

**RAPPORT DE LA PREMIÈRE RÉUNION DU SOUS-GROUPE
SUR LES MÉTHODES D'ÉVALUATION ACOUSTIQUE ET D'ANALYSE
(SG-ASAM)**
(La Jolla, États-Unis, du 31 mai au 2 juin 2005)

TABLE DES MATIÈRES

	Page
HISTORIQUE DU SOUS-GROUPE	599
Introduction	599
Historique du modèle de TS du krill approuvé actuellement par la CCAMLR	599
Développement d'un modèle de réponse acoustique du krill fondé sur la physique : le DWBA et le SDWBA	601
Historique de la technique de classification de S_v adoptée actuellement par la CCAMLR	602
INFORMATIONS CONSOLIDÉES PAR LE SOUS-GROUPE	602
Modèles de TS du krill	602
Algorithmes de classification de S_v pour le krill	604
RECOMMANDATIONS DU SOUS-GROUPE	605
Mise en œuvre du SDWBA pour utilisation générale	605
Caractérisation des paramètres et utilisation du SDWBA simplifié	606
Algorithmes de classification de S_v	607
Recommandations relatives à la poursuite des recherches sur les modèles de TS et la classification de S_v	607
RÉSUMÉ	608
RÉFÉRENCES	608
Tableaux	613
Figures	615
Appendice	619

RAPPORT DE LA PREMIÈRE RÉUNION DU SOUS-GROUPE SUR LES MÉTHODES D'ÉVALUATION ACOUSTIQUE ET D'ANALYSE (SG-ASAM)

(La Jolla, États-Unis, du 31 mai au 2 juin 2005)

HISTORIQUE DU SOUS-GROUPE

Introduction

Le sous-groupe sur les méthodes d'évaluation acoustique et d'analyse (SG-ASAM) s'est réuni au Southwest Fisheries Science Center à La Jolla, États-Unis, du 31 mai au 2 juin 2005, suite aux recommandations du WG-EMM (SC-CAMLR-XXIII, annexe 4, paragraphes 4.89 à 4.93), du WG-FSA (SC-CAMLR-XXIII, annexe 5, paragraphe 10.8) et du SC-CAMLR (SC-CAMLR-XXIII, paragraphe 13.5).

2. Les attributions de cette réunion sont limitées à deux questions ayant trait aux campagnes d'évaluation hydroacoustique d'*Euphausia superba* (krill antarctique, ci-après dénommé "krill"), à savoir :

- i) les modèles de réponse acoustique du krill (TS)
- ii) la classification de l'intensité de rétrodiffusion par volume (S_v).

3. La réunion se déroule sous la responsabilité de Roger Hewitt (États-Unis). Y participent : S. Conti (États-Unis), David Demer (États-Unis), T. Jarvis (Australie), Svetlana Kasatkina (Russie), R. Korneliussen (Norvège), Mr Y. Takao (Japon) et Jon Watkins (Royaume-Uni).

4. Le sous-groupe fait état des publications revues par des pairs et des documents de travail de la CCAMLR rédigés par D. Demer et S. Conti sur lesquels repose la présente réunion ; ces travaux sont résumés par D. Demer qui en fait une communication en début de réunion.

Historique du modèle de TS du krill approuvé actuellement par la CCAMLR

5. Des estimations de la biomasse pré-exploitation (B_0) du krill d'une région donnée ont été dérivées des campagnes d'évaluation hydroacoustiques menées depuis la FIBEX en 1981 (Trathan *et al.*, 1992).

6. La CCAMLR utilise l'estimation de B_0 pour fixer une limite de précaution pour la pêche de krill, au moyen d'un modèle de rendement, le GYM actuel (Constable et de la Mare, 1996) dérivé du KYM dont la première description date de 1991 (Butterworth *et al.*, 1991, 1994).

7. La réponse acoustique (TS, mesurée en dB re 1 m²) est le facteur utilisé pour étalonner les données hydroacoustiques (intensité moyenne de rétrodiffusion par volume, S_v , mesurée en dB re 1 m²) en fonction de la biomasse (densité de biomasse par surface, ρ , mesurée en g m⁻²). Parmi les divers facteurs responsables, il est considéré que les estimations de B_0 des données hydroacoustiques seraient les plus sensibles au modèle de TS utilisé (Demer, 2004).

8. Le modèle de TS de krill approuvé par la CCAMLR est celui de Greene *et al.* (1991), qui est un modèle de régression linéaire dérivé empiriquement et qui établit un lien entre la TS et la longueur logarithmique ($\log_{10}L$). La régression est fondée sur des mesures empiriques de TS à 420 kHz prises sur 43 individus de "taxons zooplanctoniques et micronectoniques représentatifs" (*E. superba* non compris) dans un espace clos de 30 m³ (Wiebe *et al.*, 1990). Le rapport entre les nombres d'onde acoustique ($10\log_{10}k_f / k_{420\text{kHz}}$, où $k = 2\pi f/c$) est utilisé pour transformer le modèle à une fréquence différente (f), à une vitesse de son (c) donnée.

9. Bien que le modèle de Greene *et al.* (1991) ait été corroboré avec des données empiriques (de Foote *et al.*, 1990 ; Hewitt et Demer, 1991a, 1991b ; Pauly et Penrose, 1997, 1998) et qu'il ait été reconnu comme présentant une amélioration par rapport à l'ancien modèle de TS de BIOMASS, (SC-CAMLR-X, paragraphe 3.34 et annexe 5, paragraphe 4.30i)), il est apparu dès le départ que, lorsqu'il est appliqué au krill, ce modèle présente quatre problèmes importants :

- i) Comme cela est même indiqué dans Greene *et al.* (1991) , ce modèle n'est pas applicable au régime de dispersion de Rayleigh, ce qui veut dire qu'il ne sera précis que pour du krill d'une taille supérieure à la longueur d'onde de la pulsation acoustique ($\lambda_{120\text{kHz}} = 12,5$ mm, par ex.).
- ii) Il ne tient pas compte des variations de la morphologie, de la physiologie et de l'orientation des cibles, alors qu'il est prouvé que toutes affectent grandement la TS (Demer et Martin, 1994, 1995).
- iii) Il n'est pas, en fait, dérivé des mesures de *E. superba* à 120 kHz, mais plutôt de "taxons zooplanctoniques et micronectoniques représentatifs" à 420 kHz (Wiebe *et al.*, 1990) ; l'espèce la plus proche mesurée était *E. pacifica*.
- iv) Il prévoit que la TS du zooplancton crustacé dépende du volume des animaux, alors que l'on croit savoir qu'il dépend de sa surface (Demer et Martin, 1994, 1995).

