étaient similaires, mais moins extrêmes en 2020 comparativement à 2019 (Sastri

2020; Ross et Robert 2020). Ces tendances reflètent des températures plus chaudes que la moyenne à l'échelle régionale et des événements de remontée d'eau limités, mais intermittents le long du sud de la côte ouest de l'île de Vancouver.

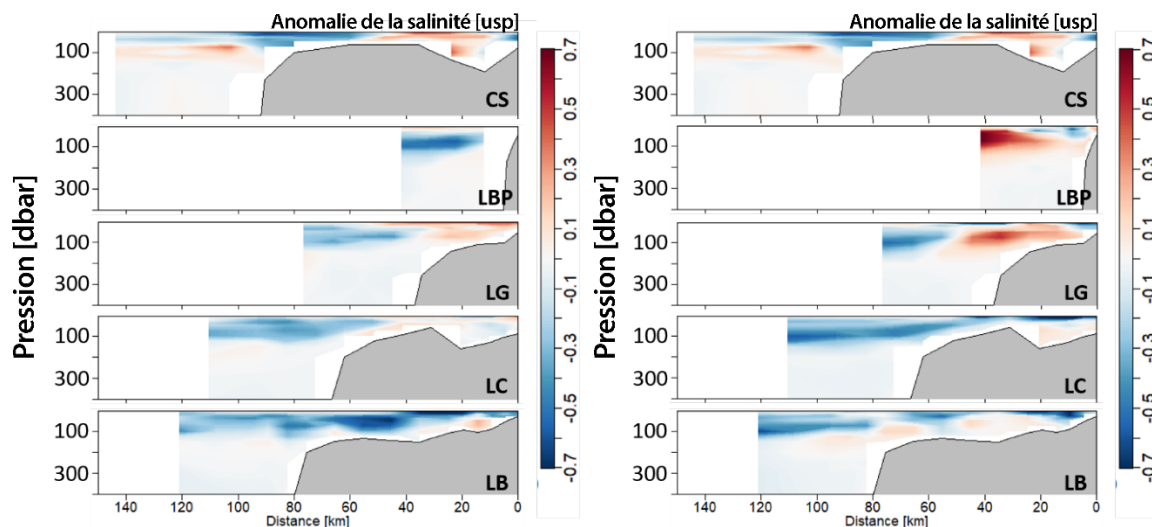


Figure 14-3. Graphiques de section des anomalies de salinité (usp) pour chaque ligne d'échantillonnage. Profondeur maximale fixée à 250 dbar. De haut en bas, lignes du nord au sud (voir la figure 14-1). Les graphiques de gauche et de droite représentent respectivement les relevés de juin-juillet et d'août-septembre. 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 2020 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.

14.5. 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 plus grande abondance et biomasse 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 (Galbraith et Young, section 18). 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).

14.6. Références

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., and 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. 2020. Are marine heatwaves the new normal for the Northeast Pacific Ocean? In: 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.
- Sastri, A. Oceanographic conditions off the west coast of Vancouver Island: 2019. In: 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.

15. ÉVALUATION DE L'HABITAT OCÉANIQUE DES OISEAUX DE MER – RÉSERVE NATIONALE MARINE DE FAUNE DES ÎLES SCOTT

Greg Jones¹, Charles Hannah², Andrea Hilborn³ et Roy Hourston⁴

Ministère des Pêches et des Océans, Sidney, Colombie-Britannique, ¹reshook@shaw.ca,
²Charles.Hannah@dfo-mpo.gc.ca, ³Andrea.Hilborn@dfo-mpo.gc.ca, ⁴Roy.Hourston@dfo-mpo.gc.ca

15.1. Points 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, l'analyse des données satellitaires et le déploiement de dériveurs GPS.
- Des observations récentes de dériveurs mettent en évidence les différences fondamentales entre la dérive de surface en hiver et en été.
- En été, la tendance générale est que les dériveurs du sud du bassin Reine-Charlotte dérivent hors du bassin à travers les îles Scott, puis vers le sud le long de l'accote du plateau, ce qui correspond à la circulation générale. Individuellement, les dériveurs présentent une variabilité importante par rapport à cette tendance.
- Les analyses de la relation entre la chlorophylle a par satellite (qui sert d'approximation de la biomasse phytoplanctonique) et le succès à l'envol des macareux rhinocéros pour la période de 1998 à 2008 ont été prolongées jusqu'en 2020 en tant que prévision a posteriori du succès à l'envol au cours des 12 dernières années. Les données de terrain peuvent maintenant être utilisées pour vérifier si cette relation statistique entre une variable environnementale et une variable du cycle biologique des oiseaux s'est maintenue.

15.2. Description

Le gouvernement du Canada a créé la RNF des îles Scott en 2018 (figure 15-1). 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 qui se reproduisent dans l'océan Pacifique au Canada se reproduisent dans les îles Scott, y compris environ la moitié de la population mondiale de starique de Cassin (*Ptychoramphus aleuticus*), et environ 7 % de la population mondiale de macareux rhinocéros (*Cerorhinca monocerata*).

- Les oiseaux de mer sont des animaux marins :
 - Toute leur nourriture vient de l'océan.
 - Les conditions océaniques influencent la reproduction des oiseaux de mer par leurs effets sur les espèces fourragères.

- Les oiseaux de mer peuvent constituer un indice des conditions marines, car ils 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. Le projet des îles Scott s'inscrit dans le cadre de la surveillance océanique à long terme menée 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. Les résultats aideront à comprendre les habitats marins pour tous les prédateurs marins.

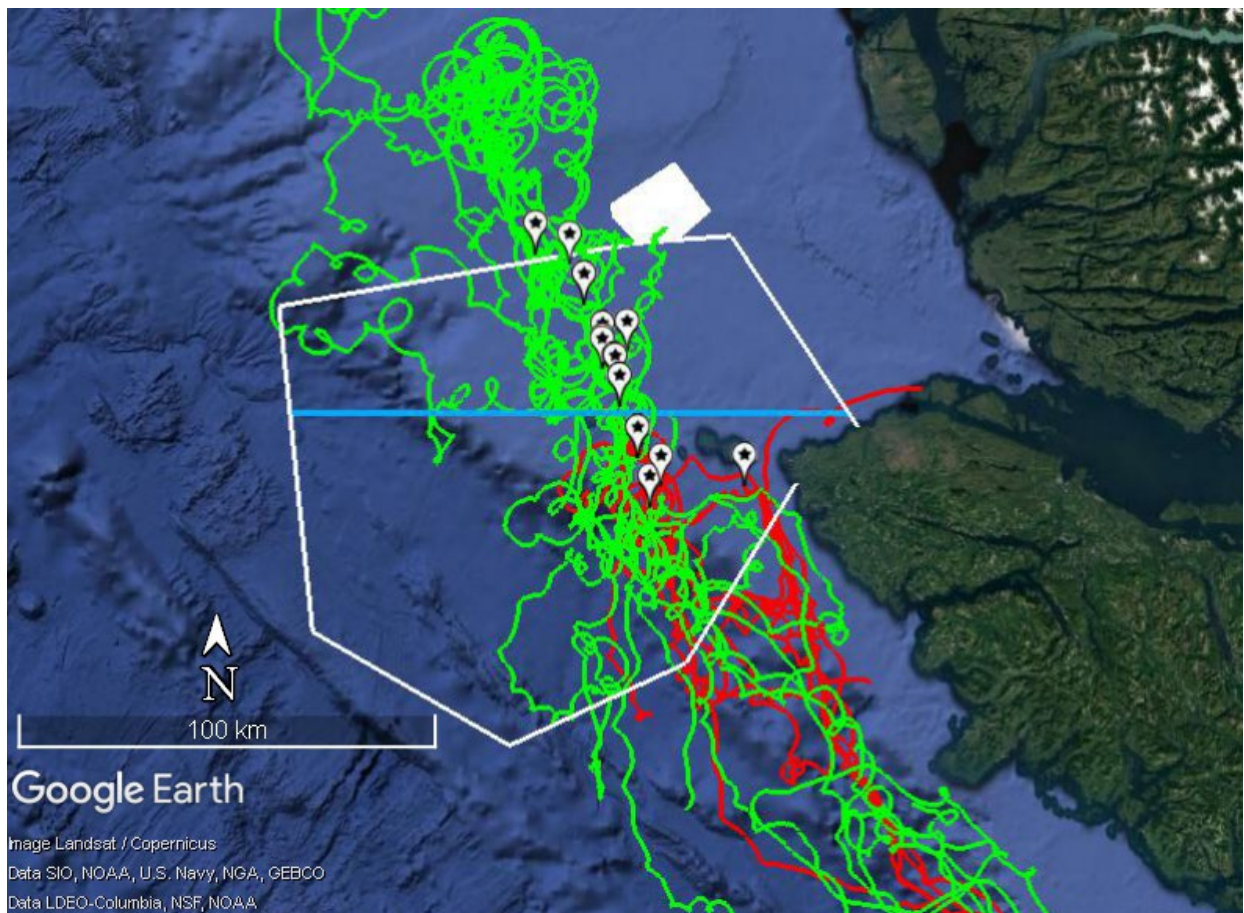


Figure 15-1. Trajets de 25 dériveurs GPS déployés en juillet 2016, 2017 et 2020 dans la réserve nationale marine de faune (RNF). Seuls les dériveurs ayant plus de 6 jours de données ont été inclus. Sur les 17 dériveurs déployés au nord de l'île Triangle, 9 ont dérivé vers le nord et 8 vers le sud. Les 8 dériveurs déployés au sud de l'île Triangle ont dérivé vers le sud, dont 1 a ensuite pris la direction de l'est par le canal Scott. Aucun dériveur n'est allé vers l'ouest au-delà de la limite de la RNF. Des dériveurs ont été déployés dans la RNF au cours d'autres mois et d'autres années. Ligne blanche : limite de la RNF. Polygone blanc solide : ZPM des récifs d'éponges siliceuses. Lignes vertes : dériveurs déployés au nord de l'île Triangle. Lignes rouges : dériveurs déployés au sud de l'île Triangle.

Ligne bleue : latitude de l'île Triangle - 50° 52' 20" N. Ballons blancs : emplacements où les dériveurs ont été déployés.

- Les projets les plus importants mis en œuvre dans la RNF jusqu'en 2019 ont été résumés dans le rapport de Jones et Hannah (2020).
- Cette année, nous mettons l'accent sur le fait que toute zone définie dans l'océan n'est pas isolée, mais fait plutôt partie de l'environnement marin global, d'où la nécessité d'une approche écosystémique. Le récif sud de la zone de protection marine (ZPM) des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin Reine-Charlotte a une limite commune avec la RNF et est donc inclus dans l'analyse des données de dériveur GPS avec la RNF comme faisant partie de l'écosystème marin (figures 15-1 et 15-2).
- Les dériveurs GPS déployés dans la RNF en juillet 2016, 2017 et 2020 ont montré plusieurs schémas de déplacement (figure 15-1) :
 - Neuf des 17 dériveurs déployés au nord de l'île Triangle ont dérivé vers le nord, et 8 vers le sud.
 - Les huit dériveurs déployés au sud de l'île Triangle ont tous dérivé vers le sud. L'un d'entre eux, dérivant vers le sud après avoir été déployé, s'est ensuite dirigé vers l'est, quittant la zone par le canal Scott.

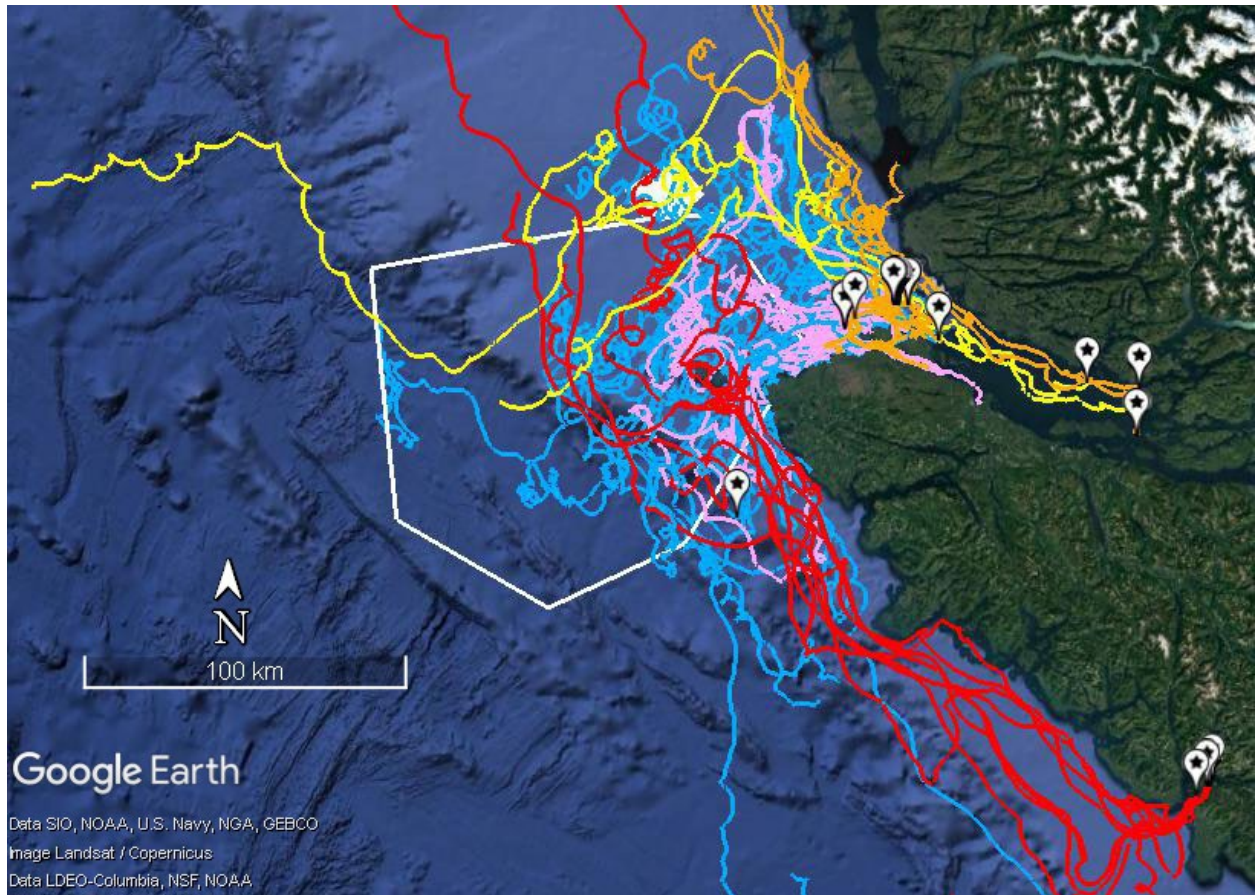


Figure 15-2. Trajets de 54 dériveurs GPS avec plus de 6 jours de données ou des points finaux utiles avant la défaillance. Trente-quatre dériveurs sortant du détroit de la Reine-Charlotte sont entrés dans la RNF (mai à octobre, 2014 à 2020 sauf 2018), dont neuf ont ensuite quitté la RNF pour dériver vers l'est. Trois dériveurs déployés dans le détroit de Johnstone en janvier 2019 sont entrés dans la RNF. Parmi les neuf autres dériveurs qui sont sortis du détroit de la Reine-Charlotte, trois ont dérivé vers le nord au-delà de la RNF, quatre ont circulé près du point de déploiement et deux se sont échoués sur la côte. Huit dériveurs déployés dans le bras Muchalat (décembre à février, 2020 et 2021) ont dérivé vers le nord au-delà de la péninsule Brooks; six d'entre eux sont entrés dans la RNF. Lignes bleues : dériveurs déployés à l'est des îles Scott qui ont dérivé dans la RNF et ne sont pas retournés vers l'est. Lignes violettes : dériveurs déployés à l'est de la RNF, qui ont dérivé dans celle-ci puis sont revenus vers l'est. Lignes jaunes : dériveurs déployés dans le détroit de Johnstone en janvier 2019. Lignes rouges : dériveurs déployés sur le site de l'épave qui laisse échapper du pétrole dans le bras Muchalat – le NM Schiedyk. Lignes orange : dériveurs sortant du détroit de la Reine-Charlotte qui ne sont pas entrés dans la RNF. Ligne blanche : limite de la RNF. Polygone blanc solide : ZPM des récifs d'éponges siliceuses. Ballons blancs : emplacements où des dériveurs ont été déployés.

- Les dériveurs se sont déplacés de façon désordonnée à l'intérieur de la RNF avant d'en sortir.
- Aucun dériveur n'a été transporté par les courants à l'ouest de la frontière de la RNF.
- Trente-sept des 46 dériveurs déployés dans le détroit de la Reine-Charlotte, ou à sa sortie, de mai à octobre de 2014 à 2020 (aucun échantillonnage en 2018), et en janvier 2019, ont été transportés dans la RNF par les vents et les courants (figure 15-2).

- Les dériveurs qui entrent dans la RNF présentent deux grandes tendances. Certains sont allés vers le nord, puis ont pivoté vers le sud-ouest, et d'autres se sont dirigés vers l'ouest en général, traversant la RNF à n'importe quel point de la frontière orientale. Les dériveurs entrant par l'est se sont généralement concentrés dans la zone du banc Cook. En juillet, 8 des 17 dériveurs dans la zone du banc Cook ont dérivé vers le nord en direction du banc de l'île Goose.
- Ce résultat est cohérent avec la conclusion de Borstad et ses collaborateurs (2011) selon laquelle les nutriments de l'est du bassin Reine-Charlotte sont transportés vers l'ouest par les courants dans la région des îles Scott.
- Un quart (9) des 37 dériveurs qui sont entrés dans la RNF par l'est, au printemps et à l'automne, en sont ressortis par la suite et ont dérivé vers l'est.
- Neuf des 46 dériveurs qui sont sortis du détroit de la Reine-Charlotte du printemps à l'automne n'ont pas pénétré dans la RNF. Trois d'entre eux ont dérivé vers le nord près de la côte continentale, ce qui indique un courant vers le nord proche du littoral. Trois autres ont circulé près du site de déploiement, et deux se sont échoués.
- La variation importante dans les mouvements des dériveurs, y compris le retour vers l'est après le déplacement vers l'ouest dans la RNF, indique des courants complexes dans cette région.
- Le détroit de la Reine-Charlotte est un couloir important pour le trafic maritime vers le détroit de Johnstone ou à partir de celui-ci. Les résultats des dériveurs au printemps, en été, en automne et en hiver démontrent que les substances provenant de ces détroits pourraient être transportées dans la RNF des îles Scott et dans la ZPM des récifs d'éponges siliceuses adjacente et les affecter.
- Des dériveurs ont été lâchés en décembre 2020 et en janvier et février 2021, près du site d'une épave immergée qui laisse échapper du pétrole (figure 15-2) dans le bras Muchalat. Les dériveurs font partie d'un partenariat intergouvernemental qui évalue les répercussions du pétrole et son nettoyage (épave de l'île Bligh, <https://www.spillresponsebc.ca>).
 - Huit dériveurs ont quitté le bras Muchalat en dérivant vers le nord, dont six ont parcouru une distance d'environ 180 km en ligne droite dans la RNF, et deux se sont échoués au nord de la péninsule Brooks avant d'atteindre les îles Scott.
 - Deux dériveurs qui sont entrés dans la RNF ont ensuite continué à aller vers le nord. Dans les 21 jours suivant le déploiement, l'un d'entre eux a parcouru environ 520 km en ligne droite depuis le site de déploiement de l'épave, et l'autre a parcouru environ 680 km, aussi en ligne droite depuis l'épave.
- Sur un total de neuf dériveurs qui sont entrés dans la RNF en hiver (figure 15-2), un seul s'est déplacé vers l'ouest au-delà de l'accroche du plateau et une autre semblait se diriger dans cette direction jusqu'à ce que la pile s'épuise. Il semble que la plupart des courants de surface en hiver se dirigent vers le nord plutôt que vers l'ouest à travers l'accroche du plateau.
- Les travaux réalisés dans le cadre de l'accord continuent d'être menés en fonction des écosystèmes océaniques. Certaines analyses incluent toutes les aires marines protégées existantes et proposées sur la base d'un partenariat avec les agences responsables – Pêches et Océans, Parcs Canada, et Environnement et Changement climatique Canada (Devred *et al.* 2021; Hilborn *et al.*, section 45; figure 15-3).

- Le succès de la reproduction du macareux rhinocéros, un oiseau de mer piscivore, s'améliore avec la disponibilité de poissons fourrages nutritifs lorsqu'ils sont nécessaires pour nourrir leurs oisillons. Dans la RNF, la production des oisillons est optimale lorsque la prolifération printanière du phytoplancton a lieu au début d'avril (Borstad *et al.* 2011). Dans la RNF, le poisson fourrage avec la meilleure qualité est le lançon du Pacifique, *Ammodytes hexapterus*.
- Borstad *et al.* (2011) ont fourni des renseignements soutenant la théorie d'une relation directe entre la productivité des macareux rhinocéros, mesurée par le poids de leurs oisillons, et la concentration de chlorophylle a (chl-a) dans un rayon de 45 km autour de l'île Triangle, la zone la plus importante des îles Scott pour la reproduction des oiseaux marins.
- Les études de télémétrie dans la RNF ont montré que cette espèce s'alimente jusqu'à environ 80 km de l'île Triangle; dans d'autres zones, il a été démontré que cette espèce peut aller jusqu'à 90 km (McFarlane *et al.* 2005). La distance parcourue pour obtenir de la nourriture pour les oisillons dépend de la distance nécessaire pour trouver des poissons adéquats et peut varier d'une année à l'autre.

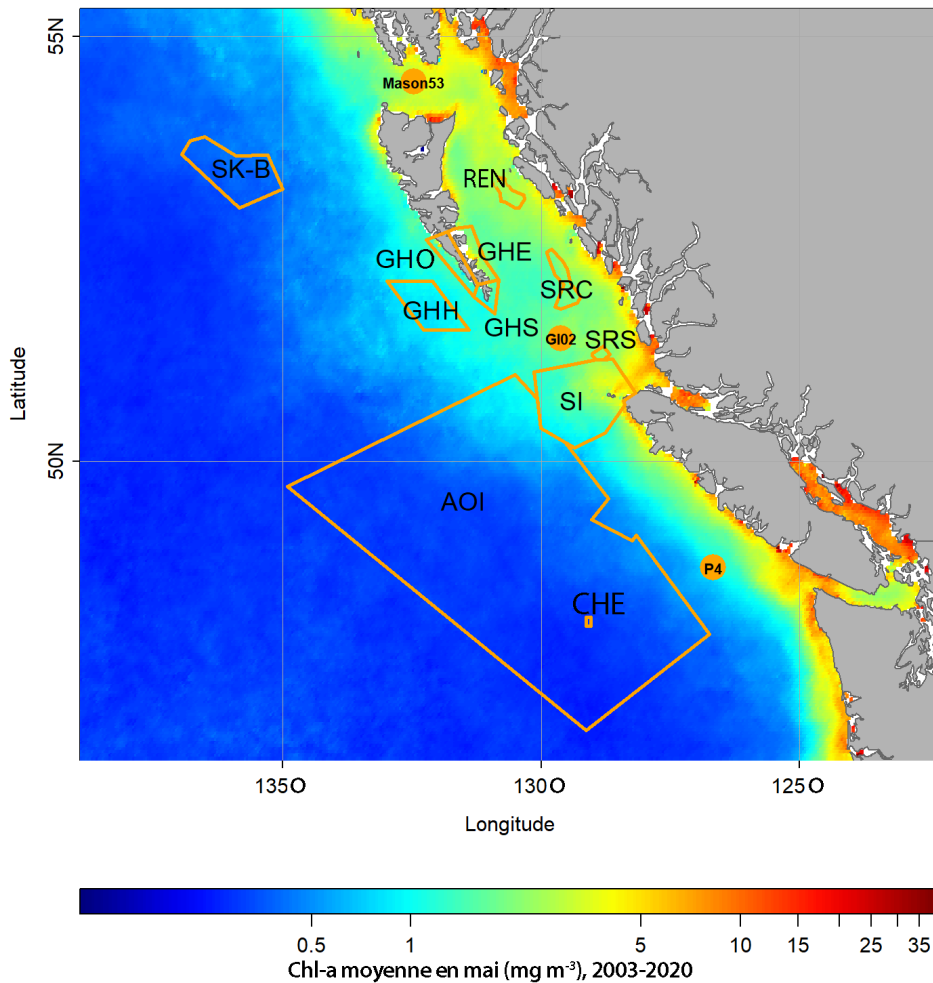


Figure 15-3. Zones pour lesquelles des séries chronologiques standard sont en cours d'élaboration; beaucoup d'entre elles sont des zones protégées existantes ou proposées. La figure montre la moyenne de chlorophylle a en mai de 2003 à 2020. SK-B : Zone de protection marine du mont sous-marin SGaan Kinghlas-Bowie. GH : Réserve de

parc national Gwaii Haanas, sections est (E), sud (S) et ouest (O). GHH : Gwaii Haanas, haute mer. RE : ZMP des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin Reine-Charlotte, récifs nord (N), central (C) et sud (S). IS : Réserve nationale marine de faune des îles Scott. CHE : Zone de protection marine du champ hydrothermal Endeavour. ZI : Zone d'intérêt au large du Pacifique. Icônes orange : stations océanographiques standard.

- Les liens entre la chl-a et la production d'oisillons de macareux rhinocéros établis dans Borstad *et al.* (2011) étaient basés sur les données de 1998 à 2008. Reproduire ce résultat a été plus difficile que prévu en utilisant le même jeu de données (valeurs de chl-a à l'aide de SeaWiFS et de l'algorithme OC4) et en suivant la méthodologie décrite dans l'article. Avec quelques petites modifications, nous avons pu presque reproduire la pente qu'ils avaient trouvée. Les résultats sont également sensibles à des détails comme l'algorithme de traitement de base utilisé pour produire les estimations de la chl-a.
- Nous avons utilisé nos résultats pour étendre l'approximation du poids des oisillons jusqu'en 2020 (figure 15-4). Les données de terrain peuvent maintenant être utilisées pour vérifier si cette relation statistique entre une variable environnementale et une variable du cycle biologique des oiseaux s'est maintenue. Étant donné que la principale proie de l'oiseau de mer, le lançon du Pacifique, se situe à plusieurs niveaux trophiques au-dessus de la chl-a, il se peut que cette relation ne soit pas très sensible à la chl-a.
- Étant donné que les écosystèmes et les réseaux alimentaires peuvent évoluer dans le temps, il est possible qu'une relation statistique couvrant plusieurs niveaux trophiques soit valable au courant d'une décennie et pas dans une autre. Tester la relation avec des données de terrain plus récentes permettrait de valider les résultats.

Chl-a satellitaire convertie en population d'oisillons

Données sur les oisillons (vert), données SeaWiFS de Borstad (bleu), données SeaWiFS v. 2018 (rouge), données MODISA v. 2018 (violet)

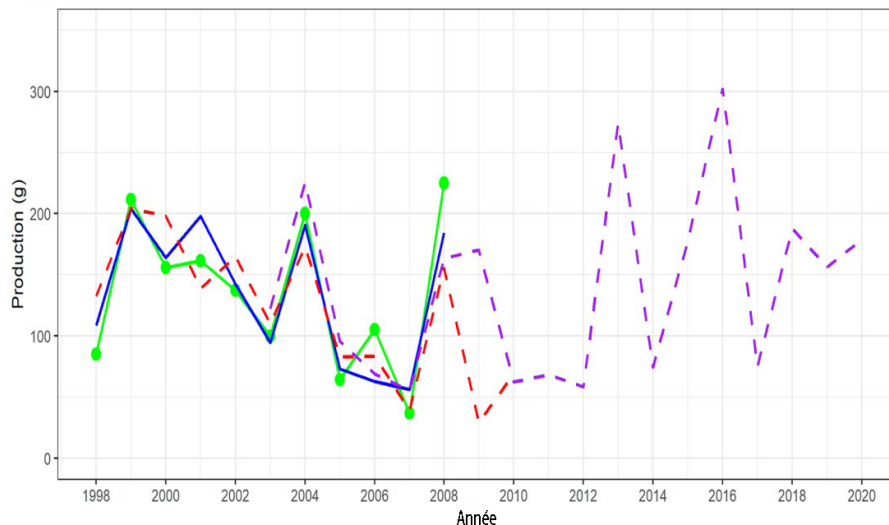


Figure 15-4. Prédiction préliminaire du poids (g) des oisillons du macareux rhinocéros de 1998 à 2020, en appliquant la relation avec la biomasse phytoplanctonique (chl-a) publiée par Borstad *et al.* (2011). La ligne verte correspond aux données sur le poids des oisillons, la ligne bleue est le résultat de Borstad *et al.* (2011) pour 1998-2008, la ligne rouge est notre résultat basé sur les données SEAWIFS, et la ligne violette est notre prévision a posteriori pour 2003-2020, basée sur les données MODISA.

15.3. Références

- 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.
- Devred, E., Hardy, M., and Hannah, C. 2021. Satellite observations of the Northeast Pacific Ocean. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 335: vii+46 p.
- Jones, G., and Hannah, C. 2020. Assessing ocean habitat for seabirds – Scott Islands marine national wildlife area. In 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.
- McFarlane Tranquilla, L, Ryder, J.L., Boyd, W.S., Shisko, S.G., Bertram, D.F., and Hipfner, J.M. 2005. Diurnal marine distributions of radio-tagged Cassin's Auklets and Rhinoceros Auklets breeding at Triangle Island, British Columbia. Technical Report Series No. 423. Canadian Wildlife Service, Pacific and Yukon Region, British Columbia.

16. LES NUTRIMENTS ET LE PHYTOPLANCTON LE LONG DE LA LIGNE P

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

16.1. Points saillants

- Les concentrations hivernales de nutriments en surface le long de la ligne P en 2020 ont été parmi les plus faibles jamais enregistrées en raison d'une stratification accrue qui a limité le renouvellement des nutriments par transport vertical, ce qui avait également été observé les années précédentes.
- Un tourbillon Haïda avec des nutriments de surface inférieurs à la normale était présent aux stations en haute mer de la ligne P pendant l'hiver 2020. En été, les concentrations de nutriments de surface étaient similaires ou supérieures à celles observées en hiver.
- La biomasse phytoplanctonique était relativement faible le long de la ligne P en 2020, mais la composition de la communauté était similaire à celle des années précédentes, à l'exception d'une diminution de l'abondance des diatomées.

16.2. 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 année, aux mois de février, juin et août ou septembre le long de la ligne P, dans le nord-est du Pacifique subarctique. L'échantillonnage de la composition du phytoplancton est effectué à la plupart des stations le long de la ligne P (figure 16-1) depuis juin 2010. En 2020, en raison des restrictions liées à la COVID-19, l'échantillonnage de la mission de juin a été limité et ne s'est pas étendu au-delà de P12.

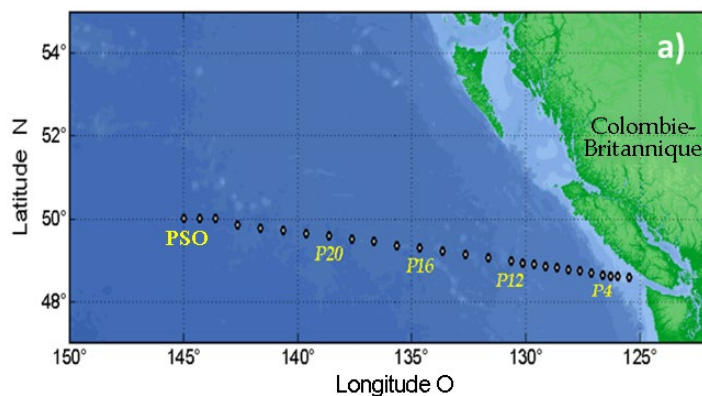


Figure 16-1. Emplacement des stations d'échantillonnage le long de la ligne P (P26 est la station océanique Papa).

L'abondance et la composition du phytoplancton sont déterminées en utilisant une approche chimiotaxonomique basée sur les 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).

16.3. État et tendances

La ligne P s'étend de l'angle sud-ouest de l'île de Vancouver à la station météorologique Papa (figure 16-1) dans la région riche en nutriments et pauvre en chlorophylle, où les concentrations de surface en nutriments 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 ainsi que de la composition du phytoplancton. Durant l'hiver 2019-2020, le renouvellement des nutriments provenant du transport vertical a été limité par une stratification accrue, similaire à celle observée au cours des années précédentes. De plus, un tourbillon Haïda avec des concentrations en nutriments plus faibles que celles des eaux environnantes a été observé dans les stations les plus au large. Par conséquent, les valeurs de surface en nitrates et en silicates de l'hiver 2020 se situaient dans la fourchette inférieure des années précédentes, en particulier dans les stations les plus au large où le tourbillon était présent (figure 16-2). Cependant, les concentrations estivales de nutriments étaient similaires ou supérieures aux valeurs hivernales dans ces stations en haute mer. Dans d'autres stations, les nutriments de la couche de mélange estivale en 2020 étaient inférieurs aux valeurs moyennes, mais pas aussi bas qu'en 2019, lorsque l'épuisement des nitrates s'est étendu pour la première fois jusqu'à la station océanique Papa. De même, les concentrations de chl-a en hiver et en été se situaient

dans la fourchette inférieure des valeurs des années précédentes (figure 16-2).

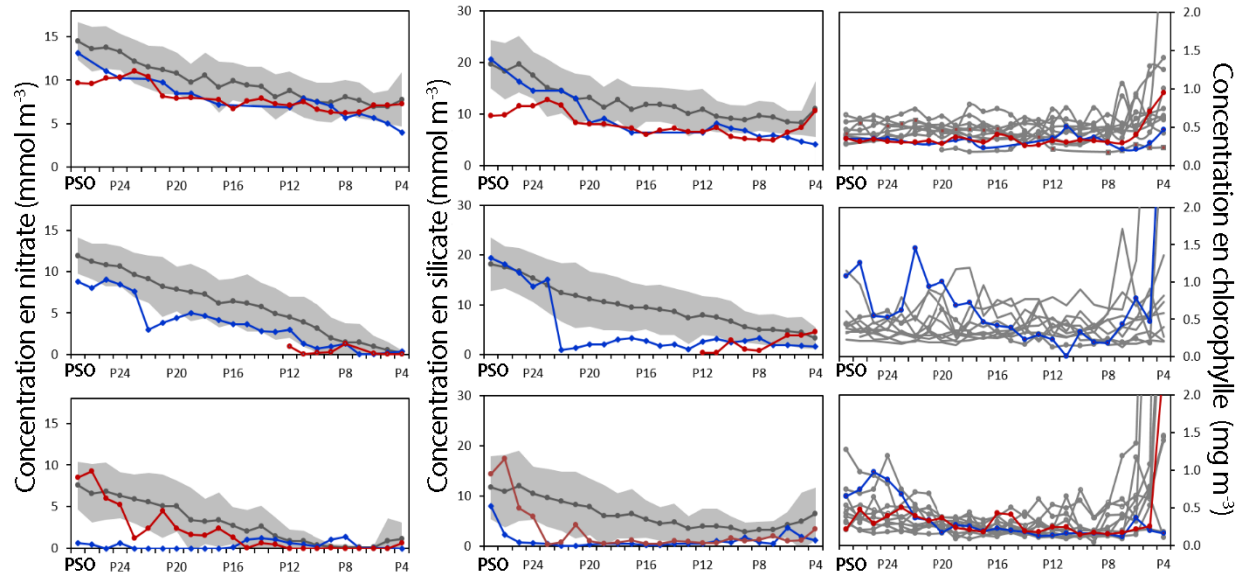


Figure 16-2. Nitrate (graphiques de gauche, mmol m^{-3}), silicate (graphiques du centre, mmol m^{-3}) et chlorophylle a (graphiques de droite, mg m^{-3}) dans les eaux de surface le long de la ligne P de la station P4 à la station OSP en hiver (graphiques du haut), au printemps (graphiques du milieu) et en été (graphiques du bas). Les graphiques de gauche et du centre illustrent la moyenne (ligne grise) et l'écart-type (zone ombrée) des concentrations en nutriments de 2000 à 2019. Le graphique de droite affiche toutes les valeurs de 2009 à 2020. Dans tous les graphiques, les données pour 2019 sont indiquées en bleu et celles pour 2020 en rouge.

La composition de l'assemblage phytoplanctonique en 2020 était en général similaire à celle observée les années précédentes, les haptophytes dominant la biomasse phytoplanctonique dans la plupart des stations (figure 16-3), à l'exception d'une diminution de l'abondance relative des diatomées pendant l'été.

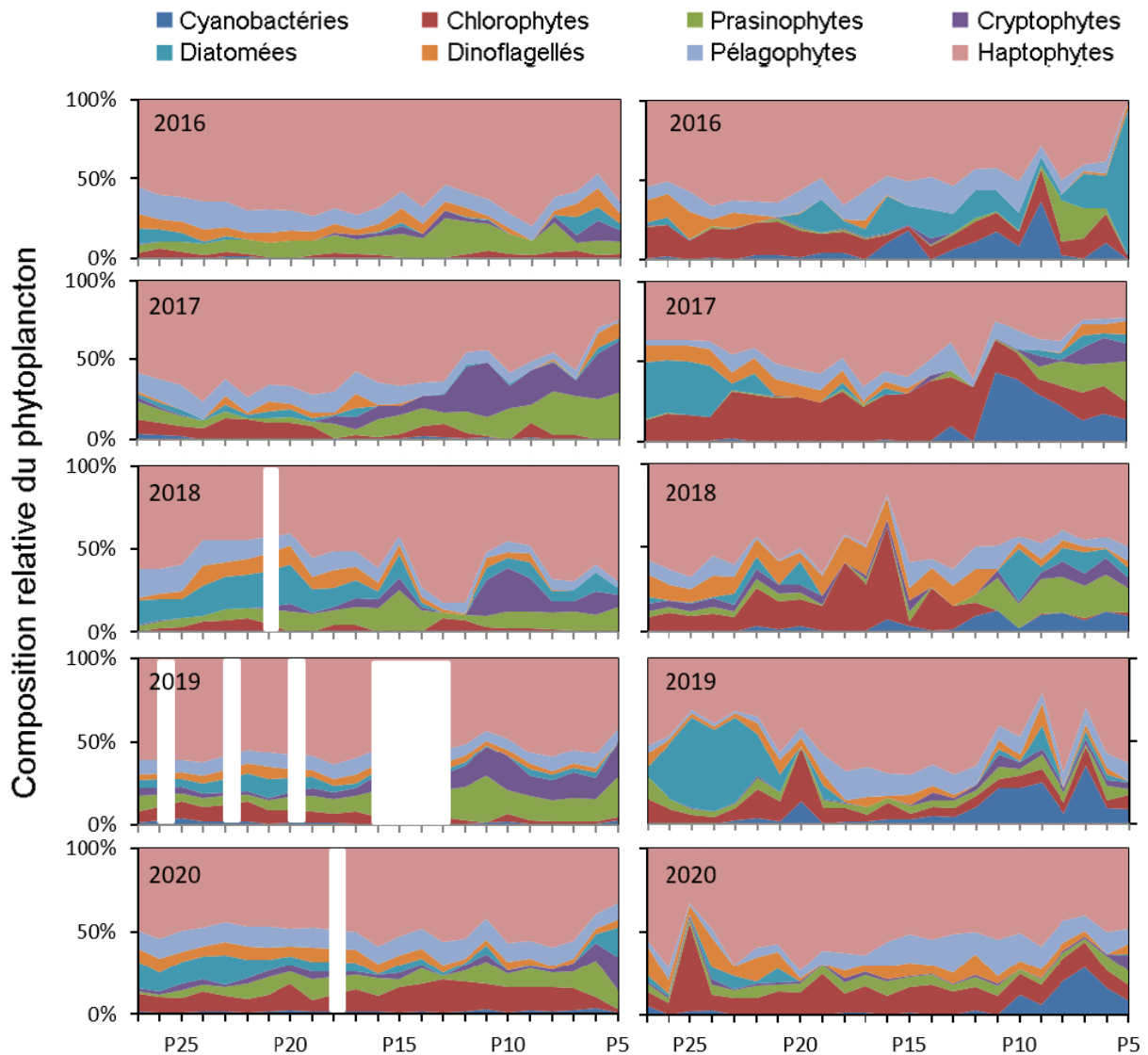


Figure 16-3. Composition relative du phytoplancton dans la couche supérieure aux stations situées le long de la ligne P (voir la figure 16-1) en février (graphiques de gauche) et en août/septembre (graphiques de droite) de 2016 à 2020. Les espaces vides indiquent qu'aucune donnée n'a été recueillie.

16.4. 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. Pendant le « Blob » en 2015, des changements dans l'abondance et la composition du phytoplancton ont été observés le long de la ligne P, probablement en réponse à la hausse 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. On a notamment observé un 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, ainsi que des

augmentations sporadiques de l'abondance des diatomées dans les stations les plus au large de la ligne P en septembre 2017 et 2019 et des diminutions dans la plupart des stations à l'été 2020. Ces changements pourraient être dus à une augmentation de la disponibilité du fer ou à un transport anormal des eaux appauvries en nutriments dans la région.

16.5. 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.

16.6. Références

- 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.

17. SURVEILLANCE DE L'ACIDE DOMOÏQUE DANS LES EAUX CANADIENNES DU PACIFIQUE : 2016 À 2020

R. Ian Perry^{1,2}, Andrew Ross², Nina Nemcek², Melissa Hennekes², Akash Sastri², Hayleigh Shannon², Amanda Timmerman², Blair Surridge³, Stewart Johnson¹, Ryan Shartau¹, Andrea Locke²

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.
Andrew.Ross@dfo-mpo.gc.ca

³MB Laboratories, Sidney, Colombie-Britannique.

17.1. Points saillants

- L'acide domoïque (AD), est une phytotoxine constituant un agent de stress pour la santé humaine et les écosystèmes marins qui a été trouvée en concentrations mesurables dans 70 % des échantillons recueillis dans les eaux canadiennes du nord-est du Pacifique de 2016 à 2020.
- Les concentrations d'AD égales ou supérieures à 100 pg/mL (ce qui est défini comme une « concentration préoccupante ») n'étaient pas courantes (c'est-à-dire qu'elles étaient présentes dans environ 4 % des échantillons).
- L'AD était présent toutes les années; les concentrations les plus élevées ont été enregistrées en 2020 le long de la côte ouest de l'île de Vancouver, avec un pic (plus de 2 000 pg/ml) observé en juin.
- L'AD est lié de façon significative à l'abondance de *Pseudo-nitzschia* spp., mais avec un faible pouvoir explicatif.
- L'AD augmente avec la salinité et l'abondance de *Pseudo-nitzschia* dans certaines fermes à saumon de la Colombie-Britannique.
- De multiples phytotoxines sont présentes dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique toute l'année, ce qui indique la possibilité d'une exposition chronique et d'effets cumulatifs.

17.2. Description du problème

La vague de chaleur marine dans le Pacifique Nord-Est de 2014 à 2016 a été accompagnée d'une prolifération extraordinaire de phytoplancton le long du plateau continental de l'ouest de l'Amérique du Nord en 2015. Cette prolifération a persisté de mai à septembre, et s'est étendue de la Californie à l'Alaska. Parmi les taxons phytoplanctoniques de cette prolifération, on trouve des espèces de diatomées pennées, *Pseudo-nitzschia* (McCabe *et al.* 2016). Dans certaines conditions, certaines espèces de *Pseudo-nitzschia* produisent une neurotoxine, qui est responsable de maladies humaines et de plusieurs décès (intoxication amnésique par les mollusques). Par conséquent, il s'agit de l'une des phytotoxines préoccupantes qui sont surveillées de façon régulière dans les mollusques par l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Cependant, cette toxine a également des effets néfastes sur l'écosystème marin. Elle a été retrouvée dans de nombreuses espèces de mammifères marins en Alaska (Lefebvre *et al.* 2016), elle a joué un rôle dans la mort de grandes baleines le long de la côte de la Colombie-

Britannique en 2015 et 2016 (Savage 2017), et on a constaté qu'elle augmentait le risque de maladie cardiaque chez les loutres de mer au large de la Californie (Moriarty *et al.* 2021). Après l'événement de 2015, le MPO a fourni des fonds pour commencer un programme de surveillance à grande échelle de l'acide domoïque en mer en 2016, afin d'évaluer la présence et les tendances de l'acide domoïque dans les eaux canadiennes du Pacifique. En 2019, le MPO a accordé un financement supplémentaire pour étudier l'acide domoïque et d'autres toxines algales à proximité des installations aquacoles littorales, en collaboration avec l'industrie salmonicole de la Colombie-Britannique. Ce rapport présente un résumé des premiers résultats du programme de surveillance à grande échelle de 2016 à 2020 et du programme d'aquaculture littorale en 2020.

Dans le cadre du programme de surveillance à grande échelle, des échantillons ont été recueillis lors de relevés océanographiques effectués par Pêches et Océans Canada pour vérifier la présence d'acide domoïque. Un litre d'eau de mer a été prélevé dans les eaux de surface, puis filtré à bord, et les filtres ont été conservés à -80 °C. Des échantillons supplémentaires ont été prélevés dans la même bouteille Niskin pour la taxonomie du phytoplancton, les nutriments et d'autres propriétés physiques et chimiques. Les échantillons d'acide domoïque ont été extraits et analysés en laboratoire par la méthode de dosage immunoenzymatique (ELISA). L'échantillonnage dans les fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique a été effectué toutes les deux semaines en filtrant 1 litre d'eau de mer à la surface ou à 5 m de profondeur et en conservant le filtre et le filtrat à -20 °C. Des échantillons taxonomiques et des données environnementales (température, salinité, oxygène dissous) étaient recueillis en même temps. Des échantillonneurs de suivi des toxines par adsorption en phase solide (SPATT) ont également été déployés à certains emplacements pour évaluer l'exposition à long terme. L'acide domoïque a été mesuré par ELISA et les autres phytotoxines par chromatographie en phase liquide/spectrométrie de masse en tandem (CPL/SM/SM)

17.3. État et tendances

Au total, 396 échantillons ont été recueillis de 2016 à 2020 dans le cadre du programme de surveillance à grande échelle. Les emplacements échantillonnés comprenaient le détroit de Georgia (N = 174), la côte ouest de l'île de Vancouver (N = 141), le nord-est de l'océan Pacifique (N = 30) et le bassin Reine-Charlotte (N = 49) (figure 17-1).

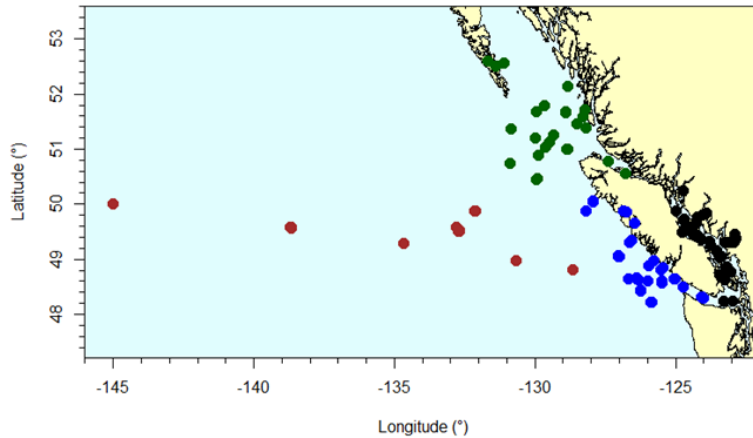


Figure 17-1. Emplacements des échantillons recueillis pour les analyses d'acide domoïque de 2016 à 2020. Points noirs : détroit de Georgia; points bleus : côte ouest de l'île de Vancouver; points rouges : nord-est de l'océan Pacifique; points verts : bassin Reine-Charlotte.

Les concentrations d'acide domoïque particulaire (en excluant les valeurs inférieures à la limite de détection, qui ont été définies ici comme 0 pg/ml) dans l'eau de mer variaient de 0,02 à 2 104 pg/ml. 31 % des observations présentaient des concentrations d'acide domoïque inférieures au seuil de détection de la technique ELISA. La plage de concentration la plus courante était supérieure à 0 et inférieure ou égale à 1 pg/mL (37 %) (figure 17-2). La concentration d'acide domoïque entraînant des effets néfastes pour les mammifères est inconnue, bien que la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Seattle considère que les concentrations supérieures à 200 pg/mL sont « préoccupantes » (Trainer et Hardy 2015). Étant donné l'incertitude entourant la quantité d'acide domoïque pouvant causer des problèmes aux mammifères marins et le fait que l'acide domoïque n'est pas rare dans le réseau alimentaire marin du nord-est du Pacifique, on a déterminé qu'à des fins de précaution, une concentration de 100 pg/mL constitue une « concentration préoccupante » dans le cadre du présent rapport. Le pourcentage d'observations avec des concentrations d'acide domoïque égales ou supérieures à 100 pg/mL dans les zones échantillonnées dans le cadre de ce programme était de 4,3 %.

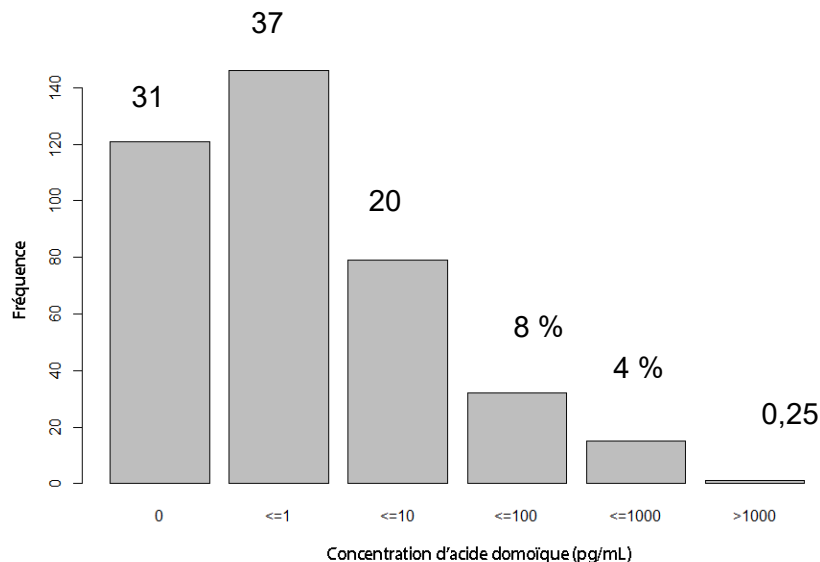


Figure 17-2. Fréquences des concentrations observées d'acide domoïque de 2016 à 2020 dans le cadre du programme de surveillance à grande échelle. Les barres représentent les catégories \log_{10} . Les chiffres au-dessus de chaque barre représentent le pourcentage d'échantillons qui se situent dans chaque plage de concentration.

On a observé des concentrations d'acide domoïque dépassant la « concentration préoccupante » toutes les années de cette étude, sauf en 2019 (figure 17-3, en haut). Par mois, les concentrations médianes d'acide domoïque étaient plus élevées en avril, mai et octobre, bien que certains échantillons (quatre au maximum) aient dépassé la « concentration préoccupante » en mai, juin, août, septembre et octobre (figure 17-3, en bas).

La région du nord-est du Pacifique présentait la plus faible concentration médiane d'acide domoïque (proche de zéro) avec une seule observation (sur 30) à 100 pg/ml. La concentration médiane pour le détroit de Georgia était de 1,9 (\log_{10} pg/L), avec une seule observation (sur 174) supérieure à 100 pg/ml. Le bassin Reine-Charlotte présentait une concentration médiane de 2,2 (\log_{10} pg/L), avec 2 observations (sur 49) supérieures à 100 pg/ml. La côte ouest de l'île de Vancouver présentait la concentration médiane la plus élevée (2,8 \log_{10} pg/L) avec 12 observations supérieures à 100 pg/ml. La plus forte concentration d'acide domoïque observée dans le cadre de cette étude (2 104 pg/ml) a été observée au large de la pointe Estevan, le long de la côte ouest de l'île de Vancouver, en juin 2020 (plusieurs autres emplacements à proximité présentaient également des concentrations d'acide domoïque supérieures à 100 pg/mL au cours de cette étude).

Au total, 28 échantillons d'eau filtrée et de filtres à particules, avec les données taxonomiques et environnementales connexes, ont été prélevés sur des fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique par les partenaires industriels Grieg Seafood et Cermaq Canada entre mai et octobre 2020 (figure 17-4).

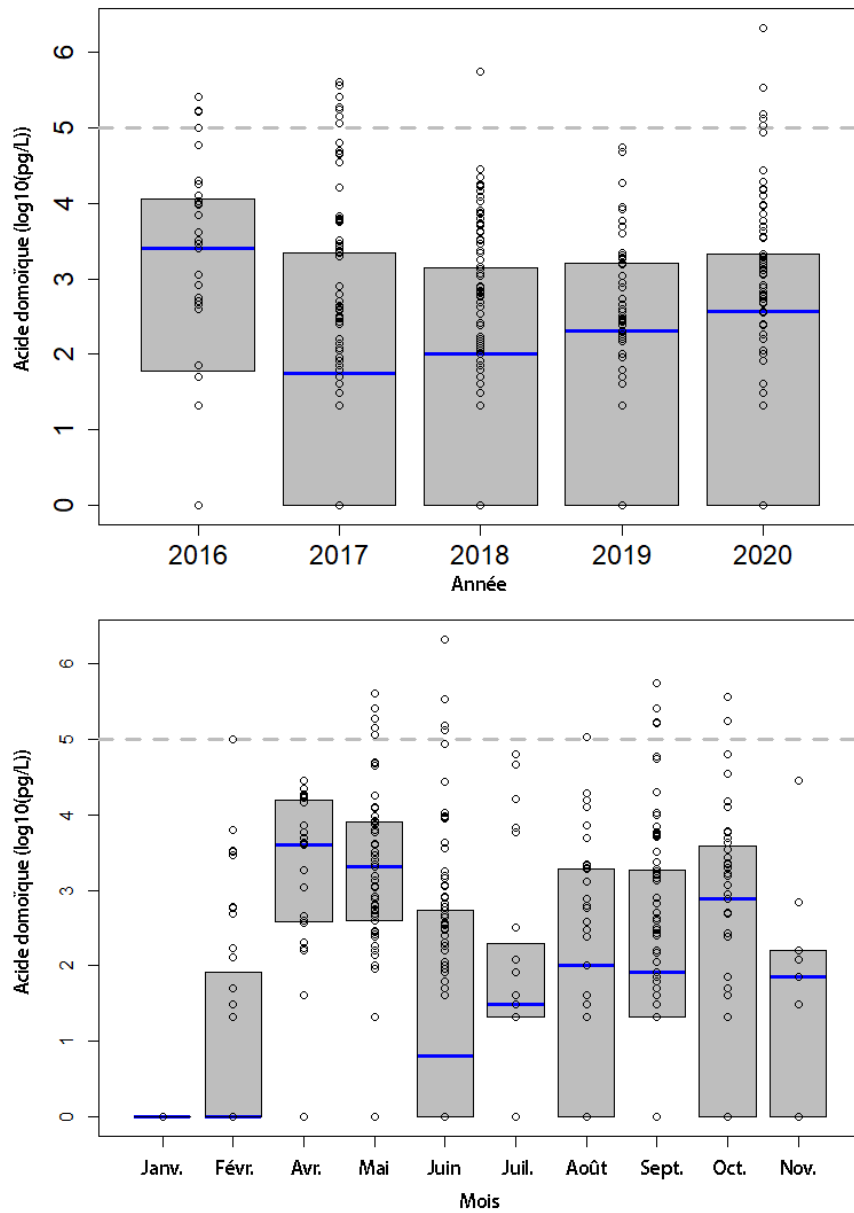


Figure 17-3. Diagrammes de quartiles des concentrations d'acide domoïque de 2016 à 2020 observées par le programme de surveillance à grande échelle, par année (graphique supérieur), et par mois (graphique inférieur). La ligne bleue représente la médiane, le haut et le bas des cases grises représentent respectivement les 75^e et 25^e centiles de la distribution de l'échantillon. Les points ouverts représentent les concentrations des échantillons individuels. La ligne horizontale grise en pointillés représente la « concentration préoccupante » d'acide domoïque utilisée dans cette étude (100 pg/ml; à noter que les unités sur l'axe Y sont le log₁₀ pg/L, donc 5 est égal à 10⁵ pg/L ou 100 pg/ml).

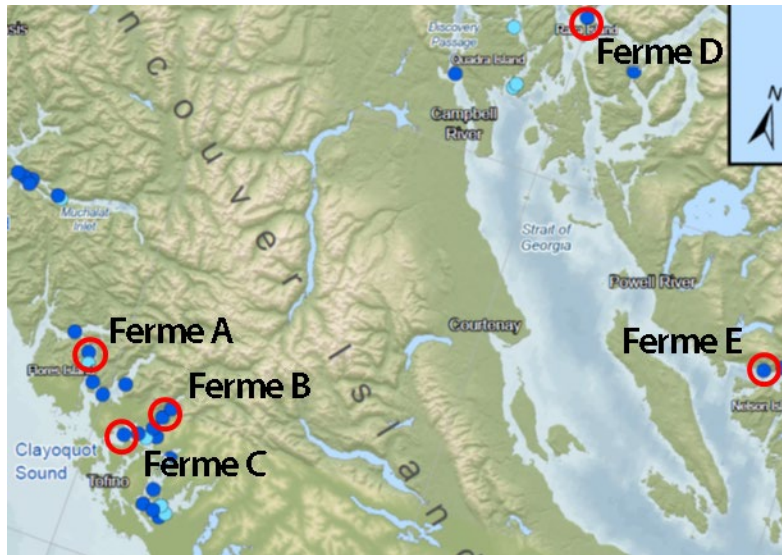


Figure 17-4. Emplacement des fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique où des échantillons ont été prélevés pour l'analyse des biotoxines. Des échantillons d'eau filtrée, de filtre à particules et taxonomiques ont été recueillis dans les fermes B, C et D en 2020 et les filtres ont été analysés pour détecter la présence d'acide domoïque. Les échantillons de SPATT prélevés dans les fermes A, B, D et E en 2017 et 2018 ont été analysés pour détecter la présence d'autres toxines.

Les résultats obtenus pour les échantillons de filtre prélevés à 5 m ont montré que la concentration d'acide domoïque avait tendance à augmenter avec le nombre de cellules de *Pseudo-nitzschia* toxigènes, mais restait relativement faible, les concentrations les plus élevées étant observées à la ferme C (72 pg/mL en juillet 2020). L'analyse CPL/SM/SM des filtres et des extraits obtenus à partir des échantillonneurs SPATT déployés en 2017 et 2018 a révélé que les toxines associées à l'intoxication diarrhéique par les mollusques (IDM) et à l'intoxication par phycotoxine paralysante (IPP) étaient également présentes dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique, et montraient une variabilité saisonnière et interannuelle (figure 17-5).

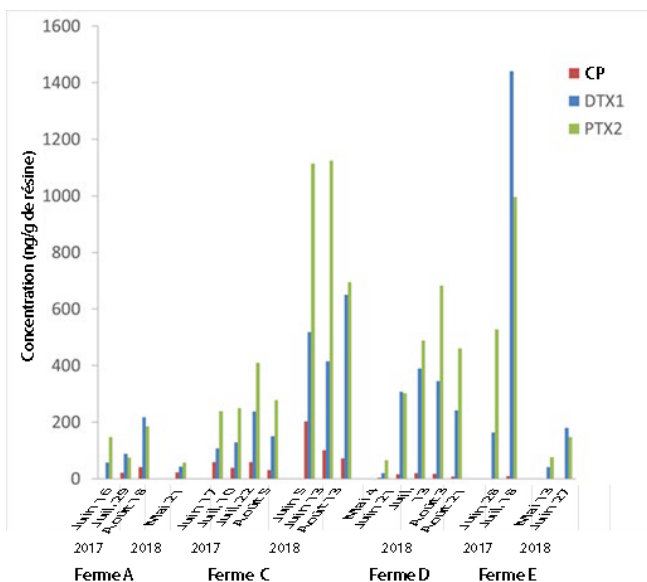


Figure 17-5. Distributions des toxines IDM – acide okadaïque (AO), dinophysitoxine-1 (DTX1) et pecténotoxine-2 (PTX2) – mesurées dans les extraits des échantillonneurs SPATT déployés près des fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique en 2017 et 2018. De la yessotoxine (YTX) était également présente dans la plupart des extraits (non montré), en particulier dans ceux prélevés à la ferme C en 2018.

17.4. Facteurs influençant ces tendances

On pense que l'acide domoïque est produit uniquement par les espèces du genre *Pseudo-nitzschia*. Par conséquent, au moins deux conditions sont nécessaires pour que l'acide domoïque soit présent : 1) la présence de *Pseudo-nitzschia* spp.; 2) ces cellules produisent activement de l'acide domoïque. Les conditions conduisant à la production d'acide domoïque sont cependant mal connues. Elle peut être due à des bactéries, à des phosphates limités, à des concentrations élevées de CO₂ ou à d'autres facteurs. Il existe une relation linéaire positive significative ($P < 0,001$) entre la concentration (\log_{10}) d'acide domoïque et l'abondance (\log_{10}) des *Pseudo-nitzschia* spp. totaux observés par le programme de surveillance à grande échelle, bien que la relation ait un pouvoir explicatif très faible ($_{adj}R^2 = 0,12$). Une relation similaire a été observée dans les fermes salmonicoles de la Colombie-Britannique, où la concentration d'acide domoïque semblait également augmenter avec la salinité. Des travaux sont en cours pour examiner d'autres facteurs susceptibles d'améliorer la relation entre l'abondance de *Pseudo-nitzschia* et la production d'acide domoïque, notamment la température, la salinité et les rapports de nutriments.

17.5. Incidences des résultats

L'acide domoïque peut constituer un danger important pour la santé humaine. L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) est responsable de la surveillance de l'acide domoïque dans l'alimentation humaine au Canada. D'autres travaux permettront de comparer les résultats du programme de surveillance à grande échelle avec les données de l'ACIA sur la contamination des mollusques par l'acide domoïque. Cependant, l'acide domoïque est présent dans le réseau trophique marin et a joué un rôle dans les changements de comportement et la mortalité des mammifères marins le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord et ailleurs. Un programme de surveillance périodique de l'acide domoïque aiderait à comprendre à quelle fréquence et à quel endroit l'acide domoïque est présent, où et quand il dépasse la « concentration préoccupante », quelle devrait être cette « concentration préoccupante », et quelles sont les répercussions sur l'écosystème marin. L'exposition chronique à de multiples phytotoxines et à d'autres agents de stress pourrait également avoir des effets cumulatifs sur les organismes marins. Une surveillance périodique de ces toxines permettrait de mieux comprendre et d'atténuer leurs effets sur les espèces sauvages et d'élevage, tout en faisant la lumière sur les conditions qui donnent lieu à leur production.

17.6. Références

Lefebvre, K., Quakenbush, L., Frame, E., Huntington, K., Sheffield, G., Stimmelmayer, R., Bryan, A., Kendrick, P., Ziel, H., Goldstein, T., Snyder, J.A., Gelatt, T., Gulland, F., Dickerson, B., and Gill, V. 2016. Prevalence of algal toxins in Alaskan marine mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment. *Harmful Algae* 55: 13–24.

McCabe, R.M., Hickey, B., Kudela, R., Lefebvre, K., Adams, N.G., Bill, B.D., Gulland, F.M.D., Thomson, R.E., Cochlan, W.P., and Trainer, V.L. 2016. An unprecedented coastwide toxic algal bloom linked to anomalous ocean conditions. *Geophys. Res. Lett.* 43: 10,366–10,376, doi:10.1002/2016GL070023.

Moriarty, M.E., Tinker, M.T., Miller, M.A., Tomoleoni, J.A., Staedler, M.M., Fujii, J.A., Batac, F.I., Dodd, E.M., Kudela, R.M., Zubkousky-White, V., and Johnson, C.K. 2021. Exposure to domoic

acid is an ecological driver of cardiac disease in southern sea otters. *Harmful Algae* 101: 101973.

Savage, K. 2017. Alaska and British Columbia Large Whale Unusual Mortality Event Summary Report. Protected Resources Division NOAA Fisheries Juneau, AK. Available at https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/17715/noaa_17715_DS1.pdf

Trainer, V., and Hardy, F. 2015. Integrative monitoring of marine and freshwater harmful algae in Washington State for public health protection. *Toxins* 7: 1206-1234.

18. ANOMALIES DE LA BIOMASSE DU ZOOPLANCTON SUR LA CÔTE OUEST DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020

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

18.1. Points saillants

- Les espèces de la communauté zooplanctonique méridionale d'eau chaude étaient encore présentes le long de l'accroche du plateau et du talus à la fin de l'été et au début de l'automne 2020.
- La biomasse de zooplancton gélatineux a diminué dans toutes les régions par rapport à 2014-2019.
- La biomasse totale était faible, reflétant une communauté zooplanctonique boréale et subarctique inférieure à la moyenne.

18.2. 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 et/ou une résolution taxonomique plus faibles pour le NIV et le détroit d'Hécate au début des séries chronologiques. Pour ce rapport, nous présentons les données à partir de 1995, 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 18-1). Des lieux supplémentaires sont inclus dans les moyennes lorsqu'ils sont disponibles. La méthodologie des études sur le zooplancton le long de la côte Ouest est présentée dans les rapports de 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 nous l'avons comparée aux conditions mensuelles pendant une année donnée pour produire les séries chronologiques des anomalies de la biomasse. Pour une description plus détaillée, voir les rapports précédents (Mackas 1992; Mackas *et al.* 2001).

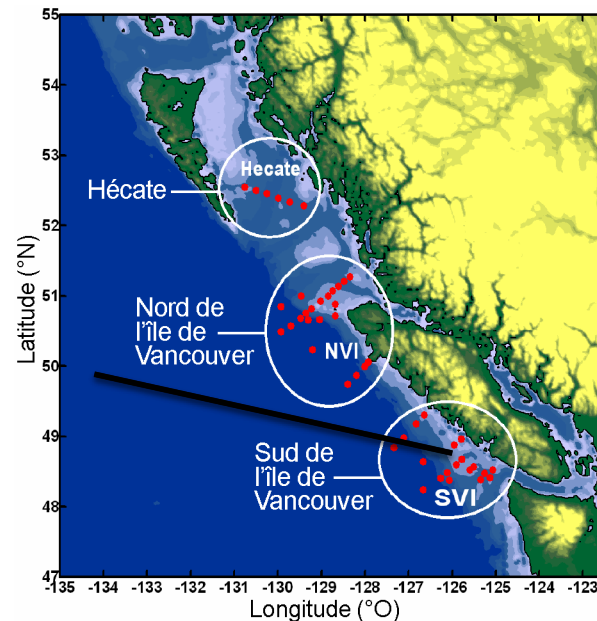


Figure 18-1. Lieux d'échantillonnage pour les séries chronologiques du zooplancton (points rouges; ligne P – ligne noire) dans les eaux marines de la Colombie-Britannique. La moyenne des données est calculée pour les échantillons de chaque zone. Il y a plus d'échantillons inclus dans l'analyse que ceux qui sont indiqués sur la figure.

Les espèces de zooplancton de la côte ouest de la Colombie-Britannique dont les aires de répartition zoogéographique et les niches écologiques sont similaires présentent habituellement des séries chronologiques des anomalies très semblables (Mackas *et al.* 2006); par conséquent, on a calculé la moyenne de multiples espèces au sein des groupes d'espèces (et des catégories de taille au sein des principaux taxons) afin de montrer la variabilité interannuelle (voir le tableau 16-1, Boldt *et al.* 2019; Galbraith et Young 2017; Mackas *et al.* 2013a; Irvine et Crawford 2013). En raison de la COVID, il n'y avait pas d'échantillons à

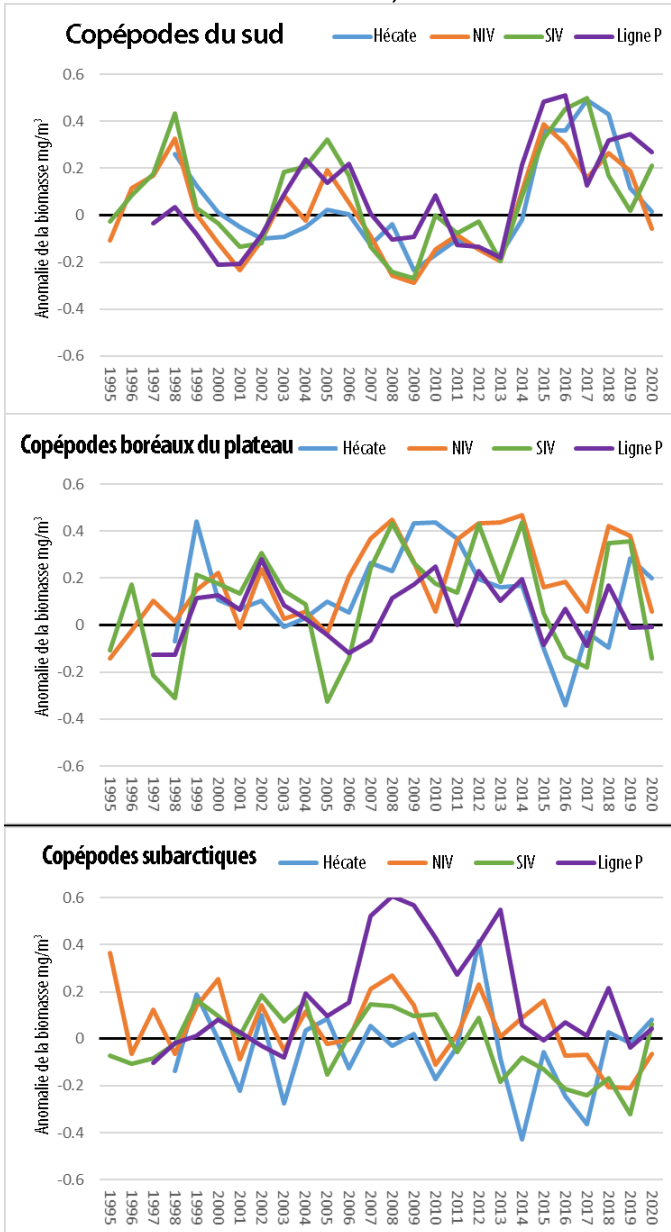


Figure 18-2. Série chronologique des anomalies des groupes d'espèces de zooplancton pour les régions indiquées sur la figure 18-1. Les graphiques linéaires sont les anomalies annuelles à l'échelle logarithmique. Sud de l'île de Vancouver (SIV) en vert; nord de l'île de Vancouver (NIV) en orange; détroit d'Hécate en bleu; ligne P en violet - pour tous les graphiques. Les années vides signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

analyser du printemps au début de l'été; les anomalies annuelles sont basées sur les échantillons de juin et septembre. Toutes les données présentées ici sont très préliminaires, car l'analyse est en cours; les chiffres changeront, mais le sens des tendances ne varie généralement pas.

18.3. État et tendances

Les séries chronologiques des anomalies de la biomasse pour les groupes d'espèces de copépodes, les chétognathes représentatifs et les euphausiacés 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 18-2, 18-3 et 18-4. 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 Mackas *et al.* 2013b pour les anomalies antérieures à 1995, et des descriptions de la façon d'interpréter les profils des anomalies.

La région sud de l'île de Vancouver et la ligne P ont connu des anomalies positives relatives aux copépodes du sud (figure 18-2), les chétognathes du sud (figure 18-3) et les doliolides (non présentés). La biomasse a augmenté

tout au long de l'année lorsque les eaux littorales chaudes, avec des abondances plus élevées d'espèces de zooplancton océanique du sud, se sont déplacées vers le pôle.

Toutefois, l'anomalie de biomasse

en 2020 n'était pas aussi forte que lors des précédentes vagues de chaleur marines, étant très probablement atténuée par le refroidissement hivernal lié à La Niña.

Les copépodes boréaux et subarctiques tendaient vers la moyenne (augmentation chez les subarctiques et diminution chez les boréaux) dans toutes les zones, avec une anomalie légèrement négative au sud de l'île de Vancouver pour les copépodes boréaux. Les anomalies relatives aux copépodes du sud étaient positives dans toutes les régions, mais pas aussi fortes qu'en 2014-2018 et étaient négatives pour le nord de l'île de Vancouver en 2020 (figure 18-2, graphique supérieur).

La biomasse des chétognathes du sud est supérieure à la moyenne depuis 2014, avec le début d'une série d'événements de réchauffement au large de la côte ouest. Cette année, les chétognathes du sud étaient répandus dans toutes les zones, mais leur abondance a commencé à diminuer, en particulier au nord de l'île de Vancouver et dans le détroit d'Hécate (figure 18-3, graphique inférieur). La biomasse de *Parasagitta elegans* (chétognathe nordique) avait commencé à augmenter, s'approchant des valeurs moyennes en 2019, avant de diminuer pour se situer en dessous de la moyenne dans toutes les zones, à l'exception du détroit d'Hécate en 2020 (figure 18-3, graphique supérieur). La majorité des copépodes et des chétognathes du sud présents dans les eaux de la Colombie-Britannique sont des taxons côtiers et épipélagiques; par conséquent, les deux graphiques (figure 18-2, graphique supérieur et figure 18-3, graphique inférieur) semblent très similaires, suivant les masses d'eau chaude.

