

**RAPPORT DE L'ATELIER
SUR LES MODÈLES PLAUSIBLES DE L'ÉCOSYSTÈME
VISANT À TESTER LES APPROCHES DE LA GESTION DU KRILL
(Sienne, Italie, 12 – 16 juillet 2004)**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	251
RAPPORT DU COMITÉ DE DIRECTION	
SUR LES ACTIVITÉS D'INTERSESSION	254
Examen de la littérature sur les modèles d'écosystème	254
Logiciels et autres environnements de simulation disponibles	255
Exigences en matière de données et de paramètres	255
Objectifs et spécifications de la modélisation de l'écosystème	256
Experts invités	256
Évaluation des stratégies de gestion (ESG)	256
Atlantis	257
InVitro	258
Développement des modèles	259
ATTRIBUTS SOUHAITABLES DES MODÈLES D'ÉCOSYSTÈME	259
Attributs des modèles dans la littérature	259
Attributs généraux des modèles d'évaluation des procédures de gestion	261
REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE DES MODÈLES D'ÉCOSYSTÈME	262
Approche générale	262
Système physique	265
Production primaire	266
Herbivores et carnivores invertébrés	267
Espèces-cibles	268
Poisson des glaces	268
Krill	269
Espèces mésopélagiques	271
Poissons mésopélagiques	271
Questions restant à élucider	272
Calmar	272
Mammifères et oiseaux marins	273
Caractéristiques du cycle vital et démographie	275
Oiseaux	275
Manchots	275
Oiseaux volants	276
Mammifères marins	277
Dynamique trophique	277
Régime alimentaire	277
Echelles spatiales de la répartition et des déplacements à la recherche de nourriture selon la profondeur	278
Pêcheries	278
Pêcherie de krill	278
Pêcherie de poisson des glaces	280

SCÉNARIOS PLAUSIBLES POUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN DE L'ANTARCTIQUE.....	281
FORMULATION ET SPÉCIFICATION DES MODÈLES	283
Modélisation des interactions interspécifiques	284
Modélisation de l'espace	287
Modélisation du temps	288
Processus périphériques et conditions aux limites	288
PROCHAINS TRAVAUX.....	289
Mise au point des modèles plausibles.....	289
Mise au point d'une structure de modélisation	290
ADOPTION DU RAPPORT.....	291
CLÔTURE DE L'ATELIER	291
RÉFÉRENCES	291
TABLEAUX	297
FIGURES	332
SUPPLÉMENT 1 : Ordre du jour	353
SUPPLÉMENT 2 : Liste des participants.....	355

**RAPPORT DE L'ATELIER SUR
LES MODÈLES PLAUSIBLES DE L'ÉCOSYSTÈME
VISANT À TESTER LES APPROCHES DE LA GESTION DU KRILL**
(Sienne, Italie, 12 – 16 juillet 2004)

INTRODUCTION

1.1 L'atelier sur les modèles plausibles de l'écosystème visant à tester les approches de la gestion du krill, établi dans le cadre du programme de travail du WG-EMM en 2001, s'est tenu à l'université de Sienne, en Italie, du 12 au 16 juillet 2004, sous la responsabilité d'Andrew Constable (Australie).

1.2 Le mandat de l'atelier a été défini en 2003 (SC-CAMLR-XXII, annexe 4, paragraphe 6.17) :

- i) réviser les approches servant à modéliser les écosystèmes marins, dont, entre autres :
 - a) la théorie et les concepts utilisés pour modéliser la dynamique du réseau trophique, l'influence des facteurs physiques sur cette dynamique et les opérations des flottilles de pêche;
 - b) le degré auquel les approximations pourraient servir à former des modèles¹ d'un "minimum de réalisme";
 - c) les divers types de logiciels et d'environnements informatiques de simulation utilisés pour mettre en œuvre les modèles d'écosystèmes.
- ii) examiner les modèles opérationnels plausibles de l'écosystème marin antarctique, entre autres :
 - a) les modèles de l'environnement physique;
 - b) les rapports trophiques et leur importance relative;
 - c) la dynamique de la flottille de pêche de krill;
 - d) les caractéristiques spatio-temporelles des modèles et leurs limitations potentielles dans l'espace et le temps;
 - e) les paramètres de délimitation utilisés dans les modèles;
- iii) faire progresser un programme de travail visant à développer et mettre en œuvre les modèles opérationnels pouvant servir à étudier la robustesse des diverses méthodes de gestion face aux incertitudes inhérentes aux systèmes écologiques, halieutiques, de surveillance et d'évaluation, en examinant, entre autres :

¹ Un modèle d'un minimum de réalisme d'un écosystème est un modèle comprenant juste assez de composantes et d'interactions pour permettre aux dynamiques clés du système d'être représentées de manière réaliste.

- a) la création et/ou les essais de logiciels;
- b) les besoins en logiciels, y compris les caractéristiques de diagnostic, la capacité de vérifier l'efficacité des programmes d'observation, tels que différents types de suivis des prédateurs, des proies et de la pêche;
- c) la caractérisation spatio-temporelle de l'environnement physique (glaces, océanographie) qui pourrait servir à paramétrer les modèles.

1.3 Établi en 2003, le comité de direction se compose d'Andrew Constable (coordinateur) et de Campbell Davies (Australie), de Pavel Gasyukov (Russie), Simeon Hill (Royaume-Uni), E. Hofmann (USA), Geoff Kirkwood (Royaume-Uni), Eugene Murphy (Royaume-Uni), Mikio Naganobu (Japon), David Ramm (secrétariat), Keith Reid (Royaume-Uni), Colin Southwell (Australie), Phillip Trathan (Royaume-Uni), et George Watters (Etats-Unis). Roger Hewitt (responsable, WG-EMM) et Rennie Holt (président, Comité scientifique), de droit, en seront membres (SC-CAMLR-XXII, annexe 4, paragraphe 6.16).

1.4 Les activités réalisées par le comité de direction sont rapportées à la question 2.

1.5 Le Comité scientifique a accepté de financer la présence de deux experts à l'atelier et de leur accorder certains fonds pour qu'ils entreprennent des travaux préparatoires, notamment l'examen des contributions à l'atelier.

1.6 Le comité de direction de l'atelier a décidé d'inviter deux experts externes susceptibles de compenser le manque d'expertise au sein de la communauté CCAMLR en répondant notamment aux questions clés suivantes :

- Dans quelle mesure est-il nécessaire de représenter toutes les interactions du réseau trophique ?
- Comment utiliser sans risque les modèles d'un minimum de réalisme ?

1.7 En raison de son expertise, B. Fulton (CSIRO, Australie) a été invitée pour examiner ces questions dans le contexte de l'évaluation des procédures de gestion (stratégies). Des circonstances imprévues ont empêché le deuxième expert invité d'assister à la réunion.

1.8 A. Constable a présenté les travaux de l'atelier et le contexte dans lequel il s'inscrit, en précisant certaines des attentes. Ces points sont fondés sur la 1^e partie de WG-EMM-04/24, y compris :

- i) Une discussion : la prise de décision est fondée sur les observations.
- ii) Une procédure de gestion est une combinaison d'observations, d'évaluations et de règles de décision qui ajustent les contrôles de l'exploitation pour arriver à des objectifs opérationnels.
- iii) La planification à long terme est facilitée si les règles qui l'entourent sont connues et comprises.

- iv) Les évaluations peuvent comprendre l'estimation statistique d'un paramètre ou indicateur, des comparaisons statistiques ou le développement plus complexe de modèles et de projections.
- v) Les principales questions liées aux évaluations sont les suivantes :
 - a) Les échantillons sont-ils en nombre suffisant pour permettre de prendre des décisions correctes ? Il s'agit souvent d'estimations dont le manque de précision pourrait entraîner des erreurs de type I ou II (Andrew et Mapstone, 1987).
 - b) Des variables ou des processus sans rapport avec les causes présumées des effets peuvent-ils biaiser et/ou fausser les estimations ?
- vi) Les analyses de puissance statistique, telles que celles réalisées dans le cadre de la révision du CEMP peuvent apporter la précision voulue.
- vii) Il est possible de contrecarrer l'effet des biais et/ou de la confusion potentielle sur les décisions prises dans le cadre d'une approche de précaution par la construction de scénarios qui permettraient de déterminer si les biais peuvent entraîner des décisions incorrectes. Les problèmes de biais et de confusion par rapport à l'estimation paramétrique et aux processus qui lient les éléments de l'écosystème et le krill, soit en tant que nourriture pour le krill ou en tant que prédateurs de krill, sont plus difficiles à traiter. Alors que certaines relations peuvent être explorées par des scénarios fondés sur la logique, d'autres devront faire l'objet de simulations plus complexes pour explorer les effets de différents types de relations plausibles (incertitude structurelle), ainsi que ceux de la variation naturelle (incertitude liée au système).
- viii) L'atelier a entre autres pour tâche de mettre au point des scénarios susceptibles d'aider à évaluer les possibilités de biais dans notre contrôle et dans le processus d'évaluation et de déterminer si ces biais peuvent entraîner des décisions incorrectes qui empêcheraient la Commission d'assurer ses objectifs.
- ix) L'atelier avait pour principal objectif d'élaborer des spécifications à l'intention des programmeurs qui produiraient la structure de modélisation dans laquelle pourront être simulés des modèles plausibles de l'écosystème marin antarctique.

1.9 A. Constable présente l'ordre du jour en projet (dans WG-EMM-04/25), auquel l'atelier décide d'ajouter la question "Scénarios plausibles pour les écosystèmes marins antarctiques (Annexe 1), avant de l'adopter.

1.10 A l'adoption de l'ordre du jour, l'atelier constate que les discussions réuniraient des informations et concepts en vue d'établir une structure commune pour le développement de un ou de plusieurs modèles de l'écosystème visant à tester les approches de la gestion du krill. Il reconnaît ainsi que toutes les informations, tous les concepts ou toutes les connaissances nécessaires à la mise en œuvre des modèles d'écosystème ne seront pas forcément utilisés dans la structure commune développée dans son rapport. Par exemple, l'estimation et le résumé des paramètres ne figurent pas parmi les résultats attendus de l'atelier. En conséquence, certains tableaux et textes et certaines figures risquent de ne pas représenter ou

considérer pleinement les questions. Néanmoins, les participants estiment que le format de l'atelier devrait poser les bases du développement et de la mise en œuvre des modèles d'écosystème pour les travaux du WG-EMM.

1.11 Les travaux, coordonnés par A. Constable, ont été divisés en fonction des principales questions à l'ordre du jour.

1.12 Le rapport a été rédigé par A. Constable, John Croxall (Royaume-Uni), C. Davies, S. Hill, R. Hewitt, So Kawaguchi (Australie), D. Ramm, K. Reid, , Konstantin Shust (Russie), Volker Siegel (Allemagne), P. Trathan, Wayne Trivelpiece (Etats-Unis) et G. Watters. La liste des participants figure au supplément 2.

RAPPORT DU COMITÉ DE DIRECTION SUR LES ACTIVITÉS D'INTERSESSION

2.1 Comme convenu en 2003 lors du WG-EMM, les activités d'intersession ont consisté entre autres :

- i) à formuler des avis sur la contribution potentielle d'experts en préparation de l'atelier et à l'égard de la création de modèles lors de l'atelier (S. Hill, E. Murphy et E. Hofmann);
- ii) à examiner la littérature et les informations pertinentes sur la création de modèles de l'écosystème, en dehors du cadre de la CCAMLR, en fonction de la première attribution (E. Hofmann et E. Murphy);
- iii) à compiler un catalogue des logiciels et autres environnements de simulation disponibles pour modéliser l'écosystème (D. Ramm, G. Watters et P. Gasyukov);
- iv) à établir les premiers besoins en jeux de données, estimations des paramètres et autres aspects relatifs à la deuxième attribution (P. Trathan, K. Reid et M. Naganobu);
- v) à exposer, dans les grandes lignes, les objectifs et les spécifications de la modélisation de l'écosystème à l'égard de la mise en place de procédures de gestion du krill (A. Constable, C. Davies et G. Kirkwood).

2.2 Les résultats de ces travaux sont décrits brièvement dans le rapport du comité de direction (WG-EMM-04/25).

Examen de la littérature sur les modèles d'écosystème

2.3 S. Hill, E. Murphy, K. Reid, P. Trathan et A. Constable ont préparé un examen de la littérature et des informations pertinentes sur la création de modèles d'écosystème, en dehors du cadre de la CCAMLR, en fonction de la première attribution. Soumis sous la référence WG-EMM-04/67, ce document est présenté à l'atelier dans le cadre de la question 3 (voir également les paragraphes 3.1 et 3.15).

2.4 L'atelier avait également été informé d'autres travaux de recherche et de publications pertinents à son évaluation des modèles et processus de l'écosystème.

2.5 L'atelier demande que soient soumises au WG-EMM les évaluations récentes de modèles de gestion des pêches (par ex., Plagányi et Butterworth, sous presse et Plagányi et Butterworth, en cours de révision) et des interactions des espèces en Antarctique (Mori et Butterworth, sous presse).

Logiciels et autres environnements de simulation disponibles

2.6 Le catalogue des logiciels et autres environnements de simulation disponibles pour la modélisation de l'écosystème compilé par D. Ramm, P. Gasyukov et G. Watters est résumé à l'appendice A de WG-EMM-04/25.

2.7 P. Gasyukov décrit par ailleurs brièvement la disponibilité de modèles sur l'Internet, mais précise qu'il serait préférable de créer des logiciels spécifiques pour la CCAMLR.

Exigences en matière de données et de paramètres

2.8 En préparation à l'atelier, il avait été demandé à M. Naganobu, K. Reid et P. Trathan de déterminer quelles seraient les premières exigences en matière de jeux de données, d'estimations de paramètres et d'autres aspects liés à la deuxième attribution.

2.9 L'atelier reconnaît que si les exigences en matière de données sont définies alors que les modèles ne sont pas encore spécifiés, cela limite les progrès susceptibles d'être effectués. Néanmoins, il existe un certain nombre de domaines de données importants qui pourraient former les fondements nécessaires d'un modèle d'écosystème de l'océan Austral. Le document WG-EMM-04/25 présente un résumé de support des données de base disponibles en fonction des catégories suivantes :

- modèles de l'environnement physique
- liens dans le réseau trophique et leur importance relative
- dynamique de la flottille de pêche au krill.

2.10 L'atelier note qu'il existe une multitude d'informations disponibles avec lesquelles il est possible de paramétrer des modèles d'écosystème. Il reconnaît toutefois que leur disponibilité ne les rend pas forcément utiles. En effet, il existe par exemple une grande quantité de jeux de données des processus physiques, mais leur utilité pour les modèles d'écosystème n'est pas encore définie. Pour faire avancer le développement de modèles d'écosystème plausibles pour les besoins de la gestion de la pêcherie de krill, il est nécessaire de veiller à ce que des informations pertinentes et validées soient disponibles pour décrire adéquatement à la fois les liens dans le réseau trophique et la dynamique de la flottille de krill.

Objectifs et spécifications de la modélisation de l'écosystème

2.11 A. Constable, C. Davies, et G. Kirkwood se sont attachés à examiner les objectifs et spécifications de la modélisation de l'écosystème. La discussion a eu lieu l'année dernière, lors de la réunion du Comité scientifique. Elle a fait l'objet des deux premières circulaires du Comité scientifique distribuées à l'égard de l'atelier.

2.12 G. Kirkwood décrit sa participation à un projet financé par la Communauté européenne pour développer des modèles liés aux pêcheries afin d'évaluer des stratégies de gestion. Ces travaux sont coordonnés par L. Kell (CEFAS). Le code est principalement réalisé en langage statistique R qui est gratuit. Ces travaux ont pour thème central d'intégrer plusieurs sortes de modèles opérationnels et de gestion en une seule structure, approche similaire à celle requise par le WG-EMM. Il est reconnu que de ces travaux pourraient ressortir des outils dont l'utilité s'imposerait à l'avenir.

2.13 A. Constable décrit les travaux réalisés à l'Australian Antarctic Division pour aider l'atelier à entamer les discussions sur la modélisation des différentes composantes de l'écosystème marin antarctique. Ces travaux forment la base du document WG-EMM-04/24, ainsi que d'autres documents de travail qui ont été présentés au WG-EMM pour faciliter les discussions.

Experts invités

2.14 A. Constable accueille à l'atelier B. Fulton qui a été invitée pour illustrer la manière dont elle utilise les modèles au CSIRO pour évaluer les stratégies de gestion de l'environnement marin. Les paragraphes suivants récapitulent sa présentation.

Évaluation des stratégies de gestion (ESG)

2.15 L'approche de l'ESG consiste en un modèle du système biophysique (ou modèle opérationnel), des sous-modèles de chacune des activités importantes anthropogéniques ou d'impact, des sous-modèles de toutes les activités de contrôle et des sous-modèles du processus de décision associé à la gestion de chaque secteur. La dynamique combinée de ces modèles sert à évaluer la manière dont le véritable système pourrait répondre aux événements naturels et aux activités humaines. Les modèles d'ESG doivent être capables de reproduire les tendances passées et les réponses aux événements importants, mais aussi de projeter les résultats d'une variété de stratégies de gestion qui n'ont encore jamais été utilisées. Pour ce faire, il convient de veiller à ce que les principales caractéristiques du système naturel, incertitude comprise, soient capturées dans le modèle, ainsi que par une représentation réaliste des réponses des secteurs aux stratégies de gestion. L'ESG est particulièrement utile pour : i) déterminer des systèmes de contrôle efficaces; ii) identifier des procédures de gestion robustes pour échantillonner et modéliser l'incertitude; iii) découvrir des compromis efficaces entre les divers secteurs (ou intérêts) du système; et iv) identifier les problèmes, les questions ou une dynamique non prévus.

2.16 L'ESG est un outil dont se sert l'Australian CSIRO Marine Research (CMR) depuis près de 20 ans (Sainsbury, 1988, par ex.). Ces six dernières années, l'approche est passée

d'applications d'une seule espèce et multispécifiques à une ESG à usage multiple, au niveau de l'écosystème. Les deux modèles de l'écosystème marin utilisés actuellement dans ce rôle par le CMR sont l'Atlantis et l'InVitro. Le premier sert à examiner les effets de la complexité du modèle sur la performance du modèle et, dans l'ESG, à tester les indicateurs écologiques potentiels des effets de la pêche sur l'écosystème (Fulton *et al.*, sous presse). L'InVitro sert actuellement de base à l'ESG pour toute une variété de procédures de gestion à usage multiple pour le plateau Nord-Ouest de l'Australie (Fulton *et al.*, en préparation).

Atlantis

2.17 La structure de l'Atlantis a été développée à partir du modèle d'écosystème "Bay Model 2" (Fulton *et al.*, 2004). Il s'agit d'un modèle déterministe qui suit le flux des éléments nutritifs (azote et silice) à travers les principaux groupes biologiques (vertébrés et invertébrés) trouvés dans des écosystèmes marins tempérés et trois groupes de détritus (détritus labiles, détritus réfractaires et charognes). Les groupes d'invertébrés et de producteurs premiers sont simulés, les diverses biomasses étant regroupées, alors que les vertébrés sont représentés par des modèles structurés selon l'âge. Les processus primaires examinés dans l'Atlantis sont la consommation, la production, la production de déchets, la migration, la prédation, le recrutement, la dépendance de l'habitat et la mortalité naturelle et par pêche.

2.18 L'Atlantis est résolu sur le plan spatial, avec une géométrie polygonale qui correspond aux principales caractéristiques géographiques du système marin simulé (figure 1). La taille de chaque polygone reflète l'étendue de l'homogénéité spatiale des variables physiques représentées dans le modèle (profondeur, type de fond marin (récif irrégulier ou fond plat), couverture des canyons, porosité, stress du fond, taux d'érosion, salinité, luminosité et température). L'Atlantis est également structuré verticalement. Pour les simulations de cette étude, chaque case contient une couche de sédiment et jusqu'à cinq couches dans la colonne d'eau (figure 1). Les composantes biologiques susmentionnées sont répétées dans chacune des couches de chaque case; les déplacements d'une case et d'une couche à l'autre sont traités explicitement (pour la migration des niveaux trophiques supérieurs), ou par un simple modèle de transport (pour le transfert par advection).

2.19 Le sous-modèle opérationnels de l'Atlantis permet de tenir compte de plusieurs flottes, chacune dotée de caractéristiques différentes (sélectivité de l'engin, association avec l'habitat, espèce visée, groupes de produits accessoires et de capture accessoire, dynamique de l'effort de pêche et structures de gestion). L'Atlantis, qui n'est pas aussi sophistiqué que les modèles de la dynamique des flottilles qui modélisent le comportement de chaque navire (par ex., Little *et al.*, 2004), représente pourtant la dynamique des flottilles regroupées et permet de tenir compte des réactions comportementales face à des effets tels que le déplacement de l'effort de pêche dû à la baisse des stocks locaux ou à la création de zones marines protégées.

2.20 Le modèle d'échantillonnage produit des données à des niveaux réalistes d'incertitude liée aux observations (biais et variance) fondés sur les résultats du modèle opérationnel, compte tenu de spécifications sur la précision des données et la manière dont elles sont collectées temporellement et spatialement. Par exemple, les données dépendantes des pêcheries sont regroupées spatialement et temporellement (capture totale sur la totalité du secteur par trimestre, par ex.), alors que les données indépendantes des pêcheries (telles que celles des campagnes d'évaluation ou de la composition du régime alimentaire) ne sont pas

fréquemment disponibles (d'une fois par an à une fois tous les dix ans), car elles proviennent de moments ponctuels, capturés en certains "lieux d'échantillonnage" (figure 1).

InVitro

2.21 Le modèle biophysique qui forme le modèle opérationnel InVitro reproduit les principales caractéristiques physiques et biologiques de l'écosystème marin naturel (soit, la bathymétrie, les courants, les vagues, les types de fond marin, la faune et la flore typiques d'un habitat et les populations d'animaux marins locales et migratoires). Le modèle InVitro comprend également une représentation de l'impact des forces naturelles et des types d'activités anthropiques rencontrées sur le plateau Nord-Ouest de l'Australie (exploration et extraction pétrolières, préservation, développement des pêches et côtiers). Dans le sous-modèle de gestion, les agences pertinentes observent imparfaitement le système produit par le modèle biophysique et prennent des décisions sur l'emplacement et l'ampleur des activités sur le secteur.

2.22 Le modèle InVitro est un modèle fondé sur un agent en trois dimensions, ou de configuration "i-state" (Caswell et John, 1992; DeAngelis et Gross, 1992). La forme de ce modèle assure une structure qui lui permet de s'adapter à plusieurs types d'entités (que ce soit des individus, des populations ou des communautés), connues également sous le nom d'agents. Le comportement des divers types d'agents dans le modèle, selon leur forme, peut être passif, ou reposer sur la base des règles de décision. Le tableau 1 est un récapitulatif des principaux types d'agents et des comportements modélisés pour chacun d'eux. Les agents mobiles sont représentés soit en individus (tortues et pêcheurs) soit en regroupements (sous-populations de poisson, bancs de requins ou bouillonnements de bancs de crevettes), alors que les groupes biologiques qui définissent l'habitat sont tous représentés par des agents plus regroupés (herbiers et récifs dans leur ensemble). Les attributs fonctionnels et physiques de chacun de ces agents sont détaillés et des règles sont données pour la croissance (à l'échelle appropriée), ainsi que pour le déplacement passif ou actif. Cet entrelacement d'une population classique, structurée selon l'âge, et de modèles typiques fondés sur des agents en une forme hybride, permet une représentation de toutes les échelles spatiales et d'interaction critiques.

2.23 L'environnement d'un agent est fondé sur la bathymétrie, les courants, la température, l'intensité lumineuse, la concentration chimique, le type d'habitat et les communautés y résidant. Les attributs environnementaux sont mis à jour pour que les agents actifs puissent évaluer leur milieu et adopter les réponses (temporelles et spatiales) qui conviennent. Un programmeur (qui fonctionne plus ou moins comme un système opératoire multi-tâches – assignant des priorités aux agents et partageant le temps disponible pour donner l'illusion d'une concordance) détermine le moment des activités des agents (et de toute interaction de ces agents). Ceci permet à chaque agent de travailler au rythme qui convient le mieux à ses activités, tout en assurant une régularité temporelle (les agents ne peuvent revivre un même instant), en maintenant le synchronisme (empêchant le moment "subjectif" d'un agent de s'écarter grandement de celui de ses voisins) et en évitant toute possibilité d'avantage systématique d'un agent particulier (ou type d'agent) qui serait due à l'ordre interne des processus.

Développement des modèles

2.24 Le développement des modèles d'écosystème est un processus itératif, mais principalement à deux étapes. En premier lieu, l'écosystème doit être défini. La liste suivante donne une bonne idée des processus, composantes et échelles critiques des écosystèmes marins :

- océanographie et climat;
- biogéochimie;
- biogéographie;
- éléments biologiques (structuration requise des groupes dominants, clés ou vulnérables et de l'âge ou de la taille);
- liens (trophiques ou autres, poids, voies multiples);
- processus écologiques;
- pressions et activités anthropogéniques.

2.25 Dès qu'un modèle conceptuel de l'écosystème est conçu (par le biais d'une classification multiple des composantes et processus qui permettra de discerner les regroupements naturels), l'étape la plus critique du développement du modèle commence, à savoir la détermination des échelles spatio-temporelles et biologiques. Compte tenu de l'expérience acquise dans plusieurs exercices de modélisation de l'écosystème dans le monde, il est probable que les modèles qui incorporent des échelles mixtes (avec l'accent mis sur les détails là où ils sont nécessaires plutôt que de façon homogène sur tout le modèle) s'avèrent les plus efficaces.

ATTRIBUTS SOUHAITABLES DES MODÈLES D'ÉCOSYSTÈME

Attributs des modèles dans la littérature

3.1 S. Hill présente WG-EMM-04/67. Ce document examine les approches de la modélisation des écosystèmes dans la région de la CCAMLR dans le but d'identifier les questions et approches pertinentes pour le développement de modèles d'évaluation des méthodes de gestion de la pêche de krill.

3.2 Les modèles de la dynamique des populations de krill traitent généralement des causes de la variabilité interannuelle de l'abondance en mer du Scotia et autour de la Géorgie du Sud. Les deux changements, de la distribution à grande échelle et de la production locale, semblent jouer un rôle. Le modèle de rendement de krill, qui sert à fixer les limites de captures, utilise une approche de Monte Carlo pour simuler les populations de krill exploitées. Les valeurs paramétriques par année, recrutement inclus, sont tirées indépendamment des distributions statistiques, mais il semble qu'il y ait autocorrélation dans le recrutement de krill.

3.3 Les variables environnementales ont divers effets présumés sur certains aspects biologiques du krill, y compris sur la dynamique du recrutement et la mortalité. La plupart de ces effets sont modélisés en des corrélations simples. Un modèle plus complexe semble indiquer que l'éclosion des embryons de krill sur le plateau continental est limitée par la profondeur et la présence d'eau tiède (Hofmann et Hüsrevoğlu, 2003). La dérive passive des courants océaniques pourrait être importante lorsqu'on détermine la répartition du krill sur une grande échelle, mais une nage active peut influencer la répartition locale.

3.4 Les premiers modèles prédateurs–proies de l'océan Austral ont principalement été développés pour répondre à la suggestion selon laquelle la réduction des stocks de baleines mysticètes aurait provoqué une baisse de la consommation totale de krill. Laws (1977) estimait qu'elle constituait un surplus de krill de 147 millions de tonnes. Les modèles de May *et al.*, 1979, ainsi que d'autres modèles, examinaient un système multispécifique d'exploitation tant du krill que des baleines. Ils présumaient que l'abondance des proies était dépendante de la prédation et que la compétition pour les proies et la consommation de proies étaient linéairement proportionnelles à l'abondance des prédateurs. Dans les résultats de ces modèles figuraient entre autres des illustrations de problèmes de modélisation multispécifique.

3.5 Murphy (1995) a mis au point un modèle de dynamique des prédateurs et des proies, résolu spatialement, dans lequel le recrutement de krill était désassocié de l'abondance des prédateurs. Le modèle montrait l'influence potentielle, sur la dynamique des prédateurs, du chevauchement de secteurs d'alimentation et d'une concentration de krill. Il illustre également l'importance pour les prédateurs terrestres de la rétention de krill autour des îles.

3.6 Butterworth et Thomson (1995) et Thomson *et al.* (2000) ont tenté de construire des modèles réalistes de la réponse des prédateurs les plus étudiés à la disponibilité de krill. Il s'agissait entre autres de réponses de performance non linéaire à l'abondance des proies. Les modèles examinaient s'il était possible de fixer des limites de capture de krill en fonction de la taille des populations des prédateurs visés. Les résultats étaient biaisés en raison des estimations paramétriques ou de la structure du modèle. L'atelier estime que ces modèles ne suffisent pas pour déterminer le niveau d'évitement de krill nécessaire pour satisfaire aux besoins de conservation des prédateurs, car ils ne représentent pas les besoins généraux en krill de tous les prédateurs.

3.7 Les modèles de Mangel et Switzer (1998) et d'Alonzo *et al.* (2003a, 2003b) examinent l'influence potentielle du comportement sur la dynamique des populations de krill et de leurs prédateurs. D'après ces modèles, le comportement du krill pourrait amplifier les effets négatifs de l'exploitation du krill sur les manchots. Les auteurs suggèrent que le comportement des prédateurs pourrait servir à indiquer l'état de l'écosystème.

3.8 Des modèles de pêcheries de krill ont été mis au point par Mangel (1988) et Butterworth (1988a) pour étudier la relation entre l'abondance de krill et la CPUE des pêcheries respectives de l'ex-URSS et du Japon. Ces modèles incorporent la structure hiérarchique des concentrations de krill en tant que regroupements au sein de regroupements décrite par Murphy *et al.* (1988). Marín et Delgado (2001) ont représenté la pêche à l'aide d'un modèle automate spatial implanté dans un SIG.

3.9 C'est Everson (1977) qui a pour la première fois tenté de quantifier le flux de la biomasse par le biais d'un réseau trophique simplifié. Bien des voies qui n'ont pu être

quantifiées sont restées pauvres en données. Pour modéliser la consommation de proies des prédateurs, Croxall *et al.* (1984) s'est servi d'examen détaillés des besoins énergétiques. Trois modèles d'écosystème détaillés ont été construits par Green (1975), Doi (1979) et Bredesen (2003), ce dernier avec le logiciel ECOSIM. Ces modèles sont limités par la disponibilité de données. Ils soulignent toutefois, d'une part, l'importance de voies qui s'écartent du krill ou des consommateurs qui ont fait l'objet d'études approfondies et d'autre part, les besoins en données améliorées sur le transfert énergétique et les taux d'assimilation.

3.10 Constable (2001) a présenté un modèle visant à intégrer les effets de l'écosystème en calculant le total de la production de la biomasse des espèces de prédateurs émanant de la consommation d'espèces exploitées. Ce calcul peut être effectué en regroupant plusieurs prédateurs, pour donner un indice de l'état de l'écosystème qui pourra servir à fixer des points de référence de l'écosystème. Elle peut aussi être effectuée parmi les espèces de proies chez les prédateurs pour fixer des points de référence pour les populations de prédateurs particuliers.

3.11 Les premiers modèles de la dynamique à long terme présupposaient que le système était équilibré avant l'exploitation. Cependant, il est fort probable qu'il soit impossible d'établir l'état passé de l'écosystème. La présomption d'un équilibre dans le passé ou dans l'avenir n'est donc vraisemblablement pas réaliste.

3.12 Le krill est sans nul doute d'une importance centrale, mais il n'est pas présent dans toutes les voies trophiques.

3.13 Une meilleure disponibilité de données sur les interactions trophiques importantes est nécessaire. Il convient également d'étudier la question de la manière de gérer des pêcheries lorsque certaines parties de l'écosystème sont difficiles à observer. Il reste d'autres questions importantes, à savoir comment représenter les effets environnementaux importants dans les modèles de l'écosystème et comment intégrer différents modèles lorsqu'ils risquent de donner des résultats à des échelles différentes.

