

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

Sciences de la Vie et de la Terre

MÉMOIRE

**présenté
par**

Romain Causse

Pour l'obtention du diplôme de l'École Pratique des Hautes Études

**Etudes des communautés ichtyologiques démersales en mer de Dumont
d'Urville (Est Antarctique).**

Soutenu le 11 mai 2011

devant le jury suivant :

M. Sébastien Couette – Président
M. René Galzin – Tuteur scientifique
M. Philippe Koubbi – Tuteur pédagogique
M. Christophe Loots – Rapporteur
Mme Agnès Dettai – Examineur
M. Marino Vacchi – Examineur

Mémoire préparé sous la direction de :

Pr Philippe Koubbi (univ. P&M Curie)(philippe.koubbi@obs-vlfr.fr)
Laboratoire USM 0403 BOREA MNHN, Directeur : *Pr Philippe Keith (MNHN)*
UMR 7208 BOREA - DMPA - MNHN
43 rue Cuvier – 75005 paris

Dr René Galzin (galzin@univ-perp.fr)
USR 3278 CNRS-EPHE, Directeur : *Dr Serge Planes (EPHE)*
EPHE-CNRS, USR 3278, Centre de Biologie et d'Écologie Tropicale et
Méditerranéenne, Université de Perpignan, 52 av. Paul Alduy - 66860 Perpignan

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Etudes des communautés ichthyologiques démersales en mer de Dumont d'Urville (Est Antarctique).

CAUSSE ROMAIN

11 mai 2011

RÉSUMÉ

La mission Ceamarc (Collaborative East Antarctic Marine Census) à bord du N/O « l'*Aurora Australis* » a permis d'obtenir la première étude complète sur l'environnement de l'ichtyofaune démersale et de sa diversité du plateau continental de la mer de Dumont d'Urville (Est Antarctique). Il a été observé une forte dominance des Nototheniidae en nombre d'espèces et en abondance. Les Nototheniidae représentent la famille la plus abondante avec 44,7% de l'abondance totale, suivie par les Bathydraconidae (18,8%). *Trematomus eulepidotus* a été l'espèce dominante avec 19,9% des captures totales. Néanmoins, 43 des 53 espèces récoltées ont été considérées comme très rares. Les Bathydraconidae ont été la famille la plus diversifiée avec 11 espèces différentes échantillonnées. Les abondances de poissons les plus élevées ont été observées entre 400 et 800 m de profondeur. Des communautés d'espèces bien structurées ont été observées, avec de fortes richesses spécifiques entre 570 et 681 m. Les zones les plus riches sont localisées le long des bassins et sur leurs parties supérieures. Les analyses statistiques des données de captures ont indiqué des différences spatiales à large échelle en termes de composition spécifique. Il a été démontré la présence d'une hétérogénéité des communautés de poissons entre la pente continentale, les bassins, les parties supérieures des bassins et les bancs. De plus, à plus petite échelle, les courants présents dans le bassin George V et le raclement des icebergs sur les bancs et leurs pentes tendent à créer localement des micro habitats très différenciés. Nous pensons également que l'histoire glaciaire et la structure des habitats a permis la colonisation successive du fond par les poissons démersaux.

MOTS-CLÉS : *Antarctique Est, poissons démersaux, Notothenioidei, structure de communautés, habitats.*

Ce diplôme doit être cité comme suit :

Causse R., 2011 – Etudes des communautés ichthyologiques démersales en mer de Dumont d'Urville (Est Antarctique). Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris: 80 pages.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
1. Contexte de l'étude.....	1
2. Objectifs	4
BIBLIOGRAPHIE	5