Les euphausiacés présentaient des anomalies généralement positives au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, mais depuis 2018, ils tendent à avoir une biomasse moyenne, ce qui s'est poursuivi en 2020 (figure 18-4). *Euphausia pacifica* est une espèce qui est présente de l'accore du plateau jusqu'à l'océan, tandis que *Thysanoessa spinifera* est une espèce du plateau. Par conséquent, l'anomalie de biomasse plus faible de *T. spinifera* le long de la ligne P n'était pas imprévue; elle a été remplacée par *T. inspinata* dans les zones extracôtiers/océaniques. Le détroit d'Hécate serait l'extrémité nord de l'aire de répartition de *T. spinifera*, où l'espèce est remplacée par *T. inermis* et *T. longipes*. Les espèces d'euphausiacés dont la répartition se concentre au large de l'Oregon et de la Californie (*Thysanoessa gregaria* et *Nematocelis difficilis*) sont encore présentes sur le rebord du plateau de l'île de Vancouver,

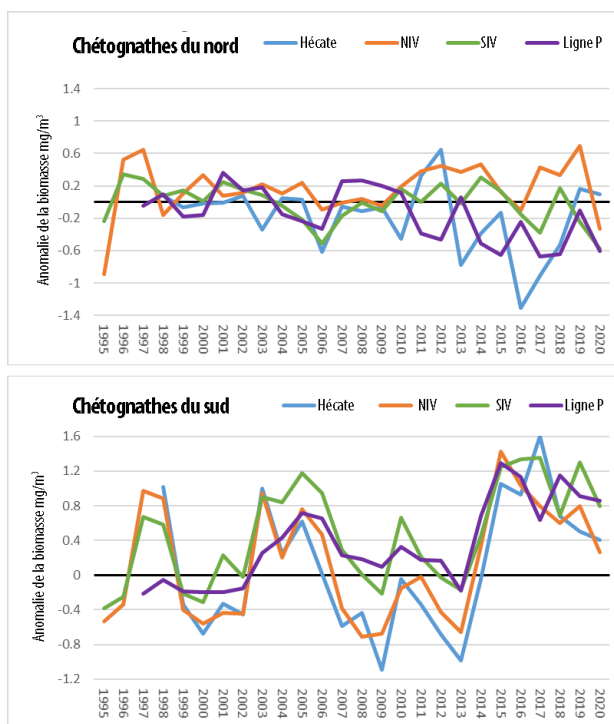


Figure 18-3. Série chronologique des anomalies des chétognathes (par rapport à la base de référence climatologique) pour toutes les régions. Chétognathes, divisés en groupes d'espèces du nord (en haut) et du sud (en bas). Les années vides signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

en faibles nombres comparativement aux années précédentes (données non présentées).

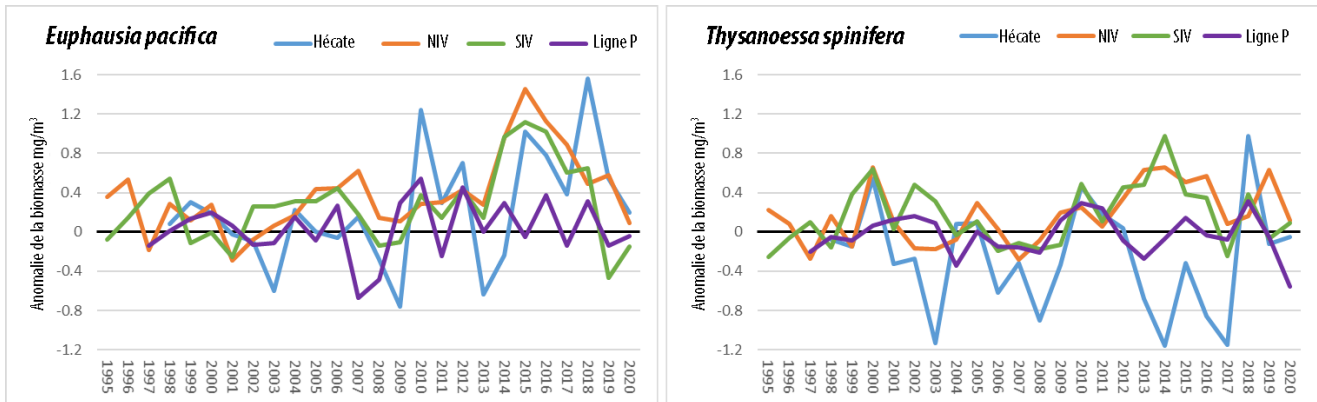


Figure 18-4. Série chronologique des anomalies de la biomasse des euphausiacés (par rapport à la base de référence climatologique) pour toutes les régions indiquées sur la figure 18-1. Biomasse d'euphausiacés, corrigée pour tenir compte de l'échantillonnage diurne/nocturne. Les années vides signifient qu'aucun échantillon n'a été prélevé.

Les anomalies de la biomasse des appendiculaires, des doliolides, des siphonophores et des hydroméduses sont restées positives en 2020 dans toutes les régions. Une forte diminution de la biomasse des cténophores a été observée dans toutes les régions à partir de 2019 et jusqu'en 2020. Cela a eu un effet modérateur sur l'indice « Durs:Mous », qui compare les « durs » (arthropodes) aux « mous » (gélatineux) (voir Galbraith et Young 2019 pour une explication détaillée), avec le calcul de la moyenne des données régionales. Pour la ligne P, la communauté des cnidaires n'a pas beaucoup changé. Des doliolides ont été trouvés dans les stations intérieures de la ligne P (P4-P12) et dans la zone extracôtière au large de l'île de Vancouver, mais pas sur le plateau ou dans le détroit d'Hécate. Des afflux de salpes ont été observés aux stations extérieures de la ligne P (P20 et P26). Les dioliolides et les salpes connaissent une croissance depuis 2014 dans la communauté gélatineuse du détroit d'Hécate (figure 18-5), mais ils semblaient être remplacés par des siphonophores et des appendiculaires en 2020.

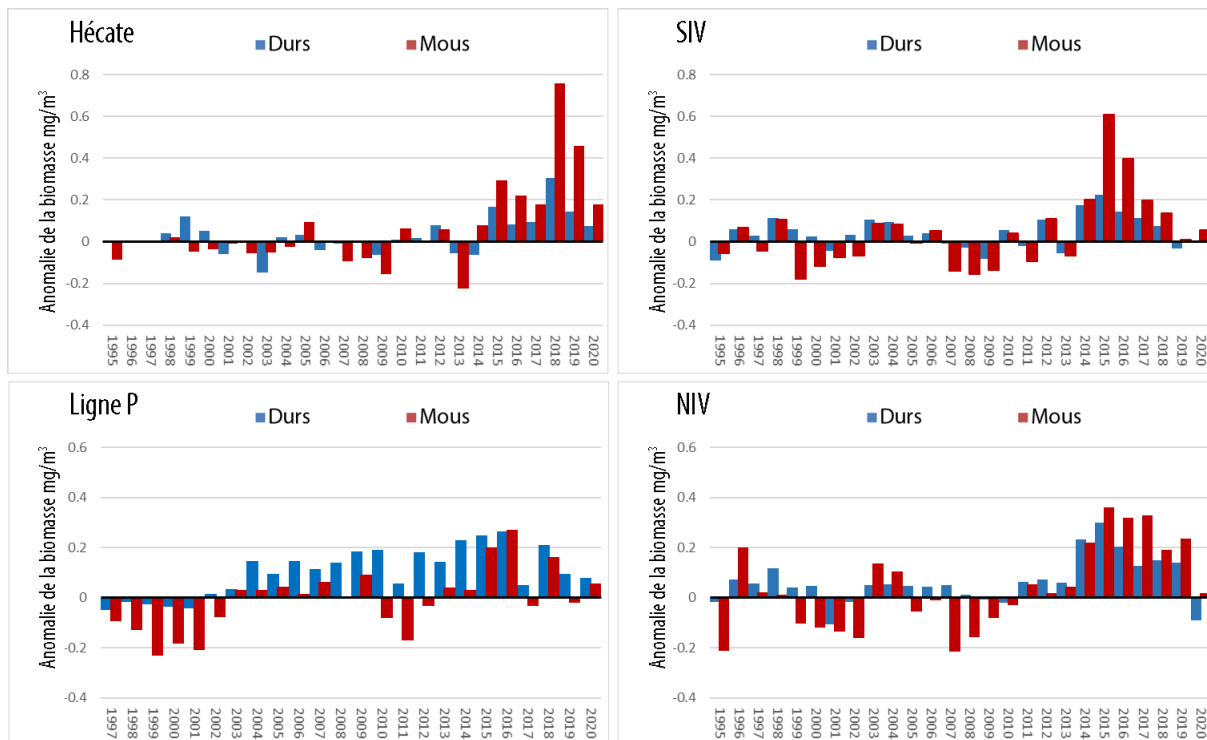


Figure 18-5. Indice « Durs:Mous » : Comparaison des anomalies de la biomasse du zooplancton gélatineux (les « mous ») par rapport aux taxons d'arthropodes (les « durs », en ignorant le méroplancton et en supprimant les espèces de crustacés du sud), dans un regroupement, puis par zone. Il convient de noter les différentes échelles sur l'axe des ordonnées.

Toutes les zones ont présenté des anomalies positives de la biomasse pour les durs et les mous, mais ces anomalies étaient plus faibles par rapport à 2019 dans l'ensemble, à l'exception du nord de l'île de Vancouver où elles étaient négatives pour les durs (figure 18-5). L'indice reflète un retour à des contributions moyennes à la biomasse, ce qui indiquerait une biomasse globale plus faible pour 2020 par rapport aux années précédentes. Les ptéropodes ont été retirés de la catégorie des « mous » de cette année, car ils semblent réagir à différents paramètres physiques, alors que l'indice « Durs:Mous » sert essentiellement à faire le suivi des changements dans la structure de la communauté dus aux températures de surface de la mer et aux niveaux de salinité océaniques.

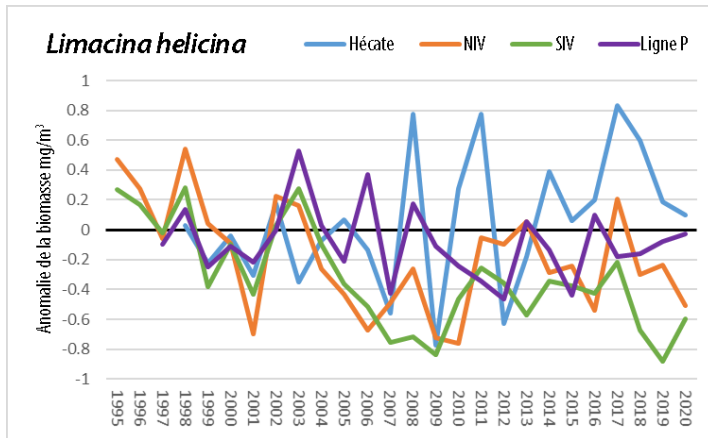


Figure 18-6. Anomalies par zone de la biomasse des ptéropodes, principalement *Limacina helicina*.

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. Les tendances à long terme relatives à *L. helicina* indiquent un déclin dans toutes les zones, à l'exception du détroit d'Hécate et de la ligne P (figure 18-6). Les R^2 pour les tendances linéaires du sud et du nord de l'île de Vancouver étaient respectivement de 0,45 et 0,18.

18.4. Conséquences de ces tendances

Dans l'ensemble, l'année 2020 a été marquée par un mouvement de retour vers la moyenne historique de la biomasse pour la communauté boréale/subarctique, avec un retour à une biomasse proche de la moyenne pour les crustacés et les animaux gélatineux, dans la plupart des régions. La diminution des anomalies de biomasse des euphausiacés, qui se rapprochent de la moyenne, associée au déclin des copépodes boréaux (riches en lipides) et à l'affluence d'espèces de zooplancton méridionales (p. ex. les copépodes méridionaux et les chétognathes méridionaux), peut être préoccupante pour les larves de poisson, les poissons juvéniles (en particulier les saumons juvéniles en dévalaison) et les oiseaux de mer planctonophages. Bien qu'elle soit proche de la moyenne, la biomasse plus faible en 2020 (par rapport aux années précédentes) pourrait être synonyme de concordance ou de décalage pour les animaux qui dépendent de la manne de crustacés du printemps et de l'été dans les zones de plateau. Une biomasse de crustacés moyenne à faible peut être liée à une faible survie des poissons et des oiseaux de mer juvéniles en 2020.

18.5. Références

- 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.
- Galbraith, M., and Young, K. 2019. West coast British Columbia zooplankton biomass 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.

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., 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. 2013a. Zooplankton time series from the Strait of Georgia: Results from year-round sampling at deep water locations, 1990–2010. *Progr. Oceanogr.* 115: 129-159.

Mackas, D.L., Galbraith, M., Yelland, D., and Young, K. 2013b. Zooplankton along the Vancouver Island continental margin: an above-average year for “cool-ocean” zooplankton. In 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.

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

Clare Ostle¹ et Sonia Batten²

¹Marine Biological Association, The Laboratory, Plymouth, Royaume-Uni. claost@mba.ac.uk

²Organisation des sciences de la mer pour le Pacifique Nord (PICES), Sidney, Colombie-Britannique, Canada. sonia.batten@pices.int

19.1. Points saillants

- La taille moyenne des copépodes (un indice de la composition de la communauté) est restée faible en 2020 dans la zone extracôtière et celle du plateau, ce qui est le cas depuis la vague de chaleur marine (2014 à 2016).
- Les indicateurs de la communauté phytoplanctonique semblent revenir aux valeurs d'avant la vague de chaleur (2014 à 2016) dans les deux régions.
- L'échantillonnage effectué au moyen d'un enregistreur continu de plancton (ECP) a pu se poursuivre pendant la pandémie de COVID-19, la méthode utilisée étant semi-autonome.

19.2. Échantillonnage

Un échantillonnage réalisé à partir de navires commerciaux remorquant un enregistreur continu de plancton (ECP) a été effectué environ une fois par mois entre mars et octobre, soit de six à

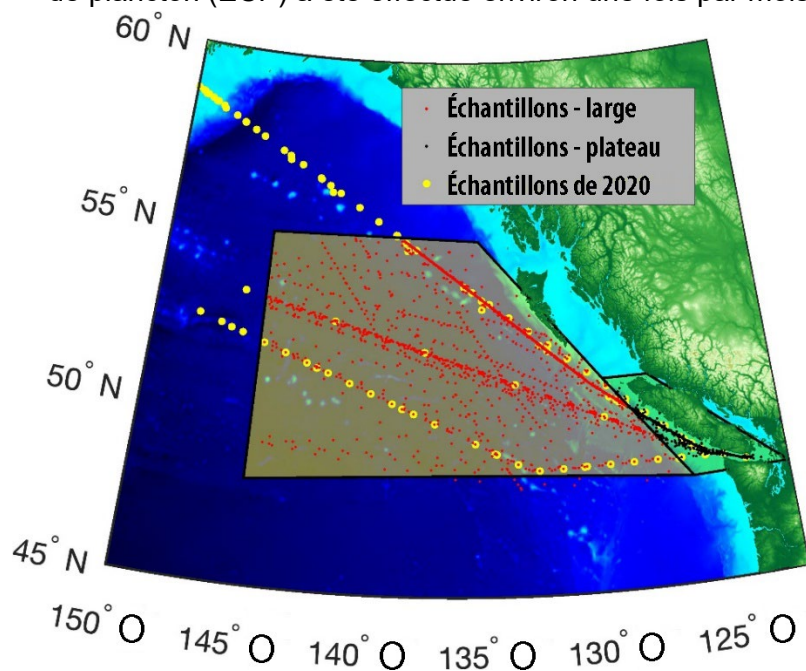


Figure 19-1. Carte illustrant l'emplacement des échantillons historiques de l'enregistreur continu de plancton (2002 à 2019); rouge = zone extracôtière, noir = plateau. Les cercles jaunes représentent l'emplacement des échantillons prélevés en 2020.

neuf fois par année, dans le nord-est du Pacifique (figure 19-1), poursuivant une série chronologique entamée en 2000. Chaque échantillon de l'ECP contenait du plancton proche 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.

Heureusement, l'échantillonnage par ECP en 2020 n'a pas été touché par la pandémie de COVID-19; l'échantillonnage par ECP étant semi-autonome, l'équipement a pu être amené à bord des bateaux et déployé. Tous les traits de 2020 ont été effectués comme prévu (figure 19-1, voir les cercles

jaunes), mais il y a un retard dans l'analyse des échantillons au microscope en laboratoire en raison des restrictions liées à la pandémie de COVID-19 qui ont touché et continuent de toucher les laboratoires. Les données pour 2020 (lorsqu'elles sont indiquées) sont donc provisoires et susceptibles de changer.

Les données sur la température de la surface de la mer de 2000 à 2020 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 pour caractériser l'environnement physique.

19.3. Description des séries chronologiques du plancton

19.3.1. Phytoplankton

L'ECP retient efficacement les cellules phytoplanctoniques plus grandes, en particulier les diatomées en chaînes et les dinoflagellés à coque dure, et plusieurs séries chronologiques reflétant les changements de l'abondance et de la composition des communautés dans la zone extracôtière et celle du plateau ont été produites : i) l'abondance mensuelle moyenne des diatomées; ii) la composition générale de la communauté; iii) l'indice de température des communautés (ITC) annuel moyen d'après l'abondance moyenne de chaque taxon et 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).

19.3.2. Zooplankton

Le mésozooplancton, en particulier les crustacés, est bien échantillonné par l'ECP et plusieurs séries chronologiques sont générées pour le zooplancton : i) abondance totale du zooplancton; ii) on utilise les longueurs et les abondances propres des taxons pour calculer la longueur moyenne des copépodes chaque mois; iii) abondance moyenne annuelle du zooplancton, pour les groupes de zooplancton d'intérêt, comme les espèces d'eau chaude.

19.4. État et tendances

19.4.1. Phytoplancton

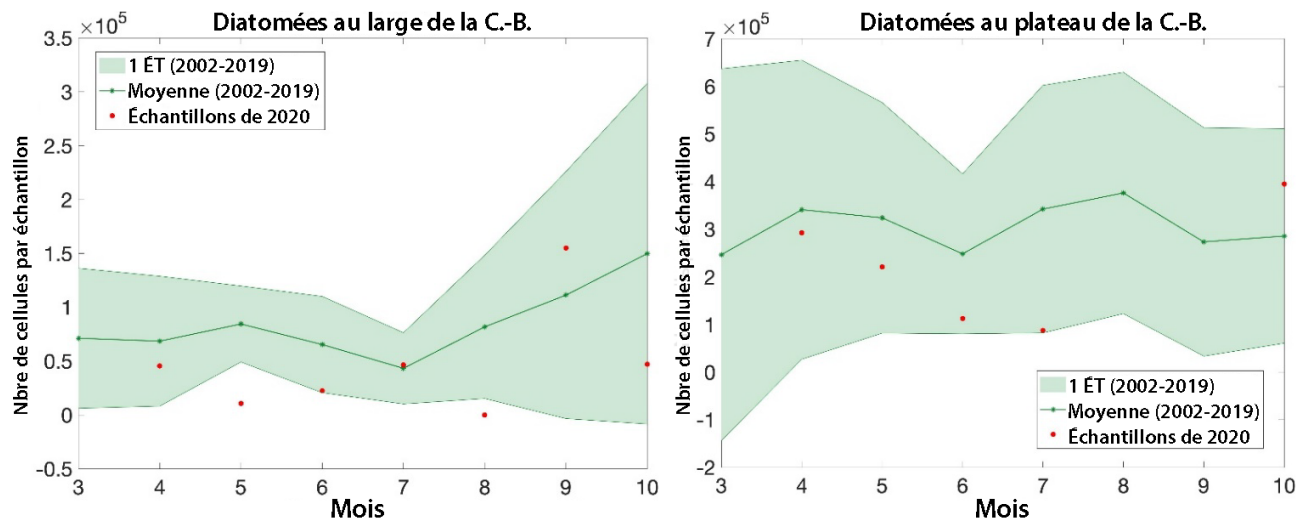


Figure 19-2. Moyennes mensuelles des abondances de diatomées pour 2020 (cercles rouges) superposées aux moyennes historiques (2000-2019, ligne verte continue), dans la zone extracôtière (à gauche) et sur le plateau (à droite). La zone en vert indique 1 écart-type autour de la moyenne à long terme. Remarque : les données de 2020 sont provisoires.

L'abondance des diatomées dans la zone extracôtière était légèrement plus faible en mai et en août 2020, mais se situait à moins d'un écart-type de la moyenne pour tous les autres mois. Dans la région du plateau, l'abondance des diatomées pour tous les mois où des échantillons ont été prélevés en 2020 n'était pas considérablement différente de la moyenne à long terme (figure 19-2).

La température de la surface de la mer enregistrée dans les deux régions en 2020 était encore relativement chaude, mais pas autant que celles de 2015 et 2019. La composition de la communauté phytoplanctonique de 2020 était similaire à celle de 2015 et 2016 dans la zone

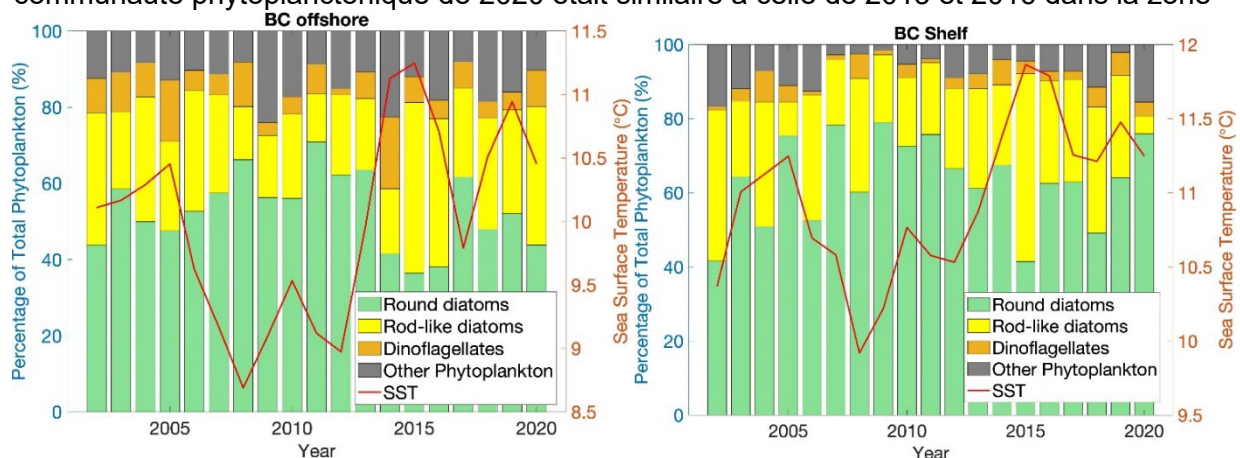


Figure 19-3. Contribution de chaque groupe à la communauté phytoplanctonique moyenne annuelle dans la zone extracôtière (à gauche) et sur le plateau (à droite). La température de la surface de la mer est représentée en rouge (axe de droite, °C). Remarque : les données de 2020 sont provisoires.

extracôtière, et à celle de 2005 sur le plateau. Il y avait une proportion relativement élevée de

diatomées rondes de type centrique comparativement aux diatomées en bâtonnets et aux dinoflagellés sur le plateau, et un nombre assez égal de diatomées rondes et en bâtonnets dans la zone extracôtère (figure 19-3).

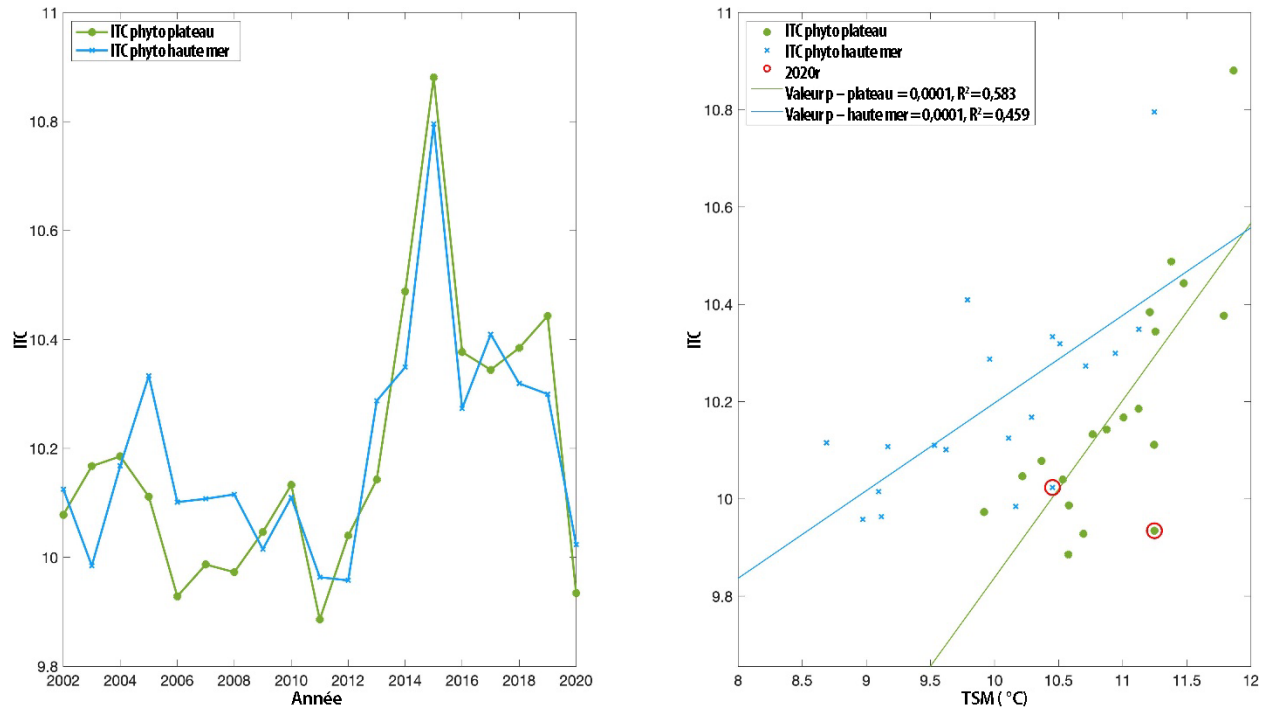


Figure 19-4. Indice annuel moyen de température des communautés phytoplanctoniques pour chaque région (à gauche) et relation entre la température de la surface de la mer et l'ITC (à droite). Remarque : les données de 2020 sont provisoires.

La zone extracôtère et celle 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 19-4). Les valeurs de l'indice de température des communautés (ITC) de 2020 sont similaires aux valeurs moyennes à long terme, et sont bien inférieures à celles des dernières années.

19.4.2. Zooplancton

L'abondance du zooplancton était supérieure à la moyenne en mai 2020 dans la zone extracôtière, et en avril sur le plateau. Toutefois, elle était probablement inférieure à la moyenne à la fin de l'été pour les deux zones. Alors que dans la zone extracôtière le profil saisonnier de la taille des copépodes était proche de la moyenne (copépodes plus gros au printemps, plus petits en été), on a observé dans la région du plateau des communautés qui étaient surtout composées d'espèces beaucoup plus petites que la moyenne toute l'année. Ces résultats ne sont toutefois pas considérablement différents puisqu'ils se situent à moins d'un écart-type de la moyenne (figure 19-5). L'abondance anormalement élevée du zooplancton et la faible longueur des copépodes en mai 2020 dans la zone extracôtière ont découlé des comptes élevés de *Pseudocalanus spp*, qui sont des copépodes relativement petits (figure 19-5).

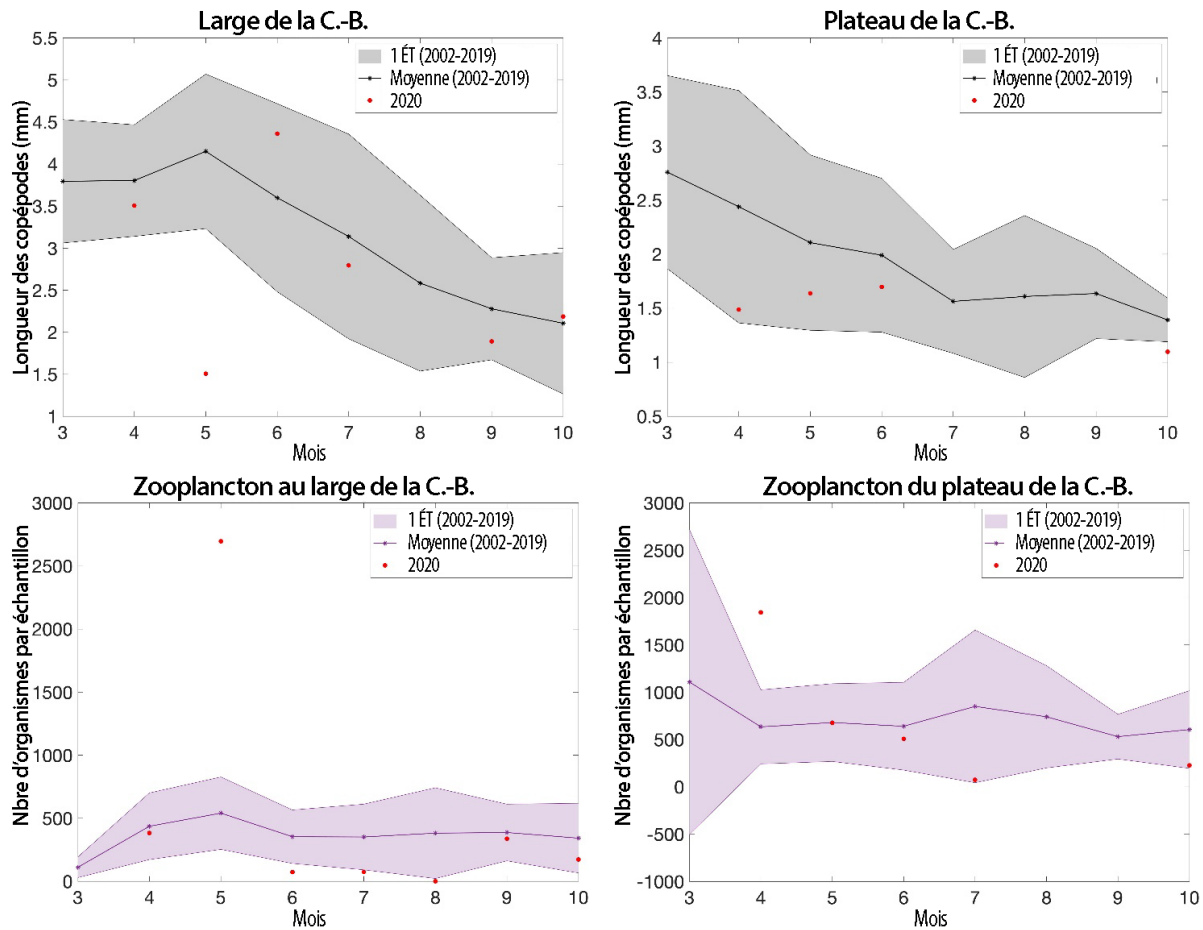


Figure 19-5. Taille moyenne mensuelle des copépodes (en haut, en noir) et abondance moyenne mensuelle du zooplancton (en bas, en violet) de 2002 à 2019 et moyennes mensuelles en 2020 (cercles rouges) pour la zone extracôtière (à gauche) et le plateau (à droite). La zone grisée indique 1 écart-type autour de la moyenne à long terme. Remarque : les données de 2020 sont provisoires.

L'abondance moyenne annuelle des copépodes d'eau chaude pour 2020 était faible sur le plateau, mais encore relativement élevée dans la zone extracôtière (figure 19-6). La taille moyenne annuelle des copépodes dans les deux régions est restée faible en 2020 (figure 19-6).

Les salpes et les doliolles (plancton gélatineux) ont été observés en faible nombre en 2020 dans les deux régions; toutefois, l'ECP ne capture que les plus petits spécimens (figure 19-6).

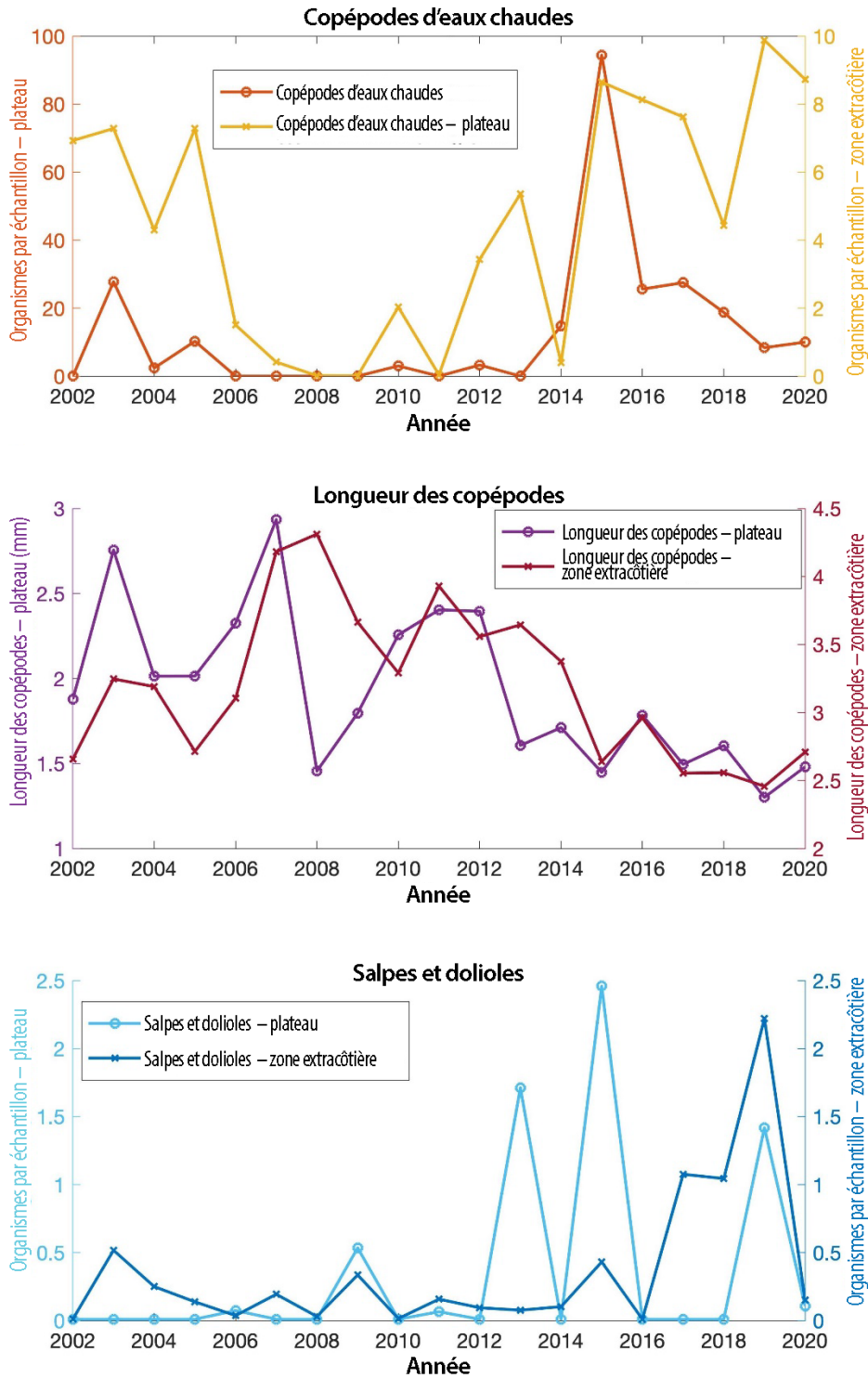


Figure 19-6. Abondance annuelle moyenne des copépodes d'eau chaude (en haut), longueur des copépodes (au milieu) et abondance des salpes et des doliolles (en bas) pour le plateau (axe de gauche) et la zone extracôtière (axe de droite) de la Colombie-Britannique. Remarque : en mars 2019, un nombre élevé de thécosomes (un petit ptéropode) sur le plateau a été signalé, mais n'est pas représenté ici. Remarque : les données de 2020 sont provisoires.

19.5. Facteurs influençant les tendances

Bien que les températures océaniques soient encore relativement élevées en 2020 (figure 19-3), les communautés phytoplanctoniques semblent revenir à des valeurs moyennes (figure 19-4) après la vague de chaleur marine de 2014-2016 (DiLorenzo et Mantua 2016). Cependant, la taille des copépodes dans les deux régions est restée petite en 2020, une tendance que l'on observe depuis la vague de chaleur marine (figure 19-6).

Une stratification accrue et une diminution des nutriments peuvent influencer la composition du phytoplancton en favorisant la croissance de cellules plus petites et plus étroites offrant une surface relativement plus grande pour l'absorption des 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.

19.6. 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 courants et que l'on relève des valeurs de l'indice de température des communautés plus élevées durant les années plus chaudes. Ces communautés peuvent apparemment persister pendant plusieurs années après une vague de chaleur, surtout si les eaux restent chaudes, mais il semble qu'après sept ans de conditions plus chaudes, certaines communautés de plancton pourraient revenir à des valeurs moyennes. Cependant, on peut encore observer une réduction de l'abondance des grands copépodes sur le plateau et au large, ce qui influencera probablement le fonctionnement du réseau trophique, avec une incidence sur la nutrition des prédateurs du zooplancton (par exemple les poissons et certains oiseaux de mer), puisque ces copépodes stockent plus de lipides. 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.

19.7. Références

DiLorenzo, E., and Mantua, N. 2016. Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave. *Nature Climate Change* 6: 1042-1047, DOI:10.1038/nclimate3082.

20. ÉTAT ET TENDANCES DE L'EULAKANE DANS LE SUD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET OBSERVATIONS DE L'ALGUE DIDYMO DANS LE BAS FRASER

Linnea Flostrand¹, Nicholas Ens et Max Bothwell, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique [1Linnea.Flostrand@dfo-mpo.gc.ca](mailto:Linnea.Flostrand@dfo-mpo.gc.ca)

20.1. Points saillants

- En 2020, l'indice du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane du fleuve Fraser pour la biomasse du stock reproducteur était relativement élevé (environ 624 tonnes), ce qui est à peu près égal à l'indice de 2001 et supérieur à toutes les années depuis 2001.
- En 2020, il a été confirmé qu'une diatomée benthique d'eau douce, connue sous le nom de didymo, était une composante majeure des matières recueillies dans les échantillons d'eau du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane du fleuve Fraser.
- Il n'y a pas eu de relevé plurispécifique au chalut de fond sur la côte ouest de l'île de Vancouver au printemps 2020, donc pas d'observations de l'eulakane dans le cadre d'un relevé marin en 2020; cependant, des analyses supplémentaires des données sur les captures par unité d'effort (CPUE) et la longueur standard de l'eulakane provenant des relevés de 2000 à 2019 ont été effectuées pour pondérer les données statistiques sur les niveaux de prises et les échantillons biologiques en fonction du nombre d'eulakanes capturés par événement de pêche. Les tendances révisées confirment une augmentation modérée des CPUE en 2019 pour les eulakanes relativement petits ($\leq 12,5$ cm) et grands ($> 12,5$ cm).

20.2. 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) Un relevé annuel sur les œufs et les larves d'eulakane du Fraser (1995 à 2020), utilisé 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 plurispécifiques 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 Reine-Charlotte (BRC, 1998 à 2012, 2016).
- 3) Prises de géniteurs dans les rivières d'après la pêche commerciale antérieure 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 2020, pas consigné dans le présent document).

L'algue didymo (*Didymosphenia geminata*) a été détectée en quantité notable dans les échantillons d'eau du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane du bas Fraser, et un sous-ensemble d'échantillons d'eau de 2020 a été analysé pour caractériser les tendances relatives à la densité et du débit sortant de didymo au cours de la saison du relevé.

20.3. État et tendances

20.3.1. Eulakane

Au cours des deux à quatre dernières décennies, un déclin à long terme de l'abondance des eulakanes géniteurs a été observé dans de nombreux cours d'eau de leur 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 selon trois unités désignables (UD) en 2011 : 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).

L'eulakane est une ressource halieutique importante pour les Premières Nations et les pêches à des fins alimentaires, sociales et rituelles de l'eulakane en rivière ont eu lieu jusqu'en 2020 (MPO 2020). La pêche commerciale de l'eulakane dans le Fraser est fermée depuis 2004, mais elle a été active pendant plus de 90 ans jusqu'à sa fermeture en 1997, suivie d'ouvertures temporaires en 2002 et 2004 (MPO 2020).

En 2020, on a estimé que l'indice de la biomasse du stock reproducteur d'eulakane du fleuve Fraser était relativement élevé (environ 624 tonnes), ce qui est à peu près égal à l'indice de 2001 et supérieur à toutes les années depuis 2001 (figure 20-1).

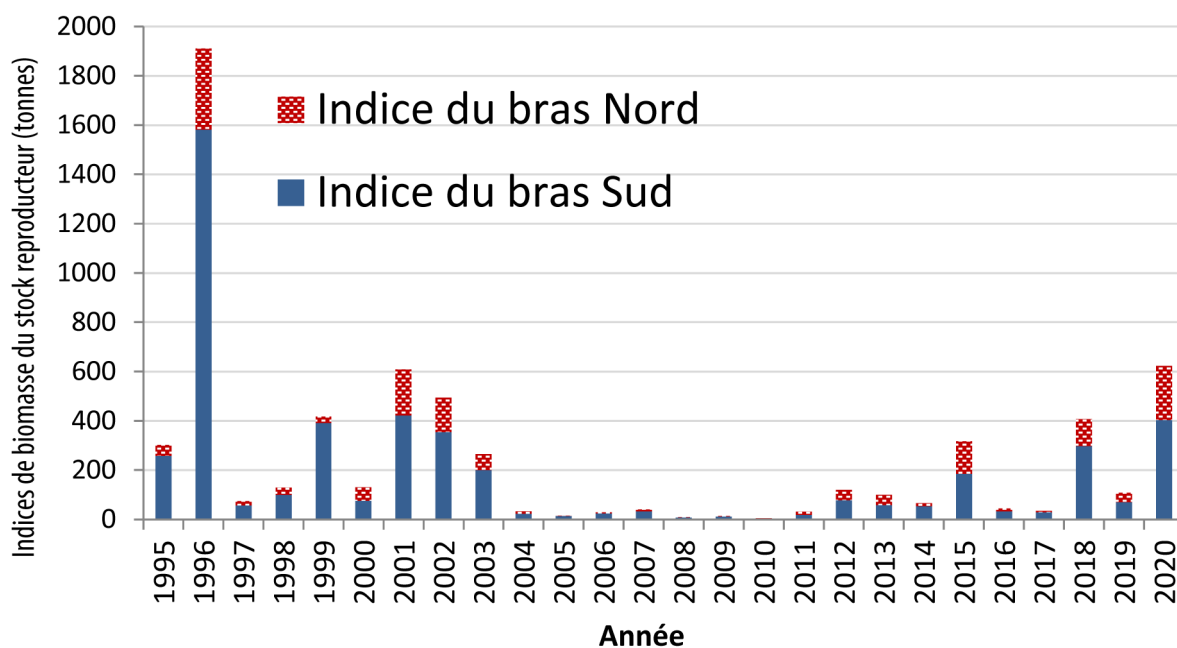


Figure 20-1. Indices des biomasses du stock reproducteur estimées (BSR, en tonnes) de l'eulakane des bras sud et nord du fleuve Fraser, 1995 à 2020.

Le relevé plurispécifique au chalut de fond du printemps 2020 de la COIV a été annulé en raison des inquiétudes liées à la pandémie de COVID-19; 2019 est donc l'année d'observations la plus récente. Des analyses supplémentaires des données de CPUE et de la longueur standard de l'eulakane ont été effectuées pour les années où des échantillons de la taille de

l'eulakane par événement de pêche étaient disponibles (2000 à 2019). Ces analyses ont été utilisées pour pondérer les statistiques relatives aux distributions de longueur des poissons observées pour chaque estimation annuelle du nombre d'eulakanes capturés par événement de pêche (figure 20-2, graphique inférieur et figure 20-3, graphique gauche). Cette méthode contraste avec les rapports annuels antérieurs sur les tendances relatives aux CPUE de l'eulakane, qui utilisaient le poids moyen (et l'IC à 95 %) par temps de pêche (kg/h, figure 20-2, graphique supérieur) et les observations regroupées de la longueur des poissons pour tous les événements de pêche (figure 20-3, graphique droit).

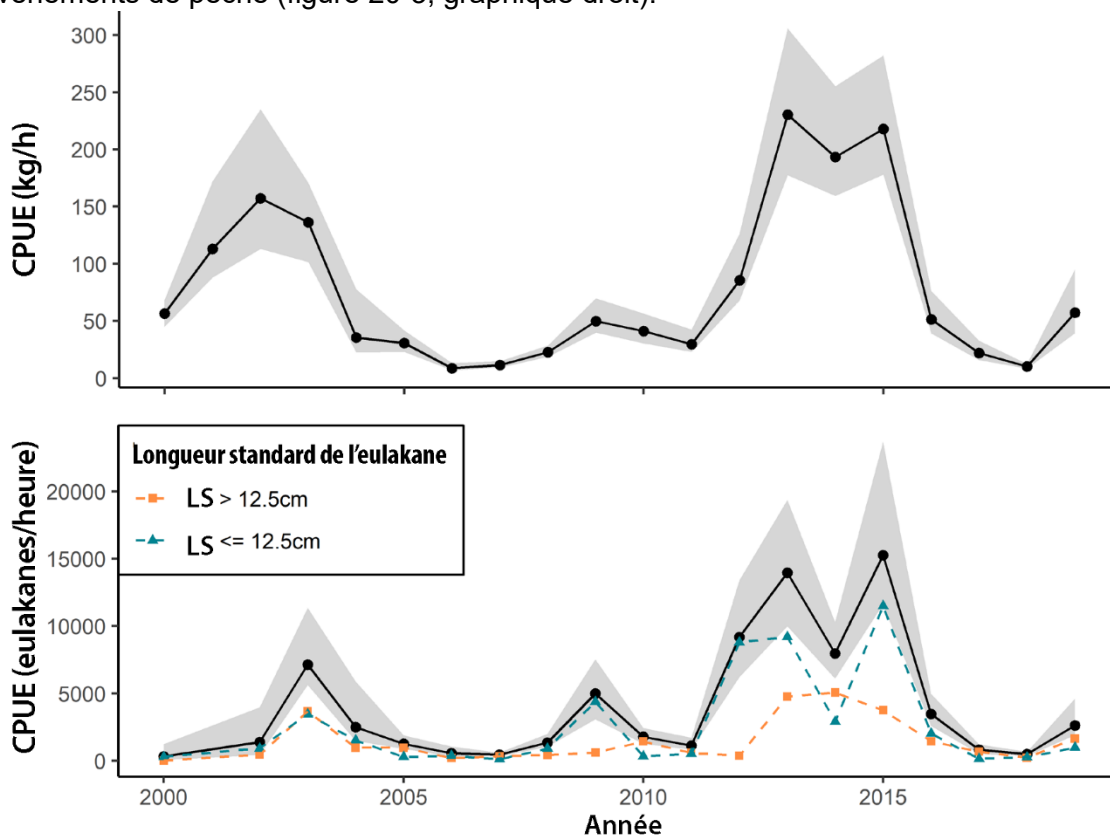


Figure 20-2. CPUE moyennes d'eulakanes provenant des relevés plurispécifiques au chalut de la COIV (2000-2019) et intervalles de confiance à 95 % studentisés obtenus par bootstrap (enveloppes grises), en poids par durée du trait (kg/heure, graphique supérieur) et en nombre de poissons par durée du trait (graphique inférieur). Les lignes pointillées représentent le nombre moyen de prises d'eulakanes par unité d'effort d'une longueur standard supérieure à 12,5 cm (carrés orange) ou inférieure ou égale à 12,5 cm (triangles bleus).

En s'appuyant sur les tendances modales des fréquences de longueur des poissons (figure 20-3), les observations relatives aux CPUE ont été divisées en deux groupes de taille, à savoir les poissons de 12,5 cm et moins et les poissons de plus de 12,5 cm. Les distributions annuelles des fréquences de longueur standard de l'eulakane sont représentées de deux façons. La première méthode consiste à présenter des histogrammes de fréquence de longueur standard sans pondération (figure 20-3, graphique de droite) où les observations de longueur de poisson ont été regroupées pour tous les événements de pêche (par conséquent, chaque observation de spécimen de poisson a le même poids statistique, et le nombre total de prises d'eulakanes par événement de pêche n'est pas pertinent). L'autre façon consiste à présenter des histogrammes de fréquence de longueur standard où les échantillons d'observations de

longueur de poisson ont été statistiquement pondérés par le nombre total estimé d'eulakanes capturés lors de chaque événement de pêche et normalisés par la durée de pêche (en heures) de chaque événement de pêche (figure 20-3, graphique de gauche). Cette méthode de pondération a entraîné une augmentation du nombre d'eulakanes de petite taille pour plusieurs années de relevé (2000, 2008, 2009, 2011, 2012 et 2013).

20.3.2. *Algue didymo*

Depuis 2018, le relevé printanier des œufs et des larves d'eulakane du fleuve Fraser a permis de recueillir des densités relativement élevées d'une matière fibreuse fine que l'on croyait initialement être des fibres de bois. En 2020, il a été confirmé que la diatomée d'eau douce connue sous le nom de didymo était une composante majeure de cette matière. En suivant les méthodes de laboratoire décrites dans Hillebrand *et al.* (1999), des analyses préliminaires ont été effectuées sur un sous-ensemble de 17 échantillons d'eau prélevés toutes les deux semaines du 10 avril au 4 juin 2020. Des échantillons provenant d'un échantillonnage oblique des 10 mètres supérieurs d'un emplacement au milieu d'un chenal de New Westminster ont été effectués pour caractériser les tendances de la densité et du débit sortant de didymo au cours de la période d'étude.

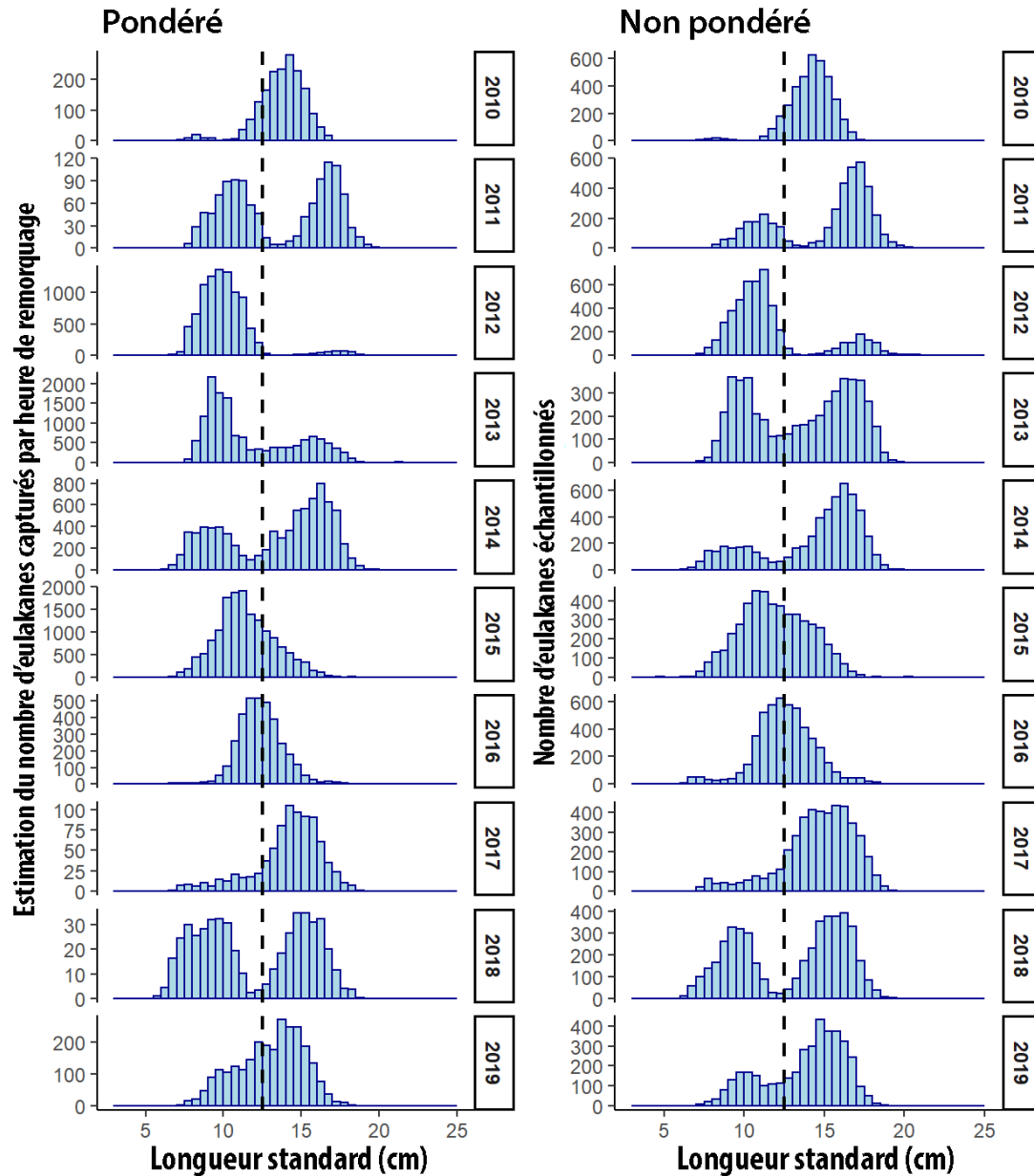


Figure 20-3. Histogrammes de fréquence de la longueur standard de l'eulakane (cm) provenant d'échantillons de relevés de la COIV, de 2010 à 2019. Graphique de gauche : les observations de la longueur des poissons ont été pondérées par le nombre total estimé d'eulakanes capturés dans chaque événement de pêche et normalisées par la durée de la pêche. Graphique de droite : histogrammes de fréquence de longueur standard non pondérés, où les observations de longueur de poisson ont été regroupées pour chaque événement de pêche. Les lignes verticales rouges en pointillés sont des marqueurs visuels à 12,5 cm pour aider à comparer les positions et les formes des distributions annuelles de longueurs.

Trois sous-échantillonnages de fractions répétées ont été analysés par échantillon d'eau, chaque fraction représentant entre 1/25 et 1/3075 de l'échantillon entier. Ces sous-ensembles d'échantillons de relevés ont été sélectionnés parce que : 1) les emplacements de New Westminster sont les moins touchés par les marées par rapport aux autres sites en aval dans les bras nord et sud; 2) on croyait que les observations tirées de l'échantillonnage d'eau oblique étaient les plus propices au calcul du débit sortant de didymo à partir des estimations de

densité; 3) les échantillons des bras nord et sud ont été analysés pour compter les œufs et les larves d'eulakane, ce qui est nécessaire pour l'indice annuel de biomasse du stock reproducteur.

Les estimations préliminaires de la densité de didymo allaient d'environ 0,1 à 20 mg/m³, indiquant une tendance à l'augmentation après le 20 avril et une tendance à la diminution après le 7 mai. Pour caractériser les tendances du débit sortant de didymo, chaque estimation de la densité de didymo a été multipliée par le débit quotidien moyen du fleuve Fraser (Division des relevés hydrologiques du Canada, Hope, C.-B., station 08MF005), multipliée par le nombre de secondes dans un jour (86 400) et convertie en kg/jour (figure 20-4). Les estimations préliminaires des débits sortants quotidiens de la biomasse de didymo variaient d'environ 6 à 10 125 kg/jour avec une erreur type relative (ETR) maximale de 33,04 % (ETR moyenne de 10,82 %), indiquant un profil similaire aux tendances des estimations de densité avec un pic de débit sortant le 30 avril (figure 20-4).

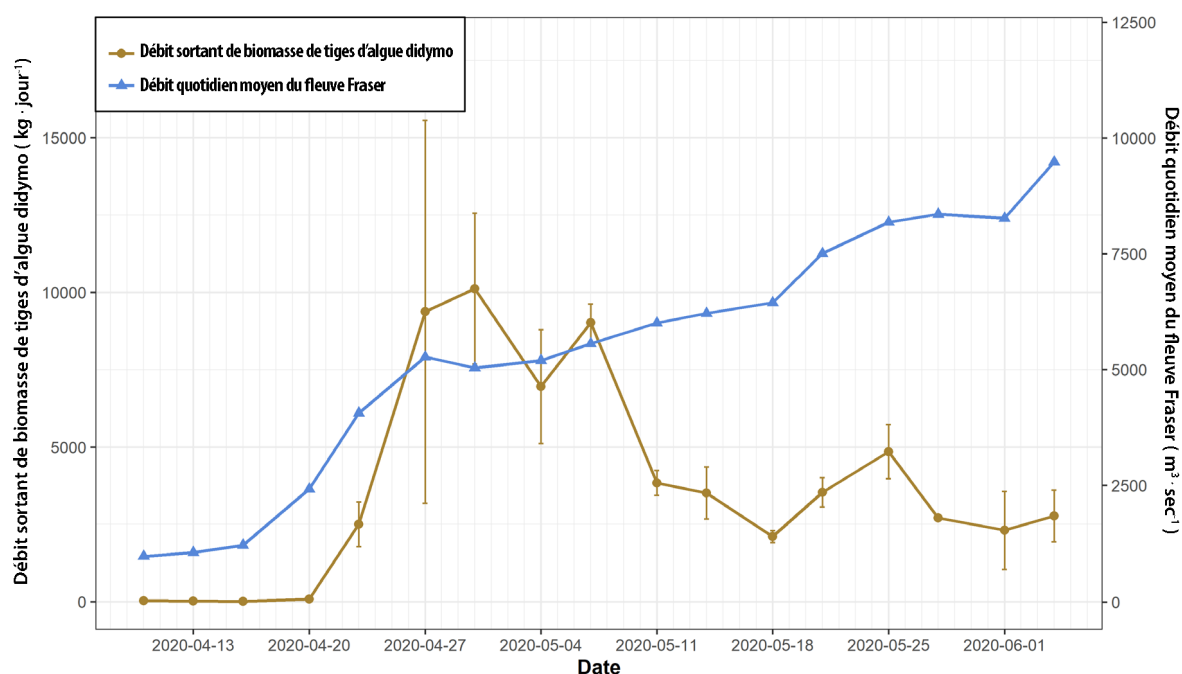


Figure 20-4. Tendances observées à partir des estimations du débit sortant de *Didymosphenia geminata* (algue didymo) (kg/jour) à partir d'un échantillonnage oblique de l'eau dans les 10 premiers mètres d'un site d'échantillonnage du fleuve Fraser au milieu du chenal de New Westminster (ligne de tendance marron avec cercles). Les barres d'erreur représentent deux erreurs-types par rapport à la valeur moyenne. Sont également indiqués les débits quotidiens moyens du fleuve Fraser (m³/sec) à la station 08MF005 de la Division des relevés hydrologiques du Canada à Hope, en Colombie-Britannique (ligne de tendance bleue avec triangles).

Les estimations du débit sortant de didymo sont des sous-estimations, car le débit quotidien d'eau de rivière à New Westminster est supérieur au débit enregistré à Hope (il y a plusieurs affluents entre Hope et New Westminster). En outre, les observations macroscopiques des autres emplacements où des prélèvements d'eau ont été effectués à des profondeurs de 5 et 10 m indiquent que la densité de didymo augmente en fonction de la proximité du fond de la rivière. Les estimations des profondeurs du fond enregistrées lors de l'échantillonnage du milieu du chenal de New Westminster variaient de 13,4 à 17,9 m (avec une moyenne d'environ 16 m);

par conséquent, l'échantillonnage oblique des 10 m supérieurs de la colonne d'eau surreprésentait les eaux de surface et omettait de représenter les profondeurs de la rivière censées avoir les plus grandes charges de didymo. Des analyses d'échantillons supplémentaires sont prévues avec des ressources limitées afin d'obtenir des estimations de la densité et du débit sortant de didymo à d'autres emplacements de relevé et à d'autres profondeurs d'échantillonnage, ainsi que pour explorer davantage les degrés d'erreur liés au sous-échantillonnage de l'eau.

20.4. Facteurs à l'origine de ces tendances

20.4.1. *Eulakane*

L'incertitude associée à l'écologie et à la dynamique des stocks d'eulakane est très élevée. L'indice des géniteurs relativement élevé observé en 2020 chez l'eulakane, d'après le relevé des œufs et des larves, n'était pas prévu et les raisons de la grande variation interannuelle des estimations de cet indice au cours des dernières années ne sont pas bien comprises. On ne connaît pas avec certitude la tranche d'âge et la composition du stock reproducteur chaque année et dans quelle mesure les stocks reproducteurs et les cohortes peuvent se mélanger et subir l'influence des métapopulations. On pense généralement que la plupart des eulakanes meurent après avoir frayé, mais certains signes laissent croire que certains individus (surtout des femelles) pourraient frayer plus d'une fois (Dealy et Hodes 2019).

En ce qui a trait aux années où il est manifeste que les niveaux d'abondance des eulakanes reproducteurs sont faibles, 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 ».

20.4.2. *Algue didymo*

L'algue didymo observée dans le bas Fraser provient des rivières et des ruisseaux des bassins versants supérieurs où elle peut se développer rapidement sur les substrats pendant les périodes de bonne pénétration de la lumière. Sa présence dans le bas Fraser est attribuée au fait qu'elle est entraînée vers l'aval après les pluies printanières et la fonte des neiges associées à des conditions de crue. La plus grande partie de la biomasse de didymo est constituée par la tige, qui est principalement composée de polysaccharides et qui est généralement considérée comme étant très résistante à la décomposition. Il s'agit également d'une espèce qui peut supplanter d'autres espèces d'algues par sa capacité à se développer dans des environnements d'eau douce avec des nutriments réduits. La croissance accrue de didymo dans les systèmes d'eaux supérieurs a été liée à l'allongement des saisons de croissance et au décalage des périodes de turbidité et de nutriments accrus liés au changement climatique (Brahney *et al.* 2021). La présence de grandes quantités d'une matière fibreuse fine recueillie par les relevés sur les œufs et les larves d'eulakane du fleuve Fraser depuis 2018, confirmée en 2020 comme étant liée à l'algue didymo, est cohérente avec les résultats rapportés par Brahney *et al.* (2021) concernant les bassins versants supérieurs du sud-est de la Colombie-Britannique.

Cette tendance à l'augmentation de la densité et du débit sortant de didymo du 20 avril au 7 mai est cohérente avec les augmentations des débits des rivières au début de la crue. La tendance à la baisse observée dans les estimations de didymo après le 7 mai peut être due à la diminution des charges en amont de didymo libre ainsi qu'aux effets possibles de l'augmentation progressive de la profondeur de la rivière et de l'augmentation de la distance d'échantillonnage par rapport au fond de la rivière. L'effet de la gravité est cohérent avec les observations macroscopiques des échantillons d'eau indiquant que la densité de didymo augmente avec la proximité du fond de la rivière.

Une incertitude considérable entoure les estimations et les tendances signalées concernant l'algue didymo. La conception du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane du fleuve Fraser est limitée en ce qui a trait à l'emplacement, à la profondeur et à la représentation saisonnière, ce qui nuit à la quantification et à la caractérisation de la densité de didymo et de la dynamique des débits sortants tout au long d'une saison. Pour l'échantillonnage de 2020, une quantité limitée de ressources a été obtenue pour des observations préliminaires. On s'attend à ce que les estimations de la densité et du débit sortant de didymo aient de grands degrés d'erreur, en raison des fractions de sous-échantillonnage extrêmement petites de chaque échantillon d'eau.

20.5. Conséquences de ces tendances

20.5.1. Eulakane

La réduction de la biomasse d'eulakane a des conséquences négatives pour les Premières Nations et les pêcheurs commerciaux et récréatifs. L'eulakane revêt une importance sociale et culturelle pour de nombreuses Premières Nations qui le pêchent à de faibles niveaux, et dont les pêches commerciales et récréatives ciblant l'eulakane sont fermées depuis plus d'une décennie (MPO 2020). La capture accidentelle d'eulakanes dans l'environnement marin a des répercussions négatives sur les pêches au chalut ciblant d'autres espèces, car ces dernières peuvent faire l'objet de fermetures de zones ou d'une réduction de l'effort de pêche afin de réduire la mortalité de l'eulakane.

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 ou à proximité), 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 de 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.

20.5.2. Algue didymo

La croissance importante de l'algue didymo dans les bassins versants supérieurs de la Colombie-Britannique et le fort débit de didymo dans le bas Fraser ont des répercussions inconnues et peut-être négatives pour les habitats et l'écosystème des bassins versants supérieurs et inférieurs. Lorsque les conditions environnementales sont favorables, l'algue didymo peut coloniser agressivement un nouvel habitat et déclencher une prolifération.

Des observations macroscopiques et des estimations préliminaires de la densité et du débit sortant de didymo à partir des échantillons du relevé sur les œufs et les larves d'eulakane de 2020 indiquent qu'au moins plusieurs centaines de tonnes de matière de tige de didymo se sont écoulées et déposées dans le fleuve et l'estuaire du bas Fraser d'avril au début de juin. Les quantités cumulatives réelles du débit sortant et de dépôt peuvent être de l'ordre de milliers de tonnes, le débit sortant et le dépôt se poursuivant longtemps après le 4 juin, date à laquelle le relevé sur les œufs et les larves a pris fin, alors que le débit sortant des rivières était encore en augmentation (figure 20-4). Les incertitudes entourant l'ampleur des débits sortants et des quantités déposées et les effets écologiques sur les espèces d'eau douce et estuariennes de ces habitats sont préoccupantes, surtout que ces matières se décomposent lentement.

Les densités relativement élevées de didymo ont des répercussions négatives sur l'obtention d'estimations de l'indice du stock reproducteur d'eulakane, car la matière fibreuse recouvre les autres composantes des échantillons d'eau du relevé et fait en sorte que l'observation et le dénombrement des œufs et des larves demandent plus de temps, sont plus coûteux et nécessitent des stratégies de sous-échantillonnage qui introduisent des erreurs supplémentaires (MPO 2020). Les ressources qui permettraient d'obtenir des observations de l'algue didymo lors des futurs relevés sur les œufs et les larves d'eulakane n'ont pas été définies.

20.6. Références

- Brahney, J., Bothwell, M.L., Capito, L., Gray, C.A., Null, S.E., Menounos, B., and Curtis, P.J. 2021. Glacier recession alters stream water quality characteristics facilitating bloom formation in the benthic diatom *Didymosphenia geminata*. *Science of the Total Environment* 764: 142856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142856>
- 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.
- Dealy, L.V., and Hodes, V.R. 2019. Monthly distribution and catch trends of Eulachon (*Thaleichthys pacificus*) from Juan de Fuca Strait to the Fraser River, British Columbia, October 2017 to June 2018. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3179: viii + 39 p.
- 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.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U., and Tamar, Z. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35: 404-424. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x>

- 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. 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.

21. HARENG DU PACIFIQUE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE EN 2020

Jaclyn Cleary*, Sarah Hawkshaw, Matt Grinnell, Chris Grandin, Ashley Burton, Matt Thompson, Chris Rooper, Jennifer Boldt, Angelica Peña, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, [*Jaclyn.Cleary@dfo-mpo.gc.ca](mailto:Jaclyn.Cleary@dfo-mpo.gc.ca)

21.1. Points saillants

- L'estimation de la biomasse reproductrice du hareng varie selon les zones évaluées. Depuis 2000, la biomasse de Haida Gwaii est faible, avec une augmentation en 2020. La biomasse de 2020 du stock du district de Prince Rupert était similaire à celle de 2019. On a constaté une augmentation de la biomasse estimée de la côte centrale et de la côte ouest de l'île de Vancouver au cours des dernières années. En 2020, la biomasse du stock du détroit de Georgia était relativement élevée par rapport aux niveaux historiques.
- Dans les années récentes, on a observé 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.
- La période de fraie du hareng du Pacifique peut être expliquée principalement par la longueur des journées, le nombre de degrés-jours supérieurs à 5 °C et la salinité ou la température moyenne au moment de la fraie.

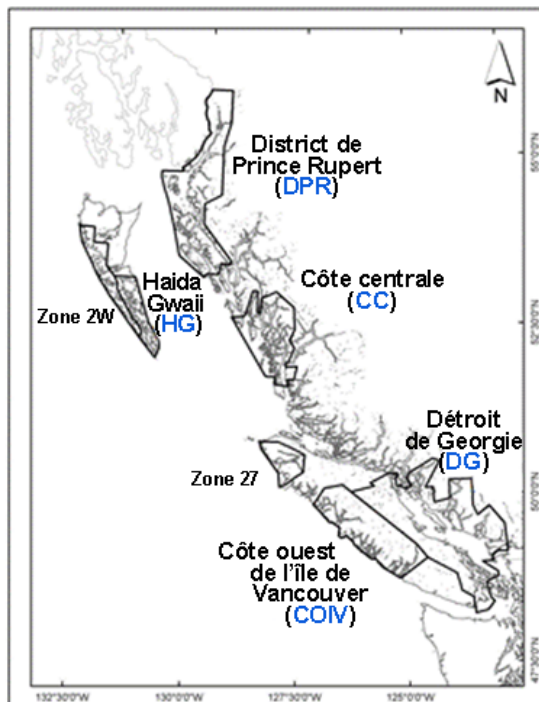


Figure 21-1. Emplacement des cinq stocks principaux (détroit de Georgia, côte ouest de l'île de Vancouver, district de Prince Rupert, Haida Gwaii et côte centrale) et de deux stocks secondaires (zone 2W et zone 27) de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique.

- On peut prévoir l'emplacement de la fraie d'un stock de hareng en se fiant aux conditions environnementales locales et à la biomasse totale de ce stock, mais les conditions déterminant la répartition de la fraie semblent varier d'un stock à l'autre.

21.2. Résumé

En Colombie-Britannique, le hareng du Pacifique est géré selon cinq stocks principaux (détroit de Georgia, 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 2021; figure 21-1). 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 2021, 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 2021). La biomasse de hareng, l'abondance des recrues et le poids selon l'âge sont des indicateurs importants de l'état des stocks; cependant, il existe d'autres considérations, comme le moment et la répartition de la fraie, qui sont actuellement examinées à l'aide de diverses méthodes statistiques et d'apprentissage machine. Les lecteurs sont invités à consulter le document MPO (2021) pour obtenir des informations supplémentaires importantes sur l'état des stocks de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique.