3.14 S. Hill demande aux membres de l'atelier de fournir des détails sur toute littérature pertinente qui fait défaut actuellement à l'étude. K. Shust propose le volume sur la répartition du krill et l'océanographie (Maslennikov, 2003).

3.15 K. Shust estime que l'estimation de la biomasse de krill non exploitée reste un problème. Vyacheslav Sushin (Russie) déclare que la gestion de l'écosystème pourrait se faire par d'autres voies que celle de la gestion de la pêche de krill.

Attributs généraux des modèles d'évaluation des procédures de gestion

3.16 A. Constable présente les points de discussion sur les attributs généraux des modèles d'évaluation des procédures de gestion. Cette présentation est essentiellement fondée sur la 2^e partie de WG-EMM-04/24. A. Constable fait remarquer que les modèles opérationnels n'ont pas pour objet de capturer toute la dynamique des systèmes physiques et biologiques, seulement les caractéristiques importantes du système dans la mesure où elles sont liées aux effets de la pêche et aux programmes de contrôle (écologie, environnement physique, pêche) susceptibles d'être mis en place. Les caractéristiques importantes énoncées dans WG-EMM-04/24 à considérer et à examiner sont :

- i) les effets directs ou indirects d'importance potentielle, définissant ainsi les caractéristiques de l'écosystème susceptibles de devoir être mesurées dans les simulations, qu'il soit possible ou non de les mesurer sur le terrain;
- ii) les types d'observations sur le terrain et de programmes de contrôle pouvant être utilisés;
- iii) les échelles biologiques (groupements taxonomiques et subdivision des populations en fonction des étapes du cycle biologique – qui ne sont pas forcément les mêmes pour tous les groupes taxonomiques) nécessaires pour promulguer les interactions importantes des espèces et prévoir un contrôle;
- iv) les échelles spatiales des interactions, compte tenu des différences entre les interactions de différents types de lieux, ainsi que les possibilités de différences biogéographiques, influençant ainsi le degré exact qu'il convient d'accorder à l'espace dans la structure de modélisation et si les unités spatiales doivent être des unités géographiques uniformes ou si elles peuvent être supposées par une représentation en tant que compartiments qui concilieraient différentes zones et étendues spatiales;
- v) les échelles spatiales des interactions, compte tenu des différences entre les interactions importantes au fil du temps et la durée de différents événements, tels que la reproduction ou d'autres caractéristiques des étapes du cycle biologique, influençant ainsi la durée qu'il convient d'accorder aux étapes temporelles nécessaires;
- vi) le degré auquel la modélisation des interactions (cause et effet) est approximative ou explicite, ce qui risque d'être influencé par les types de mesures qu'il est possible de prendre dans un programme de contrôle;
- vii) le degré de simulation des processus à la périphérie des processus centraux concernés par les effets de la pêche;
- viii) la manière dont sont simulées les limites du système du modèle, en reconnaissant que le système ne sera probablement pas un système fermé et que les processus se produisant en dehors du système du modèle risquent d'avoir un impact sur la fonction de ce système.

3.17 L'atelier reconnaît qu'il est important d'examiner ces attributs pendant l'atelier et lors de la mise en œuvre des modèles pour les besoins du WG-EMM.

REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE DES MODÈLES D'ÉCOSYSTÈME

Approche générale

4.1 Comme il est indiqué à la question 2, A. Constable a procédé à un exercice avec des scientifiques de la Division antarctique australienne en vue de développer des modèles conceptuels de divers éléments de l'écosystème marin antarctique. Il présente cette question en résumant la 3^e partie de WG-EMM-04/24 dont les principaux points sont :

- i) le développement de modèles conceptuels a pour objectif d'établir une structure flexible qui permettra d'examiner comment chacun des taxons peut être influencé par le reste de l'écosystème, ce qui donnera les moyens de décider explicitement de la manière dont ce taxon devra être représenté dans le modèle pour évaluer au mieux les procédures de gestion du krill;
- ii) certains taxons devront être représentés de manière assez détaillée pour simuler le contrôle sur le terrain et les effets de la pêche à l'échelle locale;
- iii) d'autres taxons pourront être simulés d'une manière très générale afin de réduire le temps de simulation tout en assurant des réponses réalistes de l'écosystème;
- iv) l'approche a pour objet de fournir les moyens de déterminer explicitement comment tenir compte des incertitudes structurelles, vu la rareté des données sur bien des aspects de l'écosystème. Elle est également conçue pour permettre une évaluation de la sensibilité des résultats du modèle aux hypothèses à l'égard des relations entre taxons.

4.2 La figure 9 de WG-EMM-04/24 illustre les composantes ou fonctions d'un élément du modèle de réseau trophique examiné dans le document. L'élément en question correspond à la quantité la plus faible, indivisible dans le modèle et comprend les attributs suivants :

- i) le taxon – le groupe auquel appartient l'élément, soit une population, une espèce, un peuplement, un groupe écologique, le sexe ou une autre catégorie;
- ii) le stade de développement – le stade du cycle biologique de l'élément, que ce soit l'âge, le stade biologique ou quelque autre subdivision du taxon nécessaire pour permettre de distinguer les caractéristiques écologiques (ci-après) d'autres stades de développement;
- iii) les unités – le type d'unités utilisées pour mesurer ou contrôler la quantité de l'élément, telle que le nombre, la biomasse, le secteur ou quelque autre mesure;
- iv) le lieu – si nécessaire, le compartiment ou la case spatiale dans laquelle réside l'élément;
- v) la profondeur – si nécessaire, la strate de profondeur dans laquelle réside l'élément.

4.3 L'état d'un élément est principalement déterminé par son ampleur (abondance), mais il peut être important de connaître son âge si la proportion d'animaux passant d'une étape du cycle biologique à une autre n'est pas constante et qu'elle est déterminée par la structure d'âge actuelle.

4.4 L'atelier note que les modèles conceptuels nécessiteront l'examen des caractéristiques des éléments, même si chacune d'elles n'est pas incorporée explicitement à part entière dans un modèle.

4.5 Dans un premier temps, l'atelier accepte de réaliser les travaux suivants en vue de mettre au point des représentations conceptuelles des éléments les plus importants :

- i) établir une représentation picturale, le cas échéant, des processus des populations les plus importants, des principaux emplacements des individus par rapport aux caractéristiques de l'environnement physique et aux tendances spatiales de la recherche de nourriture;
- ii) identifier les paramètres et processus les plus importants qui devront être pris en compte dans la représentation de chaque élément dans le modèle d'écosystème, y compris la dynamique des populations, les comportements alimentaires et les distributions spatiales et temporelles;
- iii) entreprendre une première étude :
 - a) des interactions des taxons entre eux et des taxons et de l'environnement;
 - b) de la représentation de l'espace, du temps et de la profondeur dans les modèles d'écosystème;
 - c) des exigences de la modélisation des observations de terrain, examen qui sera réalisé dans le processus d'évaluation.

4.6 L'atelier constate que les points principaux qu'il convient de considérer pour le développement des modèles opérationnels concernent :

- l'environnement physique
- la production primaire
- les herbivores et les carnivores invertébrés pélagiques
- les espèces-cibles
- les espèces mésopélagiques
- les mammifères et oiseaux marins.

4.7 Il faudra peut-être considérer d'autres taxons à l'avenir, tels que les espèces démersales et bathypélagiques, notamment *Dissostichus* spp., *Macrourus* spp et les raies. Il est noté que la structure actuelle est suffisante pour lancer les travaux sur l'évaluation des approches de la gestion du krill.

4.8 Cette section se termine par un énoncé des résultats des discussions sur la représentation conceptuelle de ces éléments.

4.9 L'écosystème marin antarctique pris en compte par l'atelier est principalement celui du sud du front subantarctique (FSA), comprenant la majeure partie de la zone du front polaire (ZFP) et l'océan au sud de cette zone, qui englobe le flux ouest-est du courant circumpolaire antarctique (CCA) et le flux est-ouest du courant côtier antarctique. Il se trouve en grande partie dans la zone de la Convention de la CCAMLR, si ce n'est quelques caractéristiques du ZFP qui se trouvent au nord de la zone de la Convention de la CCAMLR (figures 2 et 3). L'atelier note que les limites du CCA décrites par Orsi *et al.* (1995) sont autant de caractéristiques importantes à considérer. À cet égard, le front subtropical, qui se trouve au nord de la principale zone d'intérêt, est également considéré comme important pour les oiseaux volants.

4.10 L'autre caractéristique principale de l'écosystème marin antarctique concerne l'avancée et le retrait annuels de la banquise (figure 4). À cet égard, il convient de considérer la zone

marginale des glaces à la bordure de la banquise, ainsi que le rôle de la banquise, d'une part pour les prédateurs qui ont besoin de sortir de l'eau et d'autre part, en tant que substrat pour les besoins en productivité.

4.11 Il est possible de visualiser la productivité biologique de l'océan Austral au moyen des données SeaWifs (figure 5).

4.12 Les principaux éléments biotiques examinés par l'atelier concernent la production primaire, les herbivores et les carnivores invertébrés pélagiques, les espèces-cibles (*Euphausia superba* et *Champhocephalus gunnari*), les espèces mésopélagiques (poissons myctophidés et calmars), les espèces à distribution géographique large et les espèces migratrices, ainsi que les mammifères et oiseaux marins (tableau 2).

Système physique

4.13 L'atelier a examiné les éléments de l'environnement physique qu'il considère comme potentiellement importants pour le fonctionnement de l'écosystème marin de l'océan Austral et dont l'utilité serait considérable dans un modèle couplé de l'écosystème. Ces divers éléments sont examinés sous différents angles.

4.14 En premier lieu, l'atelier a examiné une variété de facteurs environnementaux, avec chacun un ensemble de propriétés et de forces déterminantes, ensuite, un ensemble de processus dynamiques et la manière dont ils structurent l'environnement, puis, la saisonnalité et la manière dont elle affecte certains facteurs environnementaux et enfin, les propriétés spatiales naturelles de l'écosystème. Les résultats de ces délibérations sont regroupés dans les tableaux 3 à 6. L'atelier reconnaît qu'un plus grand nombre d'informations pourraient être incluses, mais que pour une première tentative, les éléments identifiés suffisaient pour définir le processus de modélisation.

4.15 L'atelier constate que, conceptuellement, l'environnement physique compte quatre fonctions écologiques principales dans l'écosystème marin antarctique :

- i) un substrat pour la production, avec les conditions physiques d'espace, de profondeur et de temps qui conviennent;
- ii) la stratification de l'environnement physique en unités naturelles, telles que les zones océaniques, les zones de profondeur, les caractéristiques bathymétriques et les glaces;
- iii) un substrat pour le transport d'une zone à l'autre et d'une profondeur à l'autre;
- iv) les sources de mortalité, telles que des conditions atmosphériques extrêmes.

4.16 A chaque étape du processus, l'atelier a identifié la fonction ou le processus écologique qui, parmi ceux ou celles ci-dessus, était affecté; des exemples d'impact fonctionnel potentiel figurent entre crochets ([]) aux tableaux 3 et 4.

4.17 L'atelier a examiné les facteurs physiques en des saisons différentes (tableau 5). Il reconnaît que la division de l'année civile en saisons dépend de la latitude. Il décide au départ d'axer sa recherche sur deux saisons, l'hiver et l'été.

4.18 L'atelier reconnaît également que l'océan Austral se divise naturellement sur le plan spatial (tableau 6).

4.19 L'atelier a tenté de développer un modèle conceptuel de l'environnement et des relations entre les divers facteurs et processus (illustration à la figure 6).

4.20 L'atelier reconnaît que dans plusieurs domaines, les modèles environnementaux pourraient s'avérer très utiles dans un modèle couplé de l'écosystème, à savoir :

- i) Délimiter des secteurs en deux dimensions et des polygones en trois dimensions de fonctionnement spatial; ceux-ci pourraient délimiter une structure d'habitat utilisable ailleurs dans la structure de l'écosystème. L'atelier reconnaît que le couplage direct d'un modèle de circulation physique général ne sera pas forcément nécessaire, dans la mesure où les entrées et sorties de données sont définies aux échelles spatio-temporelles adéquates. Ces données de sortie devront englober les fonctions de l'écosystème décrites au paragraphe 4.15.
- ii) Les habitats et processus délimités devront refléter la complexité biologique attendue du modèle.
- iii) Il pourrait être utile d'examiner des structures séparées pour chacune des situations : continentales, des îles ou de faible latitude.

Production primaire

4.21 Dans le cadre de ses délibérations, l'atelier a examiné la production primaire, en reconnaissant que l'expertise du groupe en la matière était plutôt générale (et non pas spécifique). Quelques points sur la production primaire figurent dans WG-EMM-04/24. L'atelier constate que la production primaire peut entraîner la formation de matières particulières pour les producteurs secondaires, des particules dans la boucle microbienne et des particules de détritiques (figure 7). Il s'est par ailleurs penché sur les facteurs examinés dans ce document, susceptibles d'influencer la production primaire (figure 8, tableau 7). Il constate que les données océaniques en couleur, collectées par télédétection, telles que par les capteurs SeaWiFS ou MODIS ont les qualités voulues pour aider à délimiter l'océan Austral pour les besoins de la construction d'un modèle d'écosystème couplé à un modèle d'océanographie physique. La distribution d'été de Chl-*a* tirée de SeaWiFS est illustrée à la figure 5 à titre d'exemple.

4.22 L'atelier constate qu'il sera nécessaire de poursuivre les travaux de développement des modèles de production primaire, notamment par un examen des fonctions déterminantes fournies dans WG-EMM-04/24, ainsi que d'autres formulations disponibles dans d'autres modèles. Il reconnaît qu'il lui faudra également, à l'avenir, examiner des modèles de production primaire plus détaillés dans lesquels figureront des éléments consécutifs et des éléments saisonniers.

Herbivores et carnivores invertébrés

4.23 Cinq groupes taxonomiques sont considérés comme d'importants herbivores et carnivores pélagiques : les salpes, les copépodes, les mysidés, les amphipodes et les euphausiacés (autres que *E. superba*).

4.24 Les salpes sont des organismes pélagiques filtreurs qui regroupent plusieurs espèces dont la plus importante est *Salpa thompsoni*. Les copépodes sont constitués d'environ 60 espèces dont 10 à 15 sont communes. Les mysidés comptent trois espèces épibenthiques communes associées aux plateaux continentaux, aux bordures de plateaux et aux canyons. Environ six espèces communes constituent les amphipodes hypérides, la plus importante étant probablement *Themisto gaudichaudii*. Parmi les euphausiacés importants autres que *E. superba* figurent *E. crystallorophias* et *Thysanoessa macrura*.

4.25 Parmi les attributs considérés comme importants pour le fonctionnement de l'écosystème pélagique figurent la répartition spatiale, le régime alimentaire, le cycle évolutif et la répartition en fonction de la profondeur.

4.26 Concernant la répartition spatiale, il est reconnu qu'il est difficile de distinguer les communautés de zooplancton dans l'océan Austral, que le nombre d'espèces semble généralement en déclin et que leur abondance augmente progressivement du nord au sud. Néanmoins, trois regroupements d'espèces non exclusifs sont établis : le groupe océanique, le groupe des plateaux insulaires et celui des plateaux de hautes latitudes, avec un chevauchement considérable entre eux. Les salpes figurent parmi les espèces indicatrices du groupe océanique; les mysidés parmi celles du groupe des plateaux insulaires et *E. crystallorophias* parmi celles du groupe des plateaux de hautes latitudes.

4.27 En ce qui concerne le régime alimentaire, les salpes sont considérées comme principalement herbivores, les copépodes, selon l'espèce, comme herbivores, carnivores ou omnivores, les mysidés et les amphipodes comme carnivores et les euphausiacés comme omnivores.

4.28 Pour le cycle évolutif, les salpes et les copépodes seraient les espèces qui répondraient le plus vite à des conditions favorables, avec des cycles évolutifs complets de 0,5 à 1 an. Le cycle évolutif complet des mysidés serait de l'ordre de 2 ans, celui des amphipodes de 1 à 2 ans et celui des euphausiacés, de 2 ans.

4.29 A l'égard de la répartition en fonction de la profondeur, trois zones de profondeur sont définies : la zone épipélagique de 0 à 400 m de profondeur, la zone mésopélagique à plus de 400 m de profondeur et la zone épibenthique à 50 m du fond dans des eaux de 100 à 400 m de profondeur. Pendant les mois d'été, tous les taxons semblent occuper principalement la zone épipélagique, à l'exception des mysidés qui fréquentent la zone épibenthique. La répartition en fonction de la profondeur de ce type de zooplancton en périodes d'hiver est peu connue.

4.30 Les attributs susmentionnés sont récapitulés au tableau 8.

Espèces-cibles

4.31 L'atelier s'est fondé sur les documents WG-EMM-04/24, 04/50 et 04/59 pour débattre des éléments des espèces-cibles à inclure dans les modèles d'écosystème visant à tester les approches de la gestion du krill. Les discussions ont porté sur deux espèces, le poisson des glaces (*C. gunnari*) et le krill (*E. superba*). L'atelier estime que les espèces de *Dissostichus* pourraient être incorporées dans la structure de modélisation à l'avenir, mais qu'elles ne seraient plus examinées durant l'atelier.

Poisson des glaces

4.32 Les caractéristiques de *C. gunnari* à inclure dans la structure générale du modèle de l'écosystème antarctique sont récapitulées au tableau 9.

4.33 *C. gunnari* est l'un des éléments les plus importants de l'écosystème marin subantarctique en mer du Scotia et dans les secteurs nord du plateau de Kerguelen. Sa biomasse, bien que très variable selon le lieu et au fil du temps, est importante dans son aire de répartition. L'atelier constate que cette espèce a une répartition décousue dans la région subantarctique, une population dans la région Atlantique Sud autour de la Géorgie du Sud et des îlots Shag, des Orcades du Sud et îles Shetland du Sud et à l'extrémité de la péninsule antarctique (figure 9), et plusieurs populations dans le secteur nord du plateau de Kerguelen autour des îles Kerguelen et Heard.

4.34 Dans son secteur de répartition, *C. gunnari* est confiné aux plateaux des îles. Les sous-populations de chaque aire principale de répartition présentent des caractéristiques biologiques différentes de taille maximale, de croissance, de fécondité, de saison de frai ou de fluctuations de l'abondance, par ex. L'abondance est extrêmement variable en tout lieu et les fluctuations ne sont pas synchronisées d'un secteur à un autre. La variabilité de l'abondance de cette espèce semble provenir de fortes variations de l'importance du recrutement, ainsi que de changements d'abondance des poissons adultes d'une année à une autre. Le fort degré de variabilité documenté de l'importance des classes d'âge de toutes les populations semblerait résulter de facteurs environnementaux, entre autres :

- faible proportion de poissons matures atteignant l'état de frai pour cause de mauvaises conditions alimentaires, dans le secteur de la Géorgie du Sud, par ex.;
- faibles taux d'éclosion des œufs pour cause de températures sub-optimales ou de prédation;
- faible survie des larves due à un apport insuffisant de nourriture, à l'advection par les courants depuis les nurseries ou à la prédation.

Bien que les processus sur lesquels reposent ces théories ne soient pas entièrement compris, l'atelier estime qu'il est nécessaire d'inclure la variabilité du recrutement dans la structure de modélisation.

4.35 *C. gunnari* pourrait être modélisé en tant que populations structurées selon la longueur et selon l'âge, cette méthode étant bien décrite dans la littérature. Bien qu'il existe suffisamment d'informations pour développer des modèles de la dynamique structurés selon la

longueur pouvant être superposés aux caractéristiques bathymétriques, l'atelier estime que cette espèce pourrait être modélisée en trois stades de développement – premiers stades larvaires, juvéniles et adultes (figure 10).

4.36 Il est reconnu que le poisson des glaces est une composante de l'environnement de deux proies différentes :

- Dans le secteur de l'Atlantique sud, l'élément principal de nourriture est *E. superba*. Les larves, les juvéniles et les adultes de poisson des glaces se nourrissent de krill, de la larve furcilia aux individus adultes. Lorsque le krill se fait rare, *C. gunnari*, à tous les stades de son cycle vital, peut se tourner vers *T. macrura* ou des amphipodes et des mysidés.
- Sur le plateau de Kerguelen, où *E. superba* est totalement inexistant, son régime alimentaire se compose tout d'abord de *E. vallentini* et, en second, de *T. gaudichaudii*.

4.37 Dans le secteur atlantique, parmi les prédateurs figurent également d'autres espèces de poissons, des albatros certaines années et des manchots. La proportion de *C. gunnari* dans le régime alimentaire des otaries augmente les années où le krill est rare. Dans le secteur du plateau de Kerguelen, la prédation semble moins intense.

4.38 Depuis la fin des années 1990, la pêche de cette espèce a repris en Géorgie du Sud et à l'île Heard. Il semblerait que la nature de l'écosystème ait changé depuis la période de pêche intense, provoquant une réduction de la biomasse maximum possible de *C. gunnari*. Ce phénomène peut avoir été provoqué par une pêche non durable par le passé, par un changement environnemental ou par un autre changement de l'écosystème, ce qui reste encore à établir. Le déclin de la pêcherie de *C. gunnari* à Kerguelen ces dix dernières années est attribué à un déplacement du Front polaire vers le sud (WG-EMM-04/59).

4.39 Les campagnes d'évaluation régulières de *C. gunnari* autour de la Géorgie du Sud laissent supposer une répartition fortement hétérogène, facteur qu'il serait important d'inclure dans les modèles.

4.40 L'atelier estime qu'à chaque emplacement, *C. gunnari* devrait être examiné en fonction de trois éléments au moins (larves, juvéniles et adultes) et qu'il pourrait être utile d'y ajouter les œufs s'il y a des raisons de croire que la prédation des œufs constitue un facteur important à considérer.

Krill

4.41 Les caractéristiques de *E. superba* à inclure dans la structure générale du modèle d'écosystème antarctique sont récapitulées au tableau 10.

4.42 L'atelier constate que, bien que le krill ait une répartition circumpolaire, les concentrations les plus importantes de l'espèce et l'intervalle de répartition latitudinal le plus large se trouvent dans l'Atlantique du sud-ouest (figures 11 et 12). Deux points de vue différents sont exprimés sur la distribution des groupes de taille/stades de développement du krill (composantes juvéniles et adultes reproducteurs) :

- i) Dans WG-EMM-04/50, les concepts actuels de la répartition du krill fondés sur la séparation côte-large des juvéniles, du stock reproducteur et des larves sont généralisés en un modèle conceptuel du cycle vital. Ce modèle tente de tenir compte des relations observées entre les caractéristiques du krill antarctique et son environnement biotique et abiotique, en privilégiant l'effet des forces environnementales telles que les caractéristiques des glaces de mer et les systèmes de tourbillons (figures 13 et 14). Les participants reconnaissent qu'il reste à déterminer si la région de la Géorgie du Sud doit être considérée comme une région où la reproduction du krill n'aboutit jamais et dans quelle mesure la source du recrutement se situe en dehors de cette zone.
- ii) Une opinion différente sur les Orcades du Sud a également été présentée et examinée (figure 15).

4.43 Pour les besoins du modèle, l'atelier accepte de modéliser le krill en quatre stades de développement– de l'œuf, larvaire, juvénile, adulte – en raison de leur séparation spatiale et du fait que la pêche vise principalement les adultes. La stratégie du cycle vital du krill place les embryons et les larves en cours de développement dans des lieux distincts de ceux fréquentés par la population adulte, ce qui, d'une part, évite toute compétition pour la nourriture, et d'autre part, empêche la prédation des larves de krill par les adultes.

4.44 Deux autres distributions conceptuelles horizontales sont examinées :

- i) La première décrit la répartition du krill comme un flux homogène sur de vastes échelles avec des aires de rétention de fortes densités où la production locale est importante.
- ii) La deuxième décrit la répartition du krill comme un ensemble de populations isolées, se limitant aux systèmes de tourbillons de l'océan Austral (WG-EMM-04/50).

4.45 L'atelier a examiné d'autres hypothèses sur la saisonnalité du déplacement horizontal du krill dans l'Atlantique du Sud-Ouest. Il est arrivé à la conclusion qu'un modèle opérationnel d'écosystème centré sur le krill pourrait s'avérer utile pour explorer les alternatives possibles :

- i) La première hypothèse suppose que le krill est transporté d'ouest en est avec le flux du CCA pendant l'été et que le transport du krill ralentit (ou cesse) dès que la surface de la mer gèle au début de l'hiver. Le krill est alors réparti dans les 50 m sous la glace où il se nourrit d'algues des glaces et est moins exposé à la prédation. Lorsque les glaces se retirent, le printemps suivant, le krill est de nouveau soumis à l'advection créée par le CCA.
- ii) Une autre hypothèse serait que, sur les zones de plateau où la couverture de glaces est peu importante, le krill se déplacerait vers le fond où il résiderait pendant les mois d'hiver.

4.46 Outre la dispersion en deux dimensions du krill, les modèles plausibles de l'écosystème doivent également tenir compte de la distribution de la migration verticale circadienne. Cette migration comporte un élément saisonnier et latitudinal qui est

probablement lié au régime de luminosité dominant (évolutionnaire), mais qui pourrait aussi refléter une réponse aux prédateurs (comportement d'évitement).

4.47 Le comportement migratoire vertical circadien de *E. superba* pendant l'été semble varier en fonction de la latitude. Dans la partie nord de leur répartition, le krill migre entre 0 et 150 m. Plus au sud, il semblerait qu'il migre moins et dans la partie sud (mer de Ross, mer de Weddell) pas du tout. Il est supposé que la tendance à migrer verticalement est liée aux changements de la durée du jour pendant la période d'été (luminosité plus forte aux basses latitudes, moins fortes aux latitudes élevées). Il est moins évident de concevoir une idée générale du comportement migratoire vertical circadien pendant les mois d'hiver. A cette époque, les chalutiers posent leurs filets à de plus grandes profondeurs en Géorgie du Sud. En effet, des essaims de krill ont été observés près du fond, mais rien ne prouve encore que ce comportement soit typique. La variation circadienne dans les captures de krill lors d'une campagne de recherche récente menée pendant l'hiver en mer de Weddell laisse supposer une migration verticale entre 0 et au moins 200 m.

4.48 L'abondance et le recrutement interannuels varient considérablement. La population dépend des résultats de la reproduction et de la survie des larves pendant l'hiver. La variable clé est la glace de mer qui constitue probablement un indicateur des ressources de nourriture en hiver (algues des glaces) et au printemps (floraison sur la lisière des glaces).

4.49 Le krill adulte est considéré comme un consommateur non sélectif de matières suspendues dans la zone pélagique, se nourrissant d'organismes autotrophes, d'organismes hétérotrophes de petite taille et de matières détritiques et, par sa tendance à se regrouper, il peut avoir pour effet d'éliminer localement les matières particulières de la zone euphotique. La période critique d'alimentation des larves de krill s'étend de la fin de l'été au printemps, alors que celle de l'adulte s'étend du printemps à la fin de l'été. Il n'y a donc pas de compétition pour les ressources de nourriture entre les individus de différents stades de développement.

4.50 L'atelier constate que l'on dispose de données en quantité suffisante pour caractériser la population et appliquer le modèle conceptuel résumé aux tableaux 3 et 4. Il s'agit du cycle biologique, de l'interaction entre les caractéristiques glaciaires et océanographiques et les différents stades de développement, ainsi que d'éléments importants relatifs à la démographie et aux liens du réseau trophique.

4.51 Il est entendu que la structure hiérarchique des concentrations de krill consiste en individus au sein d'essaims, eux-mêmes dans des regroupements, eux-mêmes dans des concentrations. Cette structure influencera les interactions du krill, de ses prédateurs et de la pêche (voir également paragraphe 4.94).

Espèces mésopélagiques

Poissons mésopélagiques

4.52 L'atelier dispose de WG-EMM-04/24 et 04/58 dont il s'inspire pour déterminer comment structurer les poissons mésopélagiques dans un modèle opérationnel de l'écosystème antarctique.

4.53 Pour les besoins du modèle opérationnel, l'atelier considère que les poissons mésopélagiques peuvent être divisés en quatre éléments en fonction :

- de la répartition des taxons : associés à la Zone du front polaire ou répartis au sud de cette zone;
- des différences de répartition des espèces entre les plateaux des îles et du continent antarctique et celles associées aux caractéristiques frontales de haute productivité des eaux du large.

Un résumé des motifs de la division est présenté au tableau 11. Les propriétés de chaque élément sont données aux tableaux 12 a) à 12 c).

4.54 Cette catégorisation semble appropriée vu les informations et l'expertise disponibles lors de l'atelier. Il se pourrait qu'avec l'acquisition de nouvelles connaissances, on veuille raffiner cette catégorisation en précisant les taxons à inclure (espèces, par ex.), la répartition, les classes de tailles, la maturité sexuelle ou d'autres considérations. L'atelier suggère de renvoyer cette tâche (de révision de la catégorisation) au WG-FSA.

Questions restant à élucider

4.55 Les poissons benthiques, tels que les Nototheniidae et *Dissostichus* spp., devraient-ils être considérés dans ce modèle comme des éléments distincts ?

4.56 Dans quelle mesure les prédateurs du continent antarctique tels que les oiseaux reproducteurs et les phoques se nourrissent-ils de calmars, de poissons Notothenioidei et du krill sur le plateau continental ou en sa proximité (WG-EMM-04/59) ?

Calmar

4.57 L'atelier dispose de WG-EMM-04/24 et 04/28 dont il s'inspire pour prendre le calmar en considération dans un modèle opérationnel de l'écosystème antarctique.

4.58 Pour les besoins du modèle opérationnel, l'atelier considère que les calmars peuvent être divisés en cinq éléments, à savoir :

1. Calmar onychoteuthidé – juvéniles
2. Calmar onychoteuthidé – adultes
3. Calmar ommastrephidé – juvéniles
4. Calmar ommastrephidé – adultes
5. Calmar nectonique – petit à moyen.

Les caractéristiques de chacun sont décrites aux tableaux 13 a) à 13 c).

4.59 En ce qui concerne tant le calmar onychoteuthidé que le calmar ommastrephidé, l'atelier estime qu'il est nécessaire de différencier les éléments juvéniles des éléments adultes, compte tenu des différences de taille, de la séparation spatiale et des proies et prédateurs différents pour chacune des phases du cycle vital.

4.60 Dans le cas des calmars ommastrephidés, il est constaté que les lieux de reproduction et la répartition des juvéniles de l'espèce dominante du sud-ouest Atlantique se trouvent sur le plateau de Patagonie, en dehors de la zone de la Convention de la CCAMLR. Il conviendra d'examiner comment modéliser cette séparation spatiale. Il semblerait d'autre part, que les recherches laissent entendre que certaines espèces de calmar onychoteuthidé pourraient avoir un cycle vital de deux ans et non un cycle annuel.

4.61 L'atelier fait remarquer qu'il est en général présumé qu'il existe un degré important de cannibalisme chez les calmars, bien que ce degré ne puisse être précisé vu le peu de données disponibles. Il est suggéré qu'il serait bon de prendre en compte des fonctions de prédation pour permettre l'exploration des implications des diverses hypothèses sur le cannibalisme.

4.62 L'atelier constate, par ailleurs, que les espèces de calmars les plus grandes, telles que *Mesonychoteuthis hamiltoni*, pourraient représenter, sur le plan fonctionnel, un équivalent des grands prédateurs vertébrés pélagiques des systèmes tempérés et tropicaux, tels que les Scombridae. L'atelier estime qu'il est important d'explorer les implications des divers rôles fonctionnels présumés pour ces calmars dans les chaînes alimentaires.

4.63 Tandis que la catégorisation des calmars fournie ci-dessus semble appropriée compte tenu des informations et de l'expertise dont dispose l'atelier, il serait utile de revoir les rôles des calmars psychroteuthidés, galiteuthidés et cranchiidés. Le rôle des céphalopodes épibenthiques pourrait également mériter d'être approfondi.

