

Réchauffement climatique et morue de l'Atlantique

Sylvain Lenoir^{1,2}, Grégory Beaugrand¹, Jean-Claude Dauvin^{1,2},

(1) Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, UMR 8187 CNRS-Univ Lille 1-ULCO, Université de Lille 1, 28 av. Foch, F-62930 Wimereux

(2) Université de Caen Basse Normandie, Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière, UMR CNRS 6143 M2C, 2-4 rue des Tilleuls, F-14000 Caen

Mail : smalenoir@gmail.com

Résumé

L'utilisation d'un nouveau modèle d'habitat a permis d'évaluer les changements passés et potentiels de la probabilité de présence de la morue en Atlantique nord, dans le contexte du réchauffement climatique. Les résultats montrent que les mouvements biogéographiques attendus varient en intensité et en vitesse selon la zone géographique considérée et le scénario climatique envisagé.

Mots clés : distribution spatiale, niche écologique, changement climatique, morue de l'Atlantique

Climate warming and Atlantic cod

Abstract

The use of a new ecological niche model allowed assessing past and potential changes in the presence probability of cod in the North Atlantic in the context of global warming. The results show that expected biogeographical movements vary both in intensity and speed according to the geographical area and the climate scenario used.

Key words: spatial distribution, ecological niche, climate change, Atlantic cod

Introduction

L'impact de la variabilité des facteurs environnementaux et climatiques sur les poissons marins (O'Brien *et al.*, 2000) est régulièrement mis en avant pour expliquer les variations observées des stocks de poissons. Par exemple, le recrutement de la morue de l'Atlantique est affecté par des modifications de l'Oscillation Atlantique Nord (NAO ; Brander & Mohn, 2004). De plus, la température est désignée comme étant un facteur clef pour le recrutement de la morue (Sundby, 2000 ; Björnsson *et al.*, 2001 ; Pörtner *et al.*, 2001). Une étude a mis en évidence la vulnérabilité de la morue de l'Atlantique aux changements climatiques, quand celle-ci se trouve en bordure de sa niche thermique (Beaugrand & Kirby, 2010). Cette vulnérabilité climatique est exacerbée lorsqu'elle s'applique à des populations déjà atteintes par les effets de la surexploitation (Brander, 2005). De même, le réchauffement climatique a été à l'origine de la réorganisation biogéographique de certaines espèces de poissons (Parmesan & Yohe, 2003 ; Perry *et al.*, 2005 ; Drinkwater, 2005).

La morue de l'Atlantique est une espèce qui a fait l'objet d'une pêche intensive depuis le milieu du 20^e siècle (Andrews *et al.*, 2006) jusque dans les années 1980. Après un pic dans les années 1970, le volume des captures a commencé à chuter et ce malgré un effort de pêche équivalent. Comme pour de nombreuses espèces de poisson,

l'impact de la surexploitation sur la morue de l'Atlantique est dénoncée (Pauly *et al.*, 2005).

Comprendre comment et pourquoi les stocks de morue s'effondraient, constituait un défi de tout premier plan pour la communauté scientifique (Myers *et al.*, 1996 ; Cook *et al.*, 1997 ; Myers *et al.*, 1997).

Dans le contexte du changement climatique et dans le cadre de la mise en place de plans de gestion des ressources marines, il devient primordial d'intégrer les effets du réchauffement, pouvant provoquer la diminution de certains stocks (Rose, 2004 ; Kirby *et al.*, 2009), dans les stratégies de gestion durable des pêches (Kell *et al.*, 2005). C'est pourquoi, de nouveaux outils basés sur la niche écologique des espèces sont développés pour tenter de prédire comment les poissons risquent de réagir, en réponse au réchauffement des océans. Ces modèles utilisent des variables éco-géographiques, comme la température, la bathymétrie, la distance à la côte et la production primaire (Kaschner *et al.*, 2006 ; Cheung *et al.*, 2008).