21.3. 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 21-2). Depuis 2000, la biomasse du stock de Haida Gwaii est faible (MPO 2021). En 2019 et 2020, la biomasse a augmenté, selon le relevé; toutefois, ces estimations sont très incertaines en raison des taux de mortalité naturelle estimés élevés (MPO, 2021). La biomasse

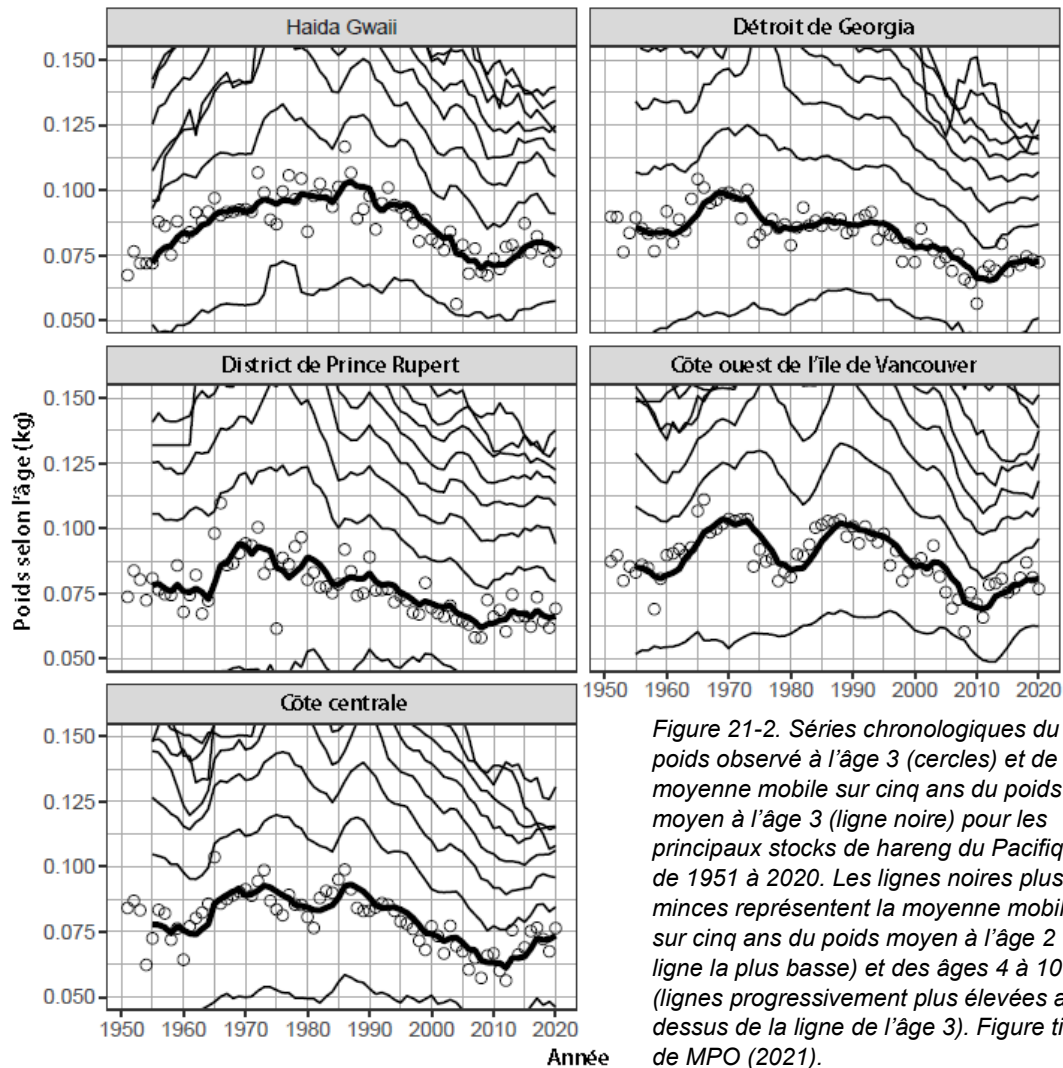


Figure 21-2. Séries chronologiques du poids observé à l'âge 3 (cercles) et de la moyenne mobile sur cinq ans du poids moyen à l'âge 3 (ligne noire) pour les principaux stocks de hareng du Pacifique, de 1951 à 2020. Les lignes noires plus minces représentent la moyenne mobile sur cinq ans du poids moyen 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 tirée de MPO (2021).

estimée du stock pour le district de Prince Rupert a montré une tendance minimale entre 2005 et 2018, avec une modeste augmentation en 2019. La biomasse observée dans le cadre du relevé de 2020 est presque identique à celle de 2019 (MPO 2021). La biomasse et la productivité du stock de la côte centrale ont été faibles entre 2005 et 2014 environ. Une tendance à la hausse de la biomasse de la côte centrale a été observée au cours des dernières années, mais la variabilité interannuelle est plus élevée qu'avant 2005 (MPO, 2021). La biomasse de reproducteurs du détroit de Georgia a augmenté et est relativement élevée par rapport aux estimations historiques (figure 21-3). La biomasse reproductrice estimée pour le stock de la COIV était faible de 2004 à 2014; une tendance à la hausse a été observée ces dernières années, mais la biomasse reste faible par rapport aux niveaux historiques (figure 21-3).

À l'exception du stock de la côte centrale, la fraie des stocks de hareng a eu lieu plus tôt dans l'année en Colombie-Britannique. Le moment de la fraie allait d'environ 5 jours plus tôt (en moyenne) pour les stocks de la COIV et du DPR à une fraie 10 jours plus tard environ pour le stock de la côte centrale. La période de fraie est affectée par la longueur du jour, le nombre de degrés-jours supérieurs à 5 °C, la salinité, la pente de température au cours du mois précédent, la pente de salinité au cours du mois précédent et la pente de salinité au cours de la semaine précédente (figure 21-4).

La répartition spatiale de la fraie a varié selon les années pour chacun des stocks. La variabilité spatiale peut être expliquée en grande partie par l'expansion et la contraction de la zone de fraie au fur et à mesure que les populations augmentent et diminuent. Cependant, une partie de la variabilité de la répartition peut probablement être expliquée par des conditions environnementales changeantes (figure 21-5).

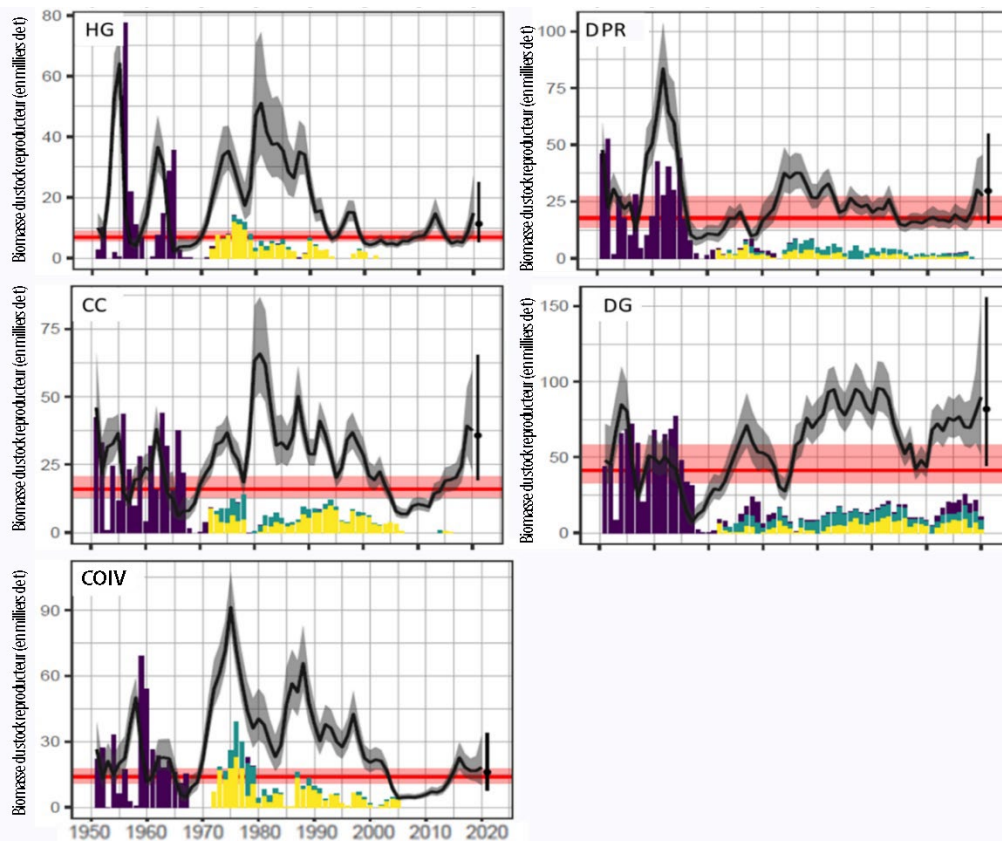


Figure 21-3. Sommaire de la dynamique des cinq stocks de hareng du Pacifique de 1951 à 2020; les lignes pleines entourées d'une enveloppe grise représentent les médianes et les intervalles de crédibilité de 5 à 95 %. La reconstitution de la biomasse reproductrice pour chaque année est également présentée, les valeurs non pêchées étant indiquées à l'extrême gauche (cercle plein et lignes verticales) et la biomasse reproductrice projetée avec des prises nulles 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 2021). Ligne rouge = point de référence limite ($0,3B_0$). B_0 = biomasse non exploitée. Figure adaptée de MPO (2021).

21.4. Facteurs influençant les tendances de la biomasse du hareng

Les tendances communes du poids selon l'âge observées pour toutes les zones de stock suggèrent 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).

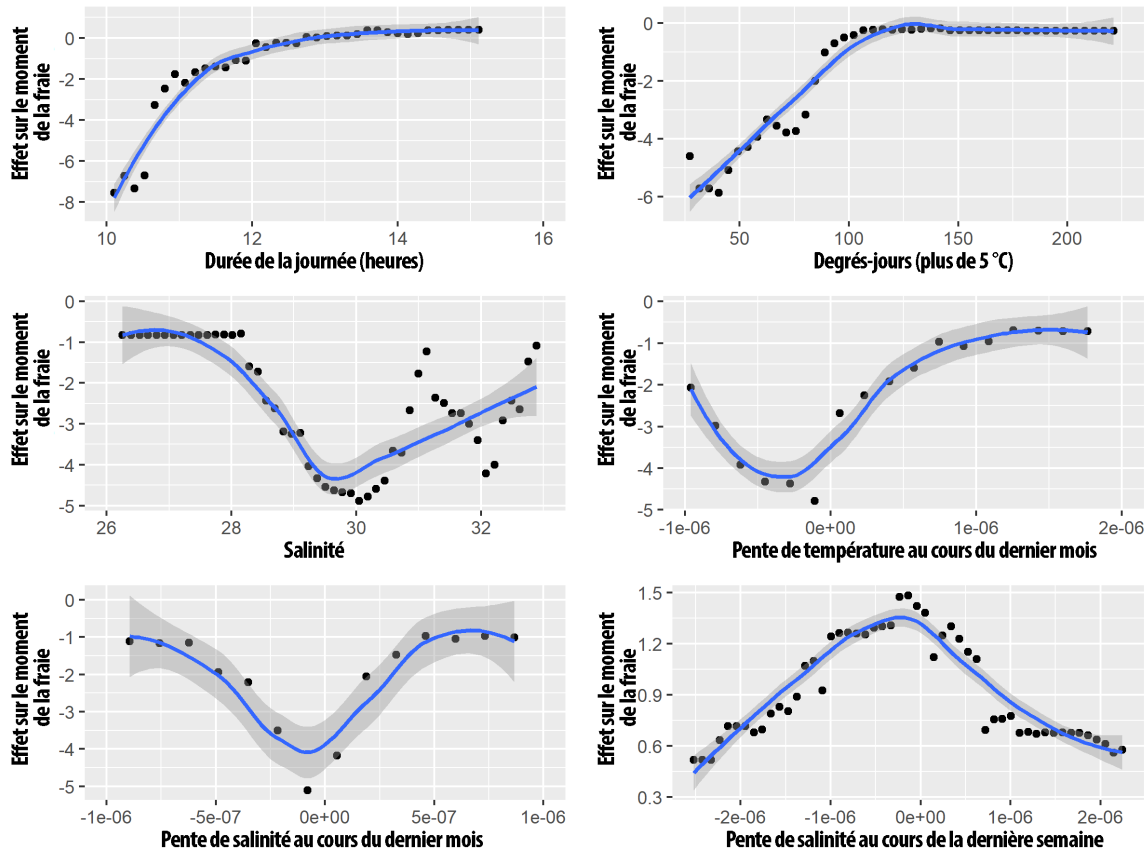


Figure 21-4. Effets sur la période de fraie du hareng en fonction de la durée du jour (heures), des degrés-jours (> 5 °C), de la salinité, de la pente de température au cours du mois précédent, la pente de salinité au cours du mois précédent et la pente de salinité au cours de la semaine précédente.

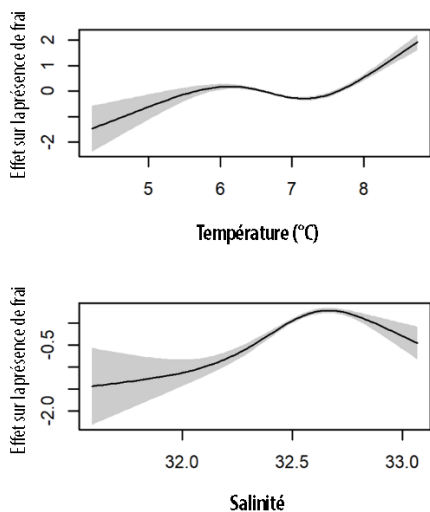


Figure 21-5. Effets de la température (°C) et de la salinité sur la présence du frai de hareng.

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).

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 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). 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).

Les tendances relatives au moment de la fraie du hareng (vers un moment plus précoce) semblent être causées principalement par des changements dans la température et la salinité de l'océan. L'autre facteur influençant le moment de la fraie (la longueur du jour) n'a pas changé. La tendance relative à la répartition de la fraie indique qu'elle changera avec les changements de la biomasse. Peut-être que le réchauffement des océans entraînera des changements localisés dans la répartition spatiale de la fraie.

21.5. 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 points de référence limites), 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. Les tendances relatives au moment et à la distribution de la fraie peuvent avoir une incidence sur le recrutement futur du hareng en entraînant un décalage temporel et spatial entre l'éclosion des larves et les cycles de productivité de l'écosystème au printemps.

21.6. Références

DFO. 2021. Stock status update with application of management procedures for Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in British Columbia: Status in 2020 and forecast for 2021. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2021/001.

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.L., Cleary, J., Greiner, T.A., and Hebert, K. 2012. Decrease in herring size-at-age: a climate change connection? 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.
- 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.
- Wailes, 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.

22. RELEVÉ D'AUTOMNE DES SAUMONS JUVÉNILES DE 2020 SUR LA CÔTE NORD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Erika Anderson¹, Jackie King, Tyler Zubkowski, Amy Tabata, Terry Beacham, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique.

¹Erika.Anderson@dfo-mpo.gc.ca

22.1. Points saillants

- Le saumon rose juvénile était l'espèce la plus répandue, tandis que les saumons cohos et rouges juvéniles étaient principalement capturés dans l'entrée Dixon. La plus grande abondance de saumon kéta juvénile a été observée dans le sud du détroit d'Hécate. Un seul saumon chinook juvénile a été capturé dans le détroit d'Hécate.
- Les anomalies notables dans l'abondance relative des saumons juvéniles comprennent une abondance inférieure à la moyenne du saumon chinook et supérieure à la moyenne du saumon rouge dans l'entrée Dixon, une abondance supérieure à la moyenne du saumon coho dans le détroit d'Hécate, et une abondance inférieure à la moyenne du saumon kéta et du saumon coho dans le bassin Reine-Charlotte.
- Les anomalies notables dans l'état des saumons juvéniles comprennent un état supérieur à la moyenne pour le saumon kéta à l'entrée Dixon et dans le détroit d'Hécate, un état inférieur à la moyenne pour le saumon rose dans le détroit d'Hécate et un état inférieur à la moyenne pour le saumon rouge dans le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte.

22.2. Description de la série chronologique

Pêches et Océans Canada (MPO) effectue des relevés au chalut sur les saumons juvéniles sur la côte de la Colombie-Britannique depuis 1998, bien que toutes les zones n'aient pas fait l'objet d'un relevé chaque année. Du 6 au 16 octobre 2020, le MPO a effectué des relevés dans trois régions : l'entrée Dixon, le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte. Ce relevé basé sur l'écosystème a été effectué le long de transects standard pendant le jour sur le NGCC *Sir John Franklin*. Un chalut pélagique a été remorqué à des profondeurs de ralingue de 0 m et 15 m. Toutes les prises ont été identifiées par espèce, pesées et dénombrées. Le poids et la longueur des poissons ont été mesurés et le contenu de l'estomac a été examiné. Les contenus stomacaux ont été classés en grands groupes taxonomiques et le volume des proies a été estimé en mer. Les anomalies des CPUE pour les saumons du Pacifique juvéniles ont été calculées comme la moyenne du nombre de prises en transformée logarithmique naturelle (plus un) par volume balayé (km³), et exprimées sous forme d'anomalies standardisées dans chaque région. L'état des poissons a été estimé avec les résiduels de la relation logarithmique entre la longueur et le poids de 1998 à 2020. On a recueilli des profils CTP (conductivité, température, profondeur) et des échantillons de zooplancton à presque toutes les stations (Anderson *et al.* 2021).

22.3. État et tendances

En général, les taux de capture de saumons rouge et coho juvéniles les plus élevés étaient à l'entrée Dixon, tandis que le taux de capture du saumon kéta le plus élevé était dans le sud du

détroit d'Hécate et que le saumon rose avait une répartition étendue. Un seul saumon chinook juvénile a été capturé dans le détroit d'Hécate (figure 22-1).

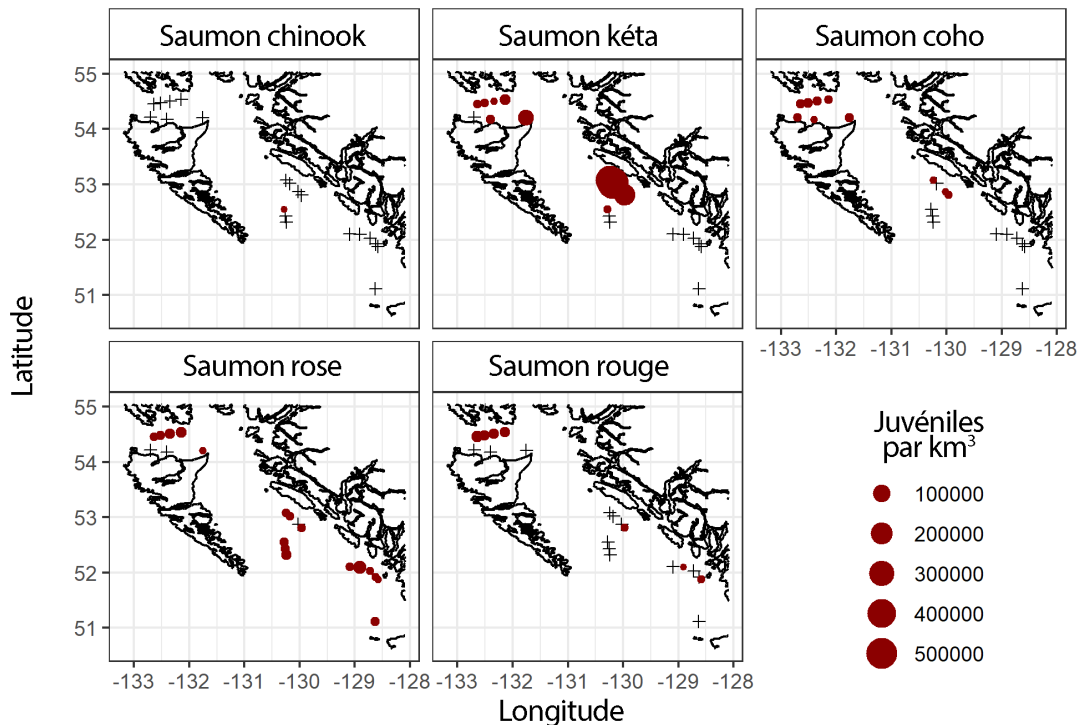


Figure 22-1. Saumons du Pacifique juvéniles (*Oncorhynchus* spp.) capturés en octobre 2020 dans l'entrée Dixon, le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte. Les cercles rouges sont proportionnels à l'abondance des captures, et les captures nulles sont indiquées par une croix noire (+).

Les anomalies régionales des CPUE pour les saumons juvéniles du Pacifique varient selon la région et l'espèce en octobre 2020 (figure 22-2). L'unique prise de saumon chinook a entraîné des anomalies relatives aux CPUE inférieures à la moyenne dans l'entrée Dixon et le bassin Reine-Charlotte. Les anomalies des CPUE de saumons kétas juvéniles étaient supérieures à la moyenne à l'entrée Dixon, moyennes dans le détroit d'Hécate et inférieures à la moyenne dans le bassin Reine-Charlotte. Les anomalies des CPUE de saumons cohos juvéniles étaient supérieures à la moyenne à l'entrée Dixon et dans le détroit d'Hécate, et inférieures à la moyenne dans le bassin Reine-Charlotte. Les anomalies des CPUE de saumons roses juvéniles étaient légèrement inférieures à la moyenne ou dans la moyenne dans l'entrée Dixon et le détroit d'Hécate, et supérieures à la moyenne dans le bassin Reine-Charlotte. Les anomalies des CPUE des saumons rouges juvéniles étaient supérieures à la moyenne à l'entrée Dixon et dans le bassin Reine-Charlotte, et inférieures à la moyenne dans le détroit d'Hécate.

L'état des saumons kétas et cohos juvéniles était supérieur à la moyenne dans l'entrée Dixon et le détroit d'Hécate. L'état des saumons roses et rouges juvéniles était supérieur à la moyenne dans l'entrée Dixon, mais inférieur à la moyenne dans le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte (figure 22-3). Le pourcentage d'estomacs vides le plus faible était chez les saumons kétas juvéniles (environ 2 %), ce qui se reflète dans les estimations de l'état plus élevées.

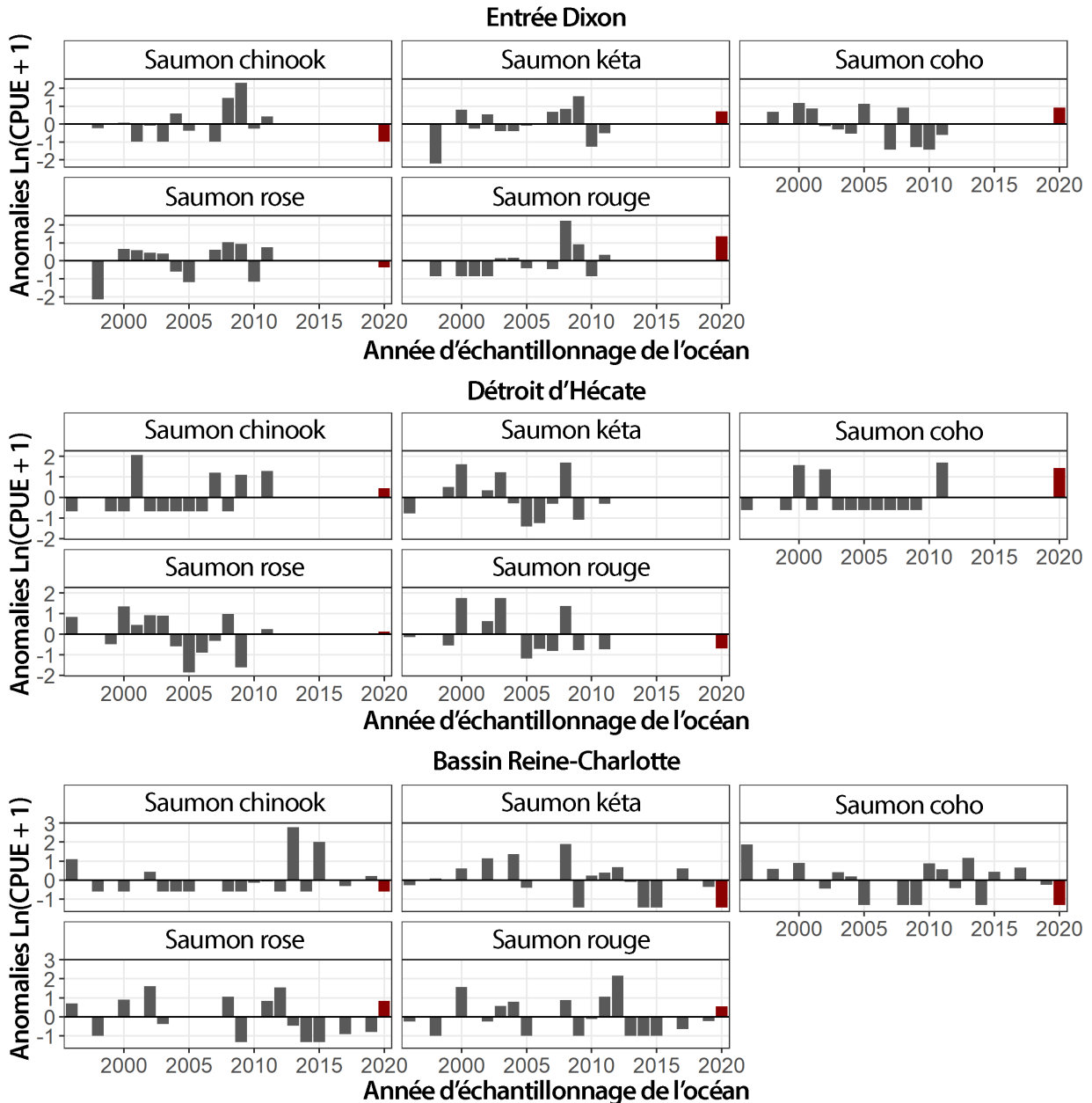


Figure 22-2. Anomalies annuelles des captures par unité d'effort (CPUE) en automne (septembre, octobre et novembre) de 1998 à 2020 pour les saumons juvéniles du Pacifique dans l'entrée Dixon, le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte. Les anomalies positives représentent une abondance régionale supérieure à la moyenne; les anomalies négatives une abondance régionale inférieure à la moyenne. Les données de 2020 sont mises en surbrillance rouge.

L'identification génétique des stocks (IGS) a été réalisée pour les saumons chinooks, kétas et cohos à l'aide des méthodes résumées dans le document de Beacham et Wallace (2019). Les saumons kétas juvéniles capturés dans l'entrée Dixon et le détroit d'Hécate étaient originaires de la côte de Washington et du sud-est de l'Alaska. Les saumons cohos juvéniles capturés dans l'entrée Dixon étaient originaires de l'Oregon et du cours inférieur de la rivière Skeena.

Les saumons cohos juvéniles capturés dans le détroit d'Hécate allaient de la baie Puget aux bras de mer du centre de la Colombie-Britannique (Musse et Kynoch) en octobre 2020.

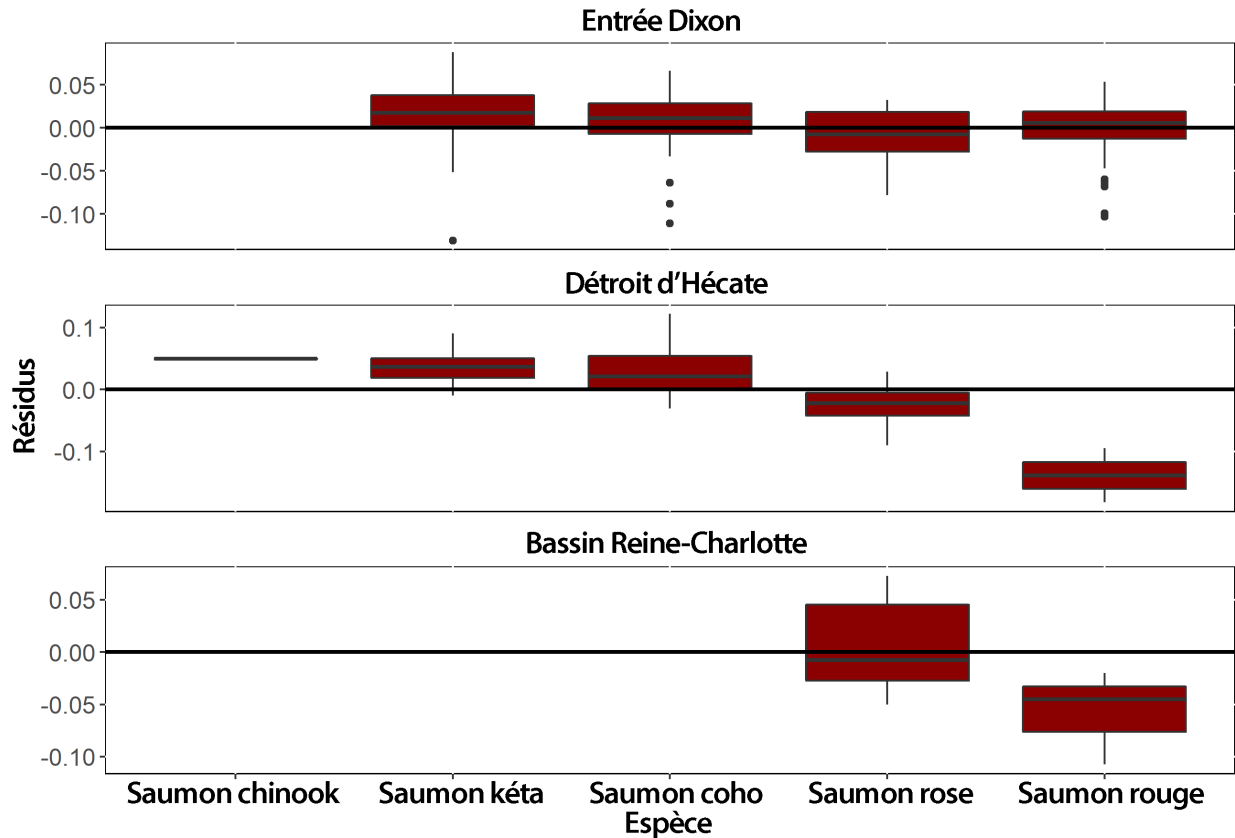


Figure 22-3. État des saumons du Pacifique juvéniles dans l'entrée Dixon, le détroit d'Hécate et le bassin Reine-Charlotte en 2020, mesuré par les résiduels de la relation logarithmique entre la longueur et le poids, par espèce, de 1998 à 2020. Les cases représentent le quantile inférieur et le quantile supérieur, la moyenne est indiquée par la ligne noire à l'intérieur de la case, et les points dénotent les valeurs aberrantes.

22.4. Facteurs influençant les tendances

L'abondance relative des saumons du Pacifique 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'ajoute l'occurrence de récents phénomènes extrêmes de réchauffement de l'océan, c'est-à-dire de vagues de chaleur marines. Les anomalies des taux de prise des saumons du Pacifique juvéniles dans le nord-est du Pacifique et la mer de Béring ont affiché des réponses très variables d'une région à l'autre après la vague de chaleur marine de 2015 (King *et al.* 2020). Les saumons du Pacifique juvéniles capturés à l'automne 2020 présentent des complexités similaires, variant selon l'espèce et la zone de capture.

22.5. Conséquences de ces tendances

Les faibles taux de capture et les mauvais états étaient plus fréquents dans les régions les plus méridionales ayant fait l'objet de relevés (c.-à-d. le bassin Reine-Charlotte), ce qui peut entraîner une remonte de géniteurs peu abondante (p. ex. saumon coho et saumon rouge du sud). Des taux de capture plus élevés et de meilleurs coefficients de condition ont été observés dans les régions plus septentrionales (c.-à-d. l'entrée Dixon), ce qui pourrait favoriser des remontes de taille moyenne pour certains stocks et certaines espèces (p. ex. le saumon kéta du sud-est de l'Alaska et le saumon rouge du nord). Néanmoins, l'abondance de la remonte de saumons chinook juvéniles sera probablement extrêmement faible étant donné les faibles taux de captures en 2020. 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 coho qui remonteront en 2021, aux saumons rouges et chinooks qui remonteront en 2022, et aux saumons kétas qui remonteront en 2023.

22.6. Références

- Anderson, E.D., King, J.R., and Zubkowski, T.B. 2021. Ecosystem-Based Juvenile Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) Survey on the North Coast of British Columbia, October 6-16, 2020. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1331: vi + 36 p. <https://waves.vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40923289.pdf>
- Beacham, T.D., and Wallace, C.G. 2019. Salmon species identification via direct DNA sequencing of single amplicons. Conserv. Genet. Resour. 12: 285-291. <https://doi.org/10.1007/s12686-019-01102-1>
- 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>.
- Mallick, 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.

23. ÉTAT DU SAUMON DU PACIFIQUE AU CANADA EN 2020

Sue C.H. Grant¹, Bronwyn L. MacDonald¹, Dawn Lewis², Niki L. Wilson³ et Catherine G.J. Michielsens⁴

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

²Conseillère scientifique, Pêches et Océans Canada, Dawn.Lewis@dfo-mpo.gc.ca

³Experte-conseil, Nikilynnwilson@gmail.com

⁴Commission du saumon du Pacifique, Michielsens@psc.org

23.1. Points saillants

- La taille des remontes de saumon rouge a été généralement faible en 2020, poursuivant les tendances récentes pour cette espèce, chez laquelle on a observé des remontes peu abondantes, en particulier aux latitudes sud.
- La taille des remontes de saumon chinook en 2020 a été généralement faible en raison de la faible productivité des stocks de type fluvial dans le nord-ouest. Cela correspond aux tendances médiocres pour cette espèce dans toute son aire de répartition de la côte Pacifique nord-américaine. On a constaté une amélioration de certains stocks du détroit de Georgia en 2020.
- Le nombre de saumons kétas en montaison a également été faible en 2020, ce qui diverge de la tendance récente pour cette espèce, qui affichait généralement de meilleures remontes que les autres saumons du Pacifique.
- Les remontes de saumon coho et de saumon rose étaient mitigées en 2020. Les remontes de saumon rose ont généralement été plus abondantes que celles de la plupart des autres espèces ces dernières années dans certaines zones du détroit de Johnstone, tandis que les remontes de saumon coho en 2020 ont été généralement moyennes ou inférieures à la moyenne, à quelques exceptions près, avec notamment une remonte abondante à Big Qualicum.
- 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 mesures visant à atténuer l'éboulement de Big Bar dans le fleuve Fraser en 2020 ont amélioré le passage migratoire des adultes par rapport à 2019 en général. Des travaux sont en cours pour tenter d'atténuer les effets de cet éboulement et surveiller les réactions des saumons.

23.2. 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 sur les prises canadiennes ont été mises à jour ces dernières années par A. Velez-Espino (MPO), et sont actuellement disponibles jusqu'à l'année 2020. Bien que des données sur les prises de saumon en cours de saison soient disponibles pour gérer certaines pêches, il faut généralement attendre une année pour que la CPAPN finalise et intègre ces données dans un format standardisé disponible.

La plupart des informations sur les remontes de saumons pour 2020 ne sont disponibles que sous forme qualitative au moment de la rédaction de ce rapport. Des données qualitatives sur les remontes de 2020 ont été fournies pour les perspectives concernant le saumon 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 : C. Parken; côte Sud : W. Luedke.

Les données quantitatives sur les remontes pour 2020 sont disponibles pour les principales populations de saumon rouge et sont présentées dans Hyatt *et al.* (section 24). Les données sur l'abondance de la remonte et sur la productivité de 18 populations clés de saumon rouge du fleuve Fraser sont fournies par S. Latham, de la Commission du saumon du Pacifique (CSP), et S. Decker, B. Leaf, Y. Xu et B. Davis du MPO.

23.3. État et tendances du saumon du Pacifique au Canada

23.3.1. Tendances des prises de saumon

Les prises des cinq espèces de saumon du Pacifique gérées par le MPO ont diminué au cours de la dernière décennie (figure 23-1). Cela est dû à la baisse des abondances 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.* 2019). Les faibles remontes en 2019 et 2020 ont entraîné des prises extrêmement faibles au Canada pour ces deux années, soit 1,9 million et 3,1 millions, respectivement.

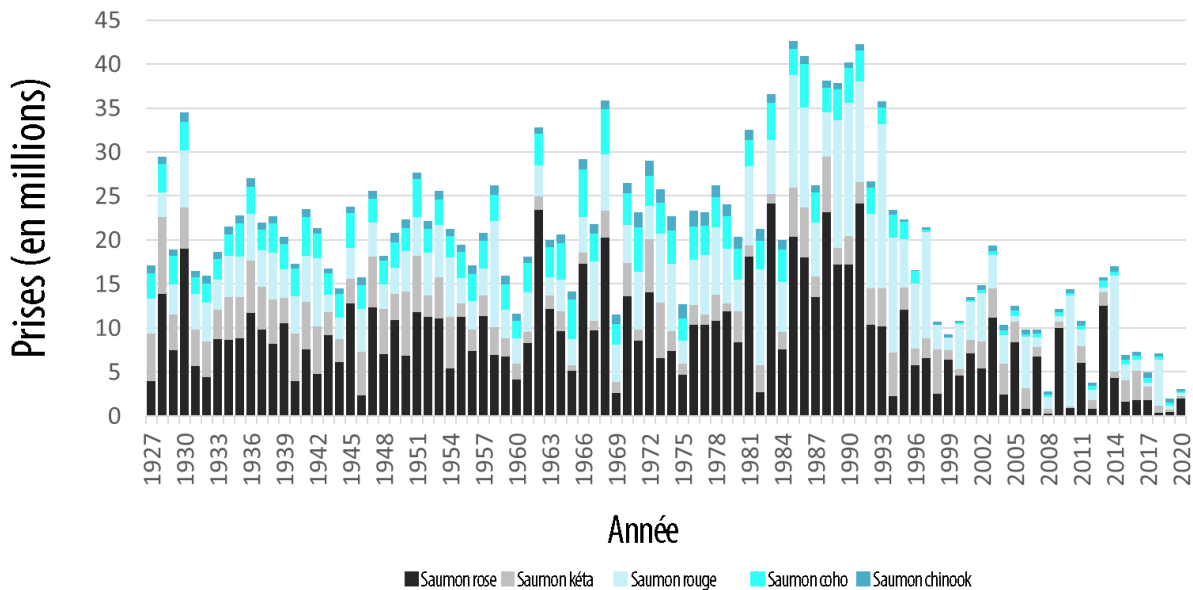


Figure 23-1. Prises commerciales, récréatives et de subsistance des Autochtones de saumon rose, kéta, rouge, coho et chinook au Canada (Grant et al. 2019; statistiques de la NPAFC : <https://npafc.org/statistics/>). La moyenne des prises était de 24,2 millions de 1925 à 1993, et de 11,6 millions entre 1994 et 2017. Les montaisons des deux dernières années ont été extrêmement faibles : 1,9 million en 2019 et 3,1 millions en 2020.

23.3.2. Données qualitatives sur la remonte de saumon du Pacifique au Canada en 2020.

La remonte totale de saumon chinook était peu abondante en 2020, poursuivant la tendance récente d'abondances généralement faibles (Grant *et al.* 2019). Parmi les exceptions en 2020, mentionnons les zones de gestion des stocks de printemps et d'été du détroit de Georgia et les parties inférieure et supérieure du détroit de Georgia.

Les remontes de saumon rouge ont également été faibles en 2020, poursuivant les tendances d'abondance faible observées pour l'espèce ces dernières années, en particulier aux latitudes centrales et méridionales de la Colombie-Britannique (Grant *et al.* 2019; Hyatt *et al.* 2020; Hyatt *et al.*, section 24). Les populations de la rivière Taku, dans la région transfrontalière du nord de la Colombie-Britannique et de l'Alaska, ont fait exception à cette tendance relative au saumon rouge en 2020.

La survie en mer du saumon coho est restée faible par rapport aux années 1980, tandis que plusieurs nouveaux indicateurs de survie et d'échappée sont en cours d'élaboration, notamment pour Cowichan et Sakinaw.

Les remontes de saumon rose en 2020 étaient également mitigées, mais généralement meilleures que celles des autres espèces.

Le saumon kéta a généralement connu des remontes peu abondantes en 2020, contrairement à la tendance récente à l'amélioration (Grant *et al.* 2019).

23.3.3. Saumon rouge du fleuve Fraser en 2020

L'abondance de la remonte et la productivité du saumon rouge du Fraser ont été faibles en 2020 (figure 23-2). Ces remontes ont été les plus faibles jamais enregistrées, suivies de celles

de 2019 et de 2016. Les productivités de 2019 et 2020 étaient simultanément faibles dans les 18 populations clés de saumon rouge du Fraser (figure 23-3).

En 2020, la majorité des saumons rouges adultes du Fraser ont pu migrer avec succès au-delà de la zone de l'éboulement de Big Bar, au nord de la zone de Lillooet, à la suite des travaux de restauration qui ont eu lieu depuis l'éboulement de 2019 (gouvernement de la C.-B. *et al.*, 2019 et 2020). La montaison du saumon rouge à montaison hâtive dans la Stuart est restée gravement entravée en raison des niveaux de débit élevés dans tout le bassin versant et à Big Bar au début de la saison.

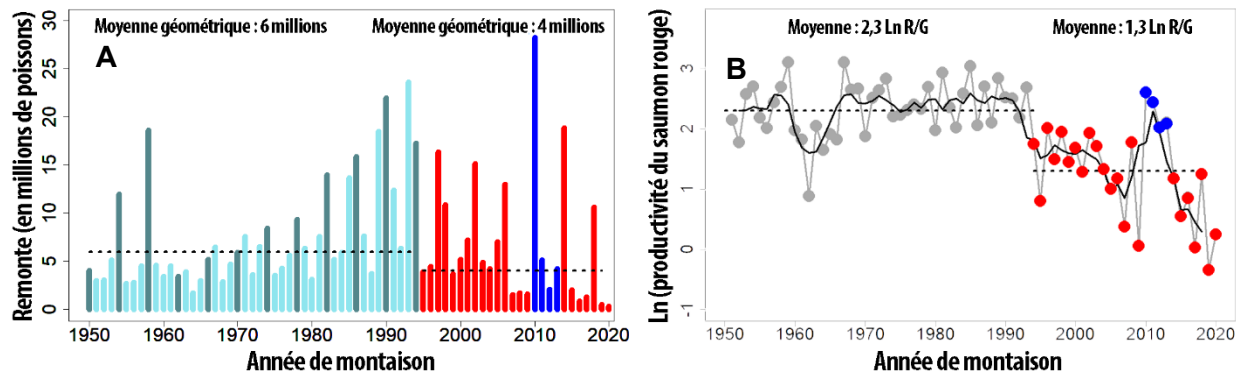


Figure 23-2. (A) Abondance totale annuelle de la remonte de saumon rouge du Fraser. Pour les années de 1950 à 1994, les barres vert foncé correspondent à la lignée du cycle de 1950, et les barres bleu clair aux trois autres lignées du cycle. Pour les années de 1995 à 2020, les barres verticales rouges indiquent une période de réduction de la productivité du saumon rouge du Fraser, à l'exception d'une période, allant de 2010 à 2013 (barres verticales bleues), où la productivité était plus proche de la période précédente (1950 à 1994). (B) Productivité totale du saumon rouge du Fraser (\log_e (remonte/femelles reproductrices)). Les points et lignes gris représentent les estimations de la productivité annuelle. La productivité et le nombre de poissons qui remontent ont diminué au cours des dernières décennies, mises en évidence en rouge, à l'exception de quatre années de 2010 à 2013, qui étaient plus proches de la période précédente (1950-1994), mises en évidence en bleu. Sur les deux figures, la ligne pointillée représente la moyenne de la série chronologique.

23.4. 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.* 2019). Ces changements dans les écosystèmes marins et dulcicoles ont des impacts sur le saumon du Pacifique à chaque étape de son cycle biologique.

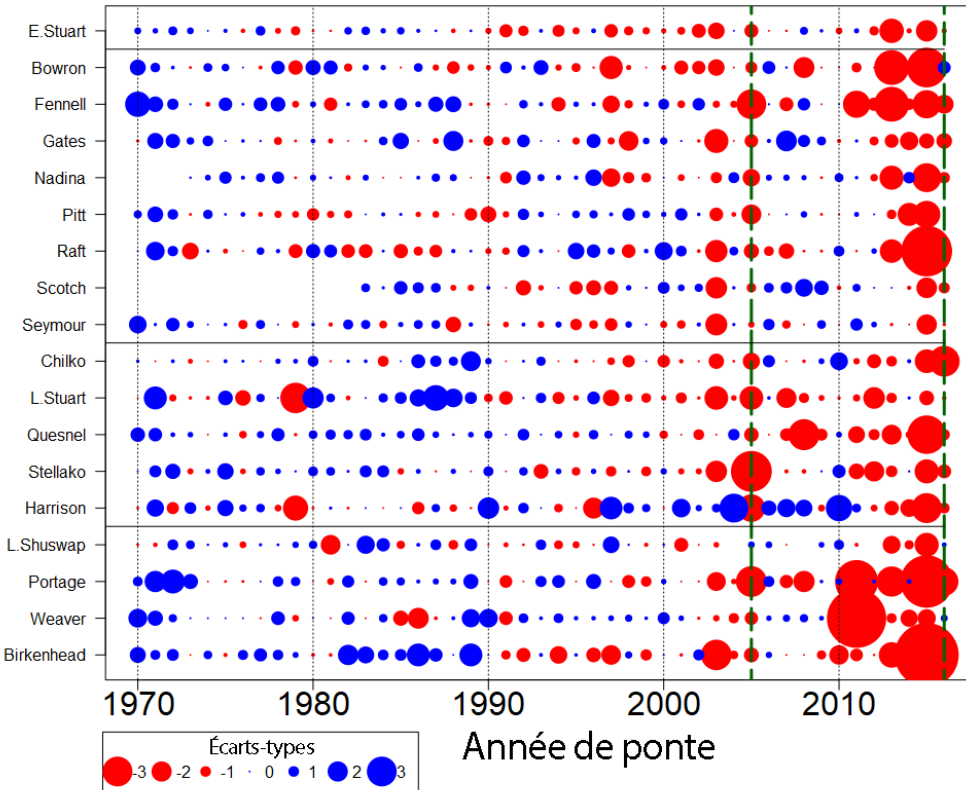


Figure 23-3. Productivité du saumon rouge du Fraser âgé de quatre ans (résiduels du modèle de Ricker pour toutes les populations sauf celles des rivières Scotch, Seymour, Quesnel et Shuswap à montaison tardive, qui sont des résiduels du modèle de Larkin) jusqu'à l'année d'écllosion 2016 (année de montaison 2020) dans 18 populations clés. Les productivités pour l'année d'écllosion 2016 (année de retour : 2020) sont préliminaires. L'année d'écllosion est l'année des reproducteurs parentaux, et comme la plupart des saumons rouges du Fraser sont des poissons de quatre ans, l'année d'écllosion est quatre ans avant l'année de montaison. Certaines exceptions sont décrites ci-dessous. 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'écllosion 2005 et 2016 (années de montaison 2009 et 2020) ont été mises en évidence par une ligne verticale verte brisée. L'année d'écllosion 2005 était celle du début de la Commission Cohen sur le déclin du saumon rouge du fleuve Fraser. Des facteurs relatifs à l'eau douce et l'eau de mer contribuent aux productivités observées.

Exceptions : Comme la rivière Pitt comprend principalement de poissons de cinq ans, la productivité est estimée en fonction des spécimens de quatre et de cinq ans, et n'est donc pas disponible pour l'année d'écllosion 2016, puisque les jeunes de cinq ans de 2021 ne sont pas encore revenus. La rivière Harrison comprend principalement de poissons de trois et quatre ans, la productivité est estimée en fonction des spécimens de trois et de quatre ans. La remonte tardive de la rivière Shuswap a connu des échappées et des remontes connexes extrêmement faibles pour les années d'écllosion 2004, 2008 et 2012, et ces estimations sont considérées comme étant trop incertaines compte tenu de leurs faibles nombres. Elles ont donc été retirées de l'ensemble de données, et les productivités n'ont pas été estimées pour ces années.

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 (Galbraith et Young 2020). 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.* 2020). 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, dominant 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 2020).

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.* 2019). 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.

23.5. 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.

En obtenant plus de renseignements sur la vulnérabilité du saumon au changement climatique et sur les habitats, nous pourrions faire en sorte que nos mesures de gestion des pêches, de rétablissement du saumon et de restauration de l'habitat sont harmonisées avec la production future de saumon et la biodiversité (Nelitz *et al.* 2007; Hunter et Wade 2015; Hunter *et al.* 2015; Grant *et al.* 2019; Crozier *et al.* 2019; Crozier *et al.* 2021). Pour y parvenir, nous devons intégrer et développer de nouvelles recherches entre les disciplines et organisations. La formation du Pacific Salmon-Ecosystem Climate Consortium, 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.* 2019).

23.6. Références

- Boldt, J.L., Javorski, A., and Chandler, P.C. 2020. State of the Physical, Biological and Selected Fisheries Resources of Pacific Canadian Marine Ecosystems in 2019. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3377: x + 288 p. Available from <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40884569.pdf>
- Crozier, L.G., Burke, B.J., Chasco, B.E., Widener, D.L., and Zabel, R.W. 2021. Climate change threatens Chinook salmon throughout their life cycle. *Commun. Biol.* 4(1). doi:10.1038/s42003-021-01734-w.
- 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. 2020. West Coast British Columbia zooplankton biomass anomalies 2019. In 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. Available from <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40884569.pdf>.
- Government of B.C., DFO, and FRAFS. 2019. 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. September 8, 2019. Available from 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.
- Government of B.C., DFO, and Fraser Salmon Management Council. 2020. Big Bar Landslide Update. September 18, 2020. Available from https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/plants-animals-and-ecosystems/fish-fish-habitat/fish-passage/big-bar-landslide-2019/bb_workupdate_sept18.pdf
- Grant, S.C.H., MacDonald, B.L., and Winston, M.L. 2019. State of the Canadian Pacific Salmon: Responses to Changing Climate and Habitats. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3332: ix + 50 pp. Available from <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. Available from 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. Available from <https://cat.fsl-bsf.scitech.gc.ca/record=4055591~S6>.
- Hyatt, K.D., Stiff, H.W., Stockwell, M.M., and Ogden, A.D. 2020. Coast-wide sockeye salmon performance indicators, regional overview of trends, 2019 returns, and 2020-2021 outlook. In 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. Available from <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40884569.pdf>.
- 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, B.C. pp. 122. Available from http://skeenasalmonprogram.ca/libraryfiles/lib_193.pdf.

24. INDICATEURS DE RENDEMENT DU SAUMON ROUGE SUR TOUTE LA CÔTE, APERÇU RÉGIONAL DES TENDANCES, REMONTES DE 2020 ET PERSPECTIVES POUR 2021 À 2023

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

24.1. Points saillants

- En 2020, les remontes des stocks de saumon rouge transfrontaliers, de la côte nord, de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), du Fraser et de l'Okanagan étaient généralement inférieures (4 unités de conservation [UC]/unités de gestion [ZG]) à légèrement supérieures (1 UC/ZG) à la médiane des prévisions de la gestion et aux estimations de la montaison moyenne sur toute l'année.
- Les remontes importantes de saumon rouge dans la baie de Bristol, en Alaska, ces dernières années (totaux de 62, 56 et 58 millions de poissons en 2018, 2019 et 2020 respectivement, contre une moyenne de 48 millions sur l'ensemble de l'année; ADFG 2020a) et les faibles remontes 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, avec une entrée en mer et une migration en 2017 et 2018 et une maturation dans le golfe d'Alaska (GOA) en 2018 et 2019, ont connu des rendements inférieurs à la moyenne en 2019 et 2020, contrairement au saumon rouge de la baie de Bristol, avec une entrée en mer au nord des Aléoutiennes et une maturation dans la mer de Béring. Les remontes de saumon rouge de l'Okanagan ont également dépassé les prévisions en 2020.

24.2. Séries chronologiques – Remontes annuelles des « stocks indicateurs » de saumon rouge de la toute la côte

Hyatt et ses collaborateurs (2020b) 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 24-1) 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. barrières de dénombrement, compteurs électroniques, 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 24-1. 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 l'abondance de la remonte totale (prises plus échappées) par rapport à la remonte prévue.

Les tendances relatives à la production des populations de saumon rouge « riches en données » comprenant une seule UC ou des regroupements de stocks sont censées représenter d'autres populations (c.-à-d. que ces populations servent de « stocks indicateurs ») 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 24-2).

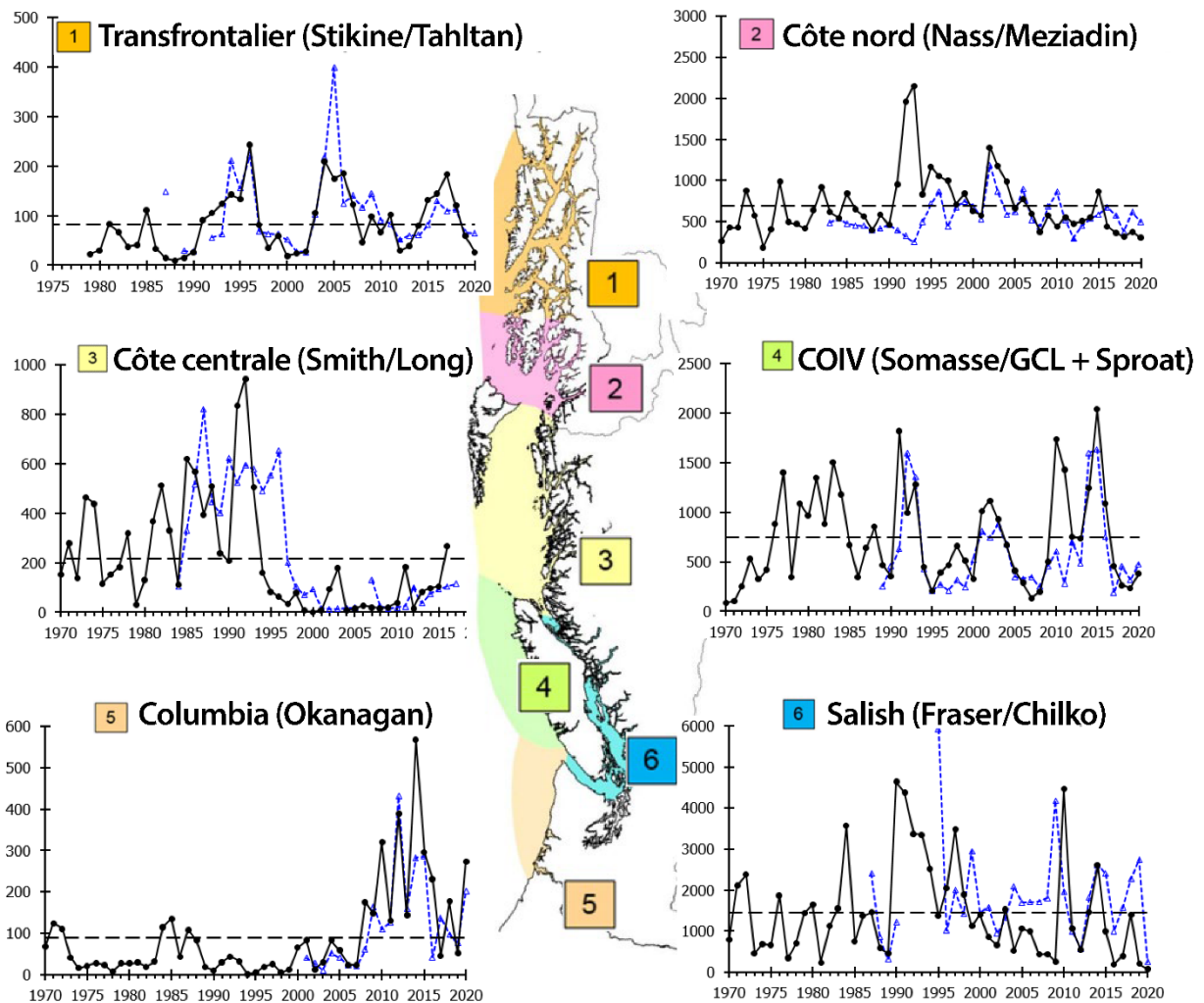


Figure 24-2. Tendances des remontes annuelles totales (milliers de poissons; ligne noire) et prévisions de gestion (ligne bleue) pour les stocks indicateurs de saumon rouge de la Colombie-Britannique, par zone (bassin versant/stock) : (1) transfrontalier; (2) côte nord; (3) côte centrale; (4) COIV; (5) Columbia; (6) Salish.

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

Entre 2015 et 2020, les stocks indicateurs de saumon rouge de la Colombie-Britannique ont généralement affiché des remontes moins abondantes que leur moyenne sur 40 ans (figure 24-2). Les objectifs d'échappée n'ont pas été atteints pour beaucoup de stocks, et les pêches du saumon rouge ont été fermées ou fortement limitées dans les eaux canadiennes. En revanche, le saumon rouge de Bristol Bay (Alaska) a connu des remontes records en 2018, 2019 et 2020 (62 millions, 56 millions et 58 millions de poissons respectivement; ADFG 2020a). Ces remontes exceptionnelles dans Bristol Bay, les remontes inférieures à la moyenne dans le centre-sud de l'Alaska (Cook Inlet; ADFG 2020b, 2020c) et les faibles remontes enregistrées

dans le sud-est de l'Alaska¹ 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, 2020b). Cette tendance a été modifiée en 2020 par l'ampleur inattendue de la remonte de l'Okanagan dans le Columbia (le bassin versant du stock indicateur de saumon rouge le plus au sud), qui a dépassé les prévisions et les valeurs moyennes à long terme (figure 24-2).

Les conditions environnementales dans les écosystèmes d'eau douce et marins au cours des trois à cinq dernières années n'ont pas favorisé une amélioration de la survie à plusieurs stades biologiques des salmonidés (Hyatt *et al.* 2018, 2020b; MacDonald *et al.* 2018). Par conséquent, les prévisions courantes anticipaient généralement une diminution de la taille des remontes dans les réseaux hydrographiques de la Colombie-Britannique en 2019 et 2020 par rapport aux remontes plus importantes enregistrées de 2014 à 2016 (p. ex. les erreurs de prévision pour 2020 représentaient une hausse de 21 % pour Somass, de 39 % pour Nass, de 58 % pour Tahltan et de 73 % pour Chilko, mais une diminution de 26 % pour Okanagan; figure 24-2).

24.4. Facteurs influençant les tendances relatives au nombre de saumons rouges et aux caractéristiques biologiques de l'espèce

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 de 2018 à 2020, 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 majeure partie des années 2015 à 2019², durant le plus fort épisode El Niño de ces 70 dernières années, qui a commencé à la fin de 2015 et s'est terminé au début de 2016. En outre, une vague de chaleur marine s'est produite dans le nord-est du Pacifique de la fin de 2013 à l'automne de 2016.

L'est de l'océan Pacifique est revenu à des conditions physiques plus normales en 2017 et 2018, mais les conditions biologiques rencontrées par les saumoneaux rouges faisant leur entrée en mer de 2016 à 2018 « ont continué à refléter un océan plus chaud » (MPO 2020, p. 54). Ces conditions étaient caractérisées par des proies zooplanctoniques moins nutritives et à faible teneur en lipides, des prédateurs « étrangers » aux saumons juvéniles et des populations d'invertébrés concurrents (p. ex., méduses, salpes; Galbraith et Young 2019) qui peuvent affecter la croissance et la survie des subadultes. Une autre vague de chaleur marine – le « Blob 2.0 » – s'est produite dans le nord-est du Pacifique à l'été 2019 et a persisté jusqu'au début de 2020 (Amaya *et al.* 2020), limitant potentiellement la croissance marine et la survie des remontes de 2020.

¹ Comm. pers., S. Vulstek, Auke Creek Research Station (NOAA), Juneau (25 février 2021).

² [Cartes des anomalies saisonnières](#) du Pacific Climate Impacts Consortium (téléchargées en mars 2021)

L'indice ENSO³, qui décrit les alternances pluriannuelles des températures de la surface de la mer (TSM) entre les températures « 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 nord⁴ (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 d'une abondance supérieure 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, 2016) ont été associées à des montaisons 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 récent de 2015-2016 a été suivi d'une baisse de la majorité des stocks de saumon rouge, qui ont enregistré des remontes moins abondantes que la moyenne entre 2017 et 2020.

24.5. Conséquences et perspectives pour les remontes de 2021 à 2023

Tout le cycle biologique des populations de saumon rouge de Colombie-Britannique qui remontent en 2021 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 et d'un autre événement plus intense en 2020 et 2021 – 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. Par exemple, les zones de gestion du saumon rouge de la rivière Okanagan et de la baie Barkley ont atteint ou dépassé les attentes d'avant-saison (figure 24-2). Toutefois, ces légères améliorations en faveur d'une augmentation de l'abondance des remontes en 2020 ont probablement été contrebalancées par plusieurs événements négatifs signalés dans le rapport sur l'état de l'océan de l'année dernière (Hyatt *et al.* 2020b). L'apparition d'un phénomène La Niña plus fort en 2020 et 2021 indique que la productivité des stocks de saumon rouge de l'extrême sud (baie Barkley, Okanagan et peut-être Fraser) s'améliorera pour l'année de retour 2023.

³ ENSO : indice Nino océanique de l'oscillation méridionale El Niño (ONI 3.4) (Barnston et Tippett 2013).

⁴ Cependant, voir des résultats contrastés pour le saumon rouge de la rivière Somass (baie Barkley, COIV) dans Hyatt *et al.* (2020a).

24.6. Références

- ADFG. 2020a. Alaska Department of Fish and Game. 2020 Bristol Bay Salmon. Alaska Department of Fish and Game Post-Season Summary, Sep 23 2020. <https://www.adfg.alaska.gov/static/applications/dcfnewsrelease/1224367754.pdf>.
- ADFG. 2020b. 2020 Upper Cook Inlet Commercial Salmon Fishery Season Summary. Alaska Department of Fish and Game Post-Season Advisory, Nov 4 2020. <https://www.adfg.alaska.gov/static/applications/dcfnewsrelease/1231395611.pdf>.
- ADFG. 2020c. 2020 Lower Cook Inlet Commercial Salmon Fishery Season Summary. Alaska Department of Fish and Game Post-Season Advisory, Nov 24 2020. <https://www.adfg.alaska.gov/static/applications/dcfnewsrelease/1233417947.pdf>.
- Amaya, D.J., Miller, A.J., and Xie, S.P. 2020. Physical drivers of the summer 2019 North Pacific marine heatwave. *Nature Communications* 11: 1903. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15820-w>.
- 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-vagues.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. 2016. Salmon responses to hydro-climatological conditions in British Columbia in 2015. In: Chandler, P.C., King, S.A., and Perry, R.I. (Eds.). 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. 2018. Sockeye Salmon indicator stocks – Regional overview of trends, 2017 returns, and 2018-2019 outlook. 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: vi + 245 p.

- Hyatt, K.D., Stiff, H., 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.
- Hyatt, K.D., Stiff, H., and Stockwell, M.M. 2020a. Impacts of the 2013-2016 marine heatwave on Barkley Sound Sockeye Salmon. In: 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.
- Hyatt, K.D., Stiff, H., and Stockwell, M.M. 2020b. Sockeye Salmon indicator stocks – Regional overview of trends, 2019 returns, and 2020 outlook. In: 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.
- 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.
- 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

25. LA FAIBLE ABONDANCE DE LA REMONTE DE SAUMONS DE 2020 DANS LE PACIFIQUE NORD EST-ELLE ATTRIBUABLE AUX PLUS GROSSES REMONTES JAMAIS ENREGISTRÉES QUI ONT ÉTÉ OBSERVÉES EN 2018-2019?

Jim Irvine¹, Greg Ruggerone² et Brendan Connors³

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

²Natural Resources Consultants Inc, Seattle, WA, États-Unis gruggerone@nrccorp.com

³Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, brendan.connors@dfo-mpo.gc.ca

25.1. Points saillants

- Les abondances récentes de saumon dans le Pacifique Nord atteignaient des niveaux records (2018) ou s'en approchaient jusqu'en 2020, année où beaucoup moins de saumons que prévu sont remontés.
- Les remontes des années impaires de l'espèce la plus nombreuse, le saumon rose, ont été plus abondantes que celles des années paires, génétiquement distinctes, à l'exception de 2018, qui a connu des remontes record.
- Selon l'espèce, l'âge en mer et la répartition dans l'océan, de nombreux saumons qui remontaient en 2020 ont partagé l'océan avec une ou plusieurs classes d'âge consécutives (c.-à-d. 2018 et 2019) de saumon rose abondant.
- Sans une traditionnelle période de rétablissement liée aux années paires en 2018, l'écosystème du Pacifique Nord pourrait avoir été suffisamment perturbé par des années consécutives d'abondance de saumon rose pour réduire les remontes de saumon en 2020.

25.2. Description de la série chronologique

Les estimations d'abondance du saumon rose (*Oncorhynchus gorbuscha*), du saumon kéta (*O. keta*), et du saumon rouge (*O. nerka*) dans l'océan Pacifique Nord de 1925 à 2015 (Ruggerone et Irvine 2018) ont été étendues pour inclure des valeurs préliminaires pour 2016 à 2020.

Regroupées, les autres espèces de salmonidés représentaient moins de 5 % de l'abondance totale et n'ont pas été incluses. L'abondance correspond au nombre de saumons qui survivent jusqu'à l'âge adulte (c'est-à-dire la somme du nombre de poissons capturés dans les pêches [CPAPN 2020] et du nombre de ceux qui se sont échappés en eau douce pour frayer).

Comme les estimations des échappées de géniteurs pour le Pacifique Nord n'étaient pas disponibles pour 2016 à 2020, l'abondance pour ces années a été estimée sur la base des relations récentes précédentes entre les captures et les montaisons. La même approche a été utilisée pour 2020, en s'appuyant sur des estimations préliminaires des captures (p. ex., Velez-Espino *et al.* 2021). Pour les régions de Washington, de l'Oregon et de la Californie, où les abondances de ces espèces sont relativement mineures par rapport à la somme des autres

régions (CPMP 2021), nous avons présumé que les captures de 2020 étaient les mêmes que pendant la période de 2016 à 2019.

25.3. État et tendances

L'abondance annuelle totale des saumons adultes (d'origine naturelle et d'écloserie) était très variable dans la première partie de la série chronologique, atteignant un sommet à la fin des années 1930, avec 530×10^6 poissons (figure 25-1). L'abondance a diminué vers la fin de la Seconde Guerre mondiale et est restée proche de 310×10^6 poissons jusqu'au milieu des années 1970, atteignant 543×10^6 poissons après le changement de régime océanique de 1977 (1977 à 2004) et 665×10^6 poissons pendant la période de 1990 à 2015. L'abondance totale des saumons a été plus élevée en 2005 (721×10^6 poissons) qu'au cours de toute autre période antérieure. De 1990 à 2015, l'abondance numérique des adultes était dominée par le saumon rose (67 % de l'abondance combinée des trois espèces), suivi du saumon kéta (20 %) et du saumon rouge (13 %) (Ruggerone et Irvine 2018).

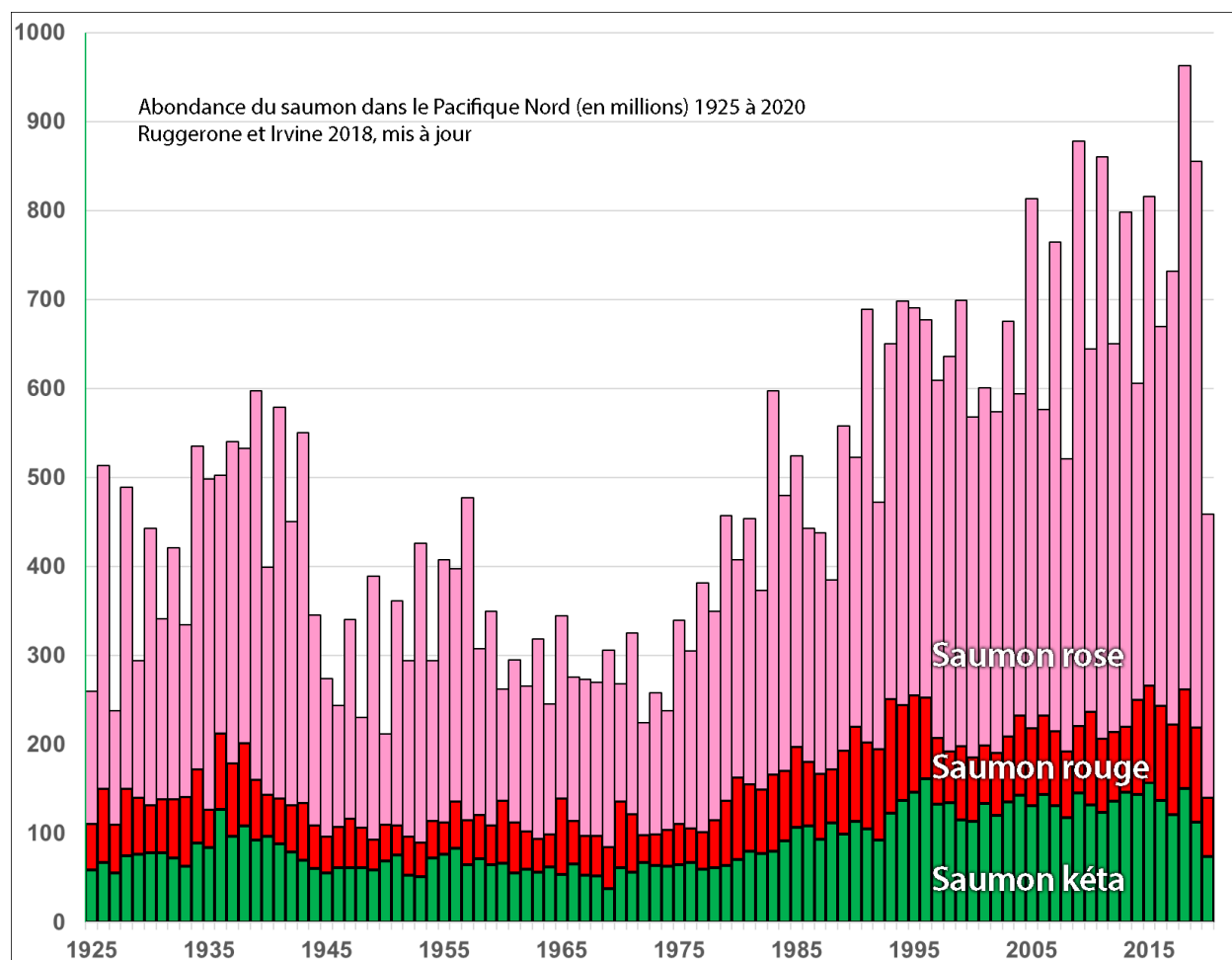


Figure 25-1. Abondance (millions de poissons) du saumon kéta, du saumon rouge et du saumon rose dans l'océan Pacifique Nord, 1925 à 2020, mise à jour à partir de Ruggerone et Irvine (2018). Les chiffres après 2015 sont préliminaires.

Après 2015, les estimations sont restées proches des niveaux records jusqu'en 2020 (figure 25-1). La taille de la remonte de saumons a été plus importante en 2018 que durant toutes les années précédentes en raison du nombre exceptionnellement élevé de saumons roses qui étaient principalement d'origine russe. Avant 2018, les saumons roses étaient presque toujours plus nombreux les années impaires que les années paires; 2018 était une anomalie.

Bien que les estimations soient préliminaires, la remonte de 2020 indique des captures beaucoup plus faibles que prévu (Radchenko 2021) (figure 25-1). L'abondance de saumon rose était inférieure à la moitié de celle de 2018, et la plus faible de toutes les années depuis 1992. Les remontes de saumon kéta et de saumon rouge en 2020 ont été les moins abondantes depuis 40 et 20 ans respectivement. Ce phénomène est particulièrement remarquable pour le saumon rouge, car les captures dans la baie de Bristol (Alaska) étaient assez élevées.

En raison du nombre exceptionnellement élevé de saumons roses, principalement russes, en 2018, et des remontes supérieures à la moyenne durant les années impaires dans tout le Pacifique Nord en 2019, de nombreux saumons qui sont remontés en 2020 ont partagé l'écosystème océanique avec une ou plusieurs classes d'âge consécutives de saumons roses abondants. C'est la première fois que cela se produit en plus d'un siècle de surveillance de l'abondance du saumon (figure 25-1).

25.4. Conséquences de ces tendances

Les conditions océanographiques physiques ne peuvent à elles seules expliquer les schémas biologiques bisannuels observés dans l'écosystème du Pacifique Nord. Les changements dans l'abondance du saumon rose ont été corrélés avec la croissance et la survie d'autres espèces de saumon, notamment le saumon rouge (p. ex. Ruggerone et Connors 2015; Ruggerone *et al.* 2016; Connors *et al.* 2020), le saumon chinook (p. ex. Claiborne *et al.* 2020; Kendall *et al.* 2020; Ruggerone et Goetz 2004) et le saumon coho (Shaul et Geiger 2014). On a également corrélé les nombres élevés de saumons roses à des changements chez d'autres espèces non salmonicoles, allant des diatomées et du zooplancton (Batten *et al.* 2018) aux oiseaux de mer (Springer et Van Vliet 2014; Springer *et al.* 2018), et même aux épaulards (Ruggerone *et al.* 2019), soutenant l'hypothèse que les saumons roses peuvent provoquer des cascades trophiques marines (Batten *et al.* 2018).

Outre la concurrence, il existe plusieurs raisons pour lesquelles la croissance et la survie du saumon peuvent changer. Par exemple, Connors *et al.* (2020) ont suggéré que les réductions de la survie des populations de saumon rouge du sud liées au réchauffement des océans étaient exacerbées par la concurrence avec le saumon rose. Fait intéressant, ils ont également constaté que le réchauffement des océans augmentait le taux de survie des populations septentrionales de saumon rouge, ce qui n'était que partiellement annulé par la concurrence accrue.

Le saumon rose, avec ses schémas biennaux distincts, constitue une expérience en milieu naturel permettant d'examiner les interactions entre le saumon et d'autres espèces dans l'écosystème du Pacifique Nord. Sans une traditionnelle période de rétablissement liée aux années paires en 2018, nous émettons l'hypothèse que l'écosystème du Pacifique Nord pourrait avoir été suffisamment perturbé par des années consécutives d'abondance de saumon rose pour réduire les remontes de saumon en 2020. Nous reconnaissons qu'il existe d'autres

explications possibles, notamment un nouveau régime avec des taux de survie inférieurs à ceux des années récentes.