10. Lorsque le SC-CAMLR a approuvé le premier modèle de Greene *et al.* (1991), il a également approuvé les recommandations du WG-Krill sur les travaux futurs (SC-CAMLR-X, paragraphe 3.35 et annexe 5, paragraphe 4.30 ii)), à savoir :

- i) mesures *in situ* de la TS d'individus avec des échosondeurs à faisceau double ou partagé ;
- ii) mesures *in situ* et expérimentale de la TS de concentrations à différentes fréquences, pour différentes longueurs and conditions physiologiques des individus ;
- iii) mesures de la morphologie, de l'orientation et de la condition physique du krill, lorsque cela est possible ;
- iv) modélisation théorique visant à prévoir les distributions *in situ* de TS des individus, paramétrisée avec les données empiriques disponibles.

Développement d'un modèle de réponse acoustique du krill fondé sur la physique : le DWBA et le SDWBA

11. En ce qui concerne le paragraphe 10 iv), un modèle de TS fondé sur la physique a été développé (DWBA: Morse et Ingard, 1968 ; Stanton *et al.*, 1993, 1998 ; Chu *et al.*, 1993a, 1993b ; McGehee *et al.*, 1998, 1999), représentant une amélioration par rapport au modèle de Greene *et al.* (1991) du fait qu'il ne tient pas seulement compte de la taille, mais de tous les paramètres qui contribuent à la TS (figure 1), à savoir :

- i) la taille, mesurée en tant que longueur totale (L mm = de l'extrémité antérieure de l'œil à l'extrémité du telson, Morris *et al.*, 1988) ;
- ii) la taille, décrite en tant que série de n cylindres reliés, de rayon r (en mm) et de longueur l (en mm) ;
- iii) les propriétés matérielles, décrites en tant que contraste de densité (g) et contraste de vitesse du son (h) entre le tissu des individus et l'eau de mer environnante ;
- iv) l'angle d'incidence de l'onde acoustique par rapport à l'axe longitudinal du krill, auquel il est par la suite fait référence sous le terme d'orientation (θ , mesuré en degrés) et qui est appliqué en tant que distribution de Gauß (lognormale) des orientations ($\theta = N[\bar{\theta} = x^\circ, \text{s.d.} = y^\circ]$).

12. McGehee *et al.* (1998, 1999) valident empiriquement le modèle DWBA en prenant les mesures de TS de 14 individus de krill vivants, légèrement restreints dans un bac réfrigéré, à 120 kHz. Ils obtiennent des données pour toute une gamme d'orientations et parviennent à un bon ajustement¹ entre les mesures empiriques et les prévisions du modèle DWBA lorsque le son atteint les individus sur une face dorsale, ventrale ou latérale (ce à quoi les auteurs se réfèrent en tant qu'angle d'incidence de 90°), mais à un mauvais ajustement lorsque l'orientation s'éloigne des 90° car, dans ce cas, la diffusion prévue est nettement inférieure à celle mesurée.

13. Demer et Conti (2002a, 2003a, 2004a) expliquent théoriquement le mauvais ajustement entre les prévisions du DWBA et les mesures empiriques lorsque l'orientation s'écarte des 90° , au moyen d'un modèle DWBA modifié (appelé "DWBA stochastique" ou SDWBA) qui tient également compte de trois paramètres stochastiques, à savoir : i) la diffusion dans un champ contenant du bruit, ii) la complexité de la forme du krill et iii) la courbure du krill qui nage.

14. Demer et Conti (2002b, 2003b, 2004b) font ensuite la validation du modèle théorique SDWBA avec les mesures empiriques de la TS totale du krill (TTS). Ces mesures ont été obtenues par une nouvelle technique (De Rosny et Roux, 2001) permettant d'obtenir des mesures justes et précises (Demer *et al.*, 2003) qui ne dépendent ni de l'orientation, ni de l'étalonnage de l'équipement. Des valeurs de TTS ont été obtenues pour toute une série de fréquences (36–202 kHz) et tout un intervalle de valeurs de L (17–58 mm), et le SDWBA a été résolu pour une "forme" de krill représentative des individus de l'expérience. Les mesures

¹ Nota : Les auteurs indiquent que la précision des mesures empiriques de l'orientation est de $\pm 15^\circ$, ce qui contribue à expliquer l'éventail des points empiriques autour des pics de 90° .

empiriques concordent étroitement avec les prévisions du modèle SDWBA pour l'intervalle de fréquences 60–202 kHz ("à mieux qu'environ 1 dB") ; les mesures empiriques à des fréquences plus faibles (36–60 kHz) étaient à peine plus élevées que la théorie, mais ces différences peuvent être attribuées au bruit.

15. Dans un dernier temps, Demer et Conti (2004c, 2005) ont appliqué le SDWBA aux données de la campagne CCAMLR-2000 (Watkins *et al.*, 2004) pour examiner les conséquences de leur nouveau modèle de TS sur l'estimation globale de B_0 . Sur la base de la distribution des orientations utilisée, la première estimation de B_0 , à savoir 44,3 millions de tonnes (CV 11,4%), est passée à 192,4 millions de tonnes (CV 11,7%).

Historique de la technique de classification de S_v
adoptée actuellement par la CCAMLR

16. Pour les études hydroacoustiques en général, la classification des données hydroacoustiques par taxon reposait, par le passé, principalement sur l'association de l'analyse visuelle subjective des échogrammes et d'éventuelles informations tirées des captures au filet (par ex., Yudanov, 1971 ; Forbes et Nakken, 1972 ; Jefferts *et al.*, 1987 ; Rose et Legget, 1988 ; Richards *et al.*, 1991). Ainsi, la première campagne hydroacoustique officielle organisée par la CCAMLR pour estimer B_0 chez le krill (BROKE: Pauly *et al.*, 2000) a utilisé l' "interprétation aidée par les données de captures tirées de chalutages spécifiques" pour filtrer les données utilisées.