Mammifères et oiseaux marins

4.64 Dans l'océan Austral, les secteurs d'alimentation des mammifères et oiseaux marins sont parfois très vastes. Ce large groupe formé d'animaux est divisé en deux grandes catégories en fonction du degré de contrainte imposé par la reproduction sur leur répartition géographique :

- i) les espèces qui, pendant une partie de leur cycle vital, sont contraintes pour s'alimenter de rayonner autour d'un site central (donc celles qui se reproduisent à terre, là où le jeune est confiné jusqu'à ce qu'il devienne indépendant; l'un des parents (voire les deux) fait des sorties alimentaires répétées dans le but de ravitailler le jeune), par ex., les otaries de Kerguelen, les manchots et les oiseaux volants;
- ii) les espèces à distribution pélagique (les cétacés, par ex.) ou celles qui vont à terre ou sur la glace pour se reproduire, telles que les phocidés.

4.65 Les caractéristiques du cycle vital de ces deux groupes reflètent également le degré auquel les espèces sont considérées comme des "reproducteurs sur revenu", à savoir celles qui s'approvisionnent pour nourrir leurs jeunes pendant la période d'élevage (l'otarie de

Kerguelen, par ex.), ou comme "reproducteurs sur capital", à savoir les espèces qui pour nourrir leur jeune se sont approvisionnées avant la naissance (l'éléphant de mer austral, par ex.).

4.66 L'atelier examine les documents WG-EMM-04/22 (cormorans), 04/24 (d'ordre général et sur les espèces migratoires), 04/53 (manchots Adélie) et 04/65 (mammifères marins) pour faciliter la description des divers éléments de ces taxons.

4.67 L'atelier porte ses efforts sur :

- i) l'identification des éléments importants de chacun des groupes principaux;
- ii) le développement de la représentation visuelle des modèles conceptuels de la dynamique de chaque groupe, y compris des fonctions qui pourraient causer la transition d'un stade de développement à un autre et de l'emplacement des principaux secteurs d'alimentation relativement aux caractéristiques océanographiques et topographiques notables de l'océan Austral. Des exemples sont donnés aux figures 16 à 20;
- iii) la mise en place d'une structure pour l'étude de l'estimation des paramètres et des fonctions requises pour les matrices de transition des populations et pour les activités de recherche de nourriture des prédateurs sur le plan spatio-temporel;
- iv) l'identification des travaux à réaliser pour valider les modèles conceptuels et pour obtenir les paramètres appropriés.

4.68 Cette étude a porté sur les espèces ou taxons suivants :

1. Individus recherchant leur nourriture autour d'un site central :

- i) manchots Adélie, à jugulaire, papou, gorfou macaroni, manchots empereur et royal
- ii) otarie de Kerguelen
- iii) albatros à sourcils noirs, à tête grise, grand albatros et albatros fuligineux à dos clair
- iv) pétrels géants
- v) grands pétrels (à menton blanc, damier du Cap, pétrels des neiges, antarctique, fulmar antarctique, etc.)
- vi) petits pétrels (prions, pétrels plongeurs et tempête)
- vii) skuas, goélands, sternes, cormorans.

2. Individus ne recherchant pas leur nourriture autour d'un site central :

- i) baleines mysticètes
- ii) odontocètes (cachalot et petits cétacés)

- iii) orques
- iv) phoques de banquise (phoques crabier, de Ross et léopard de mer)
- v) phoque de Weddell
- vi) éléphant de mer austral.

Caractéristiques du cycle vital et démographie

Oiseaux

4.69 L'atelier note que le modèle conceptuel fourni dans WG-EMM-04/53 offre une base descriptive des transitions entre les divers éléments du cycle vital généralisé d'un oiseau. Le modèle généralisé est présenté à la figure 21. Il conviendrait d'approfondir l'étude de certains oiseaux pour examiner si les pré-reproducteurs sont susceptibles de devenir non-reproducteurs (qu'ils soient en bonne ou mauvaise condition physique) du fait de leur taille ou de leur comportement alimentaire différents ou de facteurs influençant leur survie.

Manchots

4.70 L'atelier estime que les manchots Adélie, à jugulaire et papou, le gorfou macaroni et les manchots empereur et royal sont des animaux qui, pendant la période de reproduction, passent un certain temps à rechercher leur nourriture autour d'un site central (figure 22). Certains pré-reproducteurs et non-reproducteurs peuvent aussi rechercher leur nourriture autour d'un site pendant une certaine période. En effet, on les trouve parfois dans les colonies avec les reproducteurs, mais il est peu probable que les coûts et contraintes soient les mêmes que pour les oiseaux reproducteurs (WG-EMM-04/53). La démographie de ces populations peut être résumée de la manière indiquée à la figure 23. L'atelier considère que ces attributs méritent d'être approfondis pour les manchots Adélie des régions autres que l'île Béchervaise et pour les autres manchots.

4.71 Pour les manchots Adélie, l'atelier révisé le modèle conceptuel donné dans WG-EMM-04/53 et développe plusieurs options pour les diverses fonctions susceptibles d'influencer la dynamique des populations de manchots Adélie. A cette fin, la matrice de transition du tableau 14 fournit une base de discussion.

4.72 Les points à examiner à l'égard de la matrice de transition relative au manchot Adélie sont les suivants :

- i) survie au premier hiver peu élevée,
 - a) lorsque $S_{1,t} = f(\text{FA}, \text{biomasse de la population et autres compétiteurs, condition, prédation})$, FA étant la disponibilité de nourriture;
 - b) la relation entre $S_{1,t}$ et FA est sigmoïde et avec la biomasse de la population et les compétiteurs est une désintégration sigmoïdale;
- ii) survie à la reproduction, à savoir sur une période de trois à cinq hivers, laquelle devrait être plus élevée que la première année;

- iii) la transition de non-reproducteur à reproducteur est fonction de la condition après l'hiver et de FA;
- iv) la transition de non-reproducteur à reproducteur est susceptible d'être élevée du fait que peu d'oiseaux restent non-reproducteurs pendant deux années de suite;
- v) la survie à l'hiver est susceptible d'être plus élevée chez les reproducteurs que chez les jeunes en mue;
- vi) la survie à l'été des reproducteurs est influencée par la prédation des léopards de mer, les coûts énergétiques et d'autres facteurs, et il est prévu que la survie soit moins élevée chez les reproducteurs que chez les non-reproducteurs;
- vii) le succès de la reproduction est influencé par l'âge et l'expérience des reproducteurs (fonction échelon), FA (sigmoïde ascendante), la prédation des skuas (baisse exponentielle) et les conditions météorologiques (fonction échelon).

4.73 Plusieurs fonctions potentielles ont également été considérées par l'atelier à l'égard de l'impact de divers facteurs sur la survie et le succès de la reproduction, notamment dans les domaines suivants :

- i) la survie des jeunes en mue au premier hiver; ces fonctions peuvent avoir trait à :
 - a) la condition lors de la mue (possibilité de distribution biaisée);
 - b) la nourriture disponible (possibilité de fonction sigmoïde positive);
 - c) la prédation (possibilité de fonction sigmoïde négative);
- ii) l'étendue et la densité des glaces de mer (susceptibles d'entraîner une augmentation de la nourriture disponible, mais aussi de réduire le secteur d'alimentation, ce qui se solderait par des fonctions de formes diverses).

Oiseaux volants

4.74 Les matrices de transition des différents groupes d'oiseaux volants seront affectées par des principes et processus similaires. D'autres facteurs particulièrement pertinents (ou susceptibles de l'être) pour le groupe peuvent comporter les effets de la mortalité accidentelle (tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la zone de la Convention) et la plus grande disponibilité de nourriture due aux rejets des pêcheries.

4.75 L'atelier note que les facteurs suivants pourraient influencer divers stades de développement des oiseaux volants, entre autres :

- i) la survie des jeunes : les maladies dans les régions subantarctiques, l'exposition, l'approvisionnement, les nécrophages et avant tout, le manque de nourriture, etc.;
- ii) les animaux en mue : la quantité de nourriture disponible; une pénurie de nourriture pourrait entraîner la mort par inanition;

- iii) les immatures et les adultes en mer : la prédation, ainsi que les effets anthropogéniques liés à la pêche à la palangre (surtout en ce qui concerne les espèces de grande taille et les pétrels à menton blanc) et les polluants; par contre, les nécrophages profiteront des déchets rejetés en mer.

4.76 Suite à l'exemple donné au tableau 14, une matrice des catégories taxonomiques et de leurs états potentiels a été créée pour servir de base à la mise en place de matrices pertinentes de transition pour ces taxons (tableau 15).

Mammifères marins

4.77 Chez les phoques, le processus de transition d'une phase à l'autre est proche de celui décrit à la figure 22, mais se distingue de celui des oiseaux par un dimorphisme sexuel en matière de taille et la contribution relative des sexes à l'élevage des jeunes. Dans le cas des otaries de Kerguelen, il existe une contrainte semblable de recherche de nourriture autour d'un site central pour les femelles reproductrices, mais en ce qui concerne les phocidés et les cétacés, ces contraintes ne sont pas applicables.

4.78 Suite à l'exemple donné au tableau 14, une matrice des catégories taxonomiques et de leurs états potentiels a été créée pour servir de base à la mise en place de matrices pertinentes de transition pour ces taxons (tableau 15).

Dynamique trophique

4.79 La représentation de la dynamique trophique est requise pour toutes les espèces ou tous les groupes d'espèces pertinents et visera la caractérisation, entre autres :

- i) du régime alimentaire
- ii) de la répartition (appropriée : horizontale ou verticale).

Ces deux facteurs peuvent varier en fonction de l'époque de l'année et de la région.

Régime alimentaire

4.80 Le tableau 16 offre un exemple des divers niveaux possibles de détails requis pour caractériser les principaux types de proies dans le régime alimentaire des prédateurs. Le tableau 17 offre une illustration qualitative de la manière selon laquelle les catégories de régime alimentaire peuvent être réparties au niveau des espèces de prédateurs et d'autres groupes d'espèces. L'examen du régime alimentaire, notamment en matière des niveaux souhaitables de subdivision spatio-temporelle, est un élément important des travaux à venir.

Echelles spatiales de la répartition et des déplacements à la recherche de nourriture selon la profondeur

4.81 Un modèle généralisé de répartition verticale des prédateurs aérobies à la recherche de nourriture a été créé pour plusieurs groupes taxinomiques (figure 24). En général, les prédateurs rencontrés dans les 100 m supérieurs sont, pour la plupart, des espèces se nourrissant de krill, alors que ceux qui consomment du poisson et des calmars fréquentent, le plus souvent, de plus grandes profondeurs.

4.82 A l'égard du modèle conceptuel de plongée de la figure 24, les manchots, les phoques (autres que l'éléphant de mer austral) et les oiseaux volants, à savoir les groupes 1–7, peuvent être caractérisés comme des espèces de surface qui quittent la surface pour se nourrir. Les éléphants de mer et les baleines odontocètes peuvent être caractérisés comme des espèces vivant et se nourrissant à des profondeurs de 500–1 500 m et qui remontent en surface pour respirer. Sur la figure, les flèches indiquent la direction du déplacement à la recherche de nourriture à partir du lieu principal auquel les animaux passent la plus grande partie de leur budget-temps.

4.83 La répartition horizontale des espèces/taxons, à divers stades de leur cycle vital, est examinée pour les périodes de reproduction et les périodes de non-reproduction, aux tableaux 18 et 19. L'atelier examine également l'importance des conditions aux limites de tout modèle opérationnel qui tient compte de la dispersion et des migrations saisonnières des mammifères et oiseaux marins, compte tenu du temps passé à l'intérieur/à l'extérieur de la zone de la Convention.

Pêcheries

4.84 Lors de ses délibérations, l'atelier examine WG-EMM-04/24 et 04/51 pour définir les éléments des pêcheries qui peuvent être utilisés dans les modèles de l'écosystème pour tester les approches de la gestion de l'écosystème. La discussion porte sur deux pêcheries : celle de krill et celle de poisson des glaces.

Pêcherie de krill

4.85 La nature de la pêcherie de krill est examinée dans le contexte du comportement de la pêcherie japonaise de krill à laquelle il est fait référence dans WG-EMM-04/51. L'atelier considère que le type d'informations fournies, telles que les processus de prise de décision auxquels le capitaine a recours dans des circonstances changeantes au cours de la saison de pêche (tableau 20) est un facteur important lors de l'étude du développement d'un modèle de la pêcherie de krill.

4.86 Dans la zone 48, les secteurs de pêche sont en général situés à proximité des îles et quelques-uns d'entre eux sont subdivisés en lieux de pêche locaux (figure 25).

4.87 Pendant toute la saison de pêche, la flottille japonaise préfère les secteurs de pêche situés près de la bordure des glaces plutôt que les autres secteurs disponibles (figure 26). Les régimes de pêche sont, par ailleurs, caractérisés en fonction d'une succession saisonnière de propriétés physiques et biologiques sur les lieux de pêche (figure 27).

4.88 Les navires se déplacent fréquemment entre les lieux de pêche locaux et changent parfois de secteurs de pêche, à la recherche de concentrations se prêtant à la pêche (densité, structure, condition du krill, etc.).

4.89 L'atelier étudie les caractéristiques de la pêche au krill en identifiant tout d'abord les diverses possibilités de taxons, de stades et d'unités, comme cela est indiqué dans WG-EMM-04/24. Une fois cet exercice achevé, ce sont les divers éléments possibles du modèle de base, le type des décisions prises et les divers facteurs affectant le comportement de la pêche qui sont discutés.

4.90 Bien que les navires de pêche au krill aient tendance à faire partie de flottilles nationales, le comportement de chaque navire est fortement influencé par son capitaine. Le "taxon" devrait être défini par navire pour refléter ces différences de comportement entre les navires, ce qui est particulièrement pertinent vu le peu de navire (5–10) et le fait que l'on dispose de quelques données d'observation sur ces navires individuellement. Ces caractéristiques sont rapportées en détail au tableau 21.

4.91 Les régimes de pêche examinés par l'atelier sont dérivés de données de la pêcherie japonaise de krill. Compte tenu du fait que le choix du secteur et des stratégies de pêche est différent selon le pays et la flottille (figure 28) (CCAMLR-XXI), l'atelier estime que ces différences pourraient devoir figurer dans tout modèle de la pêche au krill. Il recommande de reprendre ce type d'analyse pour la pêche au krill d'autres nations.

4.92 Dans l'ensemble, l'atelier considère que les régimes de pêche examinés s'alignent sur les niveaux de pêche et sur la réglementation actuels. Rappelant que le but des modèles plausibles de l'écosystème marin de l'Antarctique est d'évaluer les divers scénarios de gestion du krill, l'atelier estime qu'il est essentiel que tout modèle puisse tester les scénarios de gestion en reproduisant le comportement des pêcheries sous divers types de réglementation, y compris des limites de capture fixées à des échelles spatiales ou temporelles plus petites que celles définies par les mesures de conservation en vigueur actuellement.

4.93 A cette fin, le modèle de pêche pourrait devoir simuler individuellement des navires pêchant sous diverses stratégies et conditions opérationnelles (voir paragraphes 4.22 et 4.51). Pour cette raison, il conviendrait sans doute que le modèle puisse :

- i) générer des concentrations régionales de krill qui constitueraient les "lieux de pêche locaux", y compris :
 - a) des concentrations correspondant aux lieux de pêche "connus"
 - b) des concentrations dans des régions qui ne sont pas actuellement soumises à la pêche;
- ii) caractériser les types et distributions de concentrations dans des lieux de pêche localisés avec suffisamment de précision pour permettre de différencier les résultats des diverses stratégies de pêche des diverses flottilles;

- iii) modéliser l'effet de la pêche sur les concentrations (abondance et taille des concentrations réduites par les prélèvements ou la dispersion; regroupement des essaims après la capture ou la dispersion, flux, etc.), afin de :
 - a) pouvoir tenir compte des effets des diverses stratégies de pêche des flottilles
 - b) décrire les effets sur le succès de l'alimentation des prédateurs;
- iv) modéliser les facteurs qui affectent la qualité de la capture, tels que la répartition du phytoplancton et des salpes au niveau de la résolution qui permet une représentation du comportement du navire en réponse à ces facteurs.

4.94 A l'égard de 4.93 iii), l'atelier note que certains travaux ont réussi à cerner les propriétés des concentrations de krill pour examiner la capture par unité d'effort dans les pêcheries de krill (Butterworth, 1988b; Mangel, 1988; Kasatkina et Latogursky, 1990; Kasatkina et Ivanova, 2003; Litvinov *et al.*, 2002; Litvinov *et al.*, 2003, WG-EMM-03/31), comme cela est signalé dans WG-EMM-04/24 et 04/67. De plus, plusieurs études ont été menées sur les effets de la prédation sur les concentrations de krill, telles que WG-EMM-96/20, WG-EMM-96/67, Boyd *et al.* (1997), WG-EMM-97/28, 97/64, Murphy *et al.* (1998), Miller et Hampton (1989), Alonzo *et al.* (2003a, 2003b). L'atelier estime qu'il pourrait être possible d'examiner les effets des activités de pêche sur les prédateurs en intégrant ces approches. Il reconnaît toutefois qu'il conviendrait de poursuivre les travaux sur ces aspects et de tenir compte du degré de précision, de la complexité et de l'échelle du modèle en incorporant ces interactions dans le modèle général de l'écosystème.

Pêcherie de poisson des glaces

4.95 Le directeur des données, fort de sa connaissance des données de la CCAMLR, décrit les caractéristiques générales de cette pêcherie.

4.96 Bien que la pêche dans la zone 48, autorisée, pour le moment, uniquement autour de la Géorgie du Sud, n'attire qu'une petite flottille de pêche (<5 navires par saison), il convient de noter que, par le passé, cette pêcherie était plus importante (>80 000 tonnes) et couvrait également les abords des îles Orcades du Sud et des îles Shetland du Sud. Le chalutage de fond est interdit dans cette pêcherie et le poisson des glaces est principalement capturé au chalut pélagique (figure 29).

4.97 Des opérations de pêche au poisson des glaces ont également été effectuées dans la zone 58 et, dans la division 58.5.2, cette pêche est réglementée par la mesure de conservation 42-02.

4.98 Ce qui distingue particulièrement la pêche au poisson des glaces de celle de krill est que la première est évaluée chaque année par le WG-FSA et qu'elle est soumise à une réglementation rigoureuse. Dans la sous-zone 48.3, cette réglementation comporte notamment une fermeture spatio-temporelle pendant la saison de reproduction, une règle stipulant que le navire doit se déplacer pour réduire la capture des poissons de <240 mm de longueur et des limites de capture accessoire (mesures de conservation 33-01 et 42-01).

4.99 Les caractéristiques de la pêche au poisson des glaces sont examinées par la même procédure que celle suivie pour la pêche au krill. Elles sont exposées en détail au tableau 22.

4.100 Pour toute modélisation des opérations de pêche au poisson des glaces, le modèle opérationnel devrait être en mesure de :

- i) générer une structure d'âge et une répartition réalistes, en fonction de la topographie du fond;
- ii) modéliser la dynamique des espèces des captures accessoires.

SCÉNARIOS PLAUSIBLES POUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN DE L'ANTARCTIQUE

5.1 L'atelier considère les divers types de scénarios qu'il conviendrait d'examiner pour évaluer la robustesse des procédures de gestion du krill face aux incertitudes structurelles du modèle. La discussion porte sur deux questions principales. La première traite de la plausibilité du modèle, la seconde, de questions de dynamique de l'écosystème que pourrait explorer le modèle.

5.2 La plausibilité du modèle soulève plusieurs questions, entre autres :

- i) Quelle est la sensibilité du modèle aux autres hypothèses concernant les processus critiques ?
- ii) De quelles données et/ou recherches a-t-on besoin pour différencier les diverses solutions importantes ?
- iii) Avec quelle précision le modèle de comportement de l'écosystème devrait-il s'aligner sur les observations ?
- iv) Quel est le degré de détail requis pour rendre le modèle plausible ?

5.3 Pour tout exemple relatif aux questions ci-dessus, il conviendrait d'examiner :

- i) diverses hypothèses sur les interactions entre les espèces (cétacés et phocidés, par ex.);
- ii) diverses hypothèses sur les voies trophiques;
- iii) l'utilisation de diverses valeurs paramétriques du cycle vital (démographie, par ex.);
- iv) l'utilisation de nouvelles formulations d'éléments.

5.4 A l'égard des questions de dynamique de l'écosystème, il semble important de limiter le nombre de scénarios à explorer. Les scénarios possibles sont classés selon les divers points traités, entre autres :

- i) La réponse du système du modèle aux changements des facteurs déterminants de l'environnement. A cette fin, il conviendrait de disposer de plusieurs types de

facteurs déterminants, du degré et de la tendance des changements. La réponse du modèle au changement climatique graduel par rapport à un changement plus abrupt pourrait, par exemple, être explorée. A titre d'exemples plus spécifiques, on note la réponse du système à un changement de la formation des eaux de fond de l'Antarctique ou à un changement de la circulation des eaux en surface de l'Antarctique; la réduction rapide de l'étendue des glaces d'hiver ou les changements importants de la production primaire apparents à l'échelle d'une décennie; la radiation accrue des ultraviolets et son effet sur les organismes épipélagiques tels que les larves de krill.

- ii) La sensibilité et la dynamique du système du modèle aux diverses conditions de départ et/ou aux fonctions artificielles déterminantes. Des populations de baleines mysticètes et d'otaries de Kerguelen de taille de départ différentes, par exemple, ou une production initiale excédentaire de krill pourraient être explorées. Les effets d'un bruit aléatoire ou de cycles périodiques dans les fonctions déterminantes pourraient être explorés.
- iii) Les effets sur le système du modèle des processus externes et des conditions aux limites. Ceci porte, par exemple, sur les processus affectant la dynamique des populations de cétacés, de calmars et d'oiseaux en dehors de la zone de la Convention de la CCAMLR. Une autre classe possible d'exemples compte l'invasion d'espèces tempérées due au réchauffement de l'océan et/ou aux changements dans les courants.
- iv) Le comportement du système du modèle requis pour atteindre un état spécifié. Par exemple, la récupération des populations surexploitées de cétacés ou de phoques.
- v) Les effets sur le système du modèle de la progression dans les diverses pêcheries. Celle-ci pourrait avoir trait à l'expansion de la pêcherie de krill, la surexploitation de la légine, l'exploitation accrue du poisson des glaces, ainsi que les développements des pêcheries qui ne sont pas du ressort de la CCAMLR.
- vi) Les effets des résultats du système sur les populations modélisées. Parmi les exemples, on note les changements au cours du temps sur les traits du cycle vital, la sélection génétique, la distribution spatiale et d'autres effets des populations dépendant de la densité.

5.5 A la suite de discussions, l'atelier conclut que les scénarios suivants devraient être examinés en priorité :

- i) le comportement du système du modèle en réponse aux fonctions déterminantes artificielles (et donc connues) afin de mieux cerner les propriétés du modèle;
- ii) les effets de nouvelles formulations de transport du krill sur la dynamique de l'écosystème;
- iii) les effets du changement climatique sur la production primaire et/ou la circulation océanique.

5.6 L'atelier demande de plus au Comité scientifique de lui prodiguer des conseils sur les priorités de l'exploration de scénarios réalistes et les prochains travaux.

FORMULATION ET SPÉCIFICATION DES MODÈLES

6.1 L'atelier discute plusieurs questions ayant trait à la formulation et à la spécification des modèles de l'écosystème en général (paragraphe 6.2 à 6.4) et des écosystèmes de l'Antarctique en particulier (paragraphe 6.5 à 6.25).

6.2 L'atelier estime qu'il serait bon de mettre en place un modèle de l'écosystème qui serait composé d'une série de modules connectés plutôt que d'un logiciel unique de grande taille. Des modules indépendants pourraient servir à modéliser divers processus océanographiques (avec des modules distincts, par exemple, pour les courants océaniques et pour la formation saisonnière des glaces de mer) et la dynamique des populations des divers groupes taxonomiques (des modules séparés, par ex., pour le krill antarctique et les otaries). L'approche modulaire décrite ici faciliterait :

- i) le développement de modèles de dynamique des populations s'alignant sur les données et les connaissances disponibles pour chaque groupe taxonomique (pour utiliser simultanément, par ex., un modèle fondé sur l'âge pour un groupe et un modèle de dynamique de la biomasse pour un autre);
- ii) la construction et la mise en œuvre de modules décrivant les processus différemment (par ex., en comparant les modèles de recherche de nourriture qui sont fondés sur les relations fonctionnelles ou des prises de décision individuelles);
- iii) la construction et la mise en œuvre de modules décrivant de nouvelles hypothèses (telles que de variations régionales dans la biomasse de krill qui seraient déterminées soit par advection soit par la dynamique de la population locale);
- iv) l'application, si cela s'avérait approprié et utile, de modèles existants;
- v) l'avancement du développement des modèles, que les modules décrivant la dynamique de tous les groupes taxonomiques ou les mécanismes déterminant soient complets ou non.

6.3 Bien qu'une approche modulaire de la construction de modèles aient des avantages certains, l'atelier reconnaît qu'une telle approche introduirait des problèmes techniques spécifiques qui demanderaient à être résolus. On note ainsi :

- i) la nécessité de réconcilier les processus qui sont modélisés à des échelles différentes en utilisant les règles acceptées de structure de l'écosystème, telles que les lois de la thermodynamique et la distribution de taille des particules;
- ii) la nécessité de gérer la complexité générale du modèle en s'assurant que tous les modules sont élaborés avec suffisamment d'intuition et autour de questions d'intérêt particulier;

- iii) la nécessité de développer des protocoles, un logiciel et des architectures de base des données qui relient et gèrent le flux d'informations d'un module à un autre.

6.4 L'atelier considère qu'il sera nécessaire de relier les modules décrivant le processus océanographique et la dynamique des populations aux modèles d'observation. Ces liens peuvent être développés en prenant garde que divers modules du modèle opérationnel décrivent la variation des variables de la condition qui sont typiquement observées (ou pourraient l'être) sur le terrain. Par exemple,

- i) un module décrivant la dynamique du krill antarctique devrait décrire la variation spatiale de la répartition des essaims, des concentrations, etc., de manière suffisamment détaillée pour fournir un lien satisfaisant avec les modèles d'observation décrivant les campagnes d'évaluation hydroacoustiques et les pêcheries de krill;
- ii) des modules décrivant la dynamique de certaines populations de prédateurs devraient décrire la variation de la performance reproductive de manière suffisamment détaillée pour fournir un lien avec les modèles d'observation décrivant la collecte des données dans le cadre du CEMP;
- iii) un module décrivant les courants océaniques pourrait caractériser la variation de la contribution des différentes masses d'eau à une région donnée et ainsi être relié aux modèles d'observation décrivant les résultats d'une campagne d'évaluation océanographique dans cette région;
- iv) les modules décrivant la dynamique des populations de poissons pourraient décrire la variation de la composition en tailles (ou âges) de la population et ainsi être reliés aux modèles d'observation décrivant la composition en tailles (ou âges) des captures des campagnes d'évaluation au chalut ou de la pêche.

Modélisation des interactions interspécifiques

6.5 Typiquement, les modèles d'écosystème décrivent les interactions entre des espèces ou des groupes taxonomiques dans le contexte d'interactions prédateurs-proies ou compétitives (bien que nombre d'autres types d'interaction soient possibles) et la manière dont ces interactions sont caractérisées a, en général, des effets profonds sur le comportement des modèles de l'écosystème et sur leurs prévisions.

6.6 Les discussions de l'atelier tournent autour des interactions prédateurs-proies, tout en reconnaissant qu'il conviendra, à l'avenir, lors du développement des modèles de l'écosystème antarctique, d'examiner aussi les interactions compétitives. A cet égard, l'atelier établit une distinction entre la compétition qui pourrait exister au sein des groupes taxonomiques, ou d'un groupe à l'autre et la compétition possible entre les prédateurs de krill et la pêche de krill. Les processus par lesquels ces interactions se produiraient, si elles se produisent seraient différents. Dans le premier cas, certains animaux pourraient par exemple faire preuve d'un comportement agressif pour rivaliser avec d'autres animaux pour s'approprier leur nourriture. Dans le second cas, des prélèvements importants localisés de krill par une pêche pourraient limiter la nourriture à la disposition des prédateurs. Il importera, par ailleurs, pour

comprendre le degré auquel les "surplus" de krill causés par la suppression d'un prédateur peuvent se solder par l'accroissement de la population d'un autre prédateur, de créer des modèles de compétition appropriés.

6.7 L'atelier résume les interactions prédateurs–proies décrites dans toute la section 4 du présent rapport en créant des illustrations conceptuelles des divers réseaux trophiques de l'Antarctique. Ces réseaux sont présentés aux figures 30 à 34. Chacune des flèches y représente une possibilité d'interaction prédateurs–proies qui risque de devoir être modélisée. L'atelier est conscient du fait que les interactions illustrées pourraient être modifiées, à la hausse ou à la baisse, après un nouvel examen. Il estime de plus que la modélisation de toutes les interactions prédateurs–proies illustrées sur ces figures pourrait ne pas être nécessaire pour décrire le principal flux d'énergie au travers du réseau trophique. Il convient de prêter attention au fait que la dynamique d'un groupe taxonomique n'est pas toujours dominée par des liens faibles prédateurs–proies.

6.8 La manière la plus simple d'examiner les liens trophiques est de les subdiviser en fonction de l'emplacement géographique et du type de proie prédominant. L'atelier distingue deux principaux types de réseaux selon leur emplacement géographique : continental (y compris les hauts-fonds de haute latitude) et insulaires (y compris la mer du Scotia). Cette division reflète également la composition taxonomique respective de ces réseaux. Les réseaux du plateau continental sont encore subdivisés entre ceux qui sont centrés sur le krill et ceux qui sont centrés sur le calmar. De même, les réseaux insulaires sont eux-mêmes subdivisés en sous-réseaux, selon qu'ils sont centrés sur le krill, le calmar ou le poisson. L'atelier est moins confiant en sa capacité à caractériser ces deux derniers que ceux centrés sur le krill. La catégorie "autres poissons" témoigne du manque relatif de données sur la faune ichtyologique consommée par certains groupes de prédateurs. Malgré une incertitude croissante quant à la structure des sous-réseaux alimentaires centrés sur le calmar et sur le poisson, il importera de se pencher sur ces autres voies énergétiques car elles sont susceptible de grandement influencer les prévisions des modèles.

6.9 Les liens dépendant de l'âge et de la taille indiqués sur les réseaux trophiques illustrés aux figures 30 à 34 indiquent deux processus. Le premier concerne des glissements ontogénétiques dans les distributions spatiales des prédateurs ou des proies. Le second se manifeste lorsque les prédateurs ne prennent qu'un certain intervalle de taille de proies; les autres proies (plus petites ou plus grandes), en dehors de cet intervalle, n'ont rien à craindre de ce prédateur. Si l'on voulait redessiner ces réseaux trophiques en représentant explicitement les stades du cycle vital pour chaque groupe, ces liens fondés sur l'âge et la taille seraient sans doute plus clairs.

6.10 La structure bathymétrique pourrait être un aspect important des liens trophiques des réseaux trophiques de l'Antarctique qui n'est pas illustré aux figures 30 à 34. La structure trophique illustrée sur ces figures affiche une plus grande résolution en surface et en eaux intermédiaires qu'en eaux profondes. Ceci ne pose pas de problème si le thème de l'étude et la dynamique de l'écosystème ne changent pas. Toutefois, les prédictions par les modèles développés à partir des liens illustrés aux figures 30 à 34 peuvent être trompeuses si le thème de la recherche et de la gestion ou la dynamique du système deviennent dominés par des processus se produisant en eaux profondes (groupes et processus démersaux ou benthiques, par ex.). Il pourrait être bon d'examiner si les scénarios écologiques, environnementaux ou de pêche identifiés à la section 5 du présent rapport pourraient être affectés par ce problème potentiel.

6.11 En ce qui concerne les figures 30 à 34, l'atelier constate, par ailleurs, que certains réseaux trophiques qui ne sont pas présentés dans ce rapport (tels que les réseaux entièrement pélagiques ou ceux qui sont associés aux hauts-fonds profonds tels que ceux de la mer de Ross ou de la mer de Weddell, qui sont dominés par la légine, la rajidés et les calmars océaniques) pourraient devoir être développés pour représenter pleinement toute la gamme des principaux réseaux trophiques de l'Antarctique.