Nous encourageons d'autres chercheurs à se pencher sur les tendances biennales dans d'autres séries chronologiques du Pacifique Nord et, le cas échéant, à examiner les liaisons mécanistes avec l'abondance du saumon. Parmi les questions intéressantes à examiner, mentionnons l'importance relative des processus ascendants par rapport aux processus descendants dans la détermination de l'abondance des saumons et, puisque les saumons d'écloserie constituent environ 40 % de la biomasse des saumons dans le Pacifique Nord (Ruggerone et Irvine 2018), le rôle que jouent les saumons d'écloserie dans l'écosystème ainsi que la question de savoir si les gouvernements (y compris le Canada) doivent envisager d'apporter des changements aux lâchers d'écloseries.

25.5. Remerciements

Nous remercions Jason Parsley (MPO Nanaimo) pour les estimations préliminaires des prises canadiennes pour 2020 et le secrétariat de la CPAPN pour son aide dans l'établissement des estimations préliminaires des prises pour 2020 au Japon, en Russie et en Alaska.

25.6. Références

- Batten, S.D., Ruggerone, G.T., and Ortiz I. 2018. Pink Salmon induce a trophic cascade in plankton populations around the Aleutian Islands. *Fisheries Oceanography* 27: 548-559. doi: 10.1111/fog.12276.
- Claiborne, A.M., Campbell, L., Stevick, B., Sandell, T., Losee, J.P., Litz, M., and Anderson, J. 2020. Correspondence between scale growth, feeding conditions, and survival of adult Chinook salmon returning to the southern Salish Sea: implications for forecasting, *Progress in Oceanography* 102443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102443>
- Cline, T.J., Ohlberger, J., and Schindler, D.E. 2019. Effects of warming climate and competition in the ocean for life-histories of Pacific salmon. *Nat. Ecol. Evol.* 3: 935–942. doi:10.1038/s41559-019-0901-7. PMID:31133724.
- Connors, B., Malick, M.J., Ruggerone, G.T., Rand, P., Adkison, M., Irvine, J.R., Campbell, R., and Gorman, K. 2020. Climate and competition influence sockeye salmon population dynamics across the Northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 77(6): 943–949. dx.doi.org/10.1139/cjfas-2019-0422.
- Kendall, N.W., Nelson, B.W., and Losee, J.P. 2020. Density-dependent marine survival of hatchery-origin Chinook salmon may be associated with pink salmon. *Ecosphere* 11(4): e03061. info:doi/10.1002/ecs2.3061.
- NPAFC (North Pacific Anadromous Fish Commission). 2020. NPAFC Pacific salmonid catch statistics (updated 21 July 2020). North Pacific Anadromous Fish Commission, Vancouver. Accessed February, 2021. Available: <https://npafc.org/statistics>
- PFMC (Pacific Fishery Management Council). 2021. Review of 2020 Ocean Salmon Fisheries: Stock Assessment and Fishery Evaluation Document for the Pacific Coast Salmon Fishery Management Plan. (Document prepared for the Council and its advisory entities.) Pacific

Fishery Management Council, 7700 NE Ambassador Place, Suite 101, Portland, Oregon 97220-1384.

- Radchenko, V. 2021. Pink and Chum Salmon Stock and Fishery Conditions in Places of Their Intensive Hatchery Propagation. Pages 31-55 in NPAFC Newsletter No. 49 (February 2021), Available: <https://npafc.org/wp-content/uploads/Newsletters/NWSL.49.pdf>
- Ruggerone, G.T., Agler, B.A., Connors, B., Farley, E.V. Jr., Irvine, J.R., Wilson, L., and Yasumiishi, E.M. 2016. Competition between pink and sockeye salmon at sea and its influence on Bristol Bay sockeye salmon forecast error. North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin No. 6: 349-361.
- Ruggerone, G.T., and Connors, B.M. 2015. Productivity and life history of sockeye salmon in relation to competition with pink and sockeye salmon in the North Pacific Ocean. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 72: 818-833.
- Ruggerone, G.T., and Goetz, F. 2004. Survival of Puget Sound Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in response to climate-induced competition with pink salmon (*O. gorbuscha*). Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences 61: 1756-1770.
- Ruggerone, G.T., and Irvine, J.R. 2018. Numbers and biomass of natural- and hatchery-origin pink, chum, and sockeye salmon in the North Pacific Ocean, 1925-2015. Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science 10: 152-168.
- Ruggerone, G.T., Springer, A.M., Shaul, L.D., and van Vliet, G.B. 2019. Unprecedented biennial pattern of birth and mortality in an endangered apex predator, southern resident killer whales in the eastern North Pacific Ocean. Marine Ecology Progress Series 608: 291-296. <https://doi.org/10.3354/meps12835>.
- Ruggerone, G.T., Zimmermann, M., Myers, K.W., Nielsen, J. L., and Rogers D.E. 2003. Competition between Asian pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and Alaska sockeye salmon (*O. nerka*) in the North Pacific Ocean. Fisheries Oceanography 12: 209–219.
- Shaul, L.D., and Geiger H.J. 2016. Effects of climate and competition for off shore prey on growth, survival, and reproductive potential of coho salmon in Southeast Alaska. North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin 6: 329–347.
- Springer, A.M., and van Vliet, G.B. 2014. Climate change, pink salmon, and the nexus between bottom-up and top-down forcing in the subarctic Pacific Ocean and Bering Sea. Proceedings of the National Academy of Sciences 111(18): E1880-E1888. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319089111>.
- Springer, A.M., van Vliet, G.B., Bool, N., Crowley, M., Fullagare, P., Leac, M-A., Monashg, R., Price, C., Vertigan, C., and Woehlerc, E.J. 2018. Transhemispheric ecosystem disservices of pink salmon in a Pacific Ocean macrosystem. Proceedings of the National Academy of Sciences 115(22): E1880-E1888. E5038–E5045. <https://www.pnas.org/content/115/22/E5038>.
- Velez-Espino, A., B. Ramshaw, and S. Hamilton. 2021. Canadian salmon catch and enhanced salmon production 2017–2020. NPAFC Doc. 1941. 13 pp. Available: <https://npafc.org>.

26. TENDANCES RELATIVES À LA TAILLE ET À L'ÂGE DU SAUMON ROUGE DU FRASER (*ONCORYNCHUS NERKA*) JUSQU'EN 2020

Steve Latham¹, Angela Phung², Dejan Brkic³, Catherine Ball⁴, Julie Sellars⁵, Chris Dailey⁶, et Eric Taylor⁷, Commission du saumon du Pacifique, Vancouver, Colombie-Britannique,

¹Latham@psc.org, ²Phung@psc.org, ³Brkic@psc.org, ⁴Ball@psc.org, ⁵Sellars@psc.org,

⁶Dailey@psc.org, ⁷Taylor@psc.org

26.1. Points saillants

- Les saumons rouges du fleuve Fraser ayant atteint la maturité durant les années impaires étaient généralement plus petits que ceux ayant atteint la maturité durant les années paires.
- Les tailles des saumons rouges matures des années paires et impaires ont diminué de manière frappante entre les années 1970 et le début des années 1990, puis ont augmenté au début des années 2000, avant de diminuer à nouveau au cours des années 2010.
- Sur l'ensemble de la série chronologique de plus de 60 ans, 2019 et 2020 se sont classées au dernier rang (pour les années impaires et paires, respectivement) en ce qui a trait à la taille des saumons rouges d'âge en mer 3.

26.2. Description de la série chronologique

Les mesures de la taille du corps des saumons en phase de maturation intègrent probablement les effets ascendants et descendants de leur environnement. Trois séries chronologiques ont été examinées pour évaluer la taille selon l'âge et l'âge à la maturité du saumon rouge du fleuve Fraser. La première était la longueur moyenne (mm) des carcasses dans les frayères. En utilisant uniquement les âges établis à partir des otolithes et un seuil minimum de taille d'échantillon pour chaque sexe et pour chaque stock, les anomalies de longueur standard propres à l'âge et au sexe ont été estimées pour les années de montaison. La moyenne des anomalies a été établie pour les saumons rouges des deux sexes et d'âge en mer 2 et 3. Les méthodes étaient similaires à celles de McKinnell et ses collaborateurs (2012) pour cet ensemble de données, en ajoutant les années récentes et en excluant les résultats de certaines des premières années, dont les estimations pourraient ne pas être fiables. Les stocks qui n'étaient pas bien représentés tout au long de la série chronologique ont également été exclus. La taille minimale des échantillons par sexe était de $n = 20$ pour les saumons rouges d'âge en mer 2 et de $n = 10$ pour les saumons rouges d'âge en mer 3.

La deuxième série chronologique a été recueillie pendant le processus de gestion des pêches (Commission du saumon du Pacifique 2020) pour le saumon rouge du fleuve Fraser. Des échantillons ont été obtenus à partir de captures au filet maillant, à la senne coulissante et au filet de haut fond dans des zones du fleuve Fraser en aval de Mission et dans les détroits de Johnstone, Georgia et Juan de Fuca de 2004 à 2020. Ces données comprenaient des renseignements sur la correspondance du stock, de l'âge, du sexe, de la longueur post-orbitaire jusqu'à la fourche (POF) et du poids, ce qui a permis de calculer le facteur d'état de ces poissons lors de leur montaison dans le fleuve Fraser. Les poissons étaient inclus si leur

identification de stock par l'ADN atteignait à un seuil minimum de confiance (l'identité minimale de stock a posteriori de Bayes était de 50 %), et les combinaisons stock-année n'ont été incluses que pour les stocks avec $n > 10$ spécimens dont le poids et la longueur correspondaient pour chaque sexe et chaque âge (les analyses ont été limitées aux saumons rouges d'âge en mer 2 et d'âge en mer 3). La moyenne des anomalies a été calculée pour les deux sexes. Le coefficient de condition, K , a été calculé en utilisant la longueur POF en millimètres et la masse du poisson en grammes comme suit : $K = (\text{masse du poisson } 10^5) / \text{POF}^3$.

La troisième série chronologique, l'âge à la maturité, comprenait les données sur le recrutement des stocks (total des montaisons estimé par âge pour chaque année d'éclosion) pour les années d'éclosion de 1949 à 2016 pour les stocks de type lacustre et pour les années d'éclosion de 1952 à 2017 pour le saumon rouge de la rivière Harrison, de type marin. La somme des estimations des prises, des échappées et de la mortalité due à la migration dans le fleuve Fraser indique le nombre de recrues. Les proportions de la production de chaque année d'éclosion montant aux âges en mer 1, 2 et 3 ont été calculées à partir de ces estimations pour les années d'éclosion dont la production totale pour ces âges était supérieure à 5 000. Les deux années les plus récentes de données sur les montaisons, 2019 et 2020, étaient basées sur des données préliminaires (sans rajustement après la saison des estimations de la taille des remontes).

26.3. État et tendances

26.3.1. Taille dans les frayères du saumon rouge du fleuve Fraser

Le saumon rouge de la rivière Harrison diffère de la plupart des autres saumons rouges du Fraser en raison de son cycle biologique de type marin, qui ressemble davantage à celui du saumon rose du Fraser (voir Ruggerone et Connors, 2015), ce qui peut entraîner des interactions écologiques plus fortes au début de la vie marine. La longueur dans la frayère du saumon rouge de la rivière Harrison d'âge en mer 2 (figure 26-1a) était similaire pour les années de montaison impaires et paires, mais, dans la dernière partie de la série chronologique, le saumon rouge de la rivière Harrison d'âge en mer 3 (figure 26-1b) qui est remonté durant les années impaires avait tendance à être plus petit que celui qui est remonté durant les années paires.

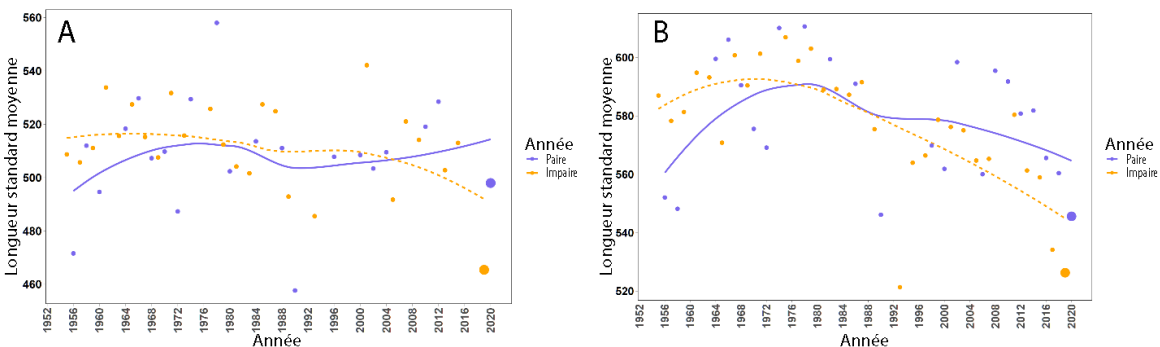


Figure 26-1. Longueurs standard moyennes des saumons rouges de type marin de la rivière Harrison dans leurs frayères. Les valeurs sont des estimations de la moyenne pour les mâles et les femelles pour chaque année, pour les poissons d'âge en mer 2 (graphique A) et d'âge en mer 3 (graphique B), respectivement. Des courbes distinctes ont

été adaptées (à l'aide de la fonction de lissage du modèle Loess dans R) aux moyennes des années de montaison impaires et paires.

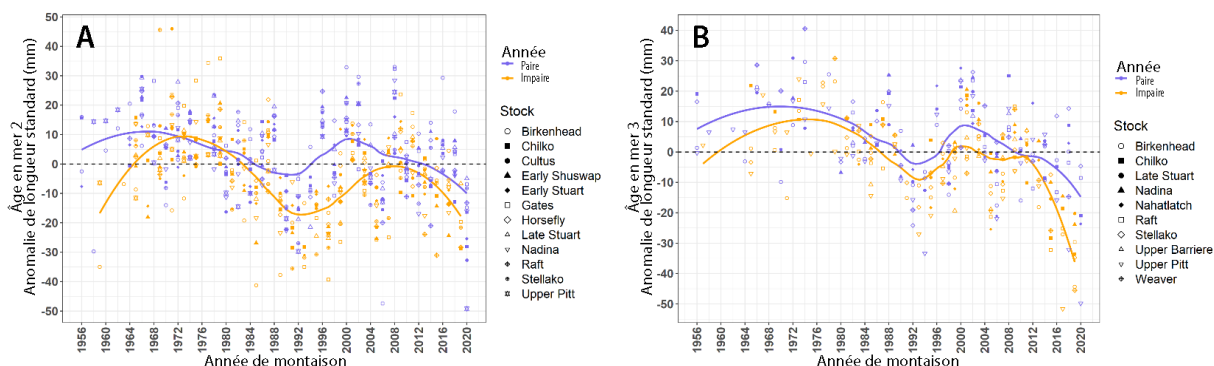


Figure 26-2. Longueurs standard moyennes des saumons rouges de type lacustre du Fraser dans leurs frayères. Les anomalies annuelles ont été calculées par rapport aux moyennes à long terme pour les mâles et les femelles de chaque stock, pour les poissons d'âge en mer 2 (graphique A) et d'âge en mer 3 (graphique B), respectivement. On a ensuite calculé la moyenne de ces anomalies pour les mâles et les femelles, pour chaque année et pour chaque stock, et des courbes de Loess ont été rajustées pour regrouper les anomalies par stock, en résumant séparément les années de montaison impaires et paires.

Comme pour le saumon rouge de la rivière Harrison de type marin, le saumon rouge de type lacustre qui atteignait 3 ans d'âge en mer (figure 26-2b) durant une année impaire avait tendance à être plus petit, mais ce phénomène a également été observé chez les poissons d'âge en mer 2 (figure 26-2a). Les longueurs des saumons rouges du Fraser de type lacustre dans les frayères ont été parmi les plus faibles jamais enregistrées en 2019 et 2020. Les longueurs en 2019 étaient particulières tant pour l'âge en mer 3 (les plus petites dans la série chronologique) que pour l'âge en mer 2 (les quatrièmes plus petites). Les anomalies de longueur moyenne en 2020 étaient plus élevées qu'en 2019, se classant au troisième et au sixième plus bas rangs pour l'ensemble des saumons rouges d'âge en mer 3 et d'âge en mer 2, respectivement, mais elles étaient très faibles pour les années de montaison paires (les plus faibles pour chaque classe d'âge parmi les 32 années paires de la série de données).

26.3.2. Poids et facteur de condition du saumon rouge du Fraser en montaison

Les renseignements sur la correspondance entre le poids et les stocks étaient limités aux années récentes (après l'adoption de la technologie d'ADN pour l'identification des stocks) et à un nombre relativement faible de spécimens de la plupart des stocks. Mais le poids et le facteur d'état du saumon rouge à son approche du fleuve Fraser peuvent être plus révélateurs des conditions marines qu'il a rencontrées que la longueur des poissons qui atteignent finalement les frayères, ce qui confirme l'utilité de créer cette série chronologique. Les poids ont semblé diminuer au cours de la série chronologique (figure 26-3a), ce qui est cohérent avec les estimations de longueur des dernières années, et les poids de 2020 étaient très faibles pour une année paire. Le facteur d'état a moins décliné au cours des années de données disponibles (les facteurs d'état de 2019 et 2020 n'étaient pas aussi anormaux que les poids de ces années-là), mais a plus fortement illustré le modèle biennal (figure 26-3b). Le saumon rouge était plus maigre durant les années impaires.

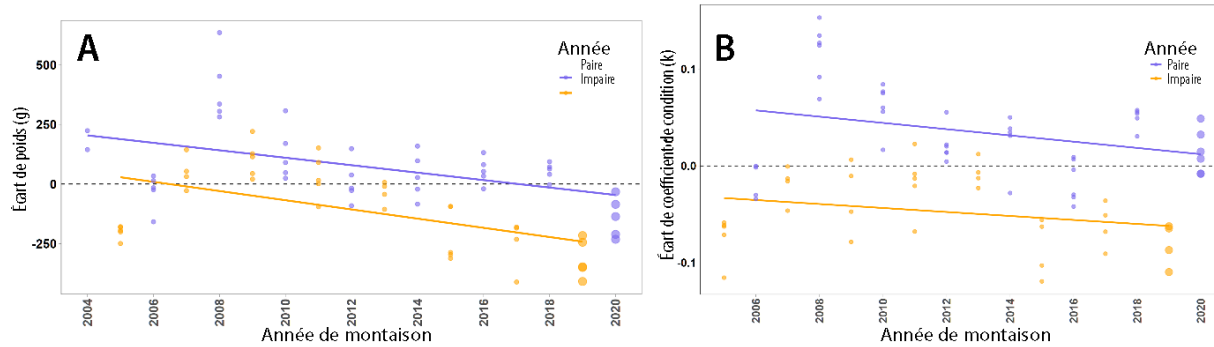


Figure 26-3. Poids moyens (graphique A) et facteurs de condition corporelle (graphique B) des saumons rouges du Fraser capturés dans les pêches et dont le stock a été identifié par analyse d'ADN. Certains stocks répondaient aux exigences relatives à la taille d'échantillon pour l'estimation des anomalies conjointes (« déviations ») dans les catégories d'âge et de sexe sur plusieurs années. Les lignes de régression linéaire simple ont été ajustées séparément pour les estimations des années de montaison impaires et paires; des symboles plus grands ont été utilisés pour 2019 et 2020 pour plus de clarté.

26.3.3. Âge à la maturité du saumon rouge du Fraser

La production estimée des âges auxquels le saumon rouge du Fraser est remonté dans le sud de la Colombie-Britannique variait considérablement d'un stock à l'autre et d'une année à l'autre au sein d'un même stock, mais on a observé dans l'ensemble une transition vers une augmentation de l'âge à la maturité tant chez le saumon rouge de la rivière Harrison de type marin (figure 26-4a) que chez le saumon rouge de type lacustre (figure 26-4b), et tant pour les années d'éclosion impaires que paires. Ce changement a été plus vaste et plus intégral chez le saumon rouge de la rivière Harrison; la transition a semblé plus abrupte pour le saumon rouge de type lacustre, se produisant sur environ 20 ans, des années 1970 aux années 1990. Les montaisons de 2019 et 2020 de saumons rouges d'âge en mer 3 n'étaient pas extrêmes en ce qui a trait au calendrier de maturité par année d'éclosion, mais elles reflétaient le maintien d'un âge à la maturité des saumons rouges de type lacustre plus élevé pour les années d'éclosion impaires par rapport aux années d'éclosion paires. En revanche, on a observé une diminution de cette fluctuation bisannuelle pour le saumon rouge de la rivière Harrison de type marin au cours des dernières années.

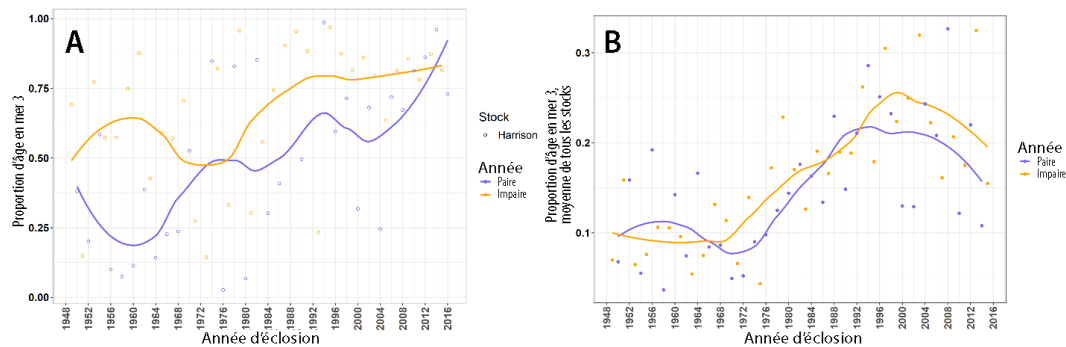


Figure 26-4. Proportion de la production par année d'éclosion arrivant à maturité à l'âge en mer 3 pour les stocks de saumon rouge de la rivière Harrison de type marin (graphique A) et de saumon rouge du Fraser de type lacustre (graphique B), estimée à partir des tableaux stock-recrue, en excluant les années d'éclosion dont les estimations de production sont inférieures à un total de 5 000 recrues pour tous les âges. Les courbes de Loess ont été rajustées comme dans les figures 26-1 et 26-2.

26.4. Facteurs influençant les tendances

Les trois séries chronologiques ont indiqué des déclinés historiques et récents de la taille selon l'âge du saumon rouge du Fraser, une fluctuation bisannuelle où le saumon rouge a tendance à être plus court, plus léger et plus maigre lorsqu'il remonte durant les années impaires, et une maturité plus tardive pour le saumon rouge dont l'année d'éclosion est impaire (potentiellement liée aux fluctuations bisannuelles de la taille observées). Une hypothèse concernant ces tendances porte sur une combinaison d'effets directs et indirects des températures de surface de la mer. L'augmentation des températures marines entraîne une augmentation des besoins métaboliques du saumon rouge (Cox et Hinch 1997) et entraîne également une réduction de l'abondance et de la qualité des ressources alimentaires (MPO 2020). Ces changements peuvent avoir des effets négatifs sur le saumon rouge du Fraser même en l'absence de concurrence avec le saumon rose, mais l'augmentation des températures peut également exacerber les effets relatifs au saumon rose, dont l'abondance générale dans tout l'océan Pacifique Nord a bénéficié de l'augmentation des températures (Connors *et al.* 2020). Nos mises à jour de ces séries chronologiques continuent d'appuyer la théorie d'un effet du saumon rose sur l'âge à la maturité et surtout sur la taille selon l'âge chez le saumon rouge du Fraser, comme indiqué précédemment (voir McKinnell *et al.* 2012; Ruggerone et Connors 2015). En outre, la prédominance croissante du saumon rose des lignées d'années impaires par rapport à celles d'années paires observée dans les données historiques (Irvine *et al.* 2014) pourrait expliquer les différences généralement plus importantes entre les années impaires et paires en ce qui a trait à la taille et à la maturité du saumon rouge du Fraser dans la dernière moitié de la série de données à long terme présentée ici.

Le taux de croissance et les ressources métaboliques peuvent interagir avec les prédispositions héréditaires pour déterminer les calendriers de maturité des individus. La fluctuation bisannuelle des calendriers de maturité confirme l'influence de la croissance marine sur les tendances observées. Les tendances relatives à la taille à la montaison et à l'âge à la montaison du saumon rouge du Fraser de type lacustre n'étaient cependant que généralement cohérentes : les transitions vers des tailles plus petites qui ont commencé dans les années 1970 ont été accompagnées d'une réduction de la maturation à l'âge en mer 1 (non montré) et d'une augmentation de la maturation à l'âge en mer 3 (voir la figure 26-4b). Les changements ultérieurs de taille, qui ont commencé par une augmentation observée dans les années 2000, n'ont pas semblé influencer l'âge à la maturité.

26.5. Conséquences de ces tendances

La taille des saumons est d'une grande importance pour leur valeur, tant dans les pêches que dans les frayères (où la taille des œufs et la fécondité sont fortement liées à la taille du corps, et où le transport des nutriments vers les lieux de naissance depuis l'océan dépend directement de la taille du corps). La taille peut également influencer directement la survie en mer, le succès de la migration vers l'amont et la réussite de la ponte. Dans le golfe du Prince William, on a estimé que la concurrence avec le saumon rose d'élevage réduisait la productivité des populations de saumon rose sauvage d'environ 15 % en raison des réductions de la taille corporelle (voir Wertheimer *et al.* 2004). Le saumon rouge du Fraser et d'autres populations et espèces qui croissent dans le golfe de l'Alaska peuvent également être moins productifs en raison de ce mécanisme.

Chez la plupart des espèces de saumon, les effets négatifs des changements dans taille selon l'âge peuvent être atténués en restant en mer pour une autre année de croissance. Les estimations préliminaires de la taille globale indiquent que le saumon rouge du Fraser est devenu plus petit malgré l'augmentation de son âge à la maturité (CSP, données non publiées). En outre, une maturité retardée peut introduire des effets néfastes supplémentaires, causés par l'année supplémentaire d'exposition aux risques de mortalité marine et par une vitesse réduite de réponse évolutive au changement climatique. Pour le saumon rouge du Fraser, les pressions environnementales entraînant une réduction de la taille selon l'âge et une augmentation de l'âge à la maturité nuisent probablement aux objectifs de gestion.

26.6. Références

- Connors, B., Malick, M.J., Ruggerone, G.T., Rand, P., Adkison, M., Irvine, J.R., Campbell, R., and Gorman, K. 2020. Climate and competition influence Sockeye Salmon population dynamics across the Northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 77: 943–949.
- Cox, S.P., and Hinch, S.G. 1997. Changes in size at maturity of Fraser River Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) (1952–1993) and associations with temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1159–1165.
- DFO. 2020. Integrated Fisheries Management Plan – June 2019 - May 2020. Southern B.C. Salmon. Pacific Region Final. 561 p. <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40799104.pdf>
- Irvine, J.R., Michielsens, C.J.G., O'Brien, M., White, B.A., and Folkes, M. 2014. Increasing dominance of odd-year returning Pink Salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 143: 939-956.
- McKinnell, S.M., Curchitser, E., Groot, C., Kaeriyama, M., and Myers, K.W. 2012. PICES advisory report on the decline of Fraser River Sockeye Salmon *Oncorhynchus nerka* (Steller, 1743) in relation to marine ecology. PICES Sci. Rep. No. 41, 149 p. Available at www.pices.int
- Pacific Salmon Commission. 2020. Report of the Fraser River Panel to the Pacific Salmon Commission on the 2018 Fraser River Sockeye Salmon fishing season. Vancouver, B.C., Canada, 74 p. Available at <https://www.psc.org/publications/annual-reports/fraser-river-panel/>
- Ruggerone, G.T., and Connors, B.M. 2015. Productivity and life history of sockeye salmon in relation to competition with pink and sockeye salmon in the North Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 818–833. [dx.doi.org/10.1139/cjfas-2014-0134](https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0134)
- Wertheimer, A.C., Heard, W.R., Maselko, J.M., and Smoker, W.M. 2004. Relationship of size at return with environmental variation, hatchery production, and productivity of wild Pink Salmon in Prince William Sound, Alaska: does size matter? *Rev. Fish. Biol. Fisher.* 14: 321–334. DOI 10.1007/s11160-004-2942-4

27. TENDANCES DE L'ÉTAT DES STOCKS CANADIENS DE POISSONS DE FOND

Sean C. Anderson¹, Brendan Connors², Philina A. English³, Robyn E. Forrest⁴, Rowan Haigh⁵, Kendra R. Holt⁶

Station biologique du Pacifique, Pêches et Océans Canada, Nanaimo, Colombie-Britannique, ¹Sean.Anderson@dfo-mpo.gc.ca, ³Philina.English@dfo-mpo.gc.ca, ⁴Robyn.Forrest@dfo-mpo.gc.ca

Institut des sciences de la mer, Pêches et Océans Canada, Sidney, Colombie-Britannique, ²Brendan.Connors@dfo-mpo.gc.ca, ⁵Rowan.Haigh@dfo-mpo.gc.ca, ⁶Kendra.Holt@dfo-mpo.gc.ca

27.1. Points saillants

- L'état moyen des stocks de poissons de fond a diminué de 1950 jusqu'à l'an 2000 environ et est resté relativement stable depuis. Le changement survenu autour de l'an 2000 a suivi la mise en place de quotas individuels transférables pour la flottille de chalutiers et le début des relevés synoptiques au chalut.
- Lors de leur dernière évaluation, quatre stocks (morue-lingue du détroit de Georgia [zone 4B], bocaccio de l'ensemble de la côte et sébaste à épineux de l'intérieur et de l'extérieur) avaient une probabilité supérieure à 5 % d'être sous leur point de référence limite (PRL; c.-à-d. dans la « zone critique »); la morue du Pacifique dans la zone 3CD avait une probabilité de 4,6 %.
- Environ un tiers des stocks avaient plus d'une chance sur quatre de se trouver en dessous de leur point de référence supérieur (PRS, c'est-à-dire dans la « zone de prudence »).
- Inversement, les deux tiers des stocks de poissons de fond évalués avaient une probabilité élevée (> 75 %) d'être au-dessus du PRS (c'est-à-dire dans la « zone saine »).

27.2. Relevés sur les poissons de fond indépendants de la pêche

Le MPO effectue une série de relevés aléatoires à l'aide de chaluts de fond, de palangres et de casiers et qui, ensemble, couvrent la côte Pacifique du Canada (Anderson *et al.* 2019). Les relevés synoptiques au chalut dans le bassin Reine-Charlotte (zones 5A et 5B) et dans le détroit d'Hécate (zones 5C et 5D) sont effectués durant les années impaires, tandis que les relevés de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV; zones 3C et 3D) et de la côte ouest de Haïda Gwaii (COHG; zone 5E) sont effectués durant les années paires. En outre, quatre relevés bisannuels à la palangre sur fond dur (RPFDF) sont effectués, deux dans les eaux « intérieures » (à l'est de l'île de Vancouver; zone 4B) et deux autres dans les eaux « extérieures » (partout ailleurs). Enfin, un relevé au casier visant la morue charbonnière est effectué chaque année sur toute la côte et le MPO recueille des renseignements biologiques dans le cadre du relevé à lignes fixes de la Commission internationale du flétan du Pacifique (CIFP). En 2020, seuls le relevé synoptique au chalut de la COHG, le RPFDF extérieur sud, le relevé à lignes fixes de la CIFP et le relevé sur la morue charbonnière ont été effectués. Le relevé synoptique de la COIV n'a pas eu lieu en raison de la COVID-19. Au moment de la rédaction du présent document, les seules données de 2020 disponibles dans les bases de données de relevé du MPO étaient celles de la

COHG et de la morue charbonnière. Pour cette raison, et en raison des changements législatifs décrits ci-dessous, notre rapport de cette année est axé sur le statut biologique des poissons de fond à partir des évaluations de stocks publiées au cours de la dernière décennie.

27.3. Un modèle état/espace de l'état des stocks de poissons de fond

Les récentes modifications apportées à la *Loi sur les pêches* du Canada par l'intermédiaire des [dispositions relatives aux stocks de poissons](#) ont fait en sorte que le MPO se concentre davantage sur l'état des stocks par rapport à des points de référence biologiques. Les modifications sont fondées sur le cadre de l'approche de précaution (AP) du Canada, qui décrit deux points de référence pour l'état des stocks : 1) le point de référence limite (PRL), qui « correspond à l'état d'un stock au-dessous duquel il risque de subir de graves dommages », et 2) le point de référence supérieur (PRS), qui « constitue le seuil du niveau de stock au-dessous duquel il faut progressivement commencer à réduire les prélèvements pour éviter que le PRL ne soit atteint » (MPO 2009; figure 27-1a). Le PRS définit le point de rupture entre la zone saine et la zone de prudence, et le PRL définit le point de rupture entre la zone de prudence et la zone critique (figure 27-1a). Le PRL et le PRS sont souvent calculés en se fondant sur la B_{RMD} (biomasse au rendement maximal durable) aux niveaux provisoires de $0,4B_{RMD}$ et $0,8B_{RMD}$, mais dans d'autres cas, ils peuvent être basés sur des approximations, comme les niveaux historiques moyens ou minimaux de biomasse (p. ex., Forrest *et al.* 2020).

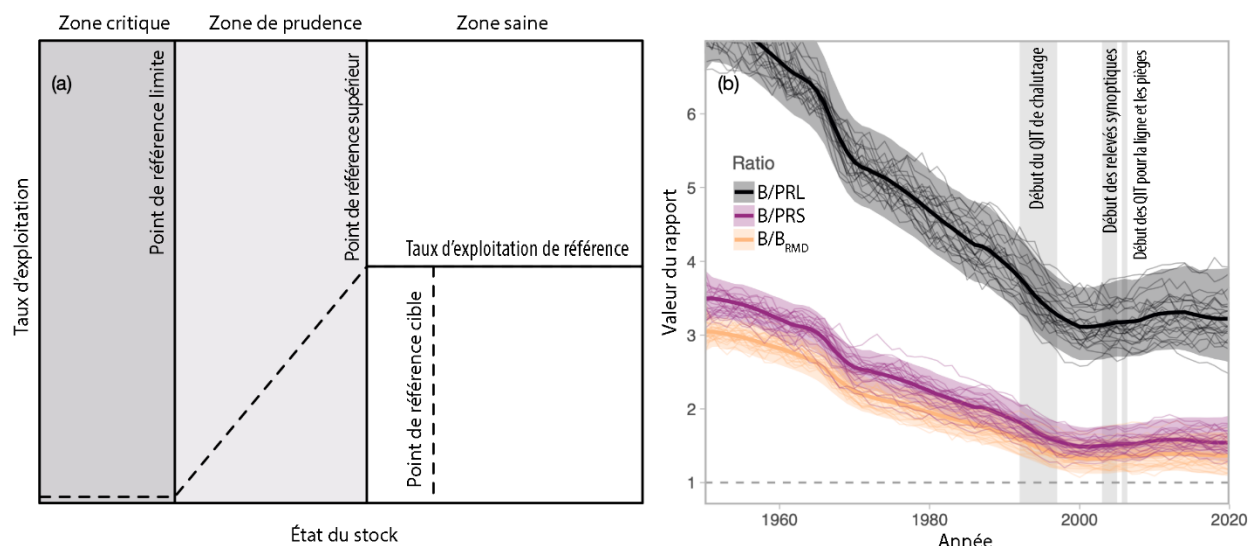


Figure 27-1. (a) Illustration du cadre de l'approche de précaution du MPO. Les deux lignes verticales – le point de référence limite (PRL) et le point de référence supérieur (PRS) – sont au cœur de cette analyse. D'après MPO (2009). (b) État moyen global de la biomasse (x_t) pour tous les stocks pour B/PRL, B/PRS et B/B_{RMD}. Les lignes sombres représentent la médiane, les rubans ombrés représentent les intervalles crédibles dérivés des quantiles à 95 %, et les lignes fines représentent 25 passes indicatives de la distribution a posteriori.

Les scientifiques effectuent des évaluations régulières des principaux stocks de poissons en Colombie-Britannique. Ces évaluations combinent des données dépendant de la pêche (comme les prises commerciales) avec des données indépendantes de la pêche (données provenant de relevés scientifiques) afin d'estimer des quantités comme celle de la biomasse du stock reproducteur, la croissance et la maturité, et de dériver des mesures de l'état du stock et de l'intensité de la pêche. Nous avons rassemblé ici les extraits des évaluations de 24 stocks

représentant la distribution a posteriori bayésienne de la biomasse estimée (B) comparée à trois mesures de l'état des stocks : 1) B/PRL (biomasse divisée par le PRL), 2) B/PRS (biomasse divisée par le PRS), 3) B/B_{RMD} (biomasse divisée par la B_{RMD}). Nous élaborons un modèle hiérarchique bayésien de séries chronologiques état-espace pour explorer les tendances relatives à ces mesures d'état pour tous les stocks jusqu'en 2020. Pour ce faire, nous nous sommes fondés sur un modèle décrit dans Hilborn *et al.* (2020) de deux façons : 1) nous avons intégré l'incertitude de l'état de chaque stock; 2) nous avons projeté l'état latent sous-jacent de chaque stock à la dernière année (2020). Cette projection tient compte du fait que tous les stocks ne disposent pas d'une évaluation à jour et des futurs états possibles des stocks en s'appuyant sur les propriétés des séries chronologiques des trajectoires de stock adaptées.

Nous avons modélisé l'état x logarithmique global du stock (c'est-à-dire de tous les stocks combinés) au moment t en utilisant les équations $x_{t=1} = x_0$ et $x_{t>1} = x_{t-1} + \eta_t$ $\eta_t \sim$ Normale($0, \sigma_\eta^2$), où η_t est un écart de marche aléatoire avec un écart-type de σ_η . Nous avons supposé un modèle d'observation autorégressif :

$$\hat{y}_{j t} \sim \text{Normale}(y_{j t} \hat{\tau}^2)$$

$$y_{j t} = x_t + \alpha_j + \epsilon_{j t} \quad \epsilon_{j t} \sim \text{Normale}(\rho \epsilon_{j t-1} \sigma_\epsilon^2)$$

Où $\hat{y}_{j t}$ est l'état logarithmique moyen du stock pour le stock j et le moment t (d'après une évaluation), $y_{j t}$ est l'état « réel » moyen non observé de ce stock, et $\hat{\tau}$ est l'écart-type de l'état logarithmique moyen d'après une évaluation. Le symbole α_j représente un point d'intersection propre au stock qui est contraint de telle sorte que la somme de tous les α_j est égale à zéro afin de rendre la x_t moyenne globale identifiable. Le symbole $\epsilon_{j t}$ représente un écart autorégressif de premier ordre (AR1) avec une corrélation ρ et un écart-type σ_ϵ . Nous avons placé des a priori semi-normaux (0, 1) sur σ_ϵ et σ_η , des a priori normaux (0, 5²) sur x_0 et α_j , et un a priori normal (0, 1) [-1, 1] sur ρ . Nous avons ajusté les modèles avec Stan (Carpenter *et al.* 2017; Stan Development Team 2020), en échantillonnant 1 000 itérations sur chacune des 6 chaînes et en rejetant la première moitié comme « réchauffement ». Les données et le code permettant de reproduire notre analyse sont disponibles à l'adresse <https://github.com/pbs-assess/gftrends>.

27.4. État et tendances

Parmi les 24 séries chronologiques sur l'état des stocks de poissons de fond comprises dans l'analyse, quatre stocks ont fourni des points de référence historiques pour les conseils de gestion, 18 ont fourni des points de référence basés sur le RMD, et 2 (la fausse limande dans les zones 5AB et 5CD) ont fourni à la fois des points de référence historiques et basés sur le RMD (nous utilisons ici les points basés sur le RMD). Les évaluations les plus récentes concernaient le complexe sébaste à œil épineux/sébaste à taches noires, la morue du Pacifique, le bocaccio, le sébaste aux yeux jaunes intérieur et extérieur, et la morue charbonnière.

Pour l'ensemble des stocks, on a observé un déclin de l'état moyen des stocks pour les trois indices avant l'an 2000 environ (figure 27-1b). La fin des années 1990 et le début des années 2000 ont marqué le début d'un statut moyen relativement stable. Nous avons estimé que la moyenne globale de B/PRL en 2020 serait de 3,2 (intervalle de crédibilité [IC] à 95 % : 2,6 - 3,9). La moyenne globale de B/PRS et de B/B_{RMD} en 2020 était de 1,5 (IC à 95 % : 1,3 -

1,9) et de 1,4 (IC à 95 % : 1,1 - 1,7), respectivement. L'incertitude relative à l'état moyen au cours des dernières années a augmenté parce que les stocks ne disposaient pas tous d'une évaluation à jour (figure 27-1b).

La tendance claire relative à l'état biologique moyen s'est accompagnée de variations considérables au sein des stocks et entre eux (figure 27-2). Au sein des stocks, la morue du Pacifique et la goberge de l'Alaska, dont les durées de génération sont plus courtes que celles

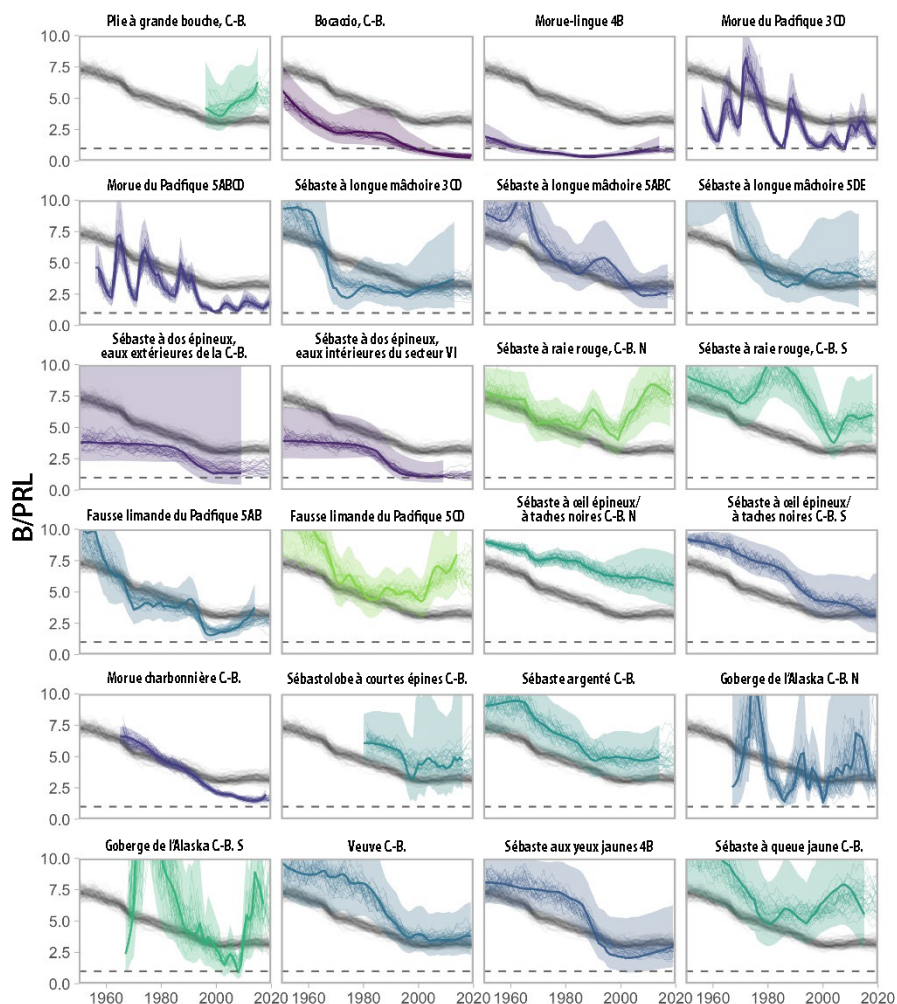


Figure 27-2. Tendances du B/PRL pour 24 stocks de poissons de fond en Colombie-Britannique. Les lignes et rubans de couleur représentent les différents stocks. Les couleurs représentent le ratio lors de la dernière année d'évaluation, les stocks verts étant les plus élevés et les stocks violets étant les plus faibles. Les lignes de couleur foncée et les rubans ombrés représentent les résultats des évaluations des stocks : trajectoires des intervalles crédibles dérivés des quantiles à 95 % de la médiane de B/PRL. Les lignes fines représentent les passes de la distribution a posteriori de y_{jt} (tendances moyennes latentes propres aux stocks; couleurs) et x_t (tendance moyenne globale latente; gris). La tendance moyenne globale (x_t ; gris) est la même dans tous les graphiques (voir la figure 27-1b).

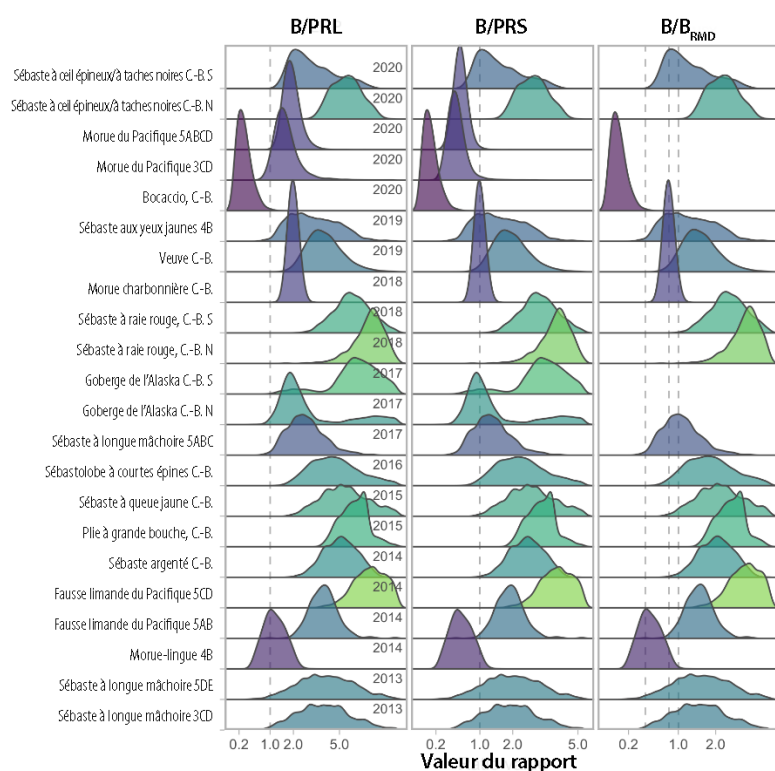
de nombreux autres stocks, présentaient de fortes variations décennales. Parmi les stocks, le sébaste à raie rouge du nord et du sud de la Colombie-Britannique et le sébaste à queue jaune de la côte sont des exemples de stocks dont les trajectoires B/PRL sont constamment supérieures à la moyenne. Inversement, la morue-lingue de la zone 4B et le bocaccio de la côte sont des exemples de stocks dont le B/PRL estimé est constamment inférieur à la moyenne. La morue charbonnière a suivi la trajectoire moyenne de B/PRL jusqu'aux environs de 1990, année à laquelle elle a continué à décliner alors que la moyenne se stabilisait. La trajectoire du stock de morue charbonnière montre des signes d'augmentation depuis environ 2015 en raison d'importants recrutements récents (MPO 2020a; figure 27-2).

La biomasse estimée était supérieure au PLR et au PRS pour la plupart des stocks lors de l'évaluation la plus récente (figure 27-

3). La morue-lingue de la zone 4B et le bocaccio de la côte étaient les seuls stocks (avec des

distributions a posteriori entières disponibles) dont > 5 % de la densité a posteriori était inférieure au PLR lors de leur évaluation la plus récente (figure 27-3). La morue du Pacifique dans la zone 3CD a également presque atteint ce seuil avec une probabilité de 4,6 % pour $B < PRL$ en 2020. L'évaluation du bocaccio prévoyait toutefois que le stock se rétablirait au-dessus du PLR d'ici 2023 en raison d'un événement de recrutement très important en 2016 (MPO 2020b). En ce qui concerne le sébaste à dos épineux, tant dans les eaux extérieures que dans les eaux intérieures, plus de 5 % de la densité a posteriori était inférieure au PLR lors de l'évaluation de 2011, mais la distribution a posteriori entière n'était pas disponible (les quantiles sont indiqués à la figure 27-2). Si l'on prend en compte le PRS plutôt que le PLR, 7/22 des stocks de la figure 27-3 avaient une probabilité supérieure à 25 % d'être en dessous de leur PRS lors de leur évaluation la plus récente.

27.5. Facteurs influençant les tendances



Les facteurs les plus susceptibles d'influencer les tendances illustrées ici ont été les prélèvements par la pêche et les interventions de gestion. La transition d'une baisse des moyennes de B/PRL et de B/PRS à une trajectoire relativement stable a coïncidé avec la mise en œuvre de quotas individuels transférables (QIT) pour la flottille de chalutiers et l'introduction d'une couverture d'observateurs en mer de 100 % au cours de la période de 1992 à 1997 (Turris 2000), ainsi qu'avec le début des relevés synoptiques actuels au chalut en 2003.

Figure 27-3. Distribution a posteriori des trois mesures de l'état des stocks pour 22 des 24 stocks. Les stocks sont classés par ordre d'évaluation, les évaluations les plus récentes se trouvant en haut; les années de la première colonne correspondent à l'année de l'état. Les couleurs représentent la valeur moyenne de B/PRL, le vert étant la plus élevée et le violet la plus faible. Les stocks avec des données manquantes dans la colonne B/B_{RMD} sont des évaluations pour lesquelles des points de référence historiques ont été utilisés au lieu de points de référence basés sur le RMD. Les lignes pointillées verticales correspondent à des valeurs de 1,0 dans toutes les colonnes et à des valeurs de 0,4 et 0,8 dans la colonne B/B_{RMD} (0,4 et 0,8 B_{RMD} sont des valeurs PRL et PRS provisoires dans le cadre de l'AP). L'axe des x a été transformé en racine carrée afin de comprimer légèrement les valeurs de ratio élevées à des fins de visualisation. Dans quelques cas (par exemple, le bocaccio), l'état représente une projection sur un ou deux ans à partir de la dernière année de données disponibles. Les a posteriori entières n'étaient pas disponibles pour les stocks de sébaste à dos épineux, qui sont présentés à la figure 27-2.

En outre, les QIT et la surveillance électronique en mer ont été introduits dans les pêches à la palangre et au casier en 2006 (Stanley *et al.* 2015). À la suite de ces changements majeurs en matière de gestion, le quota de nombreux stocks est resté relativement constant au cours des deux dernières décennies (MPO 2019). Les tendances décennales relatives à l'état évalué de la morue du Pacifique (Forrest *et al.* 2020) et de la goberge (Starr et Haigh, sous presse) au cours des premières décennies sont largement déterminées par les tendances des prises commerciales et des captures par unité d'effort. On croit que la faiblesse constante du recrutement depuis plusieurs décennies est le principal facteur à l'origine du déclin des stocks de certains sébastes, comme le bocaccio (MPO 2020b), bien que les données soient limitées pour de nombreux stocks et qu'il existe donc une grande incertitude quant aux tendances en matière de recrutement, qui peuvent être confondues avec d'autres facteurs, comme les changements en matière de gestion mentionnés plus haut. En termes d'état absolu du stock, les estimations de B_{RMD} pour les espèces dont les données sont limitées peuvent être très incertaines, ou dans certains cas biaisées (Forrest *et al.* 2018).

Les interactions entre les espèces et les conditions climatiques peuvent également avoir un effet sur les tendances relatives à la densité de la biomasse locale de ces espèces. On a émis l'hypothèse que la perte d'habitat de fraie due aux récentes conditions océanographiques a entraîné des années de faible recrutement chez certains poissons de fond (par exemple, la morue du Pacifique dans les eaux proches de l'Alaska; Laurel et Rogers 2020). À l'inverse, après des décennies de faible recrutement, le bocaccio a connu une année de recrutement extrêmement fort (44 fois la moyenne pour le bocaccio en 2016; MPO 2020b) peut-être en raison de la disponibilité d'eau riche en oxygène en profondeur pendant la gestation (Schroeder *et al.* 2019). Le lent rétablissement de la morue-lingue de la zone 4B depuis les déclinés initiaux causés par la pêche entre les années 1930 et 1980 peut être le résultat de changements dans l'écosystème du détroit de Georgia (p. ex. moment de la prolifération du plancton, pinnipèdes; MPO 2015). Sous-tendant ces tendances au niveau des stocks, des travaux récents laissent entendre que la vitesse de température – la vitesse à laquelle un poisson doit se déplacer pour maintenir une température constante – pourrait être liée à une redistribution à petite échelle de la densité des espèces de poissons de fond dans les eaux du Pacifique canadien (English *et al.* 2021).

27.6. Conséquences de ces tendances

Le Cadre pour la pêche durable et les dispositions relatives aux stocks de poissons de la *Loi sur les pêches* exigent que les principaux stocks de poissons soient maintenus au-dessus de leur PRL avec une forte probabilité. Les stocks inférieurs à leur PLR nécessiteront un plan de rétablissement. Bien que l'état moyen des stocks soit manifestement supérieur au PLR en 2020, il existe des variations considérables entre les stocks. Quatre stocks avaient une probabilité supérieure à 5 % d'être en dessous de leur PLR et environ un tiers des stocks évalués avaient une probabilité supérieure à 25 % d'être dans la zone de prudence, où les prélèvements doivent être progressivement réduits pour éviter d'atteindre le PLR. Le rétablissement et la gestion préventive des stocks dans les zones critiques et de prudence, respectivement, devraient contribuer à garantir que l'état des stocks s'améliore au fil du temps grâce à la réduction de la pression de pêche et à des conditions environnementales favorables, si et quand elles se produisent.

27.7. Références

- 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.
- Carpenter, B., Gelman, A., Hoffman, M.D., Lee, D., Goodrich, B., Betancourt, M., Brubaker, M., Guo, J., Li, P., and Riddell, A. 2017. Stan: A Probabilistic Programming Language. J. Stat. Softw. 76(1).
- DFO. 2009. A fishery decision-making framework incorporating the Precautionary Approach <https://www.dfo-mpo.gc.ca/reports-rapports/regs/sff-cpd/precaution-back-fiche-eng.htm>.
- DFO. 2015. Stock assessment for Lingcod (*Ophiodon elongatus*) for the Strait of Georgia, British Columbia in 2014. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2015/014.
- DFO. 2019. Pacific Region Integrated Fishery Management Plan. Groundfish. Effective February 21, 2019 <https://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/mplans/ground-fond-ifmp-pgip-sm-eng.html>.
- DFO. 2020a. Evaluating the robustness of candidate management procedures in the BC Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fishery for 2019–2020. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Res. 2020/025.
- DFO 2020b. Bocaccio (*Sebastes paucispinis*) stock assessment for British Columbia in 2019, including guidance for rebuilding plans. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep 2020/025.
- English, P.A., Ward, E.J., Rooper, C.N., Forrest, R.E., Rogers, L.A., Hunter, K.L., Edwards, A.M., Connors, B.M., and Anderson, S.C. 2021. Contrasting climate velocity impacts in warm and cool locations: A meta-analysis across 38 demersal fish species in the northeast Pacific. EcoEvoRxiv Preprint. <https://doi.org/10.32942/osf.io/b87nq>.
- Forrest, R.E., Anderson, S.C., Grandin, C.J., and Starr, P.J. 2020. Assessment of Pacific Cod (*Gadus macrocephalus*) for Hecate Strait and Queen Charlotte Sound (Area 5ABCD), and West Coast Vancouver Island (Area 3CD) in 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/70.
- Forrest, R.E., Holt, K.E., and Kronlund, A.R. 2018. Performance of alternative harvest control rules for two Pacific groundfish stocks with uncertain natural mortality: Bias, robustness and trade-offs. Fisheries Research 206: 259–286.
- Hilborn, R., Amoroso, R.O., Anderson, C.M., Baum, J.K., Branch, T.A., Costello, C., de Moor, C.L., Faraj, A., Hively, D., Jensen, O.P., Kurota, H., Little, L.R., Mace, P., McClanahan, T., Melnychuk, M.C., Minto, C., Osio, G.C., Parma, A.M., Pons, M., Segurado, S., Szuwalski, C.S., Wilson, J.R., and Ye, Y. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. Proceedings of the National Academy of Sciences 117(4): 2218–2224.
- Laurel, B.J., and Rogers, L.A. 2020. Loss of spawning habitat and prerecruits of Pacific cod during a Gulf of Alaska heatwave. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 77(4): 644–650.

- Schroeder, I.D., Santora, J.A., Bograd, S.J., Hazen, E.L., Sakuma, K.M., Moore, A.M., Edwards, C.A., Wells, B.K., and Field, J.C. 2019. Source water variability as a driver of rockfish recruitment in the California Current Ecosystem: implications for climate change and fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 76: 950–960.
- Stan Development Team. 2020. RStan: The R interface to Stan. <https://CRAN.R-project.org/package=rstan>
- Stanley, R.D., Karim, T., Koolman, J., and McElderry, H. 2015. Design and implementation of electronic monitoring in the British Columbia groundfish hook and line fishery: a retrospective view of the ingredients of success. *ICES J. Mar. Sci.* 72(4): 1230–1236.
- Starr, P.J., and Haigh, R. 2019. Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) stock assessment for British Columbia in 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. In press.
- Turris, B.R. 2000. A comparison of British Columbia's ITQ fisheries for groundfish trawl and sablefish: Similar results from programmes with differing objectives, designs and processes. *FAO Fisheries Technical Paper* (No. 404/1): 254–261. Food and Agriculture Organization (FAO).

28. 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

28.1. Points 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 de 2018 à 2020.
- En 2019 et 2020, les différences de CPUE entre la zone économique exclusive (ZEE) canadienne du Pacifique et la ZEE américaine étaient plus faibles que pour la plupart des années précédentes.
- Les CPUE sont significativement et positivement corrélées avec les indices de l'oscillation du tourbillon du Pacifique Nord (OTPN) dans les ZEE canadienne et américaine dans le Pacifique.

28.2. 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 extracôtières adjacentes, 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 les ZEE canadiennes et américaines, et les données de séries chronologiques présentées ici ont été obtenues à partir 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 canadiens 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 %). 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.

28.3. 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 à ce niveau 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 depuis la chute drastique de 2017 (figure 28-1A). 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. Les CPUE ont également grandement diminué en 2016 et 2017, mais ont augmenté de 2018 à 2020 (figure 28-1B). Les ratios des CPUE dans la ZEE

canadienne par rapport aux CPUE dans la ZEE américaine ont présenté une variation substantielle entre 1996 et 2020, même s'ils étaient tous inférieurs à un (figure 28-2). Ce ratio était supérieur à 0,9 en 2002, 2005, 2010 et 2019. Bien que ce ratio ait diminué pour atteindre 0,82 en 2020, il était encore considérablement plus élevé que la moyenne générale de 0,70.

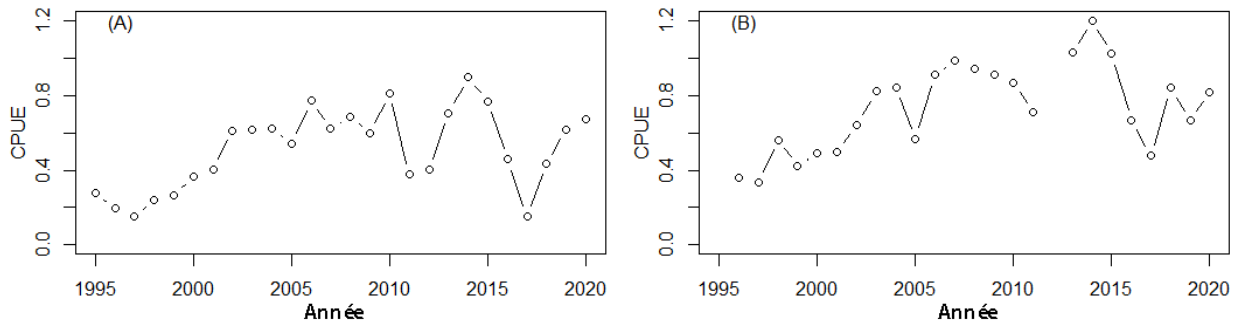


Figure 28-1. Captures annuelles par unité d'effort (CPUE) dans la ZEE canadienne (A) et la ZEE américaine (B) pour la pêche canadienne.

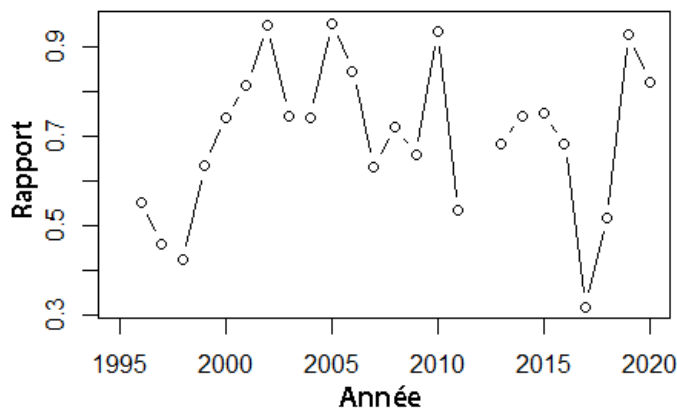


Figure 28-2. Ratio entre les CPUE annuelles dans la ZEE canadienne et les CPUE annuelles dans la ZEE américaine pour la pêche canadienne.

28.4. 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 OTPN. La figure 28-3 illustre les relations entre les CPUE et l'indice OTPN trois ans plus tôt.

L'indice OTPN 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 OTPN pourrait avoir une certaine influence positive sur l'abondance du thon blanc dans l'est de l'océan Pacifique.

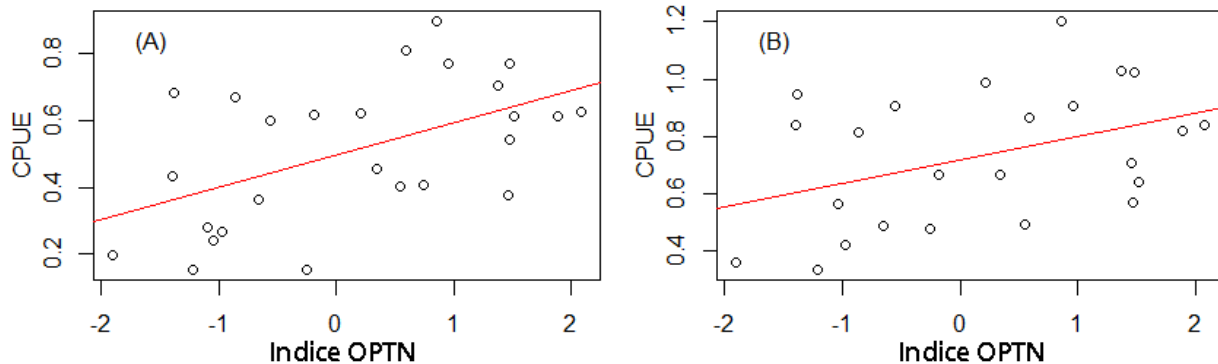


Figure 28-3. Corrélation entre les moyennes annuelles des indices OTPN trois ans auparavant et les CPUE dans la ZEE canadienne (A) et dans la ZEE américaine (B) pour la pêche canadienne.

28.5. 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 trois 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.

28.6. Références

- 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.

29. UN CADRE DE SURVEILLANCE PROPOSÉ POUR LA ZONE DE PROTECTION DU MONT SOUS-MARIN SGAAN KINGLAS-BOWIE

Laís Chaves¹, Cherisse Du Preez², Tammy Norgard², et Kelly Swan²

¹Conseil de la Nation Haïda, Haïda Gwaii, Colombie-Britannique, lais.chaves@haidanation.com

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

29.1. Points 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 Kinghla-Bowie (ZPM SK-B). Le Conseil de la Nation Haïda et l'équipe technique du MPO élaborent actuellement un cadre de surveillance utilisant un processus d'examen par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS).
- Ce cadre comprendra les récents travaux sur le terrain et les processus du SCAS menés par les scientifiques du MPO, ainsi que de nouvelles approches en matière de surveillance écologique. Il fournira une feuille de route pour éclairer le futur plan de surveillance de la ZPM SK-B, et devrait être terminé à l'automne 2021.

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

En 1997, le mont sous-marin SGAan Kinghla a été désigné comme zone de protection de la Nation Haida. En 2008, le mont sous-marin SGAan Kinghla-Bowie (SK-B) et 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 Conseil de la Nation Haïda) 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). L'importance écologique et la protection de ces monts sous-marins présentent un intérêt pour communauté mondiale des spécialistes des sciences de la mer et des protecteurs de l'environnement.

29.3. Avis scientifiques pour un plan de surveillance

L'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de surveillance pour cette zone 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. C'est pourquoi un cadre de surveillance est en cours d'élaboration et sera publié sous forme de publications du SCAS examinées par des pairs (avis scientifique et le document de travail; DRAS 2016OCN03). Il devrait être achevé à l'automne 2021 et couvrira les objectifs suivants :

- Examiner l'état des connaissances de base sur l'écosystème de la ZPM SK-B.
- Définir les buts et objectifs de conservation décrits dans le plan de gestion de la ZPM de SK-B.
- Proposer des indicateurs, des protocoles et des stratégies de suivi pour la collecte et l'analyse des données.
- Les changements anticipés (p. ex., les menaces perçues, les rétablissements).

- Élaborer un cadre de surveillance qui pourra être utilisé pour déterminer si la ZPM est efficace pour atteindre les objectifs de conservation.
- Évaluer le cadre de surveillance par rapport aux objectifs de conservation décrits dans le plan de gestion de la ZPM de SK-B.
- Examiner et définir les incertitudes.

29.4. Examen par les pairs du SCAS et autres processus éclairant le cadre de surveillance de la ZPM de SK-B

Le cadre de surveillance de la ZPM de SK-B inclura les renseignements pertinents fournis par les récents avis scientifiques menés par le MPO (novembre 2020 à janvier 2021), liés à la surveillance des grands fonds, et dans le contexte des objectifs de conservation de la ZPM SK-B (voir tableau 29-1). D'autres processus et publications récentes seront également pris en compte pour cet avis scientifique, comme les informations et les leçons tirées des aires de conservation des sébastes (ACR) de la région du Pacifique, la surveillance des activités humaines et de pêche (Dunham *et al.* 2020), et les indicateurs de changement climatique (Lacarella *et al.* 2020, et le récent atelier mené par le MPO sur le changement climatique et les ZPM, qui s'est tenu du 16 au 18 février 2021).

Tableau 29-1. Processus et ateliers récents du MPO et leur pertinence pour le cadre de surveillance de la ZPM de SK-B.

PROCESSUS RÉCENT D'EXAMEN PAR LES PAIRS DU SCAS	PERTINENCE POUR LE CADRE DE SURVEILLANCE DE LA ZPM DE SK-B
1. Zones importantes situées sur des monts sous-marins dans la biorégion de la zone extracôtière du Pacifique et zone de protection marine extracôtière proposée du Pacifique, Canada <i>*Rédigé conjointement par Cherisse Du Preez et Tammy Norgard</i>	1) Fournit des renseignements de base sur les 62 monts sous-marins extracôtiers de la Colombie-Britannique; 2) un résumé des données existantes; 3) comment les monts sous-marins de SK-B se comparent à tous les autres; 4) établissement des zones importantes/représentatives sur les monts sous-marins de SK-B.
2. Un cadre national de surveillance des zones d'éponges et de coraux définies comme autres mesures de conservation efficaces par zone	1) Fournit la terminologie et le flux de travail; 2) la méthode de sélection des indicateurs (état et stress); 3) des exemples de bons indicateurs pour le corail et les éponges; 4) ce dont il faut tenir compte pour les outils, les techniques et les méthodes.
3. Examen de la surveillance de la zone de protection marine du Gully	1) 10 ans d'expérience en matière de surveillance; 2) les facteurs et limites dans les conditions réelles; 3) les prochaines étapes; 4) l'importance et la nécessité des portails de données.
4. Atelier : Intégration des changements climatiques dans la conception, la surveillance et la gestion des zones de protection marine et des réseaux de conservation marine au Canada	1) Examen des renseignements actuels relatifs aux répercussions des changements climatiques sur les écosystèmes marins et la manière dont les changements climatiques ont été pris en compte dans la gestion des zones de protection marine (ZPM), tant à l'échelle nationale qu'internationale.

2) Proposition d'une voie à suivre concrète et de recommandations sur la manière dont le changement climatique peut être pris en compte dans la conception, le suivi et la gestion continue.

Le cadre de surveillance vise à fournir une approche par étapes (figures 29-1 et 29-2), avec des options relatives aux indicateurs et à la méthodologie pour éclairer l'élaboration du plan de surveillance de la ZPM de SK-B. Il comporte une série de tableaux, l'un menant au prochain à la manière d'une histoire « choisissez votre aventure », où les facteurs décisifs comprendront également des considérations relatives à la faisabilité pour la mise en œuvre (c.-à-d. les données de référence existantes, le coût, la fiabilité, etc.).

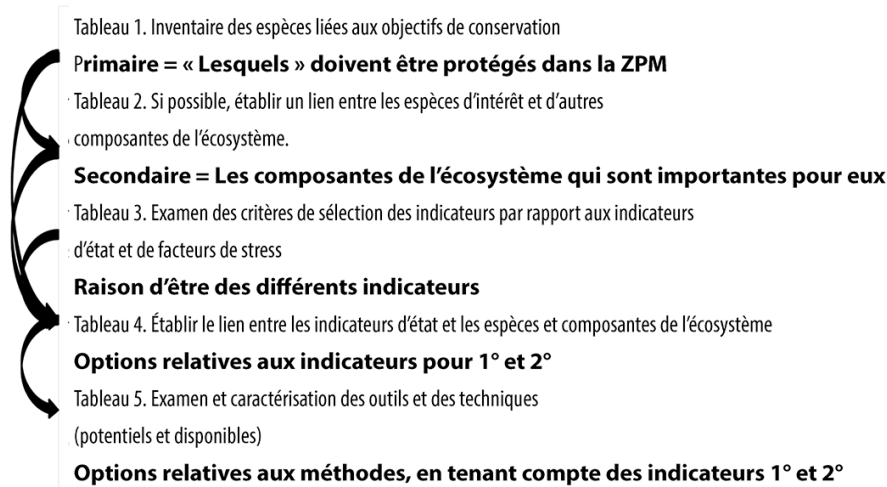


Figure 29-1. Approche par étapes pour la sélection des indicateurs et des méthodologies.

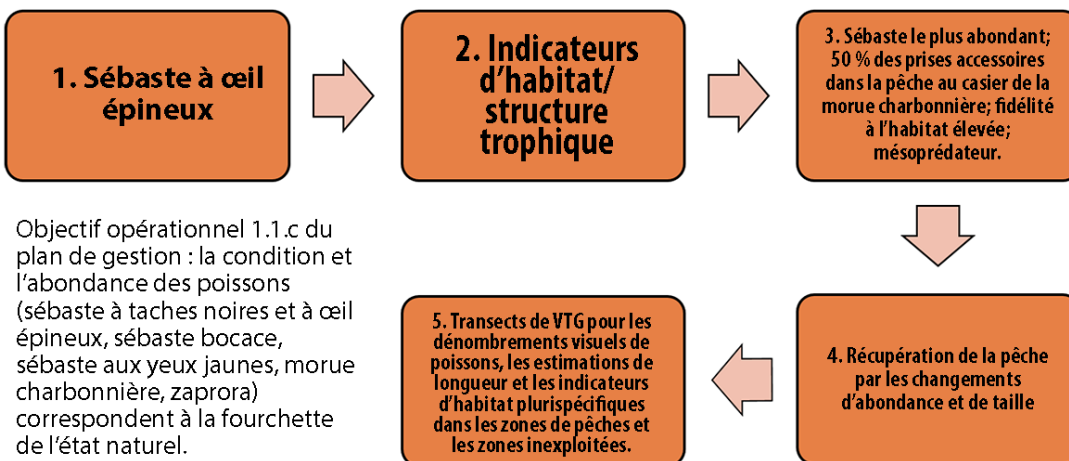


Figure 29-2. Exemple d'approche par étapes concernant l'objectif opérationnel décrit dans le plan de gestion de SK-B.

29.5. Référénce

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

Dunham, A., Dunham, J.S., Rubidge, E., Iacarella, J., and Metaxas, A. 2020. Contextualizing ecological performance: Rethinking monitoring in marine protected areas. *Aquatic Conservation* 30(10): 2004-11.

Iacarella, J., Lyons, D.A., Burke, L., Davidson, I.C., Therriault, T.W., Dunham, A., and DiBacco, C. 2020. Climate change and vessel traffic create networks of invasion in marine protected areas. *Journal of applied ecology* 57(9):1793-1805.

30. ÉVÉNEMENTS INHABITUELS SURVENUS DANS LES EAUX MARINES DU PACIFIQUE CANADIEN EN 2020

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

¹ Pêches 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.