17. Pour la deuxième campagne CCAMLR sur le krill, on a poussé plus avant la question de la classification de S_v (CCAMLR-2000 Survey: Hewitt *et al.*, 2004). Lors de "l'atelier sur B_0 " qui a suivi la campagne d'évaluation et qui visait à analyser les données, "il a été reconnu que [la technique d'analyse visuelle] dépendait largement du savoir-faire et de l'expérience de l'opérateur et faisait l'objet d'une variation considérable d'un scientifique à un autre. L'atelier a estimé qu'un algorithme de traitement serait plus approprié car il permettrait d'obtenir une méthode formalisée et objective d'analyse des données" (SC-CAMLR-XIX, annexe 4, appendice G, paragraphe 3.22). La technique convenue est basée sur la technique de la différence de dB à fréquence double ($\Delta S_{v120-38kHz}$) décrite par Madureira *et al.* (1993a, 1993b), puis validée et affinée par Watkins et Brierley (2002). Cette technique ayant été dérivée d'observations sur le terrain, il s'agit d'une technique empirique.

18. Alors que l'on note des avancées pertinentes pour les campagnes d'évaluation de la CCAMLR, telles que l'utilisation d'algorithmes à trois fréquences pour aider à réduire davantage la possibilité de fausse classification (par ex., Azzali *et al.*, 2000 ; Hewitt *et al.*, 2003), la technique approuvée actuellement par la CCAMLR reste le protocole de classification de la campagne CCAMLR-2000 ΔS_v .

INFORMATIONS CONSOLIDÉES PAR LE SOUS-GROUPE

Modèles de TS du krill

19. Le sous-groupe reconnaît que de nombreux paramètres influencent la TS (figure 1) et qu'ils ne sont pas tous pris en considération dans le modèle de Greene *et al.* (1991).

20. Compte tenu du paragraphe 19 et d'un accord selon lequel les modèles théoriques ont la capacité de regrouper tous les paramètres pertinents relatifs à la TS, le sous-groupe approuve le changement de méthode et le remplacement du modèle de TS uniquement empirique (comme celui de Greene *et al.*, 1991) utilisé actuellement, par des modèles théoriques qui seraient validés de manière empirique.

21. Le sous-groupe considère quel type de modèle théorique de TS conviendrait le mieux pour le krill :

- i) Le modèle de mode de Kirchoff-ray (KRM) est utilisé pour quantifier la rétrodiffusion du poisson et du zooplancton en fonction de la fréquence, de la taille (longueur) et de l'orientation (par ex., Clay, 1992 ; Clay et Horne, 1994 ; Horne et Clay, 1998). Toutefois, il est considéré que ce modèle convient pour les cibles dont la densité est fortement discontinue, comme les poissons ayant une vessie natatoire, mais pas pour les organismes de type liquide comme le krill. De plus, il n'est valide ni dans le régime de Rayleigh, ni à des angles d'orientation élevée.
- ii) Le sous-groupe reconnaît que le guide le plus complet à ce jour sur le type de modèle théorique à utiliser se trouve dans un article de synthèse de Stanton et Chu (2000). Cet article recommande l'utilisation du DWBA pour le krill, mais il est antérieur au développement du SDWBA.
- iii) Le sous-groupe décide, compte tenu des informations disponibles, que le modèle théorique qui convient le mieux pour la TS du krill est actuellement le SDWBA, sans perdre de vue que ce modèle est accompagné de mises en garde, comme cela est décrit ci-dessous (paragraphe 22).

22. Mises en garde concernant l'utilisation du SDWBA :

- i) Le SDWBA utilise de multiples paramètres (figure 1). Étant donné que l'intervalle des valeurs associées à chaque paramètre n'est pas bien caractérisé, le sous-groupe reconnaît qu'il conviendrait en priorité de déterminer les distributions de ces paramètres.
- ii) Le sous-groupe rappelle combien il est important de déterminer les distributions de l'orientation du krill qui sont représentatives de celles que l'on peut observer sous le navire dans les conditions des campagnes d'évaluation.
- iii) La distribution de l'orientation ($\theta = N[\bar{\theta} = 15^\circ, \text{s.d.} = 5^\circ]$) utilisée dans l'application publiée du SDWBA (Demer et Conti, 2005) a été dérivée des données de la campagne CCAMLR-2000 et elle peut être améliorée. Une autre solution ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$) fournit ce qui peut correspondre à un meilleur ajustement des données de la campagne CCAMLR-2000 par la méthode des moindres carrés (Demer et Conti, comm. pers.), mais pourrait laisser penser que le krill de petite taille en faible densité pourrait avoir été sous-estimé (Figure 3). Cette conséquence pourrait toutefois être un artéfact de l'analyse. Ce point mérite d'être étudié davantage.

- iv) Le terme de variabilité de la phase du SDWBA (ϕ) tient compte du bruit, de la complexité de la forme et de la courbure du corps (Demer et Conti, 2003a). L'idéal serait que ces termes soient caractérisés individuellement et utilisés dans le DWBA, mais ceci n'est pas pratique à présent et le SDWBA offre une solution pragmatique.

Algorithmes de classification de S_v pour le krill

23. En employant la méthode ΔS_v de classification du krill, le sous-groupe reconnaît que les erreurs de classification sont le plus souvent de deux types : i) certaines cibles sont, à tort, prises pour du krill ("capture accessoire acoustique") et ii) du krill ciblé est classifié comme n'étant pas du krill ("contournement acoustique"). La "capture accessoire acoustique" aura pour effet de surestimer la biomasse de krill alors que le "contournement acoustique" aura pour effet de la sous-estimer. Ces deux phénomènes ne s'excluent pas nécessairement.

24. Le sous-groupe reconnaît que toute une gamme d'informations et de protocoles de traitement peuvent être utilisés lorsque on s'efforce de classifier S_v (figure 2). Ceux-ci peuvent être utilisés soit séparément soit, et cela est préférable, les uns avec les autres (voir Horne, 2000 pour une étude de cette question). Le sous-groupe reconnaît également que les approches combinées devraient pouvoir réduire tant la capture accessoire acoustique que le contournement acoustique. Il est préconisé de poursuivre les travaux d'élaboration de ces techniques pour qu'elles puissent être adoptées en tant que techniques standard de la CCAMLR.