INTRODUCTION

1. Contexte de l'étude

La structure des communautés de poissons téléostéens du plateau continental Est Antarctique n'avait pas jusqu'à présent été complètement étudiée. Les premiers échantillonnages en mer de Durmont d'Urville se sont déroulés lors de l'Australian Antarctic Expedition (1911-1914) par Sir Douglas Mawson dans la baie du Commonwealth. Cette mission a été par la suite suivie par la British Australian and New Zealand Antarctic Research Expedition (BANZARE) en 1929-1931 par Sir Douglas Mawson dans la baie du Commonwealth et à 640 m de profondeur au large de la Terre Adélie. Sapin-Jaloustre et Tchernia ont par la suite collecté des échantillons à proximité de la station de Port-Martin en Terre Adélie (Arnaud, 1974). Toutes ces campagnes de prélèvements ont été alors focalisées sur l'étude de la faune des invertébrés benthiques. La première étude spécifiquement dédiée à l'ichtyofaune a été réalisée par Hureau (1970) le long des côtes de la Terre Adélie dans les années 1960 (Hureau, 1970). Plus récemment, entre 1996 et 2008, le programme ICOTA (Ichtyologie COtière en Terre Adélie) s'est intéressé à l'ichtyofaune côtière démersale, tel que *Trematomus hansonii* (Hureau et al., 2000), les larves de *Pleuragramma antarcticum* (Koubbi et al., 1997, 2007) et d'autres espèces de l'ichtyoplancton (Koubbi et al., 2009). Des études phylogénétiques sur des espèces de Notothenioidei ont également été réalisées (Derôme et al., 2002 ; Lautredou et al., 2010 ; Dettai et al., 2011; Rey et al., *in press* ; Lecointre et al., *in press*).

D'autres études à large échelle (allant de 400 à 4 000 km) de l'ichtyofaune démersale ont été réalisées en diverses régions du plateau continental Antarctique et en océan Austral, comme en mer de Weddell (Ekau, 1990 ; Gutt & Ekau, 1996), mer de Ross (Iwami & Abe,

1981, Eastman et Hubold, 1999 ; Donnelly et al., 2004 ; La Mesa et al., 2004a, b ; Vacchi et al., 2001), mer Lazarev (Gutt et Ekau, 1996), mer de Bellingshausen et île Peter (Matallanas et Olasso, 2007), autour de l'île de la Deception (Ruhl et al., 2003), au nord de l'archipel de l'arc Scotia, à Bouvet (Jones et al., 2008), dans la baie de Lutzow-Holm (Naito & Iwami, 1982), aux îles des Shetland du sud (Iwami & Abe, 1982), et enfin autour des îles du roi George (Kulesz, 1999). Bien que ces études aient utilisé des engins d'échantillonnages et méthodes non standardisés entre elles, leurs résultats, congruents, ont montrés que l'ichtyofaune du plateau continental était dominée par les poissons du sous ordre des Notothenioidei. Parmi ceux-ci, la famille des Nototheniidae représente le nombre le plus important d'espèces et les plus fortes abondances, suivis par les autres familles de Notothenioids (Artedidraconidae, Bathydraconidae et Channichthyidae). Les familles des Zoarcidae et Liparidae étaient abondantes mais peu diversifiées quelles que soient les zones étudiées.

Le programme CEAMARC (Collaborative East-Antarctic Marine Census) s'est déroulé du 16 décembre 2007 au 17 février 2008 et a fédéré les efforts de plusieurs pays (Australie, France et Japon) mettant chacun à disposition un navire scientifique. Ce programme est une des contributions au CAML (Census of Antarctic Marine Life), affiché pour l'Année Polaire Internationale (API). Le N/O japonais « *L'Umitaka Maru* » a travaillé plus spécifiquement sur l'hydrologie et la faune pélagique, le N/O « *Aurora Australis* » a échantillonné la faune démersale et benthique, tandis que des analyses complémentaires pour la connaissance de l'hydrologie et du plancton ont été réalisées à bord du N/O « *Astrolabe* ».