30.1. Points 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.
- Parmi les événements inhabituels signalés en 2020, citons : des espèces inhabituelles qui sont normalement des espèces d'eau chaude (barracuda et dauphin bleu), des mortalités massives de krill, et quelques observations d'espèces rarement observées.

30.2. 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, dans l'espace, et par les 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 2020 qui ont été observés par le personnel scientifique du MPO ou qui lui ont été signalés. Certains peuvent être inclus dans d'autres rapports de ce document, mais d'autres observations peuvent ne pas être présentées en détail, ou ne pas être présentées du tout. En outre, les participants ont été invités 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.

30.3. État et tendances

Les observations en 2020 qui ont été rapportées au MPO par les participants à l'atelier sur l'état de l'océan Pacifique en 2021 sont présentées dans le tableau 30-1. Pendant le confinement initial lié à la COVID-19, les niveaux de pression acoustique dans le détroit de Georgia (près de Nanaimo) ont été réduits de 86 % (tableau 30-1). Des espèces inhabituelles qui sont normalement des espèces d'eau chaude ont été observées en Colombie-Britannique en 2020, notamment un barracuda dans le bras de mer Alberni et un dauphin bleu à Haida Gwaii. Un roi-

des-saumons s’est échoué sur le rivage près de Sooke; cette espèce se trouve dans les eaux de la Colombie-Britannique, mais il s’agit d’une espèce d’eau profonde, donc c’était un événement inhabituel. Un renard marin commun a été observé au large de la côte ouest de l’île de Vancouver – une observation rare. Le groupe A5 d’épaulards a été observé dans l’archipel Broughton pour la première fois depuis plus de 20 ans. Des mortalités massives de krill et de perchaudes ont été signalées à quelques endroits. Des poissons-lunes se trouvent dans les eaux de la Colombie-Britannique et on avait présumé qu’il s’agissait d’une seule espèce; toutefois, une étude récente a montré que certains poissons-lunes que l’on croyait auparavant appartenir à l’espèce *Mola mola* ont été réidentifiés comme étant des *Mola tecta*. Une autre étude récente a montré que, dans l’ensemble, l’abondance d’une espèce de ver parasite a augmenté (Fiorenza *et al.* 2020).

Tableau 30-1. Observations d’événements marins étranges, merveilleux ou inhabituels signalés en 2020 ou rapportés lors de la réunion sur l’état de l’océan Pacifique de 2021.

Événement	Lieu	Date	Signalé par	Description (brève)
Épisode de mortalité du krill	Plage à Sechelt	Mars 2020	Ian Perry (MPO)	Grande quantité de krill mort.
Bruit réduit	Île Snake (près de Nanaimo)	Avril 2020	Dana Haggarty (MPO), <i>et al.</i>	Niveaux de pression acoustique réduits de 86 % par rapport à avril 2019, en raison du confinement lié à la COVID.
Dauphin bleu échoué	Haida Gwaii	6 mai 2020	Alex Rinfret (découvreur), Karissa Gall (journaliste de l’Initiative de journalisme local)	Espèces d’eau chaude. Première observation jamais enregistrée d’un dauphin bleu au nord de l’île de Vancouver. Seul un autre dauphin bleu a été observé en train de nager dans les eaux de la Colombie-Britannique en septembre 2019.
Barracuda capturé	Bras Alberni	13 juillet 2020	Tyler Vogrig (pêcheur), Binny Paul (journaliste de l’Initiative de journalisme local)	Les pêcheurs l’ont attrapé pendant le programme d’essais du saumon pour le MPO. Poisson prédateur, se trouvant généralement dans les eaux tropicales et subtropicales. Une autre observation dans les registres, le long de la côte est du Pacifique Nord, le 27 juillet 1904.

<i>Mola mola</i>	Eaux intérieures au large de Painter's Lodge, Campbell River	18 août 2020	Mike Morley	Pris par un pêcheur sportif.
<i>Mola tecta</i> (poisson-lune trompeur)	Nord-est du Pacifique, y compris la Colombie-Britannique	2020	Marianne Nyegaard (scientifique), Jade Prevost-Manuel (CBC)	Un certain nombre de poissons-lunes que l'on croyait être des <i>Mola mola</i> ont été réidentifiés comme étant des <i>Mola tecta</i> . Des photos ont été prises pour faciliter l'identification.
Épisode de mortalité de la perchaude	Rivière Powell	7 sept. 2020	Ed Oldfield	Des milliers de perchaudes (au même emplacement que l'épisode de mortalité de krill en avril 2019).
Roi-des-saumons échoué sur le rivage	Whiffin Spit, près de Sooke	22 sept. 2020	Dana LeCompte (découvreuse), Darron Kloster (Times Colonist)	Espèce rare de poisson-ruban, roi-des-saumons (<i>Trachipterus altivelis</i>), une espèce d'eau profonde; répartition : du Chili à l'Alaska.
Krill échoué	Plage de la pointe Neck, Nanaimo	28 sept. 2020	Jennifer Boldt (MPO)	Grand nombre de <i>Thysanoessa spinifera</i> récemment échoués (la plupart encore vivants).
Renard marin commun	Au large de la côte ouest de l'île de Vancouver (49.07222, -126.48675)	7 oct. 2020	Erika Anderson	<i>Alopias vulpinus</i> de 4,6 m capturé et relâché vivant lors des essais de filets en mer.
Des épaulards du groupe A5 sont retournés dans l'archipel Broughton.	Île de Vancouver - Nord	5 janv. 2020	Jared Towers (MPO), Zoe Ducklow (Black Press)	Le groupe A5 est retourné dans l'archipel Broughton, son terrain de chasse hivernal traditionnel, avec un bébé; la première fois en plus de 20 ans.

Augmentation de l'abondance d' <i>Anisakis</i> spp.	Global	1962-2015	Fiorenza <i>et al.</i> 2020, Global Change Biology https://doi.org/10.1111/gcb.15048	Les nématodes Anisakidae provoquent des maladies et sont transmis à l'homme dans les fruits de mer crus ou insuffisamment cuits.
---	--------	-----------	--	--

30.4. Facteurs influençant les tendances

Les facteurs qui ont pu influencer ces événements sont un climat changeant, des changements naturels dans les populations et des pressions découlant des activités anthropiques. La maladie est un facteur potentiel de mortalité, mais elle est 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.

30.5. Références

- Fiorenza, E.A., Wdndt, C.A., Dobkowski, K.A., King, T.L., Pappaionou, M., Rabinowitz, P., Samhuri, J.F., and Wood, C.L. 2020. It's a wormy world: Meta-analysis reveals several decades of change in the global abundance of the parasitic nematodes *Anisakis* spp. and *Pseudoterranova* spp. In marine fishes and invertebrates. *Glob. Change Biol.* 26: 2854-2866.
- 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.

31. NGCC SIR JOHN FRANKLIN : LE NOUVEAU NAVIRE HAUTURIER DE SCIENCES HALIEUTIQUES DE LA RÉGION DU PACIFIQUE

Stéphane Gauthier

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

31.1. Points saillants

- Le NGCC Sir John Franklin, accepté le 29 juin 2019, est le nouveau navire hauturier de sciences halieutiques de Pêches et Océans Canada pour la région du Pacifique.
- Trois missions scientifiques ont été menées à bien en 2020.
- Le navire dispose d'un large éventail de capacités pour le prélèvement d'échantillons liés aux pêches et à l'océanographie, ce qui continuera à favoriser de nouvelles séries chronologiques scientifiques sur la pêche le long de notre côte.

31.2. Description

Le navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Sir John Franklin* est le nouveau navire hauturier de sciences halieutiques (NHS) de la région du Pacifique. Il remplace le NGCC *W.E. Ricker*, qui a effectué sa dernière mission scientifique en août et septembre 2016, après plus de 30 ans de relevés et de recherches en sciences halieutiques pour le gouvernement du Canada. Le NGCC *Sir John Franklin* a été le premier de trois NHS construits à Vancouver. La construction a commencé en 2015 et le navire a été accepté le 29 juin 2019. Après une série de tests, des exercices et la familiarisation avec le navire, le NGCC *Sir John Franklin* a effectué avec succès trois missions scientifiques en 2020, dont la première consistait en des essais d'engins et d'instruments pour la recherche sur le merlu du Pacifique (*Merluccius productus*) et la faune associée (le présent rapport), suivie de deux relevés sur le saumon du Pacifique (voir les rapports de Neville, section 40, et d'Anderson, section 22).



Figure 31-1. Le NGCC Sir John Franklin à l'Institut des sciences de la mer, baie Patricia, Sidney, Colombie-Britannique (source de la photo : S. Gauthier).

La première mission du NGCC *Sir John Franklin* en août 2020 comprenait une série de tests et d'étalonnages d'instruments, ainsi que des transects de relevé et des recherches en eau libre. L'étalonnage des instruments acoustiques et les déploiements pratiques des instruments océanographiques ont eu lieu dans le bras de mer Saanich, et ont été suivis par la collecte de données acoustiques le long de transects et d'échantillons biologiques scientifiques au moyen de chaluts au large de la côte ouest de l'île de Vancouver, le long de l'accroche du plateau entre le canyon de Barkley et la pente Clayoquot.

Le nouveau navire est équipé d'outils de pêche acoustiques de pointe, y compris un système d'échosondeur à large bande Simrad EK80 à 6 fréquences et d'un sonar à balayage latéral et multifaisceaux à haute résolution MS70, installés sur un système de quille de sécurité. Le navire est également équipé d'un profileur de courant à effet Doppler acoustique (PCDA, Teledyne), d'un système de positionnement acoustique de haute précision (HIPAP Simrad), d'un échosondeur bathymétrique Simrad EA600 et d'un sonar de détection de poissons à longue portée Simrad SX90. Cet assortiment d'outils scientifiques offrira des possibilités uniques d'améliorer les sciences de la pêche et les évaluations des écosystèmes.

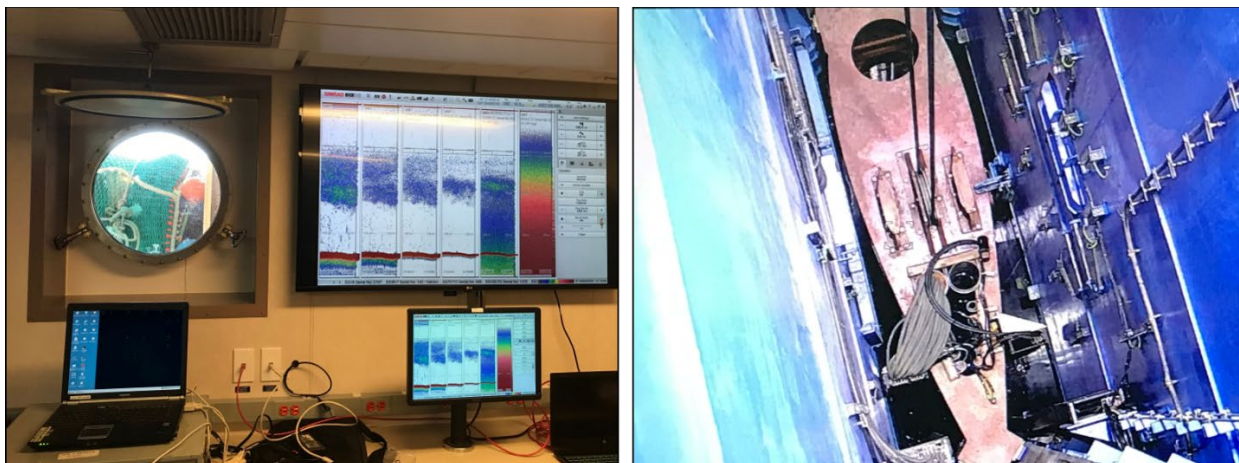


Figure 31-2. Présentation de l'échosondeur scientifique (SIMRAD EK80) dans le laboratoire de contrôle du NGCC Sir John Franklin, ainsi qu'un aperçu de la chambre contenant la quille de sécurité au centre du navire. La quille en forme de lame abrite les 6 transducteurs de l'échosondeur scientifique Simrad EK80, ainsi que le sonar multifaisceaux MS70 à balayage latéral. La quille de sécurité peut être déployée pour amener les transducteurs de l'échosondeur sous la coque du navire et pour faire fonctionner le sonar multifaisceaux.

Un chalutage pélagique ciblé a été effectué à l'aide d'un filet pélagique Cantrawl 250 sur des couches de diffusion pélagiques détectées entre 50 et 280 m de profondeur, prélevant des échantillons d'une large gamme d'espèces pélagiques allant des poissons-lanternes au merlu du Pacifique et à la goberge de l'Alaska. En plus d'effectuer des chalutages à l'aide d'une gamme d'engins de profondeur, pélagique et de surface, le NGCC *Sir John Franklin* est équipé de deux systèmes de lancement et de récupération (SLR) sur le côté tribord. L'un de ces systèmes est dédié à une rosette conductivité, température et profondeur (CTP), tandis que la section arrière peut être utilisée pour déployer divers filets à plancton et autres instruments ou systèmes de largage. Au cours de cette première mission, nous avons déployé avec succès des paires de filets Bongo et remorqué un plus grand système d'échantillonnage environnemental à filets à ouverture et fermeture multiples (Multiple Opening/Closing Net and Environmental Sensing System, ou MOCNESS) pour échantillonner des espèces de zooplancton, ainsi que de petites larves de poissons.

Certains problèmes techniques et défis opérationnels ont été cernés dans le cadre de ces premières missions; ils sont en train d'être résolus en vue de la saison de terrain de 2021. Le NGCC *Sir John Franklin* est un navire fiable et adapté aux activités scientifiques qui constitue un ajout bienvenu à la flotte de la région du Pacifique.

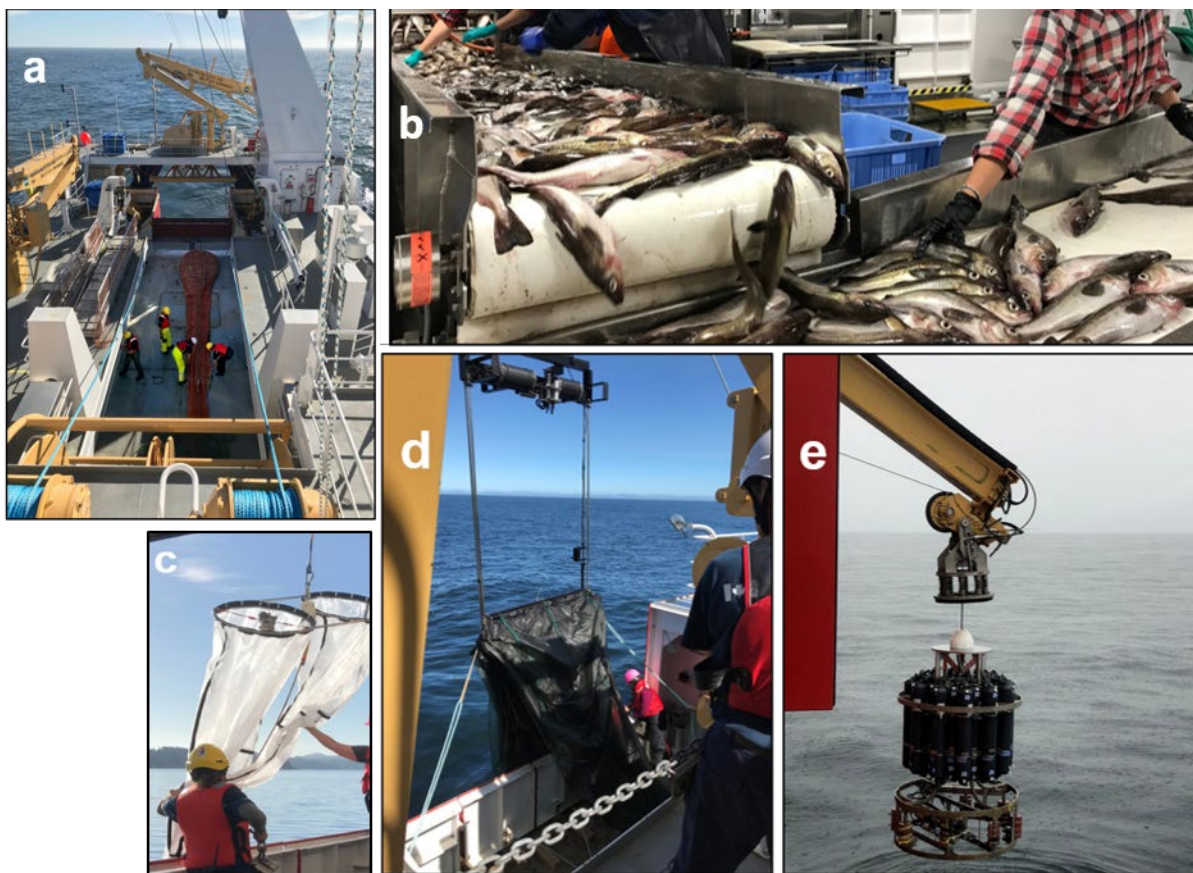


Figure 31-3. Échantillonnage à bord du NGCC Sir John Franklin; a) capture au chalut pélagique sur le pont arrière du navire, b) tri et traitement des captures dans le laboratoire humide, c) déploiement du filet Bongo, d) déploiement du plus grand MOCNESS, et e) déploiement de la rosette CTD. (Toutes les photos ont été prises par S. Gauthier, sauf e), prise par Erica Anderson).

32. LES OCÉANS DU CANADA MAINTENANT, 2020 – L'ÉTAT DES OCÉANS DU CANADA

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

32.1. Points saillants

- Les rapports du Canada sur l'état des océans sont des résumés annuels de l'état actuel et des tendances des écosystèmes marins dans les trois océans du Canada. Les rapports publics et techniques ainsi que les produits connexes pour l'[État de l'océan Atlantique](#) ont été publiés en avril 2019, suivis de ceux de l'[État de l'océan Arctique](#) en avril 2020.
- En mars 2021, le [rapport national sur l'état des océans *Les océans du Canada maintenant, 2020*](#) a été publié. Le rapport est un résumé de haut niveau de l'état et des tendances des trois océans, appuyé par des infographies attrayantes et un langage scientifique simple.
- 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 de 2021. Le contenu destiné au public peut comprendre des textes scientifiques en langage simple, des études de cas, des infographies et du matériel visuel attrayant pour diffusion dans les médias sociaux et à des fins de sensibilisation.

32.2. Résumé

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 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 la Direction des sciences du ministère des Pêches et des Océans (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.

Le premier rapport sur l'état de l'océan et les produits connexes, sur l'océan Atlantique, ont été publiés en avril 2019, suivis par le rapport sur l'état de l'océan Arctique et les produits connexes en avril 2020. En mars 2021, le rapport national sur l'état des océans *Les océans du Canada maintenant, 2020* a été publié en même temps que des produits de communication. Le rapport public est un résumé de haut niveau de l'état et des tendances des trois océans, avec des infographies attrayantes et un langage scientifique simple. Les autres produits de

communication accompagnant cette publication comprennent une vidéo (<https://www.dfo-mpo.gc.ca/videos/soto-rceo-national-2020-fra.html>), des infographies et cinq activités de sensibilisation (<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2020/outreach-sensibilisation-fra.html>), toutes disponibles sur le site Web du MPO consacré à l'état des océans.

Le rapport public sur l'état de l'océan Pacifique est en cours de rédaction par les scientifiques du MPO dans la région du Pacifique. Il comprend un aperçu du rapport, des messages clés tirés des renseignements scientifiques les plus récents et les plus pertinents, et des infographies. Un rédacteur scientifique, utilisant un langage clair, et un graphiste ont été embauchés pour travailler à la création de l'ébauche du rapport public. Le rapport technique, le rapport public et les produits de communication sur l'état de l'océan Pacifique seront publiés au cours du cycle de 2021.

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

33. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DANS LES BRAS DE MER RIVERS ET BUTE EN 2020 PAR RAPPORT AUX SÉRIES CHRONOLOGIQUES HISTORIQUES

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

33.1. Points saillants

- Dans le bras de mer Rivers, les eaux profondes ont commencé à se refroidir en septembre, ce qui indique que l'incidence de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016 pourrait être en train de s'atténuer.
- Un important glissement de terrain survenu au ruisseau Elliott le 28 novembre a provoqué un refroidissement rapide des eaux profondes du bras de mer Bute.
- Dans le bras de mer Rivers et le bras de mer Bute, les eaux intermédiaires et profondes contenaient moins d'oxygène en 2020 que la moyenne de 1951 à 2010, mais une concentration d'oxygène similaire à la moyenne de 1991 à 2020.

33.2. 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 33-1). En février 2021, 170 profils de température et de salinité et 142 profils d'oxygène ont été recueillis à la station DFO2, avec plus de 96 % des données recueillies depuis 2000. En février 2021, 130 profils de température et de salinité et 116 profils d'oxygène ont été recueillis à la station BU4, soit 31 % si l'on tient compte des données recueillies depuis 2000.

En s'appuyant sur la définition des types d'eau dans les fjords (Farmer et Freeland 1983; Jackson *et al.* 2021), trois types d'eau ont été définis : 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 domine normalement la variation interannuelle. Pour comparer 2020 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 2020. Pour comparer les données de 2020 avec une climatologie plus récente, la moyenne mensuelle de 1991 à 2020 a également été calculée.

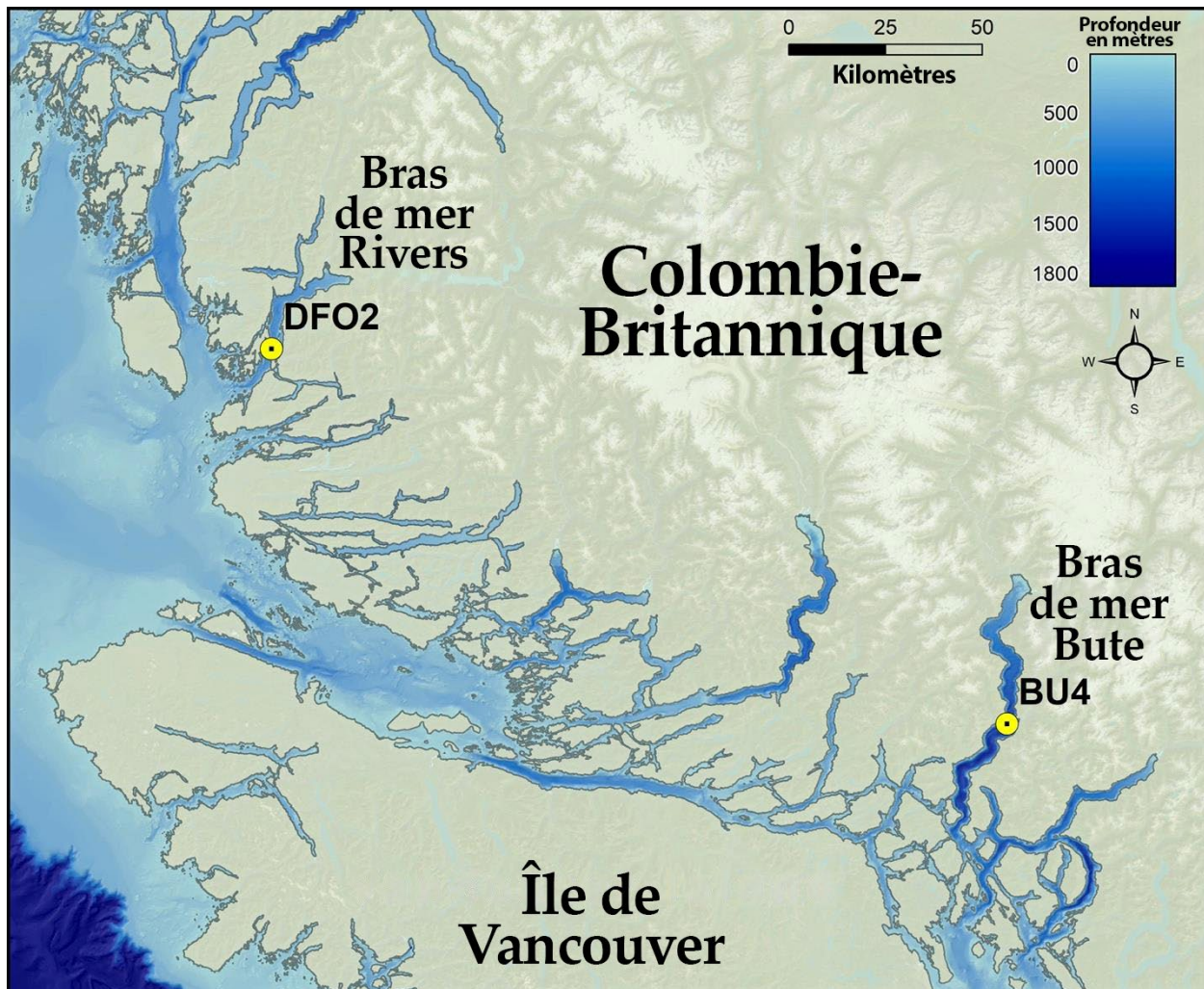


Figure 33-1. Le bras de mer Rivers est un fjord d'environ 46 km de long et 3 km de large situé sur la côte centrale de la Colombie-Britannique. À son embouchure se trouve un seuil d'environ 140 m de profondeur à marée basse (Pickard 1961), et le fjord descend jusqu'à un bassin d'environ 340 m de profondeur 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.

33.3. État et tendances

33.3.1. Bras de mer Rivers

La comparaison des séries chronologiques à long terme aux données de 2020 pour les eaux de surface (figure 33-2) montre que la surface était plus fraîche et contenait moins d'oxygène que les moyennes de 1951 à 2010 et de 1991 à 2020. La température en surface la plus froide (6,7 °C) a été observée en février et l'eau de surface la plus chaude (12,3 °C) en septembre. L'eau de surface la plus douce (18,0) a été relevée en juin, ce qui est similaire à la date

habituelle de juin (Wolfe *et al.* 2015) et au minimum de salinité de juin (Tommasi *et al.* 2013) observé de 2006 à 2010. L'oxygène en surface était plus faible de mai à septembre que dans les climatologies de 1951 à 1990 ou de 1991 à 2020. L'automne 2020 a montré des températures plus élevées et une eau plus fraîche que les climatologies de 1951 à 1990 ou de 1991 à 2020.

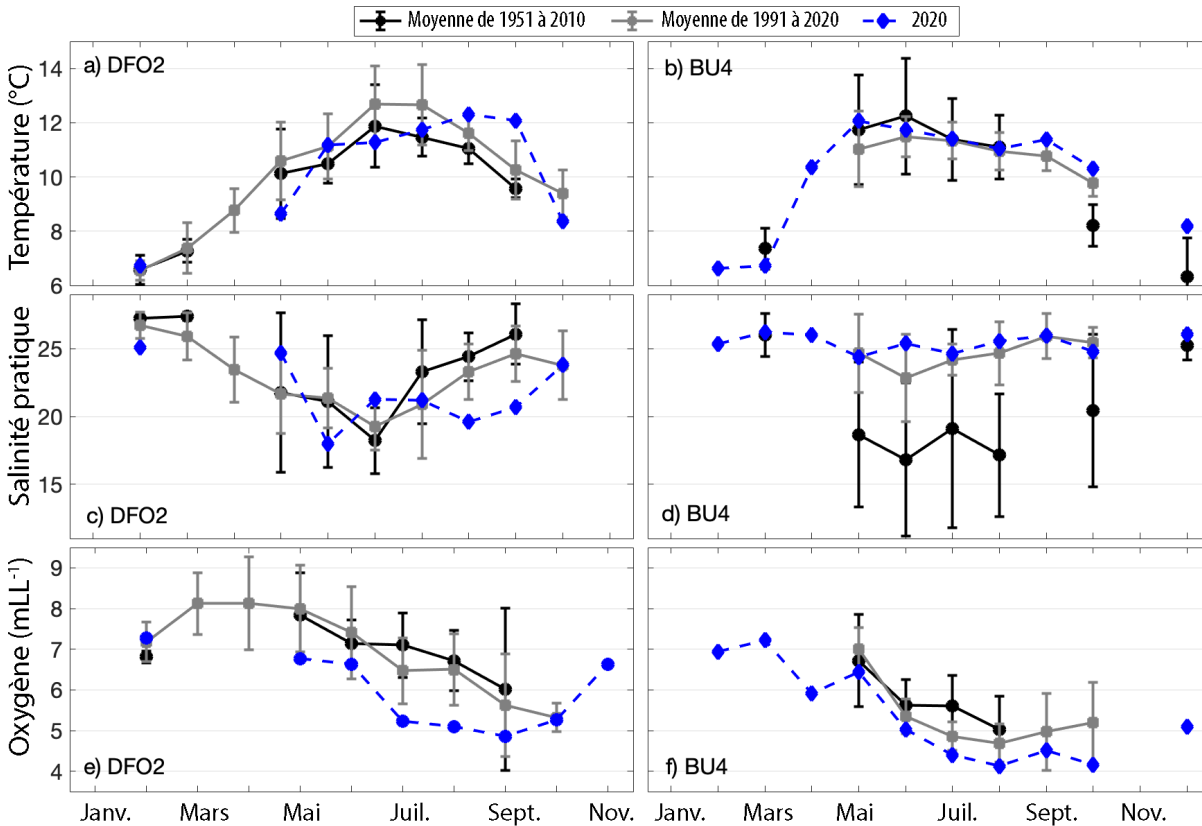


Figure 33-2. Conditions moyennes mensuelles des eaux de surface (définies comme une eau plus douce que $1\,022\text{ kgm}^{-3}$) pour la température (en haut), la salinité pratique (au milieu) et l'oxygène (en bas) aux stations DFO2 dans le bras de mer Rivers (graphiques a), c) et e)) et BU4 dans le bras de mer Bute (graphiques b), d) et f)). La ligne noire pleine indique la moyenne mensuelle de 1951 à 2010, la ligne grise pleine représente la moyenne mensuelle de 1991 à 2020, et la ligne bleue pointillée indique la moyenne mensuelle de 2020. Les barres d'erreur représentent l'écart-type des séries chronologiques de 1951 à 2010 et de 1991 à 2020, et seuls les mois échantillonnés durant au moins trois années différentes ont été indiqués.

En 2020, les eaux intermédiaires (figure 33-3) étaient plus chaudes que la climatologie de 1951 à 2010, mais similaires à la climatologie de 1991 à 2010. L'eau la plus chaude ($9,2\text{ °C}$) a été observée en octobre et l'eau la plus froide (8 °C) en février. La salinité et l'oxygène étaient similaires aux climatologies de 1951 à 2010 et de 1991 à 2020.

En 2020, les eaux profondes (figure 33-4) en février étaient plus chaudes d'environ $0,6\text{ °C}$ que la climatologie de 1951 à 2010 et plus chaudes d'environ $0,4\text{ °C}$ que la climatologie de 1991 à 2020. En octobre, l'an 2020 était $0,2\text{ °C}$ plus chaud que la climatologie de 1951 à 2010 et similaire à la climatologie de 1991 à 2020. Ces résultats laissent entendre que l'incidence de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016 dans le bras de mer Rivers (Jackson *et al.* 2018) commence à diminuer, environ 6 ans après le premier réchauffement des eaux profondes. La

salinité et l'oxygène en 2020 étaient similaires à la climatologie de 1991 à 2020. Des recherches récentes ont montré que de 1951 à 2020, les eaux profondes du bras de mer Rivers sont devenues plus salées de 0,2 unité de salinité et ont perdu 0,7 mL L⁻¹ d'oxygène (Jackson *et al.* 2021). La similitude des taux de salinité et d'oxygène en 2020 avec la climatologie de 1991 à 2020 indique qu'aucune de ces propriétés n'a changé de manière importante en 2020.

33.3.2. *Bras de mer Bute*

La comparaison des séries chronologiques à long terme jusqu'en 2020 pour les eaux de surface (figure 33-2) montre qu'alors que la température était similaire aux climatologies de 1951 à 2010 et de 1991 à 2020, l'oxygène était plus faible et la salinité plus élevée que la moyenne. La température en surface la plus froide (6,6 °C) a été observée en février et l'eau de surface la plus chaude (12,1 °C) en mai. L'eau de surface la plus fraîche (24,4) a été observée en mai, et la salinité relativement élevée tout au long de l'année indique que l'échantillonnage n'a pas eu lieu pendant la crue.

En 2020, les eaux intermédiaires (figure 33-3) et profondes (figure 33-4) étaient plus chaudes, plus salées et moins oxygénées que la climatologie de 1951 à 2010. Jackson *et al.* (2021) ont constaté qu'entre 1951 et 2020, les eaux profondes du bras de mer Bute se sont réchauffées de 1,3 °C, sont devenues plus salées de 0,2 unité et ont perdu 0,6 mL L⁻¹ d'oxygène. En 2020, les eaux profondes sont restées plus salées que dans la climatologie de 1991 à 2020, tandis que l'oxygène était similaire. Un refroidissement soudain de la température des eaux profondes en décembre 2020 peut être attribué à un glissement de terrain massif au ruisseau Elliott, où environ 9 millions de mètres cubes de débris ont été poussés dans un lac glaciaire, créant un tsunami qui a transporté l'eau et les sédiments du lac glaciaire au fond du bras de mer Bute (<https://www.hakaimagazine.com/news/massive-landslide-cools-fjord/>, en anglais seulement).

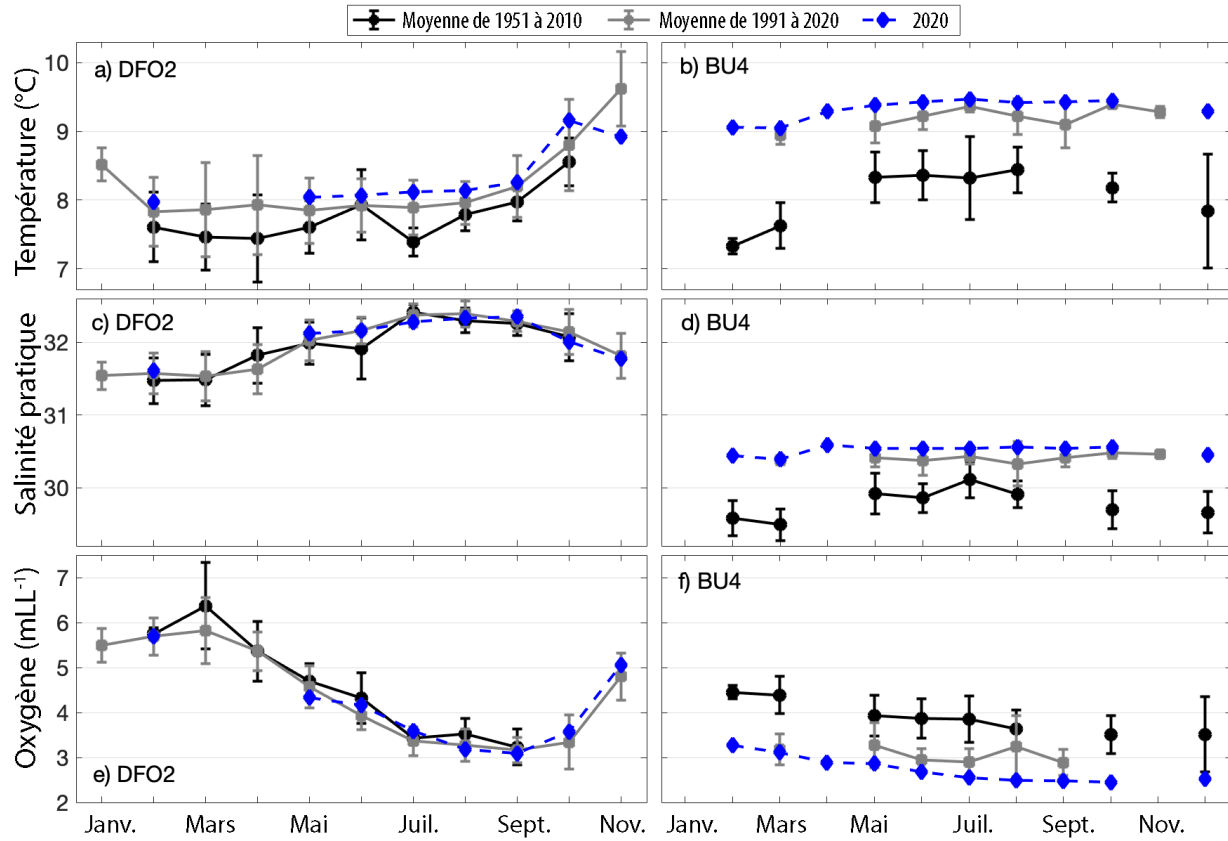


Figure 33-3. Comme sur la figure 33-2, mais pour les eaux intermédiaires, qui ont été définies comme les eaux entre la base de la couche de surface et la profondeur du seuil de 140 m pour la station DFO2 (bras de mer Rivers) et entre la base de la couche de surface et 355 m pour la station BU4 (bras de mer Bute).

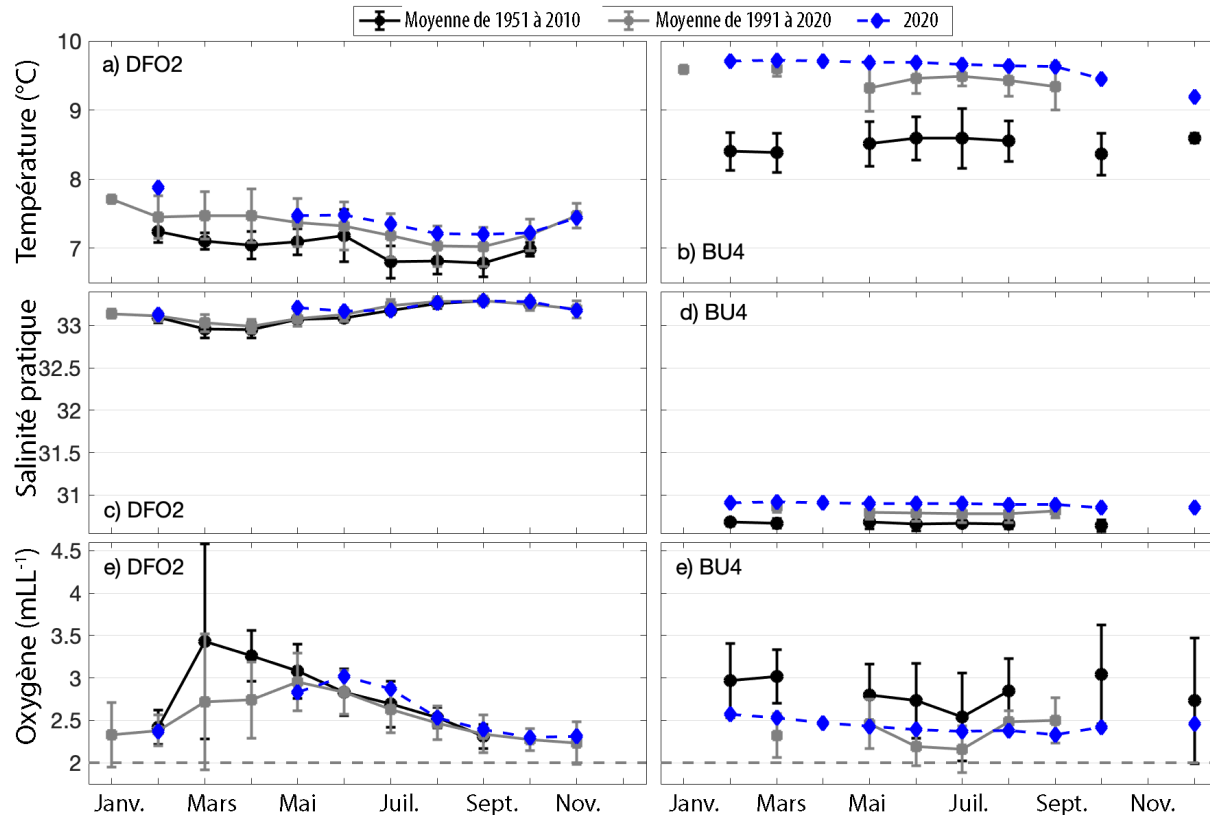


Figure 33-4. Comme sur la figure 33-2, mais pour les eaux profondes, définies comme les eaux entre la profondeur du seuil de 140 m et le fond (334 m) dans le bras de mer Rivers et entre la profondeur du seuil de 355 m et le fond (632 m) dans le bras de mer Bute. La ligne pointillée grise horizontale dans le graphique inférieur indique la concentration en oxygène de 2 mL/L, ou eau hypoxique.

33.4. 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 2020 étaient probablement associées à une réduction de la croissance des saumons pendant leur dévalaison de 2020. Depuis octobre, les eaux profondes des deux bras de mer semblent se refroidir, et cela porte à croire que l'incidence de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016 pourrait enfin diminuer, ce qui pourrait avoir une incidence sur la composition du zooplancton.

Le réchauffement explique environ 28 % de la perte d'oxygène à long terme dans les eaux profondes du bras de mer Rivers et environ 39 % de la perte dans le bras de mer Bute (Jackson *et al.* 2021); on s'attend donc à ce que le réchauffement favorise la désoxygénation. Si les répercussions de la vague de chaleur marine de 2014 à 2016 s'atténuent, il est possible que les concentrations en oxygène augmentent. Les recherches menées dans le bras de mer Saanich (Chu *et al.*, section 42) montrent que la biodiversité change en fonction des différentes

concentrations en oxygène; les concentrations en oxygène observées dans les bras de mer Rivers et Bute pourraient donc avoir une incidence importante sur l'écosystème local.

33.5. Références

- 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>.
- Jackson, J.M., Bianucci, L., Hannah, C.G., Carmack, E.C., and Barrette, J. 2021. Deep waters in British Columbia mainland fjords show rapid warming and deoxygenation from 1951 to 2020. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091094, <https://doi.org/10.1029/2020GL091094>.
- 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.

34. OBSERVATIONS CÔTIÈRES DU CO₂ DANS LE DÉTROIT DE FITZ HUGH ET LE NORD DE LA MER DES SALISH EN 2020

Wiley Evans*, Katie Pocock, Carrie Weekes, Alex Hare et Jennifer Jackson

Hakai Institute, baie Heriot, Colombie-Britannique, *wiley.evans@hakai.org

34.1. Points saillants

- Les indicateurs du pH et de l'état de saturation de la calcite montrent que les conditions sévères varient selon les saisons et s'étendent à la majorité de la colonne d'eau dans le nord de la mer des Salish et à plus de 25 % de la colonne d'eau dans le détroit de Fitz Hugh.
- La durée des conditions sévères a été plus courte en 2020 qu'en 2019.

34.2. Description des ensembles de données sur le CO₂

Les observations du système de CO₂ marin de deux régions sont présentées : le centre de la côte de la Colombie britannique dans la région de détroit de Fitz Hugh, et le nord de la mer des Salish. Les observations du détroit de Fitz Hugh ont été recueillies sur une bouée de surface (appelée la bouée KC, située à l'embouchure du canal de Kwakshua; <https://www.nodc.noaa.gov/ocads/data/0208810.xml>) et à partir d'une station hydrographique adjacente (KC10; 51,650396° N, 127,9508157° O). La bouée fournissait des observations horaires et la station hydrographique était occupée à une fréquence quasi mensuelle, avec le prélèvement d'échantillons à 12 profondeurs dans la colonne d'eau jusqu'à une profondeur maximale de 300 m. Les observations du nord de la mer des Salish ont été faites à la station de terrain de l'île Quadra à partir d'une réserve d'eau de mer de surface à 1 m de profondeur (<https://www.nodc.noaa.gov/ocads/data/0208638.xml>) et à partir d'une station hydrographique à proximité (QU39; 50,03044358° N, 125,1052797° O) où des échantillons distincts ont été recueillis toutes les 2 semaines à 12 profondeurs dans la colonne d'eau jusqu'à une profondeur maximum de 260 m. Aux deux emplacements hydrographiques, les observations d'oxygène et de densité provenant des profileurs de conductivité-température-profondeur (CTP) sont fournies avec les observations relatives au système de CO₂ à des fins de contexte.

34.3. Tendances dans les ensembles de données sur le CO₂

34.3.1. Détroit de Fitz Hugh

Nous avons utilisé l'indice cumulatif de la remontée d'eau de 51° N, 131° O fourni par la NOAA comme mesure de la force de la remontée d'eau dans la région du bassin Reine-Charlotte, dont les conditions étaient faibles en 2020. Les valeurs de l'indice cumulatif de la remontée d'eau pour 2020 indiquent des conditions de plongée d'eau en janvier qui se sont atténuées en février, avant qu'une faible remontée d'eau ne commence de mars à fin avril, comme établi à l'aide des paramètres de Jackson et al. (2018). Cette période précoce de remontée d'eau s'est terminée en mai par une courte période de plongée d'eau, puis les conditions sont restées presque neutres jusqu'à ce que la plongée d'eau reprenne en octobre et persiste pendant le reste de l'année. Outre le fait que 2020 soit une année de faible remontée des eaux, les données provisoires sur les précipitations provenant d'emplacements de l'île Calvert ont indiqué des précipitations modérément plus élevées en 2020 par rapport aux trois années précédentes,

en particulier en automne et au début de l'hiver

(<https://hecate.hakai.org/sn/p/viewsndata.pl?dataTable=1hourSamples&measurements=BuxtonEast.24hourRain,Hecate.24hourRain,PruthDock.24hourRain&noFlags>).

Des observations de la pression partielle du CO₂ en surface (pCO₂) ont été effectuées dans le détroit de Fitz Hugh depuis novembre 2017. Les données jusqu'en mai 2018 ont été recueillies par le traversier M/V *Columbia* de l'Alaska Marine Highway System, et le 1^{er} mai 2018, la bouée KC a été déployée à l'embouchure du canal Kwakshua et a commencé à servir de plateforme d'observation dans la région (figure 34-1). La pCO₂ de l'eau de mer de surface (à 2 m, avec le M/V *Columbia* et à 1 m, avec la bouée KC) et la pCO₂ de la couche limite atmosphérique marine ont été mesurées à partir des deux plateformes. Les mesures moyennes de l'eau de mer effectuées par le M/V *Columbia*, qui traverse toute la région, suivent les observations de la bouée KC, ce qui indique que, de manière générale, la bouée saisit les conditions de pCO₂ de surface dans le détroit de Fitz Hugh (figure 34-1). La pCO₂ de surface dans la zone varie selon les saisons; les valeurs élevées (près de 700 µatm) par rapport à l'atmosphère sont observées pendant les mois d'automne et d'hiver, principalement en raison du mélange vertical des eaux de subsurface à forte teneur en CO₂, et les valeurs basses (près de 200 µatm) sont typiques des mois de printemps et d'été, en raison des taux saisonniers élevés de production nette des communautés.

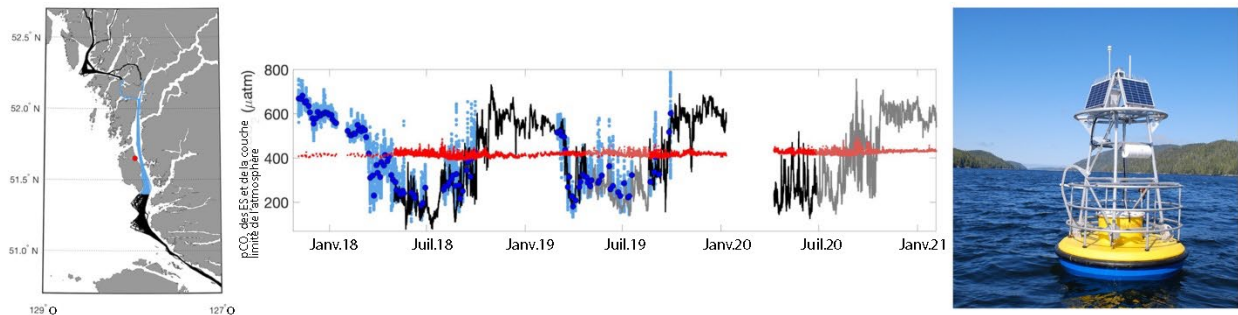


Figure 34-1. pCO₂ de l'eau de surface (µatm) dans le détroit de Fitz Hugh sur la côte centrale de la Colombie-Britannique. Le détroit de Fitz Hugh est représenté par les observations du M/V *Columbia*, en bleu, sur la carte de gauche, le point rouge représentant la position de la bouée KC. La station hydrographique KC10 se trouve près de la bouée, illustrée à droite. Les données en bleu clair dans le graphique de la série chronologique sont les mesures du traversier *Columbia* avec les moyennes de chaque transit, représentées par les cercles bleu foncé. Les données en noir et en gris sont, respectivement, les mesures finales (soumises au Surface Ocean CO₂ Atlas [SOCAT]) et provisoires de la pCO₂ de l'eau de mer provenant de la bouée KC. Les données en rouge foncé et en rouge pâle sont, respectivement, des mesures finales (soumises au SOCAT) et provisoires de la pCO₂ atmosphérique provenant du traversier M/V *Columbia* et de la bouée KC. Les données en temps réel de la bouée KC sont disponibles sur le portail de données Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON) : http://portal.goa-on.org/Explorer?action=oiw:fixed_platform:HAKAI_KCBuoy:observations:H1_CO2.

Aucune observation de la pCO₂ de surface n'a été effectuée à partir du traversier M/V *Columbia* et de la bouée KC au début de 2020, car le traversier a cessé son service en octobre 2019, et la plateforme de la bouée KC a dû être réparée au début de 2020 en raison un problème d'équilibreur qui a retardé la collecte de données jusqu'au 8 avril. La pCO₂ de surface était déjà sous-saturée par rapport à l'atmosphère lorsque les mesures ont repris. Il est à noter que le degré de variabilité des données enregistrées par la bouée au cours des mois d'été a été plus élevé que celui observé au cours des deux années précédentes. Entre avril et août, il y a eu

près d'une douzaine d'excursions de valeurs proches de 200 μatm à des niveaux proches des valeurs atmosphériques, ou supérieurs. De plus, entre le 19 août et le 2 octobre, la pCO_2 de l'eau de mer a dépassé les niveaux atmosphériques; une telle période de sursaturation soutenue en été n'avait pas été observée auparavant dans ces courts registres.

Malheureusement, la défaillance du capteur de conductivité de la bouée a empêché d'évaluer directement la cause de ces conditions; cependant, les mesures de la colonne d'eau et les données sur les précipitations indiquent que la couche superficielle généralement plus fraîche évoquait des conditions de pCO_2 plus élevée, vraisemblablement dues à la respiration de la matière organique.

Le profilage CTP à KC10 a commencé en 2013, et l'oxygène (par rapport à la saturation) et la densité sont présentés à la figure 34-2. La teneur élevée en oxygène en surface au printemps et en été découle de taux saisonniers élevés de production nette des communautés.

Simultanément, l'oxygène dans la colonne d'eau diminue à mesure que la stratification augmente, et la remontée d'eau de source avec une faible teneur en oxygène atteint KC10 (eau de mer avec une densité supérieure à $1\,026\text{ kg m}^{-3}$). Les tempêtes d'automne et d'hiver brisent la stratification de surface, diminuant la teneur en oxygène à la surface tout en augmentant la teneur en oxygène dans les 100 m supérieurs de la colonne d'eau, environ. Il est à noter que les mesures CTP de l'oxygène dans la partie supérieure de la colonne d'eau semblaient plus faibles en 2020 que durant les années précédentes et coïncident avec une teneur en eau douce plus élevée (non montré). De même, la présence d'eau plus dense ($> 1\,026\text{ kg m}^{-3}$) a semblé diminuer à la fin du printemps lorsque la période de faible remontée des eaux s'est calmée, mais a ensuite repris quelque peu à la fin de l'été.

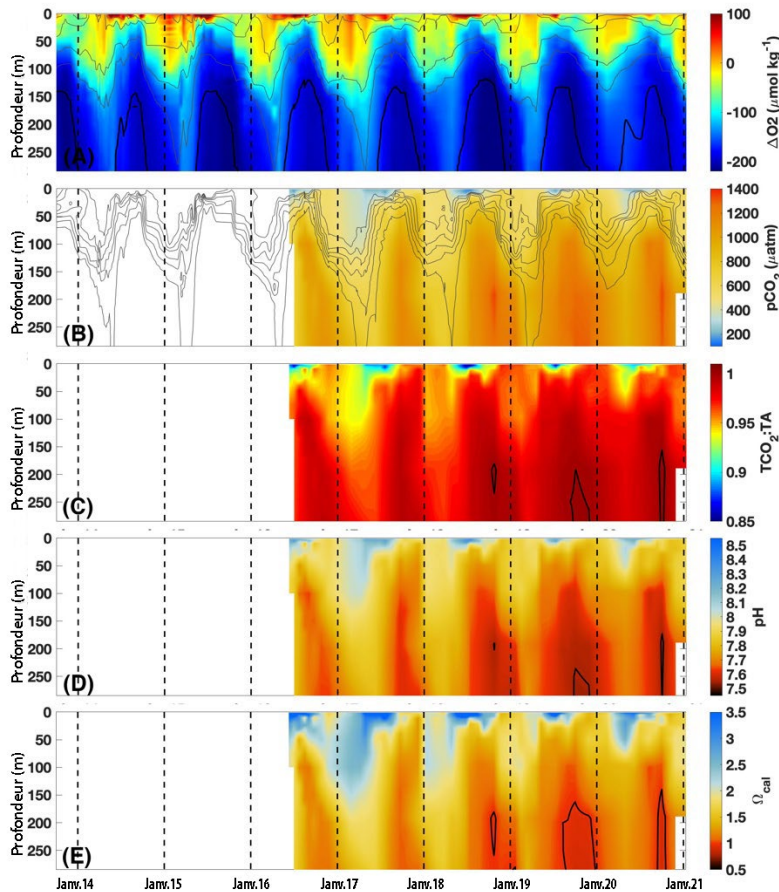


Figure 34-2. Observations de la colonne d'eau par la station hydrographique KC10. (A) Observations CTP de l'oxygène (en couleur et présentées en tant que valeurs mesurées moins les valeurs saturées, ΔO_2 , en $\mu\text{mol kg}^{-1}$) et de la densité potentielle (les isopycnes avec contour font 1 023, 1 024, 1 025, 1 025,5, et 1 026 kg m^{-3} , la dernière étant en gras). (B) $p\text{CO}_2$ avec les contours de ΔO_2 . (C) Rapport entre le carbone inorganique dissous total (TCO_2) et l'alcalinité totale (AT), le contour en gras marquant l'unité. (D) pH sur l'échelle d'hydrogène total avec 7,55 en contour. (E) État de saturation de la calcite (Ω_{cal}) avec 0,97, 1 moins l'incertitude estimée rapportée dans Evans et al. (2019), avec contours.

une $p\text{CO}_2$ plus élevée, un pH plus faible et des conditions plus corrosives pour les biominéraux de carbonate de calcium (Millero 2007; Cai et al. 2021; Evans et al. 2019; Jiang et al. 2019). La figure 34-2 montre des cas de pH faible (inférieur à 7,55) et de conditions corrosives pour la calcite (état de saturation de la calcite, $\Omega_{\text{cal}} < 1$) près de 200 m et en dessous à la fin de l'année en 2018, 2019 et 2020.

Les mesures de la $p\text{CO}_2$ et du carbone inorganique total dissous total (TCO_2) recueillies à KC10 montrent des tendances similaires aux observations de l'oxygène et de la densité. En été, lorsque la teneur en oxygène est élevée dans la partie supérieure de la colonne d'eau, la $p\text{CO}_2$ est sous-saturée par rapport à l'atmosphère. Le TCO_2 a également diminué, en partie à cause de la production nette de la communauté, mais aussi à cause de la dilution par l'eau douce. Les tempêtes d'automne et d'hiver mélangent la colonne d'eau et augmentent la $p\text{CO}_2$ et le TCO_2 près de la surface. En profondeur, la $p\text{CO}_2$ et le TCO_2 augmentent tous deux avec la présence d'eau plus dense en remontée. Depuis 2018, la $p\text{CO}_2$ en subsurface semble être légèrement plus élevée pendant la saison de la remontée d'eau qu'elle ne l'avait été en 2016 et 2017. L'examen du ratio entre le TCO_2 et l'alcalinité totale (AT) montre que les conditions de $p\text{CO}_2$ plus élevée coïncident avec des périodes où le rapport $\text{TCO}_2:\text{AT}$ est plus proche de l'unité, créant ainsi des conditions de système de CO_2 avec une protection plus faible,

34.3.2. Nord de la mer des Salish

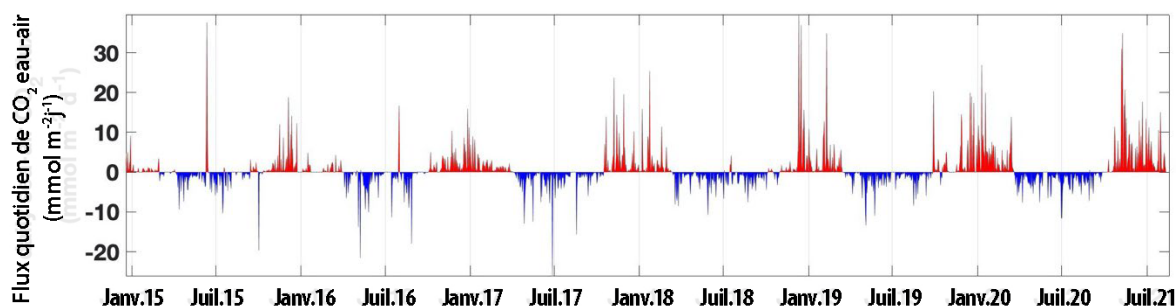


Figure 34-3. Flux de CO₂ eau-air (mmol m⁻² j⁻¹) dans le nord de la mer des Salish. Les flux ont été calculés en utilisant la pCO₂ de l'eau de mer de surface et de la couche limite atmosphérique marine mesurée à la station de terrain de l'île Quadra. Les données en temps réel de cet emplacement sont disponibles sur le portail de données GOA-ON : http://portal.goa-on.org/Explorer?action=oiw:fixed_platform:HAKAI_Quadra1:observations:H2_CO2. Les vitesses de transfert de gaz ont été calculées à l'aide du paramétrage de la vitesse du vent de Wanninkhof (2014), en utilisant les vitesses du vent de la station de terrain de l'île Quadra (<https://hecate.hakai.org/sn/1hourSamples/last12weeks-Quadra.1hourSamples.html>).

Des mesures de la pCO₂ de l'eau de mer de surface et de la couche limite marine ont été effectuées en continu au cours des six dernières années à la station de terrain de l'île Quadra dans le nord de la mer des Salish. Nous présentons ici les flux de CO₂ eau-air calculés à partir de ces mesures. La transition d'une source de CO₂ atmosphérique en automne et en hiver à un puits de CO₂ atmosphérique au printemps et en été est induite par la baisse de la pCO₂ de l'eau de mer à des valeurs sous-saturées par rapport à l'atmosphère pendant cette période de taux saisonniers élevés pour la production nette des communautés. La prolifération phytoplanctonique printanière marque le premier cas de production nette élevée des communautés dans l'année et le moment de la transition de source de CO₂ atmosphérique à puits de CO₂. Le moment de cette transition de source à puits était le 22 mars en 2020, presque au point médian des dates des années précédentes, qui allaient du 1^{er} mars en 2015 au 10 avril en 2017. L'absorption atmosphérique estivale de CO₂ a été continue en 2020, mais avec une variabilité de l'ampleur due à la variabilité du gradient de la pCO₂ eau-air et du forçage éolien. Aucun événement de dégazage estival tel que ceux de 2015, 2016 et 2018 n'a été observé.

Le dégazage automnal de CO₂ a été sensiblement plus important que durant les années précédentes. Le moment de la transition de puits à source était similaire aux autres années et s'est produit le 9 octobre en 2020. Toutefois, aucune période d'abaissement automnal du CO₂ ne s'est produite en 2020 comme cela avait été le cas en 2015, 2018 et 2019, en raison des proliférations phytoplanctoniques de fin de saison. La sortie de CO₂ a été épisodiquement intense tout au long de l'automne, avec un dégazage automnal cumulatif (calculé comme la somme à partir de la date de transition de puits à source jusqu'au 31 décembre) égal à 385 mmol m⁻². Les valeurs de dégazage automnal cumulatif précédemment observées étaient de 170 mmol m⁻² en 2015, 174 mmol m⁻² en 2016, 198 mmol m⁻² en 2017, 196 mmol m⁻² en 2018 et 225 mmol m⁻² en 2019.

Le profilage CTP a commencé à la station QU39 en 2015, et la teneur en oxygène dans la partie supérieure de la colonne d'eau présente des tendances similaires à celles décrites pour KC10 : des niveaux élevés au printemps et en été en raison d'une production nette saisonnière

élevée des communautés, et des niveaux plus faibles en automne et en hiver lorsque la stratification est réduite et que les eaux de subsurface à faible teneur en oxygène sont mélangées verticalement (figure 34-4). Il est à noter que pendant la plupart des automnes et des hivers, un mélange en profondeur d'eau à plus forte teneur en oxygène est clairement observable jusqu'à 100 m, ou même à de plus grandes profondeurs (p. ex., en 2015 et 2018). On pense généralement que les eaux intermédiaires (50 à 200 m) acquièrent de l'oxygène par mélange dans le détroit de Haro avant de transiter vers le nord depuis le sud du détroit de Georgia (Johannessen *et al.* 2014). Cependant, ces événements de mélange en profondeur atteignent clairement le noyau d'eau intermédiaire et pourraient jouer un rôle dans la réoxygénation de l'eau intermédiaire et, ce qui est peut-être plus important étant donné la teneur de base en oxygène maintenue par le mélange dans le détroit de Haro (Johannessen *et al.* 2014), dans le dégazage du CO₂ qui s'est accumulé avec la respiration de la matière organique au printemps et en été.

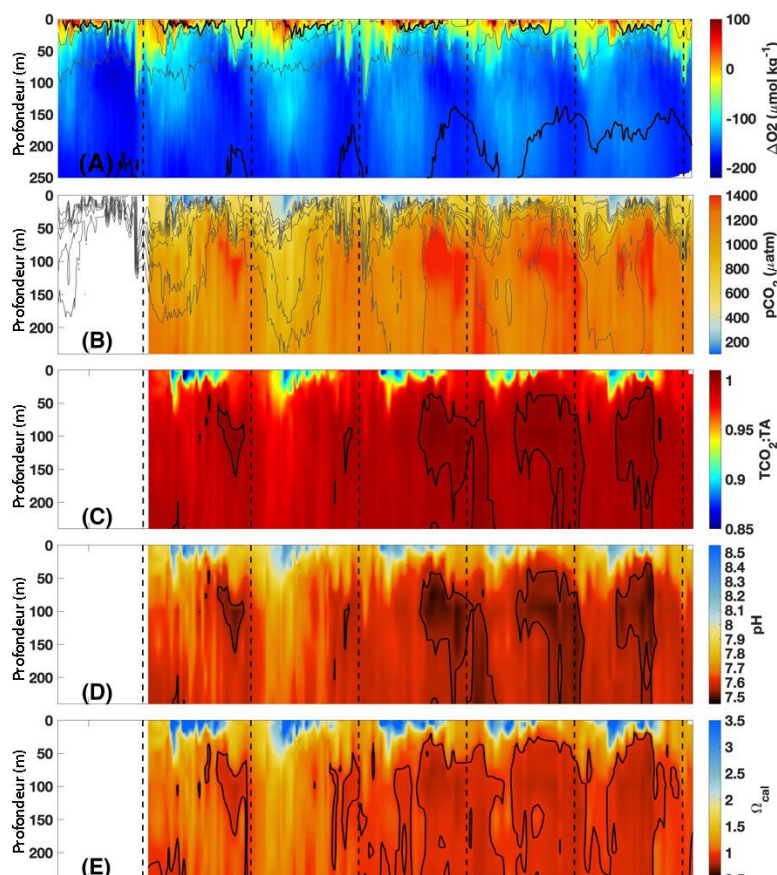


Figure 34-4. Observations de la colonne d'eau par la station hydrographique QU39. (A) Observations CTP de l'oxygène (en couleur et présentées en tant que valeurs mesurées moins les valeurs saturées, ΔO_2 , en $\mu\text{mol kg}^{-1}$) et de la densité potentielle (les isopycnes avec contour 1 023, 1 024, 1 025, 1 025,5, et 1 026 kg m^{-3} , la dernière étant en gras). (B) $p\text{CO}_2$ avec les contours de ΔO_2 . (C) Rapport entre le carbone inorganique dissous total (TCO_2) et l'alcalinité totale (AT), le contour en gras marquant l'unité. (D) pH sur l'échelle d'hydrogène total avec 7,55 en contour. (E) État de saturation de la calcite (Ω_{calc}) avec 0,97, 1 moins l'incertitude estimée rapportée dans Evans *et al.* (2019), avec contours.

Les profils saisonniers du système de CO₂ dans les eaux intermédiaires du nord de la mer des Salish sont frappants, en particulier au cours des dernières années (figure 34-4). La teneur en $p\text{CO}_2$ tend à être inversement proportionnelle à celle de l'oxygène, comme à KC10. Cependant, une différence clé entre ces emplacements est que la teneur en oxygène de l'eau de subsurface à KC10 atteint des valeurs inférieures à celles de l'eau de subsurface à QU39, mais la $p\text{CO}_2$ est considérablement plus élevée à QU39 (figures 34-2 et 34-4). Cela s'explique par l'influence du mélange dans le détroit de Haro sur le maintien d'un niveau de base pour la teneur en oxygène dans le détroit de Georgia (Johannessen *et al.* 2014), ainsi que par le fait que la mer des Salish est extrêmement faiblement protégée et qu'elle constitue donc un environnement à $p\text{CO}_2$ élevée (Fassbender *et al.* 2018; Evans *et al.* 2019; Hare *et al.*

2020). Les cas où la protection est plus faible se produisent lorsque le rapport $\text{TCO}_2\text{:AT}$ est proche de 1, ce qui s'est produit dans les eaux intermédiaires et profondes (> 200 m) à la fin de l'été et en automne au cours des trois dernières années (figure 34-4). Ces conditions, très probablement soutenues par la respiration de la matière organique se produisant dans la couche superficielle (< 50 m) au printemps et en été, entraînent des conditions corrosives pour les biominéraux de carbonate de calcium, un pH faible et une pCO_2 élevée (figure 34-4).

Il est important de noter que le nord de la mer des Salish est extrêmement vulnérable à l'influence de la variabilité d'une année sur l'autre du système de CO_2 , qui peut avoir une incidence sur l'observation ou non de ces conditions de pCO_2 élevée, de faible pH et de corrosivité. Par exemple, de telles conditions n'ont pas été observées en 2017, la pCO_2 et le niveau d'oxygène étant généralement plus élevés dans toute la colonne d'eau au début de l'année comparativement aux autres années de la série chronologique. Cette faible pCO_2 initiale peut contribuer à atténuer l'influence de l'augmentation du TCO_2 due à la respiration saisonnière de la matière organique, de sorte que des conditions de pCO_2 élevée, de pH faible et de corrosivité n'ont pas été observées. Cette variabilité interne du système se produit conjointement avec les changements à long terme associés à l'apport anthropique de CO_2 (Evans et al. 2019). La prise en compte de l'apport anthropique de CO_2 réduit considérablement les cas de conditions sévères relatives au système de CO_2 dans le nord de la mer des Salish (Evans 2020).

34.4. Conséquences des profils du CO_2

Les conséquences des tendances relatives au CO_2 présentées ici sont qu'elles décrivent des habitats très différents entre le nord de la mer des Salish et le détroit de Fitz Hugh en ce qui a trait à l'occurrence de conditions de pCO_2 élevée, de faible pH et de corrosivité. Il a été démontré que ces conditions ont une incidence négative sur une variété d'organismes marins qui résident dans ces deux zones (Bednarsek et al. 2020; McLaskey et al. 2016; Waldbusser et al. 2015; Bednarsek et al. 2021; Gimenez et al. 2018). La figure 34-5 montre des indicateurs de gravité pour le pH et l'état de saturation de la calcite, basés sur le pourcentage de la colonne d'eau dont le pH est sous 7,55 et dont l'état de saturation de la calcite est de 0,97 (1 moins l'incertitude estimée). Ces indicateurs montrent clairement la durée et l'étendue verticale des conditions sévères, qui s'étendent à la majorité de la colonne d'eau dans le nord de la mer des Salish et à plus de 25 % de la colonne d'eau dans le détroit de Fitz Hugh. Au cours de l'année 2020, la durée de ces conditions sévères a été plus courte dans les deux zones qu'en 2019. Nous continuerons à suivre ces indicateurs et nous exhortons la communauté des chercheurs qui étudient le système marin de CO_2 le long de la côte ouest du Canada à communiquer leurs observations à la Décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques dans le cadre de l'objectif de développement durable (ODD) 14.3 (<https://oa.iode.org/>) conçu pour aider à « Réduire au maximum l'acidification des océans et lutter contre ses effets, notamment en renforçant la coopération scientifique à tous les

niveaux ». Les deux stations hydrographiques KC10 et QU39 se trouvent dans le portail de données de l'ODD 14.3.1 en tant que sites indicateurs pour l'ouest du Canada.

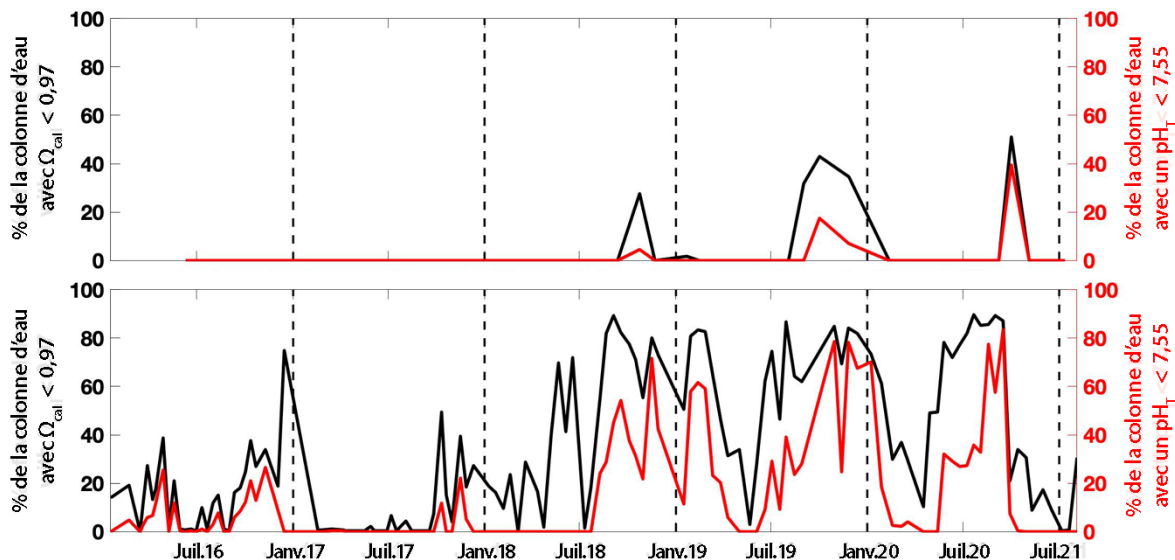


Figure 34-5. Pourcentage de la colonne d'eau avec des valeurs $\Omega_{cal} < 0,97$ (noir) et des valeurs de $pH_T < 7,55$ (rouge) dans le détroit de Fitz Hugh (en haut) et le nord de la mer des Salish (en bas).

34.5. Remerciements

Nous sommes reconnaissants à Chris O'Sullivan, Chris Mackenzie, Emma Myers, Bryne Fedje et Eva Jordison pour la collecte des données de KC10 et de QU39. Nous sommes également reconnaissants pour le soutien continu de la Fondation Tula.