Dans cette étude, le nouveau modèle d'habitat Non Parametric Probabilistic Niche model (NPPEN ; Beaugrand *et al.*, 2011) est utilisé pour modéliser la distribution spatiale potentielle passée, présente et future de la morue en fonction de trois descripteurs de type environnemental SST (données de température de surface), bathymétrie et SSS (données de salinité de

surface). L'étude de l'évolution temporelle des probabilités de présence de la morue a été focalisée sur trois zones géographiques, pour lesquelles une activité de pêche est, ou a été, pratiquée : les eaux autour de Terre-Neuve, la mer du Nord et les eaux islandaises (Fig. 1).

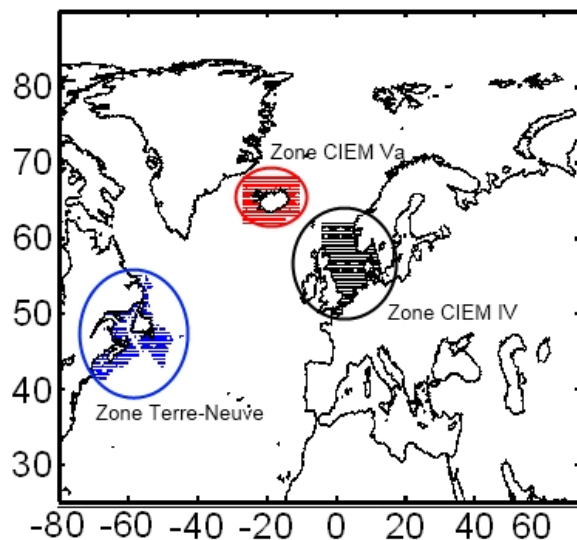


Figure 1 : Cartographie des trois zones pour lesquelles les probabilités de présence de la morue ont été calculées. Zone mer du Nord (CIEM IV), zone mer d'Islande (CIEM Va), zone « Terre-Neuve ».

Matériels et Méthodes

Données biotiques

L'espèce de poisson choisie dans cette étude est la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua* L., 1758). Les données de présence de la morue proviennent, de la base de données en ligne FishBase (Froese & Pauly, 2009), complétée avec des données provenant du Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (CIEM, ICES FishMap 2005, 2007), de la bibliographie et des connaissances scientifiques sur la distribution spatiale de cette espèce. Les observations sont datées et géo-référencées.

Données abiotiques

Les données SST de 1960 à 2006 proviennent de la base de données International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS, <http://icoads.noaa.gov>; Woodruff *et al.*, 1987). Les scénarios d'évolution du climat SRES A2 et B2 du modèle ECHAM4, de même que les scénarios SRES A1B, B1, COMMIT et

PICNTRL du modèle HadCM3 tel que présentés par le GIEC (Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, IPCC 2007), ont été inclus pour modéliser la distribution potentielle future de la morue. La gamme de scénarios va du plus optimiste PICNTRL (niveau de concentration en gaz à effet de serre équivalent à l'air préindustrielle, concentration en CO₂ : 300ppm) en passant par les scénarios COMMIT (stabilisation des gaz à effet de serre), B1 (concentration en CO₂ en 2100 : 550ppm), B2 (concentration en CO₂ en 2100 : 610ppm), A1B (concentration en CO₂ en 2100 : 670ppm), jusqu'au plus pessimiste A2 (scénario pour lequel aucune mesure n'est prise pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre, concentration en CO₂ en 2100 : 840ppm). Les données de bathymétrie ont été obtenues à partir de la « carte de bathymétrie de l'océan global » (Smith & Sandwell, 1997), elle-même construite grâce à des sondages acoustiques effectués sur des navires et des relevés satellitaires.

Les valeurs annuelles de SSS utilisées (correspondant à une moyenne entre 0 et 10m) proviennent de la climatologie de Levitus (Levitus, 1982), complétées par les données du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM, via le site internet <http://www.ices.dk>), plus précises en zones côtières.