6.12 L'atelier examine deux méthodes de modélisation des interactions prédateurs–proies : les courbes de la réponse fonctionnelle et les modèles individuels de recherche de nourriture. Les courbes décrivent le rapport entre l'abondance (ou la densité) des proies et la consommation par individu de cette proie par un groupe de prédateurs. Les modèles de recherche individuelle de nourriture décrivent les rapports prédateurs–proies en modélisant les décisions que les prédateurs et les proies prennent face à l'abondance (ou la densité) et à la répartition des uns et des autres et face aux variations des conditions environnementales.

6.13 Il est convenu que les deux méthodes de description des interactions prédateurs–proies devraient être approfondies. L'atelier a commenté chaque approche.

6.14 Deux types de courbes de la réponse fonctionnelle pourraient s'avérer utiles pour décrire de nombreuses interactions prédateurs–proies dans les écosystèmes antarctiques : les courbes des réponses de type II et de type III. Toutes deux sont illustrées à la figure 35. Pour les prédateurs dont la recherche de nourriture est fondée sur les interactions avec des organismes de proies individuels (comme l'orque qui se nourrit d'un phoque), les courbes de réponse de type II pourraient convenir. Pour les prédateurs dont la recherche de nourriture est fondée sur des interactions avec des organismes de proies dont la concentration doit atteindre un certain seuil de densité (comme une baleine mysticète qui se nourrit de krill), ce sont les courbes de type III qui seraient appropriées. En examinant les courbes de type III, l'atelier reconnaît que l'abondance (ou la densité) des proies devrait peut-être être mesurée à des échelles différentes. Par exemple, la recherche de nourriture par les baleines mysticètes pourrait être davantage influencée par la densité des essaims dans un secteur de concentration relativement élevée de krill que par la densité de krill dans un essaim, or l'inverse pourrait être vrai pour d'autres prédateurs.

6.15 L'atelier note qu'une courbe unique de la réponse fonctionnelle risque de ne pas convenir pour une espèce ou un groupe taxonomique donné. Les réponses fonctionnelles risquent de changer au cours d'un cycle reproductif, de dépendre de la condition, de l'âge ou du sexe de l'animal et de varier face au risque perçu par le prédateur de devenir lui-même une proie. Bien que de tels ajustements compliquent cette approche de la modélisation des interactions prédateurs–proies, ces modèles de la réponse fonctionnelle pourraient être plus réalistes.

6.16 Des modèles de recherche de nourriture fondés sur la prise de décision individuelle ont déjà été créés pour les manchots et la pêche de krill (Alonzo et Mangel, 2001; Alonzo *et al.*, 2003a, 2003b; Mangel et Switzer, 1998). Les prévisions tirées de ces travaux ayant été analysées dans WG-EMM-04/67, l'atelier estime que ces modèles pourraient, après une nouvelle révision et des modifications, servir de modules dynamiques à inclure dans les modèles opérationnels des écosystèmes de l'Antarctique.

6.17 L'atelier note que les prédateurs peuvent compter sur de nombreux indices pour prendre des décisions individuelles sur la recherche de nourriture. Ces indices ne sont pas

toujours liés à l'abondance absolue ou à la densité des proies et ne se limitent pas aux caractéristiques de l'habitat (les accores, par ex.), à l'expérience acquise (retourner au dernier emplacement de capture et d'ingestion de proies, par ex.) et à la variation dans la rétention locale des proies. Il pourrait être des plus utiles de reconnaître quand les décisions sur l'alimentation sont fondées sur la dynamique des groupes (à savoir, quand les individus adoptent les mêmes stratégies d'alimentation que leurs voisins ou lorsqu'ils réagissent au rassemblement d'autres prédateurs).

6.18 L'atelier note que les modèles de recherche de nourriture fondés sur les décisions individuelles reposent souvent sur des données collectées lors de sorties alimentaires, et il conviendrait de prendre garde à ne pas faire d'inférence sur la base de ces données. Les individus qui recherchent leur nourriture en Antarctique adoptent, à cette fin, toute une gamme de stratégies. En conséquence, les sorties alimentaires peuvent afficher une distribution spatio-temporel uniforme ou aléatoire. D'autre part, ces événements peuvent être regroupés dans l'espace comme dans le temps et ces regroupements peuvent avoir lieu sur toute une gamme d'échelles (journalière ou annuelle, par ex.). Ainsi, par exemple, le comportement en plongée peut se présenter en séquences pendant que les individus s'alimentent sur des espèces grégaires/en essaims, et une même sortie alimentaire peut comporter plusieurs périodes, les unes en plongée, les autres sans. L'inférence à partir des données collectées pendant les sorties alimentaires peut être facilitée par l'étude du contexte physiologique et écologique de la collecte des données (ainsi, les budgets temporels-énergétiques peuvent servir à élucider le comportement lié à la recherche de nourriture des individus qui nourrissent leurs jeunes).

6.19 Malheureusement, pour bien des espèces de l'Antarctique, on ne dispose d'aucunes données sur le comportement face à la recherche de nourriture, ce qui complique la construction des modèles fondés sur les décisions. L'atelier note que ce problème pourrait être pallié par le recours à des informations sur des espèces du même type en dehors de l'Antarctique.

6.20 En conclusion de sa discussion sur les interactions prédateurs–proies, l'atelier décide que deux types de travaux seraient utiles. Tout d'abord, il conviendrait de mener des analyses de sensibilité pour explorer comment les prévisions fournies par les modèles de l'écosystème Antarctique varient en réponse à diverses hypothèses sur les interactions prédateurs–proies (en présumant, par ex., une réponse fonctionnelle de type II ou de type III ou des critères de décision différents dans des modèles sur la recherche de nourriture fondés sur l'individu) ou à différentes manières de modéliser ces interactions (à savoir, en utilisant des courbes de réponse fonctionnelle ou des modèles de recherche de nourriture fondés sur l'individu (le groupe)). Ensuite, il conviendrait d'entreprendre des études pour déterminer si, et sous quelles conditions, les courbes de réponse fonctionnelle peuvent être des approximations satisfaisantes des modèles de recherche de nourriture fondés sur l'individu. Bien que cette dernière approche soit probablement plus réaliste, c'est la première approche qui est susceptible d'être plus efficace dans un contexte de modélisation.

Modélisation de l'espace

6.21 Ayant longuement discuté de la résolution spatiale souhaitable des modèles opérationnels des l'écosystèmes de l'Antarctique, l'atelier estime que les modèles explicites

sur le plan spatial conviendraient dans nombre de circonstances. Il considère qu'au moins, il serait utile de résoudre les différences entre les secteurs de hautes latitudes de l'Antarctique et ceux des régions sub-Antarctique et entre les zones pélagiques et celles situées sur le plateau continental ou en sa proximité (figures 30 à 34, par ex.). Il constate, toutefois, qu'une résolution spatiale nettement plus grande conviendrait dans bien des cas. Ces cas sont cités tout au long de la section 4 du présent rapport.

6.22 L'atelier est conscient que la résolution spatiale peut varier parmi les modules créés en tant qu'éléments des modèles opérationnels de l'écosystème de l'Antarctique (ainsi, une résolution spatiale fixe n'est pas nécessaire dans l'approche prévue). Il considère, de plus, que le fait d'avoir une résolution spatiale spécifique par module ne ferait que compliquer les difficultés citées au paragraphe 6.3. L'atelier fait remarquer que des modules à résolution spatiale variable ont été mis en œuvre avec succès dans les modèles Atlantis et InVitro (voir section 2).

6.23 L'atelier examine, de plus, le degré auquel la profondeur devrait être prise en compte dans les modèles opérationnels des écosystèmes de l'Antarctique. A l'encontre de la résolution horizontale minimale identifiée au paragraphe 6.21, l'atelier n'a pas identifié de résolution verticale minimale, difficulté créée par le chevauchement considérable des profondeurs fréquentées par les individus qui fréquentent les eaux de l'Antarctique. Pourtant, il pourrait être critique de déterminer les processus sur toutes les profondeurs pour décrire le chevauchement spatial des prédateurs et des proies. Des informations sur la répartition bathymétrique figurent dans l'ensemble de la section 4 du présent rapport.

Modélisation du temps

6.24 L'atelier estime que la résolution temporelle du modèle opérationnel devrait, au minimum, établir la distinction entre l'été et l'hiver. Cette distinction est sensée pour plusieurs raisons, notamment la résolution des saisons de reproduction/ponte et les saisons pendant lesquelles sont collectées les données d'observation. Une résolution temporelle plus précise pourrait toutefois être nécessaire pour décrire comme elle le devrait la dynamique de divers processus océanographiques et groupes taxonomiques. De ce fait, la résolution temporelle peut varier selon le module et l'atelier rappelle les questions soulevées au paragraphe 6.22.

Processus périphériques et conditions aux limites

6.25 L'atelier discute des processus périphériques et des conditions aux limites dans le contexte des animaux qui rejoignent ou quittent l'espace décrit par les modèles opérationnels. La manière dont les processus et conditions sont modélisés est à décider au cas par cas, du fait que les modèles des écosystèmes de l'Antarctique peuvent couvrir des espaces très divers dont l'échelle peut aller de l'ensemble de la zone de la Convention de la CCAMLR à des SSMU. Toutefois, l'atelier note que pour traiter ces processus et conditions, il est essentiel de reconnaître :

- i) le temps passé par les animaux en dehors des limites spatiales du modèle (voir, par ex., les tableaux 18 et 19);

- ii) les processus (tels que le recrutement) en jeu lorsque les animaux dépassent les limites spatiales;
- iii) la manière dont les conditions physiques et biologiques, en dehors des limites spatiales, pourraient contribuer à la variation des processus qui, par la suite, sont observés dans les limites.

Pour traiter des processus périphériques et des conditions aux limites, il sera nécessaire de poursuivre les travaux.

PROCHAINS TRAVAUX

Mise au point des modèles plausibles

7.1 L'atelier estime qu'il a réussi à établir la base des modèles conceptuels de l'environnement physique et des taxons de l'écosystème de l'océan Austral et à les placer dans une structure de modélisation. Il considère qu'à l'avenir, il conviendra de valider les travaux présentés ici et de poursuivre l'élaboration des modèles conceptuels comme cela est indiqué dans les sections 4, 5 et 6. De ce fait, l'atelier recommande de poursuivre l'ajustement de ces modèles conceptuels et encourage leur application dans le cadre de la modélisation.

7.2 L'une des tâches importantes consistera à collationner les valeurs paramétriques voulues pour mettre en œuvre les fonctions et les éléments du modèle dérivés de ces modèles conceptuels. A cet égard, l'atelier note qu'il serait utile d'examiner les informations disponibles et qu'une base des données commune des paramètres disponibles pourrait être créée pour faciliter l'utilisation coordonnée de ces paramètres et de ces informations.

7.3 L'atelier considère qu'il ne dispose ni de l'expertise ni du temps suffisant pendant la réunion pour élaborer davantage les éléments en rapport avec les poissons, les calmars et la pêche. Il demande donc au WG-FSA de revoir les détails fournis et de développer les détails de chaque élément pour la légine et les espèces démersales. Il s'agit entre autres de :

- i) vérifier les détails existant sur le cycle vital du poisson des glaces, cités aux paragraphes 4.32 à 4.40, en effectuant les changements voulus;
- ii) vérifier que les détails existants cités aux paragraphes 4.95 à 4.100 ont bien capturé la dynamique de la pêche au poisson des glaces;
- iii) vérifier les détails existant sur les poissons mésopélagiques et le cycle vital du calmar cités aux paragraphes 4.52 à 4.63, en effectuant les changements voulus;
- iv) élaborer des profils semblables (tableaux, figures et texte) pour *D. eleginoides* et *D. mawsoni* en tant qu'espèces visées (c'est-à-dire, comme pour les espèces visées aux paragraphes 4.52 à 4.63);
- v) élaborer des profils semblables (tableaux, figures et texte) pour les pêcheries de *D. eleginoides* et *D. mawsoni* (c'est-à-dire comme pour les pêcheries des paragraphes 4.84 à 4.100);

- vi) élaborer un nouvel élément essentiel de l'écosystème portant sur les autres de poissons démersaux (macrouridés, rajidés, autres nototheniidés, etc.);
- vii) vérifier les réseaux trophiques à l'égard des interactions mettant en jeu la légine, le poisson des glaces, les autres poissons démersaux, les myctophidés et *Pleuragramma antarcticum*.

7.4 L'atelier recommande que le groupe de travail demande au Comité scientifique de l'aider à déterminer quelles seraient les tâches prioritaires de l'étude des scénarios réalistes et les travaux restant à effectuer (paragraphe 5.6).

Mise au point d'une structure de modélisation

7.5 L'atelier estime avoir procuré un cadre souhaitable pour la poursuite de la mise au point de modèles plausibles de l'écosystème pour tester les approches de la gestion du krill. Il envisage que les modèles complexes ne pourront être au point avant longtemps.

7.6 A l'égard de l'atelier de l'année prochaine sur l'évaluation des procédures de gestion possibles, l'atelier note que l'examen initial des possibilités de gestion pourrait être effectué sur la base des modèles à structure spatiale de la population du krill qui permettent l'exploration de l'interaction entre :

- la population de krill
- les limites spatiales de capture et la pêche
- les prédateurs de krill
- le déplacement du krill.

Cette tâche pourrait être accomplie l'année prochaine grâce au perfectionnement des modèles existants et à de nouveaux modèles de base qui tiendraient compte des conclusions du présent atelier.

7.7 L'atelier note que le perfectionnement de la structure et la mise en œuvre de l'un au moins des modèles de l'écosystème nécessiteront un travail coordonné. A cette fin, il recommande que le groupe de travail envisage de créer un comité de direction qui serait chargé d'examiner, entre autres :

- i) la structure
 - données, paramètres, base des données
 - code, plateformes, éléments, protocoles
 - architecture du modèle, modularité, flexibilité
 - processus de validation des modèles pour assurer une application appropriée;
- ii) collaboration
 - emploi du temps
 - questions d'auteurs et de propriété
 - éléments;

- iii) rôle du secrétariat;
- iv) coordination avec les responsables de l'atelier de l'année prochaine.

7.8 L'atelier note que plusieurs groupes de recherche constitués de membres de la CCAMLR développent actuellement des modèles de l'écosystème de l'océan Austral. Il recommande que le groupe de travail établisse son comité de direction au plus tôt pour que les travaux soient le plus coordonnés possible parmi les groupes et pour profiter de l'élan engendré par le présent atelier.

7.9 L'atelier fait remarquer que le développement de modèles pour l'atelier de l'année prochaine se distingue des travaux à long terme. Il recommande toutefois de faire coordonner la préparation de l'atelier avec le coordinateur du comité de direction par le responsable de l'atelier de l'année prochaine, ce qui offrirait une meilleure occasion de progresser dans les travaux de modélisation d'une manière bénéfique à long terme.

ADOPTION DU RAPPORT

8.1 Le rapport est adopté avec ses figures, tableaux et annexes.

CLÔTURE DE L'ATELIER

9.1 Le responsable du WG-EMM, R. Hewitt, remercie A. Constable de la peine qu'il s'est donnée pour accueillir l'atelier et des conseils qu'il a prodigués et qui ont contribué à son succès.

9.2 A. Constable remercie tous les participants, rapporteurs et membres du comité de direction de l'atelier de leur contribution à l'Atelier. Il remercie, de plus, E. Fulton, l'experte invitée, de sa contribution des plus utiles et de ses conseils pendant les discussions. Il remercie, enfin, le secrétariat de son soutien, tant pendant la période d'intersession que pendant l'atelier, et Silvano Focardi (Italie) et son équipe d'avoir accueilli l'atelier.

9.3 L'atelier est clôturé le 16 juillet 2004.

RÉFÉRENCES

Alonzo, S.H. et M. Mangel. 2001. Survival strategies and growth of krill: avoiding predators in space and time. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 209 : 203–217.

Alonzo, S.H., P. V. Switzer et M. Mangel. 2003a. Ecological games in space and time: the distribution and abundance of Antarctic krill and penguins. *Ecology*, 84 : 1598–1607.

Alonzo, S.H., P.V. Switzer et M. Mangel. 2003b. An ecosystem-based approach to management using individual behaviour to predict the indirect effects Antarctic krill fisheries on penguin foraging. *J. Appl. Ecol.*, 40 : 692–702.

- Amos, A.F. 1984. Distribution of krill (*Euphausia superba*) and the hydrography of the Southern Ocean: large-scale processes. *J. Crust. Biol.*, 4 : 306–329.
- Andrew, N.L. et B.D. Mapstone. 1987. Sampling and the description of spatial pattern in marine ecology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25 : 39–90.
- Boyd, I.L., D.J. McCafferty et T.R. Walker. 1997. Variation in foraging effort by lactating Antarctic fur seals: response to simulated increased foraging costs. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 40 : 135–144.
- Bredesen, E.L. 2003. *Krill and the Antarctic: Finding the Balance*. MSc. University of British Columbia, Vancouver.
- Butterworth, D.S. 1988a. A simulation study of krill fishing by an individual Japanese trawler. In : *Communications scientifiques sélectionnées, 1988 (SC-CAMLR-SSP/5)*, Première partie. CCAMLR, Hobart, Australie : 1–108.
- Butterworth, D.S. 1988b. Some aspects of the relation between Antarctic krill abundance and CPUE measures in the Japanese krill fishery. In : *Communications scientifiques sélectionnées, 1988 (SC-CAMLR-SSP/5)*, Première partie. CCAMLR, Hobart, Australie : 109–125.
- Butterworth, D.S. et R.B. Thomson. 1995. Possible effects of different levels of krill fishing on predators – some initial modelling attempts. *CCAMLR Science*, 2 : 79–97.
- Caswell, H. et A.M. John. 1992. From the individual to the population in demographic models. In : DeAngelis, D. et L. Gross (rédacteurs). *Individual-Based Models and Approaches in Ecology*. Chapman and Hall, New York : 36–61.
- Clarke, A., L.B. Quetin et R.M. Ross. 1988. Laboratory and field estimates of the rate of faecal pellet production by Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Mar. Biol.*, 98 : 557–563.
- Constable, A.J. 2001. The ecosystem approach to managing fisheries: achieving conservation objectives for predators of fished species. *CCAMLR Science*, 8 : 37–64.
- Croxall, J.P., C. Ricketts et P.A. Prince. 1984. Impact of seabirds on marine resources, especially krill, at South Georgia. In : Whittow, G.C. and H. Rahn (rédacteurs). *Seabird Energetics*. Plenum, New York : 285–318.
- DeAngelis, D. et L. Gross. 1992. Individual-based models and approaches. In : *Ecology*. Chapman and Hall, New York.
- Doi, T. 1979. Ecosystem network analysis relevant to krill in the Antarctic. *Tokai Reg. Fish. Res. Lab.* : 45–64.
- Everson, I. 1977. The living resources of the Southern Ocean. FAO GLO/S0/77/1, Rome : 156 pp.
- Fulton, E.A., K. Sainsbury, A.D. McDonald, R. Gray, L.R. Little et B. Hatfield. En préparation. Ecosystem modelling and successful multi-sector management on the Northwest Shelf of Australia.

- Fulton, E.A., A.D.M. Smith et A.E. Punt. Sous presse. Which ecological indicators can robustly detect effects of fishing? *ICES J. Mar. Sci.*
- Fulton, E.A., J.S. Parslow, A.D.M. Smith et C.R. Johnson. 2004. Biogeochemical marine ecosystem models II: the effect of physiological detail on model performance. *Ecol. Model.*, 173 (4) : 371–406.
- Green, K.A. 1975. Simulation of the pelagic ecosystem of the Ross Sea, Antarctica: a time varying compartmental model. PhD. Texas A & M University, College Station.
- Hofmann, E.E. et Y.S. Hüsrevoğlu. 2003. A circumpolar modeling study of habitat control of Antarctic krill (*Euphausia superba*) reproductive success. *Deep-Sea Res. Part II*, 50 : 3121–3142.
- Hofmann, E.E. et C.M. Lascara. 2000. Modeling the growth dynamics of Antarctic krill *Euphausia superba*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 194 : 219–231.
- Hofmann, E.E., J.M. Klinck, R.A. Locarnini, B. Fach et E.J. Murphy. 1998. Krill transport in the Scotia Sea and environs. *Ant. Sci.*, 10 : 406–415.
- Hosie, G.W., T. Ikeda, et M. Stolp. 1988. Distribution, abundance and population structure of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in the Prydz Bay region, Antarctica. *Polar Biol.*, 8 : 213–224.
- Ikeda, T. 1984. Development of the larvae of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) observed in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 75 : 107–117.
- Ikeda, T. 1985. Life history of Antarctic krill *Euphausia superba*: a new look from an experimental approach. *Bull. Mar. Sci.*, 37 : 599–608.
- Ikeda, T. et P. Dixon. 1982. Body shrinkage as a possible over-wintering mechanism of the Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 62 : 143–151.
- Ikeda, T. et A.W. Mitchell. 1982. Oxygen uptake, ammonia excretion and phosphate excretion by krill and other Antarctic zooplankton in relation to their body size and chemical composition. *Mar. Biol.*, 71.
- Ikeda, T. et P.G. Thomas. 1987. Moulting interval and growth of juvenile Antarctic krill (*Euphausia superba*) fed different concentrations of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* in the laboratory. *Polar Biol.*, 7 : 339–343.
- Kasatkina, S.M. et V.I. Latogursky. 1990. Distribution characteristics of krill aggregations in the fishing grounds off Coronation Island in the 1989/90 season. In : *Communications scientifiques sélectionnées, 1990 (SC-CAMLR-SSP/7)*. CCAMLR, Hobart, Australie : 49–74.
- Kasatkina, S.M. et V.F. Ivanova. 2003. Fishing intensity of the Soviet fleet in krill fisheries in the southern Atlantic (Subareas 48.2 and 48.3). *CCAMLR Science*, 10 : 15–35.
- Laws, R. M. 1977. Seals and whales of the Southern Ocean. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 279 : 81–96.

- Laws, R.M. 1985. The ecology of the Southern Ocean. *American Scientist*, 73 : 26–40.
- Little, L.R., S. Kuikka, A.E. Punt, F. Pantus, C.R. Davies et B.D. Mapstone. 2004. Information flow among fishing vessels modelled using a Bayesian network. *Environmental Modelling and Software*, 19 : 27–34.
- Litvinov, F.F., P.S Gasyukov, A.Z. Sundakov et O.A. Berezinskiy. 2002. Soviet krill fishery in Atlantic sector of Antarctic in 1977–1992: Part II – CPUE changes and fleet displacement. Document *WG-EMM-02/27*. CCAMLR, Hobart, Australie.
- Litvinov, F.F., V.A. Sushin, G.A. Chernega et O.A. Berezinskiy. 2003. The Soviet krill fishery in the Atlantic Sector of the Antarctic from 1977 to 1991: fishing effort distribution and interannual patterns. *CCAMLR Science*, 10 : 1–13.
- Mackintosh, N.A. 1973. Distribution of post-larval krill in the Antarctic. *Discovery Rep.*, 36 : 95–156.
- Mangel, M. 1988. Analysis and modelling of the Soviet Southern Ocean krill fleet. *In : Communications scientifiques sélectionnées, 1988 (SC-CAMLR-SSP/5)*, Première partie. CCAMLR, Hobart, Australie : 127–235.
- Mangel, M. et P.V. Switzer. 1998. A model at the level of the foraging trip for the indirect effects of krill (*Euphausia superba*) fisheries on krill predators. *Ecol. Model.*, 105 : 235–256.
- Marín, V.H. et L.E. Delgado. 2001. A spatially explicit model of the Antarctic krill fishery off the South Shetland Islands. *Ecol. Appl.*, 11 (4) : 1235–1248.
- Marr, J.W.S. 1962. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Discovery Rep.*, 32 : 33–464.
- Maslennikov, V. (Ed.). 2003. *Climatic Variability and Marine Ecosystem of the Antarctic*. VNIRO : 295 pp.
- May, R.M., J.R. Beddington, C.W. Clark, S.J. Holt et R.M. Laws. 1979. Management of multispecies fisheries. *Science*, 205 : 267–277.
- Miller, D.G.M. et I. Hampton. 1989. Biology and ecology of the Antarctic krill. *BIOMASS Sci. Ser.*, 9 : 166 pp.
- Mori, M. et D.S. Butterworth. Sous presse. Consideration of multispecies interactions in the Antarctic: a preliminary model of the minke whale–blue whale–krill interaction. *African Journal of Marine Science*.
- Murphy, E.J. 1995. Spatial structure of the Southern Ocean ecosystem: predator–prey linkages in Southern Ocean food webs. *J. Anim. Ecol.*, 64 : 333–347.
- Murphy, E.J., D.J. Morris, J.I. Watkins et J. Priddle. 1988. Scales of interaction between Antarctic krill and the environment. *In : Sahrhage, D. (rédacteur). Antarctic Ocean and Resources Variability*. Springer-Verlag, Berlin : 120–130.

- Orsi, A.H., T. Whitworth III et W.D. Nowlin Jr. 1995. On the meridional extent of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Res.*, 42 : 641–673.
- Plagányi, É. et D. Butterworth. Sous presse. The global eco-modelling epidemic: a critical look at the potential of Ecopath with Ecosim to assist in fisheries management. *African Journal of Marine Science*, 26.
- Plagányi, É. et D. Butterworth. In review. Competition between marine mammals and fisheries – can we successfully model this using ECOPATH with ECOSIM? *Proceedings of 4th World Fisheries Congress*.
- Quetin, L.B. et R.M. Ross. 1985. Feeding by Antarctic krill, *Euphausia superba*: does size matter? In : Siegfried, W.R., P.R. Condy and R.M. Laws (rédacteurs). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin : 372–377.
- Quetin, L.B. et R.M. Ross. 1991. Behavioral and physiological characteristics of the Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Am. Zool.*, 31 : 49–63.
- Rodhouse, P.G. et M.R. Clarke. 1986. Distribution of the early-life phase of the Antarctic squid *Galiteuthis glacialis* in relation to the hydrology of the Southern Ocean in the sector 15°E to 30°E. *Mar. Biol.*, 91 : 353–357.
- Rosenberg, A.A., J.R. Beddington et M. Basson. 1986. Growth and longevity of krill during the first decade of pelagic whaling. *Nature*, 324 : 152–154.
- Ross, R.M. et L.B. Quetin. 1991. Ecological physiology of larval euphausiids, *Euphausia superba* (Euphausiacea). *Mem. Queensl. Mus.*, 31 : 321–333.
- Ross, R.M., Quetin, L B. et E. Kirsch. 1988. Effect of temperature on developmental times and survival of early larval stages of *Euphausia superba* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 121 : 55–71.
- Ross, R.M., L.B. Quetin, K.S. Baker, M. Vernet et R.C. Smith. 2000. Growth limitation in young *Euphausia superba* under field conditions. *Limnol. Oceanogr.*, 45 (1) : 31–43.
- Sainsbury, K.J. 1988. The ecological basis of multispecies fisheries, and management of a demersal fishery in tropical Australia. In : Gulland, J.A. (rédacteur). *Fish Population Dynamics* Second Edition, Chapter 14. John Wiley : 349:382.
- Siegel, V. 1987. Age and growth of Antarctic Euphausiacea (Crustacea) under natural conditions. *Mar. Biol.*, 96 : 483–495.
- Siegel, V. 1992. Review of length–weight relationships for Antarctic krill. In : *Communications scientifiques sélectionnées, 1992 (SC-CAMLR-SSP/9)*. CCAMLR, Hobart, Australie : 145–155.
- Thomson, R.B., D.S. Butterworth, I.L. Boyd, et J.P. Croxall. 2000. Modeling the consequences of Antarctic krill harvesting on Antarctic fur seals. *Ecol. Appl.*, 10 (6) : 1806–1819.

Yoshida, T., T. Toda, Y. Hirano, T. Matsuda et S. Kawaguchi. 2004. Effect of temperature on embryo development time and hatching success of the Antarctic krill *Euphausia superba* Dana in the Laboratory. *Mar. Fresh. Behav. Physiol.*, 37 (2) : 137–145.

Tableau 1 : InVitro : Récapitulatif des principaux types et comportements d'agents pouvant être modélisés par le modèle InVitro d'évaluation des stratégies de gestion du plateau Nord-Ouest de l'Australie. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Type d'agents	Description	Cas (espèces ou groupes)	Comportements et caractéristiques
Population	Sous-populations d'espèces mobiles structurées selon l'âge	Poissons (petits et grands Lutjanidae, Lethrinidae, Nemipteridae et Sauridae)	Détermination de l'âge par les classes d'âge, croissance, alimentation, mortalité, déplacement vers un habitat préférable, frai et recrutement à la classe d'âge zéro.
Animal	Individus ou bancs d'espèces mobiles	Crevettes (crevettes banana et royales), tortues, requins, dugongs, oiseaux de mer	Détermination de l'âge, croissance, mortalité, alimentation, évitement, déplacement vers un habitat préférable, frai et recrutement de nouveaux individus ou bancs.
Larve	Stades larvaires (ou infantiles) et juvéniles d'autres types d'agents	Poissons (petits et grands Lutjanidae, Lethrinidae, Nemipteridae et Sauridae)	Advection, colonisation, croissance, mortalité, consommation, déplacement vers les sites de recrutement, recrutement.
Polyorganismes	Grandes concentrations (ou représentations moyennes de terrain) d'espèces ou de groupes de taux de production élevés	Ostréiculture, bancs de blanches	Déplacement, alimentation, mortalité, reproduction, croissance (advection et dispersion).
Benthique	Mosaïque de regroupements définissant l'habitat	Macrophytes (herbier et microalgues), récifs (éponges et coraux), mangroves	Mortalité, reproduction dépendant de la profondeur et du type de sédiments et croissance de la touffe (parfois limitée par la ressource), croissance verticale en une classe de taille/d'âge plus élevée.
Bateau	Minéraliers	Cargos	Route suivie, cargaison, réserve de carburant, état (opérations portuaires, faisant route, dérivant).
Navire	Navires de pêche	Chalutiers, caseyeurs, navires de recherche halieutique	Cargaison, réserve de carburant, état (opérations portuaires, faisant route, dérivant), licences, anciens sites de pêche, allocation de l'effort, type d'engins.
Pêche sportive	Amateur de pêche sportive, secteur d'influence de pêche sportive	Amateurs de pêche sportive	Points d'accès, pression de la pêche (en fonction de la taille de la population humaine et de la distance du port).
Catastrophe	Peu fréquente, événements à grande échelle	Cyclones, déversements, dragage	Dégâts (parfois fatals) pour tous les agents se trouvant sur le chemin de l'impact (selon l'intensité et le type d'événement).
Environnement	Caractéristiques de l'environnement physique	Température, éclairement, profondeur, type de fond marin, courants	Flux des courants, advection, diffusion, absorption, érosion.
Moyen de localisation	Organes de suivi ou d'échantillonnage	Bouée, sites de contrôle, échantillons au hasard des captures	Dérive (le cas échéant), suivi.

(.../...)

Tableau 1 (suite)

Type d'agents	Description	Cas (espèces ou groupes)	Comportements et caractéristiques
Équipement fixe	Emplacements fixes	Ports, plateformes, pipelines	Production, capacité, taille de la population.
Autorités de gestion des pêches	Organe d'évaluation et de gestion des pêches	FMA (pour Fisheries Management Authorities, en anglais)	Évaluation du stock, procédures de décision, règles de gestion, mise en application, contrôle.
Agence de protection de l'environnement	Évaluation de la qualité de l'eau et de la contamination et organe de gestion	EPA (pour Environmental Protection Agency, en anglais)	Contrôle, procédures de décision, règles de gestion, mise en application.
Autorités portuaires	Capacité portuaire, évaluation du trafic des navires et organe de gestion	Ministère des Transports Ministère des Industries primaires	Contrôle, procédures de décision, règles de gestion, mise en application.

