



## Dix messages scientifiques sur les risques et les opportunités pour la Vie en Antarctique

### Authors

Julian Gutt<sup>1</sup>, Enrique Isla<sup>2</sup>, José C. Xavier<sup>3,4</sup>, Byron J. Adams<sup>5</sup>, In-Young Ahn<sup>6</sup>, C.-H. Christina Cheng<sup>7</sup>, Claudia Colesie<sup>8</sup>, Vonda J. Cummings<sup>9</sup>, Huw Griffiths<sup>4</sup>, Ian Hogg<sup>10, 11</sup>, Trevor McIntyre<sup>12</sup>, Klaus M. Meiners<sup>13</sup>, David A. Pearce<sup>14</sup>, Lloyd Peck<sup>4</sup>, Dieter Piepenburg<sup>1</sup>, Ryan R. Reisinger<sup>15</sup>, Grace K. Saba<sup>16</sup>, Irene R. Schloss<sup>17, 18, 19</sup>, Camila N. Signori<sup>20</sup>, Craig R. Smith<sup>21</sup>, Marino Vacchi<sup>22</sup>, Cinzia Verde<sup>23</sup> and Diana H. Wall<sup>24</sup>

(1) Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Columbusstr., 27568 Bremerhaven, Germany. Julian.Gutt[at]awi.de

(2) Institute of Marine Sciences-CSIC, Passeig Maritim de la Barceloneta 37-49, Barcelona, 08003, Spain

(3) University of Coimbra, MARE - Marine and Environmental Sciences Centre, Faculty of Sciences and Technology, Portugal

(4) British Antarctic Survey, Natural Environmental Research Council, High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, UK

(5) Department of Biology and Monte L. Bean Museum, Brigham Young, University, Provo, USA

(6) Korea Polar Research Institute, 26 Songdomirae-ro, Yeosu-gu, Incheon 21990, Republic of Korea (South Korea)

(7) University of Illinois, Department of Evolution, Ecology and Behavior, Urbana, USA

(8) School of GeoSciences, University of Edinburgh, Alexander Crum Brown Road, Edinburgh, EH9 3FF, UK

(9) National Institute of Water and Atmosphere Research Ltd (NIWA), 301 Evans Bay Parade, Greta Point, Wellington, New Zealand

(10) School of Science, University of Waikato, Private Bag 3105, Hamilton 3240, New Zealand

(11) Canadian High Antarctic Research Station, Polar Knowledge Canada, PO Box 2150, Cambridge Bay, Nunavut, X0B 0C0, Canada

(12) Department of Life and Consumer Sciences, University of South Africa, Private Bag X6, Florida, 1710, South Africa

(13) Australian Antarctic Division, Department of Agriculture, Water and the Environment, and Australian Antarctic Program Partnership, University of Tasmania, 20 Castray Esplanade, Battery Point, TAS 7004, Australia

(14) Department of Applied Science, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University at Newcastle, Northumberland Road, Newcastle-upon-Tyne, NE1 8ST, UK

(15) Centre d'Etudes Biologique de Chizé, UMR 7372 du Centre National de la Recherche Scientifique - La Rochelle Université, 79360 Villiers en Bois, France

(16) Center for Ocean Observing Leadership, Department of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, 71 Dudley Rd., New Brunswick, NJ 08901, USA

(17) Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires, Argentina

(18) Centro Austral de Investigaciones Científicas, Bernardo Houssay 200, Ushuaia, Tierra del Fuego CP V9410CAB, Argentina

(19) Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Ushuaia, Tierra del Fuego CP V9410CAB, Argentina

(20) Oceanographic Institute, University of São Paulo, Praça do Oceanográfico, 191, CEP: 05508-900, São Paulo, Brazil

(21) Department of Oceanography, University of Hawaii at Manoa, 1000 Pope Road, Honolulu, HI 96822, USA

(22) Institute for the study of the anthropic impacts and the sustainability of the marine environment (IAS), National Research Council of Italy (CNR), Via de Marini 6, 16149 Genoa, Italy

(23) Institute of Biosciences and BioResources (IBBR), National Research Council (CNR), Via Pietro Castellino 111, I-80131 Naples, Italy