La zone géographique couverte par les trois variables s'étend des latitudes 25°N à 85°N et des longitudes 80°W à 65°E. Les valeurs des trois variables sont interpolées en utilisant une méthode bilinéaire avec une résolution de 0,5° de latitude et de 0,5° de longitude, pour créer un jeu de cartes environnementales similaires : une carte de bathymétrie, une carte de SSS et une carte de SST par année, de 1960 à 2100. Les zones d'études utilisées (Fig. 1), pour illustrer l'évolution potentielle de la probabilité de présence de la morue, sont les zones CIEM (Conseil International pour l'Exploration de la Mer) IV (mer du Nord) et Va (Islande). En Atlantique Ouest, une troisième zone située autour de Terre-Neuve, limitée au sud et au nord par les latitudes 41,5°N et 55°N, limitée à l'Ouest et à l'Est par les longitudes 70°O et 41,5°O, est définie. Dans ces 3 zones une pêche industrielle ciblant la morue est ou a été pratiquée.

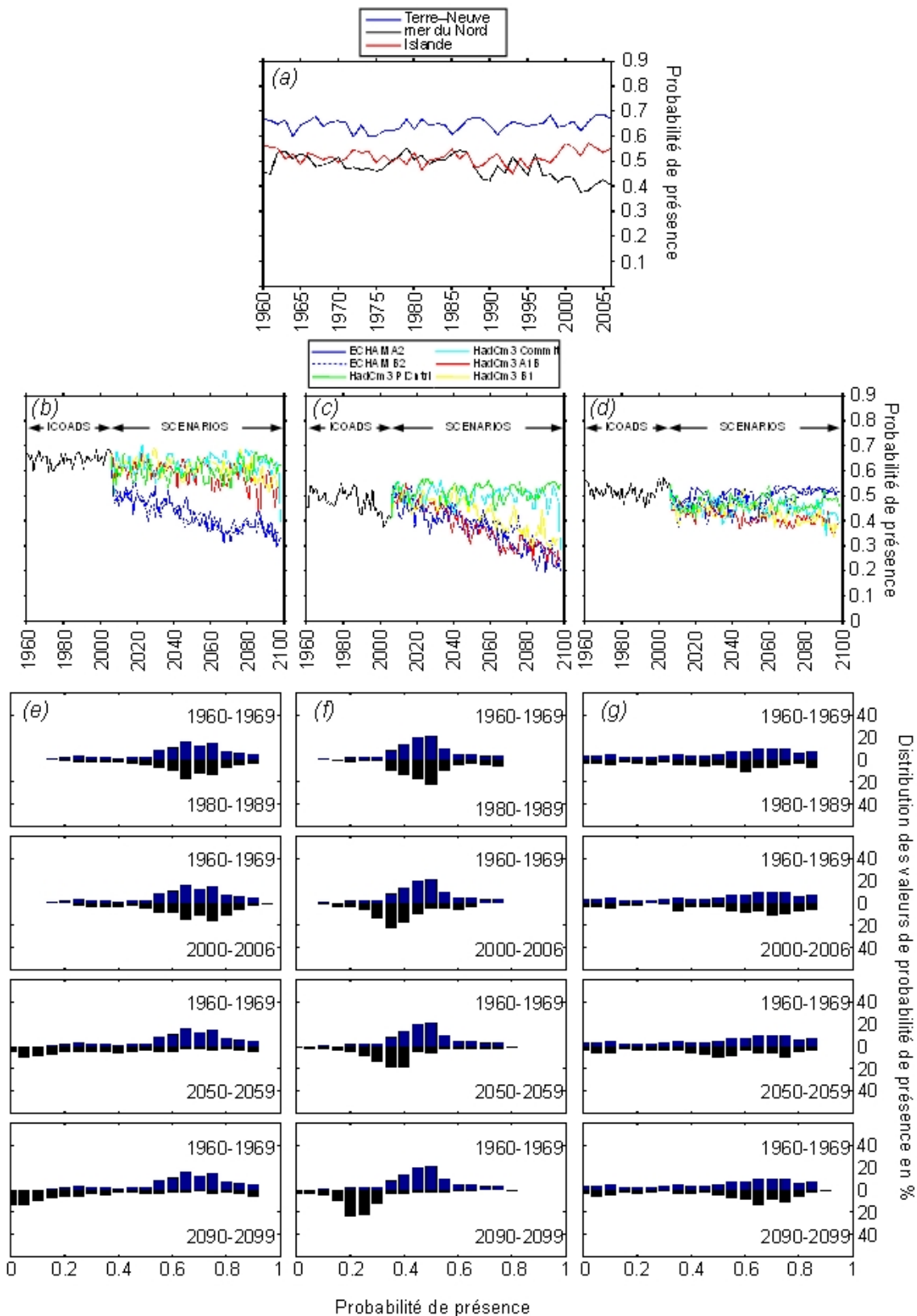


Figure 2 : Évolutions annuelles de la probabilité de présence de la morue à Terre-Neuve (en bleu), en mer du Nord (en noire) et en Islande (en rouge) modélisées par le NPPEN de 1960 à 2006 (a) et en fonction des scénarios d'évolution du GIEC Terre-Neuve (b) en mer du Nord (c) et en Islande (d). Comparaison des distributions des probabilités de présence de la morue, entre les périodes 1960s/1980s, 1960/2000-2006, 1960s/2050s et 1960s/2100s, à Terre-Neuve (e), en mer du Nord (f) et en Islande (g).

Méthode

Le modèle NPPEN (NPPEN ; Beaugrand *et al.*, 2011) a été utilisé pour calculer la probabilité moyenne de présence de la morue de l'Atlantique pour les trois zones prospectées (Fig. 1 ; zone « Terre-Neuve », zone CIEM Va et zone CIEM IV), annuellement et pour chaque décennie entre 1960 et 2100 et pour chaque scénario d'évolution du climat. Les probabilités moyennes de présence calculées ont été distribuées en dix classes (de 0 à 1). Les distributions en classe ont été reportées sur la figure 2. Seule l'évolution future des probabilités basées sur le scénario B2 (scénario le plus probable, IPCC 2007) a été illustrée et la distribution en classe des probabilités de présence pour la décennie 1960-1969 a été conservée dans chaque graphique à des fins de comparaisons (histogrammes bleus).