Tableau 2 : Liste des taxons examinés lors de l'atelier (* représente les travaux qu'il conviendrait d'effectuer.)
Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Groupement général	Taxons		
Production primaire	Phytoplancton	Boucle microbienne	
Herbivores pélagiques et invertébrés carnivores	Microzooplancton * Copépodes Euphausidés (sauf <i>E. superba</i>)	Mysides Amphipodes	Salpes Méduses *
Espèces-cibles	<i>Euphausia superba</i> <i>Chamsocephalus gunnari</i>	<i>Dissostichus eleginoides</i> * <i>Dissostichus mawsoni</i> *	
Espèces mésopélagiques	<i>Pleuragramma antarcticum</i> Espèces Myctophidae	Calmar – ommostrephidés Calmar – onychoteuthidés	Calmar – autre *
Espèces de poissons démersaux *	Raies * Autres espèces démersales	Raies *	<i>Macrourus</i> spp. *
Manchots	Adélie A jugulaire	Macaroni Papou	Empereur Royal
Phoques	Otarie de Kerguelen Elephant de mer austral	Crabier Ross	Léopard de Weddell
Baleines mysticètes	Petit rorqual A bosse Autres baleines mysticètes – hautes latitudes	Franche australe Rorqual commun Autres baleines mysticètes – subantarctiques	
Odontocètes	Cachalot	Orque	Autres petits cétacés
Gds oiseaux volants	Grand albatros Albatros fuligineux à dos clair	Albatros à tête grise Albatros à sourcils noirs	Pétrel géant
Pts oiseaux volants	Pétrel à menton blanc Pétrel du cap Pétrel antarctique	Pétrel des neiges Pétrel plongeur Pétrel tempête	Fulmar antarctique Antarctic prion Autres prions
Autres oiseaux	Skuas, mouettes, etc.	Cormorans	

Tableau 3 : Facteurs de l'environnement physique qui pourraient être importants pour le fonctionnement de l'écosystème marin de l'océan Austral et dont l'utilité serait considérable dans un modèle couplé de l'écosystème; chaque facteur a un ensemble de propriétés et de forces déterminantes. Les chiffres romains entre crochets ([]) renvoient aux alinéas du paragraphe 4.15 qui décrivent dans leurs grandes lignes les principales fonctions écologiques de l'écosystème marin antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Facteur	Caractéristiques	Forces déterminantes
Glace de mer [i, ii, iv]	Texture de la glace, par ex. chenaux d'eau de mer Couverture de glace – densité aérienne Etendue de la glace Durée de la glace	Température Salinité Stress causé par le vent Courants océaniques Géographie locale
Courants océaniques [i, ii, iii]	Magnitude (volume du flux) Magnitude (dimensions spatiales) Direction Tourbillons (variance) Fronts (dimensions)	Température Salinité Bathymétrie Stress causé par le vent
Eclairement [i]	Magnitude Durée – journée/saison Longueur d'ondes	Latitude Profondeur de la colonne d'eau Couverture de glace Nébulosité Saison
Nutriments [i]	Micronutriments (Fe etc.) Macronutriments (N, P etc.) Forme (NH ₄ , NO ₃ etc.)	Distance de la terre Cycle biologique
Bathymétrie [ii]	Profondeur – pression	

Tableau 4 : Processus de l'environnement physique qui pourraient être potentiellement importants pour le fonctionnement de l'écosystème marin de l'océan Austral et dont l'utilité serait considérable dans un modèle couplé de l'écosystème; chaque processus a un ensemble de propriétés et de forces déterminantes. Les chiffres romains entre crochets ([]) renvoient aux alinéas du paragraphe 4.15 qui décrivent dans leurs grandes lignes les fonctions écologiques principales de l'écosystème marin antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Processus	Forces déterminantes
Echange vertical dans la colonne d'eau [ii, iii]	Upwelling/down-welling/mélange
Déposition atmosphérique [i]	Vent Précipitations
Stratification [ii]	Vent Courants océaniques
Transport d'Ekman [ii]	Vent
Formation de polynies [i, ii]	Upwelling Vent Courants océaniques
Processus locaux [i, ii, iv]	Farine glaciaire Affouillement glaciaire Ruissellement terrestres – rivières, nutriments, pollution
Appauvrissement/enrichissement de nutriments [i]	Cycle biologique Ruissellement depuis les colonies reproductrices de prédateurs
Forces climatiques déterminantes [iv]	El Niño – Oscillation australe Onde circumpolaire antarctique OCA Indice d'oscillation du passage de Drake
Limites externes [i, ii, iii, iv]	Terre Masse d'eau Atmosphère

Tableau 5 : Variation potentielle de certains facteurs physiques entre l'hiver et l'été. La durée des saisons est fonction de la latitude. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Saisonnalité		
Mois d'hiver avril–novembre		Mois d'été décembre–mars
Faible	Température	Elevée
Elevée	Couverture de glace	Faible
Faible intensité	Eclairement	Intensité élevée
Journées courtes	Durée du jour	Longues journées
Plus élevée en surface	Salinité	Plus faible en surface
Magnitude/Largeur/Variations	Courants océaniques	Magnitude/Largeur/Variations
Changement de tendances (latitude)	Vent	Changement de tendances (latitude)

Tableau 6 : Divisions spatiales naturelles de l'océan Austral pouvant affecter le fonctionnement de son écosystème marin. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

DIVISIONS SPATIALES NATURELLES	
Latitude	Haute ←-----→Basse
Terre	Continent/îles et péninsules
Mer	Près des côtes/plateau/pente/haute mer/fronts Profondeur
Couverture de glace	Fond ←-----→Surface Terre/banquise/glaces permanentes/glaces saisonnières/zone marginale de glace/jamais gelé

Tableau 7 : Facteurs liés à la production primaire qui pourraient être importants pour le fonctionnement de l'écosystème marin de l'océan Austral et dont l'utilité serait considérable dans un modèle couplé de l'écosystème; chaque facteur a un ensemble de propriétés et de forces déterminantes. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Facteur	Caractéristiques	Forces déterminantes	
Fractionnement en tailles	Composition en espèces	Micronutriments (Fe, par ex.)	Température
		Macronutriments (N, Si, par ex.)	Salinité
		Distance de la terre	Régime d'éclairement
		Masses d'eau	Longueur des ondes lumineuses
		Proximité des fronts	Couverture de glace
		Vents	Recul de la glace
		Stratification	Brouteurs (d'algues)
Répartition en espèces	Composition en espèces	Micronutriments (Fe, par ex.)	Température
		Macronutriments (N, Si, par ex.)	Salinité
		Distance de la terre	Régime d'éclairement
		Masses d'eau	Longueur des ondes lumineuses
		Proximité des fronts	Couverture de glace
		Vents	Recul de la glace
		Stratification	Brouteurs (d'algues)

Tableau 8 : Récapitulatif des attributs des principaux invertébrés herbivores et carnivores pélagiques de l'océan Austral, exception faite d'*Euphausia superba*. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Taxons	Habitat	Régime alimentaire	Cycle évolutif (années)	Zone de profondeur d'été
Salpes	Océanique	Herbivore	0.5–1	Epipélagique
Copépodes	Océanique	Herbivore Carnivore Omnivore	0.5–1	Epipélagique
Mysides	Plateau insulaire	Carnivore	2	Epibenthique
Amphipodes hypériides	Océanique, plateau insulaire	Carnivore	1–2	Epipélagique
Euphausiidés				
par ex. <i>Thysanoessa macrura</i>	océanique	Omnivore	2	Epipélagique
<i>Euphausia crystallorophias</i>	plateau de haute latitude	Omnivore	2	Epipélagique

Tableau 9 : Caractéristiques de *Chamsocephalus gunnari* à inclure dans la structure générale du modèle de l'écosystème antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

		Stade		
		Larvaire	Juvenile	Adulte
Répartition géographique			De la Géorgie du Sud à la péninsule antarctique, Kerguelen/Heard	De la Géorgie du Sud à la péninsule antarctique, Kerguelen/Heard
Répartition spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes à ce stade du cycle vital		Pélagique en eaux côtières	Benthopélagique dans les eaux du plateau jusqu'à environ 350 m de profondeur
	Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de distribution		Disponibilité des proies et variabilité océanique susceptibles d'influencer la couverture spatiale, mais aucune relation n'a été établie. La descente ontogénétique le long de la pente influence la distribution temporelle.	Disponibilité des proies et variabilité océanique susceptibles d'influencer la couverture spatiale, mais aucune relation n'a été établie. La descente ontogénétique le long de la pente influence la distribution temporelle.
	Profondeur		0–150 m	150–350 m
	Facteurs/fonctions influençant la distribution bathymétrique, y compris changements temporels de distribution		S'étend progressivement sur l'intérieur du plateau dans la zone pélagique et occupe la position la plus basse dans la colonne d'eau.	Arrive sur les sites d'alimentation vers 2 ans. Migrations verticales diurnes du fond, la nuit, à la colonne d'eau le jour.
Structure d'âges			0–2 ans	2–5 ans
Condition	Taille		<240 mm	240–>350 mm
	Reproduction		Immature	Mature
Données d'entrée	Reproduction		-	En général en automne/hiver mais la saison de reproduction varie avec l'emplacement. Fécondité totale estimée 1 294–31 045.

(.../...)

Table 9 (suite)

		Stade		
		Larvaire	Juvenile	Adulte
Résultats	Mortalité		Population juvénile hautement variable, résultant de la variabilité du succès de la ponte et de la survie des juvéniles.	Mortalité probablement relativement faible chez les individus de 2 et 3 ans, en forte augmentation chez ceux de 4 ans. Peu de poissons survivent à 5 ans.
	Prédateurs		Stades larvaires, proies probables d'une grande variété de prédateurs planctoniques (chétognatis, par ex.) et nectoniques (poissons, par ex.); aucune donnée directe. Stades suivants comme pour les adultes.	Otaries et manchots royaux forment les principaux prédateurs mais les taux varient d'une année à l'autre, selon l'abondance du poisson des glaces et/ou du krill. D'autres poissons, oiseaux et mammifères font leur proie, à divers degrés, du poisson des glaces.
	Exploitation		Captures accessoires des pêcheries au chalut mais taux limité par les mesures de conservation.	Cibles de la pêche au chalut.
	Mort (autres sources de mortalité)		-	Disparition rapide des 4+ ans non attribuable à la pêche ou entièrement aux grands prédateurs.
Consommation	Classification, prédateur généraliste ou spécialiste, par ex.		Prédateur spécialiste de zooplancton en concentration.	Prédateur spécialiste de concentrations de zooplancton.
	Type d'aliments		Crustacés (en particulier euphausiidés et amphipodes). <i>E. superba</i> dans le secteur atlantique.	Crustacés (notamment euphausiidés et amphipodes). <i>E. superba</i> dans le secteur atlantique.

Tableau 10 : Caractéristiques d'*Euphausia superba* à inclure dans la structure générale du modèle de l'écosystème antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

			Stade			
			Oufs	Larves	Juveniles/Immatures	Adultes
Distribution spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes pour ce stade du cycle vital	Intrusion de l'ECP supérieure		Couverture de glace	Couverture de glace	Circulation
		Profondeur d'eau		Intrusion de l'ECP supérieure	Température de l'eau	Température de l'eau
	Etendue spatiale de la distribution	Température de l'eau		Température de l'eau	Position des systèmes frontaux	Position des systèmes frontaux
		Position des systèmes frontaux		Position des systèmes frontaux	Position des systèmes frontaux	Position des systèmes frontaux
	Etendue spatiale de la distribution	Température de l'eau		Température de l'eau	Température de l'eau	Température de l'eau
				Etendue des masses d'eau	Etendue des masses d'eau	Etendue des masses d'eau
				Etendue des glaces de mer	Etendue des glaces de mer	Etendue des glaces de mer
Facteurs/fonctions influençant la distribution bathymétrique, y compris les changements temporels de distribution	Intrusion des masses d'eau Advection Déplacement		Etendue des masses d'eau	Etendue des masses d'eau	Etendue des masses d'eau	
			Etendue des glaces de mer	Etendue des glaces de mer	Etendue des glaces de mer	
			Intrusion des masses d'eau	Intrusion des masses d'eau	Intrusion des masses d'eau	
			Advection	Advection	Advection	
			Déplacement	Déplacement	Déplacement	
Profondeur (le cas échéant)	0-1 500 m		<500 m	<500 m	<500 m	
Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris les changements temporels de distribution	Emplacements du frai Descente liée au développement		Emplacements du frai Remontée liée au développement	Migration verticale diurne (DVM) avec changements latitudinaux et temporels (évitement des prédateurs – réaction évolutive ou comportementale) Migrations ontogéniques	DVM avec changements latitudinaux et temporels (évitement des prédateurs – réaction évolutive ou comportementale) Migrations ontogéniques	

(.../...)

Tableau 10 (suite)

			Stade			
			Œufs	Larves	Juveniles/Immatures	Adultes
Condition	Taille	Fonction ou estimation de la taille pour ce stade (courbe de croissance ou taille fixe, par ex.)		Schéma de développement connu, taille à la structure d'âge considérée comme fixe (Ikeda, 1984). Effet de l'approvisionnement en nourriture et de la température (Ross <i>et al.</i> , 1988; Yoshida <i>et al.</i> , 2004)	Courbes de croissance publiées (Ikeda, 1985; Hofmann et Lascara, 2000). Question de la diminution de la taille. Structure d'âges toujours problématique. Longueurs/poids, différences saisonnières (Siegel, 1992). Effet de l'approvisionnement en nourriture et de la température sur la croissance.	Courbes de croissance publiées (Rosenberg <i>et al.</i> , 1985; Siegel 1987; Hosie 1988). Questions de la diminution de la taille (Ikeda et Dixon, 1982). Effet de l'approvisionnement en nourriture et de la température sur la croissance.
	Reproduction	Fonction liée, le cas échéant, à la disponibilité de nourriture (biomasse maximale), aux conditions environnementales, à l'abondance des congénères et aux autres compétiteurs				Reproduction des femelles dépendant d'une consommation très élevée de nourriture, de la longueur de la saison et des conditions en hiver/printemps.
	État de santé	Fonction liée, le cas échéant, aux effets de la consommation de nourriture		A un point critique, les larves meurent.	Une réduction de la nourriture peut mener à un arrêt de croissance ou à une diminution.	Une réduction de la nourriture peut mener à un arrêt de croissance ou à une diminution.

(.../...)

Tableau 10 (suite)

			Stade			
			Œufs	Larves	Juveniles/Immatures	Adultes
	Déchets	Selon le cas, fonction définissant la production de déchets sur la base de l'activité, la consommation et l'environnement		Excrétion, défécation et taux de mue estimés (Quetin et Ross, 1991).	Excrétion, défécation et taux de mue estimés (Ikeda et Thomas, 1987).	Excrétion, défécation et taux de mue estimés (Ikeda et Mitchell, 1982; Clarke <i>et al.</i> , 1988).
Données d'entrée	Reproduction	Fonction portant sur la condition reproductive, l'environnement et l'abondance des reproducteurs, par ex. rapport stock-recrutement modifié selon la condition, ou fécondité modifiée selon la condition d'alimentation.				Voir ci-dessus
	Déplacement physique	Emplacements relatifs dans l'espace et taux de déplacement entre les emplacements, y compris les déplacements au cours d'une année.	Œufs pondus au large	Les larves doivent se rapprocher de la côte pour se métamorphoser en juvéniles.	Observés le plus souvent près des côtes.	Répartition proche de la bordure du plateau, les femelles gravides vont pondre au large, il est possible que tous les adultes se rapprochent de la côte en hiver.
		Emplacements relatifs en profondeur et taux de déplacement entre les profondeurs, y compris les déplacements au cours d'une année.	Œufs pondus en surface, les embryons coulent	Les larves précoces se rapprochent de la surface en se développant, les larves plus tardives restent dans les eaux de surface et probablement sous la glace en hiver.	DVM en été.	DVM en été. Peut varier d'une saison à une autre (durée du jour ?).

(.../...)

Tableau 10 (suite)

			Stade			
			Œufs	Larves	Juveniles/Immatures	Adultes
Résultats	Prédateurs	Identifier les prédateurs, y compris, le cas échéant, l'importance relative de l'emplacement, la profondeur et la date.			Prédateurs terrestres limités aux aires d'alimentation; oiseaux de mer et prédateurs pélagiques moins limités dans leur aire de répartition.	Prédateurs terrestres limités aux aires d'alimentation; oiseaux de mer et prédateurs pélagiques moins limités dans leur aire de répartition.
	Exploitation	Identifier, le cas échéant, le degré d'exploitation à des emplacements, profondeurs et dates différents et préciser le type de méthode.				Le long de la rupture du plateau/pente, près de la bordure de la glace. En été, exploitation au chalut pélagique à 20–80 m de profondeur, en automne 30–150 m de profondeur et en hiver ~400 m de profondeur.
Consommation	Types de nourriture	Identifier les proies, y compris, le cas échéant, l'importance relative à des emplacements, profondeurs et dates différents.		Phytoplancton, zooplancton et communauté microbienne sous la glace. Calyptopis, premier stade alimentaire, 30 jours après la ponte	La plupart des particules >5 µm de diamètre dans les 200 m de surface. Dans les eaux plus profondes, probablement nourriture détritique. Alimentation sous la glace à la fin de l'hiver.	La plupart des particules >5 µm de diamètre dans les 200 m de surface. Dans les eaux plus profondes, probablement nourriture détritique. Alimentation sous la glace à la fin de l'hiver.

(.../...)

Tableau 10 (suite)

		Stade			
		Œufs	Larves	Juveniles/Immatures	Adultes
Relations alimentaires fonctionnelles des différentes proies	Inclure, le cas échéant, les variations de relations alimentaires susceptibles d'être rencontrées à des emplacements, profondeurs et/ou dates différents, ou influencées par les caractéristiques environnementales (glaces, par ex.)			Efficacité de rétention maximale >30 µm. Courbes de réponse fonctionnelle décrites pour différents types de nourriture et concentrations (Ross et Quetin, 2000).	Efficacité de rétention maximale >30 µm. Courbes de réponse fonctionnelle décrites pour différents types de nourriture et concentrations (Quetin et Ross, 1985; Ross <i>et al.</i> , 2000).

Tableau 11 : Caractérisation des éléments de poissons mésopélagiques et motifs de la division. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Élément	Description	Espèces dominantes	Questions
Plateau subantarctique	Restreint aux plateaux des îles subantarctiques.	<i>Champscephalus gunnari</i>	Peut-être équivalent à l'élément <i>C. gunnari</i> . Est-il important d'examiner des taxons autres que <i>C. gunnari</i>
Mésopélagique subantarctique	Largement réparti dans l'environnement pélagique au-delà du plateau au nord de la limite sud du CCA.	<i>Electrona carlsbergi</i> <i>Krefflichthys anderssoni</i>	D'autres espèces peuvent être importantes, selon leur emplacement. Est-il nécessaire d'inclure <i>Nototheniops larseni</i> ?
Néritique antarctique	Restreint aux plateaux insulaires du continent antarctique.	<i>Pleuragramma antarcticum</i> <i>Chaenodraco wilsoni</i>	Suggéré en tant qu'alternative fonctionnelle au poisson des glaces pour le plateau continental antarctique. Est-il important d'examiner d'autres taxons ?
Mésopélagique antarctique	Largement réparti dans l'environnement pélagique au-delà du plateau au sud de la limite sud du CCA.	<i>Electrona antarctica</i> <i>Gymnoscopelus nicholsi</i>	

Tableau 12 : Caractéristiques des poissons pélagiques à inclure dans la structure générale du modèle de l'écosystème antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

(a) Poissons mésopélagiques subantarctiques (tels qu'*Electrona carlsbergi*, *Krefflichthys anderssoni*).

		Circumpolaire
Distribution géographique		
Distribution spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique importantes à ce stade du cycle vital Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de distribution	Largement distribué dans l'environnement pélagique du large, au nord de la limite sud du CCA. Distribution spatiale, saisonnière et bathymétrique influencées par la température de l'eau/masse d'eau. Principales aires d'alimentation dans le Front polaire. Abondance maximale associée au Front polaire.
	Profondeur	50–200 m de profondeur dans les régions au sud de 50° en fonction de la MVN. De plus en plus profondément au nord du Front polaire (500–600 m) vers la Convergence subtropicale (STC) (>1 000 m).
	Facteurs/fonctions influençant la distribution bathymétrique, y compris changements temporels de distribution :	Température de l'eau/masses d'eau (c-à-d., position du Front polaire). MVN : migrent de 80–140 m à la surface à 18h00. Observés à 200–250 m le jour.
Structure d'âge		Inconnue, <5–6 ans d'âge maximum
Condition	Taille	70–100 mm de taille maximum, soit une croissance présumée d'environ 30 mm/an pour les 2–3 premières années.
	Reproduction	Taille à la maturité ~75mm Age à la maturité ~2–3 ans Frai en série, fin hiver/début printemps ou été/automne au nord du Front polaire.
Données d'entrée	Reproduction	Suggèrent une distribution lognormale et corrélation possible avec l'environnement.
	Mortalité	-
Résultats	Prédateurs	Principaux : manchots royaux, gorfous de Schlegel/macaroni, manchots sauteurs et papous, otaries de Kerguelen selon l'emplacement géographique, calmars (?), <i>D. eleginoides</i> Secondaires : <i>C. gunnari</i> à l'île Heard et autres espèces de poisson (?)
	Exploitation	Ancienne : pêche commerciale au chalut.
	Mort (autres sources de mortalité)	Inconnue
Consommation	Classification, prédateurs généralistes ou spécialistes, par ex.	Généraliste (?)
	Type de nourriture	Principaux éléments : copépodes et, en moindre quantité, hypériiides, euphausiidés, ptéropodes et ostracodes. Deux périodes principales d'alimentation : une longue période le soir et une période plus courte le matin.

(.../...)

Tableau 12 (suite)

(b) Poissons néritiques antarctiques (tels que *Pleuragramma antarcticum*, *Chaenodraco wilsoni*)

Distribution géographique		Circumpolaire (?)
Distribution spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes à ce stade du cycle vital	Restreints aux plateaux insulaires du continent antarctique. Il est présumé que <i>P. antarcticum</i> peut représenter une alternative fonctionnelle à <i>C. gunnari</i> pour le plateau continental antarctique. Question : doit-on examiner les autres taxons ?
	Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de distribution	-
	Profondeur	100–500 m
	Facteurs/fonctions influençant la distribution bathymétrique, y compris changements temporels de distribution	MVN : oui 100 (nuit)–200 m (jour)
Structure d'âge	maximum de 10 ans	Inconnue
Condition	Taille	Taille adulte = 120–250 mm
	Reproduction	Mature à 3–4 ans Période de frai octobre–décembre
Données d'entrée	Reproduction	Suggèrent une distribution lognormale et corrélation possible avec l'environnement.
	Mortalité	-
Résultats	Prédateurs	<i>D. mawsoni</i> , autres poissons, phocidés (?)
	Exploitation	Ancienne : pêche au chalut de <i>C. wilsoni</i>
	Mort (autres sources de mortalité)	Inconnue
Consommation	Classification, prédateurs généralistes ou spécialisés, par ex.	Prédateur généraliste de zooplancton (?)
	Type de nourriture	<i>E. superba</i> (?), autre krill (?), copépodes (?)

(.../...)

Tableau 12 (suite)

(c) Poissons mésopélagiques antarctiques (*Electrona antarctica*, *Gymnoscopelus nicholsi*, par ex.).

Distribution géographique		Circumpolaire
Distribution spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes à ce stade du cycle vital	Abondante au sud du Front polaire jusqu'au plateau de la pente continentale.
	Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de distribution	Concentrés le long du plateau et du Front polaire au printemps et en été.
	Profondeur	250 m supérieurs au printemps et en été, 350–700 m en hiver.
	Facteurs/fonctions influençant la distribution bathymétrique, y compris changements temporels de distribution	Tendance saisonnière suggérée : (i) concentration en surface 100–200 m à la bordure du plateau ou sur le front polaire au printemps et en été, (ii) déplacement vers des eaux plus profondes (350–700 m) en hiver. Il est suggéré que le déplacement saisonnier est dicté par celui par celui des invertébrés en tant que sources d'alimentation.
Structure d'âge	Maximum de 5–6 ans	Inconnue
Condition	Taille	Intervalle de tailles des espèces (<i>E. antarctica</i> , <i>G. nicholsi</i>) 100–200 mm de LT; <i>G. nicholsi</i> est proche de la limite supérieure de l'intervalle. 15–51 g <5 ans Taux de croissance 27–34 mm par an Il pourrait être bon de considérer deux classes fondées sur la taille et la maturité.
	Reproduction	Ponte hivernale
Données d'entrée	Reproduction	Suggèrent une distribution lognormale et corrélation possible avec l'environnement.
	Mortalité	-
Résultats	Prédateurs	Principaux : manchots royaux, otaries de Kerguelen. Secondaires: manchots de Schlegel/macaroni et manchots papous, otaries de Kerguelen, albatros à sourcils noirs et albatros à tête grise, pétrels à menton blanc et pétrels des neiges, <i>D. eleginoides</i> , cormorans à l'île Heard.
	Exploitation	Ancienne : pêche au chalut
	Mort (autres sources de mortalité)	
Consommation	Classification, prédateurs généralistes ou spécialistes, par ex.	Généraliste
	Type de nourriture	Se nourrissent de tous les organismes abondants, principalement copépodes et euphausiidés, mais aussi amphipodes, ptéropodes, ostracodes. Proportion accrue d'euphausiidés chez les poissons les plus grands.

Tableau 13 : Caractéristiques des cinq éléments des calmars à inclure dans la structure générale du modèle de l'écosystème antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

(a) Calmar onychoteuthidé

		Juveniles	Adultes
Répartition géographique du taxon		Circumpolaire dans les régions subantarctiques et antarctiques.	Circumpolaire dans les régions subantarctiques et antarctiques.
Répartition spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes pour ce stade vital	Plateaux et pentes des masses terrestres dans les régions subantarctiques et antarctiques.	Pentes des masses terrestres dans les régions subantarctiques et antarctiques.
	Etendue spatiale ou aire de répartition	Plateau/pente (cf. ci-dessus)	Pente (cf. ci-dessus)
	Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de répartition	Disponibilité des proies et variabilité océanique susceptibles d'influencer la couverture spatiale bien qu'aucune relation ne soit encore établie. La descente ontogénique le long de la pente influence la répartition temporelle.	Disponibilité des proies et variabilité océanique susceptibles d'influencer la couverture spatiale bien qu'aucune relation n'ait été établie. La descente ontogénique le long de la pente influence la répartition temporelle.
	Profondeur (le cas échéant)	0–1 000 m	400 – \geq 2 000 m
	Facteurs/fonctions influençant la répartition bathymétrique, y compris changements temporels de répartition	Descente ontogénique le long de la pente au fur et à mesure de l'augmentation de la taille et de la maturation. Aucune observation de migration verticale nycthémerale (MVN). Vérifier si cette MVN a été relevée chez d'autres espèces (Rodhouse et Clarke, 1986, par ex.), et inclure comme alternative à l'absence de MVN.	Descente ontogénique le long de la pente au fur et à mesure de l'augmentation de la taille et de la maturation. Aucune observation de migration verticale nycthémerale (MVN).
	La banquise affecte-t-elle la répartition ?	Répartition comprenant la zone de banquise; la relation avec l'étendue et le retrait de la banquise n'est pas connue.	Répartition comprenant la zone de banquise; la relation avec l'étendue et le retrait de la banquise n'est pas connue.
Structure d'âge (le cas échéant)		-	-
Unités		Biomasse	Biomasse
Condition	Taille	Voir WG-EMM-04/26, figure 8	Voir WG-EMM-04/26, figure 8
	Reproduction	-	-
	État de santé	-	-
	Déchets	-	-

(.../...)

Tableau 13(a) (suite)

		Juveniles	Adultes
Données d'entrée	Reproduction	-	Deux pics de reproduction par an (à la fin de l'été et à la fin de l'hiver). Fécondité totale estimée (c.-à-d., estimation du nombre d'ovules) pour <i>Moroteuthis ingens</i> : 84 379–286 795.
	Déplacement physique	Descente ontogénique le long de la pente au cours du cycle vital.	Descente ontogénique le long de la pente au cours du cycle vital.
	Déplacement entre les stades du cycle vital	Tous les juvéniles (sauf ceux ayant fait l'objet de prédation, capture accessoire ou mortalité naturelle) atteignent le stade adulte après 6–7 mois (environ 200 jours).	100% de mortalité naturelle de tous les adultes (sauf ceux ayant fait l'objet de prédation ou de capture accessoire) au bout d'environ 1 an. Cycle vital de 2 ans possible pour certaines espèces de calmars antarctiques (voir plus bas les Ommastrephidae)
Résultats	Prédateurs	Prédateurs céphalopodes et vertébrés à la recherche de nourriture dans les environnements épipélagiques et mésopélagiques supérieurs du plateau/de la pente des régions subantarctiques à l'Antarctique.	Prédateurs céphalopodes et vertébrés à la recherche de nourriture dans les environnements mésopélagiques de la pente des régions subantarctiques à l'Antarctique.
	Exploitation	Capture accessoire de la pêche au chalut dans les environnements de plateau/pente.	Capture accessoire de la pêche au chalut dans les environnements de plateau/pente.
	Mort (autres sources de mortalité)	-	-
Consommation	Classification, consommateur généraliste ou spécialiste, par ex.	Prédateur opportuniste, spécialiste.	Prédateur opportuniste, généraliste.
	Types d'aliments	Crustacés (euphausiidés en particulier, ainsi qu'amphipodes et copépodes), petits céphalopodes et juvéniles de poissons. Il est important d'envisager la possibilité d'une prédation plus élevée (par le cannibalisme) sur la seconde cohorte par la première au cours d'une saison et, dans le cas d'un cycle vital de deux ans, d'une classe d'âge sur celle de l'année suivante.	Myctophidae, autres poissons mésopélagiques, tels que <i>Bathylagus antarcticus</i> , céphalopodes dont des onychoteuthidae juvéniles.

(.../...)

Tableau 13(a) (suite)

		Juveniles	Adultes
Consommation (suite)	Relations alimentaires fonctionnelles pour différentes proies	Taille des proies : minimale >10 mm; maximale <200 mm. Ne s'empare que de proies pélagiques mobiles.	Taille des proies : minimale >10 mm; maximale = taille approximative (de la longueur du manteau) de chaque calmar. Ne s'empare que de proies pélagiques mobiles.
(b) Calmars ommastrephidés			
Répartition géographique du taxon			Circumpolaire dans les régions subantarctiques et antarctiques mais pas dans les hautes latitudes de l'Antarctique.
Répartition spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes pour ce stade vital	Pentes	Plateaux (pour le frai) et les pentes des masses terrestres et en plein océan pour l'alimentation.
	Etendue spatiale de l'aire de répartition	Dans l'Atlantique du sud-ouest, la répartition des juvéniles dépasse de beaucoup la région (plateau de Patagonie). En dehors de l'Atlantique du sud-ouest, la répartition n'est pratiquement pas connue.	Proportion importante de biomasse associée au Front Polaire.
	Facteurs/fonctions influençant la répartition bathymétrique, y compris changements temporels de répartition	La ponte a lieu sur le plateau (de Patagonie) où se développent les juvéniles.	Les migrations pour l'alimentation et le frai influencent la répartition spatiale. Concentrations souvent associées aux systèmes de fronts océaniques. Variation spatio-temporelle marquée de la répartition.
	Profondeur (le cas échéant)	0–200 m	0–≥ plusieurs centaines de mètres.
	Facteurs/fonctions influençant la répartition bathymétrique, y compris changements temporels de répartition	MVN sur le plateau	Migrations verticales nyctémérales pour se rapprocher de la surface dans l'obscurité.
	La banquise affecte-t-elle la répartition ?	Non, parce que les juvéniles se trouvent ailleurs.	Jamais observés dans les hautes latitudes de l'Antarctique; banquise peu susceptible d'affecter la répartition.

(.../...)