(24) Department of Biology and School of Global Environmental Sustainability, Colorado State University, Fort Collins, USA

DOI: [10.48361/2cpq-8t02](https://doi.org/10.48361/2cpq-8t02)

## Traduction

Anne Choquet et Yan Ropert-Coudert, Comité National Français des Recherches Arctiques et Antarctiques (CNFRA)

### Aperçu général:

- Dans le cadre du programme de recherche scientifique SCAR « Antarctic Thresholds - Ecosystem Resilience and Adaptation » (AnT-ERA, 2013-2021), 26 experts ont synthétisé les connaissances sur les impacts et les risques du changement climatique sur les processus biologiques et le fonctionnement des écosystèmes en Antarctique<sup>1</sup>.
- Les dix principaux messages scientifiques qui se dégagent concernent (1) l'accélération des cycles biogéochimiques marins et terrestres, (2) la réponse à l'acidification des océans, (3) les changements écologiques dans les points chauds du changement climatique, (4) le dynamisme inattendu des communautés marines des fonds marins, (5) les changements de biodiversité, (6) la limitation de la synthèse des protéines à basse température, (7) la vie intrinsèquement liée à l'évolution des conditions de la glace de mer, (8) la pollution, (9) les populations terrestres génétiquement distinctes menacées, et (10) les habitats nouvellement découverts.
- Les deux tiers de la littérature incluse dans cette synthèse ont été publiés entre 2010 et 2020 et seulement un tiers a été publié plus tôt.
- Les preuves décennales récentes, qui s'accumulent rapidement, indiquent que diverses communautés biologiques de l'Antarctique subissent actuellement un stress climatique ou en subiront un dans les décennies à venir.
- Les réactions des organismes, des fonctions et des services écosystémiques aux changements environnementaux sont complexes et variées. Des lacunes importantes dans les connaissances subsistent et doivent être comblées pour évaluer de manière adéquate les perspectives d'avenir de la vie en Antarctique.

## Aperçu détaillé:

Vingt-six experts, représentant l'ensemble des disciplines scientifiques antarctiques, ont identifié les recherches les plus pertinentes sur les processus et fonctions biologiques et écologiques, à tous les niveaux d'organisation biologique des écosystèmes marins, terrestres et limnétiques de l'Antarctique<sup>1</sup> (Figure 0). Les recherches identifiées portent sur la biosynthèse de molécules jouant un rôle important dans l'adaptation et la plasticité des organismes et façonnant la biodiversité<sup>2</sup> ; aux écosystèmes, y compris leur résilience (ou capacité d'auto-réparation) ; aux interactions biologiques, telles que les relations proie-prédateur ; aux cycles biogéochimiques ; et aux services écosystémiques<sup>3,5,6</sup>. Les résultats ayant une portée scientifique plus large, présentant une nouveauté particulière et présentant un intérêt évident pour les parties prenantes ont été regroupés en dix messages principaux. Nous présentons ici une description condensée de ces messages clés. Étant donné que seule la littérature générale est citée ici, veuillez-vous référer à Gutt et al.<sup>1</sup> pour la liste complète.