La campagne CEAMARC/Aurora Australis (CEAMARC/AA) a échantillonné une large zone géographique englobant le plateau continental situé entre le glacier du Mertz et le glacier de l'Astrolabe dans la mer de Dumont d'Urville, en utilisant des protocoles standardisés pour la capture des poissons démersaux et en incluant des stations à plus de

2 000 m le long de la pente du talus continental. L'originalité de cette campagne, par rapport aux missions classiques d'inventaires de la biodiversité, réside dans la complémentarité des moyens et des compétences mis en oeuvre. La zone concernée a été étudiée avec diverses technologies: photos et vidéos sous marines, océanographie physique, échantillonnage de la faune par l'utilisation d'engins de pêches différents, géomorphologie et topographie.

Le changement climatique dans ce secteur semble avoir, pour le moment, un impact plus limité qu'ailleurs en Antarctique. Durant les dix dernières années, les modifications des paramètres environnementaux ont été infimes (Sultan et Rintoul, *pers. Com.*). Le réchauffement moyen de la température de l'air entre 1957 et 2006 s'est élevé de 0.5°C, alors que, comparativement, le reste du globe a subi une augmentation de 0.6°C en 50 ans (Steig *et al.*, 2009). Les événements de rupture des glaciers se déroulent davantage au niveau de la Péninsule Antarctique (Plateforme de Larsen) que sur les restes du continent Antarctique. Ceux-ci sont dus à une élévation de la température de l'eau de surface (Schneider *et al.*, 2006) et non à l'augmentation de la température de l'air. Dans ce secteur, un gradient de la température de l'eau de fond du plateau continental a été mis en évidence avec un minimum au niveau de la mer de Weddell et une augmentation progressive vers l'est du continent, conditionnant fortement les assemblages de la faune benthique (Clarke *et al.*, 2009). Ces perturbations, au niveau du plateau continental Est Antarctique, pourraient impliquer des modifications du milieu et de la faune au niveau du plateau continental. Cependant, des variations annuelles peuvent déjà se produire au niveau de l'eau de surface: lors de l'été austral 2007-08, l'absence de vents catabatiques, disloquant habituellement la banquise, a limité l'importance de la production primaire. Cette baisse de production a pu avoir un impact sur le recrutement à chacun des différents niveaux trophiques, y compris probablement sur la faune ichtyologique démersale.

En Février 2010, une section du glacier Mertz de 78 km de long s'est fissurée, puis s'est séparée, pour dériver vers l'ouest jusqu'au banc Adélie où il y resta fixé durant plusieurs semaines avant de traverser le plateau pour quitter la mer Dumont d'Urville. Avant cet évènement, une polynya était présente le long de la partie ouest du glacier Mertz dans le bassin George V. Celle-ci a semble t'il perdurée après le vèlage du glacier (Sultan, *com. pers.*).

2. Objectifs

L'intégration de l'ensemble des données issues de la campagne CEAMARC/AA a permis la description de la composition faunistique des espèces de poissons démersaux du plateau et de la pente continentale. Une étude a été menée afin de comprendre la structure de ces communautés en relation avec les paramètres environnementaux et d'établir un état de référence pouvant être utilisé comme repère afin de mesurer les changements futurs de cette partie du plateau Est Antarctique. Enfin, en se basant sur le concept de « species flocks » ou « bouffée d'espèces », définissant un groupe diversifié d'espèces étroitement liées dans une zone isolée (Ribbink, 1984), nous étudierons si les familles de poissons ont une diversité spécifique élevée, et si toutes ces espèces ont une forte diversité écologique, ayant pour trait des préférentiels d'habitats différents, l'une des hypothèses majeures pouvant expliquer un "Species Flocks ». Une étude précédente sur l'écorégionalisation de cette zone géographique, basée sur les distributions des poissons pélagiques et démersaux, a suggéré que la pente continentale, les bassins, banc et parties supérieures des bassins tendent à être des zones distinctes d'écorégions (Koubbi et al., 2010).

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, M.E., 1990. Zoarcidae. In: Gon O, Heemstra PC (Eds.) Fishes of the Southern Ocean. JLB Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, 256–278.