34.6. Références

- Bednarsek, N., Feely, R.A., Beck, M.W., Alin, S., Siedlecki, S., Calosi, P., Norton, E.C., Saenger, C., Štrus, J., Greeley, D., Nezhin, N.P., Roethler, M., and Spicer, J.I. 2020. Exoskeleton dissolution with mechanoreceptor damage in larval Dungeness crab related to severity of present-day ocean acidification vertical gradients. *Science of The Total Environment* 716: 136610.
- Bednarsek, N., Newton, J., Beck, M.W., Alin, S., Feely, R.A., Christman, N.R., and Klinger, T. 2021. Severe biological effects under present-day estuarine acidification in the seasonally variable Salish Sea. *Science of The Total Environment* 765: 142689.
- Cai, W.J., Feely, R.A., Testa, J.M., Li, M., Evans, W., Alin, S.R., Xu, Y.-Y., Pelletier, G., Ahmed, A., Greeley, D.J., Newton, J.A., and Bednarsek, N. 2021. Natural and Anthropogenic Drivers of Acidification in Large Estuaries. *Annual Review of Marine Science* 13: 19.11-19.33.
- 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 5: 536, doi: 10.3389/fmars.2018.00536. Evans, W. 2020. Coastal CO₂ Observations: 2019. In 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.
- Fassbender, A.J., Alin, S.R., Feely, R.A., Sutton, A.J., Newton, J., Krembs, C., Bos, J., Keyers, M., Devol, A., Ruef, W., and Pelletier, G. 2018. Seasonal Carbonate Chemistry Variability in Marine Surface Waters of the Pacific Northwest. Earth System Science Data 10: 1367-1401, <http://doi.org/10.5194/essd-10-1367-2018>.
- 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.306.
- Hare, A., Evans, W., Pocock, K., Weekes, C., and Gimenez, I. 2020. Contrasting marine carbonate systems in two fjords in British Columbia, Canada: seawater buffering capacity and the response to anthropogenic CO₂ invasion. PLoS ONE 15: e0238432.
- Jackson, J., 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: 9757-9764, 10.1029/2018GL078971.
- Jiang, L.-Q., Carter, B.R., Feely, R.A., Lauvset, S.K., and Olsen, A. 2019. Surface ocean pH and buffer capacity: past, present and future. Scientific Reports 9: 18624.
- Johannessen, S.C., Masson, D., and Macdonald, R.W. 2014. Oxygen in the deep Strait of Georgia, 1951-2009: The roles of mixing, deep-water renewal, and remineralization of organic carbon. Limnology and Oceanography 59: 211-222.
- McLaskey, A.K., Keister, J.E., McElhany, P., Brady Olson, M., Busch, D.S., Maher, M., and Winans, A.K. 2016. Development of *Euphausia pacifica* (krill) larvae is impaired under pCO₂ levels currently observed in the Northeast Pacific. Marine Ecology Progress Series 555: 65-78, 10.3354/meps11839.
- Millero, F.J. 2007. The Marine Inorganic Carbon Cycle. Chemical Reviews 107: 308-341.
- Waldbusser, G.G., Hales, B., Langdon, C., Haley, B.A., Schrader, P., Brunner, E.L., Gray, M. W., Miller, C.A., Gimenez, I., and Hutchinson, G. 2015. Ocean Acidification Has Multiple Modes of Action on Bivalve Larvae. PLoS ONE 10(6): e0128376 doi: 10.1371/journal.pone.0128376.
- Wanninkhof, R. 2014. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited. Limnology and Oceanography: Methods 12: 351-362, 10.4319/lom.2014.12.351.

35. OBSERVATIONS DE LA TEMPÉRATURE, DE LA SALINITÉ ET DE L'OXYGÈNE DANS LA MER DES SALISH EN 2020

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

35.1. Points saillants

- Le relevé printanier de la mer des Salish a été annulé en raison de la pandémie de COVID-19. Le relevé d'été a montré des conditions de température et de salinité proches de la normale dans la majeure partie de la mer des Salish, avec des concentrations d'oxygène inférieures à la normale dans les 100 m supérieurs. Le relevé d'automne a détecté une intrusion d'eau plus froide, plus salée et faiblement oxygénée en provenance de l'océan Pacifique. L'échange d'eau dans le détroit de Haro a mélangé cette eau du Pacifique à faible teneur en oxygène avec de l'eau plus fraîche et plus chaude provenant du détroit de Georgia, ce qui a entraîné des conditions d'oxygène inférieur à la normale s'étendant vers le nord à travers le détroit de Georgia à des profondeurs de 50 à 100 m.
- Le Centre d'expérimentation et d'essais maritimes des Forces canadiennes (CEEMFC) a réalisé relativement peu de profils CTP dans la région de Nanoose (8 en 2020, comparativement à la moyenne annuelle de plus de 55), ce qui rend les détails relatifs aux températures et aux taux de salinité annuels dans la colonne d'eau difficiles à établir. Toutefois, la structure globale des températures et de la salinité en 2020 est cohérente avec les conditions moyennes à long terme. La tendance linéaire de la température moyenne de l'eau en profondeur semble augmenter de 1,3 °C par 100 ans.
- Le débit du fleuve Fraser était nettement supérieur à la normale en 2020 (environ 30 % de plus que la moyenne sur 100 ans).

35.2. Description de la série chronologique

Deux sources de données sont utilisées pour décrire les changements des propriétés de l'eau du détroit de Georgia (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 35-1). En 2020, les relevés ont été effectués en été (du 17 au 22 juin) et en automne (du 7 au 18 octobre). Le deuxième ensemble de données est fourni par le ministère de la Défense nationale à partir des profils de

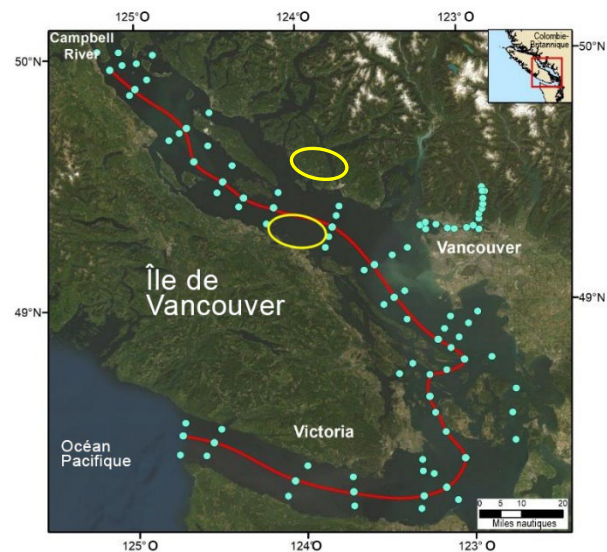


Figure 35-1. Les points indiquent l'emplacement des stations échantillonnées lors des relevés sur les propriétés de l'eau. Le talweg est représenté par la ligne rouge reliant les stations les plus profondes le long de la ligne centrale des détroits. L'ellipse jaune marque la zone de collecte des données du CEEMFC.

température et de salinité recueillis en 2020 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 depuis 1999 sont utilisées pour calculer les moyennes à long terme et dégager les anomalies de 2020 à partir de ces conditions moyennes.

35.3. État et tendances

Les observations de la température, de la salinité et de l'oxygène effectuées en 2020 sont comparées aux moyennes de 1999 à 2020 et présentées sous forme d'anomalies sur la figure 35-2. Les concentrations d'oxygène dans la mer des Salish étaient généralement inférieures à la normale tout au long de l'année 2020, en particulier dans les 100 mètres supérieurs; la source de cette eau à faible teneur en oxygène est le Pacifique Nord. L'échange d'eau entre l'océan Pacifique et le détroit de Georgia est évident dans les régions du détroit de Haro et du passage Boundary de la mer des Salish.

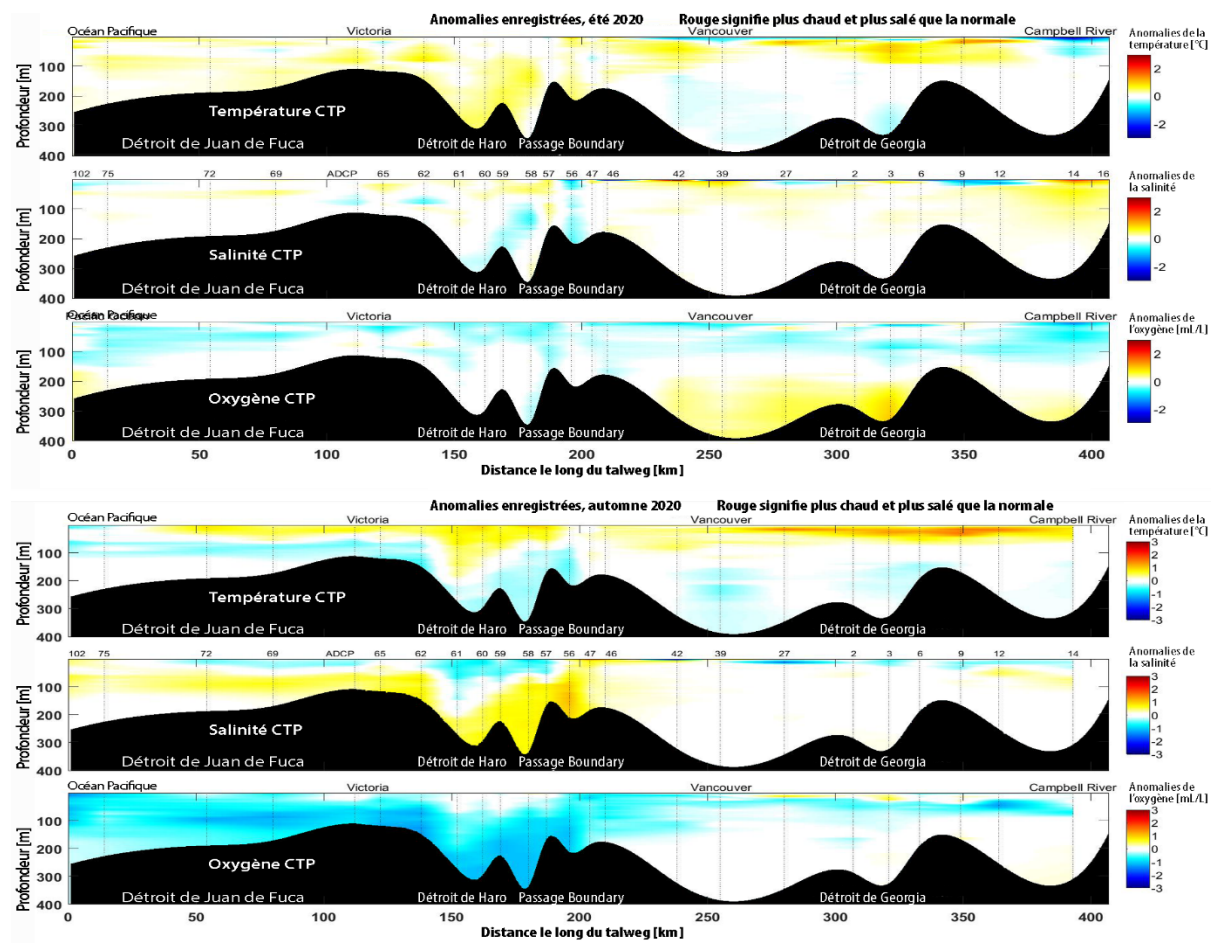


Figure 35-2. Anomalies de température, de salinité et d'oxygène le long du talweg observées en été (trois graphiques supérieurs) et en automne (trois graphiques inférieurs) en 2020.

Les variations interannuelles de la température moyenne de l'eau en profondeur recueillie près de Nanoose (figure 35-3, graphique supérieur) montrent que les températures moyennes en profondeur en 2020 ont atteint des niveaux cohérents avec ceux des dernières années, même si le manque de données pour 2020 fait en sorte qu'il est difficile d'obtenir des détails sur le cycle annuel. La série chronologique des températures à long terme montre une tendance au réchauffement à un taux linéaire de 1,27 °C par 100 ans.

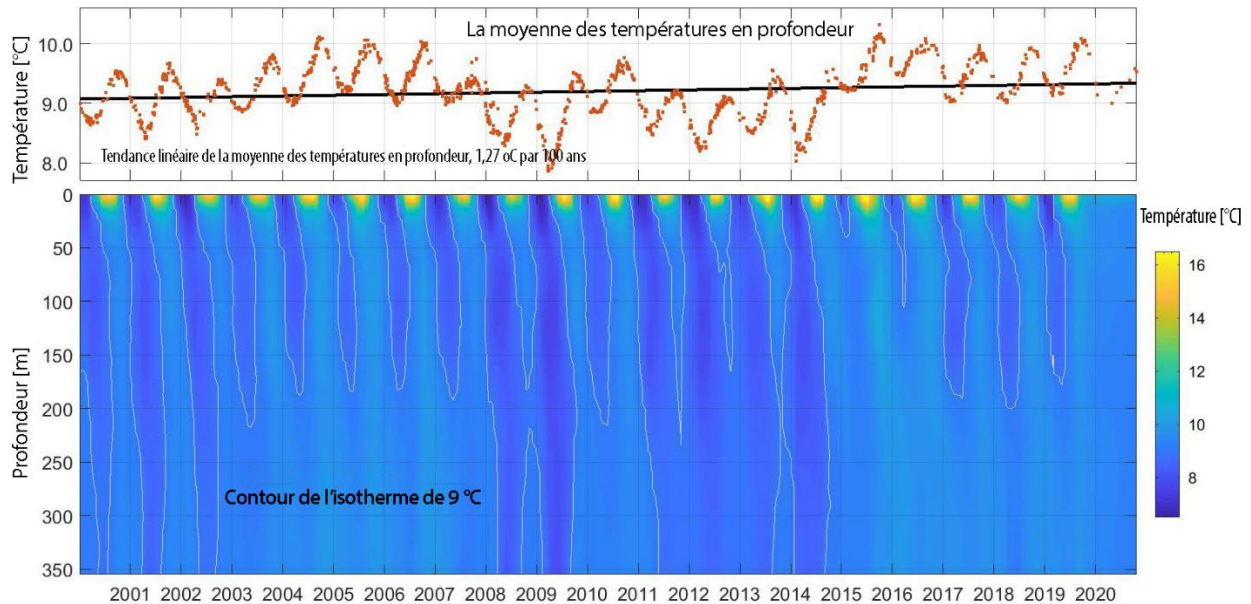


Figure 35-3. Série chronologique de la moyenne des températures en profondeur recueillies près de Nanoose, dans le centre du détroit de Georgia (graphique du haut), et distribution verticale de ces données (graphique du bas). Source : Centre d'expérimentation et d'essais maritimes des Forces canadiennes (CEEMFC).

Le débit du fleuve Fraser affecte la salinité des eaux de surface du centre et du sud du détroit de Georgia, et constitue une force motrice pour le courant côtier de l'île de Vancouver qui circule vers le nord le long de la côte ouest de l'île de Vancouver. Le débit annuel du fleuve Fraser en 2020, mesuré à Hope (C.-B.) (voir la figure 35-4), était nettement supérieur à la moyenne, mais il y avait peu de mesures CTP disponibles pour déterminer son effet sur la mer des Salish. Le débit annuel du fleuve Fraser augmente à un rythme de $4,7 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ par 100 ans.

35.4. Facteurs influençant les tendances

Les propriétés de l'eau dans la mer des Salish sont en grande partie influencées par les conditions océaniques à l'entrée ouest du détroit de Juan de Fuca, et par l'écoulement d'eau douce des rivières, principalement 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 directement dans les températures de l'eau de la mer des Salish et la

tendance à l'augmentation du débit du Fraser à mesure que la fonte des glaciers s'accroît. 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 Georgia (Masson 2002; Pawlowicz *et al.* 2007).

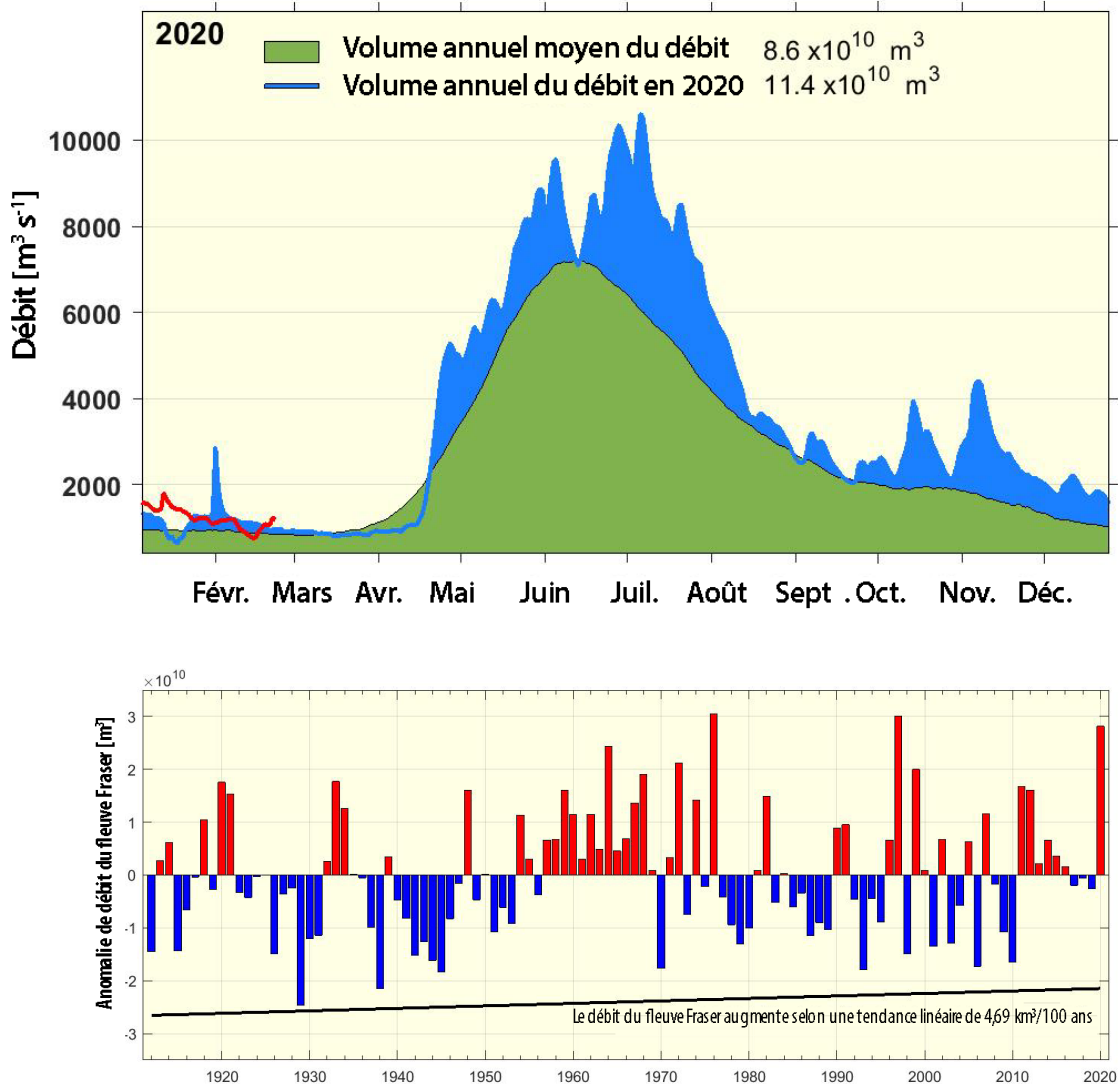


Figure 35-4. (Graphique supérieur) Débit du fleuve Fraser à Hope, en C.-B.; 2020 (bleu), moyenne sur 108 ans (vert), débit supérieur à la normale au début de 2021 (ligne rouge). (Graphique inférieur) Série chronologique de l'anomalie de débit annuel du fleuve Fraser. Extrait du site Web « Données hydrométriques en temps réel » d'Environnement et Changement climatique Canada (https://eau.ec.gc.ca/mainmenu/real_time_data_index_f.html) le 23 février 2021.

35.5. Références

Environment and Climate Change Canada. Real-time Hydrometric Data web site (https://wateroffice.ec.gc.ca/mainmenu/real_time_data_index_e.html), extracted on 23 Feb 2021.

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.

36. PROPRIÉTÉS DES EAUX PROFONDES, DES EAUX DE SURFACE ET DE LA COLONNE D'EAU DE LA MER DES SALISH EN 2020 : INSTRUMENTS CÂBLÉS ET TRAVERSIERS

Richard Dewey¹, Steve Mihaly¹, Joe Needoba¹, Rich Pawlowicz², Tim Green³, et Wiley Evans⁴

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

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

³Université de l'île de Vancouver, station de terrain de la baie Deep Colombie-Britannique, Canada : timothy.green@viu.ca

⁴Hakai Institute, baie Heriot, Colombie-Britannique, Canada : wiley.evans@hakai.org

36.1. Points saillants

L'évaluation des conditions marines de 2020 autour de la côte du sud de l'île de Vancouver, dans les zones hauturières et côtières, révèle plusieurs caractéristiques :

- La plongée des eaux précoce a été forte en février, mais ne s'est pas maintenue, tandis que la remontée des eaux a commencé tardivement et n'a été ni forte ni soutenue. La plongée des eaux d'automne a suivi la moyenne à long terme sur les plans de la force et de la durée.
- La plongée des eaux de l'automne 2020 n'a pas donné lieu à des eaux proches de la surface (> 100 m) significativement plus chaudes, malgré la persistance d'une hausse générale des températures (environ 0,5 °C) après les années de « Blob », de 2014 à 2016.
- Les eaux de mi-profondeur dans la mer des Salish sont restées légèrement plus chaudes que la moyenne à long terme après l'intrusion des eaux du Blob en 2015, mais les variations de refroidissement hivernal et de réchauffement estival en 2020 n'étaient pas remarquables, et ne dépassaient pas les normes climatologiques.
- Les conditions en surface dans le détroit de Georgia, telles que révélées par les capteurs montés sur le traversier *Queen of Alberni*, révèlent une prolifération phytoplanctonique printanière débutant le 7 mars 2020, comme dans les enregistrements à long terme.
- Les données préliminaires d'une nouvelle station dans le détroit de Baynes révèlent un fort cycle de réchauffement saisonnier et un forçage biologique important provenant d'une intense prolifération printanière et d'une respiration soutenue du milieu à la fin de l'été.

36.2. 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 Georgia, y compris le détroit de Baynes. Nous faisons également état des données provenant des

instruments installés sur le traversier *Queen of Alberni* de BC Ferry, qui traverse le détroit de Georgia de Tsawwassen à Duke Point jusqu'à six fois par jour.

1. La bouée météorologique 46119 de la NOAA est 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 utilise la moyenne quotidienne de la tension du vent le long de la côte (mise à l'échelle par f) pour calculer une estimation du volume d'eau océanique transportée vers le large (positif – remontée d'eau) ou vers la côte (négatif – plongée d'eau) par 100 m de côte.

2. Le site profond dans le passage Folger (100 m) d'Ocean Networks Canada (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 (COIV), 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 d'ONC dans le détroit de Georgia (170 m est) est une installation câblée fixe située à 49° 2,5' N et 123° 19' O. La plateforme d'instruments repose sur le fond du détroit central sud, du côté est, à 170 m de profondeur. La plateforme a été installée en septembre 2008. Cette série chronologique fournit un indicateur des propriétés des eaux à mi-profondeur (T, S, O₂) dans le sud du détroit.
4. ONC a installé des instruments sur le traversier 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-a) dans le sud du détroit, qui sont fortement influencées par le Fraser.
5. En 2019, l'ONC, en collaboration avec l'Université de l'île de Vancouver, a installé une nouvelle station de surveillance câblée, une bouée de surface fixe dans le détroit de Baynes à 49° 29' N et 124° 46' O, avec des instruments de mesure des propriétés de l'eau situés à 5, 20 et 40 m de profondeur. En plus d'une station météorologique de surface, la série de capteurs standard comprend la mesure de la pCO₂ pour fournir des renseignements sur l'acidification des océans.



Figure 36-1. 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, l'est du détroit de Georgia et le détroit de Baynes, dans la mer des Salish) et la route du traversier Queen of Alberni (ligne rouge dans l'encart cartographique).

cartographique).

36.3. État et tendances – 2020

36.3.1. Remontée

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. Pour la mer des Salish, cela comprend la région située près de l'entrée du détroit de Juan de Fuca. Le flux de surface sortant et le flux profond entrant associés à la circulation estuarienne permettent aux eaux récemment remontées de pénétrer dans le détroit de Juan de Fuca le long du fond. En particulier, les eaux profondes qui s'écoulent pendant la saison des remontées d'eau entrent principalement par les canyons situés le long de l'accroche du plateau continental, y compris le canyon de Juan de Fuca (figure 36-1). Les vents dominants soufflant vers le sud, qui se produisent généralement pendant l'été et sont associés à la zone de haute pression du Pacifique Nord au large de la côte ouest de l'Amérique du Nord, sont favorables à la remontée d'eau. Les vents orientés vers le nord, généralement associés à l'hiver et à des conditions de tempête, et l'établissement du système de basse pression des Aléoutiennes dans le golfe d'Alaska, sont favorables à la plongée d'eau. Les vents favorables à la remontée d'eau poussent les eaux de surface au large, rapprochant les eaux hauturières plus profondes (salées et riches en nutriments) de la côte, ainsi que du canyon et du détroit de Juan de Fuca. Dans les conditions de plongée des eaux, les eaux de surface (généralement plus chaudes et plus fraîches) sont poussées vers la côte, repoussant vers le bas les eaux salées plus profondes.

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 36-2). Les vents de 2020 présentent quelques caractéristiques notables. Tout d'abord, un fort système de tempête à la fin du mois de janvier a causé la plus grande partie de plongée des eaux en début d'année. Les vents favorables à la plongée d'eau ont été faibles en février, mars et avril. La remontée d'eau a été relativement courte, commençant tard, le 16 mai, et se terminant un peu tôt le 9 septembre, ce qui a donné lieu à une saison de remontée d'eau nette « faible »,

environ 30 % de moins que la moyenne. La plongée des eaux à l'automne a été typique, suivant la moyenne à long terme.

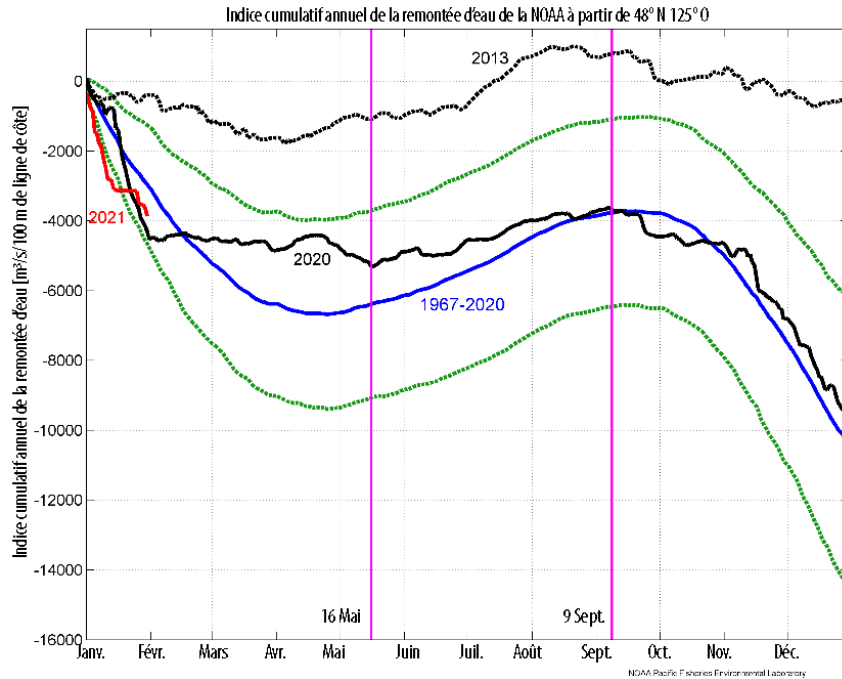
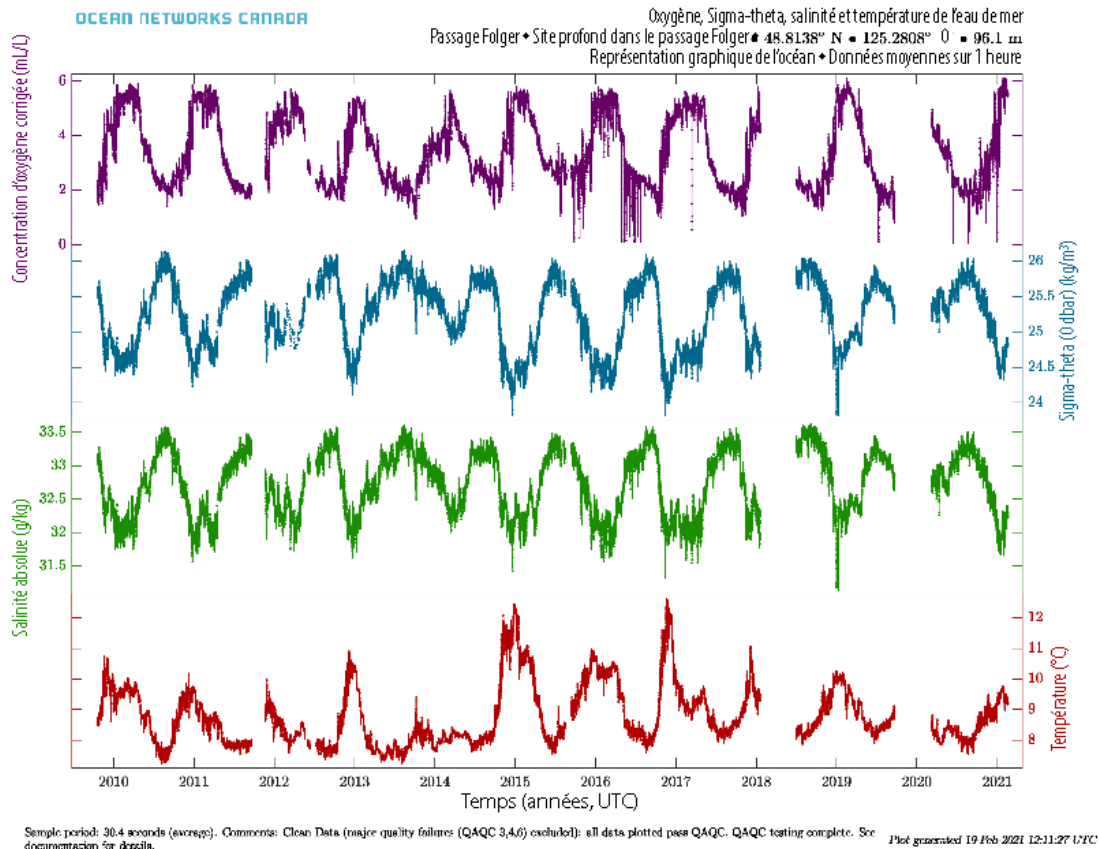


Figure 36-2. Indice cumulatif de la remontée d'eau à partir des vents le long des côtes, enregistré à 48° N 125° O, à l'ouest de l'État de Washington (figure 36-1). Les tendances à la baisse (plongée d'eau) se produisent pendant les vents soufflant vers le nord (vents du sud) et les tendances à la hausse (remontée d'eau) pendant les vents soufflant vers le sud (vents du nord). L'année 2020 est indiquée par une ligne noire pleine. La courbe bleue est la moyenne quotidienne à long terme, avec un écart-type en plus et en moins (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.

Les lignes verticales indiquent le début (16 mai) et la fin (9 septembre) de la saison de remontée d'eau de 2020.

36.3.2. Passage Folger

Sur la côte ouest de l'île de Vancouver, le câble hauturier a une station dans le passage Folger (figure 36-1), près de l'entrée de la baie Barkley. 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 océaniques de surface sont poussées vers l'est, vers le rivage, ce qui rend l'eau des côtes plus douce et plus chaude. Pendant la saison des remontées d'eau, l'eau salée plus fraîche est entraînée dans les eaux côtières.



36-3. 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 36-1). Les enregistrements CTP et de l'oxygène sont présentés ici (de haut en bas) : l'oxygène (en magenta), l'anomalie de densité (σ_t) (en bleu), la salinité (en vert) et la température ($^{\circ}\text{C}$) (en rouge). Les défaillances des instruments au début de 2018 et à la fin de 2019 ont introduit des lacunes dans les données.

Plusieurs signaux sont dignes de mention. Le système n'a pas été opérationnel au cours de la saison hivernale de plongée des eaux (2019-2020), mais a été réinitialisé au début du mois de mars. Durant cette période, l'eau était déjà fraîche (environ $8,5^{\circ}\text{C}$), ce qui indique un début de remontée des eaux précoce, plusieurs mois avant la moyenne à long terme (fin avril). Au cours de la saison de plongée des eaux d'automne, qui, d'après les vents, était plutôt typique, la température maximale atteinte à la fin de l'automne n'était que de $9,3^{\circ}\text{C}$, soit plusieurs degrés de moins que pour toute période depuis le « Blob » de chaleur de 2014. Rien de remarquable n'apparaît dans les mesures de salinité, de densité ou d'oxygène. Toutes les valeurs, y compris les températures, sont plus proches des conditions d'avant le Blob (2014).

36.3.3. Eaux de mi-profondeur du détroit de Georgia

En ce qui a trait à la mer des Salish, la série chronologique provenant de l'emplacement de l'ONC dans l'est du détroit de Georgia (figure 36-1), situé dans la région centre-sud à une profondeur de 170 m. Ce site se trouve sur le côté droit (est) du talweg, entre le sud du détroit peu profond et le bassin central profond, où les profondeurs maximales dépassent 400 m. La

figure 36-4 montre les enregistrements CTP et de l'oxygène à partir de 2008. Les tendances de 2020 ressemblent davantage à 2010, une année d'El Niño. 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 intermédiaires 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 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 bandes solides indiquent des fluctuations à grande fréquence (marées), mais suggèrent des variations latérales qui circulent autour du bassin. 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 par le détroit de Juan de Fuca. L'oxygène est généralement réduit par la respiration (été), et reconstitué l'hiver par une ventilation profonde (de haut en bas) depuis la surface. La « ventilation » est principalement due au mélange des marées dans les chenaux d'accès des îles Gulf et San Juan et sur les bancs moins profonds.

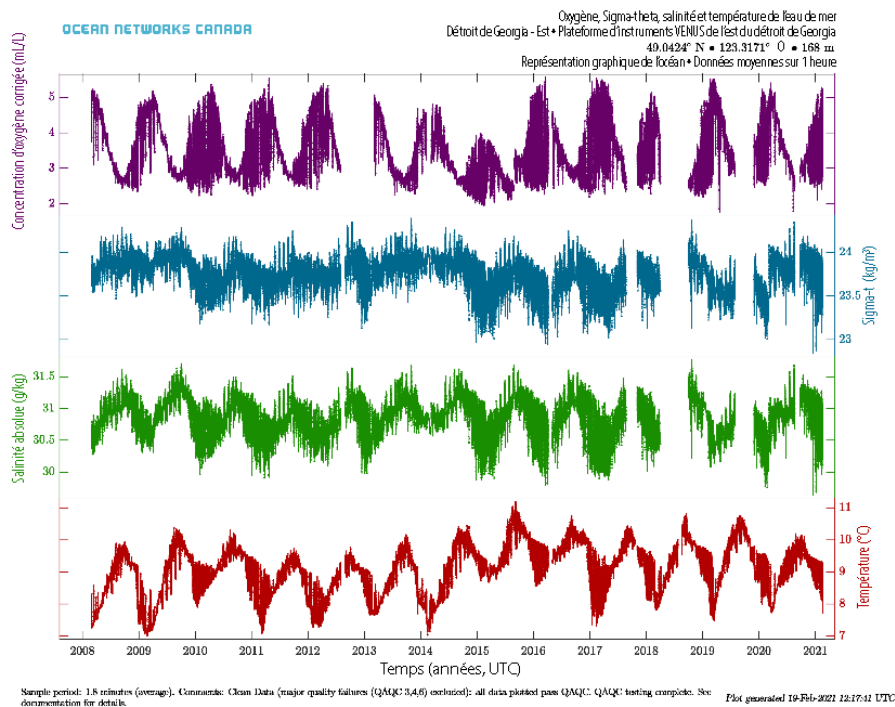


Figure 36-4. Propriétés de l'eau de mer à la station câblée d'ONC dans l'est du détroit de Georgia (170 m), montrant (de haut en bas) : l'oxygène, la densité (σ_t), la salinité et la température. Il convient de noter l'augmentation des températures de référence lors de l'intrusion du « Blob » du nord-est de l'océan Pacifique à la fin de 2014 et au début de 2015. Depuis 2015, l'ensemble du bassin profond du détroit de Georgia est en moyenne plus chaud de 0,7 °C qu'avant 2015. L'année 2020 ressemble davantage à 2010, une année El Niño. Les bandes solides indiquent une forte variabilité à court terme et, en hiver, sont associées à des événements de ventilation froide.

36.3.4. 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 36-1, encart). Ce système est équipé de capteurs d'oxygène et de fluorimètres pour mesurer la chlorophylle, qui détectent la prolifération phytoplanctonique printanière. La prolifération phytoplanctonique printanière est peut-être la

plus facile à identifier, avec une transition évidente vers des concentrations plus élevées de chl-a (figure 36-5, quatrième colonne) le 7 mars (figure 36-5, ligne horizontale noire).

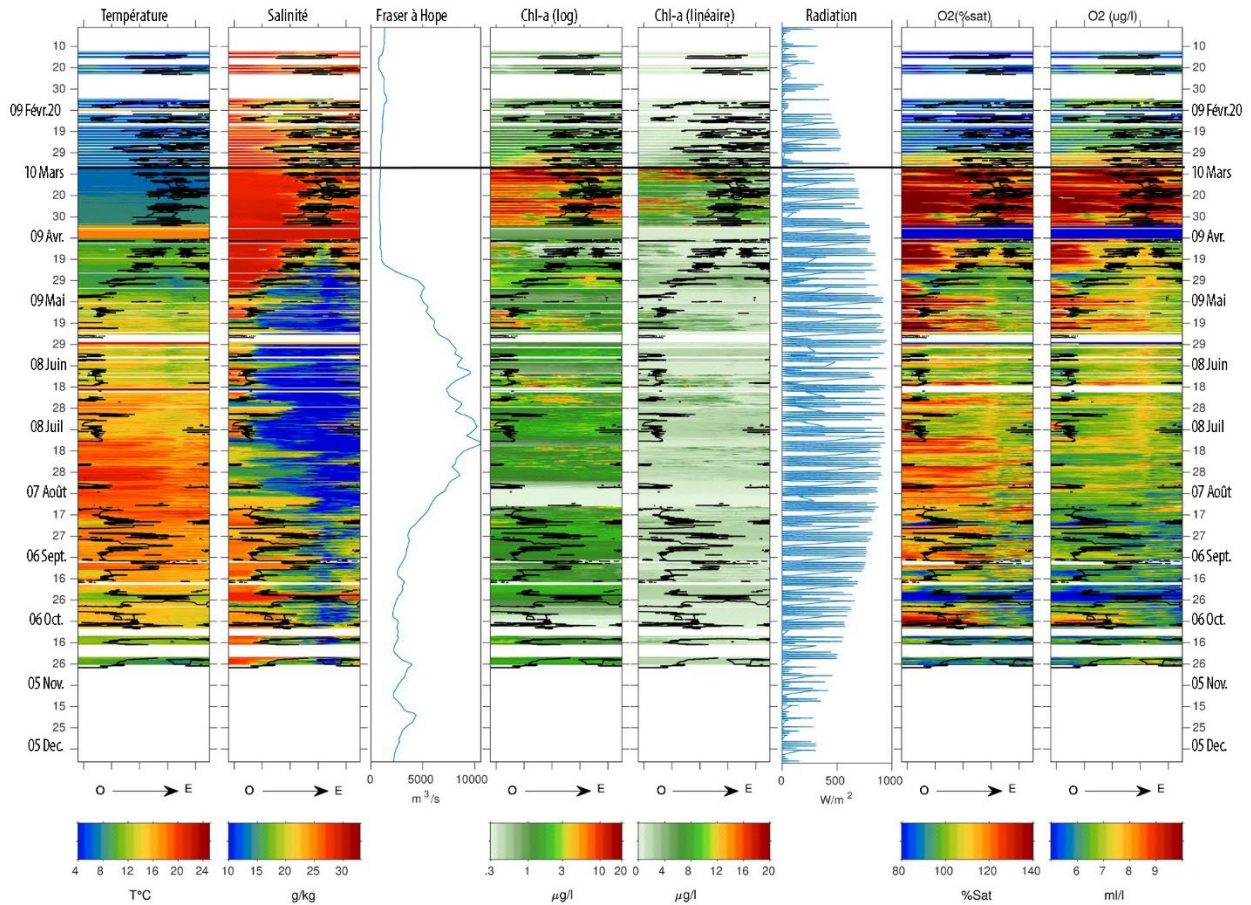


Figure 36-5. Séries chronologiques dans le temps et l'espace d'après des capteurs montés sur le traversier Queen of Alberni, le temps progressant de haut en bas et l'espace de gauche (ouest, Duke Point) à droite (est, Tsawwassen). Les colonnes représentent (de gauche à droite) : la température de la 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 $\mu\text{gm}/\text{L}$. La prolifération phytoplanctonique printanière commence approximativement le 7 mars (ligne noire), lorsque les concentrations de chl-a et d'oxygène augmentent de façon spectaculaire; la crue du fleuve Fraser est indiquée par le motif bleu dans la colonne 2 (et 3), commençant environ le 19 avril.

36.3.5. Station de surveillance du détroit de Baynes

L'ONC exploite une plateforme câblée et amarrée (installée en 2019) dans le bassin sud du détroit de Baynes pour évaluer les conditions marines et l'acidification de l'océan, ce qui est important pour les industries de l'aquaculture qui s'y trouvent. Les collaborateurs incluent l'Université de l'île de Vancouver, qui abrite le point d'atterrissage du câble à la station de terrain de la baie Deep, et le Hakai Institute, qui surveille les conditions d'acidification de l'océan dans la région. Les principaux signaux sont le réchauffement (été) et le refroidissement (hiver) saisonniers qui stratifient initialement la colonne d'eau, une stratification qui est ensuite décomposée par les tempêtes hivernales, et la prolifération printanière (à partir d'avril), qui diminue la pCO_2 de surface et augmente l'oxygène dissous de surface (figure 36-6). La

respiration est le signal dominant en profondeur, entraînant une augmentation de la pCO₂ et une diminution de l'oxygène dissous par rapport à la surface.

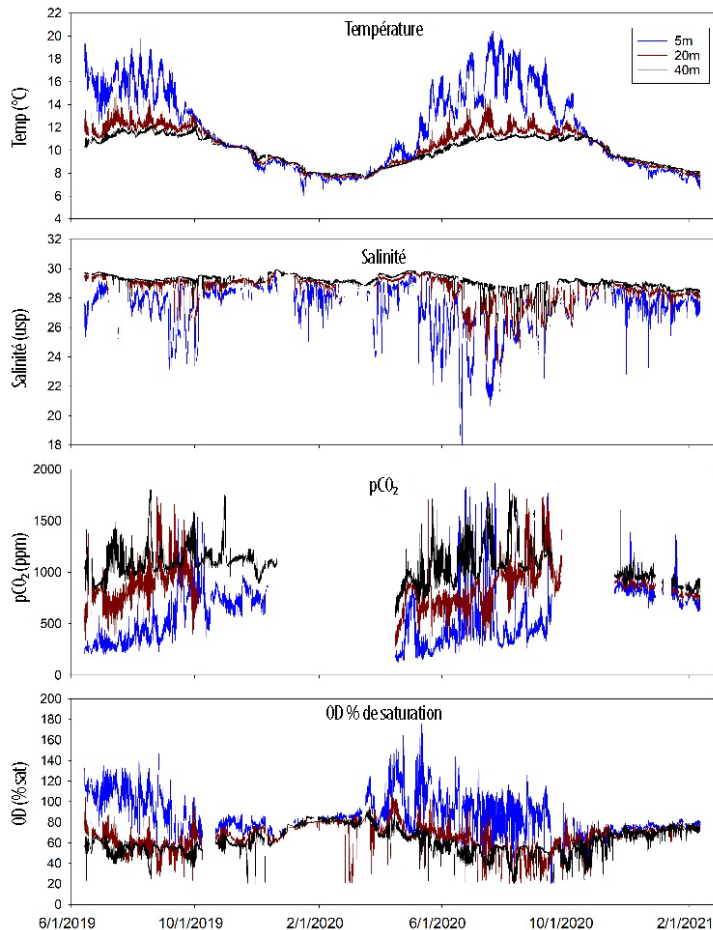


Figure 36-6. Séries chronologiques de température, salinité, pCO₂ et oxygène de la station de surveillance d'ONC du détroit de Baynes, avec des capteurs à 5 m (bleu), 20 m (brun) et 40 m (noir) de profondeur dans 55 m d'eau.

réchauffement saisonnier et une forte stratification, ainsi que de forts cycles de production et de respiration de l'oxygène.

36.4. Résumé

La saison de 2020 a été caractérisée par un ensemble d'observations indiquant une année plus typique, avec peu d'extrêmes, du moins comparativement aux quelques années précédentes, qui ont connu les conditions côtières très chaudes du « Blob » du nord-est du Pacifique. La saison de remontée des eaux le long de la côte sud de la Colombie-Britannique, qui influence fortement le caractère des propriétés des eaux côtières, a été remarquable en ce sens que les vents favorables à la plongée d'eau de fin d'hiver ont été plus faibles que la moyenne et que la transition vers la saison estivale de remontée des eaux a été prolongée par quelques reprises entre le début d'avril et la fin de mai.

Les plages et les variations des propriétés des eaux de surface et de mi-profondeur dans la mer des Salish étaient semblables aux moyennes historiques, y compris un début de prolifération printanière vers le 7 mars 2020. Une nouvelle station de surveillance de l'acidification des océans dans le détroit de Baynes a révélé un fort

37. PÉRIODE DU BLOOM PHYLOPLANCTONIQUE PRINTANIER, PRODUCTIVITÉ ESTIVALE INTERANNUELLE DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA

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

37.1. Points saillants

- La période de prolifération printanière de 2020 était moyenne. Depuis 2006, la période de prolifération printanière a peu changé d'une année à l'autre, contrairement aux dix années précédentes.
- La productivité primaire estivale en 2020 était faible par rapport à la moyenne à long terme.
- La contribution des diatomées à la productivité estivale modélisée du phytoplancton en 2020 était très faible par rapport à la moyenne de 2007 à 2020.
- Le moment de la prolifération printanière de 2021 devrait être près de la moyenne ou tardif.

37.2. Description de la série chronologique

Nous utilisons ici deux modèles numériques pour montrer les variations interannuelles du phytoplancton dans le détroit de Georgia.

37.2.1. *Modèle biophysique unidimensionnel pour la prolifération printanière, SOG.*

SOG est un modèle physique vertical unidimensionnel couplé à un modèle biologique nitrate-diatomées (Collins *et al.* 2009). Tous les processus océanographiques latéraux 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, au centre du détroit de Georgia (Perry *et al.* 2021). 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 et dans la rivière Englishman ou, lorsque la rivière Englishman n'est pas disponible, dans la rivière Nanaimo (p. ex., 2021). Le débit à Hope représente la partie du fleuve Fraser dominée par la fonte des neiges, tandis que la rivière Englishman ou Nanaimo représente toutes les autres rivières et la partie du fleuve Fraser dominée par les précipitations. Nous avons produit une série chronologique de la prolifération printanière remontant jusqu'à 1967 (Allen et Wolfe 2013).

37.2.2. *Modèle biophysique tridimensionnel : SalishSeaCast*

SalishSeaCast est un modèle biologique, physique et chimique couplé tridimensionnel de la mer des Salish. Le modèle physique est basé sur NEMO (Madec *et al.* 2015). Les résolutions de grille sont d'environ 500 m à l'horizontale et de 1 à 22 m à la verticale, avec une résolution plus élevée près de la surface (Soontiens *et al.* 2016). Le modèle est forcé par les facteurs réalistes de vents et de rayonnement solaire provenant du modèle du Système à haute

résolution de prévision déterministe (SHRPD) de 2,5 km d'Environnement et Changement climatique Canada (Milbrandt *et al.* 2016). Les apports fluviaux sont basés sur une climatologie (Morrison *et al.* 2011), ou dans le cas du fleuve Fraser, sur les observations à Hope. Le modèle biologique, SMELT, est un modèle à trois nutriments, trois phytoplanctons, deux zooplanctons et trois catégories de détritiques (Olson *et al.* 2020). Nous présentons ici les résultats concernant la prolifération printanière à partir d'une version expérimentale qui rend le mieux compte du moment de la prolifération printanière. Nous présentons la productivité estivale en fonction de la version actuelle du modèle, qui rend le mieux compte de la productivité estivale et pour laquelle nous disposons d'une série chronologique de 14 ans.

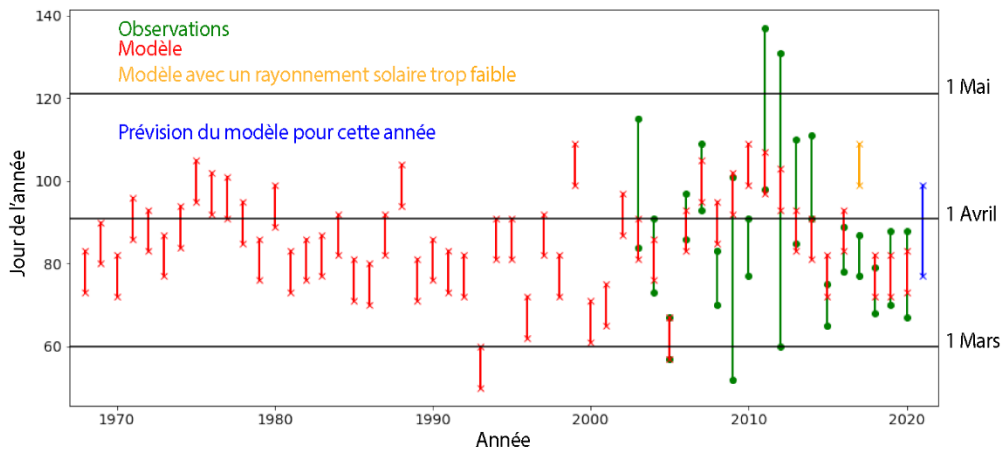


Figure 37-1. Série chronologique de la période du pic de la prolifération phytoplanctonique printanière Vert – observations des systèmes montés sur le traversier. Rouge – modèle SOG. Orange – modèle SOG avec un rayonnement solaire trop faible (voir Allen *et al.* 2018). Bleu – prédiction du modèle SOG pour 2021.

37.3. État et tendances

37.3.1. Prolifération printanière

La prolifération printanière de 2020 s'est produite entre le 13 et le 23 mars 2020 selon le modèle SOG (figure 37-1). 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 7 mars au 28 mars 2019 (figure 37-1). Pour obtenir plus de détails sur les observations provenant du traversier, voir Dewey *et al.*, section 36. La prolifération printanière de 2021 devrait culminer entre le 17 mars et le 8 avril 2021.

La période de prolifération printanière de 2020 s'est produite au moment habituel. La moyenne de la série chronologique du SOG est le 26 mars, avec un écart-type de 11 jours. Comme souligné l'année dernière, depuis 2011, la date de la prolifération printanière n'a pas beaucoup varié d'une année à l'autre. Cette légère variation est similaire à celle des séries chronologiques antérieures à 1993 et très différente des grandes variations observées entre 1993 et 2006.

37.3.2. Productivité estivale

Pour mesurer la productivité estivale, nous additionnons la productivité primaire des trois groupes de phytoplancton du modèle, soit les diatomées (représentant les diatomées centriques et pennées), les flagellés (principalement les haptophytes, les cryptophytes et les prasinophytes) et les ciliés (représentant *Mesodinium rubrum*), puis nous intégrons les 30 m supérieurs et faisons la moyenne pour les mois estivaux de juin, juillet et août. La productivité estivale (figure 37-2, graphique supérieur gauche) est plus élevée dans le nord et le sud du détroit de Georgia que dans la région centrale. Dans tout le détroit, à l'exception de certains bras de mer et au sud, la productivité estivale en 2020 était beaucoup plus faible (d'environ 10 à 25 %) que la moyenne des quatorze dernières années. En 2019, la productivité estivale était également plus faible, mais seulement de 5 à 10 %, et une plus grande fraction de la photosynthèse était effectuée par les flagellés par rapport aux diatomées. En 2020, les diatomées ont été largement absentes tout au long de l'été avec des contributions à la productivité 50 % inférieures à la moyenne.

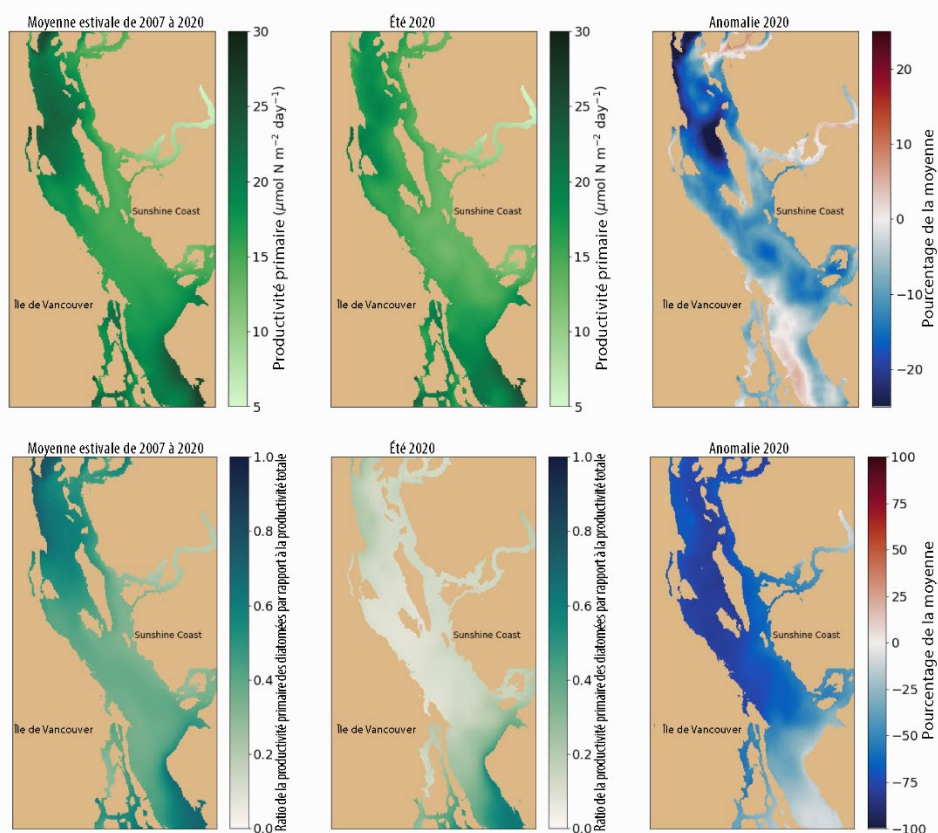


Figure 37-2. Productivité estivale dans le détroit de Georgia et sa variation en 2020 par rapport à la moyenne de 2007 à 2020. La moyenne des valeurs est calculée sur les mois de juin, juillet et août et intégrée pour les 30 premiers mètres de la colonne d'eau. Seules les profondeurs de l'eau supérieures à 35 m sont indiquées. Rangée du haut : productivité primaire dans le modèle. Rangée du bas : rapport entre la productivité primaire des diatomées et la productivité totale. Colonne de gauche : moyenne sur quatorze ans. Colonne du milieu : 2020. Colonne de droite : anomalies par rapport à la moyenne pour 2020, en pourcentage.

37.4. Facteurs influençant les tendances

37.4.1. Prolifération printanière

Selon le modèle SOG, la prolifération printanière de 2020 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 37-3). La prolifération a été interrompue par une grosse tempête à la fin de février, et des tempêtes plus petites au début mars ont arrêté la croissance. Par la suite, la prolifération a été rapide et a atteint son apogée le 18 mars.

37.4.2. Productivité estivale

Selon le modèle SalishSeaCast, les diatomées ont réagi aux impulsions du vent à la fin du mois de mai et au cours de la première semaine de juin, mais après cela, la biomasse est restée faible, sauf une poussée en juillet. De la mi-avril à la mi-mai, les vents étaient faibles, en particulier dans le nord du détroit (non illustré). Dans le modèle, cette absence de vent a entraîné une réduction de la disponibilité des nitrates et une faible biomasse phytoplanctonique ce qui, à son tour, a entraîné une très faible biomasse microzooplanctonique. Lorsque les nutriments sont revenus en mai, les flagellés ont connu une croissance rapide, dépassant leurs principaux brouteurs, le microzooplancton. Les flagellés ont accru la profondeur de la nutricline, entraînant une suppression de la croissance des diatomées. Dans ce modèle, ce système dominé par les flagellés était stable tout au long de l'été. Au moment de la rédaction du présent document, les observations soutenant un été dominé par les flagellés dans l'écosystème du détroit de Georgia ne sont pas disponibles. Cependant, les observations de la chlorophylle par le programme de science citoyenne (Esenkulova *et al.*, section 38) montrent des valeurs anormalement basses durant l'été 2020.

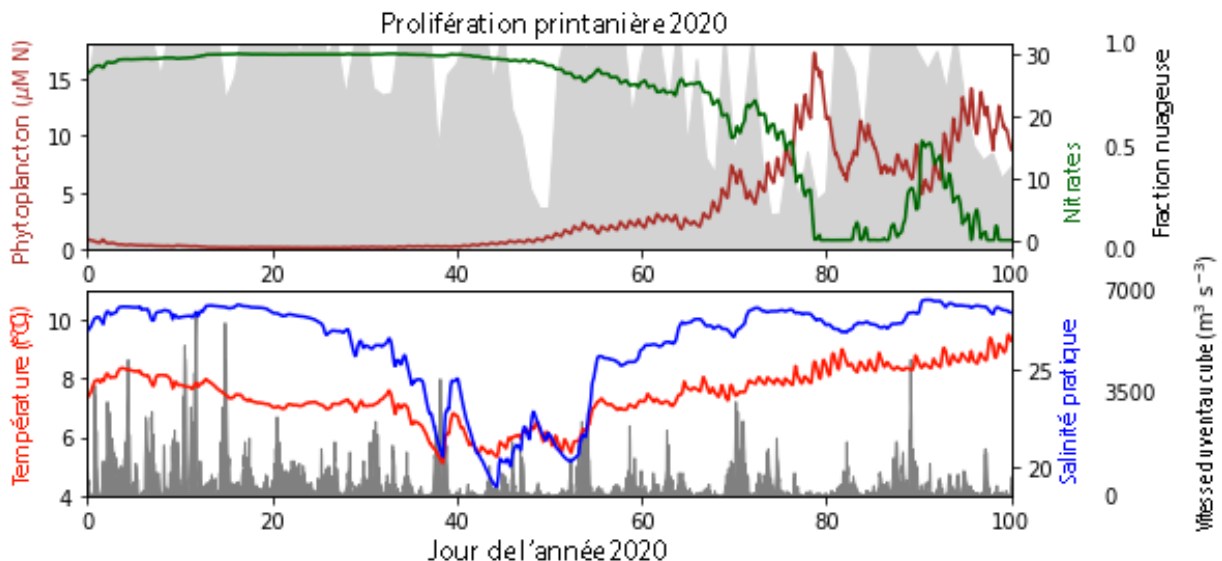


Figure 37-3. Prévion rétrospective de la prolifération printanière de 2020 et des conditions connexes dans le détroit de Georgia. Le graphique inférieur indique la moyenne de la température (en rouge) et de la salinité (en bleu) sur les trois premiers mètres de la colonne d'eau; en gris se trouve le 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 2020 a eu lieu le 18 mars, plus ou moins cinq jours. Les tracés couvrent la période du 1^{er} janvier 2020 au 9 avril 2020.

37.5. Conséquences de ces tendances

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 de prolifération phytoplanctonique printanière en 2020 était bonne pour le hareng d'âge 0. Des décalages extrêmes de la période ont entraîné une faible croissance du zooplancton (p. ex. Sastri et Dower 2009). La période constante de prolifération phytoplanctonique printanière observée dans les années 2010 devrait être bonne pour le zooplancton, comme les copépodes.

Le taux de productivité primaire devrait aider à déterminer la disponibilité ascendante de la nourriture pour les niveaux trophiques supérieurs. En 2020, la productivité estivale était très faible selon SalishSeaCast; en particulier, la productivité des diatomées était bien inférieure aux valeurs typiques dans la série chronologique de quatorze ans. Au moment de la rédaction du présent document, aucune observation n'indique une abondance anormalement basse du zooplancton durant l'été 2020.

37.6. Références

- 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.
- Madec, G., and The NEMO team. 2015. "NEMO Ocean Engine," Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, Tech. Rep., 2016, ISSN No 1288-1619. Available at www.nemo-ocean.eu.
- Milbrandt, J.A., Bélair, S., Faucher, M., Vallée, M., Carrera, M.L., and Glazer, A. 2016. The Pan-Canadian high resolution (2.5 km) deterministic prediction system. Weather and Forecasting 31(6), 1791-1816.
- 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.* 125(8): e2019JC015766.
- Perry, R.I., Young, K., Galbraith, M., Chandler, P., Velez-Espino, A., and Baillie, S. 2021. Zooplankton variability in the Strait of Georgia, Canada, and relationships with the marine survivals of Chinook and Coho salmon. *Plos one* 16(1): e0245941.
- 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.

38. PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NUISIBLES ET CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA EN 2020

Svetlana Esenkulova¹, Rich Pawlowicz², Nicole Frederickson¹ et Isobel Pearsall¹

¹ Fondation du saumon du Pacifique (FSP), Vancouver, Colombie-Britannique, svesen@uvic.ca, nicolehfederickson@gmail.com, pearsalli@psf.ca

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

38.1. Points saillants

- La température et l'oxygène dissous proche de la surface étaient près de la normale, et les salinités étaient plus faibles, en particulier dans le nord du détroit de Georgia; la chl-a estivale était plus faible.
- Il y a eu des proliférations locales d'*Heterosigma akashiwo* avec des concentrations atteignant des milliers de cellules par mL dans la baie de Cowichan, la Sunshine Coast et l'anse Irvine's/Sechelt en juillet et août; les proliférations d'*Heterosigma* de 2020 étaient plus abondantes qu'en 2015, 2016, 2017 et 2019, mais moins qu'en 2018.
- Il n'y a pas eu de prolifération de diatomées pennées, *Pseudo-nitzschia* spp., et de *Rhizosolenia setigera*; les dinoflagellés *Alexandrium* spp. et *Dinophysis* spp. (taxons producteurs d'IDM et d'IPP) étaient très abondants.
- Un épisode de mortalité de milliers de perchaudes a été signalé à la rivière Powell au début de septembre.

38.2. Programme de science citoyenne

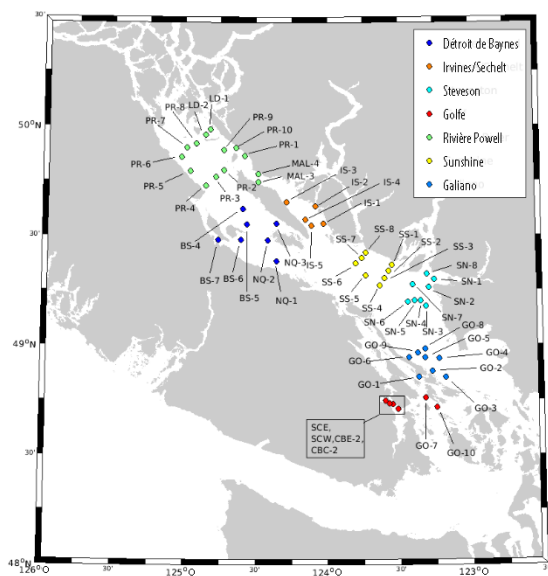


Figure 38-1. Carte du détroit de Georgia avec les lieux d'échantillonnage du programme de science citoyenne en 2020. Les différentes couleurs représentent les différentes patrouilles.

Le concept de faire appel à des citoyens pour recueillir des données océanographiques dans les eaux de la Colombie-Britannique a été initialement proposé par M. Eddy Carmack, du MPO. Il a imaginé une « flottille de moustiques » composée de bateaux privés qui recueilleraient des données pour la science partout dans le détroit de Georgia en même temps. Finalement, cette idée a été mise en œuvre par la Fondation du saumon du Pacifique (FSP), qui gère et exploite un tel programme depuis 2015. Plusieurs dizaines de membres formés de différentes communautés locales, organisés en 7 à 10 patrouilles concentrées sur un navire particulier et soutenues par l'assistance technique de la FSP, ainsi que de ses partenaires d'Ocean Networks Canada, de Pêches et Océans Canada et des universités de Victoria et de Colombie-Britannique, ont recueilli des renseignements dans le détroit de

Georgia de façon périodique (environ 20 fois par année) entre février et octobre. La portée et la couverture de ces données sont sans précédent; de plus amples détails sur ce programme et l'ensemble de données de science citoyenne, ainsi que des figures montrant les conditions océanographiques de 2015 à 2019, sont fournis dans le rapport de Pawlowicz *et al.* (2020). Une version numérique de cet atlas est en cours de création et sera disponible sur le site du Centre de données du détroit de Georgia (sogdatacentre.ca).

38.3. Description de la série chronologique

En 2020, l'échantillonnage coordonné du programme de science citoyenne a eu lieu à environ 55 emplacements (figure 38-1), soit une légère diminution par rapport aux 75 sites échantillonnés de 2015 à 2018. Des profils de conductivité-température-profondeur-oxygène dissous-fluorescence de la chlorophylle (CTP/OD/Fc) jusqu'à 150 m ont été recueillis à toutes les stations, 2 à 3 fois par mois entre février et octobre, avec une date supplémentaire d'échantillonnage « hivernal » en décembre, pour un total d'environ 700 profils. Des sondes CTP RBR Concerto ont été utilisées, et les données brutes ont été archivées par Ocean Networks Canada, qui a également traité ces données pour en faire des profils compartimentés d'un mètre. Un ensemble de données exhaustif avec des mesures de contrôle de la qualité supplémentaires est disponible au Centre de données du détroit de Georgia (sogdatacentre.ca).

Des échantillons de nutriments ont également été recueillis à 2 profondeurs dans environ 30 stations, des échantillons de phytoplancton dans toutes les stations, et du zooplancton dans 3 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. 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 (en 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 ~1 350 échantillons (environ 85 % du nombre total d'échantillons recueillis en 2020).

38.4. État et tendances

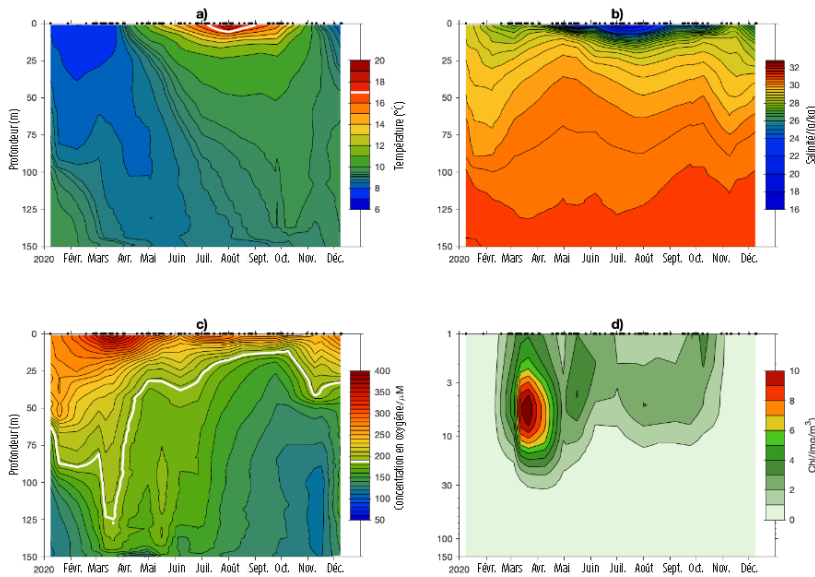


Figure 38-2 Cycle annuel des propriétés de l'eau dans le détroit de Georgia en 2020. Les lignes blanches marquent les limites physiologiques conservatrices pour les salmonidés (température la plus chaude : 17 °C, concentration en oxygène la plus faible : 6 ppm ou 187 µM).

Seules les données CTP et sur le phytoplancton sont actuellement disponibles pour 2020. En calculant la moyenne pour l'ensemble du détroit, on constate que la teneur en oxygène dissous est inférieure à 6 ppm ou 187 µM dans les eaux de plus de 15 m de profondeur à la fin de l'été (figure 38-2). Pour les salmonidés en particulier, les études ont révélé des comportements d'évitement à des concentrations de 4,5 à 6 ppm (ministère de l'Environnement et de la

Stratégie de lutte contre les changements climatiques de la Colombie-Britannique [BC MECCS] 1997b), les lignes directrices approuvées en matière de qualité de l'eau (Water Quality Guidelines) de la Colombie-Britannique suggérant un seuil acceptable d'oxygène instantané de 5 ppm pour éviter de nuire à tous les stades biologiques des espèces aquatiques (BC MECCS 1997a). En nous appuyant sur les recommandations des experts, nous utilisons une limite supérieure légèrement plus conservatrice de 6 ppm (ou 187 µM) dans nos chiffres. De même, on pense que des températures d'environ 17 °C provoquent un stress physiologique chez les salmonidés (US EPA 2003), et les 6 m supérieurs de la colonne d'eau étaient plus chauds que cela en juillet et août.

Si l'on compare l'année 2020 aux années précédentes (figure 38-3), les températures de l'eau à proximité de la surface étaient légèrement plus élevées, mais les niveaux d'oxygène dissous (OD) étaient près des niveaux habituels, et les salinités de surface étaient plus faibles. Il existe un lien entre ces faibles salinités et le débit plus important du fleuve Fraser, en particulier au milieu de l'été, mais les anomalies de salinité les plus faibles en 2020 se sont en fait produites dans le nord du détroit (non montré). En intégrant nos profils de fluorescence de la chlorophylle (après étalonnage par rapport aux échantillons d'eau), nous avons constaté une importante prolifération printanière en mars, au même moment où la prolifération a été estimée à l'aide des mesures du programme de surveillance des traversiers de la Colombie-Britannique dans le sud du détroit, exploité par Ocean Networks Canada. Il est à noter que la comparaison avec ces estimations de la durée de la prolifération provenant des traversiers semble indiquer que le programme

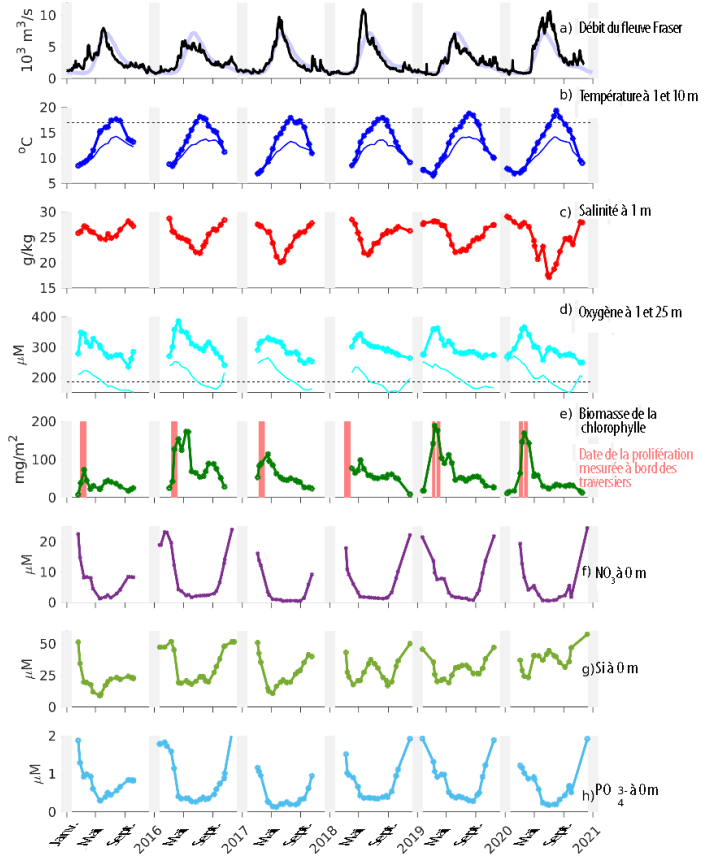


Figure 38-3 Tendances des propriétés de surface à l'échelle du détroit de 2015 à 2020.