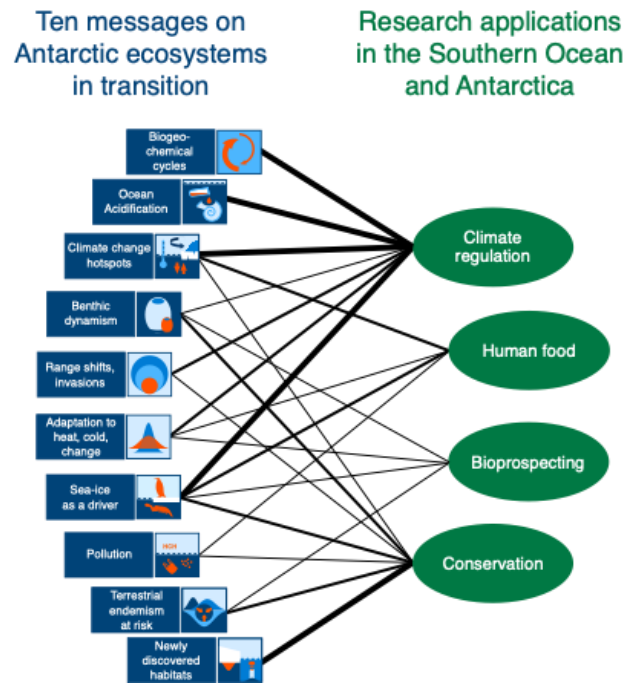


Fig. 0: Liens entre les dix messages scientifiques clés du continent antarctique et de l'océan Austral (en abrégé) et les domaines de recherche appliquée comprenant principalement des biens et services écosystémiques (contributions de la nature aux populations). Les lignes plus épaisses indiquent des relations plus fortes.

**(1) Le stress climatique intensifie le transfert d'éléments entre les organismes et l'environnement (cycle biogéochimique).** La fonte des glaces augmente la libération de nutriments dans les écosystèmes terrestres et marins (figure 1). La perte de masse de la glace entraîne également l'apparition de nouveaux habitats terrestres et marins, ce qui, en partie grâce à l'augmentation des apports en nutriments, entraîne une augmentation de la photosynthèse nette et de la biomasse. Lors de périodes exceptionnelles de turbidité accrue de l'eau ou de conditions météorologiques particulières, l'activité biologique peut être inhibée.

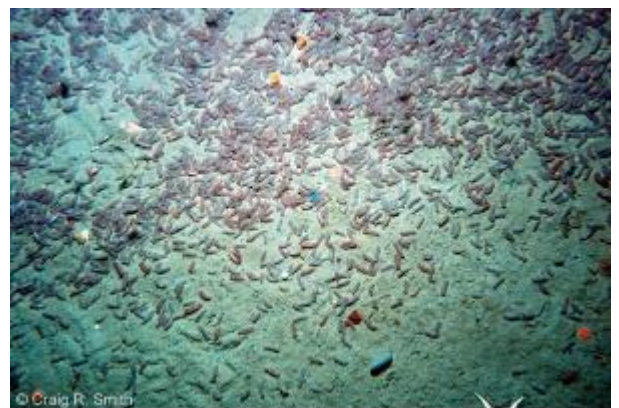


Fig. 1: Les holothuries colonisent généralement les fonds marins profonds, mais elles peuvent également être présentes sur les plateaux de l'Antarctique en fortes densités, surtout si la nourriture est abondante. Ils contribuent considérablement à la reminéralisation des particules organiques qui descendent de la colonne d'eau supérieure vers les fonds marins. © Craig R. Smith

**(2) Les espèces réagissent différemment à l'acidification des océans : certaines peuvent s'acclimater, mais les réponses au niveau des écosystèmes demeurent inconnues.** Les réponses, notamment la croissance et la photosynthèse, des producteurs primaires varient selon les espèces et la durée de l'exposition. Les premiers stades de l'histoire de la vie sont généralement plus vulnérables (par exemple, l'éclosion du krill, le développement des coquilles). Les études à long terme révèlent la possibilité de réponses compensatoires à l'acidification. Pour prévoir les changements au niveau de la communauté et de l'écosystème, il faut savoir quelles espèces et quels groupes fonctionnels clés seront ou non touchés par l'acidification, en combinaison avec d'autres facteurs de stress, et surtout, quelle est leur capacité d'adaptation à long terme.



Fig. 2: Les coraux peuvent être présents en grande quantité à plusieurs endroits de l'océan Austral. Ils sont particulièrement vulnérables à l'acidification des océans en raison de leur squelette calcaire. © J. Gutt & W. Dimmler, AWI/MARUM

**(3) Les écosystèmes marins et terrestres se modifient rapidement dans les zones sensibles au changement climatique.** La région de la péninsule antarctique occidentale (WAP) pourrait servir d'exemple du sort qui attend d'autres zones antarctiques de points chauds biologiques également influencées par le climat. Les changements dans les caractéristiques locales, ainsi que dans les vents régionaux, la qualité et l'étendue de la glace, et la stratification de la colonne d'eau, modulent l'occurrence des efflorescences algales de la WAP (figure 3). Les zones côtières, telles que les fjords le long de la WAP, abritent une biomasse élevée de krill et de baleines, ainsi que des assemblages uniques d'espèces des fonds océaniques. Ces zones riches peuvent être menacées par le changement climatique, en particulier lorsque les glaciers reculent.