Andriashev, A.P., 1968. The problem of the life community associated with the Antarctic fast ice. In: Currie RI (Eds.) Symposium on Antarctic oceanography. Scott Polar Research Institute, Cambridge, 147-155.

Andriashev A.P., 1970. Cryopelagic fishes of the Arctic and Antarctic and their significance in polar ecosystems. In: Holdgate MW (Eds.) Antarctic ecology, vol 1. Academic, London, 297-304.

Arnaud, P.M., 1974. Contribution a la bionomie marine benthique des regions antarctiques et subantarctiques. *Théthys* 6 (3), 465 – 656.

Beaman, R.J., Harris P.T., 2003. Seafloor morphology and acoustic facies of the George V Land shelf. *Deep-Sea Res. II* 50, 1343-1355.

Beaman, R.J., O'Brien, P., 2009. Collaborative East Antarctic Marine Census (CEAMARC): Post-Survey Report, RSV Aurora Australis Voyage 3. December 2007 – January 2008. *Geoscience Australia Record* 2008/05, 61 pp.

Beaman, R.J., O'Brien, P., Post, A.L., De Santis, L., 2010. A new high-resolution bathymetry model for the Terre Adélie and George V continental margin, East Antarctica. *Ant. Sci. In Press*.

Brenner, M., Buck, B.H., Cordes, S., Dietrich, L., Jacob, U., Mintenbeck, K., Schroder, A., Brey, T., Knust, R., Arntz, W., 2001. The role of iceberg scours in niche separation within the Antarctic fish genus *Trematomus*. *Polar Biol.* 24, 502-507.

Causse, R., Ozouf-Costaz, C., Koubbi, P., Lamy, D., Eléaume, M., Dettaï, A., Duhamel, G., Busson, F., Pruvost P., Post A., Beamn R.J., Riddle, M.J. Demersal ichthyofaunal shelf communities from the Dumont d'Urville Sea (East Antarctica). *Polar Science*. *In press*. [doi:10.1016/j.polar.2011.03.004](https://doi.org/10.1016/j.polar.2011.03.004) .

Chen, W. J., Bonillo, C., Lecointre, G., 1998. Phylogeny of the Channichthyidae (Notothenioidei, Teleostei) based on two mitochondrial genes. In: Di Prisco G., Pisano E., Clarke A. (Eds.). *Fishes of Antarctica: a biological overview*, Springer-Verlag; Milan, London etc., 287-298.

Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol.-Progr. Ser.* 216, 265-278.

Clarke, A., Griffiths, H.J., Barnes, D.K.A., Meredith, M.P., Grant, S.M., 2009. Spatial variation in seabed temperatures in the Southern Ocean: Implications for benthic ecology and biogeography. *J. Geophys. Res.* Vol. 114, G03003, doi:10.1029/2008JG000886, 2009

Derôme, N., Chen, W.J., Dettaï, A., Bonillo, C., Lecointre, G., 2002. Phylogeny of Antarctic dragonfishes (Bathydraconidae, Notothenioidei, Teleostei) and related families based on their anatomy and two mitochondrial genes. *Mol. Phylogen. Evol.* 24 (1), 139-152.

De Santis, L., Brancolini, G., Accettella, A., Cova, A., Caburlotto, A., Donda, F., Pelos, C., Zgur, F., Presti, M., 2007. New Insights into Submarine Geomorphology and Depositional Processes along the George V Land Continental Slope and Upper Rise (East Antarctica). 10th International Symposium on Antarctic Earth Sciences. U.S. Geological Survey, Santa Barbara, California, USA.

Dettaï, A., Lautredou, A.-C., Bonillo, C., Goimbault, E., Busson, F., Causse, R., Couloux, A., Cruaud, C., Duhamel, G., Denys, G., Hautecoeur, M., Iglesias, S., Koubbi, P., Lecointre, G., Moteki, M., Pruvost, P., Tercerie, S., Ozouf, C. 2011. The actinopterygian diversity of the CEAMARC cruises: Barcoding and molecular taxonomy as a multi level tool for new findings. *Deep-Sea Res. II* 58, 250-263.