Tableau 13(b) (suite)

		Juveniles	Adultes
Structure d'âges (le cas échéant)			-
Unités		Biomasse	Biomasse
Condition	Taille		Voir WG-EMM-04/26, figure 9
	Reproduction	-	-
	État de santé	?	-
	Déchets	?	-
Données d'entrée	Reproduction	Se reproduit toute l'année; fécondité potentielle par femelle estimée à 115 000– 560 000 (estimation du nombre d'ovules).	Juveniles arrivant, moins consommation.
	Déplacement physique	Pour s'alimenter, les juvéniles migrent passivement des lieux de reproduction avec les courants.	La population adulte connaît une migration active pour se reproduire vers les lieux de frai, à savoir, dans l'Atlantique du sud-ouest, sur le plateau de Patagonie.
	Déplacement entre les stades du cycle vital	Progression entre les juvéniles et les adultes fondée sur la taille	Morts/consommés
Résultats	Prédateurs		Prédateurs céphalopodes et vertébrés à la recherche de nourriture dans les environnements épipelagiques et mésopélagiques supérieurs du plateau/de la pente et dans le plein océan. Total de la prédation dans la mer du Scotia estimé à 326 000– 381 000 tonnes par an.
	Exploitation	-	Capture accessoire d'autres pêcheries de calmar à la turlutte des îles Malouines/Falkland et du plateau de Patago- nie; parfois aussi cible de la pêche à la turlutte dans la sous-zone 48.3 de la CCAMLR.
	Mort (autres sources de mortalité)		100% de mortalité naturelle de la population adulte restant après la reproduction.

(.../...)

Tableau 13(b) (suite)

		Juveniles	Adultes
Consommation	Classification, consommateurs généralistes ou spécialistes, par ex.	Prédateur opportuniste et généraliste.	Prédateur opportuniste et généraliste.
	Types d'aliments	?? consomment du zooplancton de plus petite taille et des poissons larvaires, congénères.	Myctophidae (dont, en particulier <i>Krefflichthys anderssoni</i>), céphalopodes, y compris cannibalisme sur les individus de la même espèce, crustacés y compris <i>E. superba</i> et amphipode <i>T. gaudichaudii</i> .
	Relations alimentaires fonctionnelles pour différentes proies	Ne s'empare que de proies pélagiques mobiles. Un calmar peut prendre une proie aussi grosse que lui tout en continuant à prendre des proies plus petites (??)	Ne s'emparent que de proies pélagiques mobiles. Un calmar peut prendre une proie aussi grosse que lui tout en continuant à prendre des proies plus petites.

(c) Calmar nectonique de petite et de moyenne tailles

Répartition géographique du taxon		Répartition circumpolaire ininterrompue dans les régions subantarctiques et antarctiques.
Répartition spatiale	Caractéristiques de l'environnement physique qui sont importantes pour ce stade vital	Plateaux et pentes des masses terrestres et dans le plein océan, des régions subantarctiques aux hautes latitudes de l'Antarctique. Espèce omniprésente dans toute la répartition.
	Etendue spatiale de l'aire de répartition	Voir ci-dessus
	Facteurs/fonctions influençant la couverture spatiale, y compris changements temporels de répartition :	Dans l'attente d'autres données, la couverture spatiale de ce groupe de modèles devrait rester inchangée dans toutes les régions subantarctiques et les hautes latitudes de l'Antarctique. (Pour plus de détails sur les différences spécifiques, voir WG-EMM-04/26, figure 8.)
	Profondeur (le cas échéant)	0 – \geq 2 000 m
	Facteurs/fonctions influençant la répartition bathymétrique, y compris changements temporels de répartition :	Dans l'attente d'autres données, la couverture bathymétrique de ce groupe de modèles devrait rester inchangée dans toutes les régions subantarctiques jusqu'aux hautes latitudes de l'Antarctique. (Pour plus de détails sur les différences spécifiques, voir WG-EMM-04/26, figure 8).
	La banquise affecte-t-elle la répartition ?	Répartis dans toute la zone de banquise; il ne semblerait pas que la banquise affecte la répartition.
Structure d'âges (le cas échéant)		-

(.../...)

Tableau 13(c) (suite)

Unités		Biomasse
Condition	Taille	Voir WG-EMM-04/26, figure 1
	Reproduction	-
	État de santé	-
	Déchets	-
Données d'entrée	Reproduction	Se reproduit toute l'année, sur la pente ou la rupture de pente des plateaux des régions subantarctiques et des hautes latitudes de l'Antarctique, ainsi qu'en plein océan.
	Déplacement physique	-
	Déplacement entre les stades du cycle vital	-
Résultats	Prédateurs	Elément important du régime alimentaire de nombreux prédateurs vertébrés de l'Atlantique du sud-ouest; ≥ 3 espèces de calmars se retrouvent présentes en même temps dans le régime alimentaire de 11 prédateurs, parmi lesquels des manchots, des albatros, des phoques, des cétacés et du poisson. Fait la proie d'autres céphalopodes.
	Exploitation	Capture accessoire occasionnelle, rejeté.
	Mort (autres sources de mortalité)	100% de mortalité naturelle de la population adulte restante après le frai.
Consommation	Classification, consommateurs généralistes ou spécialistes, par ex.	Prédateur opportuniste et généraliste.
	Types d'aliments	Poissons mésopélagiques et céphalopodes de petite taille, zooplancton dont euphausiidés, copépodes et amphipodes <i>T. gaudichaudii</i> .
	Relations alimentaires fonctionnelles pour différentes proies	Ne s'empare que de proies pélagiques mobiles. Un calmar peut prendre une proie aussi grosse que lui tout en continuant à prendre des proies plus petites.

Tableau 14 : Matrice de transition possible pour le manchot Adélie. Les chiffres se rapportent aux fonctions et à l'analyse dans le texte. (X représente la probabilité d'une transition; "Durée" représente la période passée à l'étape à gauche; "Fonction" représente la fonction écologique ou physique dont découle la probabilité de la transition.) Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

	1 ^e mue	Pré-reproducteur (Itinérant)	Pré-reproducteur (Colonie)	Non-reproducteur (Itinérant)	Non-reproducteur (Colonie)	Reproducteur
Poussin	X Temps : Fonction :					
1 ^e mue		X Durée : 1 an Fonction : 1	X Durée : 1 an Fonction : 1			
Pré-reproducteur (Itinérant)		X Durée : Fonction :	X Durée : Fonction :			X Durée : 3–5 hivers Fonction : 2, 3
Pré-reproducteur (Colonie)		X Durée : Fonction :	X Durée : Fonction :			X Durée : 3–5 hivers Fonction : 2, 3
Non-reproducteur (Itinérant)				X Durée: annuelle Fonction :	X Durée : annuelle Fonction :	X Durée : annuelle Fonction :
Non-reproducteur (Colonie)					X Durée : annuelle Fonction :	X Durée : annuelle Fonction :
Reproducteur					X Durée : annuelle Fonction :	X Durée : annuelle Fonction :

Tableau 15 : Catégories de matrice de transition possible pour d'autres taxons d'oiseaux et de mammifères marins. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Albatros et grands pétrels	Petits pétrels	Otaries de Kerguelen	Phoques de banquise (crabier, de Ross et léopard de mer)	Phoques de Weddell	Eléphants de mer australs	Baleines mysticètes	Odontocètes
Poussin	Poussin	Jeune	Jeune	Jeune	Jeune	Baleineau	Baleineau
1 ^e mue	1 ^e mue	Juvenile	Juvenile	Juvenile	Juvenile	Juvenile	Juvenile
Juvenile	Juvenile	Sub-adulte mâle	Non-reproducteur	Non-reproducteur	Sub-adulte mâle	Non-reproducteur	Non-reproducteur
Reproducteur	Reproducteur	Non-reproducteur mâle	Reproducteur	Reproducteur	Non-reproducteur mâle	Reproducteur	Reproducteur
Reproducteur ayant échoué	Reproducteur ayant échoué	Reproducteur mâle			Reproducteur mâle		
Non-reproducteur	Non-reproducteur	Reproducteur femelle			Reproducteur femelle		
		Reproducteur femelle ayant échoué			Reproducteur femelle ayant échoué		

Tableau 16 : Classification des éléments du régime alimentaire des oiseaux et mammifères marins. Les éléments entre crochets servent de guide et devront être précisés. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Catégorie de régime alimentaire	Niveau de classification
Copépode	[grand, petit]
Amphipode	Themisto, autre
Mysides	[taxon]
Krill	[sexe, état, taille]
Calmar	[grand, petit; vivant, mort]
	Onychoteuthidé Ommastrephidé Autre
Poisson	[adulte, juvénile]
	Légine Poisson des glaces Myctophidé Autre [grand, petit]
Charogne	[taxon]
Oiseaux	[taxon]
Mammifères marins	[taxon]

Tableau 17 : Analyse qualitative des proies d'oiseaux et de mammifères marins du secteur atlantique de l'océan Austral. Les prédateurs figurent dans la colonne de gauche. Les autres colonnes représentent les groupes de proies fondés sur la classification donnée au tableau 4.16. Le nombre de X correspond à l'importance potentielle de la proie. (X) indique présence occasionnelle. Gd – grand, Pt – petit. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

	Copépodes	Amphipodes	Krill	Calmar		Poisson des glaces	Myctophidae	Autres poissons		Charogne	Phoques	Oiseaux de mer
				Pt/vivant	Gd/mort			Gd	Pt			
Grands oiseaux volants :												
Grand albatros					XX			X		XX		
Albatros fuligineux à dos clair			X	X	X			X		X		(X)
Albatros à tête grise			X	XX			X					
Albatros à sourcils noirs			XX	X			X			X		
Pétrel géant			X		X					XXX		X
Petits oiseaux volants :												
Pétrel à menton blanc			XX	XX			XX			X		
Prion antarctique	XX	X	XX									
Pétrel du Cap			XX				X	XX				
Fulmar antarctique			XX	X				X				
Pétrel antarctique			XX	X				X				
Pétrel des neiges			XX					X				
Pétrel plongeur	XX	X	XX									
Pétrel tempête	XX	X	X				X					
Manchots :												
Royal				X			XXX					
Empereur			X	X				XXX				
Papou			XX			XX		X	X			
Adélie/à jugulaire			XXX				X					
Macaroni		X	XXX									
Mammifères marins :												
Cétacés :												
Baleine mysticète			XXX									
Odontocète				XX				XX				
Cachalot				XXX								
Orque								X			XXX	
Phoques :												
Otarie			XXX			XX	X			X		
Crabier			XXX									
De Weddell				XX				XXX				
Léopard de mer			XX					XX			XX	
De Ross				XX	X			XX				
Eléphant de mer				XX	XX			XX				

Tableau 19 : Sites d'alimentation d'oiseaux et de mammifères marins pendant les saisons de non-reproduction respectives (voir le tableau 18 pour une explication des abréviations). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Groupe	Taxon	Stade de vie	Partie de l'année/ cycle reproducteur	Glaces de mer				Courant côtier			Courant circumpolaire antarctique														
				Polynie	Ban- quise	Zone marg. ZMG glaces	Hors- ZMG	S	SB	O	Zone Antarctique					Zone frontale polaire					Zone subantarctique				
											SACCB	SACCF	S	SB	O	PF	SAF	S	SB	O	STF	S	SB	O	
Grands oiseaux volants	Grand albatros	Adulte	Année sabbatique													X			X	X				X	X
	Albatros fuligineux à dos clair	Adulte	Hiver				X									X				X					
	Albatros à tête grise	Adulte	Année sabbatique													X	X			X		X			X
	Albatros à sourcils noirs	Adulte	Hiver																	X			X	X	
	Pétrel géant	Adulte	Hiver															X		X			X		X
Petits oiseaux volants	Pétrel à menton blanc	Adulte	Hiver											X	X	X			X		X	X	X	X	X
	Prion antarctique	Adulte	Hiver											X	X										
	Autre prions	Adulte	Hiver											X	X				X		X				
	Pétrel du Cap	Adulte	Hiver				X							X	X	X	X	X				X	X	X	X
	Fulmar antarctique	Adulte	Hiver				X							X	X	X	X	X				X	X	X	X
	Pétrel antarctique	Adulte	Hiver	X		X	X							X											
	Pétrel des neiges	Adulte	Hiver	X		X	X							X											
	Pétrel plongeur	Adulte	Hiver												X	X	X								
	Pétrel tempête	Adulte	Hiver												X		X			X	X	X	X	X	X

(.../...)

Tableau 20 : Raisons successives, suivant la saison, des décisions prises d'un mois à l'autre par le capitaine quant aux lieux de pêche dans les sous-zones 48.1, 48.2 et 48.3 (WG-EMM-04/51). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

		Raisons de la décision					
	Mois	Densité	Changements de taille du krill	Krill trop vert	Trop de salpes	Conditions de la glace	Trans-bordement
Iles Shetland du Sud sous-zone 48.1	Décembre	16	0	1	0	0	0
	Janvier	34	2	14	1	0	3
	Février	19	2	9	5	0	0
	Mars	37	1	6	2	0	2
	Avril	46	4	4	0	0	2
	Mai	32	2	0	0	4	1
	Juin	10	1	0	0	2	0
	Juillet	5	0	0	0	2	1
Orcades du Sud sous-zone 48.2	Décembre	3	0	2	0	0	0
	Janvier	0	0	2	0	0	1
	Février	2	0	1	0	1	0
	Mars	7	0	1	0	2	0
	Avril	4	1	1	0	0	0
	Mai	3	1	0	0	3	0
	Juin	4	1	0	0	7	0
Géorgie du Sud sous-zone 48.3	Mai	1	0	0	0	0	0
	Juin	4	0	0	0	0	0
	Juillet	0	0	0	0	0	0
	Août	1	1	0	0	0	0
	Septembre	3	0	0	0	0	0

Tableau 21 : Caractéristiques de la pêche au krill. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Taxons	<p>Chalutiers à krill, considérations générales</p> <p>Nations</p> <p>Flottes</p> <p>Navires individuels</p> <p>Taille du navire</p> <p>Type d'usine (produits)</p> <p>Capacité de l'usine (sur la base du krill entier)</p> <p>Type d'engin</p>
Stade	A l'étude, établi
Unités	Nombre (navires), nombre de traits (effort de pêche), capture (tonnes), durée des opérations (jours, heures)
Caractéristiques du lieu de pêche	<p>Relation avec les caractéristiques environnementales</p> <ul style="list-style-type: none"> • bordure de glace • topographie du fond (distance relative à la bordure du plateau) • caractéristiques hydrodynamiques de la région → courants complexes autour des îles et effets causés par la topographie; • flux de krill, schéma de la distribution spatiale du krill <p>Zone 48 – secteurs de pêche</p> <p>Géorgie du Sud, îles Orcades du Sud, île Éléphant, îles du roi George et Livingston, péninsule antarctique</p> <p>et dans ces secteurs de pêche, se trouvent plusieurs lieux de pêche locaux</p>
Prise de décision	<p>Capitaines</p> <p>Reposant sur l'expérience et l'accumulation d'informations (biologiques, environnementales, réglementation, physiques, logistiques)</p> <p>Compagnie (demande du marché, prix, stocks restants, économie, logistique)</p>
Facteurs affectant le comportement	<p>Aspects physiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-saisonnier → topographie du fond (profondeur et espace) • Saisonnier → conditions météorologiques <p>Biologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Krill → distribution, couleur (vert, rouge/blanc), taille, maturité, taille et type de concentration • Autres espèces → salpes, poissons, prédateurs <p>Communication avec d'autres navires, ou suivi</p> <p>Logistique → transfert de la cargaison, urgences</p>

Tableau 22 : Caractéristiques de la pêche au poisson des glaces. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

Taxons	Navires de pêche au poisson des glaces, considérations générales Nations Flottes Navires individuels Taille du navire Type d'usine (produits) Type d'engin
Stage	A l'étude, établi
Unités	Nombre (navires), nombre de traits (effort), capture (tonnes), durée des opérations (jours, heures)
Caractéristiques du lieu de pêche	Relation avec les caractéristiques environnementales Topographie du fond (zone du plateau) Caractéristiques biologiques Concentration Zone 48 – secteur de pêche sous-zone 48.3 Zone 58 – secteurs de pêche Divisions 58.5.1 et 58.5.2
Prise de décision	Capitaines Reposant sur l'expérience et l'accumulation d'informations (biologiques, environnementales, réglementation, physiques, logistiques) Compagnie (demande du marché, prix, stocks restants, économie, logistique)
Facteurs affectant le comportement	Aspects physiques <ul style="list-style-type: none"> • Non-saisonnier → topographie du fond (profondeur et espace) • Saisonnier → conditions météorologiques Biologiques <ul style="list-style-type: none"> • Poisson des glaces → distribution, taille, maturité • Concentration → taille, type • Autres espèces → espèces des captures accessoires Communication avec d'autres navires, ou suivi Logistique → transfert de la cargaison, urgences Réglementation → fermeture spatio-temporelle, taille minimum, capture accessoire.

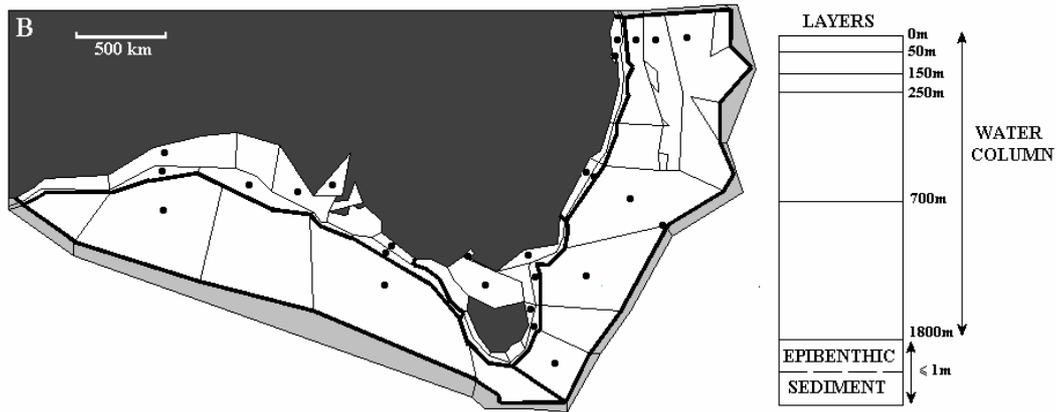


Figure 1 : Exemple des géométries spatiales horizontales et verticales utilisées pour définir un écosystème dans l'Atlantique. Sur le plan vertical, si la profondeur du polygone est inférieure à la profondeur verticale maximale, la ou les couches de la colonne d'eau sont tronquées en conséquence (par ex., une case du schéma B de 100 m de profondeur aurait 2 couches de 50 m chacune dans la colonne d'eau). Les cases de haute mer de plus de 1 800 m de profondeur n'ont pas de couche épibenthique ou sédimentaire et sont considérées comme ayant une limite ouverte en dessous de la couche d'eau la plus profonde. Il convient de noter que les traits fins noirs délimitent les cases du modèle, les traits épais, les zones de gestion et les pointillés noirs, les sites d'échantillonnage (utilisés dans le modèle d'observation) (tiré de Fulton *et al.*, sous presse). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

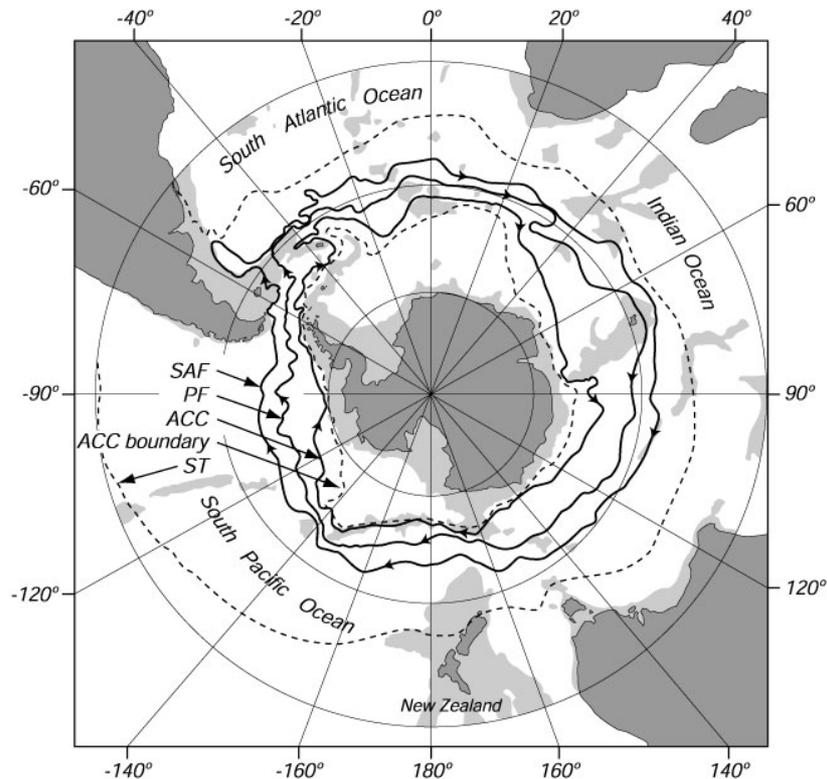


Figure 2 : Principales caractéristiques des fronts de l'océan Austral (Orsi *et al.*, 1995) et limites géographiques de la CCAMLR (figure tirée de http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter13/Images/fig13-13.htm). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

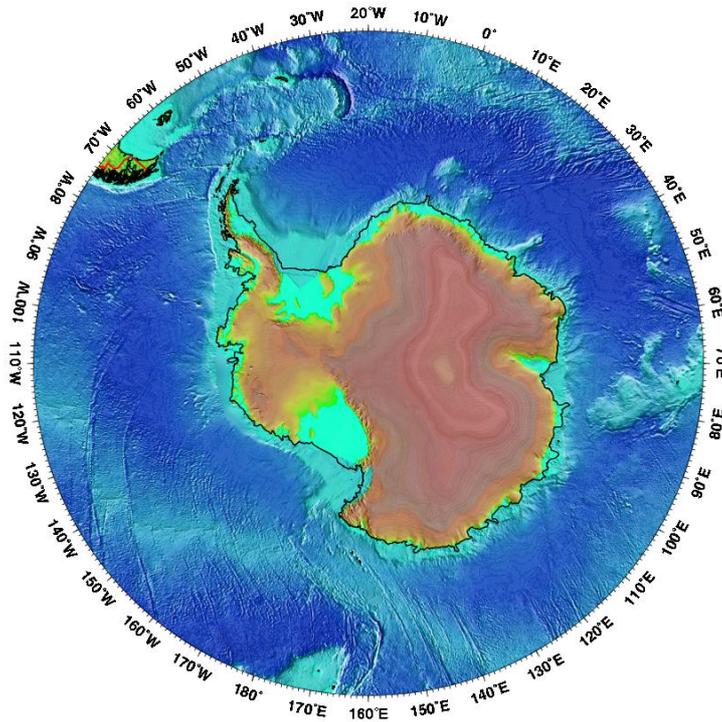


Figure 3 : Principales caractéristiques topographiques de l'océan Austral (figure tirée de http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/southern/img_topo2/antarctic-coastal2.jpg). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

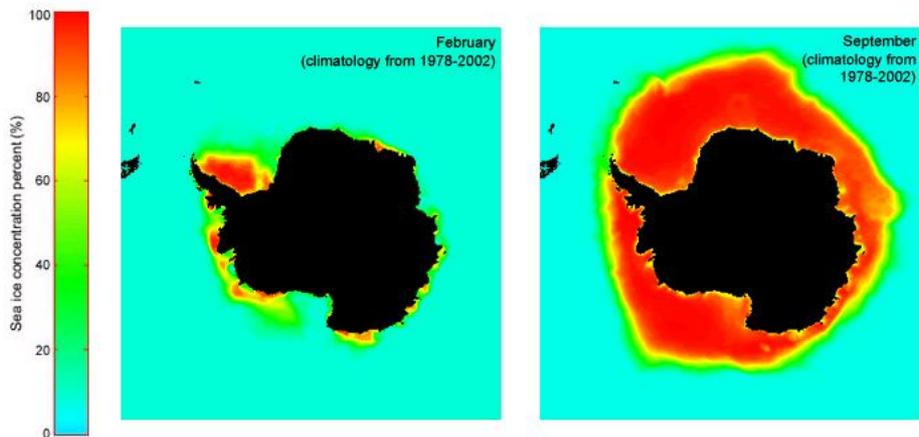


Figure 4 : Etendue saisonnière de la banquise autour de l'Antarctique en hiver et en été (figures tirées de http://nsidc.org/sotc/sea_ice.html). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

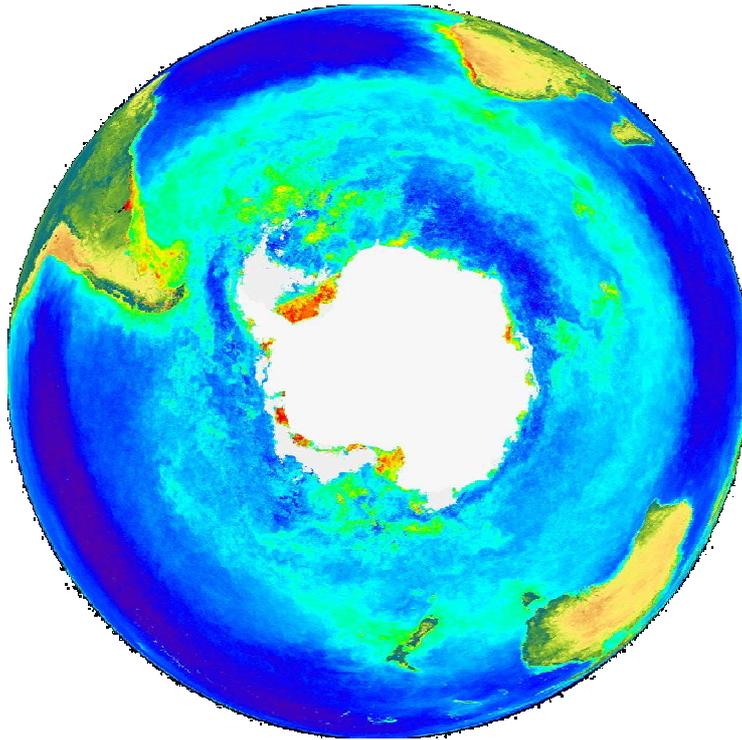


Figure 5 : Distribution moyenne de la chlorophylle dans la région polaire à partir des données SeaWiFS, septembre 1997–juillet 1998 (figures tirées de <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

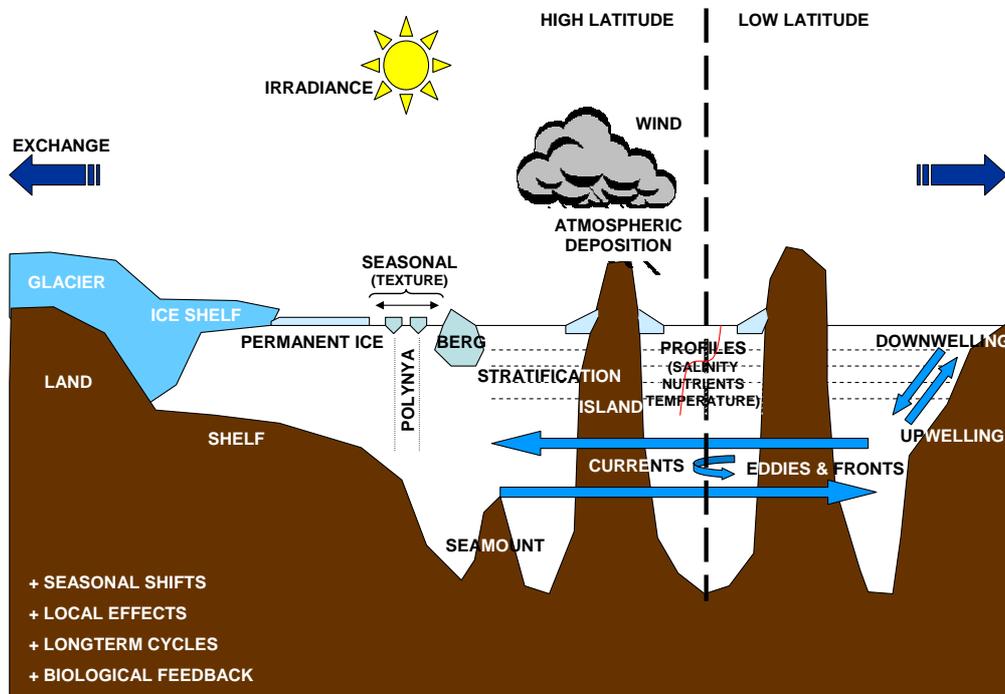


Figure 6 : Schéma conceptuel des principaux facteurs et processus physiques qui influencent l'écosystème marin de l'océan Austral. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

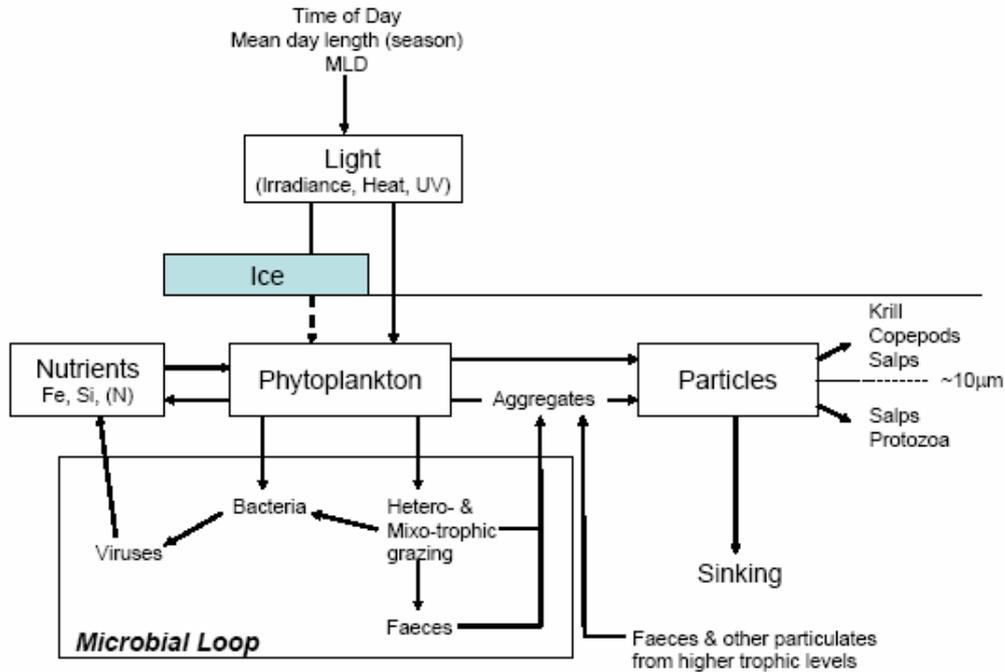


Figure 7 : Modèle conceptuel des liens qui influencent le plus la production de particules servant de nourriture au zooplancton. MLD – profondeur de la couche mixte. Il convient de noter que les matières organiques dissoutes sont les déchets de tous les organismes et, qu'avec les matières particulaires organiques, elles représentent une source importante de carbone en hiver (tiré de WG-EMM-04/24). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

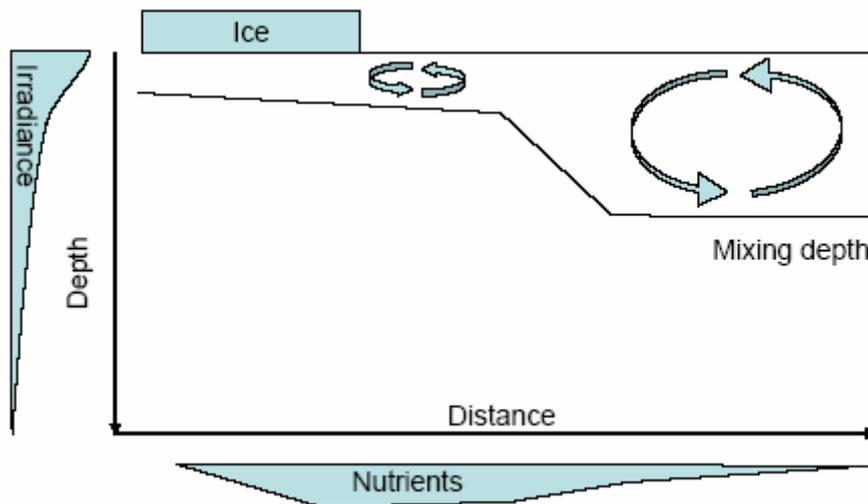


Figure 8 : Représentation schématique de la manière dont les caractéristiques spatiales de l'environnement sont susceptibles d'influencer la production primaire aux environs de la lisière de glace. Les flèches indiquent un mélange possible. La largeur des formes entourant les éléments nutritifs et l'éclairage énergétique indiquent les quantités dont pourrait disposer le phytoplancton, étant donné la proximité de la glace et la profondeur de la couche mixte (tiré de WG-EMM-04/24). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