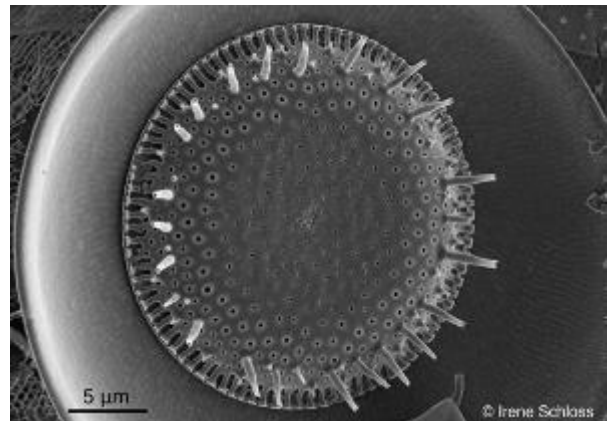


Fig. 3: Les microalgues telles que l'espèce de diatomée *Thalassiosira scottia* réagissent de manière sensible, dans leur composition et leur croissance, aux changements de température et à la dynamique de la glace de mer. © Irene Schloss

**(4) Les communautés des fonds marins font preuve d'un dynamisme inattendu – d'une croissance explosive à une mortalité massive.** Les organismes et les communautés des fonds marins de l'Antarctique ont été considérés pendant des décennies comme ayant une croissance lente (figure 4). Cependant, certaines études récentes couvrant plusieurs années à quelques décennies montrent que les éponges et les ascidies peuvent croître plus rapidement que prévu et peuvent également connaître des taux de mortalité élevés en raison des changements induits par le climat sur les conditions de la plate-forme de glace et de la glace de mer ainsi que du retrait des glaciers.



Fig. 4: Les éponges siliceuses sont sensibles aux fluctuations des conditions environnementales. Certaines espèces croissent plus rapidement qu'on ne le pensait, mais sont également affectées par des taux de mortalité élevés. © J. Gutt & W. Dimmler, AWI/MARUM

**(5) Les changements environnementaux et l'augmentation de l'empreinte humaine entraînent des modifications de la répartition des espèces et des invasions.** Les distributions de la plupart des espèces marines devraient se déplacer vers le pôle et se contracter, mais certaines espèces montrent des signes de contraction dans le Nord. A terre, la disponibilité des habitats augmente avec le recul des glaciers. Dans des conditions favorables, comme le long de la péninsule Antarctique, cela pourrait entraîner une augmentation de la productivité des plantes terrestres, également appelée « verdissement de l'Antarctique » (figure 5). Les espèces non indigènes, principalement terrestres, importées par les visiteurs humains, peuvent s'établir et modifier les fonctions originales des écosystèmes.



Fig. 5: La végétation du continent antarctique se compose principalement de lichens et de mousses, dont la répartition s'étend régionalement en raison du réchauffement. © Claudia Colesie

**(6) Les réponses des espèces en matière de résilience thermique sont faibles, complexes et variables.** Les espèces terrestres ont des capacités importantes de survie au réchauffement, alors que les espèces marines n'en ont pas. Cependant, les espèces terrestres sont vulnérables aux cycles de gel et de dégel. Les adaptations génétiques ont peu de chances de suivre le rythme des changements environnementaux rapides en raison du temps de génération généralement long de la plupart des espèces. Les températures, qu'elles soient élevées ou basses, peuvent provoquer l'effilochage ou l'endommagement des protéines. Chez les espèces marines, à basse température, cela affecte la fonction de l'organisme, y compris les taux de croissance lents et les impacts sur l'approvisionnement en oxygène où les cytoglobines aident à contrôler les dommages (figure 6). Les limites des basses températures peuvent également être à l'origine d'innovation fonctionnelle des protéines, et de protéines dites à basse température. En particulier, les enzymes actives au froid peuvent être parmi les cibles les plus prometteuses pour la bioprospection.