25. Le sous-groupe reconnaît que pour les applications à la CCAMLR, la classification a , en général, été mise en œuvre par le logiciel SonarData Echoview. Il reconnaît toutefois qu'il existe d'autres progiciels dans lesquels la classification de l'écho par volume a été mise en œuvre. Deux d'entre eux, décrits par R. Korneliussen lors de la réunion, sont donnés ci-après :

- (i) Korneliussen et Ona (2002, 2003, 2004a, 2004b) ont décrit les techniques de classification de S_v utilisées dans le logiciel Bergen Echo Integrator (BEI). La rétrodiffusion acoustique d'organismes marins est attribuée à l'une des trois classes fondamentales de diffusion, voire à une combinaison de ces trois classes, à savoir : i) "de type fluide", ii) "résonant" et iii) "dur". Chacune de ces classes de diffusion est décrite par une réponse de fréquence relative $r(f) = s_v(f)/s_v(38 \text{ kHz})$. $r(f)$ mesuré à toutes les fréquences acoustiques disponibles est la principale caractéristique acoustique utilisée par le BEI lorsque l'élément acoustique des algorithmes du séparateur est établi ; d'autres caractéristiques, telles que la profondeur, l'heure et la position, sont également utilisées si la catégorie acoustique est identique à une espèce unique. Les points de données lissés, corrigés pour tenir compte du bruit et ajustés géométriquement, à fréquences multiples, servent d'entrée dans le système de catégorisation pour discriminer entre les catégories acoustiques. Lors de la Phase 1 du système de catégorisation du BEI, les exigences importantes, fondées sur le modèle ou empiriques, doivent être remplies par un point de données à fréquences multiples afin de placer le segment-volume correspondant (pixel) dans l'une des catégories de réponse acoustique spécifique. Les besoins acoustiques relatifs au point de

données deviennent de moins en moins importants à chaque phase de la catégorisation, mais la nécessité d'appartenir à la même catégorie que les voisins les plus proches (de la phase précédente) est renforcée.

- (ii) Lebourges-Dhaussy (1996), Lebourges-Dhaussy et Ballé-Béganton (2004) et Lebourges-Dhaussy *et al.* (2004) ont décrit une méthode à fréquence multiple reposant sur plusieurs modèles, appliquée par les logiciels Matlab et MOVIES et capable de classifier S_v par espèce et par taille. Cette méthode repose sur l'algorithme décrit par Holliday et Pieper (1995) pour la classification du zooplancton de petite taille au moyen de hautes fréquences. Les organismes de plus grande taille sont classifiés au moyen de fréquences plus basses. Les données utilisées sont les valeurs de S_v pour chaque fréquence disponible. La méthode repose sur l'algorithme d'inversion NNLS, appliqué à un système d'équations comportant autant d'équations que de fréquences mesurées. Une série de modèles de rétrodiffusion sert à décrire les copépodes, les euphausiidés et les organismes remplis de gaz. Afin de classifier les organismes représentés dans un échantillon, l'algorithme cherche la population optimale (type, tailles et abondance) qui réduit au minimum l'erreur résiduelle entre S_v mesuré et S_v calculé, au moyen du modèle de rétrodiffusion correspondant. L'algorithme n'obtient pas le même taux de succès lorsque le nombre de fréquences diminue. Il est estimé que l'intervalle du vecteur des tailles initialisant l'algorithme à l'égard des tailles présentes dans la population est un paramètre important.

26. Le sous-groupe reconnaît qu'avec l'adoption d'un modèle de TS reposant sur la physique, il devrait également être possible de dériver des spectres théoriques de rétrodiffusion qui pourraient servir à améliorer la classification du krill qui, actuellement, est dérivée d'observations empiriques.

RECOMMANDATIONS DU SOUS-GROUPE

Mise en œuvre du SDWBA pour utilisation générale

27. Le sous-groupe recommande d'avoir recours au SDWBA pour estimer la TS du krill (voir paragraphes 20 et 21 iii)).

28. Le sous-groupe recommande d'utiliser un "SDWBA simplifié" comprenant des paramètres de contrainte pour générer une estimation de "cas de base" de B_0 à l'intention des campagnes d'évaluation acoustique du krill se déroulant dans le cadre de la CCAMLR.

29. Le sous-groupe recommande de rendre tout le SDWBA disponible et encourage les chercheurs à s'efforcer d'améliorer le modèle et la caractérisation des paramètres et d'évaluer les conséquences pour les estimations de B_0 . David Demer et Stéphane Conti acceptent de travailler avec le secrétariat pour mettre le code des sources à la disposition de tous les Membres.

Caractérisation des paramètres et utilisation du SDWBA simplifié

30. Le sous-groupe recommande de considérer les paramètres du modèle (figure 1) comme probabilistes plutôt que déterministes, ce qui revient à dire que l'on devrait les caractériser en tant que fonction de densité de probabilité (PDF) plutôt qu'en tant que valeur unique (la moyenne, par ex.).

31. Le sous-groupe reconnaît que l'utilisation d'un modèle probabiliste implique une certaine incertitude associée aux paramètres d'entrée, incertitude dont il importe de tenir compte dans les estimations de TS et, de ce fait, de B_0 .

32. Le sous-groupe considère comment il pourrait introduire une approche probabiliste dans le modèle :

- i) Il est convenu que la méthode la plus détaillée consisterait à utiliser la PDF complète pour chaque paramètre pour estimer la TS et sa variabilité ; ceci pourrait être effectué en appliquant soit une analyse d'amorçage soit une simulation de Monte Carlo.
- ii) Toutefois, il est, par ailleurs, reconnu que cette approche détaillée est non seulement exigeante sur le plan des calculs, mais qu'il n'existe pas, à présent, suffisamment d'informations empiriques qui permettraient de caractériser la PDF d'un paramètre avec un degré de confiance suffisant.
- iii) Pour parvenir à un compromis, il est donc convenu de considérer chaque paramètre en tant que valeur moyenne du paramètre ± 1 d'écart-type.