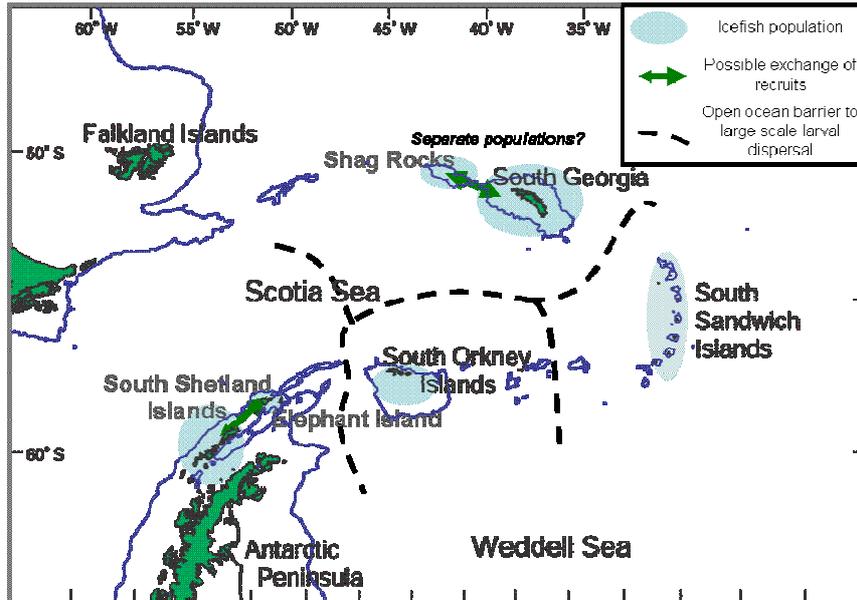


Figure 9 : Modèle conceptuel de la répartition de *Champsocephalus gunnari* dans l'Atlantique du sud-ouest. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

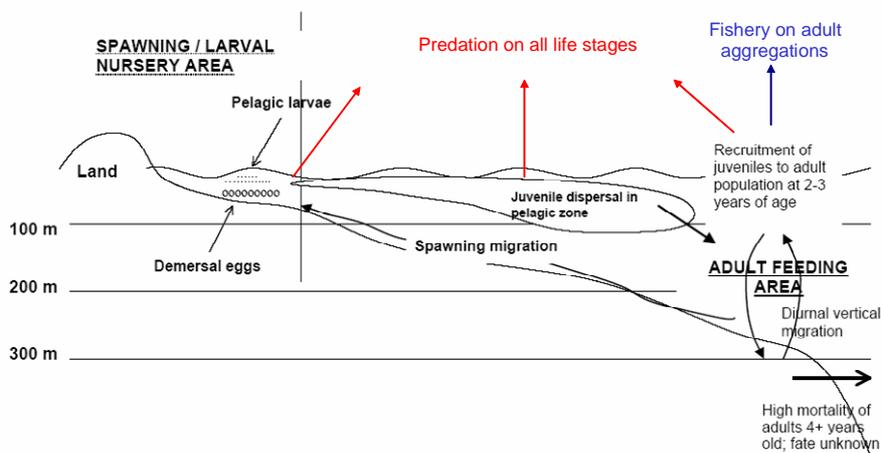


Figure 10 : Résumé du cycle vital de *Champsocephalus gunnari* (fondé sur WG-EMM-04/59). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

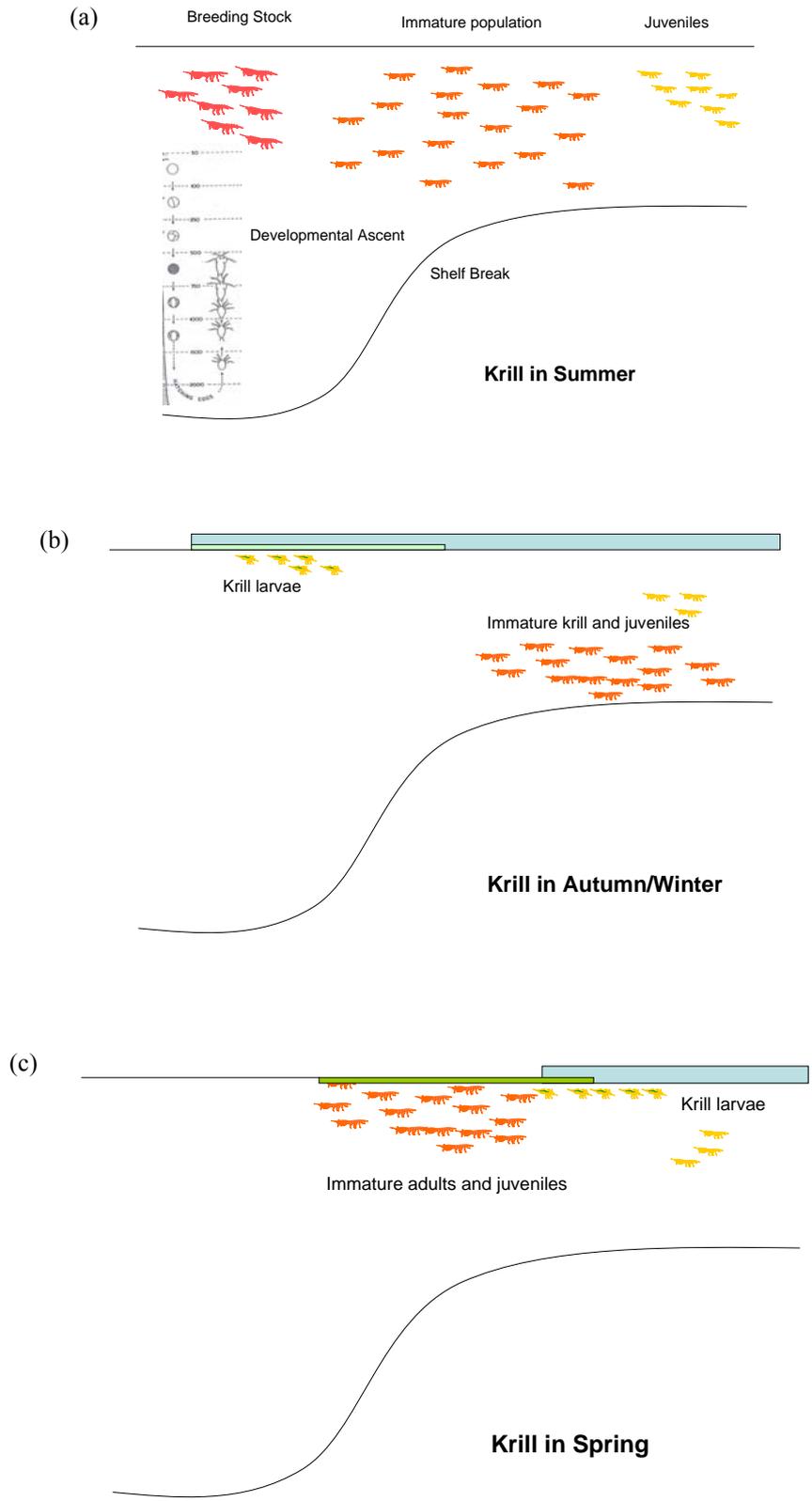


Figure 13 : Modèle conceptuel de la population de krill en été et en hiver (fondé sur WG-EMM-04/50). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

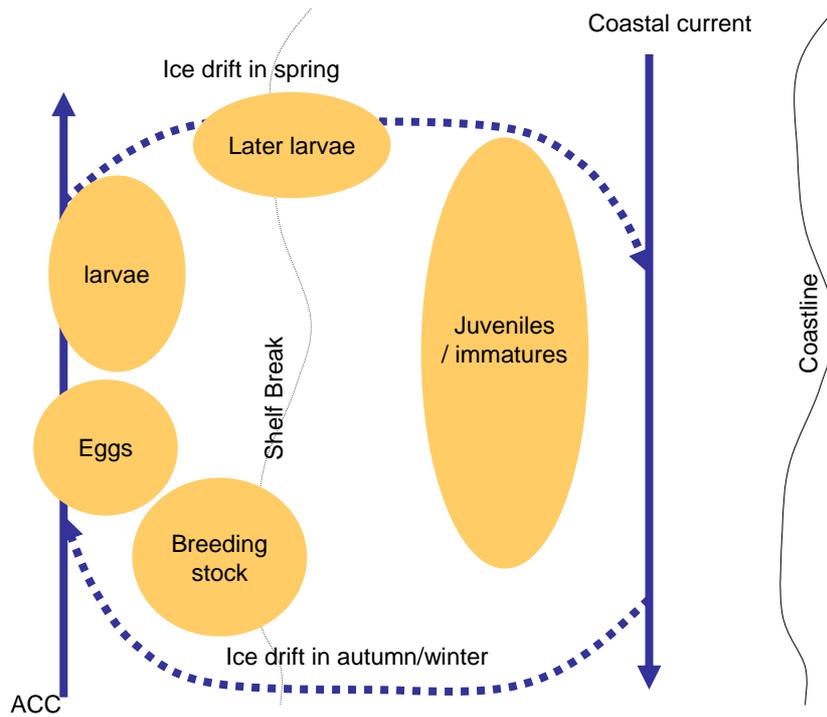


Figure 14 : Modèle conceptuel de krill au printemps et vue en plan du schéma de la migration ontogénique (fondé sur WG-EMM-04/50). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

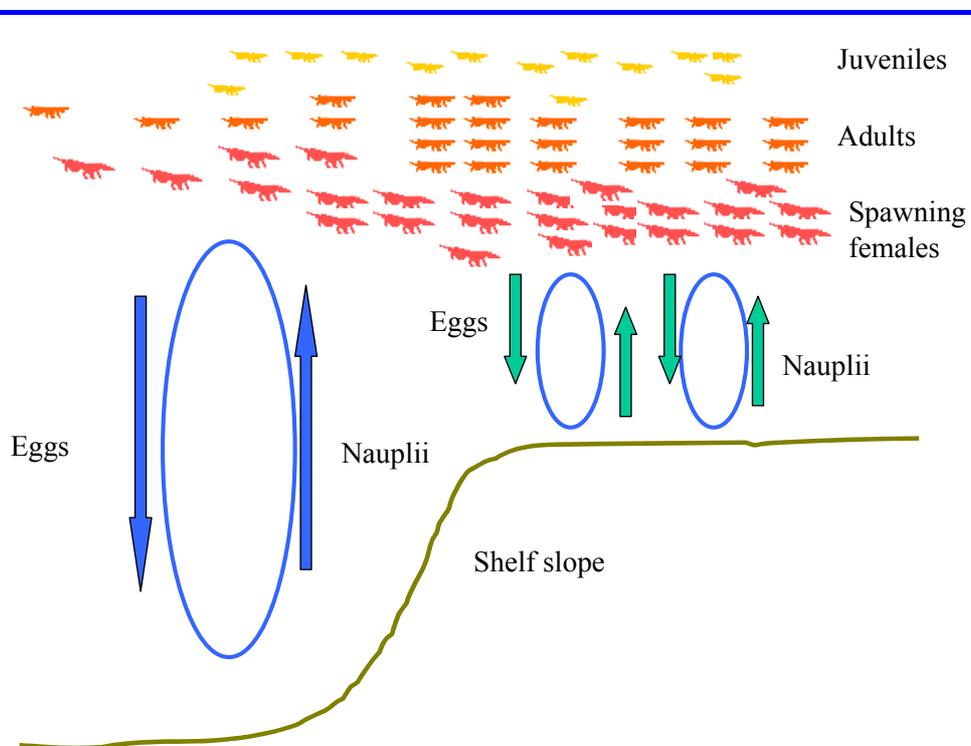


Figure 15 : Répartition de krill aux îles Orcades du Sud en été – une autre possibilité. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

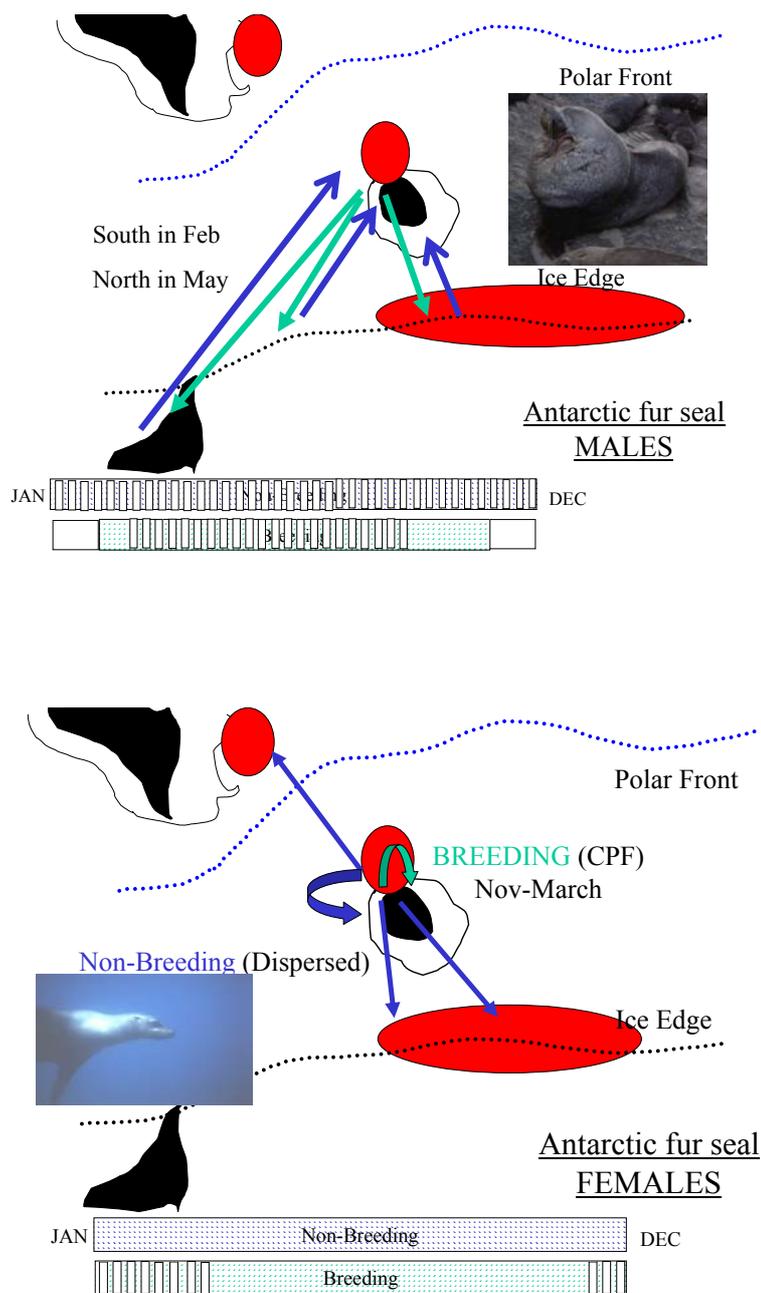


Figure 16 : Modèle conceptuel de la répartition saisonnière des otaries de Kerguelen fréquentant île subantarctique de la zone 48. Le schéma du haut représente les mâles et celui du bas, les femelles. La barre inférieure de chaque schéma indique le temps passé en mer par les animaux non-reproducteurs et par les reproducteurs. Les mâles quittent le site de reproduction et se dispersent vers le sud en janvier, puis reviennent vers le nord au début de l'hiver. Les femelles qui recherchent leur nourriture autour d'un site central au cours de la saison de reproduction se dispersent de l'île vers d'autres zones d'alimentation (indiquées par les ellipses remplies) en dehors de la saison de reproduction. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

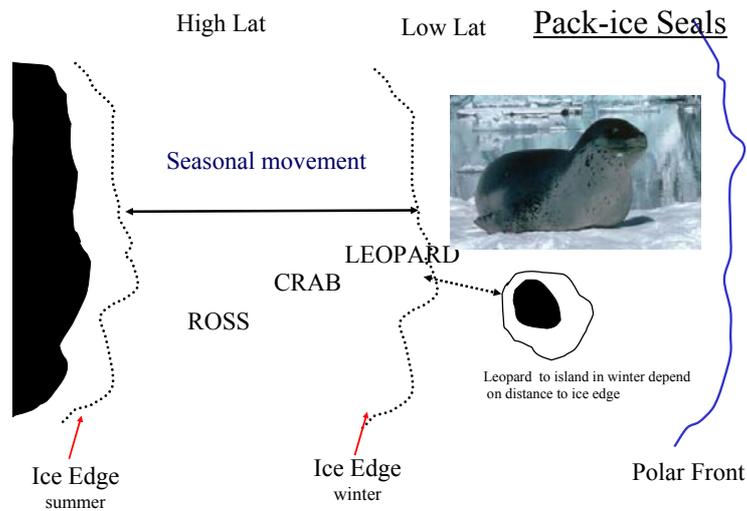


Figure 17 : Répartition spatio-temporelle des phoques de banquise qui suivent l'avancée et le retrait annuels de la banquise et limites de dispersion des léopards de mer aux îles subantarctiques en fonction de la proximité de la lisière des glaces. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

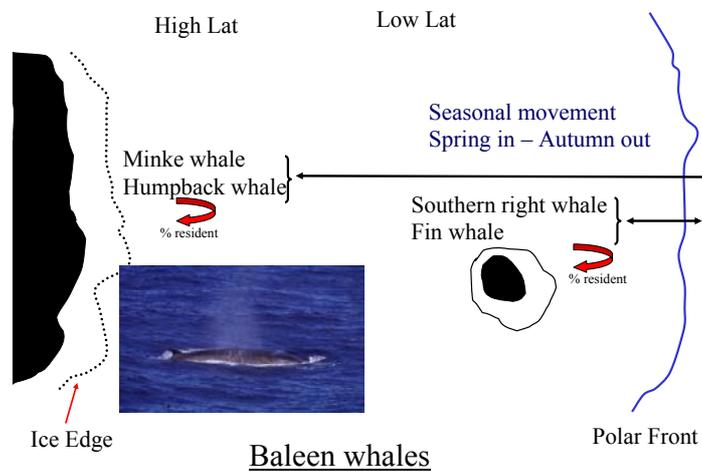


Figure 18 : Répartition spatio-temporelle des baleines mysticètes avec d'une part, celles des hautes latitudes, comprenant le petit rorqual et la baleine à bosse (peut-être également le rorqual bleu) et d'autre part, celles qui fréquentent des latitudes moins hautes des régions subantarctiques, comprenant le rorqual commun et la baleine franche australe (peut-être également le rorqual de Rudolphi). Les flèches droites représentent les principales migrations, celles en boucle indiquent la petite proportion qui reste hiverner dans le système. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

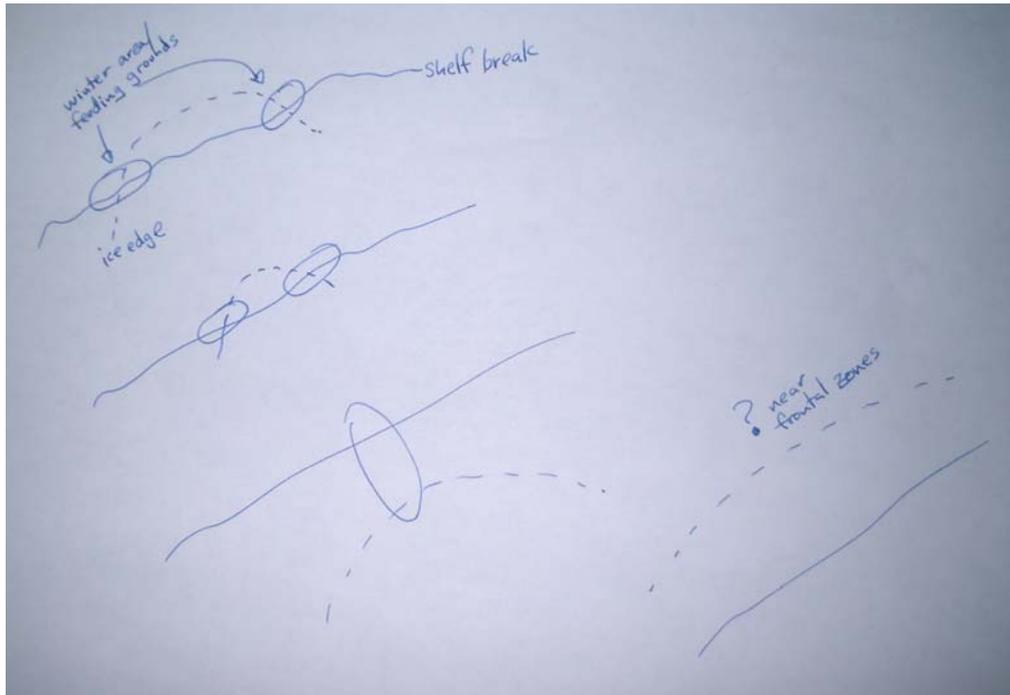


Figure 19 : Représentation graphique des sites d'alimentation des manchots Adélie par rapport à la lisière des glaces et à la bordure du plateau. Lorsqu'il n'y a pas de glace, les manchots recherchent normalement leur nourriture à la bordure du plateau. Sinon, ils se nourrissent près de la lisière des glaces. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

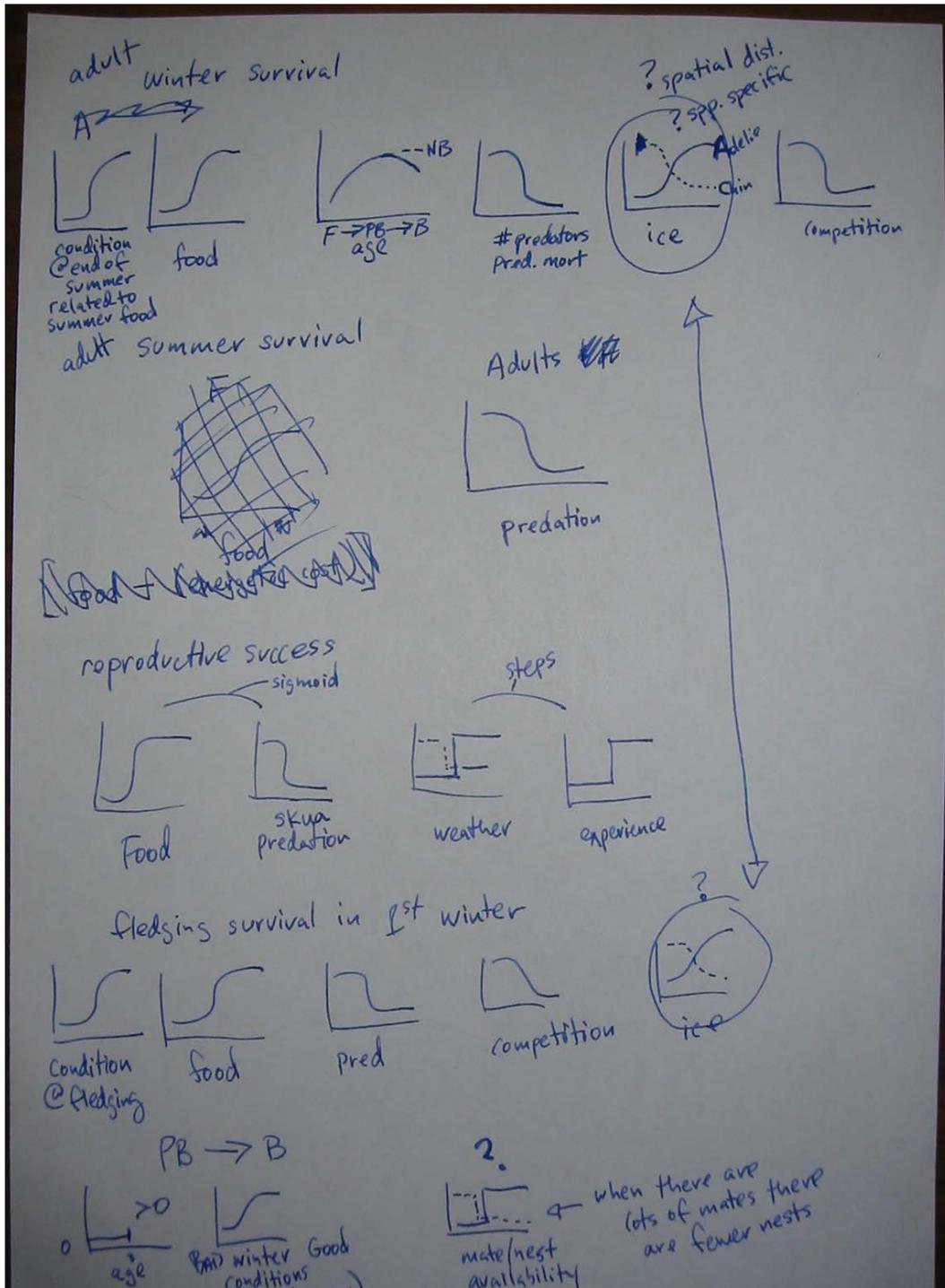


Figure 20 : Représentations graphiques de la forme des relations affectant la démographie des manchots Adélie. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

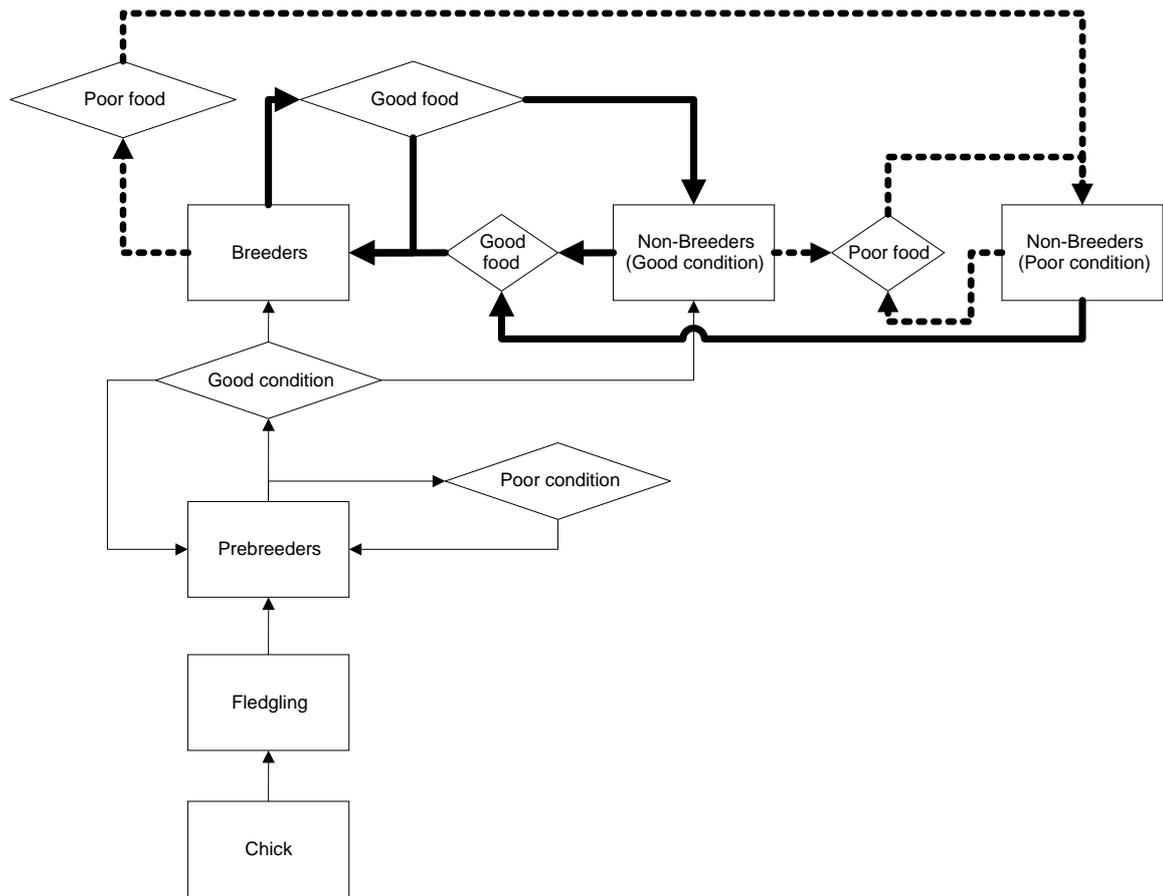


Figure 21 : Modèle conceptuel généralisé de la transition entre les différentes phases chez les oiseaux. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

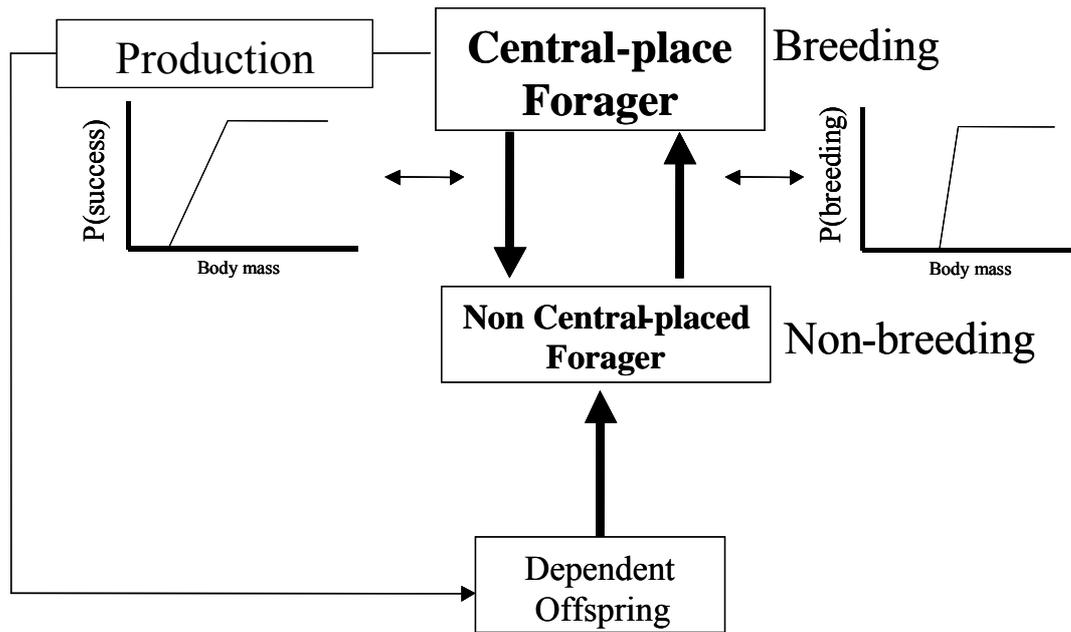


Figure 22 : Diagramme exposant les trois éléments principaux d'un reproducteur sur investissement – jeunes dépendants, non-reproducteurs (large secteur de recherche de nourriture) et reproducteurs (qui recherchent leur nourriture autour d'un site central). La transition de non-reproducteur à reproducteur ne peut se faire qu'à partir d'un âge minimum; par la suite la condition corporelle de l'individu influencera sa capacité à devenir reproducteur, ce qui est indiqué par le fait que la probabilité de reproduction est fonction de la condition corporelle (remplacée dans ce cas par la masse corporelle) avant la saison de reproduction. Le succès de la reproduction dépendra du maintien de la masse corporelle au cours de la saison de reproduction. L'individu manifestera de nouveau son comportement de non-reproducteur au moment où il n'aura plus de progéniture dépendante, à savoir, lorsque le jeune meurt ou est sevré ou mue. Cette transition peut être déterminée par une fonction de condition similaire à celle décrite ci-dessus. La condition corporelle sera influencée par les coûts énergétiques de diverses activités; l'investissement parental pouvant s'avérer un coût important pour un reproducteur (c.-à-d. que les coûts relatifs des activités, lorsqu'on compare les reproducteurs aux non-reproducteurs, pourraient être de l'ordre de 2:1, la progéniture dépendante n'encourant aucun coût). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

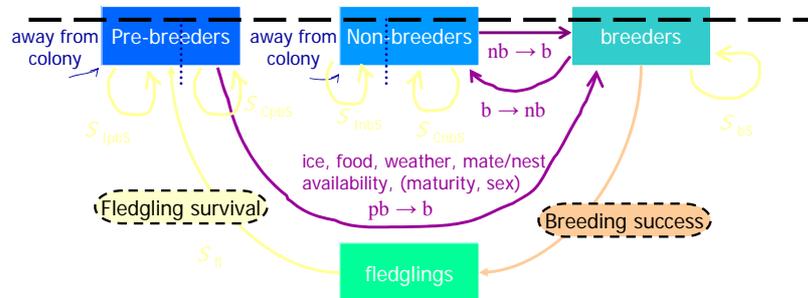


Figure 23 : Démographie des manchots Adélie à l'île Béchervaise (WG-EMM-04/53). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

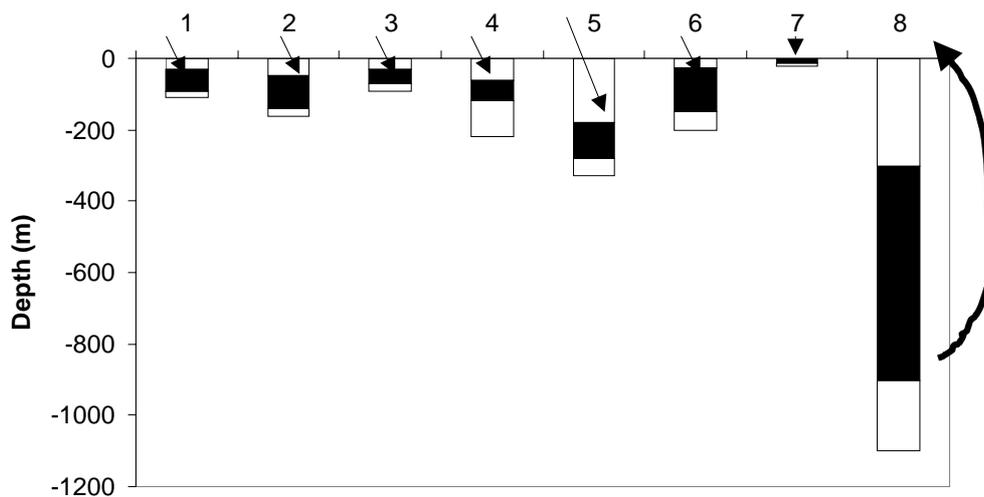


Figure 24 : Modèle conceptuel généralisé de la répartition verticale des prédateurs aérobies à la recherche de nourriture. Les sections pleines sur les barres indiquent la profondeur de la fréquence la plus élevée, les sections non remplies, les quartiles supérieurs et inférieurs de la profondeur de plongée. Les flèches indiquent la direction du déplacement à partir du lieu principal auquel les animaux passent la plus grande partie de leur budget-temps. Les chiffres se rapportent aux divers groupes taxinomiques :

1 – manchots à jugulaire, Adélie et macaroni, 2 – manchot papou, 4 – otarie de Kerguelen, léopard de mer et phoque crabier, 5 – manchots royal et empereur, 6 – phoque de Weddell, 7 – baleines mysticètes, 8 – oiseaux volants, 9 – éléphant de mer austral et baleines odontocètes.

Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

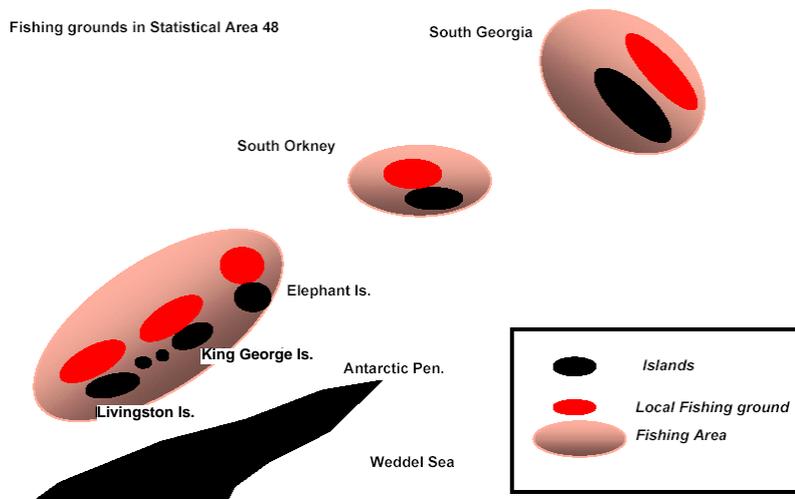


Figure 25 : Illustration conceptuelle des zones et lieux de pêche au krill dans la zone 48 (WG-EMM-04/51). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

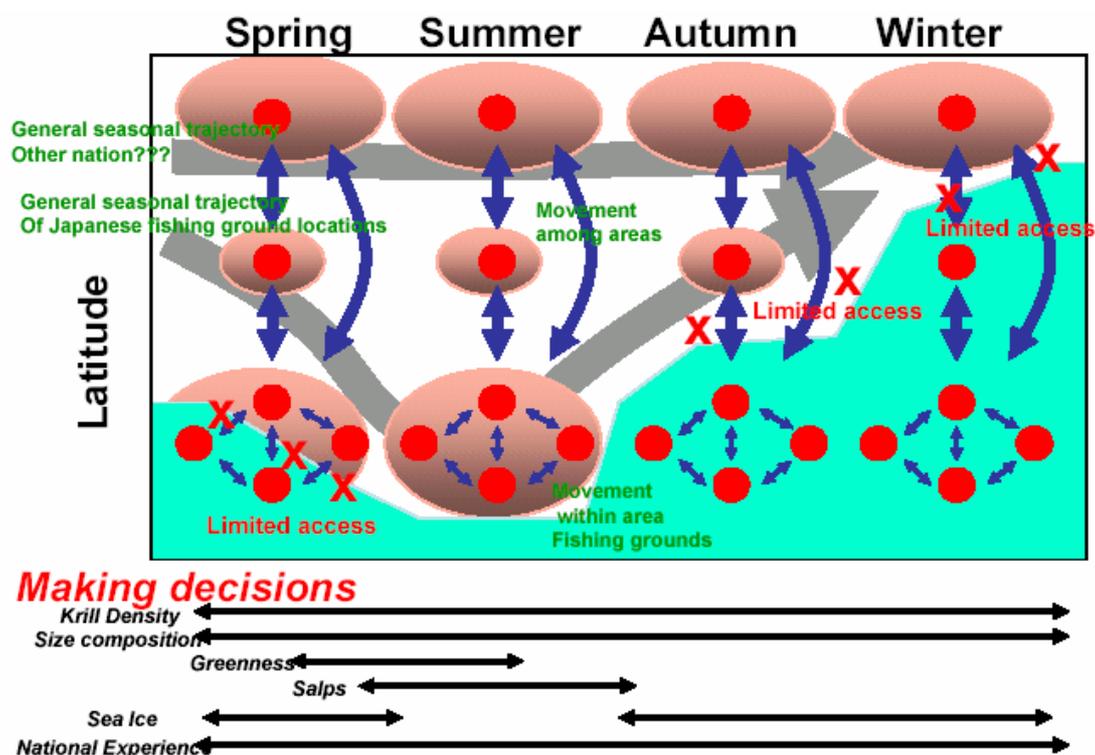


Figure 26 : Illustration conceptuelle du comportement de la pêche de krill au cours d'une saison, et principaux critères de décision (WG-EMM-04/51). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

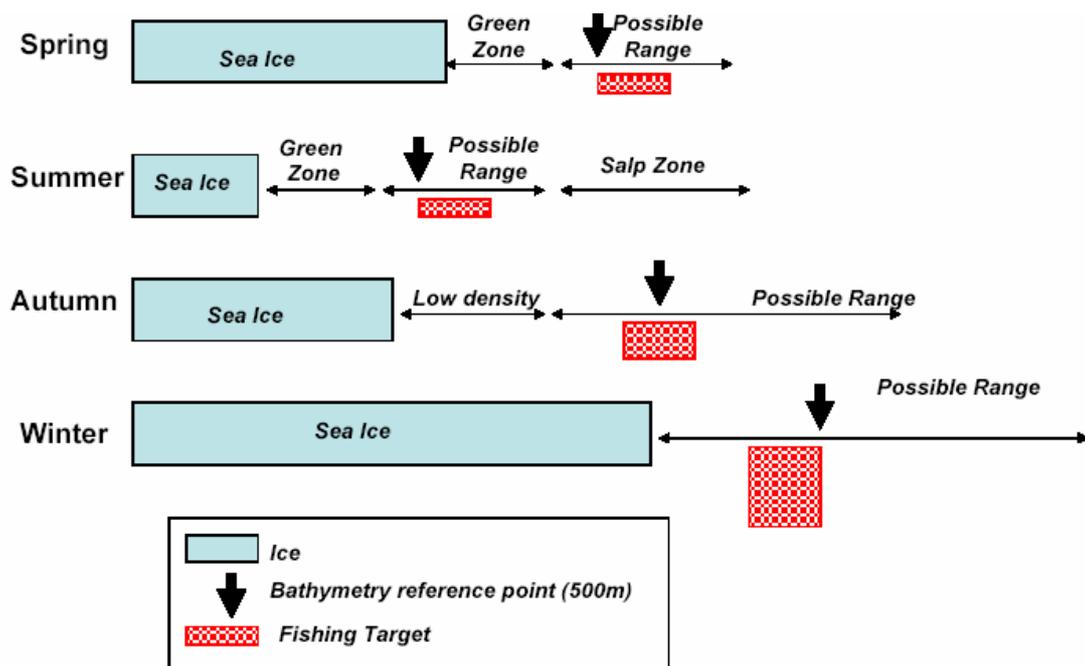


Figure 27 : Régimes de pêche caractérisés en fonction d'une succession saisonnière de propriétés physiques et biologiques sur les lieux de pêche (générés d'après WG-EMM-04/50). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

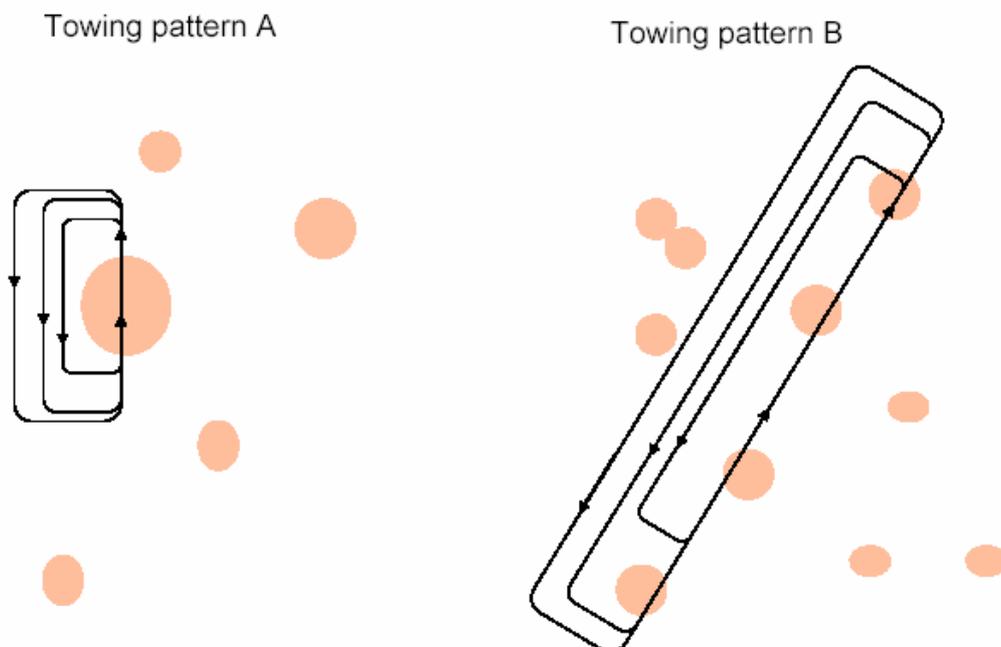


Figure 28 : Différentes stratégies des régimes de pêche pour une même densité régionale de krill, mais sous différentes structures de concentration (générées d'après WG-EMM-04/50). Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

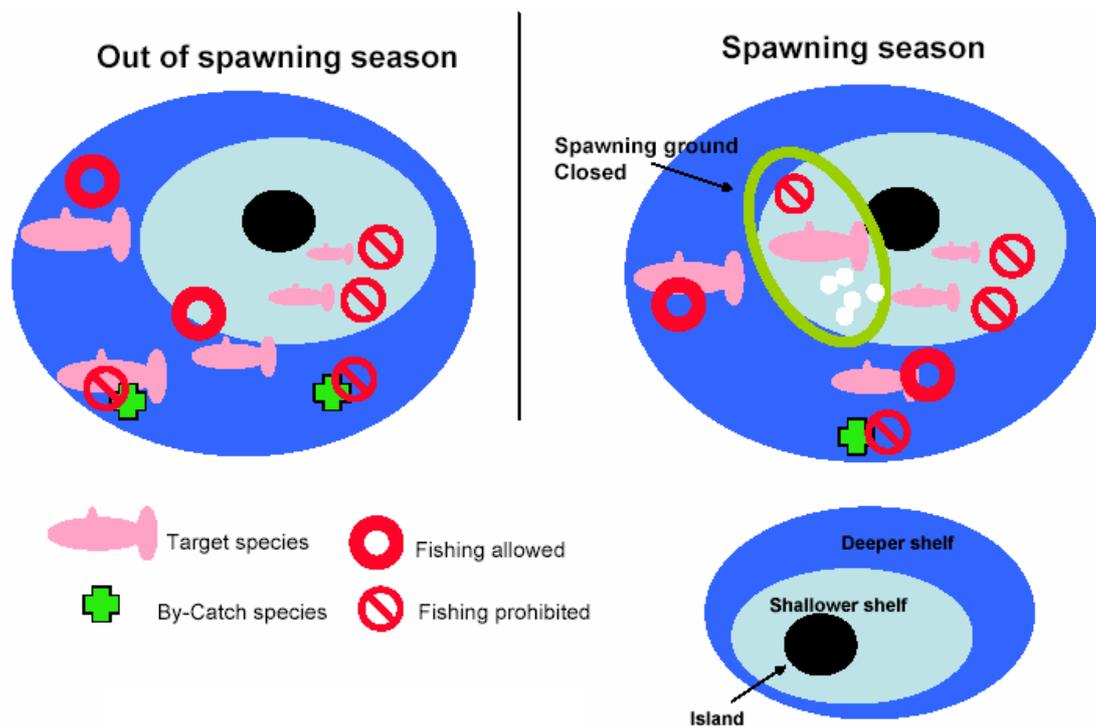


Figure 29 : Illustration conceptuelle d'un lieu de pêche au poisson des glaces. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

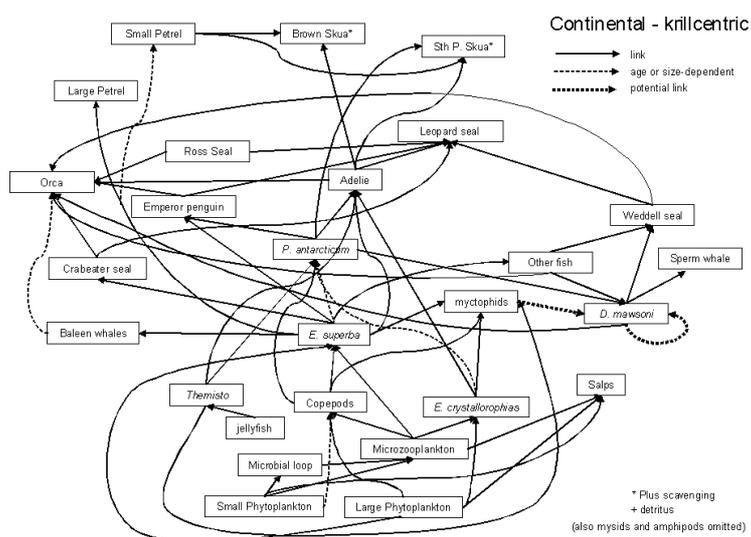


Figure 30 : Représentation schématique du réseau trophique centré sur le krill autour du continent antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

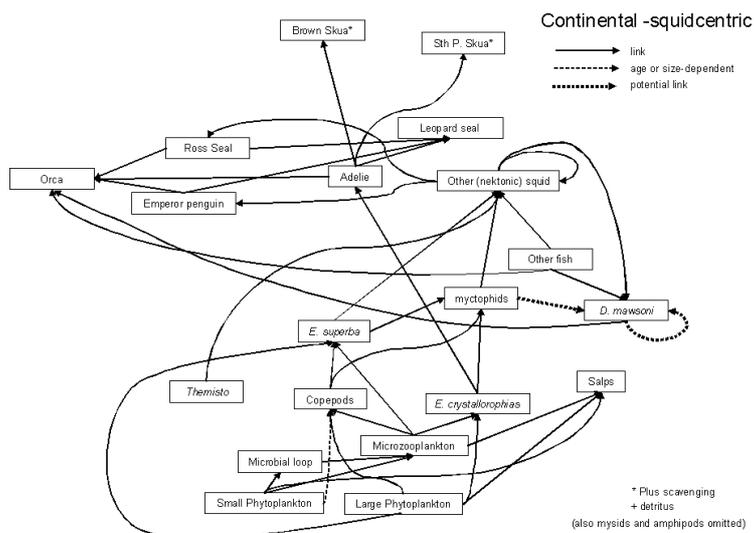


Figure 31 : Représentation schématique du réseau trophique centré sur le calmar autour du continent antarctique. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

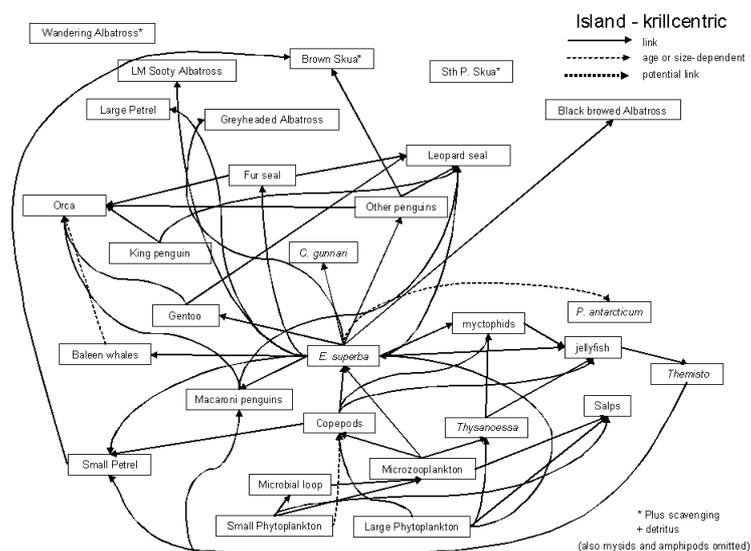


Figure 32 : Représentation schématique du réseau trophique centré sur le krill autour des îles subantarctiques. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

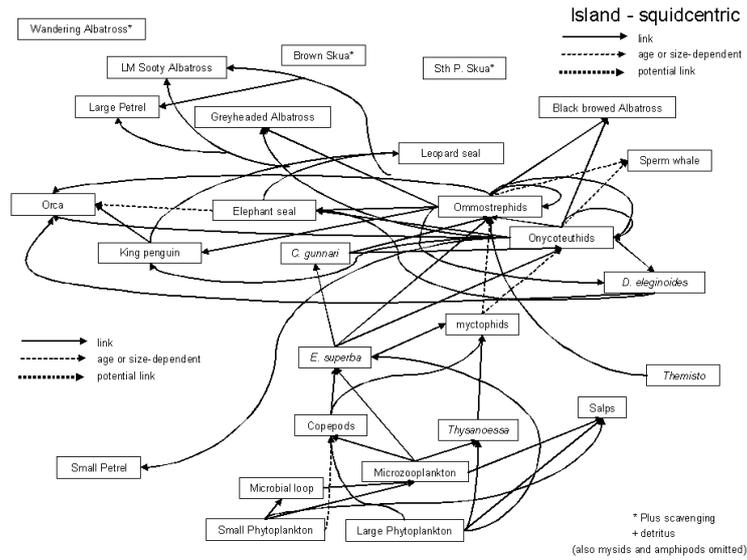


Figure 33 : Représentation schématique du réseau trophique centré sur le calmar autour des îles subantarctiques. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

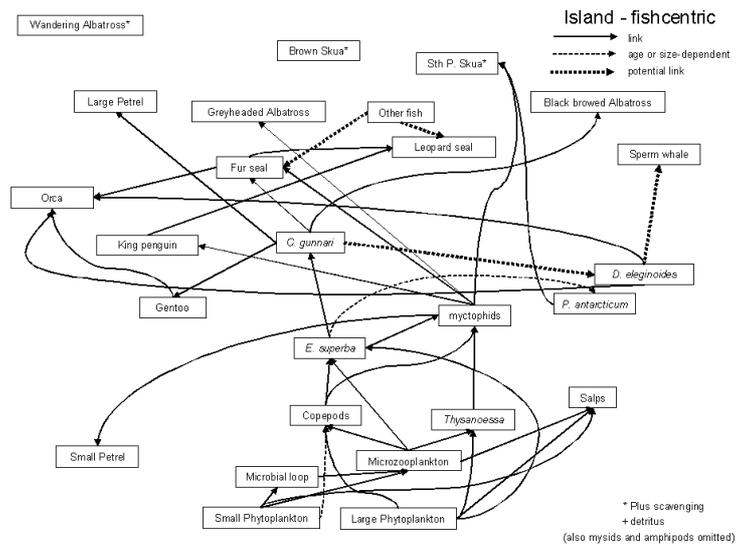


Figure 34 : Représentation schématique du réseau trophique centré sur le poisson autour des îles subantarctiques. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

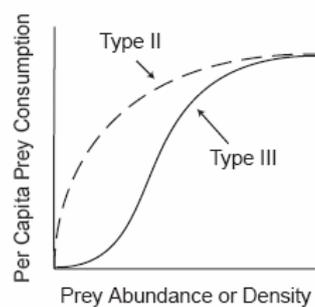


Figure 35 : Réponses fonctionnelles pouvant s'avérer utiles pour décrire la recherche de nourriture par les prédateurs dans les écosystèmes antarctiques. Ne pas citer pour des besoins autres que ceux de la CCAMLR : seuls les principaux aspects examinés lors de l'atelier sont exposés et, de ce fait, ces informations risquent d'être incomplètes.

ORDRE DU JOUR

Atelier sur les modèles plausibles de l'écosystème
visant à tester les approches de la gestion du krill
(Sienna, Italie, 12 – 16 juillet 2004)

1. Ouverture de l'atelier
 - 1.1 Objectif de l'atelier
 - 1.2 Rapporteurs
2. Rapport du comité de direction sur les activités d'intersession
 - 2.1 Experts invités
 - 2.2 Examen de la littérature sur les modèles d'écosystème
 - 2.3 Catalogue des logiciels disponibles
 - 2.4 Données existantes et estimations des paramètres
 - 2.5 Objectifs et spécifications de la modélisation de l'écosystème dans le domaine de l'élaboration des procédures de gestion du krill
3. Attributs souhaitables des modèles d'écosystème
 - 3.1 Attributs des modèles dans la littérature
 - 3.2 Attributs généraux des modèles d'évaluation des procédures de gestion
4. Représentation conceptuelle des éléments clés
 - 4.1 Approche générale
 - 4.1.1 Echelles biologiques
 - 4.1.2 Attributs importants à considérer
 - 4.1.3 Identification des besoins en "observations sur le terrain"
 - 4.1.4 Effets de la pêche, tant directs qu'indirects
 - 4.2 Environnement physique
 - 4.3 Production primaire
 - 4.4 Herbivores et carnivores invertébrés pélagiques
 - 4.5 Espèces-cibles
 - 4.6 Espèces mésopélagiques
 - 4.7 Espèces qui s'alimentent autour d'un site central au sein du système
 - 4.8 Espèces largement réparties et migratoires
 - 4.9 Pêcheries
5. Scénarios plausibles pour les écosystèmes marins de l'Antarctique
6. Formulation et spécification des modèles
 - 6.1 Modélisation des interactions interspécifiques
 - 6.2 Prise en compte de l'espace
 - 6.3 Prise en compte du temps
 - 6.4 Processus périphériques et conditions aux limites

7. Prochains travaux
 - 7.1 Outils disponibles
 - 7.2 Création de logiciels
 - 7.3 Besoins en logiciels
 - 7.4 Coordination
8. Adoption du rapport
9. Clôture de l'atelier.

LISTE DES PARTICIPANTS

Atelier sur les modèles plausibles de l'écosystème
visant à tester les approches de la gestion du krill
(Sienne, Italie, 12 – 16 juillet 2004)

AZZALI, Massimo (Dr)	CNR-ISMAR Largo Fiera della Pesca, 2 60100 Ancona Italy m.azzali@ismar.cnr.it
CONSTABLE, Andrew (Dr)	Australian Antarctic Division Department of Environment and Heritage Channel Highway Kingston Tasmania 7050 Australia andrew.constable@aad.gov.au
CORSOLINI, Simonetta (Dr)	Dipartimento di Scienze Ambientali Università di Siena Via P.A. Mattioli, 4 53100 Siena Italy corsolini@unisi.it
CROXALL, John (Prof.)	British Antarctic Survey Natural Environment Research Council High Cross, Madingley Road Cambridge CB3 0ET United Kingdom j.croxall@bas.ac.uk
DAVIES, Campbell (Dr)	Australian Antarctic Division Department of Environment and Heritage Channel Highway Kingston Tasmania 7050 Australia campbell.davies@aad.gov.au

FANTA, Edith (Dr)
Departamento Biologia Celular
Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 19031
81531-970 Curitiba, PR
Brazil
e.fanta@terra.com.br

FOCARDI, Silvano (Prof.)
(Meeting Organiser)
Universita degli Studi di Siena
Dipartimento di Scienze Ambientali 'G. Sarfatti'
Via Mattioli 4
53100 Siena
Italy
focardi@unisi.it

FULTON, Beth (Dr)
(Invited Expert)
CSIRO Marine Laboratories
CSIRO Division of Marine Research
GPO Box 1538
Hobart Tasmania 7001
beth.fulton@csiro.au

GASYUKOV, Pavel (Dr)
AtlantNIRO
5 Dmitry Donskoy Str.
Kaliningrad 236000
Russia
pg@atlant.baltnet.ru

GOEBEL, Michael (Dr)
US AMLR Program
Southwest Fisheries Science Center
8604 La Jolla Shores Drive
La Jolla, CA 92037
USA
mike.goebel@noaa.gov

HANCHET, Stuart (Dr)
National Institute of Water
and Atmospheric Research (NIWA)
PO Box 893
Nelson
New Zealand
s.hanchet@niwa.cri.nz

HEWITT, Roger (Dr)
US AMLR Program
Southwest Fisheries Science Center
8604 La Jolla Shores Drive
La Jolla, CA 92037
USA
roger.hewitt@noaa.gov

HILL, Simeon (Dr) British Antarctic Survey
Natural Environment Research Council
High Cross, Madingley Road
Cambridge CB3 0ET
United Kingdom
sih@bas.ac.uk

HOLT, Rennie (Dr) Chair, Scientific Committee
US AMLR Program
Southwest Fisheries Science Center
8604 La Jolla Shores Drive
La Jolla, CA 92037
USA
rennie.holt@noaa.gov

KASATKINA, Svetlana (Dr) AtlantNIRO
5 Dmitry Donskoy Str.
Kaliningrad 236000
Russia
ks@atlant.baltnet.ru

KAWAGUCHI, So (Dr) Australian Antarctic Division
Department of Environment and Heritage
Channel Highway
Kingston Tasmania 7050
Australia
so.kawaguchi@aad.gov.au

KIRKWOOD, Geoff (Dr) Renewable Resources Assessment Group
Imperial College
RSM Building
Prince Consort Road
London SW7 2BP
United Kingdom
g.kirkwood@ic.ac.uk

KLEMENTYEV, Stanislav (Capt.) Interrhybflot Ltd
Sebastopol
Crimea
Ukraine
krill2003@yandex.ru

KNUTSEN, Tor (Dr) Institute of Marine Research
PO Box 1870 Nordnes
N-5817 Bergen
Norway
tor.knutzen@imr.no

LÓPEZ ABELLÁN, Luis (Mr)	Instituto Español de Oceanografía Ctra. de San Andrés nº 45 Santa Cruz de Tenerife Islas Canarias España luis.lopez@ca.ieo.es
MAPSTONE, Bruce (Prof.)	Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre (ACE CRC) Private Bag 80 Hobart Tasmania 7001 Australia bruce.mapstone@acecrc.org.au
NAGANOBU, Mikio (Dr)	National Research Institute of Far Seas Fisheries 5-7-1, Shimizu Orido Shizuoka 424-8633 Japan naganobu@affrc.go.jp
OLMASTRONI, Silvia (Dr)	Dipartimento di Scienze Ambientali Università di Siena Via P.A. Mattioli, 4 53100 Siena Italy olmastroni@unisi.it
PENHALE, Polly (Dr)	National Science Foundation Office of Polar Programs 4201 Wilson Blvd Arlington, VA 22230 USA ppenhale@nsf.gov
REID, Keith (Dr)	British Antarctic Survey Natural Environment Research Council High Cross, Madingley Road Cambridge CB3 0ET United Kingdom k.reid@bas.ac.uk
SHIN, Hyoung-Chul (Dr)	Korea Polar Research Institute KORDI Ansan PO Box 29 Seoul 425 600 Korea hcshin@kordi.re.kr

SHUST, Konstantin (Dr)	VNIRO 17a V. Krasnoselskaya Moscow 107140 Russia kshust@vniro.ru
SIEGEL, Volker (Dr)	Bundesforschungsanstalt für Fischerei Institut für Seefischerei Palmaille 9 D-22767 Hamburg Germany volker.siegel@ish.bfa-fisch.de
SUSHIN, Vyacheslav (Dr)	AtlantNIRO 5 Dmitry Donskoy Str. Kaliningrad 236000 Russia sushin@atlant.baltnet.ru
TAKI, Kenji (Dr)	National Research Institute of Far Seas Fisheries 5-7-1, Shimizu Orido Shizuoka 424-8633 Japan takisan@affrc.go.jp
TRATHAN, Philip (Dr)	British Antarctic Survey Natural Environment Research Council High Cross, Madingley Road Cambridge CB3 0ET United Kingdom p.trathan@bas.ac.uk
TRIVELPIECE, Sue (Ms)	US AMLR Program Antarctic Ecosystem Research Division PO Box 1486 19878 Hwy 78 Ramona, CA 92065 USA sueskua@yahoo.com
TRIVELPIECE, Wayne (Dr)	US AMLR Program Southwest Fisheries Science Center 8604 La Jolla Shores Drive La Jolla, CA 92037 USA wayne.trivelpiece@noaa.gov

WATTERS, George (Dr)

Southwest Fisheries Science Center
Pacific Fisheries Environmental Laboratory
1352 Lighthouse Avenue
Pacific Grove, CA 93950-2097
USA
george.watters@noaa.gov

Secrétariat :

Denzil MILLER (secrétaire exécutif)
Eugene SABOURENKOV (chargé des affaires scientifiques)
David RAMM (directeur des données)
Genevieve TANNER (coordinatrice des communications)
Doro FORCK (assistante à la publication et au site Web)

CCAMLR
PO Box 213
North Hobart 7002
Tasmania Australia
ccamlr@ccamlr.org