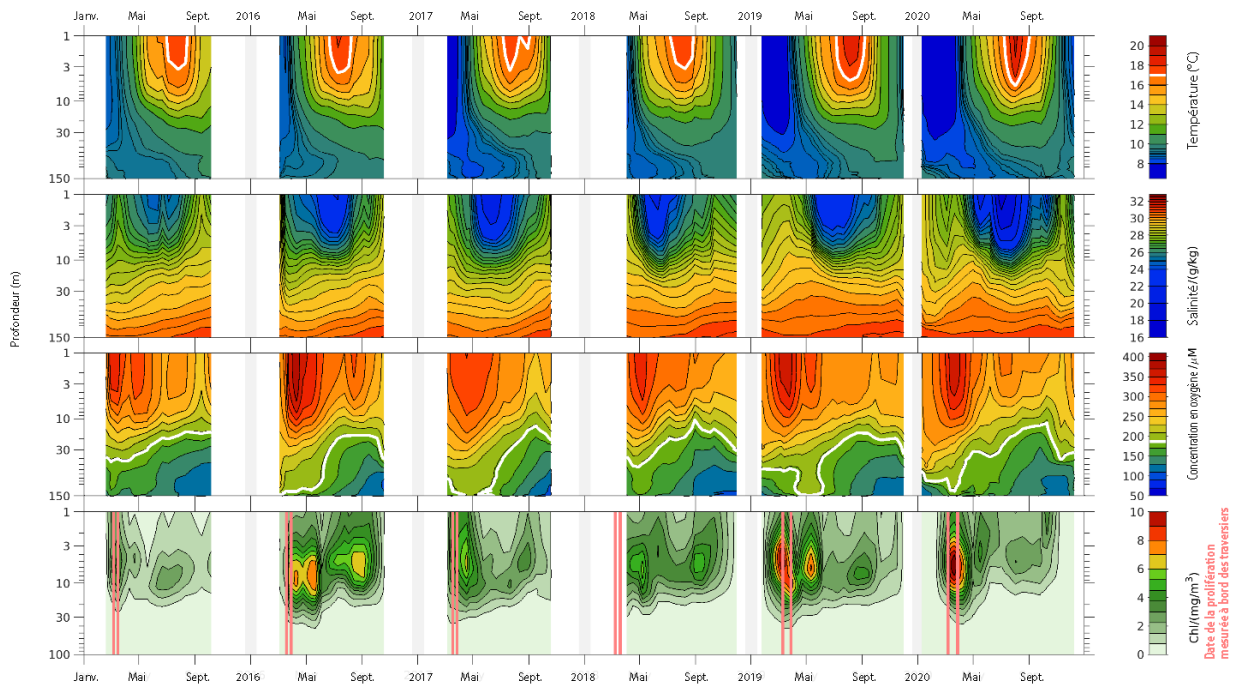


Figure 38-4. Tendances des propriétés de la colonne d'eau à l'échelle du détroit de 2015 à 2020.

de science citoyenne n'a peut-être pas saisi la prolifération au cours de certaines années antérieures. Après la prolifération, la biomasse phytoplanctonique estivale était plus faible en 2020 qu'au cours des années précédentes.

En plus des eaux de surface légèrement plus chaudes en 2020, la profondeur du contour de la moyenne de 17 °C était plus grande (environ 6 m) par rapport aux profondeurs d'environ 3 m observées de 2015 à 2018 (figure 38-4). Cependant, les profondeurs de la limite de 6 ppm d'OD sont les mêmes que les années précédentes. Les niveaux d'oxygène près de la surface sont élevés pendant tous les étés, et sont particulièrement élevés pendant la période de prolifération printanière, ce qui est lié aux niveaux élevés de productivité primaire durant cette période (Wang *et al.* 2019).

Après la prolifération printanière annuelle, qui comprenait plusieurs espèces de diatomées, comme de 2016 à 2019 (mais ce qui n'est pas similaire à la prolifération printanière quasi monospécifique de 2015), plusieurs proliférations d'algues nuisibles ont été observées. Il y a eu quelques proliférations locales de raphidophytes ichtyotoxiques – *Heterosigma akashiwo*. Des proliférations denses avec des concentrations maximales atteignant 7 000 cellules mL⁻¹ ont été observées dans la baie de Cowichan le 25 août 2020; des proliférations avec des concentrations de 1 000 à 3 500 cellules mL⁻¹ ont été observées près des côtes de l'anse Irvine's/Sechelt et de Stevetson, et de la Sunshine Coast en juin et juillet. *Heterosigma* est apparu dans environ 6 % des échantillons de surface de juin à août, avec des concentrations supérieures à 200 cellules mL⁻¹. À titre de comparaison, ce pourcentage était de 0 % de 2015 à 2017, de 10 % en 2018 et de 2 % en 2019. Il n'y a eu aucune prolifération de diatomées pennées *Pseudo-nitzschia* spp. et *Rhizosolenia setigera* en 2020 (tableau 38-1).

Tableau 38-1. Concentration cellulaire maximale (cellules mL⁻¹) enregistrée.

Espèce	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>Heterosigma akashiwo</i>	6	150	20	11 000	25 000	7 000
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	40	600	300	4 500	30	70
<i>Rhizosolenia setigera</i>	250	800	1 800	4 000	500	5

Les dinoflagellés *Alexandrium* spp. et *Dinophysis* spp. étaient très abondants (tableau 38-2). Ces deux genres semblent avoir la plus grande fréquence d'occurrence en 2020 par rapport aux années précédentes.

Tableau 38-2. Fréquence d'occurrence (%) dans les échantillons de surface.

Année	<i>Alexandrium</i>	<i>Dinophysis</i>
2015	10,7	1,7
2016	16,3	0,7
2017	18,1	1,6
2018	15,7	5,1

2019	10,1	3,7
2020	18,3	5,5

Un événement de mortalité de milliers de perchaudes à la rivière Powell a été signalé par le scientifique citoyen Ed Oldfield le 7 septembre (figure 38-5). Il a signalé que c'était « au même emplacement que l'épisode de mortalité du krill d'avril 2019 » [traduction]. Des échantillons ont été recueillis et fournis à l'ISM et au MPO par les scientifiques citoyens et la FSP.



Figure 38-5. Photo de perchaudes mortes à Beach Gardens, rivière Powell, le 7 septembre 2020. Photo par Ed Oldfield.

38.5. Facteurs influençant les tendances

La dynamique du phytoplancton est directement régie par des facteurs environnementaux primaires. Les concentrations d'algues nuisibles dans le détroit de Georgia sont liées à des paramètres environnementaux.

38.6. Conséquences de ces tendances

Les salmonidés sont vulnérables aux eaux chaudes et à l'hypoxie. Le détroit de Georgia était trop chaud et s'approchait des limites d'OD pour les salmonidés dans plusieurs zones à la fin de l'été 2020. Les proliférations

d'*Heterosigma* dans le détroit de Georgia sont liées aux faibles remontes de saumon (Rensel et al. 2010) et sont la plus grande cause de pertes directes de saumon d'élevage en Colombie-Britannique (Haigh et Esenkulova 2014). Dans notre série de données, 2020 a été la deuxième pire année (après 2018) pour les proliférations de *Heterosigma*. Certaines espèces des genres *Alexandrium*, *Dinophysis*, et *Pseudo-nitzschia* produisent des toxines qui provoquent des intoxications par phycotoxine paralysante et des intoxications diarrhéiques et amnésiques par les mollusques, respectivement (IPP, IDM, IAM). La forte abondance d'*Alexandrium* et de *Dinophysis* peut entraîner des concentrations élevées de toxines IPP et IDM.

38.7. Références

BCMECCS. 1997a. British Columbia Ambient Water Criteria for Dissolved Oxygen. Overview Report. BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, Available from <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-quality/water-quality-guidelines>, 7 p.

BCMECCS. 1997b. British Columbia Ambient Water Guidelines for Dissolved Oxygen. Technical Report. BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, Available from <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-quality/water-quality-guidelines>, 84 p.

- 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 No. 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.* 3374: vii + 116 p.
- Rensel, J.J., Haigh, N., and Tynan, T.J. 2010. Fraser river sockeye salmon marine survival decline and harmful blooms of *Heterosigma akashiwo*. *Harmful Algae* 10(1): pp.98-115.
- US EPA. 2003. EPA Region 10 Guidance for Pacific Northwest State and Tribal Temperature Water Quality Standards. EPA 910-B-03-002. U.S. Environmental Protection Agency, Region 10 Office of Water, Seattle, WA, Available from www.epa.gov/r10earth/temperature.htm, 57 p.
- Wang, C., Pawlowicz, R., and Sastri, A. 2019. Diurnal and seasonal variability of near-surface oxygen in the Strait of Georgia. *J. Geophys. Res.* 124: 2418– 2439, DOI: 10.1029/2018JC014766

39. ÉTAT ET TENDANCES DU ZOOPLANCTON DANS LE CENTRE ET LE NORD DU DÉTROIT DE GEORGIA EN 2020

Kelly Young¹, Moira Galbraith¹, Akash Sastri¹ et Ian Perry²

¹ Pêches et Océans Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Kelly.Young@dfo-mpo.gc.ca, Moira.Galbraith@dfo-mpo.gc.ca, Akash.Sastri@dfo-mpo.gc.ca

² Pêches 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

39.1. Points saillants

- Malgré les restrictions liées à la COVID, des échantillons ont été prélevés environ une fois par mois tout au long de l'année; cependant, aucun échantillon n'a été prélevé en avril, mai et juillet pour 2020, ce qui rend les comparaisons avec les données historiques difficiles.
- La biomasse globale du zooplancton est en hausse, celle de 2020 étant supérieure à la moyenne (données préliminaires).
- La biomasse zooplanctonique était un facteur important de la survie précoce en milieu marin pour plusieurs stocks de saumon chinook dans le détroit de Georgia de 1996 à 2018 (Perry *et al.* 2021).

39.2. Description de la série chronologique

Des échantillons de zooplancton ont été recueillis dans environ 20 stations normalisées tous les mois de février à octobre depuis 2015, avec des données historiques (mais un effort d'échantillonnage sporadique) remontant à 1995. Cependant, en raison des restrictions liées à la COVID en 2020, aucun échantillon n'a été prélevé en avril, mai et juillet de cette année.

Les trois principaux objectifs du programme d'échantillonnage du zooplancton sont d'étudier : 1) les profils saisonniers et interannuels de la communauté zooplanctonique, 2) les causes possibles des changements et 3) les conséquences potentielles de ces changements.

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 traités en 2020 (30 % des échantillons recueillis pour ce rapport) dans les eaux profondes (fonds à plus de 50 m de profondeur et échantillons prélevés par des traits de filet vertical qui couvrent plus de 70 % de la colonne d'eau) du centre et du nord du détroit de Georgia (moyennes cumulées; figure 39-1). Les

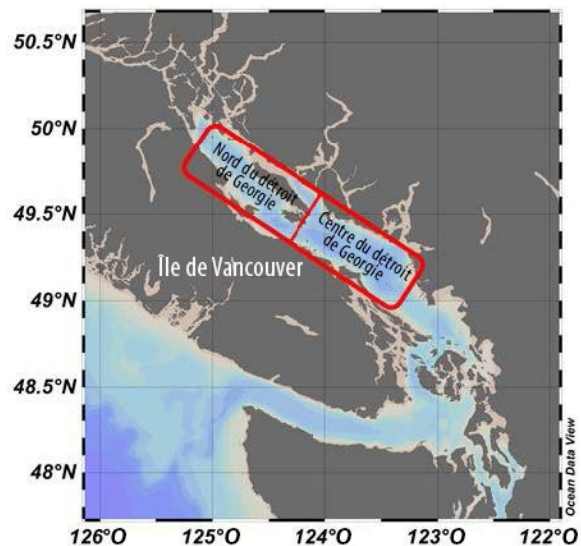


Figure 39-1. Le centre et le nord du détroit de Georgia (DG), indiqués par les cases rouges.

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 2010) 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; Perry *et al.* 2021).

39.3. État et tendances

En 2020, la biomasse totale du zooplancton allait de 17,4 à 201,1 mg m⁻³, la plus faible ayant été observée en hiver et la plus élevée en été (août-septembre; figure 39-2). Le pic estival était plus faible et plus tardif que les années précédentes, mais aucun échantillon n'a été prélevé en avril, mai ou juillet (figure 39-2).

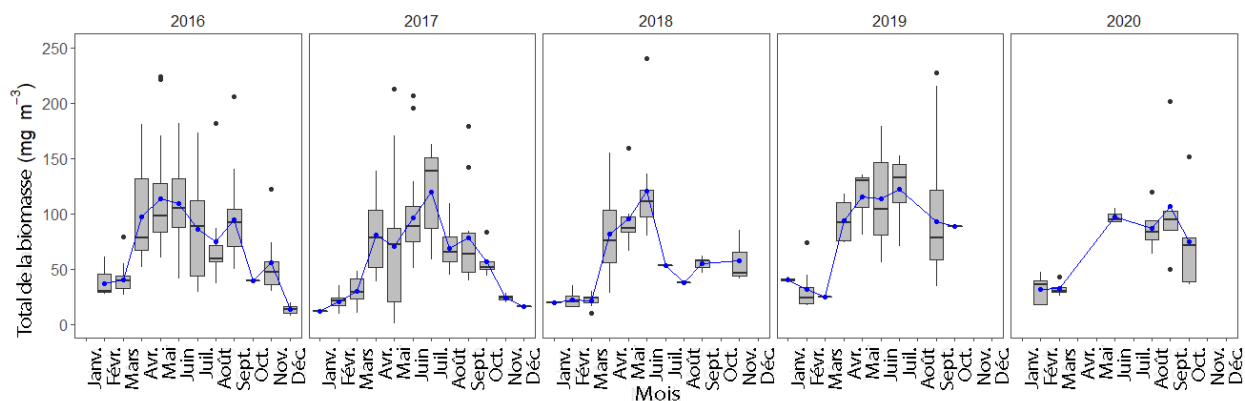


Figure 39-2. Biomasse totale moyenne (mg m⁻³) de zooplancton par mois dans le nord et le centre (moyenne cumulée) du détroit de Georgia de 2016 à 2020. Les tracés en boîtes illustrent la médiane et la distribution des données, le point bleu et la ligne suivent la biomasse moyenne.

Dans l'ensemble, la biomasse totale était supérieure à la moyenne en 2020 (figure 39-3).

La période de pointe de l'abondance et de la biomasse du zooplancton dans le détroit de Georgia varie selon les espèces (figure 39-4). Au sein des groupes de crustacés considérés comme constituant la nourriture préférée des saumons juvéniles (« aliment pour poissons »), les tendances relatives à l'abondance et à la biomasse étaient similaires à celles de 2019. L'abondance des euphausiacés a atteint un pic au printemps, principalement en raison du grand nombre d'œufs et de larves (figure 39-4). La biomasse des euphausiacés a atteint un

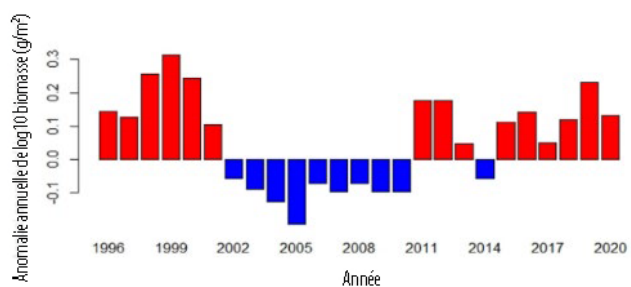


Figure 39-3 Anomalies annuelles de la biomasse totale du zooplancton dans les eaux profondes du centre et du nord du détroit de Georgia, de 1996 à 2020.

sommet à la fin de l'été et en automne, lorsque la plupart des individus étaient adultes. L'abondance des larves de décapodes (crabes et crevettes) 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 2020, l'abondance et la biomasse des amphipodes ont toutes deux augmenté en été et sont restées élevées jusqu'en automne (figure 39-4).

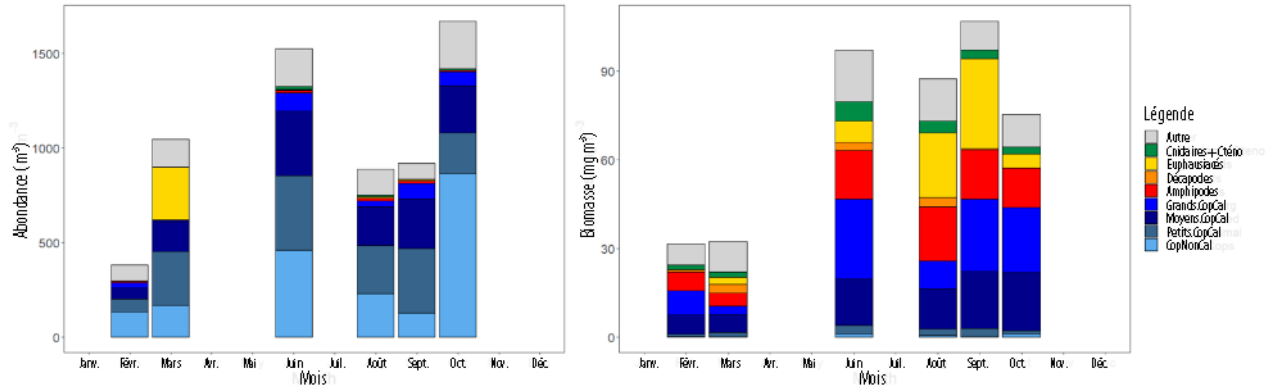


Figure 39-4. Composition taxonomique du zooplancton dans le nord et le centre du détroit de Georgia en 2020, selon la moyenne mensuelle. À gauche : abondance (m^{-3}); à droite : biomasse ($mg\ m^{-3}$). Légende : Grands.CopCal – copépodes calanoïdes, longueur de prosome (LP) > 3 mm; Moyens.CopCal – copépodes calanoïdes, LP de 1 à 3 mm; Petits.CopCal – copépodes calanoïdes, LP < 1 mm; CopNonCal – 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 + Cténo – tous les cnidaires (méduses et siphonophores) et cténophores; Autres – tout le reste : mollusques, polychètes, chétognathes, ichthyoplancton, appendiculaires, etc.

Les copépodes, en particulier les copépodes calanoïdes, dominaient le zooplancton en abondance (figure 39-4, à gauche). Les copépodes calanoïdes moyens et gros et les crustacés plus grands (euphausiacés et amphipodes) dominaient la biomasse (figure 39-4, à droite).

Parmi les copépodes, les petites espèces (comme *Pseudocalanus* spp. et les copépodes de type cyclopoïde) étaient très abondantes, mais elles contribuaient peu à la biomasse globale (figure 39-5). Les copépodes de taille moyenne et grande, comme *Metridia pacifica*, *Calanus* sp. (principalement *C. pacificus* et *C. marshallae*), et *Eucalanus bungii* constituaient la majorité de la biomasse des copépodes (figure 39-5), ce qui représente un changement par rapport à la dominance habituelle du grand copépode *Neocalanus plumchrus* au printemps (figure 39-6).

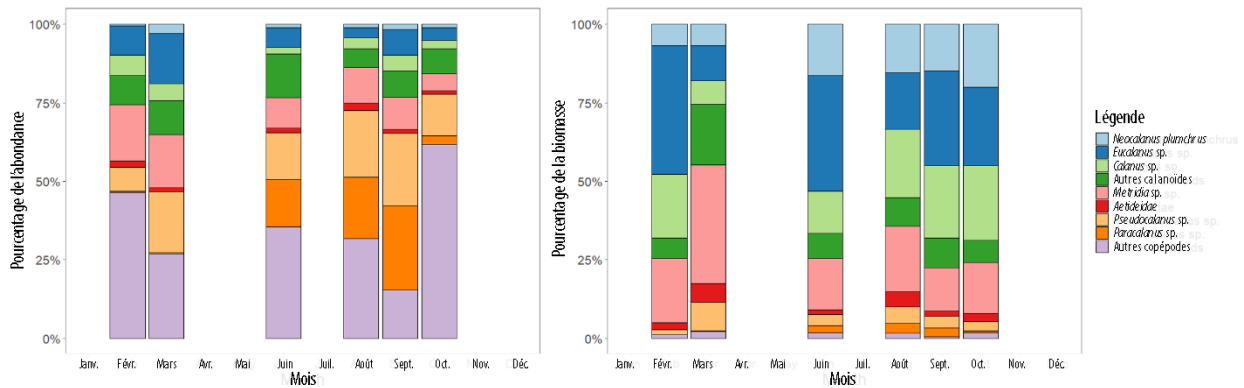


Figure 39-5. Abondance relative (à gauche) et biomasse relative (à droite) de tous les copépodes prélevés dans le nord et le centre du détroit de Georgia en 2020, en moyenne mensuelle. Légende : Autres copépodes – tous les copépodes non calanoïdes; Paracalanus sp. – P. indicus et P. parvus; Pseudocalanus 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 comme 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.

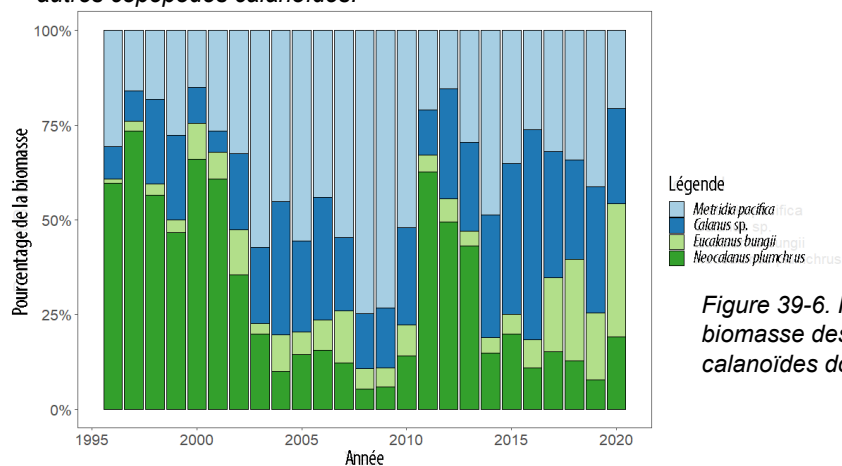


Figure 39-6. Pourcentage annuel moyen de la biomasse des grands et moyens copépodes calanoïdes dominants de 1996 à 2020.

La plupart des espèces d'ichtyoplancton, notamment le hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*), atteignent leur pic au printemps (avril-mai), et malheureusement il n'y a pas eu d'échantillonnage pendant ces mois en 2020. L'abondance et la biomasse des gadiformes, principalement du merlu (*Merluccius productus*), étaient plus élevées en mars 2020 qu'en mars 2019 (5,78 m⁻³ et 0,95 mg m⁻³, respectivement). La biomasse des osméridés, principalement du leuroglosse luisant (*Leuroglossus schmidti*), a légèrement augmenté cet été par rapport à 2019 (Young *et al.* 2020). Des œufs et des larves d'anchois du Pacifique (*Engraulis mordax*) ont également été trouvés dans les échantillons de juin et août 2020.

39.4. 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, comme l'indice d'oscillation sud (IOS), l'oscillation du tourbillon du Pacifique Nord (OTPN) et l'oscillation décennale du Pacifique (ODP; Li *et al.* 2013; Mackas *et al.* 2013; Perry *et al.* 2021), ainsi qu'à des facteurs locaux comme la période de la crue du

Fraser (Mackas *et al.* 2013); la salinité de la surface de la mer et le moment du pic de la prolifération phytoplanctonique printanière (Perry *et al.* 2021).

39.5. Conséquences de ces tendances

La communauté zooplanctonique du détroit de Georgia 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 Georgia (Masson 2002; Mackas *et al.* 2013). Les crustacés de taille moyenne et de grande taille (copépodes calanoïdes, euphausiacés et amphipodes) ont dominé la biomasse totale du zooplancton dans le détroit, et il a été démontré que les variations relatives à ces groupes au fil du temps sont des variables importantes dans les modèles de survie en mer de certaines populations de saumon chinook et coho qui entrent dans le détroit en tant que juvéniles (Perry *et al.* 2021). 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.

39.6. Références

- 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.
- Perry, R.I., Young, K., Galbraith, M., Chandler, P., Velez-Espino, A., Baillie, S. 2021. Zooplankton variability in the Strait of Georgia, Canada, and relationships with the marine survivals of Chinook and Coho salmon. *PLoS ONE* 16(1): e0245941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245941>
- Young, K., Galbraith M., and Perry I. 2020. Zooplankton status and trends in the central and northern Strait of Georgia, 2019. In 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.

40. SAUMONS JUVÉNILES DANS LE DÉTROIT DE GEORGIA

Chrys Neville, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, chrys.neville@dfo-mpo.gc.ca

40.1. Points saillants

- Le relevé d'automne a été réalisé avec succès pour la première fois à bord du nouveau NGCC *Sir John Franklin*.
- À l'automne 2020, la CPUE du saumon coho était la quatrième plus élevée observée dans la série chronologique.
- La CPUE du saumon chinook était la plus grande observée dans la série chronologique.

40.2. Description de la série chronologique

Les saumons juvéniles entrent généralement dans le détroit de Georgia (DG) d'avril à juin et beaucoup peuvent y rester et y croître jusqu'à l'automne. Les relevés au chalut visant les juvéniles sont conçus pour échantillonner les saumons juvéniles dans l'ensemble du détroit de Georgia pendant ces premiers été et automne dans l'océan. En 2020, plusieurs changements ont été apportés à nos relevés. La COVID-19 a entraîné l'annulation de notre relevé d'été (juin). Notre relevé d'automne (septembre) a été réalisé avec succès, et pour la première fois, nous avons pêché à partir du nouveau navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Sir John Franklin*. Ce navire a la capacité d'utiliser nos engins avec les paramètres définis dans le protocole de relevé. Cependant, en raison de retards dans les essais et la formation relative aux engins, l'équipage a dû inclure les résultats obtenus durant cette formation dans notre relevé. Cette formation demandait notamment de maintenir l'engin à des profondeurs précises à l'ouverture et à la vitesse requises. De plus, notre relevé est passé de l'utilisation du filet Cantrawl 250 à celle du filet LFS 7742. Ces filets ont une ouverture de gueule et des maillages de cul de chalut similaires; la comparaison des engins a été réalisée en 2018 (Anderson *et al.* 2019). Toutefois, en raison de ces changements, les résultats de 2020 doivent être interprétés avec prudence. Une analyse plus détaillée sera effectuée après la réalisation de relevés supplémentaires en 2021 avec le nouveau navire.

En 2020, on a pêché dans la zone de relevé standard (trajectoire standard) dans le détroit de Georgia selon les protocoles de Beamish *et al.* (2020) et de Sweeting *et al.* (2003). Les captures par unité d'effort (CPUE) ont été calculées à l'aide de traits de chaluts effectués le long de cette trajectoire standard dans le bassin principal du détroit de Georgia (eaux canadiennes) et pour des profondeurs d'habitat précises (saumon chinook : 0 à 60 m, saumon coho : 0 à 45 m, saumon rose, kéta et rouge : 0 à 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 350 mm dans le relevé de septembre. Cette série chronologique de 23 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 Georgia.

40.3. État et tendances

À l'automne 2020, la CPUE du saumon coho était la quatrième plus élevée observée dans la série chronologique (figure 40-1). De plus, la taille du saumon coho était supérieure à la moyenne et a suivi la tendance observée depuis 2010. La CPUE du saumon chinook était la plus grande observée dans la série chronologique. Le saumon rouge dans le détroit de Georgia en septembre est dominé par le stock de la rivière Harrison de type océanique. En 2020, les captures de ces poissons dans le détroit de Georgia sont restées faibles, à l'instar des observations faites depuis 2015. En septembre, les saumons kétas et roses représentaient en moyenne 50 % de tous les saumons juvéniles capturés. Cependant, en 2020, ces deux espèces ne représentaient que 20 % des prises de saumon et la CPUE du saumon kéta était la quatrième plus faible observée dans la série chronologique.

En plus du saumon, d'autres espèces sont capturées dans le cadre de ce relevé. En 2020, il y a eu quelques changements notables. L'anchois du Pacifique, qui avait été abondant ces dernières années, n'a été capturé qu'en petit nombre (< 100) et très peu d'aiguillats communs ont été capturés (< 20). De plus, les observations d'espèces gélatineuses ont été moins fréquentes comparativement aux observations depuis 2014. Parmi les espèces rencontrées en plus grande fréquence ou abondance, mentionnons le petit calmar, le lançon du Pacifique et la goberge de l'Alaska juvénile. Des jeunes de l'année du hareng du Pacifique ont été observés dans environ 20 % des ensembles. La longueur moyenne à la fourche de ces juvéniles était plus petite que ces dernières années ($88 \pm 8,3$ mm).

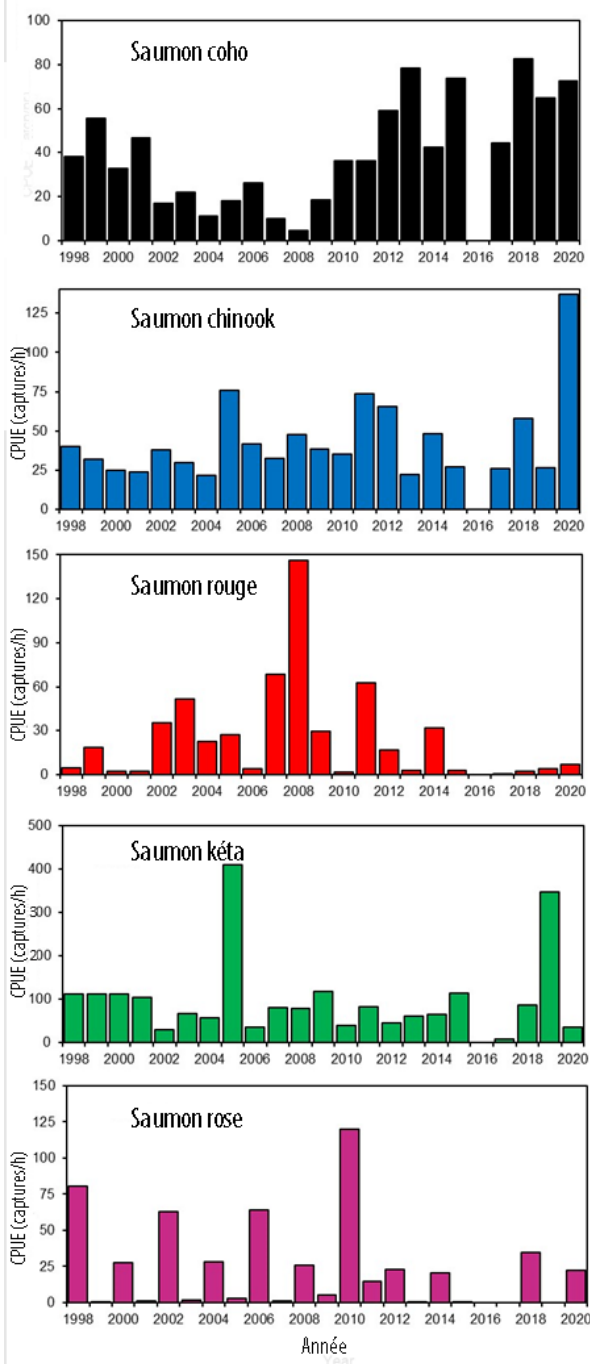


Figure 40-1. CPUE de saumons juvéniles en automne, 1998 à 2020.

40.4. Facteurs influençant les tendances

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 Georgia. La diminution du nombre de prises d'anchois du Pacifique, d'aiguillats communs et d'espèces gélatineuses et l'augmentation de la présence de goberge, de lançon du Pacifique et de hareng de l'année comparativement aux 3 ou 4 dernières années indiquent un changement possible dans l'écosystème du détroit de Georgia. Cependant, en raison du changement de navire et d'engins, les interprétations doivent être examinées avec prudence.

40.5. 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 Georgia 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. Un changement dans la productivité du saumon coho dans le détroit de Georgia vers 2010 a entraîné une augmentation des CPUE et de la taille des juvéniles en septembre (Beamish et Neville, sous presse). Il existe une variabilité accrue entre l'abondance de ces juvéniles à l'automne et les remontes subséquentes, ce qui laisse entendre que les conditions après le premier hiver en mer peuvent également présenter une variabilité accrue. L'augmentation du nombre de prises de saumon chinook juvénile et le déclin du saumon kéta nécessitent des recherches plus approfondies, mais la capacité de comprendre les facteurs de ces changements et les répercussions relatives à la survie totale en mer pourrait fournir de nouveaux outils pour réaliser des prévisions précoces au début de la résidence marine de ces espèces.

40.6. Références

- 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 op
- 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.
- Beamish, R.J., and Neville, C.M. In press. The natural regulation and relevance of wild and hatchery Coho Salmon production in the Strait of Georgia.
- 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.

41. LE RÉGIME ALIMENTAIRE DU SAUMON CHINOOK ADULTE COMME INDICATEUR DE LA VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DES RÉSEAUX TROPHIQUES CÔTIERS

Will Duguid¹, Nick Bohlender, Kelsey Dougan, Katie Innes, Wesley Greentree, Jessica Qualley, Micah Quindazzi, Madeleine Springle et Francis Juanes², Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique ¹willduguid@hotmail.com, ²juanes@uvic.ca

41.1. Points saillants

- Le niveau de plénitude de l'estomac du saumon chinook dans la mer des Salish a été assez stable de 2017 à 2020.
- La quantité de hareng du Pacifique dans les estomacs a augmenté de 2017 à 2020.
- L'anchois du Pacifique a été retrouvé en plus grandes quantités en 2017 et 2018 qu'en 2019 et 2020.

41.2. Description de la série chronologique

L'échantillonnage du régime alimentaire des prédateurs peut fournir des renseignements sur la dynamique des niveaux trophiques inférieurs qui peuvent ne pas être obtenus par d'autres méthodes de recherche (Thayer *et al.* 2008) et peut être un complément précieux aux relevés traditionnels indépendants de la pêche. Depuis 2017, l'Adult Salmon Diet Program (ASDP; programme sur la diète du saumon adulte) a été élaboré comme 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 (Quindazzi *et al.* 2020). À court terme, l'ASDP cherche à caractériser la variation spatiale et saisonnière des régimes alimentaires des saumons adultes et à déterminer si les régimes alimentaires ont changé depuis les études historiques sur les régimes alimentaires (les données publiées les plus récentes sur les régimes alimentaires des saumons adultes en Colombie-Britannique datent des années 1960; Beacham 1986). À long terme, le programme fournira une nouvelle perspective sur la variabilité et les tendances relatives aux communautés de poissons fourrage et sur les répercussions sur l'écologie trophique du saumon.

Les tubes digestifs des saumons chinooks et cohos capturés dans le cadre de la pêche publique ont été soumis par des pêcheurs ou recueillis à des stations de nettoyage de poissons ou lors de tournois de pêche. Les échantillons ont été congelés avec une carte de prise indiquant l'espèce, le lieu de capture, la date de capture, l'état de la nageoire adipeuse (rognée ou non) et la longueur ou le poids, ainsi que des observations supplémentaires sur la capture. Les compositions gravimétriques des régimes alimentaires ont été déterminées en laboratoire.

Des indices provisoires des changements interannuels dans la composition du régime alimentaire ont été élaborés en utilisant uniquement des échantillons de saumon chinook de la mer des Salish canadienne, car c'était la seule région pour laquelle des échantillons étaient disponibles pour toutes les années (2017 à 2020). Les indices étaient basés sur des « indices de plénitude partielle » moyens (Magnussen 2011) pour chaque catégorie de proies. Ces scores étaient proportionnels au poids de la catégorie de proie divisé par le cube de la longueur du saumon. Pour tenir compte des différentes répartitions spatiales et saisonnières des

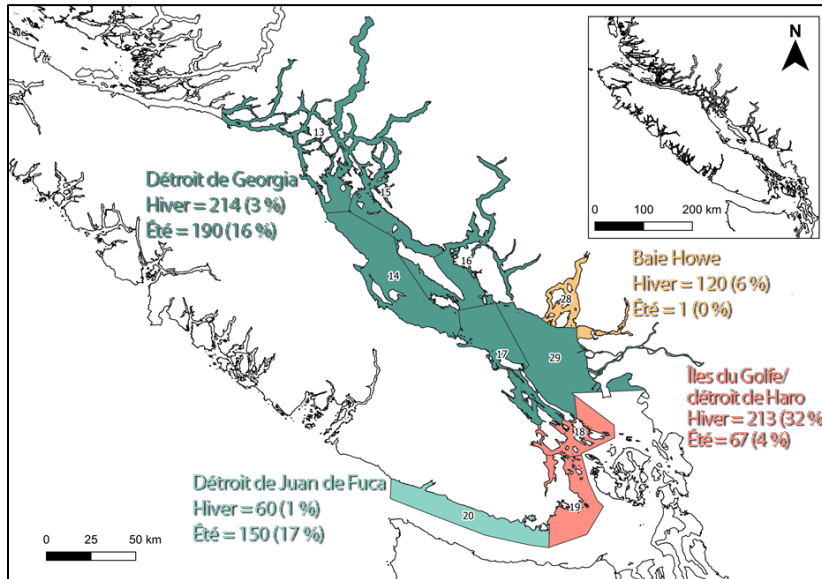


Figure 41-1. Regroupements des SGPP pour les indices de plénitude partielle des proies du saumon chinook. La taille totale de l'échantillon disponible pour chaque combinaison de région et de saison est indiquée avec sa pondération dans les indices annuels indiquée entre parenthèses.

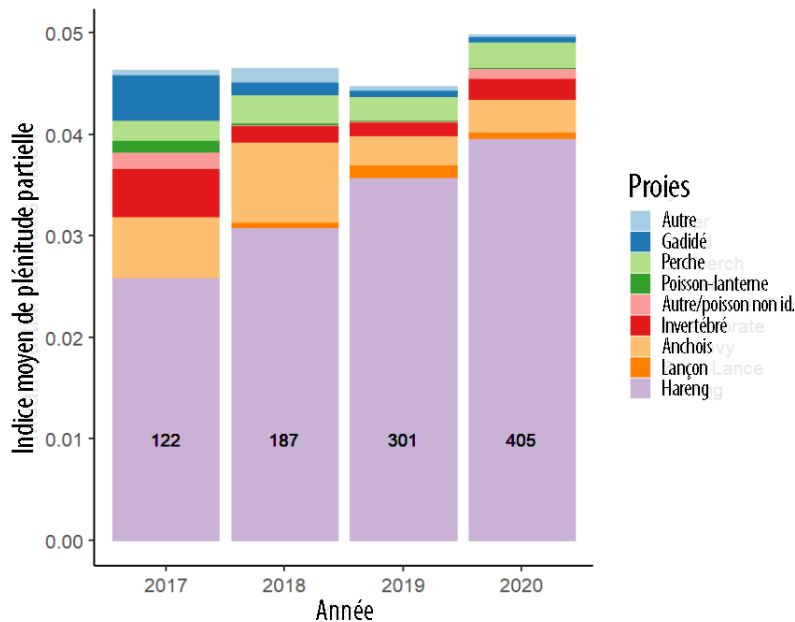


Figure 41-2. Indices de plénitude partielle moyens propres à chaque groupe de proies pour les estomacs de saumon chinook de la mer des Salish de 2017 à 2020. La taille totale de l'échantillon est superposée et les pondérations par région et par saison sont fournies dans la figure 41-1.

échantillons entre les années, les données ont été stratifiées en regroupements « saison par région ». Les saisons définies étaient l'hiver (octobre à mars) et la fin de l'été (août à septembre). Pour éviter de diviser l'hiver entre les années civiles, les mois d'octobre à décembre étaient considérés comme faisant partie de l'année civile suivante. La période d'avril à juillet a été exclue de l'analyse, car la conservation du saumon chinook a été interdite pendant cette période dans une grande partie de la région de l'échantillonnage à partir de 2019. Les regroupements régionaux ont été basés sur une analyse en grappes d'une matrice de dissimilarité de Bray-Curtis du poids moyen en pourcentage des catégories de proies dans les secteurs de gestion des pêches du Pacifique (SGPP) de la mer des Salish d'avril à septembre. Cette approche a permis de définir quatre régions (figure 41-1). Le hareng du Pacifique a largement dominé les régimes alimentaires dans le détroit de Georgia et le détroit de Juan de Fuca, l'anchois du Pacifique était important dans le détroit de Howe, et le lançon du Pacifique était important dans le sud des îles Gulf et le détroit de Haro. Cette régionalisation est provisoire et sa pertinence pour stratifier les données de toute l'année est en cours

d'évaluation. Les indices de plénitude partielle ont été calculés sous forme de moyennes

pondérées où les regroupements région-saison ont été pondérés en fonction de leur taille minimale d'échantillon pour toutes les années. Sur les 2 238 échantillons de régime alimentaire de saumon chinook traités à ce jour par l'ASDP, 1 014 ont été utilisés pour cette série chronologique.

41.3. État et tendances

Le hareng du Pacifique a dominé le régime alimentaire du saumon chinook de la mer des Salish chaque année, et son importance a augmenté de 2017 à 2020 (figure 41-2). Dans l'ensemble, la plénitude de l'estomac était similaire d'une année à l'autre. L'anchois du Pacifique était moins de deux fois moins important en 2019 et 2020 qu'au cours des deux années précédentes. Les faibles indices de plénitude partielle observés pour le lançon du Pacifique dans cette série chronologique sont probablement la conséquence de l'omission des données d'avril à juillet en raison de la fermeture des pêches. Ces mois sont ceux où la part des lançons du Pacifique dans les régimes alimentaires est la plus grande. Les différences interannuelles variaient également entre les régions de la mer des Salish.

41.4. Facteurs influençant les tendances

Avec seulement quatre années de données, il est trop tôt pour procéder à une analyse utile des tendances. Au fur et à mesure que la série chronologique se développe, la comparaison avec les données indépendantes de la pêche, y compris les relevés sur la fraie du hareng du Pacifique et les relevés sur l'abondance d'âge 0, facilitera l'analyse de la question de savoir si le recrutement et la biomasse du stock reproducteur du hareng régulent sa disponibilité pour le saumon chinook. L'abondance de l'anchois du Pacifique a augmenté dans la mer des Salish pendant les conditions anormalement chaudes de 2015 et 2016 (Duguid *et al.* 2019). Il est possible que la diminution de l'importance de l'anchois en 2019 et 2020 reflète la fin de cette poussée de reproduction. Un déclin similaire a été observé dans la fréquence d'occurrence de l'anchois dans les relevés sur le hareng du Pacifique d'âge 0 (Boldt *et al.* 2020). Bien que nous présentions ici des séries chronologiques spatialement agrégées, les tendances varient fortement entre les régions de la mer des Salish. Les analyses futures devraient se faire au niveau des sous-bassins.

41.5. Conséquences de ces tendances

Les changements dans les indices de plénitude partielle pour les différents groupes de proies peuvent refléter à la fois des changements dans l'abondance de ce groupe de proies et dans l'abondance des autres proies. Étant donné l'importance du hareng du Pacifique dans le régime alimentaire du saumon chinook, l'une des principales questions est de savoir si le saumon trouverait d'autres proies adéquates si le hareng devenait moins abondant. La biomasse récente du stock reproducteur de hareng du Pacifique dans le détroit de Georgia a été supérieure à la moyenne (Cleary *et al.*, section 21), tandis que l'abondance du hareng d'âge 0 a été faible, mais relativement stable (Boldt *et al.* 2020). Si un événement comme l'échec du recrutement du hareng du Pacifique en 2007 devait se produire, cet indice du régime alimentaire du saumon chinook adulte fournirait des renseignements précieux sur les répercussions pour les niveaux trophiques supérieurs. Comme le changement climatique entraîne des expansions ou des contractions de l'aire de répartition ou de l'abondance d'espèces comme l'anchois du Pacifique (Duguid *et al.* 2019), cet indice fournira des renseignements sur l'importance des changements dans la composition du réseau trophique.

41.6. Références

- Beacham, T.D. 1986. Type, quality, and size of food of Pacific salmon (*Oncorhynchus*) in the Strait of Juan de Fuca, British Columbia. *Fishery Bulletin* 84: 77-89.
- Boldt, J.L., Thompson, M., Dennis-Bohm, H., Grinnell, M.H., Cleary, J., Rooper, C., Schweigert, J., Hay, D. Strait of Georgia juvenile herring survey. In 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.
- 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.
- Magnussen, E. 2011. Food and feeding habits of cod (*Gadus morhua*) on the Faroe Bank. *ICES J Mar. Sci.* 68: 1909–1917.
- Quindazzi, M.J., Duguid, W.D.P. Innes, K.G. Qualley, J., and Juanes, F. 2020. Engaging recreational salmon anglers in fisheries ecology. *Fisheries* 45(9): 492-494.
- Thayer, J.A., Bertram, D.F, Hatch, S.A., Hepfner, M.J., Slater, L., Sydeman, W.J., and Watanuki, Y. 2008. Forage fish of the Pacific Rim as revealed by diet of a piscivorous seabird: synchrony and relationships with sea surface temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 1610-1622.

42. LE TRANSECT DU BRAS DE MER SAANICH EN 2020 : UTILISATION DE VTG POUR SURVEILLER LA VULNÉRABILITÉ DE LA BIODIVERSITÉ BENTHIQUE À LA CHALEUR MARINE

Jackson W.F. Chu¹, Janet M. Ferguson-Roberts², Jonathan Boschen-Rose³ et Janelle Curtis⁴

¹Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, jwfchu@uvic.ca

²Université Memorial, St John's, Terre-Neuve-et-Labrador jfergusonrob@mun.ca

³51, rue Matheson, Southampton, Royaume-Uni jonmrose@gmail.com

⁴Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, Janelle.curtis@dfo-mpo.gc.ca

42.1. Points saillants

- Dans le bras de mer Saanich, l'exposition à l'hypoxie biologiquement pertinente n'a pu être calculée pour la deuxième année consécutive en raison d'un manque de données de deux mois dans la série chronologique ONC-VENUS.
- La densité des crevettes commerciales (p. ex. la crevette tachetée *Pandalus platyceros*) reste à des niveaux comparables à ceux de la période de référence.
- Une population de nudibranche *Armina californica* subsiste après avoir été introduite pendant l'événement d'hypoxie de 2016.
- La population de gorgones (*Halipteris willemoesi*) a diminué après une brève période de recrutement. La population reste à moins de 5 % de son abondance d'avant la vague de chaleur marine de 2016.

42.2. Description de la série chronologique

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 véhicules sous-marins téléguidés (VTG). Depuis 2006, des VTG équipés de capteurs CTP et d'oxygène dissous (OD) et de caméras haute définition ont répété le même transect benthique (n = 17) dans la baie Patricia du bras de mer Saanich en Colombie-Britannique (Chu et Tunnicliffe 2015; Gasbarro *et al.* 2019). 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 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 ou moins depuis 2006. La plateforme d'instruments stationnaire VENUS est située à peu près à mi-chemin 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 et Tunnicliffe 2015) et 2016 (Gasbarro *et al.* 2019), au printemps 2017, à l'automne 2018 et au

printemps 2019. L'intégrité des données de cette série chronologique a été maintenue grâce à des protocoles normalisés adaptés à quatre plateformes VTG différentes qui ont été utilisées tout au long de cette série chronologique (Chu *et al.* 2020).

L'hypoxie a été validée par des expériences écophysiological et l'occupation de l'oxygène de plusieurs espèces clés à cet emplacement (varie de 0,3 à 1,1 mL L⁻¹), ce qui permet de comparer directement les changements induits par l'hypoxie dans leurs répartitions au fil du temps (Chu et Tunnicliffe 2015; Chu et Gale 2017). Parmi les 55 espèces historiquement documentées par ce relevé, nous utilisons 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 la

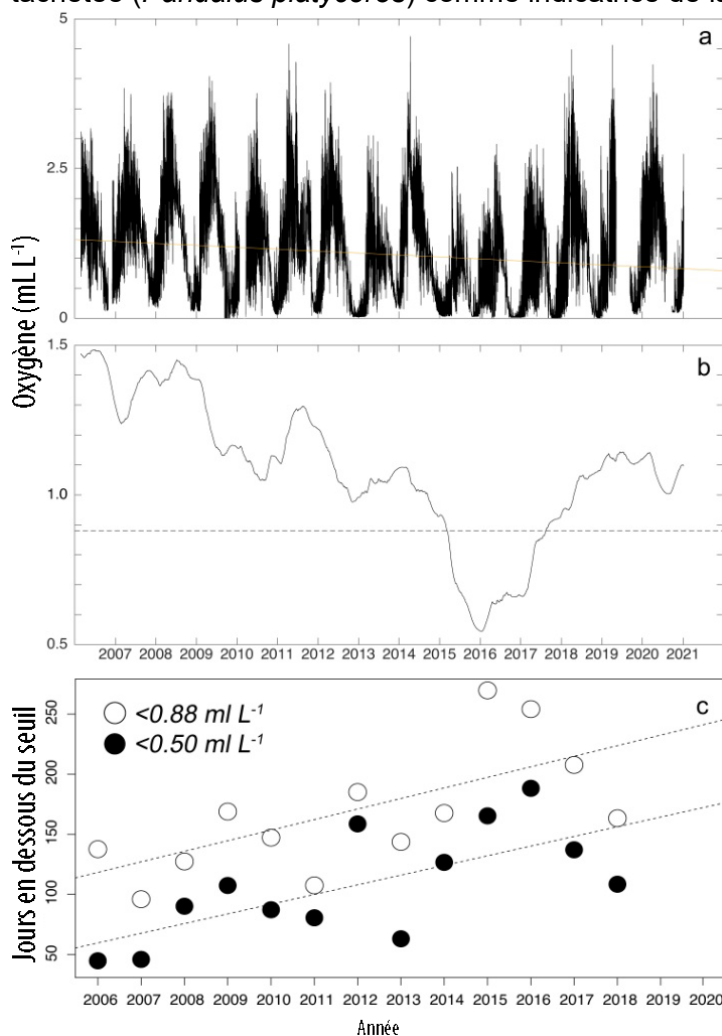


Figure 42-1. Enregistrements continus sur 15 ans de l'oxygène dissous (OD) par ONC-VENUS, mesurés par minute à 96 m dans la baie Patricia du bras de mer Saanich. (a) Déclin de l'OD à long terme (tendance linéaire). (b) Moyenne mobile sur un an du graphique a. La ligne en pointillés correspond au seuil d'hypoxie de 0,88 mL L⁻¹ dans le Pacifique Est. (c) Nombre cumulé de jours annuels sous les seuils d'hypoxie. La ligne pointillée indique la tendance relative à la durée de l'hypoxie de 2006 à 2018. Les points pour 2019 et 2020 n'ont pas pu être calculés en raison des lacunes dans les données des enregistrements ONC-VENUS.

gorgone (*Halipteris willemoesi*), un corail d'eau froide, comme indicatrice de la communauté sessile (Chu et Tunnicliffe 2015). Nous faisons également rapport sur deux autres espèces, le nudibranche *Armina californica* et l'holothurie soignée *Pentamera cf. pseudocalcigera*. Les deux espèces n'ont pas été observées dans ce système avant 2016, mais ont établi des populations après qu'une vague de chaleur marine notable ait créé des conditions anormales de réchauffement et d'hypoxie sévères en 2016. Bien que de multiples agents de stress climatiques concomitants puissent entraîner des changements dans la biodiversité marine, l'hypoxie sévère a été le principal moteur des changements concomitants dans la structure et la fonction des communautés dans le système de Saanich (Gasbarro *et al.* 2019).

42.3. État et tendances

Une absence de données de deux mois (entre août et septembre) dans les enregistrements ONC-VENUS de 2020 a empêché de calculer les mesures d'exposition annuelle à l'hypoxie pour une deuxième année de suite. Nous présentons

ces tendances de façon qualitative tout en tenant compte de l'effet potentiel du récent manque de données dans les registres. En janvier 2021, le taux annuel de déclin de l'oxygène était de $-0,03 \text{ mL L}^{-1}$ par année⁻¹ (figure 42-1a). Bien qu'il s'agisse d'une amélioration par rapport au taux de $-0,05 \text{ mL L}^{-1}$ rapporté depuis 2018, ce taux est actuellement influencé par les lacunes

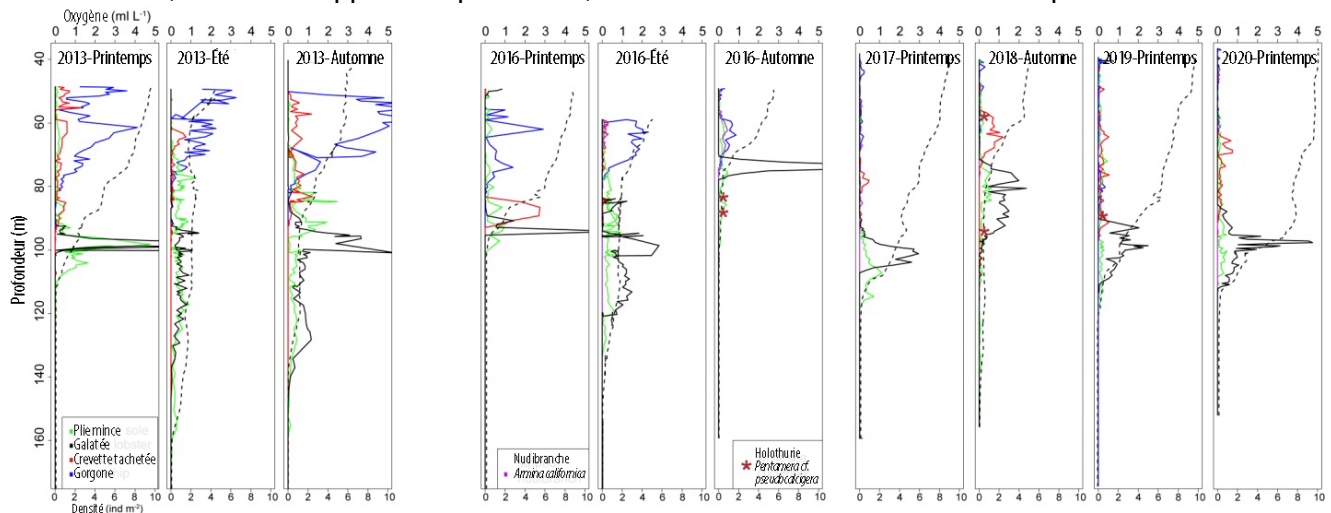


Figure 42-2. Relevés des densités des espèces clés en fonction de la profondeur dans la baie Patricia du bras de mer Saanich par rapport au gradient de l'oxygène dissous (ligne pointillée) en 2013 ($n=3$), 2016 ($n=3$), 2017 ($n=1$), 2018 ($n=1$) et 2019 ($n=1$). Aucun relevé n'a été effectué en 2014 et 2015. Les relevés antérieurs (2006 à 2012) ne sont pas présentés ici, mais sont présentés dans le rapport de Chu et Tunnicliffe (2015).

importantes en matière de données qui se sont produites depuis 2019, où les données manquantes proviennent de la période de faible teneur en oxygène de l'année. Après la période soutenue d'hypoxie de 2015 à 2017, les niveaux d'oxygène du plancher océanique dans le bras de mer Saanich ont continué à se situer au-dessus du seuil d'hypoxie de $0,88 \text{ mL L}^{-1}$ (figure 42-1b), ce qui a coïncidé avec les trajectoires de rétablissement des niveaux de population pour plusieurs des taxons indicateurs. Cependant, de 2006 à 2018, la durée annuelle de l'hypoxie à cet emplacement a augmenté (figure 42-1c). Le nombre de jours où ONC-VENUS a mesuré des conditions d'oxygène inférieures au seuil d'hypoxie grave de $0,88 \text{ mL L}^{-1}$ et au seuil de $0,5 \text{ mL L}^{-1}$ a augmenté respectivement de 9 et 8 jours par an. Nous ne pouvons pas mettre à jour cette tendance annuelle relative à l'exposition à l'hypoxie pour 2020 en raison des lacunes dans les données.

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.* 2019). 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.* 2019) 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.* 2019). Les relevés effectués depuis la vague de chaleur marine de 2016 ont permis de suivre la trajectoire de rétablissement des communautés d'espèces.

En 2020, les espèces tolérantes à l'hypoxie (plie mince et galathée) et la crevette tachetée présentaient des répartitions, des abondances et des densités typiques des schémas observés avant le désassemblage des communautés induit par l'hypoxie en 2016 (figures 42-2 et 42-3). L'holothurie soignée était absente alors que la population de nudibranche persiste. La gorgone semble avoir été l'espèce la plus vulnérable à l'épisode d'hypoxie sévère, car la population totale reste peu nombreuse. Avec seulement n = 75 gorgones observées en 2020, la population semble avoir décliné à nouveau après une brève période de recrutement de juvéniles survenue l'année dernière. Peu de juvéniles étaient présents dans le relevé cette année, ce qui indique que l'événement de recrutement de l'année dernière n'a pas contribué au potentiel de rétablissement à long terme de la gorgone. La population de gorgones reste inférieure à 5 % à l'abondance de la période de référence.

42.4. Conséquences de ces tendances

Les données sur la répartition, l'abondance totale et la densité moyenne indiquent que la plupart des populations de faune mobile se sont remises de l'épisode d'hypoxie sévère après 3 ans de conditions d'habitat où le taux d'oxygène mesuré par la plateforme d'instruments stationnaire VENUS pour ONC-VENUS était au-dessus du seuil d'hypoxie de 0,88 mL L⁻¹ dans l'est du Pacifique.

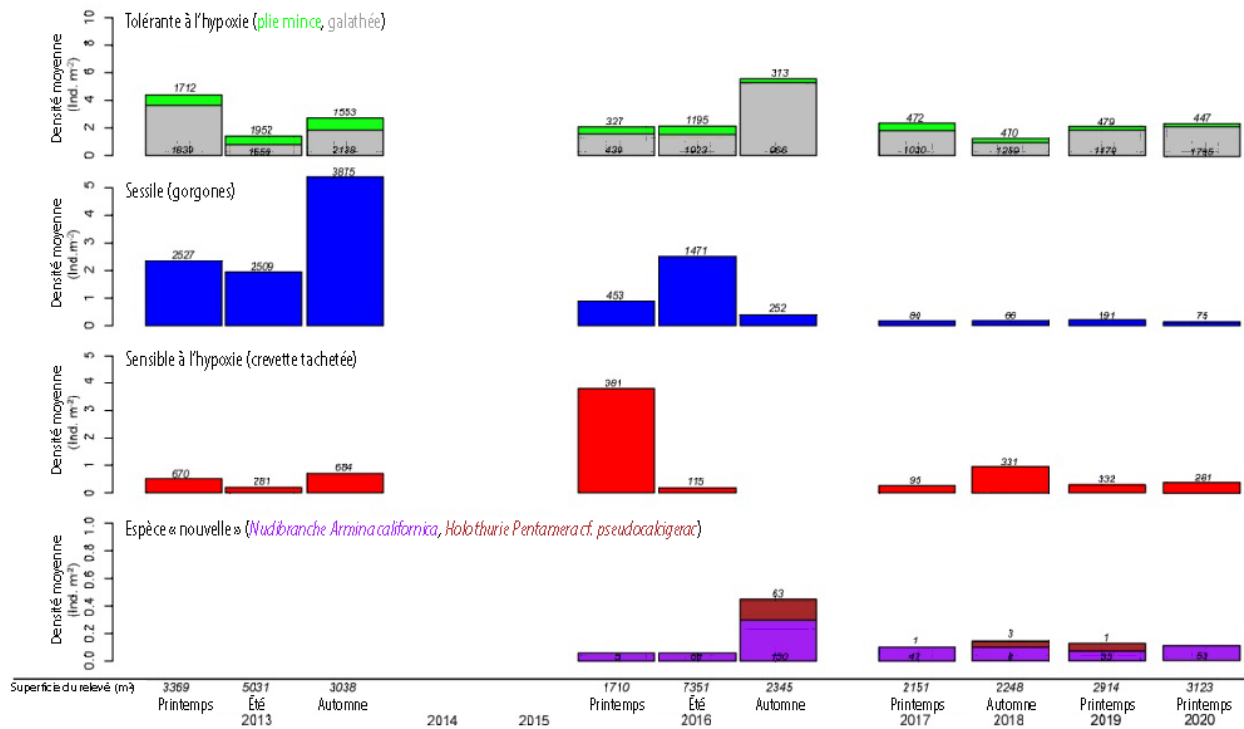


Figure 42-3. Densités moyennes par relevé pour chaque espèce clé présentée. Les totaux sont indiqués sur chaque barre. La superficie totale du relevé (m²) pour chaque année est indiquée sur l'axe des abscisses. Les différences de la superficie du relevé d'une année à l'autre sont principalement attribuables 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 et holothurie soignée) 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 relevés antérieurs (2006 à 2012) ne sont pas présentés ici, mais sont présentés dans le rapport de Chu et Tunnicliffe (2015).

Les brefs événements de recrutement ne semblent pas conduire à une trajectoire de rétablissement durable pour la population de gorgones. C'est ce qui ressort clairement du déclin soudain de la population de 2019 à 2020 (191 à 75 individus), causé par le fait que les gorgones juvéniles n'ont pas survécu après l'année 1. L'augmentation de la population de nudibranches, qui est maintenant aussi le principal prédateur de la gorgone dans ce système, indique que la pression de prédation supplémentaire nuit maintenant au rétablissement du niveau de la population. La faiblesse soutenue de la population de gorgones, leur sensibilité à l'hypoxie au niveau de la population et la tendance à l'augmentation de l'exposition à l'hypoxie indiquent que les coraux d'eau froide pourraient être l'un des principaux « perdants du changement climatique » parmi les taxons benthiques présents dans cette région. 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.

42.5. Remerciements

Nous remercions ONC d'avoir donné du temps-navire et d'avoir pris l'initiative de poursuivre cette série chronologique avec l'utilisation du VTG *Oceanic Explorer* en mars 2020. Nous sommes également reconnaissants envers le capitaine et l'équipage du NGCC *JP Tully*, à l'équipe du VTG et au personnel d'ONC et du MPO pour la logistique et l'expertise sur le terrain. Tous contribuent à rendre possible la poursuite de cette série chronologique informative.

42.6. Références

- 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., Gasbarro, R., and Curtis, J.V. 2020. The Saanich Inlet Transect 2019: Slow recovery of a cold-water coral population indicates vulnerability to a major climate stressor. In: Boldt, J.L., Javorski, A., and Chander, P.C. (Eds.). *State of the physical, biological, and selected fishery resources of Pacific Canadian Ecosystems in 2019*. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3378: vii + 248 p.
- Chu, J.W.F., and Tunnicliffe, V. 2015. Oxygen limitations on marine animal distributions and the collapse of epibenthic community structure during shoaling hypoxia. *Glob. Chang. Biol.* 21: 2989–3004.
- 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. 2019. Disassembly of an epibenthic assemblage in a sustained severely hypoxic event in a northeast Pacific basin. *J. Mar. Syst.* 198: 103184.

43. EXPANSIONS CONTINUES 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

43.1. Points saillants

- Les espèces aquatiques marines envahissantes (EAE) continuent de se propager en Colombie-Britannique.
- Le crabe vert (*Carcinus maenas*) a été détecté pour la première fois à Haida Gwaii en juillet 2020.
- La détection précoce des EAE peut éclairer la gestion et les politiques.
- La prévention de la propagation des EAE passe par la gestion des voies d'entrées et des vecteurs anthropiques.

43.2. 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 Colombie-Britannique. 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 43-1). Ces programmes de surveillance nous permettent de mieux comprendre le rôle des voies de passage anthropiques, ont facilité les efforts de détection précoce et d'intervention rapide, et ont donné lieu à des partenariats productifs avec les Premières Nations et les intervenants.

43.2.1. Programme des plaques de fixation

Depuis 2014, la méthode normalisée de surveillance des espèces aquatiques envahissantes en Colombie-Britannique consiste à utiliser des plaques en PVC lestées (14 cm²) déployées à partir de quais flottants. Les plaques sont analysées pour déterminer la présence ou l'absence d'EAE et leur abondance. Comme cette méthode détecte 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 efficace pour connaître 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 (Lacarella *et al.* 2019).

43.2.2. Programme de piégeage du crabe vert

La surveillance du crabe vert a débuté en 2006 en Colombie-Britannique, 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, le crabe vert est piégé au niveau ou au-dessus du zéro des cartes 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 et Haida Gwaii.

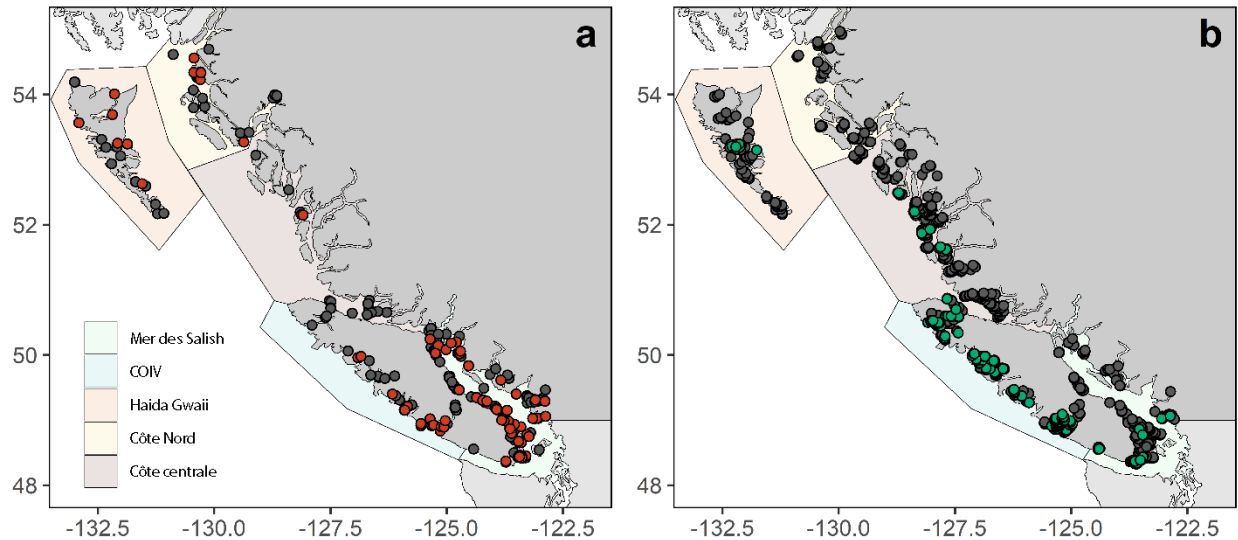


Figure 43-1. a) Tous les sites de déploiement de plaques de fixation entre 2006 et 2020. Pour démontrer l'aire de répartition de certaines espèces d'intérêt, les points indiquent si des tuniciers coloniaux envahissants (*B. violaceus* et *B. schlosseri*) ont été détectés (en rouge) ou non (en noir). b) Tous les endroits où des activités de piégeage visant le crabe vert ont été réalisées par le MPO ou ses partenaires entre 2006 et 2020. Les points indiquent si des crabes verts ont été détectés (en vert) ou non (en noir). Les polygones ombrés indiquent les zones géographiques générales utilisées pour décrire les tendances relatives à la propagation et à l'abondance des EAE.

43.3. 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 43-2). Aucune nouvelle espèce d'EAE encrassante n'a été détectée en Colombie-Britannique en 2020, mais on a observé plusieurs expansions de l'aire de répartition d'EAE connues. C'est la première année où *Diplosoma listerianum* a été détecté à Masset, bien que l'espèce soit abondante dans d'autres parties de Haida Gwaii. Dans la région de Prince Rupert, tant *Botrylloides violaceus* que *Botryllus schlosseri* ont continué à se propager vers de nouveaux emplacements depuis leur détection initiale en 2018. On a également observé une expansion locale de l'aire de répartition de *D. listerianum*, *B. violaceus*, et *B. schlosseri* dans toute la mer des Salish. Enfin, le tunicier envahissant *Ascidia zara* a été détecté pour la première fois dans la mer des Salish, en particulier à Ladysmith, alors qu'il n'avait auparavant été détecté qu'à certains emplacements de Prince Rupert.

Bien que l'invasion du crabe vert ait été principalement limitée à la côte ouest de l'île de Vancouver jusqu'à récemment (figure 43-3a), la tolérance thermique et la tolérance à la salinité de l'espèce laissent croire qu'elle peut survivre sur une grande partie de la côte. Cela a été confirmé par la première détection de crabe vert à Haida Gwaii à l'été 2020 (figure 43-1b). Bien

que les captures par unité d'effort (CPUE) de crabe vert dans la mer des Salish et à Haida Gwaii demeurent faibles (figure 43-3b), les CPUE sur la côte ouest de l'île de Vancouver démontrent que cette espèce a le potentiel de devenir hyperabondante dans des conditions favorables (figure 43-3a).

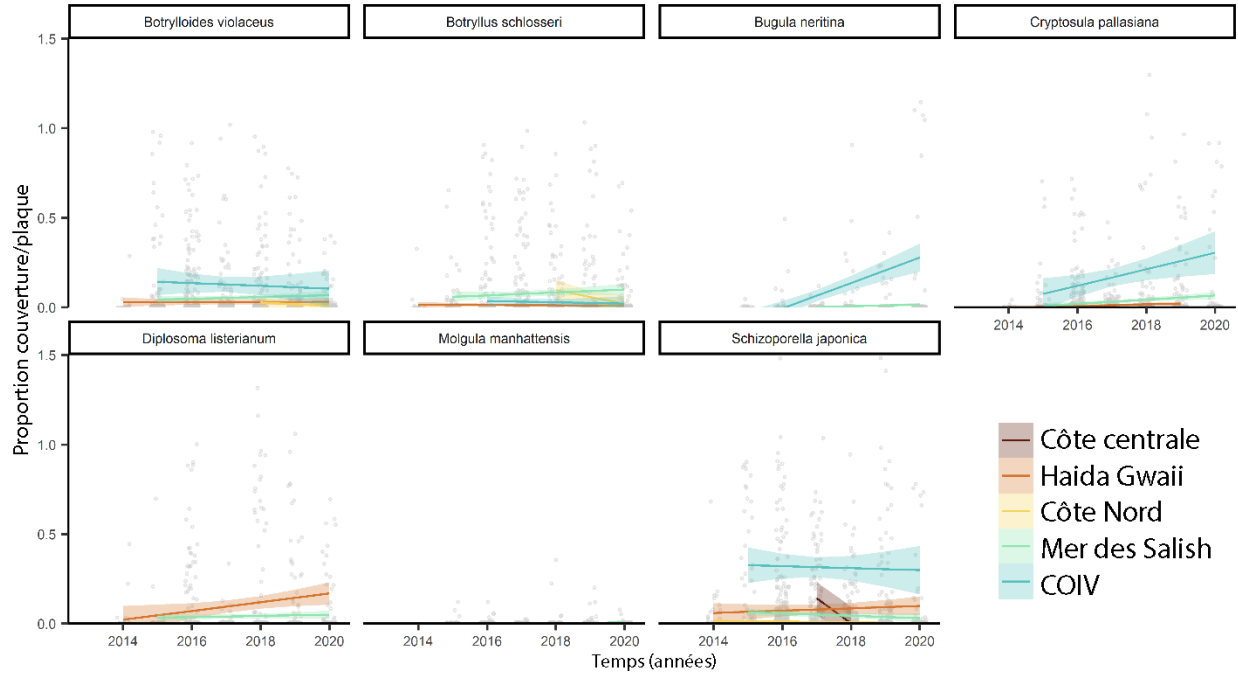


Figure 43-2. Variation de l'abondance de certaines espèces aquatiques envahissantes trouvées sur les plaques de fixation dans chacune des cinq zones, présentée comme la moyenne conditionnelle lissée de la proportion des plaques couvertes (IC à $\pm 95\%$), par espèce, par zone. Les points gris représentent 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.

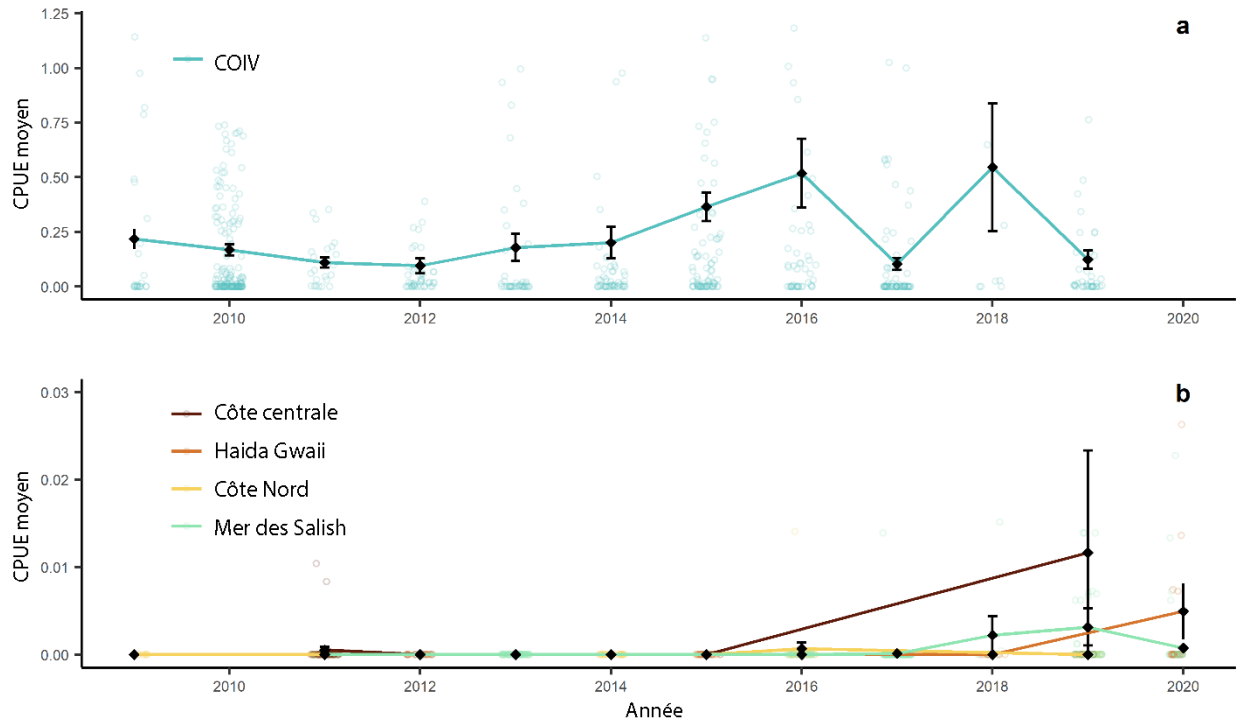


Figure 43-3. Moyenne annuelle des CPUE de crabes verts (\pm ET) pour tous les pièges posés sur a) la côte ouest de l'île de Vancouver et b) quatre autres zones de la côte (noter les différences d'échelle). Les points de couleur représentent les différents événements de piégeage dans chaque zone. Toutes les données brutes sont incluses dans le graphique, mais la plupart des CPUE sont trop petites pour que les points soient visibles.