33. Les valeurs finales retenues pour paramétrer le SDWBA simplifié sont données au tableau 1. Les détails de l'application de ce SDWBA au moyen de ces paramètres sont donnés en appendice. Les raisons ayant justifié le choix de ces valeurs sont examinées l'une après l'autre :

- i) Orientation (θ) : Le sous-groupe considère qu'il s'agit là des informations les plus objectives dont on dispose à l'heure actuelle (voir paragraphe 22 iii) et figure 3).
- ii) Contraste de densité (g) et contraste de vitesse du son (h) : Ces valeurs sont toutes deux tirées de Foote (1990) parce qu'elles ont déjà été appliquées dans le code informatique du SDWBA (Demer et Conti, 2003a, après McGehee *et al.*, 1998), et que l'on ne disposait pas du temps qui aurait permis d'envisager d'autres mesures (telles que Chu et Wiebe, 2005 ; Takao, comm. pers.).
- iii) Forme ("coefficient de grosseur") : Le sous-groupe considère que le krill en état de sous-alimentation décrit par McGehee *et al.* (1998) représente une bonne approximation de la valeur minimale de la "grosseur". La valeur maximale a été obtenue de manière empirique pendant la réunion, à partir d'une photographie de femelle gravide (Demer, comm. pers.). Le sous-groupe estime que la valeur équivalant à 40% de la forme la plus grosse décrite par Demer et Conti (2005) représente une bonne approximation de valeur médiane.

- iv) Vitesse du son dans l'eau (c) : La vitesse moyenne harmonique pondérée calculée par Demer (2004) pour la campagne CCAMLR-2000 couvre toute la gamme d'environnements que le krill est susceptible de rencontrer dans l'océan Austral ; le sous-groupe estime donc que cette valeur semble appropriée.

34. Les résultats de l'application approuvée par le sous-groupe, du SDWBA simplifié et avec contraintes sont illustrés à la figure 4 (la TS du krill en tant que fonction de L à 38, 70, 120 et 200 kHz), à la figure 5 (la TS du krill en tant que fonction de θ à 38, 70, 120 et 200 kHz) et à la figure 6 (la ΔS_v du krill en tant que fonction de L pour trois scénarios de fréquence double).

35. La figure 4 démontre un intervalle important d'incertitude de TS (et, par là même, de B_0), qui dépend tant de la fréquence que de la longueur. Ceci peut être illustré à $f = 120$ kHz pour deux valeurs différentes de L : i) lorsque $L = 25$ mm, la TS de krill prévue par le SDWBA varie de -88 à -73 dB (intervalle = 15 dB) ; et ii) lorsque $L = 50$ mm, la TS prévue par le SDWBA varie de -77 à -71 dB (intervalle = 6 dB). Le sous-groupe recommande d'incorporer cette incertitude dans les estimations de la TS du krill et, par là même, de B_0 .

Algorithmes de classification de S_v

36. Le sous-groupe considère que, pour le moment, la technique de ΔS_v continue à représenter la technique la plus objective et pragmatique pour classifier S_v par taxon.

37. Le sous-groupe reconnaît que lors de l'utilisation de la technique ΔS_v , la capture accessoire et le contournement acoustiques doivent être réduits au minimum en limitant ΔS_v à l'intervalle de tailles du krill mesuré dans la zone de la campagne d'évaluation. Pour faciliter ce processus, le sous-groupe a calculé les valeurs minimum et maximum de ΔS_v pour différentes tailles de krill, au moyen du modèle SDWBA simplifié et avec contraintes (tableau 3).

Recommandations relatives à la poursuite des recherches sur les modèles de TS et la classification de S_v

38. Le sous-groupe souligne l'importance de bien comprendre la distribution des orientations, le contraste de vitesse du son, le contraste de densité et la forme des individus pour le krill qui se trouve sous le navire effectuant l'évaluation. Il encourage les participants à explorer encore ces questions au plus tôt.

39. Le sous-groupe estime que l'utilisation de transducteurs à 70 kHz devrait améliorer la détection du krill, la classification et l'estimation de B_0 (Furusawa *et al.*, 1994 ; Korneliussen, comm. pers ; Demer, comm. pers.), et en recommande l'utilisation lors des campagnes d'évaluation du krill, chaque fois que cela sera possible.

RÉSUMÉ

40. A l'égard des questions examinées lors de la présente réunion (paragraphe 2), le sous-groupe recommande, en ce qui concerne les campagnes d'évaluation hydroacoustique effectuées dans le cadre de la CCAMLR, d'estimer B_0 pour le krill de la manière suivante :

- i) le modèle SDWBA simplifié (équation de l'appendice 10 ; tableau 2) avec des paramètres de contrainte (tableau 1) devrait servir à définir la TS du krill en tant que fonction de L pour une valeur de f donnée (figure 4) ;
- ii) les valeurs minimum et maximum de TS données à la figure 4 devraient servir de première estimation de l'erreur associée à la TS du krill ;
- iii) la classification de S_v pour éliminer les cibles autres que le krill devrait être effectuée par la technique de ΔS_v , les intervalles de ΔS_v étant limités à l'intervalle convenable de tailles du krill spécifié au tableau 3.

RÉFÉRENCES

- Azzali, M., J. Kalinowski et G. Lanciani. 2000. A multiple-frequency method for identifying and assessing the Antarctic krill stock in the Ross Sea (1989/90, 1997/98 and 1999/2000). Document *WG-EMM-00/37*. CCAMLR, Hobart, Australie : 35 pp.
- Butterworth, D.S., A.E. Punt et M. Basson. 1991. A simple approach for calculating the potential yield of krill from biomass survey results. *In : Communications scientifiques sélectionnées, 1991 (SC-CAMLR-SSP/8)*. CCAMLR, Hobart, Australie : 207–217.
- Butterworth, D.S., G.R. Gluckman, R.B. Thomson, S. Chalis, K. Hiramatsu et D.J. Agnew. 1994. Further computations of the consequences of setting the annual krill catch limit to a fixed fraction of the estimate of krill biomass from a survey. *CCAMLR Science*, 1 : 81–106.
- Chu, D. et P.H. Wiebe. 2005. Measurements of sound-speed and density contrasts of zooplankton in Antarctic waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 62 : 818–831.
- Chu, D., K.G. Foote et T.K. Stanton. 1993a. Further analysis of target-strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120 kHz: comparison with deformed-cylinder model and inference of orientation distribution. *J. Acoust. Soc. Am.*, 93 : 2985–2988.
- Chu, D., K.G. Foote et T.K. Stanton. 1993b. Further analysis of target strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120 kHz: comparison with deformed cylinder model and inference of orientation distribution. Document *WG-Krill-93/6*. CCAMLR, Hobart, Australie.
- Clay, C.S. 1992. Composite ray-mode approximations for backscattered sound from gas-filled cylinders and swimbladders. *J. Acoust. Soc. Am.*, 92 : 2173–2180.
- Clay, C.S. et J.K. Horne. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (*Gadhus morua*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 96 : 1661–1668.