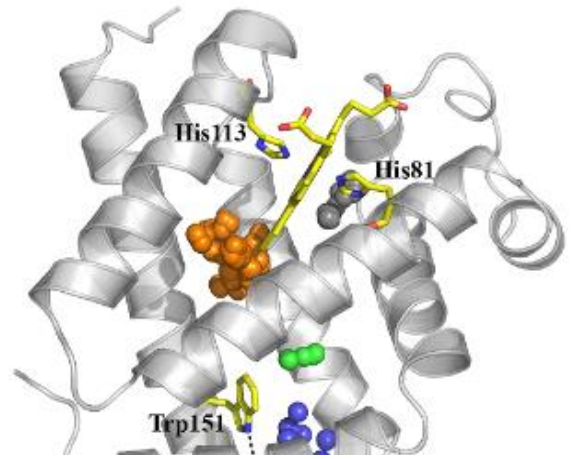


Fig. 6: Structure de la cytoglobine protéique de la légine antarctique *Dissostichus mawsoni*, les cytoglobines jouent un rôle important dans l'approvisionnement en oxygène et le contrôle de la dégradation des protéines chez les poissons de l'Antarctique. © Daniela Giordano and Cinzia Verde

**(7) La glace de mer contrôle fortement le fonctionnement de presque toutes les composantes de l'écosystème marin.** L'évolution des conditions de la glace de mer, notamment son étendue, sa concentration et sa persistance, a des répercussions importantes sur les réseaux alimentaires marins, notamment le système diatomées - krill - prédateurs supérieurs, ainsi que sur les communautés des fonds océaniques (figure 7). La variabilité de la glace de mer affecte également la disponibilité et la qualité des zones de recherche de nourriture et de reproduction pour les groupes de prédateurs tels que les manchots et les phoques.



Fig. 7: C Les phoques crabiers vivent dans la zone de banquise et sont donc sensibles aux changements dans l'étendue et la dynamique de la glace de mer. © Ryan Reisinger

**(8) Les polluants, traditionnels et nouveaux, sont de plus en plus présents dans l'environnement antarctique, mais les réactions des organismes et des communautés restent insuffisamment étudiées.** Les écosystèmes antarctiques sont des puits pour les polluants organiques persistants (POP) bioaccumulatifs d'origine anthropique et les métaux lourds. En outre, on trouve de plus en plus de macro- et microplastiques dans les habitats et organismes terrestres et marins de l'Antarctique.



Fig. 8: Les oiseaux de mer, comme l'albatros à sourcils noirs, souffrent des polluants et des débris transportés par l'eau, par exemple, les microplastiques et les engins de pêche perdus. ©

**(9) Les biotopes continentaux sont hautement endémiques et, par conséquent, menacés par le changement climatique.** L'augmentation de la connectivité des habitats terrestres par la fonte des glaces accroît la dispersion des organismes et le mélange des populations qui sont génétiquement plus distinctes qu'on ne le pensait auparavant (figure 9). Par conséquent, la compétition pour les ressources entre les populations et les espèces peut s'intensifier, d'autant plus que les habitats deviennent plus connectés. De nouvelles niches et/ou des habitats favorables aux espèces invasives sont également susceptibles de se développer.



Fig. 9: Le recul accru de la glace sur terre et sur les lacs entraîne le mélange de populations de nématodes auparavant isolées en raison de la glaciation. © Byron Adams

**(10) Les assemblages rares, disparates et de petite taille récemment découverts, qui prospèrent dans des conditions environnementales particulières, sont particulièrement vulnérables aux risques climatiques.** Des biotopes hautement adaptés, caractérisés par une biodiversité unique et remplissant des fonctions écosystémiques également uniques, ont été découverts dans des habitats spécifiques. Il s'agit notamment des lacs sous-glaciaires, de la subsurface ou du dessous des plateaux de glace de mer, des cheminées et sources hydrothermales, ainsi que des habitats géothermiques terrestres, des agrégations coralliennes et des monts sous-marins (figure 10).