Donnelly, J., Torres, J.J., Sutton, T.T., Simoniello, C., 2004. *Fishes of the eastern Ross Sea*,

Antarctica. *Polar Biol.* 27, 637-650.

Duhamel, G., Hauteceur, M., Dettaï, A., Causse, R., Pruvost, P., Busson, F., Couloux, A., Koubbi, P., Williams, R., Ozouf-Costaz, C., Nowara, G., 2010. Liparids from the Eastern sector of Southern Ocean and first information from molecular studies. *Cybium* 34(4), 319-343..

Eastman, J.T., 1993. *Antarctic fish biology: evolution in a unique environment*. Academic, San Diego

Eastman, J.T., Hubold, G., 1999. The fish fauna of the Ross Sea, Antarctica. *Ant. Sci.* 11(3), 293-304.

Ekau, W., 1990. Demersal fish fauna of the Weddell Sea, Antarctica. *Ant. Sci.* 2 (2), 129-137.

Ekau, W., Gutt, J., 1991. Notothenioid fishes from the Weddell Sea and their habitat, observed by underwater photography and television. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology* 4, 36-49.

Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.* 62(4), 344-359.

Gon, O., Heemstra, P.C., 1990. *Fishes of the Southern Ocean*. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, South Africa.

Gutt, J., Ekau, W., 1996. Habitat partitioning of dominant high Antarctic demersal fish in the Weddell Sea and Lazarev Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 206, 25-37.

Gutt, J., Starmans, A., 1998. Structure and biodiversity of megabenthos in the Weddell and Lazarev Sea (Antarctic): ecological role of physical parameters and biological interactions. *Polar Biol.* 20, 229–247

Hureau, J.-C., 1970. Biologie comparée de quelques Poissons antarctiques (Nototheniidae). *Bull. Inst. Océanogr.* , Monaco, 68 (1391), 1-244.

Hureau, J.-C., Koubbi, P., White, M., Vacchi, M., 2000. Ecological data on *Trematomus hansonii*, a coastal fish from Terre Adélie (Antarctica). In: Davison, W., Howard-Williams, C., Broady, P. (Eds.), *Antarctic Ecosystems: Models for Wider Ecological Understanding*. New Zeal. Nat. Sci., Canterbury University, Christchurch, pp. 96-100.

Iwami, T., Abe, T., 1981. The collection of the fishes trawled in the Ross sea South Pacific Ocean. *Antarct. Rec.* 71, 130-141.

Iwami, T., Abe, T., 1982. Notes on the fishes collected during the 1980-1981 exploratory bottom trawl fishing off the South Shetland Islands. *Mem. Nat. Inst. Polar Res. Special issue.* 55-63.

Jackson, D.A., Peres-Neto, P.R., Olden, J.D., 2001. What controls who is where in freshwater fish communities - the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58 (1), 157-170.

Jones, C.D., Anderson, M.E., Balushkin, A.V., Duhamel, G., Eakin, R.R., Eastman, J.T., Kuhn, K.L., Lecointre, G., Near, T.J., North, A.W., Stein, D.L., Vacchi, M., Detrich III, H.W., 2008. Diversity, relative abundance, new locality records and population structure of Antarctic demersal fishes from the northern Scotia Arc islands and Bouvetøya. *Polar Biol.* 31:1481-1497.

Kock, K.-H., 1992. *Antarctic Fish and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge

Koubbi, P., Duhamel, G., Hecq, J.-H., Beans, C., Loots, C., Pruvost, P., Tavernier, E., Vacchi, M., Vallet, C., 2009. Ichthyoplankton in the neritic and coastal zone of Antarctica and Subantarctic islands: A review. *J. Mar. Syst.* 78, 547-556.