- Constable, A. et W.K. de la Mare. 1996. A generalised model for evaluating yield and the long-term status of fish stocks under conditions of uncertainty. *CCAMLR Science*, 3 : 31–54.
- De Rosny, J. et P. Roux. 2001. Multiple scattering in a reflecting cavity: Application to fish counting in a tank. *J. Acoust. Soc. Am.*, 109 : 2587–2597.
- Demer, D.A. 2004. An estimate of error for CCAMLR 2000 estimate of krill biomass. *Deep-Sea Res., II*, 51 : 1237–1251.
- Demer, D.A. et L.V. Martin. 1994. Zooplankton target strength: volumetric or areal dependence? Document *WG-Krill-94/13*. CCAMLR, Hobart, Australie : 21 pp.
- Demer, D.A. et L.V. Martin. 1995. Zooplankton target strength: volumetric or areal dependence? *J. Acoust. Soc. Am.*, 98 : 1111–1118.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2002a. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. Document *WG-EMM-02/50*. CCAMLR, Hobart, Australie : 19 pp.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2002b. Broadbandwidth total target strength measurements of Antarctic krill (*Euphausia superba*) from reverberation in a cavity. Document *WG-EMM-02/49*. CCAMLR, Hobart, Australie : 37 pp.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2003a. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. *ICES J. Mar. Sci.*, 60 : 429–434.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2003b. Validation of the stochastic distorted-wave Born approximation model with broad bandwidth total target strength measurements of Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 60 : 625–635.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2004a. Erratum – Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. *ICES J. Mar. Sci.*, 61 : 157–158.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2004b. Erratum – Validation of the stochastic distorted-wave Born approximation model with broad bandwidth total target strength measurements of Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 61 : 155–156.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2004c. Sounds like more krill. Document *WG-EMM-04/41*. CCAMLR, Hobart, Australie : 17 pp.
- Demer, D.A. et S.G. Conti. 2005. New target-strength model indicates more krill in the Southern Ocean. *ICES J. Mar. Sci.*, 62 : 25–32.
- Demer, D.A., S.G. Conti, J. De Rosny et P. Roux. 2003. Absolute measurements of total target strength from reverberation in a cavity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 113 : 1387–1394.
- Foote, K.G. 1990. Speed of sound in *Euphausia superba*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 87 : 1405–1408.

- Foote, K.G., I. Everson, J.L. Watkins et D.G. Bone. 1990. Target strengths of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at 38 and 120 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 87 (1): 16–24.
- Forbes, S. et O. Nakken. 1972. Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO : 138 pp.
- Furusuwa, M., Y. Miyanohana, M. Ariji et Y. Sawada. 1994. Prediction of krill target strength by liquid prolate spheroid model. *Fish. Sci.*, 60 : 261–265.
- Greene, C.H., P.H. Wiebe, S. McClatchie et T.K. Stanton. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. *Nature*, 349 : 110 pp.
- Hewitt, R.P. et D.A. Demer. 1991a. Target strength of Antarctic krill. Document *WG-Krill-91/13*. CCAMLR, Hobart, Australie.
- Hewitt, R.P. et D.A. Demer. 1991b. Krill abundance. *Nature*, 353 : p. 310.
- Hewitt, R.P., D.A. Demer et J.H. Emery. 2003. An eight-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Island during the austral summers of 1991/92 through 2001/02. *Aquat. Living Resour.*, 16 (3) : 205–213.
- Hewitt, R.P., J. Watkins, M. Naganobu, V. Sushin, A.S. Brierley, D. Demer, S. Kasatkina, Y. Takao, C. Goss, A. Malyshko, M. Brandon, S. Kawaguchi, V. Siegel, P. Trathan, J. Emery, I. Everson et D. Miller. 2004. Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. *Deep-Sea Res., II*, 51 : 1215–1236.
- Holliday, D.V. et R.E. Pieper. 1995. Bioacoustical oceanography at high frequencies. *ICES J. Mar. Sci.*, 52 : 279–296.
- Horne, J.K. 2000. Acoustic approaches to remote species identification: a review. *Fish. Oceanogr.*, 9 : 356–371.
- Horne, J.K. et C.S. Clay. 1998. Sonar systems and aquatic organisms: matching equipment and model parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55 : 1296–1306.
- Jefferts, K., J. Burczynski et W.G. Percy. 1987. Acoustical assessment of squid (*Loligo opalescens*) off the central Oregon coast. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 : 1261–1267.
- Korneliussen, R.J. et E. Ona. 2002. An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data. *ICES J. Mar. Sci.*, 59 : 291–313.
- Korneliussen, R.J. et E. Ona. 2003. Synthetic echograms generated from the relative frequency response. *ICES J. Mar. Sci.*, 60 : 636–640.
- Korneliussen, R.J. et E. Ona. 2004a. Validated acoustic identification of Atlantic Mackerel. *ICES CM 2004/R:20*. CIEM, Copenhagen, Danemark.