Résultats

De 1960 à 2006 L'évaluation de l'évolution annuelle des probabilités de présence de la morue en Atlantique nord, modélisées par le NPPEN (Fig. 2a), montre trois types de situations et d'évolutions différentes :

- dans la zone « Terre-Neuve », une évolution à long terme relativement stable des probabilités de présence, bien qu'avec une variabilité interannuelle prononcée; les valeurs de ces probabilités oscillent entre 0,6 et 0,7 ;
- en mer du Nord, les valeurs de probabilités sont comprises entre 0,4 et 0,6, une nette tendance à la diminution dans cette zone est observée à partir des années 1980 ;
- dans les eaux islandaises, entre 1960 et 2006, les probabilités de présence se situent entre 0,45 et 0,6, elles semblent avoir décliné très légèrement jusque dans les années 1990, années à partir desquelles elles ont entamé une hausse.

De 2006 à 2100 L'estimation de l'évolution annuelle des probabilités potentielles de présence de la morue de l'Atlantique (Fig. 2), montre que :

- en zone « Terre-Neuve » (Fig. 2b), seuls les scénarios SRES A2 et B2 (lignes bleues) provoqueraient une baisse importante et rapide des probabilités de présence de la morue de l'Atlantique ; pour les scénarios A1B et B1, les probabilités de présence se maintiendraient à un niveau stable jusqu'en 2070 ; pour les autres scénarios, COMMIT et

PICNTRL les probabilités de présence n'évolueraient pas ;

- en Mer du Nord (Fig. 2c), seuls les scénarios COMMIT et PICNTRL (lignes verte et turquoise) pourraient maintenir une présence équivalente à celle actuelle. Tous les autres scénarios prédisent une décroissance progressive et irréversible de la présence de la morue; comme en zone « Terre-Neuve » ;
- en Islande (Fig. 2d), tous les scénarios d'évolution du climat concorderaient pour montrer une stabilisation des probabilités à un niveau plus faible qu'avant 2006.