Koubbi, P., Ozouf-Costaz, C., Goarant, A., Moteki, M., Hulley, P.-A., Causse, R., Dettai, A., Duhamel, G., Pruvost, P., Tavernier, E., Post, A., Beaman, R.-J., Rintoul, S., Hirawake, T., Hirano, D., Ishimaru, T., Riddle, M., Hosie, G., 2010. Estimating the biodiversity of the East Antarctic shelf and oceanic zone for ecoregionalisation: example of the ichthyofauna of the CEAMARC (Collaborative East Antarctic Marine Census) CAML surveys, doi:10.1016/j.polar.2010.04.012

Koubbi, P., Vallet, C., Razouls, S., Grioche, A., Hilde, D., Courcot, L., Janquin, M.A., Vacchi, M., Hureau, J.C., 2007. Condition and diet of larval *Pleuragramma antarcticum* (Nototheniidae) from Terre Adelie (Antarctica) during summer. *Cybium* 31 (1): 67-76.

Kulesz, J., 1999. Ichthyofauna of lagoons of the Admiralty Bay (King George Island, Antarctica) in 1997. *Pol. Arch. Hydrobiolo.* 46 (2),173-184.

La Mesa, M., Dalu, M., Vacchi, M., 2004a. Trophic ecology of the emerald notothen *Trematomus bernacchii* (Pisces, Nototheniidae) from Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica. *Polar Biol.* 27, 721-728.

La Mesa, M., Eastman, J.T., Vacchi, M., 2004b. The role of notothenioid fish in the food web of the Ross Sea shelf waters: a review. *Polar Biol.* 27, 321-338.

La Mesa, M., Cattaneo-Vietti, R., Vacchi, M., 2006. Species composition and distribution of the Antarctic plunderfishes (Pisces, Artedidraconidae) from the Ross Sea off Victoria Land. *Deep-Sea Res. II* 53, 1061–1070.

Lautredou, A.-C., Bonillo, C., Denys, G., Cruaud, C., Ozouf-Costaz, C., Lecointre, G., Dettai, A., 2010., Molecular taxonomy and identification within the Antarctic genus *Trematomus* (Notothenioidei, teleostei) : how valuable is barcoding with COI ?, *Polar Sci.* (4) 2, 333-352.

Lecointre, G., Gallut, C., Bonillo, C., Couloux, A., Ozouf-Costaz, C., Dettai, A., *In press.* Paraphyletic *Artedidraco* (Notothenioidei, Teleostei). *Polar Biol.*

Lombarte, A., Olaso, I., Bozzano A., 2003. Ecomorphological trends in the Artedidraconidae (Pisces: Perciformes: Notothenioidei) of the Weddell Sea. *Antarctic Sci.* 15 (2): 211–218.

Long, D., 2006. BGS detailed explanation of seabed sediment modified Folk classification. Accessible online at:

http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/emodnet/documents/standards/mesh_geology.pdf.

Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 336-71.

- Marsland, S.J., Bindoff, N.L., Williams, G.D., Budd, W.F., 2004. Modeling water mass formation in the Mertz Glacier Polynya and Adélie Depression, East Antarctica. *J. Geophys. Res.* 109, C11003, doi:10.1029/2004JC002441
- Massom, R.A., 2003. Recent Iceberg calving events in the Ninnis Glacier region, East Antarctica. *Ant. Sci.* 15, 303-313.
- Matallanas, J., Olaso, I., 2007. Fishes of the Bellinghausen Sea and Peter I Island. *Polar Biol.* 30, 333-341.
- Naito, Y., Iwami, T., 1982. Fish fauna in the northeastern parts of Lutzow-Holm Bay with some notes on the stomach contents. *Mem. Nat. Inst. Polar Res. Special Issue.* 64-72.
- Olaso, I., Rauschert, M., De Broyer, C., 2000. Trophic ecology of the family Artedidraconidae (Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system. *Mar. Eco.-Prog. Ser.* 194, 143–158.
- Pielou, E.C., 1966. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and disuse. *Am Nat* 100:463–465.
- Post, A.L., Beaman, R.J., O'Brien, P.E., Eleaume, M., Riddle, M.J. 2010. Community structure and benthic habitats across the George V Shelf, East Antarctica: trends through space and time. *Deep-Sea Res II*, doi: 10.1016/j.dsr2.2010.05.020.
- Ramette, A., 2007. Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiol. Ecol.* 62, 142-160.
- Rey, O., Bonillo, C., Gallut, C., Cruaud, C., Dettai, A., Catherine Ozouf-Costaz, C., Lecointre, G. *In press*. Naked dragonfishes *Gymnodraco acuticeps* and *G. victori* (Bathydraconidae, Notothenioidei) off Terre Adélie are a single species. *Cybium*.
- Ribbink, A.J., 1984. Is the species flock concept tenable? In: Echelle, A.A., Kornfield, I. (Eds.), *Evolution of Fish species Flocks*. University of Maine at Orono Press, Orono, pp. 21-25.