- Korneliussen, R.J. et E. Ona. 2004b. Combined algorithms for detection of acoustic categories. *ICES CM 2004/R* : 38. CIEM, Copenhagen, Danemark.
- Lebourges-Dhaussy, A. 1996. Caractérisation des populations planctoniques par acoustique multifréquence. *Océanis*, 22 : 71–92.
- Lebourges-Dhaussy, A. et J. Ballé-Béganton. 2004. Multifrequency multimodel zooplankton classification. *ICES CM 2004/R* : 22. CIEM, Copenhagen, Danemark.
- Lebourges-Dhaussy, A., T. Knutsen et R.J. Korneliussen. 2004. Acoustic backscatter from zooplankton and fish explored through an optimized model framework. *ICES CM 2004/R* : 39. CIEM, Copenhagen, Danemark.
- McGehee, D.E., R.L. O'Driscoll et L.V.M. Traykovski. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. *Deep-Sea Res., II*, 45 : 1273–1294.
- McGehee, D.E., R.L. O'Driscoll et L.V. Martin-Traykovski. 1999. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. Document *WG-EMM-99/42*. CCAMLR, Hobart, Australie.
- Madureira, L.S.P., P. Ward et A. Atkinson. 1993a. Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 93 (1–2) : 17–24.
- Madureira, L.S.P., I. Everson et E.J. Murphy. 1993b. Interpretation of acoustic data at two frequencies to discriminate between Antarctic krill and other scatterers. *J. Plankton. Res.*, 15 (7) : 787–802.
- Morris, D.J., J.L. Watkins, C. Ricketts, F. Bucholz et J. Priddle. 1988. An assessment of the merits of length and weight measurements of Antarctic krill *Euphausia superba*. *Brit. Ant. Surv. Bull.*, 79 : 27–50.
- Morse, P.M. et K.U. Ingard. 1968. *Theoretical Acoustics*. Princeton University Press, Princeton, NJ : 927 pp.
- Pauly, T. et J.D. Penrose. 1997. Laboratory target strength measurements of free-swimming Antarctic krill. Document *WG-EMM-97/75*. CCAMLR, Hobart, Australie : 40 pp.
- Pauly, T. et J.D. Penrose. 1998. Laboratory target strength measurements of free-swimming Antarctic krill (*Euphausia superba*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 103 : 3268–3280.
- Pauly, T., S. Nicol, I. Higginbottom, G. Hosie et J. Kitchener. 2000. Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80–150°E) during the Austral summer of 1995/96. *Deep-Sea Res., II: Topical Studies in Oceanography*, 47 (12–13) : 2465–2488.
- Richards, L.J., R. Kieser, T.J. Mulligan et J.R. Candy. 1991. Classification of fish assemblages based on echo-integration surveys. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48 : 1264–1272.

- Rose, G.A. et W.C. Legget. 1988. Hydroacoustic signal classification of fish schools by species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45 : 597–604.
- Stanton, T.K. et D. Chu. 2000. Review and recommendations for the modelling of acoustic scattering by fluid-like elongated zooplankton: euphausiids and copepods. *ICES J. Mar. Sci.*, 57 (4) : 793–807.
- Stanton, T.K., D. Chu, P.H. Wiebe et C.S. Clay. 1993. Average echoes from randomly oriented random-length finite cylinders: Zooplankton models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 94: 3463–3472.
- Stanton, T.K., D. Chu et P.H. Wiebe. 1998. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103 : 236–253.
- Trathan, P.N., D.J. Agnew, D.G.M. Miller, J.L. Watkins, I. Everson, M.R. Thorley, E.J. Murphy, A.W.A. Murray et C. Goss. 1992. Krill biomass in Area 48 and Area 58: recalculation of FIBEX data. In: *Communications scientifiques sélectionnées, 1992 (SC-CAMLR-SSP/9)*. CCAMLR, Hobart, Australie : 157–181.
- Watkins, J.I. et A. Brierley. 2002. Verification of acoustic techniques used to identify and size Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 59 : 1326–1336.
- Watkins, J.L., R. Hewitt, M. Naganobu et V. Sushin. 2004. The CCAMLR-2000 Survey: a multinational, multi-ship biological oceanography survey of the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Deep-Sea Res., II*, 51 : 1205–1213.
- Wiebe, P.H., C.H. Greene, T.K. Stanton et J. Burczynski. 1990. Sound scattering by live zooplankton and micronekton: empirical studies with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88 : 2346–2360.
- Yudanov, K.J. 1971. Interpretation of echograms of hydroacoustic fish finding instruments. Israel Program for Scientific Translations, Kyriat Moshe, Jerusalem, Israël.

Tableau 1 : L'intervalle de valeurs paramétriques utilisé dans le modèle SDWBA simplifié pour estimer l'erreur de la prévision de la TS du krill, pour la fréquence (f_0) = 120 kHz, le nombre de cylindres (n_0) = 14, la longueur du krill (L_0) = 38,35 mm et la variabilité des phases (φ_0) = $\sqrt{2}$.

	écart-type -1 (scénario 1)	Moyenne (scénario 2)	écart-type +1 (scénario 3)
Rayon des cylindres (multiplicateur r_0 : voir texte)	1.0	1.4	1.7
Contraste de densité (g : d'après Foote, 1990)	1.0290	1.0357	1.0424
Contraste de vitesse du son (h : d'après Foote, 1990)	1.0255	1.0279	1.0303
Orientation ($\bar{\theta}$, écart-type : Demer et Conti, comm. pers.)	N(7, 4)	N(11, 4)	N(15, 4)
Vélocité du son dans l'eau (c m s ⁻¹ : d'après Demer, 2004)	1451	1456	1461

Tableau 2 : Coefficients et longueur de référence (L_0) pour le modèle SDWBA simplifié de la TS du krill (équation 10 de l'appendice), dont on a fait une moyenne pour toute la distribution de l'orientation du krill ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ$, s.d. = 4°]). La notation exponentielle ($\times 10^x$) est dénotée par "e±x". Le modèle simplifié a une erreur rms de 0,75 dB pour cet intervalle de kL .

<i>A</i>	6.64558746e+000
<i>B</i>	1.27909076e-001
<i>C</i>	4.46318146e-001
<i>D</i>	-1.19209591e-011
<i>E</i>	7.42324712e-009
<i>F</i>	-1.73916236e-006
<i>G</i>	1.86327198e-004
<i>H</i>	-8.67465215e-003
<i>I</i>	1.32140873e-001
<i>J</i>	-8.09830343e+001
L_0	38.35e-003 m

Tableau 3 : Intervalles recommandés (min–max) des valeurs de ΔS_v (en dB) pour classifier différentes distributions de tailles de krill sur des échogrammes hydroacoustiques. Les valeurs données sur la première, la seconde et la troisième ligne de chaque série correspondent respectivement aux intervalles ΔS_v pour 120–38 kHz, 200–120 kHz et 200–38 kHz. Ces valeurs reposent sur les calculs effectués avec le SDWBA simplifié et avec contraintes, pour une distribution d'orientation de ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$).