43.4. Facteurs influençant la propagation et l'abondance des espèces aquatiques envahissantes

En Colombie-Britannique, les changements climatiques sont susceptibles de permettre la survie d'EAE actuellement limitées à des emplacements plus méridionaux, et les périodes de réchauffement important faciliteront les pics de population et les événements naturels de dispersion larvaire à grande distance pour les EAE (Gillespie *et al.* 2007; Brasseale *et al.* 2019). Les préoccupations concernant le potentiel de propagation vers le nord des EAE dans la région du Pacifique ont été validées en 2020 avec la détection du crabe vert envahissant dans le bras Skidegate, à Haida Gwaii. Le potentiel de propagation anthropique supplémentaire des EAE par l'intermédiaire de navires, de structures et d'équipements infestés continuera d'être un vecteur primaire pour les EAE existantes (connues) et nouvelles en Colombie-Britannique.

43.5. Conséquences de l'expansion de l'aire de répartition d'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 d'avoir des impacts 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 s'est avéré utile pour suivre la dispersion des EAE encrassantes et a permis de sensibiliser davantage le public à ces espèces. En mobilisant le public et en axant la gestion sur les principaux vecteurs, nous avons plus de chances de réduire la propagation des espèces aquatiques envahissantes établies et des espèces nouvellement introduites ou non détectées dont les répercussions ne sont pas encore connues.

On sait que les crabes verts ont des répercussions négatives importantes sur les populations de bivalves, en particulier les palourdes, et sur les habitats 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, et à un programme de détection précoce et d'éradication des crabes verts géré par le Programme de protection du poisson et de son habitat (PPPH). Cependant, l'arrivée du crabe vert à Haida Gwaii a mis en évidence la nécessité d'établir des plans de gestion multiorganisationnels similaires pour d'autres parties de la Colombie-Britannique, y compris les zones transfrontalières comme l'Alaska, afin de limiter les répercussions de cet envahisseur sur les écosystèmes.

43.6. Références

- 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.W., Talbot, R., Grason, E.W., McDonald, P.S., Adams, J., Hass, T., and Litle, 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., 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.

44. TENDANCES RÉCENTES DU TRAFIC MARITIME ET DES MENACES CONNEXES DANS LA MER DES SALISH, BASÉES SUR LE SYSTÈME D'IDENTIFICATION AUTOMATIQUE (SIA) DES NAVIRES ET SUR DE NOUVELLES TECHNIQUES DE COLLECTE DE DONNÉES SUR LE TRAFIC MARITIME

Patrick D. O'Hara¹, Norma Serra-Sogas², Kim Pearce³ et Lauren McWhinnie⁴

¹Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, Institut des sciences de la mer, Sidney, Colombie-Britannique, Patrick.OHara@canada.ca

²Laboratoire d'analyse des ressources côtières et océaniques (CORAL), Département de géographie, Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, normaserra@gmail.com

³Programme national de surveillance aérienne, Renseignement, surveillance et reconnaissance, Transports Canada, Richmond, Colombie-Britannique, Kim.Pearce@tc.gc.ca

⁴Institut des sciences de la vie et de la terre, École de l'énergie, des sciences de la terre, de l'infrastructure et de la société, Université Heriot-Watt, Édimbourg, Écosse, l.mcwhinnie@hw.ac.uk

44.1. Points saillants

- L'intensité du trafic maritime a augmenté dans la mer des Salish de 2015-2017 pour presque tous les types de navires, selon les données recueillies à l'aide du SIA des navires.
- Il existe des preuves d'une intensité croissante pour les bateaux de plaisance et les autres bateaux qui ne sont pas tenus d'être dotés et de diffuser à l'aide du SIA, mais ces catégories étaient sous-représentées.
- Les tendances et les facteurs de stress associés estimés sur la base des données SIA et les interprétations de ces estimations doivent tenir compte de la sous-représentation de certains types de navires dans les données SIA.

44.2. Introduction

Documenter et comprendre la variabilité spatiale et temporelle des schémas de trafic maritime est fondamental pour la conservation des espèces marines et des habitats importants dont elles dépendent. Il existe un certain nombre de menaces ou de facteurs de stress associés aux mouvements des navires, notamment les rejets d'hydrocarbures (Fox *et al.* 2016), la pollution sonore (Williams *et al.* 2015), les perturbations (Bejder *et al.* 2006), les interactions avec les pêches (Fox *et al.* sous presse), les espèces introduites (Herborg *et al.* 2009) et les collisions avec les navires (Williams et O'Hara 2010; Nichol *et al.* 2017). De plus en plus, les efforts de recherche et de conservation dépendent du SIA des navires pour surveiller les mouvements des navires et collecter des données pour évaluer les menaces associées aux navires marins. Bien que le SIA soit très utile et constitue une source d'information utile pour les facteurs de stress associés aux navires qui étaient très difficiles à quantifier auparavant, le SIA a été conçu principalement pour la sécurité maritime et il peut être difficile de fonder des modèles de menace et de développer une politique orientée sur la conservation entièrement sur les données recueillies par le SIA. Par exemple, étant donné que tous les exploitants de navires ne

sont pas obligés de porter et de diffuser le SIA, tous les types de navires ne sont pas également représentés par les données recueillies à l'aide du SIA. En outre, les données SIA sont généralement recueillies à l'aide de récepteurs satellitaires (s-SIA) et terrestres (t-SIA), qui ont leurs propres forces et faiblesses sur le plan de la couverture spatiale et temporelle. Pour remédier à ces lacunes, il existe d'autres sources d'information sur le trafic maritime qui devraient être prises en compte (pour un examen complet, voir Lacarella *et al.* 2020) en fonction des objectifs des analyses basées sur ces données de trafic maritime. L'accès au s-SIA et au t-SIA peut être difficile et coûteux, et l'accès récemment acquis à ces deux sources de données nous permettra de mettre à jour complètement notre analyse des tendances d'ici l'année prochaine.

Nous présentons ici les tendances du trafic maritime dans la mer des Salish, d'après les données recueillies à l'aide de récepteurs s-SIA et d'un récepteur monté sur l'avion du Programme national de surveillance aérienne (PNSA de Transports Canada). Nous présentons également des analyses préliminaires basées sur des données de trafic complémentaires recueillies à l'aide d'un système SIA par caméra autonome. Les systèmes SIA par caméra autonomes sont des systèmes télécommandés qui couplent l'imagerie prise avec les données SIA recueillies in situ (c'est-à-dire un récepteur SIA intégré), et sont décrits par Le Baron (2021). Les données du système SIA par caméra autonome sont recueillies en continu mais sont limitées dans l'espace. Elles nous permettent de comparer le suivi SIA avec l'imagerie optique du trafic maritime afin d'estimer la proportion de navires non inclus dans les données SIA. Notre système surplombant Boundary Pass a été installé pour la première fois en 2016 et est actuellement opérationnel. Nous disposerons d'une analyse entièrement actualisée au début de l'année prochaine, y compris une analyse des tendances.

44.3. Tendances annuelles des navires maritimes

Nous avons utilisé la collecte de données à l'aide du système SIA par caméra autonome surplombant le passage frontalier (à partir d'un emplacement sur East Point, Saturna Island, C.-B.) pour estimer la proportion de navires capturés par SIA par catégorie de navire et par saison. Comme on pouvait s'y attendre, le SIA était presque parfaitement représentatif des navires de charge (cargo), des navires-citernes et des remorqueurs (les traversiers ne passent pas par Boundary Pass), qui sont les catégories de navires tenus d'être dotés du SIA de classe A. Cependant, les bateaux de pêche (commerciale et sportive) et les autres bateaux de plaisance (bateaux à moteur et voiliers) étaient sous-représentés jusqu'à 90 % dans les données SIA saisies sur place. De plus, les navires de ces catégories qui sont équipés d'un SIA ont tendance à utiliser le SIA de classe B, qui est transmis par des transpondeurs de plus faible puissance et qui est moins prioritaire pour les systèmes SIA dont les récepteurs sont surchargés (O'Hara MS, en préparation). Ceci est important pour l'interprétation des tendances suivantes, entièrement basées sur les données SIA.

Il y a eu une augmentation du trafic capturé par le s-SIA dans toute la mer des Salish de 2013 à 2016 (figure 44-1). Les analyses fondées sur les données de trafic recueillies dans les passages Boundary et Active (McWhinnie *et al.* 2021), deux importantes voies de navigation dans la mer des Salish, indiquent que les augmentations les plus importantes sont survenues pour les navires à passagers (principalement les passages de navires de BC Ferries) dans le passage Active, et les navires de charge dans le passage Boundary. En outre, on a constaté des augmentations significatives du trafic (voir McWhinnie *et al.* 2021 pour les statistiques) au fil

des ans dans toutes les catégories, sauf pour les traversiers et les bateaux de plaisance/d'excursion dans le passage Boundary et les bateaux de plaisance/d'excursion dans le passage Active. Ces tendances sont cohérentes avec les tendances fondées sur les données SIA recueillies à l'aide de récepteurs du PNSA embarqués sur des aéronefs, avec quelques différences intéressantes (Serra-Sogas *et al.* 2019; figure 44-2). Le nombre de navires détectés par vol effectué dans le cadre du PNSA diffusant à l'aide du SIA de classe A dans la mer de Salish a augmenté par rapport à 2015-2017. Comme mentionné précédemment, les navires diffusant à l'aide de cette classe de SIA comprennent les cargos, les pétroliers, les remorqueurs et les traversiers. L'augmentation des taux de détection par le PNSA pour la classe A est très probablement due à l'augmentation de l'intensité du trafic, et non à l'augmentation de la mise en œuvre du SIA ou à l'amélioration des récepteurs SIA (le récepteur de l'avion était le même pendant toute cette période). La mise en œuvre et la diffusion à l'aide des SIA de classe B sont volontaires et un nombre croissant de pêcheurs commerciaux et de plaisanciers choisissent de

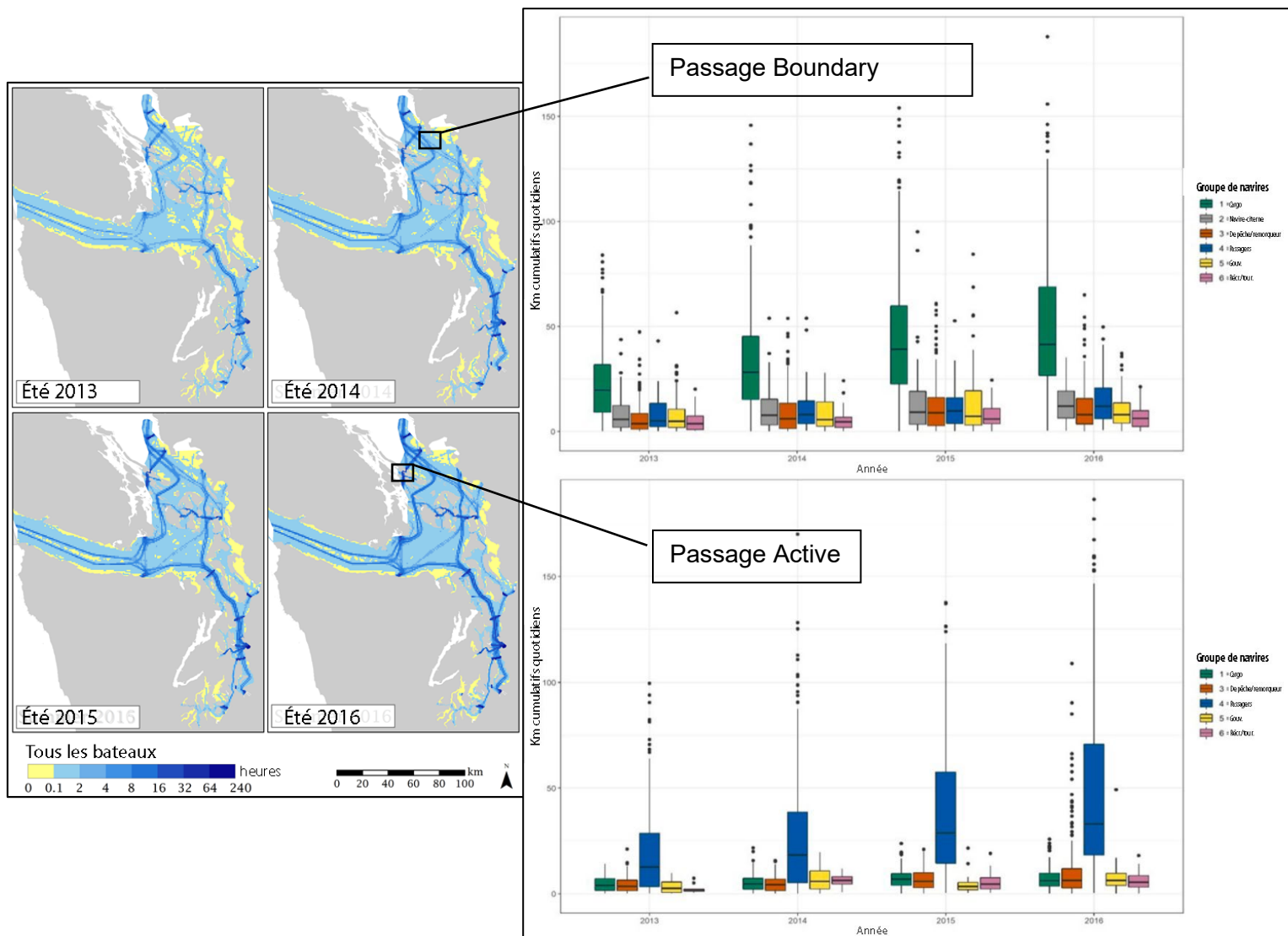


Figure 44-1. Tendances annuelles générales du trafic maritime dans l'ensemble de la mer des Salish (panneau de gauche), et tendances spécifiques aux catégories de navires dans les passages Boundary et Active (panneau de droite), d'après le s-SIA. Toutes les catégories de navires ont augmenté de 2013 à 2016 inclusivement, à l'exception des traversiers et des bateaux de plaisance/de tourisme dans le passage Boundary et des bateaux de plaisance/de tourisme dans le passage Active. (Voir McWhinnie et al. 2021 pour plus de détails)

diffuser à l'aide du SIA de classe B. L'augmentation des détections à partir du SIA de classe B et les améliorations du SIA en général ont augmenté les capacités de traitement des signaux de classe B, plus faibles et moins prioritaires.

Nous achevons actuellement la collecte des données à l'aide du système SIA par caméra autonome qui surplombe le passage Boundary, et nous aurons des tendances pour toutes les catégories de navires basées à la fois sur le SIA in situ et sur les données des navires tirées de l'imagerie optique. Ces données seront utilisées pour effectuer des comparaisons avec les tendances telles que celles basées sur le s-SIA et le SIA basé sur le PNSA, avec un accent particulier sur les bateaux de plaisance qui ne sont pas obligés de diffuser à l'aide du SIA. Il est probable que le trafic des bateaux de plaisance a augmenté à un rythme beaucoup plus élevé que ne le laissent entendre les seules données SIA.

44.4. Conséquences de ces tendances

Les grands navires tels que les cargos, les navires-citernes, les traversiers et les navires à passagers (y compris les navires de croisière et les traversiers de la Colombie-Britannique) sont bien représentés par les SIA, et leurs mouvements peuvent avoir des répercussions

importantes sur les menaces et les facteurs de stress qui y sont associés, en particulier pour

les épaulards résidents du Sud et les grandes espèces de baleines telles que le rorqual à bosse, dont le nombre augmente dans cette région. L'intensité accrue de ces navires entraîne probablement une augmentation de l'exposition à la pollution sonore, aux rejets d'hydrocarbures, aux perturbations et à la grève des navires. Les collisions avec les navires constituent l'une des plus grandes menaces pour la conservation des grandes espèces de baleines (voir Williams et O'Hara 2010; Nichol *et al.* 2017) et une étude récente a montré qu'il s'agit également d'une menace pour les épaulards résidents du Sud (Raverty *et al.* 2020). L'interaction avec la pêche a également été identifiée comme un défi majeur pour la conservation des épaulards résidents du sud

(https://www.sararegistry.gc.ca/document/doc1341a/p2_f.cfm). Cependant, l'activité de pêche est mal saisie par les SIA, ce qui nécessite des mesures complémentaires telles que l'accès aux entrées des journaux de pêche (données conservées par le MPO – voir Fox *et al.* sous presse), les données du système de surveillance des navires ou les systèmes optiques tels que ceux que nous avons développés (basés sur le PNSA et/ou le système SIA par caméra autonome). L'interaction avec la pêche est également importante pour de nombreuses espèces d'oiseaux marins, entraînant des prises accidentelles (par exemple, Fox *et al.* sous presse) et une compétition (Furness *et al.* 2000).

Les rejets d'hydrocarbures associés au trafic maritime constituent un défi important pour la conservation, en particulier pour les oiseaux marins. Cependant, il est fort probable que les rejets associés à la navigation de plaisance constituent une source majeure de pollution par les hydrocarbures, en particulier dans les régions côtières de la Colombie-Britannique (Bertazzon *et al.* 2014; Berry *et al.* 2018; CNRC 2003). De même, des études récentes ont montré que le bruit du trafic des petits navires peut dominer les paysages sonores, en particulier dans les écosystèmes d'eau peu profonde (Hermanssen *et al.* 2019). Des preuves de plus en plus nombreuses et convaincantes indiquent que les poissons peuvent être affectés par le bruit provenant de navires plus ou moins grands, parmi d'autres sources de bruit d'origine anthropique (Duarte *et al.* 2021), ce qui peut avoir des répercussions sur les niveaux trophiques supérieurs. Pour ces raisons, il est important d'intégrer des systèmes de surveillance complémentaires au SIA, tels que ceux utilisés dans nos études, afin de compléter le tableau du

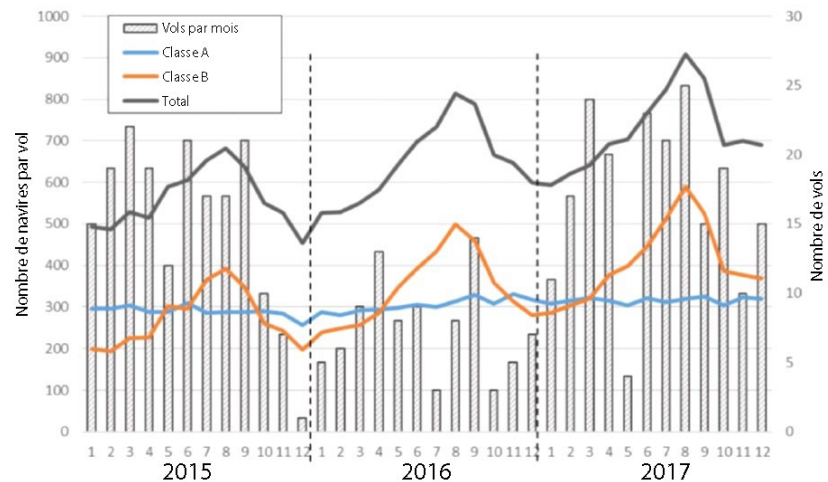


Figure 44-2. Navires détectés par vol du PNSA par mois pour la période 2015-2017, pour les navires diffusant à l'aide du SIA de classe A et de classe B.

trafic maritime et d'estimer de manière exhaustive les impacts potentiels sur les espèces marines et les habitats qui leur sont importants.

44.5. Remerciements

Nous tenons à remercier Leh Smallshaw, Gregory O'Hagan et Nicole Le Baron pour le développement de scripts python, le traitement et l'analyse des données, et les couches SIG basées sur ces couches et ces analyses; Rosaline Canessa, le Laboratoire d'analyse des ressources côtières et océaniques (CORAL) de l'Université de Victoria, l'Institut des sciences de la mer, et le Service canadien de la faune pour leur soutien en nature; la Saturna Island Marine Research and Education Society pour son soutien en nature; et le soutien financier ainsi que l'accès aux données ExactEarth SIA du Marine Environmental Observation, Prediction and Response Network (MEOPAR).

44.6. Références

- Bejder, L., Samuels, A., Whitehead, H., and Gales, N. 2006. Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. *Animal behaviour* 72(5): 1149-1158.
- Berry, S., Le Baron, N., and Serra-Sogas, N. 2018. Spatio-temporal analysis of oil pollution in the Canadian Pacific Exclusive Economic Zone (EEZ), with an emphasis on pollution associated with marinas. Report to Transport Canada and Environment and Climate Change Canada.
- Bertazzon, S., O'Hara, P.D., Barrett, O., and Serra-Sogas, N. 2014. Geospatial analysis of oil discharges observed by the National Aerial Surveillance Program in the Canadian Pacific Ocean. *Applied Geography* 52: 78-89.
- Duarte, C.M., Chapuis, L., Collin, S.P., Costa, D.P., Devassy, R.P., Eguiluz, V.M., Erbe, C., Gordon, T.A., Halpern, B.S., Harding, H.R., Havlik, M.N., Meekan, M., Merchant, N.D., Miksis-Olds, J.L., Parsons, M., Predragovic, M., Radford, A.N., Radford, C.A., Simpson, S.D., Slabbekoorn, H., Staaterman, E., Van Opzeeland, I.C., Winderen, J., Zhang, X., and Juanes, F. 2021. The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science* 371(6529).
- Fox, C.H., O'Hara, P.D., Bertazzon, S., Morgan, K., Underwood, F.E., and Paquet, P.C. 2016. A preliminary spatial assessment of risk: Marine birds and chronic oil pollution on Canada's Pacific coast. *Science of the Total Environment* 573: 799-809.
- Fox, C.H., Robertson, C., O'Hara, P.D., Tadey, R., and Morgan, K.H. In press. Spatial assessment of albatrosses, commercial fisheries, and bycatch incidents on Canada's Pacific coast. *Marine Ecology Progress Series*.
- Furness RW, and Tasker M. 2000. Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series* 202: 253-64.
- Herborg, L.M., O'Hara, P., and Therriault, T.W., 2009. Forecasting the potential distribution of the invasive tunicate *Didemnum vexillum*. *Journal of Applied Ecology* 46(1): 64-72.

- Hermannsen, L., Mikkelsen, L., Tougaard, J., Beedholm, K., Johnson, M., and Madsen, P.T. 2019. Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. *Scientific reports* 9(1): 1-10.
- Iacarella, J.C., Clyde, G., and Dunham, A. 2020. Vessel tracking datasets for monitoring Canada's conservation effectiveness. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3387: viii + 31 p.
- Le Baron, N. 2021. Analysis of vessel usage in Boundary Pass. Report prepared for the Innovation Centre of Transport Canada. Contract: T8009-190218.
- McWhinnie, L.H., O'Hara, P.D., Hilliard, C., Le Baron, N., Smallshaw, L., Pelot, R., and Canessa, R., 2021. Assessing vessel traffic in the Salish Sea using satellite AIS: An important contribution for planning, management and conservation in southern resident killer whale critical habitat. *Ocean & Coastal Management* 200: 105479.
- NRC (US National Research Council). 2003. Oil in the sea. III. Inputs, fates, and effects. National Research Council of the National Academies (Ocean Studies Board, Marine Board, Divisions of Earth and Life Studies, and Transportation Research Board). National Academy of the Sciences. Washington, DC: National Academies Press.
- Nichol, L.M., Wright, B.M., O'Hara, P., and Ford, J.K. 2017. Risk of lethal vessel strikes to humpback and fin whales off the west coast of Vancouver Island, Canada. *Endangered Species Research* 32: 373-390.
- O'Hara, P.D., Serra-Sogas, N., Pearce, K., and McWhinnie, L. In prep. Automated Identification System for Ships data as a proxy for marine vessel related stressors in the Salish Sea.
- Raverty, S., St. Leger, J., Noren, D.P., Burek Huntington, K., Rotstein, D.S., Gulland, F.M., Ford, J.K., Hanson, M.B., Lambourn, D.M., Huggins, J., and Delaney, M.A. 2020. Pathology findings and correlation with body condition index in stranded killer whales (*Orcinus orca*) in the northeastern Pacific and Hawaii from 2004 to 2013. *PLoS one* 15(12): e0242505.
- Serra-Sogas, N., Le Baron, N., and Canessa, R. 2019. Small vessel traffic study in Canada's Pacific Coast. Report to Transport Canada.
- Williams, R., and O'Hara, P. 2010. Modelling ship strike risk to fin, humpback and killer whales in British Columbia, Canada. *Journal of Cetacean Research and Management* 11(1): 1-8.
- Williams, R., Wright, A.J., Ashe, E., Blight, L.K., Brintjes, R., Canessa, R., Clark, C.W., Cullis-Suzuki, S., Dakin, D.T., Erbe, C., Hammond, P.S., Merchant, N.D., O'Hara, P.D., Purser J., Radford, A.N., Simpson, S.D., Thomas, L., and Wale, M.A. 2015. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management* 115: 17-24.

Annexe 1 – Résumés des affiches

45. SURVEILLANCE CONTINUE DU PACIFIQUE NORD-EST AU MOYEN DE DONNÉES SUR LA CHLOROPHYLLE A ET LA TEMPÉRATURE DE SURFACE DE LA MER OBTENUES PAR SATELLITE

Andrea Hilborn, Charles Hannah et Michel Breton, Institut des sciences de la mer, Victoria, C.-B., Andrea.Hilborn@dfo-mpo.gc.ca, Charles.Hannah@dfo-mpo.gc.ca, Michel.Breton@dfo-mpo.gc.ca

Les ensembles de données océanographiques obtenues par satellite font partie intégrante de la surveillance des événements océanographiques à long terme et à grande échelle. Ces dernières années, les mesures par satellite de la température de surface de la mer (TSM) ont été essentielles pour surveiller les températures anormalement élevées dans le Pacifique Nord-Est. Les estimations de la chlorophylle a (chl-a) provenant des capteurs optiques des satellites permettent d'observer et de quantifier la biomasse du phytoplancton à l'échelle synoptique. Les mesures satellitaires de la TSM et de la chl-a ont été validées pour la région du Pacifique canadien dans des études récentes (voir Clay *et al.* 2019; Devred *et al.* 2021; et pour le détroit de Georgia, voir Carswell *et al.* 2017). Afin d'améliorer les capacités de surveillance et l'accès aux données de télédétection, nous présentons ici plusieurs ensembles de données s'appuyant sur ces recherches en cours de publication (tableau 45-1).

Tableau 45-1. Ensembles de données publiés en 2020-2021 et en cours de traitement. Les titres soulignés indiquent les ensembles de données présentement accessibles en ligne. Actuellement, toutes les données sont disponibles à une résolution spatiale de 4 km par pixel. Tous les ensembles de données spatiales seront également fournis à une résolution de pixel spatial de 1 km dans un avenir proche.

	Région couverte	Disponibilité	Période	Paramètres
Série chronologique de la chl-a	Zones d'intérêt (Figure 45-1)	Public (sera publié dans Données ouvertes)	2003-2021	Moyenne mensuelle Tendances saisonnières Chl-a cumulative quotidienne
Série chronologique de la TSM (nuit)	Zones d'intérêt (Figure 45-1)	Public (sera publié dans Données ouvertes)	1981-2020	Moyenne mensuelle (nuit) Tendances saisonnières
Climatologie mensuelle de la chl-a	Zone économique exclusive du Canada	Public (publié dans Données ouvertes)	2003-2020 À l'exclusion de janvier et décembre	Moyenne géométrique Écart-type géométrique Nombre de pixels valides
Climatologie mensuelle de la TSM (nuit)	Zone économique exclusive du Canada	Public (publié dans Données ouvertes)	1981-2010 1990-2020	Moyenne (nuit) Écart-type Nombre de pixels valides

<u>Application</u> <u>Phytofit</u>	Régions canadiennes du Pacifique et de l'Atlantique	https://github.com/BI-O-RSG/PhytoFit/blob/master/USERGUIDE.md	2003-2020	Composites de chl-a quotidiens et sur 8 jours Algorithmes d'ajustement de Bloom
---	--	---	-----------	---

Les séries chronologiques de TSM nocturne et de chl-a par satellite de plusieurs zones de protection marines et d'autres régions d'intérêt ont été résumées dans un rapport récent (Devred *et al.*, 2021), en utilisant l'enregistrement Pathfinder du radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR) disponible auprès de la NOAA et les produits de données standard sur la chl-a accessibles auprès de la NASA. Dans un avenir proche, nous fournirons des séries chronologiques pour les régions et les stations représentées dans la région du Pacifique canadien (figure 45-1) et celles-ci seront mises à jour trimestriellement. Des cartes climatologiques mensuelles d'accompagnement pour ces paramètres dans la zone économique exclusive du Pacifique canadien à une résolution spatiale de 4 km et 1 km sont publiées dans le catalogue de Données ouvertes. En outre, pour tenir compte des différences de performance des algorithmes de chl-a par satellite dans les eaux côtières et extracôtières, des ensembles de données de chl-a par satellite traitées avec d'autres algorithmes sont accessibles au moyen de l'application Phytofit (tableau 45-1; voir Clay *et al.* 2019 pour plus de détails).

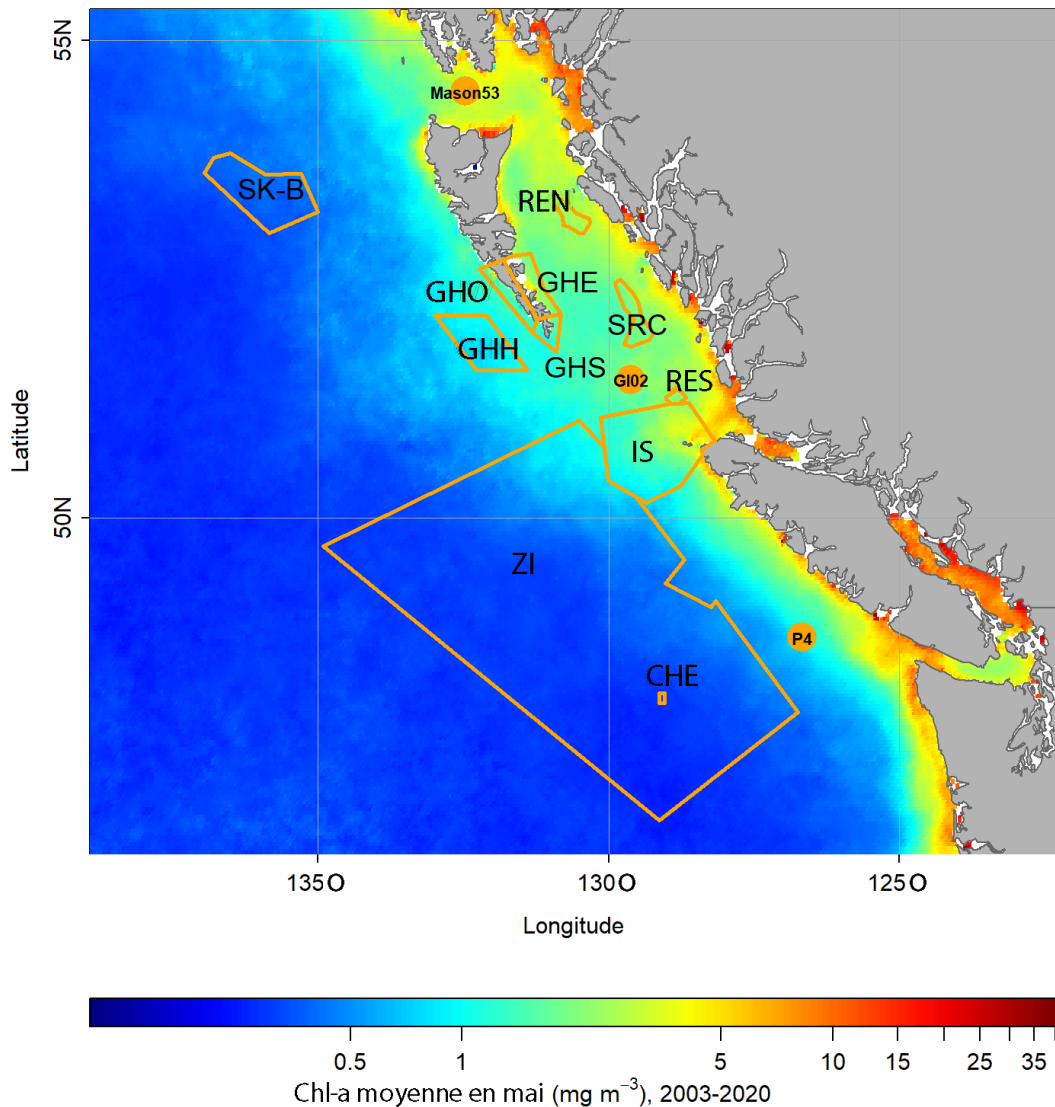


Figure 45-1. Régions déclarantes (lignes orange) comprenant des stations océanographiques standard sélectionnées (cercles orange). ZI : zone d'intérêt au large du Pacifique. CHE : zone de protection marine du champ hydrothermal Endeavour. SK-B : zone de protection marine du mont sous-marin SGaan Kinghlas-Bowie. GH : Réserve de parc national Gwaii Haanas, sections au large est, sud et ouest. REN : ZMP des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin Reine-Charlotte, récifs nord, central et sud. IS : Réserve nationale marine de faune des îles Scott. Les stations océanographiques standard disposant de statistiques satellitaires jusqu'à présent sont G102, Mason53 et P4.

45.1. Références

Carswell, T., Costa, M., Young, E., Komick, N., Gower, J., and Sweeting, R. 2017. Evaluation of MODIS-Aqua Atmospheric Correction and Chlorophyll Products of Western North American Coastal Waters Based on 13 Years of Data, *Remote Sens.* 9(10): 1063, doi: 10.3390/rs9101063.

Clay, S., Peña, A., DeTracey, B., and Devred, E. 2019. Evaluation of Satellite-Based Algorithms to Retrieve Chlorophyll-a Concentration in the Canadian Atlantic and Pacific Oceans, *Remote Sens.* 11(22): 2609, doi: 10.3390/rs11222609.

Devred, E., Hardy, M., and Hannah, C. 2021. Satellite observations of the Northeast Pacific Ocean. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 335: vii+46 p.

46. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DANS LA BAIE CLAYOQUOT, COLOMBIE-BRITANNIQUE, CANADA, EN 2020

Cheryl Greengrove et Julie Masura, Université de Washington Tacoma, Tacoma (WA), É.-U., cgreen@uw.edu, jmasura@uw.edu

Des chercheurs de l'Université de Washington Tacoma (UWT) collectent des données océanographiques dans les détroits de Clayoquot et de Barkley depuis 2000. Les données pour la baie Clayoquot, à partir de 2001, consistent principalement en des profils CTP (la température, la salinité, la densité, l'oxygène, la fluorescence et la transmissivité sont régulièrement obtenus) dans chaque entrée principale et chenal de connexion, avec un peu plus de 50 stations collectées annuellement dans tout le détroit, généralement au début de l'automne (figure 46-1). En outre, des échantillons d'eau distincts pour analyses de l'oxygène, de la chlorophylle, des nutriments, du phytoplancton, des microplastiques et des échantillons de sédiments ont été recueillis dans un sous-ensemble de stations certaines années. La collecte de données jusqu'en 2015 a été rendue possible grâce à une collaboration avec le Dr Richard Keil de l'Université de Washington, à Seattle, qui a permis à l'UWT de se joindre à ses croisières de recherche à bord du R/V Barnes. Depuis lors, la collecte de données a été effectuée à l'aide de petits bateaux locaux et a été financée par des fonds provenant de diverses sources, plus récemment par un financement interne de l'université combiné à des fonds du Clayoquot Biosphere Trust (CBT).

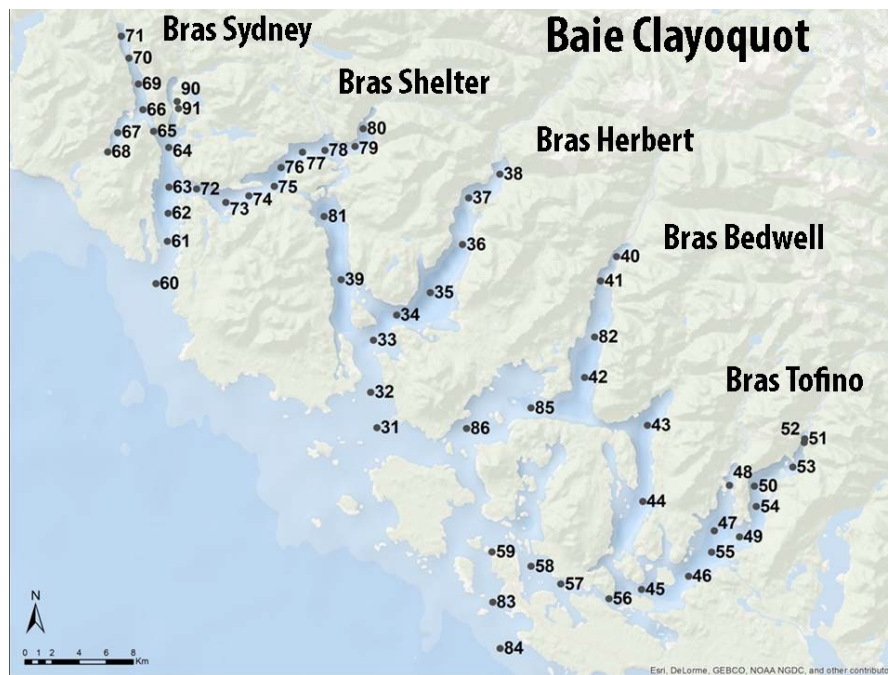


Figure 46-1. Toutes les stations d'échantillonnage CTP de l'UWT dans la baie Clayoquot sur la côte ouest de l'île de Vancouver, Colombie-Britannique, Canada. Les stations échantillonnées varient d'une année à l'autre et la collecte de données a lieu chaque année depuis 2001, généralement à la fin de l'été et au début de l'automne.

Les restrictions dues à la pandémie de COVID ont empêché l'équipe de recherche de l'UWT de se rendre au Canada pour recueillir des données en 2020. Afin de maintenir cette précieuse

série chronologique, l'UWT a pris des dispositions avec l'Institut Hakai pour obtenir des données en 2020. Nous avons travaillé avec le CBT pour transférer tous les financements du travail de terrain de l'UWT directement à l'Institut Hakai pour leurs services. Nous sommes très reconnaissants envers l'Institut Hakai et le CBT d'avoir travaillé avec nous pour rendre cela possible en cette période de restrictions des voyages internationaux.

Les données de profil des données CTD (température, salinité, densité, oxygène, fluorescence, transmissivité et PAR) ont été recueillies dans 44 stations de la baie Clayoquot les 5 et 6 octobre 2020. La température variait de 9,68 à 17,32 °C, la salinité de 12,78 à 32,02 USP et l'oxygène dissous de 0 à 6,62 mL/L. Les températures les plus élevées et les salinités les plus faibles ont été trouvées dans le bras de mer Tofino à la surface, aux stations 54 et 50. L'eau la plus froide et la plus salée se trouvait au fond du bras de mer Sydney, aux stations 69 à 71. Le fond du bras de mer Tofino, à Deer Bay et à Tranquil Inlet, était anoxique, ce qui est historiquement assez commun. Le cours supérieur du bras de mer Herbert était également proche de l'anoxie, ce qui a également été observé au cours des années précédentes.

47. MISE À JOUR DE L'ESTIMATION DE LA TAILLE DE LA REMONTE DE SAUMON ROUGE DU FLEUVE FRASER À L'AIDE DU MODÈLE D'ARBRE DE RÉGRESSION STIMULÉE

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

47.1. Points 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 biologiques et 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 modèles BRT établissent l'abondance des femelles reproductrices ayant frayé ou des juvéniles comme principal facteur de prédiction des recrutements de 15 (sur 19) stocks de saumon rouge, tandis que les contributions de divers paramètres environnementaux sont moins importantes (< 30 % de la variance totale du recrutement) et varient dans leurs relations avec les recrutements des stocks.
- 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.

47.2. Descriptions des séries chronologiques de données et de la méthode d'apprentissage machine

47.2.1. Données sur les populations de poissons

Les séries chronologiques sur le recrutement du saumon rouge du Fraser (*Oncorhynchus nerka*) (1948-2016) 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 47-1). Ces ensembles de données, détaillés dans Grant *et al.* (2011), ont été utilisés pour prévoir la taille de la remonte de saumon rouge en 2020 (Hawkshaw *et al.* 2020).

47.2.2. Données environnementales

Les modèles de prévision pour 2019 intégraient les séries chronologiques de l'oscillation décennale du Pacifique (ODP, novembre à mars), les températures de la surface de la mer 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 47-1). 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 tourbillon du Pacifique Nord (OTPN; di Lorenzo *et al.* 2008), l'indice de l'oscillation nord (Schwing *et al.* 2002) et l'indice de la bifurcation du courant dans le Pacifique Nord (Cummins et Freeland 2007). Les séries chronologiques de toutes ces variables vont de 1950 à 2018, à l'exception de celle de l'indice de la bifurcation (de 1967 à 2018).

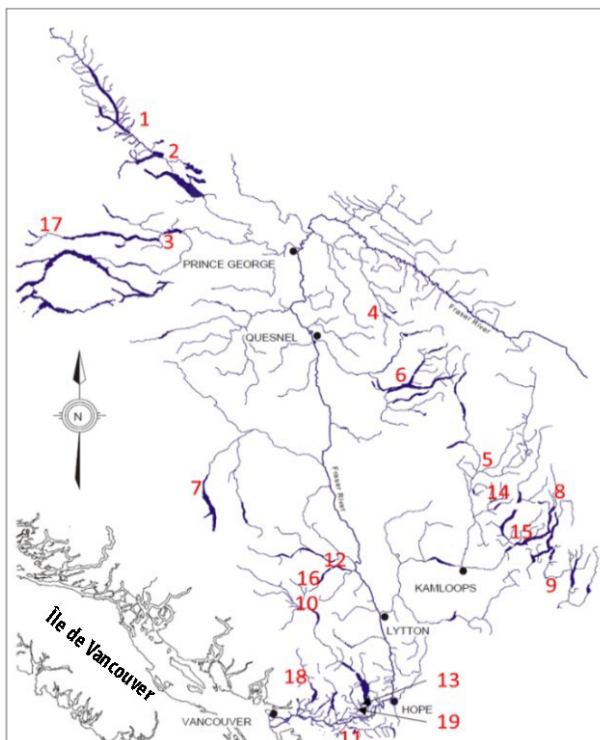


Figure 47-1. Emplacements des 19 principaux stocks de saumon rouge du Fraser pour lesquels des données sur la fraie ont été recueillies.

1. Stuart (à montaison hâtive)
2. Stuart (à montaison tardive)
3. Stellako
4. Bowron
5. Raft
6. Quesnel
7. Chilko
8. Seymour
9. Shuswap (à montaison 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 47-1. Principaux facteurs environnementaux identifiés par le modèle des arbres de régression accélérée. Tous les facteurs environnementaux sont actuellement analysés pour un décalage de deux ans après l'année d'éclosion (c'est-à-dire l'année d'émigration des saumoneaux).

Variables environnementales	Description de la variable	Abréviation dans le modèle BRT
Indices climatiques	Oscillation décennale du Pacifique au printemps (mars, avril, mai)	pdo.spr
	Oscillation du tourbillon du Pacifique Nord d'été et d'automne (juin, juillet, août)	npgo.aut, npgo.sum
	Indice de l'oscillation nord, en hiver	noi.win
	Indice de la bifurcation	BI
Température et salinité de surface de la mer au niveau régional	Moyenne des températures de la surface de la mer de l'île Entrance et de l'île Pine	eisst, pisst
	Température mensuelle de la surface de la mer de l'île Entrance (avril, juin)	apesst, jnesst
	Température mensuelle de la surface de la mer de l'île Pine en avril (avr, mai, juin, juillet)	appsst, mapsst, jnpsst, jlpsst

	Température annuelle de la surface de la mer du golfe d'Alaska	ocean.sst.annual
	Température de la surface de la mer du golfe d'Alaska en été (juin, juillet, août)	ocean.sst.sum
	Température mensuelle de la surface de la mer du golfe d'Alaska en automne (sept, oct, nov)	ocean.sst.aut
	Salinité moyenne de la surface de la mer de Race Rocks et d'Amphitrite Point (juillet, août, septembre)	stn2js
Tension du vent	Vents favorables à la remontée des eaux annuelle et printanière à la côte centrale	wind.cc.up.annual
	Vents favorables à la plongée d'eau estivale à la côte centrale	wind.cc.up.spr
	Vents favorables à la plongée d'eau annuelle, automnale et hivernale au district de Prince Rupert	wind.cc.dn.sum wind.prd.dn.annual wind.prd.dn.aut
	Vents favorables à la plongée d'eau annuelle et hivernale au district de Prince Rupert	wind.prd.dn.win wind.prd.up.annual wind.prd.up.win

47.2.3. Modèles d'arbres de régression accélérée

Un modèle BRT (Elith *et al.* 2008) a été développé pour étudier les relations mathématiques entre le recrutement du saumon rouge et de multiples covariables environnementales depuis 2019 (Xu *et al.* 2019, 2020). 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 2021). Aucune modification majeure du modèle n'a été apportée depuis l'année dernière (Xu *et al.* 2020).

47.3. 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 47-2), le niveau le plus élevé (93,7 %) étant atteint pour le stock de la Stuart à montaison 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.

47.4. 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 plus important contributeur ayant la plus grande influence relative (%) pour la prévision du recrutement du saumon rouge (figure 47-3). Pour tous les stocks (à l'exception de celui du ruisseau Weaver, qui a affiché une relation d'augmentation progressive), le recrutement prévu a affiché une relation de type Beverton-Holt avec les FRF ou Juv, et les influences relatives ont varié de 14 à 91 % 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. 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 Birkenhea, du ruisseau Weaver et de Harrison), 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.

47.5. Prévisions de l'effectif de la montaison et conséquence de la méthode de modélisation BRT

Le modèle BRT a produit des prévisions de la taille de la remonte de saumon rouge pour 19 stocks principaux (figure 47-4), totalisant environ 2 millions en 2021. Les stocks Stuart à montaison tardive (907 000), Quesnel (281 000) et Chilko (720 000) dominent la taille de la remonte et représentent 90 % du total prévu de tous les stocks combinés. Cependant, pour les stocks Stuart à montaison tardive et Chilko, la variance expliquée du modèle BRT est relativement faible (moins de 70 %), ce qui indique une plus grande incertitude des prévisions. Une évaluation complète des incertitudes sera disponible sous peu.

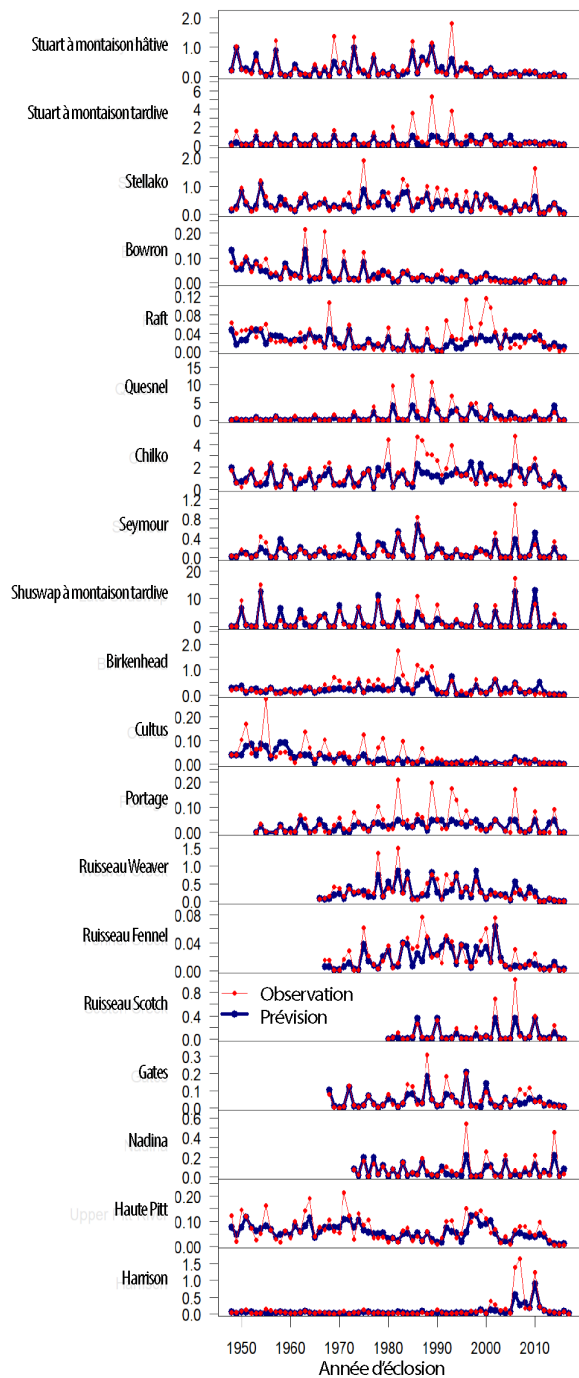


Figure 47-2. Recrutement observé et prédit à l'aide d'arbres de régression accélérée (échelle logarithmique) de 19 stocks de saumon rouge du Fraser.

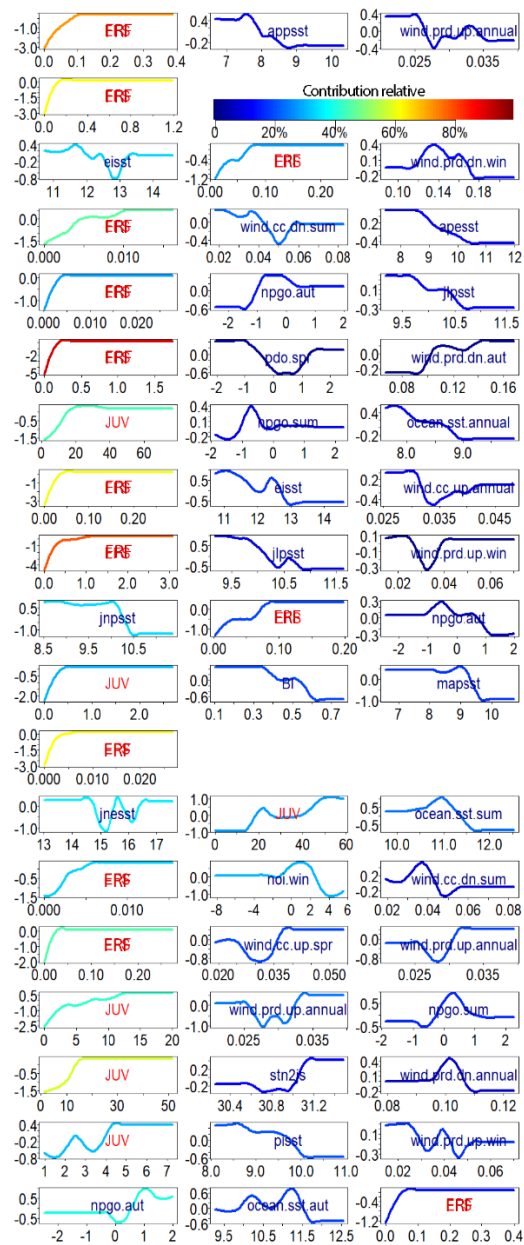


Figure 47-3. Fonctions ajustées des trois principaux prédicteurs et contributions relatives des modèles d'arbres de régression accélérée (voir les définitions des acronymes dans le tableau 68-1 et texte, FRF : femelles reproductrices ayant frayé; JUV : abondance des saumons juvéniles).

En revanche, on prévoit que tous les autres stocks (Stuart à montaison hâtive, Stellako, Bowron, Raft, Seymour, Shuswap à montaison tardive, Birkenhead, Cultus, Portage, ruisseau Weaver, ruisseau Fennel, ruisseau Scotch, Gates, Haute Pitt et Harrison) compteront moins de

75 000 recrues; il s'agit du seuil d'abondance qui permet de déterminer si des méthodes d'estimation des échappées de géniteurs à haute précision (p. ex. sonar, marquage-recapture) devraient être prévues pour l'année à venir. Ces résultats par stock fournissent des informations utiles et opportunes tant aux gestionnaires de la pêche que pour les évaluations des stocks pour les prochains relevés de dénombrement de l'été/automne 2021.

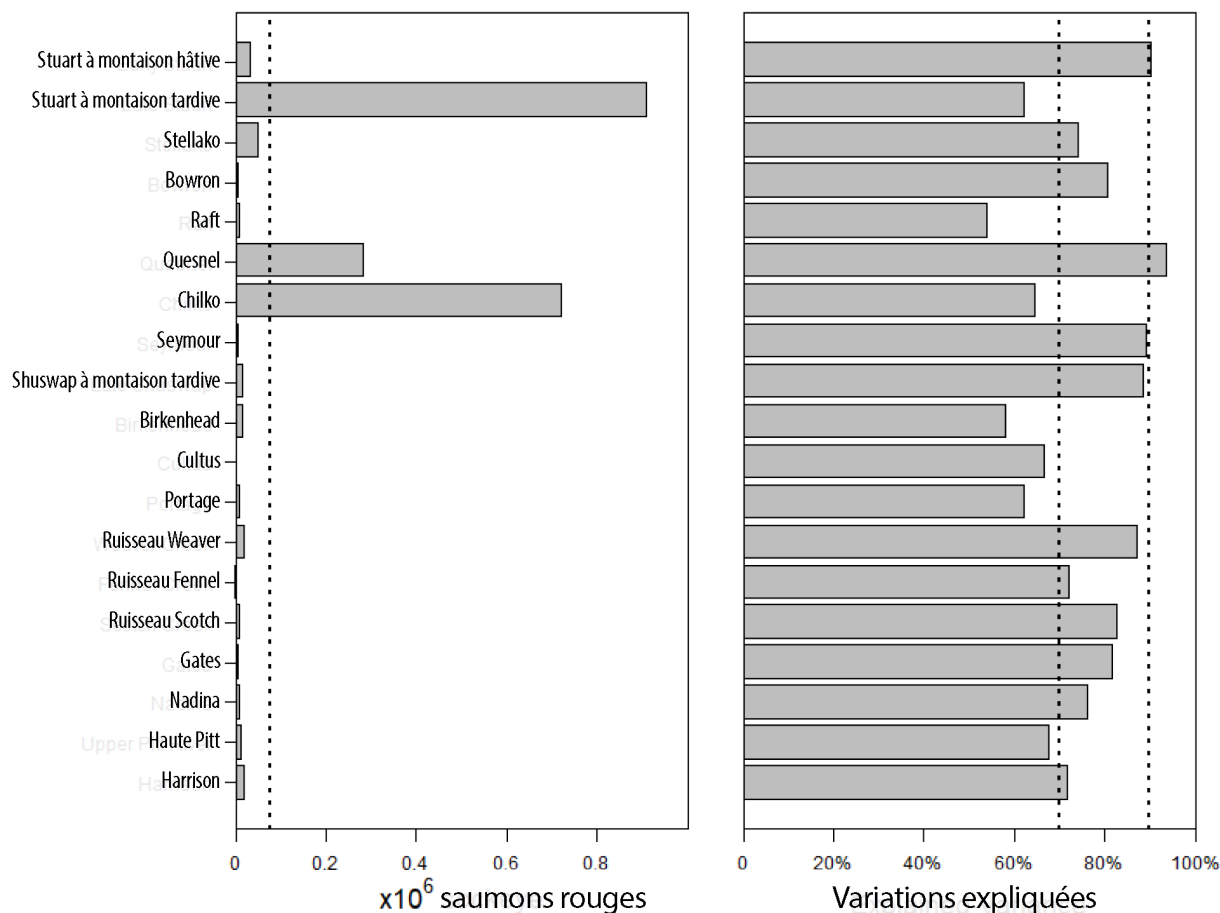


Figure 47-4. Prévisions de la remonte par le modèle d'arbres de régression accélérée pour 19 stocks de saumon rouge du Fraser en 2020 (la ligne tiretée correspond à 75 000). À droite : la variance expliquée par le modèle BRT (les lignes en pointillés représentent 70 % et 90 %).

47.6. Références

- Cummins, P.F., and Freeland, H.J. 2007. Variability of the North Pacific Current and its bifurcation. *Progress in Oceanography* 75: 253-265.
- 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.
- Hawkshaw, M., Xu, Y., and Davis, B. 2020. Pre-season run size forecasts for Fraser River sockeye (*Oncorhynchus nerka*) salmon in 2020. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3392: vi. + 52 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. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <https://www.R-project.org>
- Schwing, F.B., Murphree, T., and Green, P.M. 2002. The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. Progress in Oceanography 53: 115-139.
- Xu, Y., Hawkshaw, M. Fu, C. Patterson, D. Hourston, R., and Chandler, P. Estimating Fraser River sockeye salmon run size using a machine learning method. In 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.
- Xu, Y., Hawkshaw, M. Patterson, D. Hourston, R., and Chandler, P. How Fraser Sockeye Salmon recruitment was affected under climate changes? A model study. 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.

Annexe 2 – Ordre du jour de la réunion

État de l'océan Pacifique – JOUR 1 – Mardi 2 mars 2021		
Point n°	Nom	Titre
1	Chandler	Introduction
2	Joe Seward	Mot de bienvenue des Premières Nations
3	Carmel Lowe	Mot de bienvenue du MPO
4	Faron Anslow	Température du sol et conditions hydrologiques en 2020
5	Tetjana Ross	Examen de la température, de la salinité et de la densité du nord-est de l'océan Pacifique en 2020 d'après les données des flotteurs Argo, des planeurs, des satellites et de la ligne P
6	Roy Hourston	Remontée d'eau sous l'effet du vent sur la côte Nord-Ouest de l'Amérique du Nord : période et ampleur
7	Peter Chandler	Température de surface de la mer et salinité observées sur la côte de la Colombie-Britannique en 2020
8	Anne Ballantyne	Niveau de la mer en Colombie-Britannique, de 1910 à 2020
Dîner		
9	Bill Crawford	Tendances de l'oxygène dans les eaux de subsurface du plateau de la Colombie-Britannique et du golfe d'Alaska
10	Guoqi Han	Courants de surface le long du bord du plateau et du talus continental au large de la côte de la Colombie-Britannique
11	Jennifer Jackson	Tendances océanographiques interdécennales dans le bras de mer Rivers, en Colombie-Britannique
12	Wiley Evans	Observations du CO ₂ côtier dans le détroit de Fitz Hugh et la mer des Salish du Nord en 2020
13	Akash Sastri	Conditions océanographiques au large de la côte ouest de l'île de Vancouver : 2020
14	Angelica Peña	Suivi du phytoplancton le long de la ligne P
15	Moira Galbraith	Zooplancton de la côte ouest : série chronologique des anomalies annuelles
16	Chandler/Boldt	Discussion sommaire
État de l'océan Pacifique – JOUR 2 – mercredi 3 mars 2021		
17	Chandler/Boldt	Résumé
18	Clare Ostle	Niveaux trophiques inférieurs dans le Pacifique Nord-Est, à partir de l'échantillonnage par ECP
19	Jennifer Boldt	Poissons pélagiques : le point sur l'état et les tendances
20	Erika Anderson	Relevé d'automne au chalut de 2020 des saumons juvéniles sur la côte nord de la Colombie-Britannique
21	Sue Grant	État du saumon du Pacifique au Canada en 2020
22	Howard Stiff/Kim Hyatt	Variations du recrutement du saumon rouge, changements dans l'état des océans, rendement en 2020 et « perspectives » pour 2021

23	Steve Latham	Tendances relatives à la taille et l'âge du saumon rose et du saumon rouge du Fraser jusqu'en 2020
24	Sean Anderson	Tendances de l'état des stocks canadiens de poissons de fond
Dîner		
25	Zane Zhang	Abondance et tendances du thon blanc du Pacifique Nord dans les ZEE du Canada et des États-Unis
26	Brett Howard	Expansions récentes de l'aire de répartition des invertébrés marins envahissants dans la région du Pacifique
27	Cherisse Du Preez et Laís Chaves	ZPM du mont sous-marin SGaan Kinghlas-Bowie
28	Stéphane Gauthier	Relevés scientifiques sur le navire de la GCC <i>Franklin</i> : succès, défis, solutions
29	Peter Chandler	Propriétés de l'eau du détroit de Georgia et du détroit de Juan de Fuca – 2020
30	Richard Dewey	Propriétés des eaux profondes et des eaux de surface dans le détroit de Georgia en 2020 : instruments câblés et traversiers
31	Susan Allen	Période du bloom phytoplanctonique printanier, productivité estivale interannuelle dans le détroit de Georgia
32	Chandler/Boldt	Discussion sommaire
État de l'océan Pacifique – JOUR 3 – jeudi 4 mars 2021		
33	Chandler/Boldt	Résumé
34	Svetlana Esenkulova	Blooms phytoplanctoniques nuisibles dans la mer des Salish en 2020
35	Ian Perry	Surveillance de l'acide domoïque dans les eaux canadiennes du pacifique : 2016 à 2020
36	Kelly Young	État et tendances du zooplancton dans le centre du détroit de Georgia en 2020
37	Chrys Neville	Saumon juvénile dans le détroit de Georgia sur le Franklin
38	Linnea Flostrand	État et tendances de l'eulakane dans le sud de la Colombie-Britannique et observations de l'algue didymo dans le bas Fraser
39	Will Duguid	Le régime alimentaire du saumon chinook adulte comme indicateur de la variation spatiale et temporelle des réseaux trophiques côtiers
40	Jim Irvine	La désastreuse remontée de saumons de 2020 est-elle la conséquence d'interactions avec des saumons roses abondants?
Pause		
41	Jackson Chu	Le transect du bras de mer Saanich en 2020 : Utilisation de véhicules sous-marins téléguidés pour surveiller la vulnérabilité de la biodiversité benthique aux principaux facteurs de stress climatique
42	Charles Hannah	Évaluation de l'habitat océanique des oiseaux de mer – réserve nationale marine de faune des îles Scott

43	Patrick O'Hara	Tendances récentes du trafic maritime et des menaces connexes dans la mer des Salish, basées sur le système d'identification automatique (SIA) des navires et sur de nouvelles techniques de collecte de données sur le trafic maritime
44	Jennifer Boldt	Événements inhabituels en 2020
45	Kat Middleton	Les océans du Canada maintenant, 2020 – L'état des océans du Canada
46	Chandler/Boldt	Résumé des points saillants des discussions

**Annexe 3 – Participants à la réunion (noms des personnes
connectées à l'aide de Zoom)**

12505146067	Ania Javorski	Carmel Lowe
ABATTY	Anne Ballantyne	Caroline Fox
Adam S	Anneka Vanderpas	Caroline Graham
Adrienne Murphy	Ariel Lenske	Carolyn
AFacundo	Aroha Miller Ocean Wise	Carrie Holt
agelab	Arthur Bass	Carrie Robb DFO Science
Aidan Sackmann	Ashley	Catherine Michielsens
Akash Sastri	Aswea Porter	Cathryn Murray
Al Magnan	Athena Ogden	Cecilia Wong
Alana Closs	Barbara Sobota (CWS Pacific)	Charles H Gilbert (Skip)
Alex Hare	BassettS	Charles Hannah
Alice	BaxterB	Charmaine
Alice Bui	Bea Proudfoot	Chelsea Ashbrook
Alice Kobayashi	BeltonM	Chelsea Rothkop
Alicia Andersen	Ben	Chelsea Stanley
Aline Isabelle	Ben O'Connor	Cherisse
Alisa Preston	Ben Snow	Cheryl
Alyssa Gehman	Benji Spagat (ECCC)	Cheryl L. Greengrove
Amanda	BertramD	Chris
Amanda Timmerman	BethElLee Herrmann (UW)	Christian
Amanda Winans	Bill Crawford	Christina Cann
Amber Dearden	Brad Butler	Christine K
Amber Holdsworth	Braemon Conville	Christopher Krembs (Ecology)
amclaskey	Brandon Sackmann	Chrys Neville
amh	Brendan Connors	Chuck Parken
Amy Tabata	Brett Howard - DFO	Cindy Wright
Ana C. Franco	Brett Johnson	Claire Dawson (Ocean Wise)
Ana Pozas	Brian Hunt	Claire O'Brien
Andrea Hilborn	Brian Kingzett	Clare Ostle
Andrea Locke	Brian Leaf	ClarkeC
Andrea Moore	Brian Riddell (PSF)	CLARKEM
Andrew Baylis	Bridget Ferriss	CLKR
Andrew Chin	Bronwyn MacDonald	Colette Wabnitz
Andrew Edwards	Brooke Davis (DFO)	Colleen Kellogg
Andrew Leising	Brooke Hackett	Dan Baker
Andrew Margolin	Bruce Nairn	Dan Doutaz
Andrew Ross	Chris Rooper	Dana Haggarty
Andy Lin	Cailyn Siider	Daniel Labbe

Angela S.	Cameron Freshwater	Danielle Lacasse
Anh Tran	Candy J	David Angus (FLNRORD)
David Blackburn	Hannah Stewart DFO	Jessica
David Welch	HannahL	Jessica Garzke
dean trethewey	harry nyce sr	Jessica Hutchinson
Debby Ianson	Hauke Blanken	Jessica Nephin
Di Wan	Hayleigh	Jessy Barrette
Diana McHugh	Hayley Dosser	Jill Campbell
Diana Varela	Hem Nalini Morzaria-Luna	Jim Irvine
Doug Hay	HigginsM	Jim McIsaac
Doug Latornell	Hilari Dennis-Bohm	joanne
Doug's iPad	hockers	Jocelyn Nelson
DOVERN	HolmesJ	Joe Needoba
Drew Snauffer	Hongsik Kim	Joe Seward
Eddy Kennedy DFO	Howard Freeland	Joe Tadey
Elise Olson	Howard Stiff (DFO)	Joel Filgate-Mcnabb
Emily Bishop	HUNTINGTONS	John Dower
Emily Rubidge	Hussein Alidina	John Nelson
Emma Hodgson	Ian Perry	Jon Chamberlain
Erika Anderson	Iris Kemp (LLTK Administrator)	Jonathan Kellogg
Erika Lok	Isobel Pearsall	Jonathan Martin
Erin Rechisky	Jackie Detering	joseph.kim
Erin Sowerby Greene	Jackie King	Julia Bos - Ecology
EVANSR	Jackson	Julian Smith
Evgeny Pakhomov	Jackson Chu	Julie E Keister
Faron Anslow	Jacob	Julie E. Masura
Faye Manning	Jacob Lerner	Julie Keister
Fiona Francis	Jacob W	Julie Merchel
Fiona Martens	Jade Shiller ECCC	Justin Del Bel Belluz
Forsterl	Jake Schweigert	Karalea Cantera
Francis Juanes	James P	Karen G
FuC	Jamey Selleck - NRC (Seattle)	Karianne Blank
Gabriela Hannach	Jan Buermans	Karin Mathias
GARNERG	Jane Healey	Karyn Suchy
GatienG	Janelle Curtis	Kat Middleton
Geoffrey Martynuik	Janet F-R	Katherine C
Glenn	Janet Mossman	Katherine Punis
Graham Sorenson	jason	Kathryn Sobocinski
Greg	JC (Janice Chan)	Katie
Greg Jones	Jeff Denison DFO	Katie Davidson
Greg McClelland	Jen Jackson	Katie Gale (DFO)
Greig Oldford	Jenna Cragg	Kayleigh (she/they)

Guoqi Han	Jennifer Boldt	Kaylyn Kwasnecha
Haley Andersen	Jennifer Yakimishyn	Keegan Flanagan
Kelly Swan	Luke Warkentin	Monique Raap
Kelly Young	Lynda Ritchie DFO	James Mortimor
Ken Morgan	Lynn Lee	Nadine Parker
Kevin Pellett	Lyse Godbout	Natalie Benoit
Kevin Romanin	MAAAAT	Natasha Salter
Kiana Matwichuk	Mackenzie Beck	Nathan Duifhuis
KieranP	MACKENZIEC	Neil Dangerfield-DFO Science
Kim	Madeline Lavery	Nic Ens
Kim Bedard	MajewskiS	Nicholas Ens
Kim Lagimodiere	Mardy Johnson	Nick Bolingbroke
Kim Stark-King County	Margot Hessing-Lewis	Nick Brown
Kim-Ly Thompson	Maria Cornthwaite	Nicole
Kirstyn Nygren	Marie	Nicole Frederickson
KlaverM	marie-Hélène Gravel	Nicole McEwan
KM	Marina Wright	NicoletteWatson
KrassovskiM	Marisa Keefe	Niisii Guujaaw
Kristina Hick	Mark Saunders (IYS 1)	Nik Clyde
Kristine Sandhu	Marlene Jeffries	Nina
KS	Martin Nantel	Noriko Okamoto
Kyra St. Pierre	Matt Miller	Norm Olsen
LAFORGE B	Matt Townsend	OBRIENC
Lais Chaves	Matthew Asplin	Olivia Schaefer DFO
Langley zoom iPad	McCorquodaleB	Ovi Haque
Laura Bianucci	MCGOVARINS	PaigeY
Laura Tessier	Megan Kot	Patrick Duke
Lauren Girdler	MELANIE ANG	Patrick O'Hara
Lauren Krzus	Melissa Hennekes	Patrick Pata
Lauri Sadorus	Merlin Best	Patrick Thompson
LeggattR	Michael Arbeider	Patrick Whittaker Grieg Seafood
Li	Michael Folkes	Patrik Zetterberg
Liam Peck	Michael Foreman	PattisonV
liaoX	Michael Livingston	Paul Covert
Lindsay Davidson	Michaela Maier	Angelica Pena
Linnea Flostrand	Michel Breton	Pete
LIUQ	Mike Morley	Pete Wills
LNEILSON Ministry of Agriculture Food and Fisheries	Miki	Peter Chandler
Lorri Granum	Mina	Philina
Lu Guan	Mina Masoud	Phillip Dionne
Luc Bujold (DFO-MEDS)	Minje Choi	PORTEOUSN

Lucas Abruzzi	Miriam O - DFO Science	Pramod Thupaki
Luke Rogers	Moira	PunisK
quadra.lab	SeanC	Teagan O'Shaughnessy
R Jamieson	Sejal Pramlall	TemplemanN
RAAPM	Selina Agbayani	Tereza Jarnikova
Rachel	SHANE	Tetjana Ross
RBurnham (BURBurnham)	Shannon Schmunk	Theresa Venello
Rebecca Beutel	Shea Wyatt	Thomas Smith
rhian evans	shuminli	Tim Hawkins
Rich Pawlowicz	Shyla	Tim Hewison - Grieg Seafood
Richard Banner	Simon Jones DFO	Tom Okey
Richard Chea	Simone Alin	TuckerS
Richard Dewey	Skip	Tyler Zhang
Rick Page	Skip McKinnell	Tyler Zubkowski
RiedelD	smihaly	Tyrel Froese
Roanna Leung	smith	Tyson Carswell - BC Agriculture Fisheries & Food
Rob S	SMITHJU	VanWillP
Romney McPhie	Sonia Batten	Victoria Postlethwaite
Ron Tanasichuk	Stephen Page	Virginia
Rowan Fox	SpearD	Vishnu Perumthuruthil Suseelan
Roy Hourston	Stacey Verrin	Wafa Tafesh
Sahir Advani	Stef	wangziwei
Samuel Stevens	Stephane Gauthier	Wendy Callendar
Samuelle Simard-Provencal	Steve Baillie	Wendy Eash-Loucks
Sarah Bartnik	Steve Latham	Wendy Szaniszlo
Sarah Dudas	Steve Pearce	Wiley Evans
Clare Mortimor	Steve Romaine	Will Duguid
Sarah Friesen	Steve Smith (DFO)	William Atlas
Sarah Hawkshaw	Stu Crawford Council of the Haida Nation	Williams Daniel
Sarah Hudson	Stuart LePage	Wintherlv
Sarah Zimmermann	Sue Grant	WINTHERT
Scott Akenhead	Susan Allen	wischniowski
Scott Decker	Svetlana Esenkulova	Yi Xu
Scott Toews	SweetenT	Zarah Zheng
Scott Wallace DSF	TalbotR	Zane Zhang
Sean Anderson	Tammy	Zhimin Ma (MEDS Canada)
Sean Boyd	Tanya Vivian	Zoe Crysler
Sean MacConnachie	Taylor Martin	