Rintoul, S.R., 1998. On the origin and influence of Adélie Land Bottom Water. In: Jacobs, S., Weiss, R. (Eds.), *Ocean, ice and atmosphere: interaction at the Antarctic continental margin*. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 151-171.

Ruhl, H.A., Hastingsa, P.A., Zarubicka, L.A., Jensena, R.M., Zdzitowieckib, K., 2003. Fish populations of Port Foster, Deception Island, Antarctica and vicinity. *Deep-Sea Res. II* 50, 1843-1858.

Schneider, D. P., Steig, E.J., Van Ommen, T.D., Dixon, D.A., Mayewski, P.A., Jones, J.M., Bitz? C.M., 2006. Antarctic temperatures over the past two centuries from ice cores, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L16707, doi:10.1029/2006GL027057.

Schwarzbach, W., 1988. Die Fischfauna des Gstlichen und stidlichen Weddellmeeres: geographische Verbreitung, Nahrung und trophische Stellung der Fischarten. *Ber. Polarforsch.* Vol. 54, pp. I-94.

Sneat, P.H.A., Sokal, R.R., 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. In: W.H. Freeman & Co., San Francisco. pp. 1-573.

Sparre, P., Ursin, E., Venema, S.C., 1989. Introduction to tropical fish stock assessment, Part 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper, no. 306/1. FAO, Rome

Steig, E.J., D.P. Schneider, S.D. Rutherford, M.E. Mann, J.C. Comiso, Shindell, D.T., 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, 457, 459-462, doi:10.1038/nature07669.

Teixidó, N., Garrabou, J., Arntz, W.E., 2004. Recovery in Antarctic benthos after iceberg disturbance: trends in benthic composition, abundance, and growth forms. *Mar. Ecol.- Prog. Ser.* 278:1–16

Ter Braak, C.J .F., Van Dam, H., 1989. Inferring pH from diatoms a comparison of old and new calibration methods. *Hydrologia.* 178 (3), 209-224.

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, NY, 500pp.

Ter Braak, C.J.F., Verdonschot, P.F.M., 1995. Canonical correspondence-analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquat. Sci.* 57 (3), 255-289.

Vacchi, M., La Mesa, M., 1995. The diet of the Antarctic fish *Trematomus newnesi* Boulenger, 1902 (Nototheniidae) from Terra Nova Bay, Ross Sea. *Ant. Sci.* 7 (1): 37-38

Vacchi, M., La Mesa, M., Ozouf-Costaz, C., 2001. First occurrence of *Acanthodraco dewitti* Skora, 1995 (Notothenioidei, Bathydraconidae) in the Ross Sea. *Polar Biol.* 24, 471-472.

Warwick, R.M., 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.* 92, 557-562.

Wright, D.J., Lundblad, E.R., Larkin, E.M., Rinehart, R.W., Murphy, J., Cary-Kothera, L., Draganov, K., 2005. ArcGIS Benthic Terrain Modeler, Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center. Accessible online at: <http://www.csc.noaa.gov/products/btm/>.