Fig. 10: Cette étoile de mer à bras multiples (*Freyella fragilissima*) vit uniquement sous les plateaux de glace et dans les eaux profondes. Comme les plateformes de glace se brisent en raison du réchauffement climatique, la survie de ces espèces est menacée. © J. Gutt & W. Dimmler, AWI/MARUM

## **Défis:**

Les recherches menées ces dernières années fournissent des preuves de plus en plus nombreuses qu'un certain nombre d'éléments importants de l'écosystème de l'Antarctique et de l'océan Austral sont soumis à un stress environnemental ou devraient être encore plus menacés à l'avenir<sup>7,8,9,10,11</sup>. Pour améliorer les projections sur la façon dont la vie dans l'Antarctique réagira au changement climatique, il est nécessaire de combiner des informations de base supplémentaires sur la variabilité naturelle à long terme des modèles et des processus et une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes<sup>12</sup>. Pour atteindre cet objectif, davantage d'observations devront être réalisées tout au long de l'année, et ce, sur plusieurs années. Les études écologiques synoptiques transdisciplinaires doivent avoir une haute résolution temporelle et spatiale et fournir une base pour analyser et détecter l'impact de multiples facteurs de stress<sup>13</sup>. En outre, des informations solides sur les capacités d'adaptation des principales espèces et sur leurs écologies fonctionnelles, y compris les interactions, peuvent servir de base à l'élaboration de scénarios futurs fiables.

Quelques thèmes de recherche sont sous-représentés dans la littérature scientifique, comme, par exemple, la reminéralisation de la biomasse morte en nouveaux nutriments (recyclage) au fond de la mer et la réponse des organismes à la pollution, qui sont reconnus comme étant importants dans un contexte environnemental, et des connaissances essentielles pour répondre à des questions urgentes. Les techniques susceptibles de faire progresser la science dans ce domaine sont, entre autres, l'utilisation accrue de plates-formes d'échantillonnage autonomes (par exemple, flotteurs robotisés, véhicules aériens et sous-marins sans pilote), l'amélioration rapide des méthodes non invasives d'imagerie et d'acoustique pour les études biologiques, les analyses de l'ADN environnemental et la modélisation écologique. Ces éléments peuvent contribuer non seulement à l'élaboration de projections spatialement explicites pour l'avenir, mais aussi à l'identification des principales fonctions écologiques.

## **Conclusion:**

La dernière décennie a été très fructueuse pour la recherche sur les processus et fonctions biologiques et écologiques en Antarctique et dans l'océan Austral. Nous savons maintenant que le changement climatique fera des gagnants et des perdants parmi les espèces clés sur le plan écologique, qu'il augmentera ou diminuera la biodiversité et la production primaire et qu'il modifiera les fonctions biogéochimiques<sup>14,15,16</sup>.

En conclusion, nos connaissances actuelles sur l'empreinte humaine sont essentielles pour éclairer la politique du Traité sur l'Antarctique et la réglementation nationale afin de garantir des écosystèmes antarctiques sains. Elles justifient déjà une protection étendue du biote antarctique contre les risques de changement climatique, de pollution et d'autres perturbations anthropiques<sup>17,18</sup>.

Nous avons également acquis une meilleure compréhension des processus, des régions ou des organismes de l'Antarctique que nous devons étudier pour élucider l'avenir de tous les écosystèmes antarctiques et pour concevoir de nouvelles études intégrées de recherche sur les écosystèmes<sup>4,19</sup>.

Enfin, notre synthèse souligne également que les avancées majeures dans la recherche antarctique axée sur les questions dépendent d'un bon équilibre entre les approches scientifiques appliquées, telles que la résolution des problèmes de gestion du climat, de la conservation et des écosystèmes, et la liberté académique de mener des recherches fondamentales, qui, à leur tour, informent les approches appliquées.