La comparaison des distributions en classe des probabilités, entre les trois zones, décrit ces régions marines comme ayant des potentiels d'accueil de la morue différents et fluctuants dans le temps (Fig. 2e f et g).

L'étude de l'évolution des probabilités de présence, entre les années 1960 et 1980, montre peu de changements et ce quelle que soit la zone considérée. Entre les périodes 1960 et 2000, des changements sont observables en mer du Nord uniquement, représentés par un affaiblissement, dans leur ensemble, des valeurs de probabilités de présence de la morue (Fig. 2f). Dans le futur, seule la zone CIEM Va islandaise conserverait une distribution de probabilités similaire à celle des années 1960. En mer du Nord, le glissement de la majorité des probabilités vers des valeurs plus faibles s'accentueraient. Du côté de Terre-Neuve le même phénomène est prédit à partir de la période 2050-2059.

Discussion

L'objectif de cette étude, était d'utiliser le modèle d'habitat NPPEN pour comprendre les évolutions différentes des stocks de morues dans des régions distinctes de l'Atlantique Nord. Beaugrand & Kirby (2010) ont montré que les populations de morues étaient impactées différemment par le réchauffement climatique selon leurs répartitions spatiales actuelles. Des populations présentes dans des régions comme la mer du Nord, qui se situent en limite méridionale de la niche écologique (preferendum thermique centré sur des températures entre 9°C et 10°C), seront plus sensibles à de petites modifications de la température de leur environnement. En Islande, les eaux marines plus froides sont en adéquation avec le centre de la niche thermique de la morue, le réchauffement climatique est

moins susceptible d'impacter les populations y résidant. Outre-Atlantique, les eaux de Terre-Neuve disposent de conditions climatiques et environnementales restées à la fois stables et favorables à la présence de l'espèce. D'après les résultats obtenues dans ce travail, la disparition et la non-reconstruction des stocks au Canada, malgré la mise en place de moratoires de pêche pour limiter les conséquences de la surexploitation (Pauly *et al.*, 1998 ; Christensen *et al.*, 2003 ; Rice *et al.*, 2003 ; Worm *et al.*, 2005), ne seraient pas dues à un changement de l'environnement occupé par la morue l'Atlantique mais dues aux conséquences de la surexploitation. En mer du Nord, la situation est différente, cette zone devient petit à petit « hostile » à la présence de la morue. Ainsi, la baisse dans les débarquements constatée (Brander *et al.*, 2006), ne peut être imputée uniquement à l'effet de la surpêche dans cette zone.

Remerciements

Je remercie le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences et la Station Marine de Wimereux pour avoir mis à disposition les moyens techniques pour réaliser ma thèse.

Références bibliographiques

- Andrews J.M., Gurney W.S., Heath M.R., Gallego A., O'brien C.M., Darby C. & Tyldesley G. 2006 Modelling the spatial demography of atlantic cod (*gadus morhua*) on the european continental shelf. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63: 1027-1048
- Beaugrand G., Lenoir S., Ibañez F. & Manté C. 2011 A new model to assess the probability of occurrence of a species based on presence-only data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 424: 175-190
- Beaugrand G. & Kirby R.R. 2010 Spatial changes in the sensitivity of Atlantic cod to climate-driven effects in the plankton. *Clim. Res.*, 41: 15-19
- Björnsson B., Steinarsson A. & Oddgeirsson M. 2001 Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*gadus morhua* l.). *ICES J. Mar. Sci.*, 58: 29-38
- Brander K. & Mohn R. 2004 Effect of the north atlantic, oscillation on recruitment of atlantic cod (*gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 61: 558-1564
- Brander K.M. 2005 Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 339-343
- Brander K., Ottersen G., Wieland K. & Lilly G. 2006 Decline and recovery of north atlantic cod stocks. *GLOBEC international Newsletter*, 12: 10-12
- Cheung W.W.L., Close C., Lam V., Watson R. & Pauly D. 2008 Application of macroecological theory to predict effects of climate change on global fisheries potential. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 365: 187-197
- Christensen V., Guénette S., Heymans J.J., Walther C.J., Watson R., Zeller D. & Pauly D. 2003 Hundred-year decline of north atlantic predatory fishes. *Fish Fish.*, 4: 1-24
- Cook R.M., Sinclair A. & Stefansson G. 1997 Potential collapse of North Sea cod stocks. *Nature*, 385: 521-522
- Drinkwater K.F. 2005 The response of Atlantic cod (*gadus morhua*) to future climate change. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 1327-1337
- Froese R. & Pauly, D. 2009. FishBase. Available: <http://www.fishbase.org> [Accessed 2008].
- Intergovernmental Panel on Climate Change W.G.I. 2007 *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kaschner K., Watson R., Trites A.W. & Pauly D. 2006 Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 316: 285-310
- Kell L.T., Pilling G.M. & O'brien C.M. 2005 Implications of climate change for the management of north sea cod (*gadus morhua*). *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 1483-1491
- Kirby R., Beaugrand G. & Lindley J.A. 2009 Synergistic effects of climate and fishing in a marine ecosystem. *Ecosystems*, 12: 548-561
- Levitus S. 1982. Climatological Atlas of the World Ocean. In: OFFICE, U. S. G. P. (ed.) *NOAA Professional Papers*. Washington, D.C.: U.S. Government printing office.
- Myers R.A., Hutchings J.A. & Barrowman N.J. 1996 Hypotheses for the decline of cod in the north atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 138: 293-308
- Myers R.A., Hutchings J.A. & Barrowman N.J. 1997 Why do fish stocks collapse? The example of cod in atlantic canada. *Ecol Appl.*, 7: 91-106
- O'brien C.M., Fox C.J., Planque B. & Casey J. 2000 Climate variability and north sea cod. *Nature*, 404: 142
- Parmesan C. & Yohe G. 2003 A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42
- Pauly D., Christensen V., Dalsgaard J., Froese R. & Torres T.J. 1998 Fishing down marine food webs. *Science*, 279: 860-863
- Pauly D., Watson R. & Alder J. 2005 Global trends in world fisheries: Impacts on marine ecosystems and food security. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B*, 360: 5-12
- Perry A.L., Low P.J., Ellis J.R. & Reynolds J.D. 2005 Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308: 1912-1915
- Pörtner H.O., Berdal B., Blust R., Brix O., Colosimo A., De Wachter B., Giuliani A., Johansen T.,

- Fischer T., Knust R., Lannig G., Naevdal G., Nedenes A., Nyhammer G., Sartoris F.J., Serendero I., Sirabella P., Thorkildsen S. & Zakhartsev M. 2001 Climate induced temperature effects on growth performance, fecundity and recruitment in marine fish: Developing a hypothesis for cause and effect relationships in atlantic cod (*gadus morhua*) and common eelpout (*zoarces viviparus*). *Cont. Shelf Res.*, 21: 1975-1997
- Rice J.C., Shelton P.A., Rivard D., Chouinard G.A. & Fréchet A. 2003 Recovering canadian atlantic cod stocks: The shape of things to come? *ICES CM*, 06: 1-17
- Rose G.A. 2004 Reconciling overfishing and climate change with stock dynamics of atlantic cod (*gadus morhua*) over 500 years. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 61: 1553-1557
- Smith W.H.F. & Sandwell D.T. 1997 Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277: 1956-1962
- Sundby S. 2000 Recruitment of Atlantic cod stocks in relation to temperature and advection of copepod populations. *Sarsia*, 85: 277-298
- Woodruff S.D., Slutz R.J., Jenne R.L. & Steurer P.M. 1987 A comprehensive ocean-atmosphere data set. *Bull. Am. Met. Soc.*, 68: 1239-1250
- Worm B., Sandow M., Oschlies A., Lotze H.K. & Myers R.A. 2005 Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science*.