## **Références:**



1. J. Gutt, E. Isla, J. Xavier, B. Adams, et al, Antarctic ecosystems in transition – life between stresses and opportunities. *Biological Reviews* (2020). Doi: 10.1111/brv.12679
2. L.S. Peck, Antarctic marine biodiversity: adaptations, environments and responses to change. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **56**, 105–236 (2018)
3. G.K. Saba, W.R. Fraser, V.S. Saba, R.A. Iannuzzi, et al, Winter and spring controls on the summer food web of the coastal West Antarctic peninsula. *Nature Communications* **5**, 4318 (2014). Doi: 10.1038/ncomms5318
4. A.J. Constable, D.P. Costa, O. Schofield, L. Newman, et al, Developing priority variables (“ecosystem Essential Ocean variables” – eEOVs) for observing dynamics and change in Southern Ocean ecosystems. *Journal of Marine Systems* **161**, 26–41 (2016). Doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.05.003.
5. C.K. Lee, D.C. Laughlin, E.M. Bottos, T. Caruso, et al, Biotic interactions are an unexpected yet critical control on the complexity of an abiotically driven polar ecosystem. *Communications Biology* **2**, 62 (2019). Doi: 10.1038/s42003-018-0274-5
6. A.D. Rogers, B.A.V. Frinault, D.K.A. Barnes, N.L. Bindoff, et al, Antarctic futures: an assessment of climate-driven changes in ecosystem structure, function, and service provisioning in the Southern Ocean. *Annual Review of Marine Science* **12**, 87–130 (2020). Doi: 10.1146/annurev-marine-010419-011028
7. J. Turner, N.E. Barrand, T.J. Bracegirdle, P. Convey, et al, Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record* **50**, 237–259 (2014). Doi: 10.1017/S0032247413000296
8. P. Convey, L.S. Peck, Antarctic environmental change and biological responses. *Science Advances* **5**, eaaz0888 (2019). Doi: 10.1126/sciadv.aaz0888
9. M. Meredith, M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, et al, Polar regions. In: H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M., Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J., Petzold, B. Rama and N. M. Weyer (eds) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. (2019), pp 203–320.
10. S.L. Chown, C.M. Brooks, The state and future of Antarctic environments in a global context. *Annual Review of Environment and Resources* **44**, 1–30 (2019). Doi: 10.1146/annurev-environ-101718-033236
11. S.A. Morley, D. Abele, D.K.A. Barnes, C.A. Cárdenas, et al, Global drivers on Southern Ocean ecosystems: changing physical environments and anthropogenic pressures in an earth system. *Frontiers in Marine Science* **7**, 1–24 (2020). doi: 10.3389/fmars.2020.547188
12. M.C. Il Kennicutt, D. Bromwich, D. Liggett, B. Njåstad, et al, Sustained Antarctic research: a 21th century imperative. *One Earth* **1**, 95–113 (2019). Doi: 10.1016/j.oneear.2019.08.014
13. J. Gutt, N. Bertler, T.J. Bracegirdle, A. Buschmann, et al, The Southern Ocean ecosystem under multiple climate stresses - an integrated circumpolar assessment. *Global Change Biology* **21**, 1434–1453 (2015). Doi: 10.1111/geb.12794
14. H.J. Griffiths, A.J.S. Meijers, T.J. Bracegirdle, More losers than winners in a century of future Southern Ocean seafloor warming. *Nature Climate Change* **7**, 749–755 (2017). Doi: 10.1038/NCLIMATE3377
15. M.A. Hindell, R.R. Reisinger, Y. Ropert-Coudert, L. Hückstädt, et al, Tracking of marine predators to protect Southern Ocean ecosystems. *Nature* **580**, 87–92 (2020). doi: 10.1038/s41586-020-2126-y

16. S.F. Henley, E.L. Cavan, S.E. Fawcett, R. Kerr, et al, Changing biogeochemistry of the Southern Ocean and its ecosystem implications. *Frontiers in Marine Science* **7**, 581 (2020). Doi: 10.1098/rsta.2017.0168
17. H. Flores, A. Atkinson, S. Kawaguchi, B.A. Krafft, et al, Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series* **458**, 1–19 (2012). Doi: 10.3354/meps09831
18. K.A. Hughes, A. Constable, Y. Frenot, J. López-Martínez, et al, Antarctic environmental protection: strengthening the links between science and governance. *Environmental Science & Policy* **83**, 86–95 (2018). Doi: 10.1016/j.envsci.2018.02.006
19. J. Gutt, E. Isla, N. Bertler, G.E. Bodeker, et al, Cross-disciplinarity in the advance of Antarctic ecosystem research. *Marine Genomics* **37**, 1–17 (2018). Doi: 10.1016/j.margen.2017.09.006

**Key words**

Climate-change, biological processes and responses, Antarctic Thresholds – Ecosystem Resilience and Adaptation (AnT-ERA)