Longueur minimale du krill (mm)	Longueur maximale du krill (mm)			
	30	40	50	60
10	11.1–17.7	7.7–17.7	4.6–17.7	2.5–17.7
	0.4–6.8	-0.3–6.8	-0.5–6.8	-0.5–6.8
	11.5–24.5	7.4–24.5	4.1–24.5	2–24.5
20	11.1–14.7	7.7–14.7	4.6–14.7	2.5–14.7
	0.4–2.1	-0.3–2.1	-0.5–2.1	-0.5–2.1
	11.5–16.8	7.4–16.8	4.1–16.8	2–16.8
30	-	7.7–11.1	4.6–11.1	2.5–11.1
	-	-0.3–0.4	-0.5–0.4	-0.5–0.4
	-	7.4–11.5	4.1–11.5	2–11.5
40	-	-	4.6–7.7	2.5–7.7
	-	-	-0.5–0.3	-0.5–0.3
	-	-	4.1–7.4	2–7.4

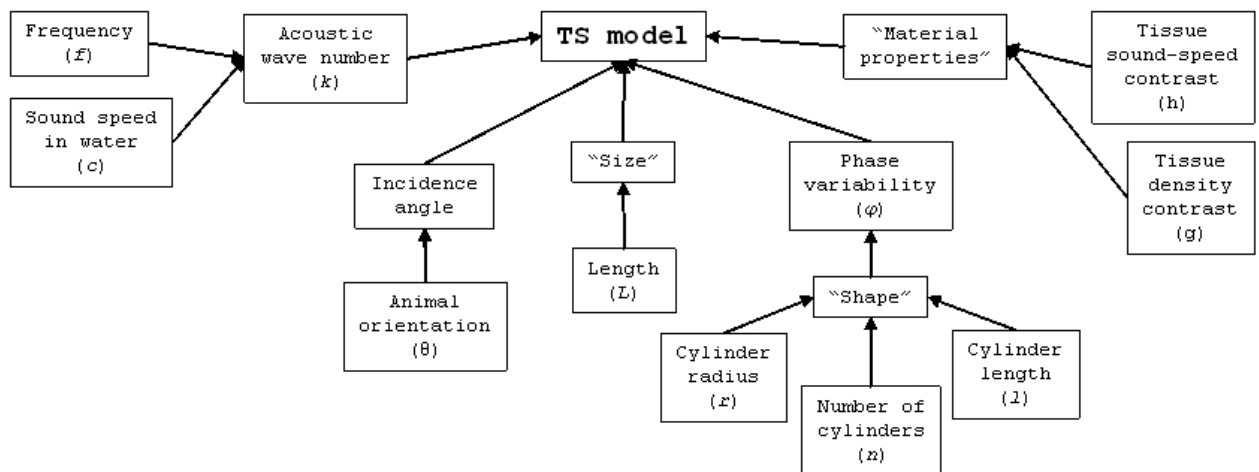


Figure 1 : Rapports entre les paramètres qui contribuent à la réponse acoustique du krill antarctique. N.B. : il ne s'agit ici que d'une approximation simplifiée qui ne tient pas compte des codépendances.

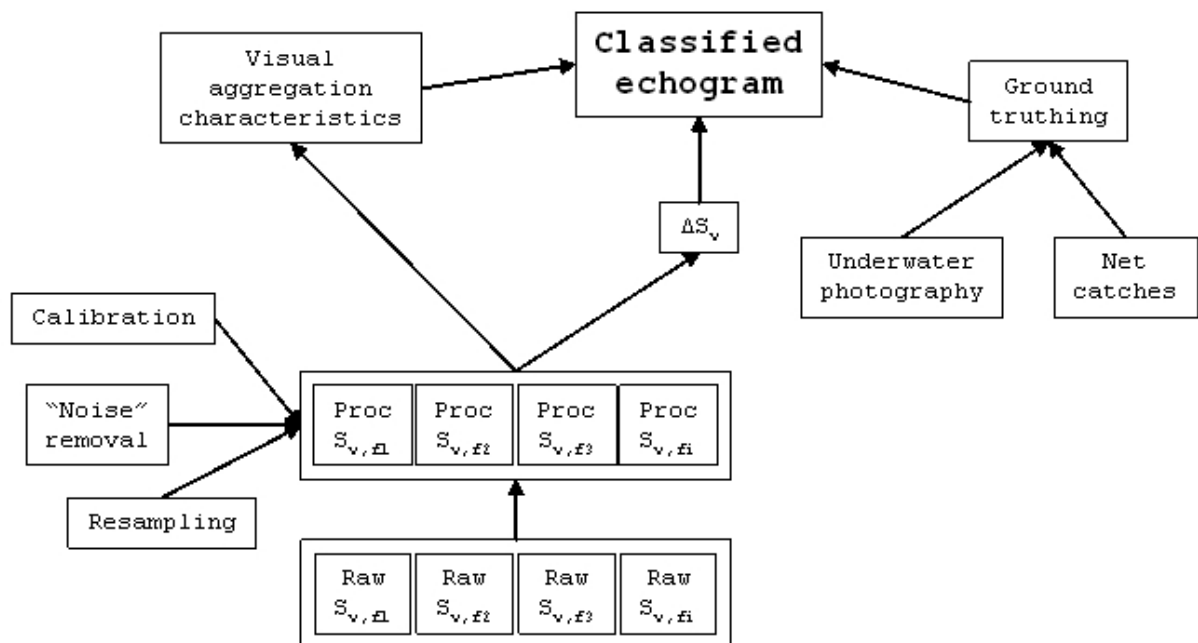


Figure 2 : Rapports entre les catégories d'informations et de procédures généralisées, disponibles à l'heure actuelle pour classifier les données de S_v par taxon. "Proc" – données traitées de S_v .

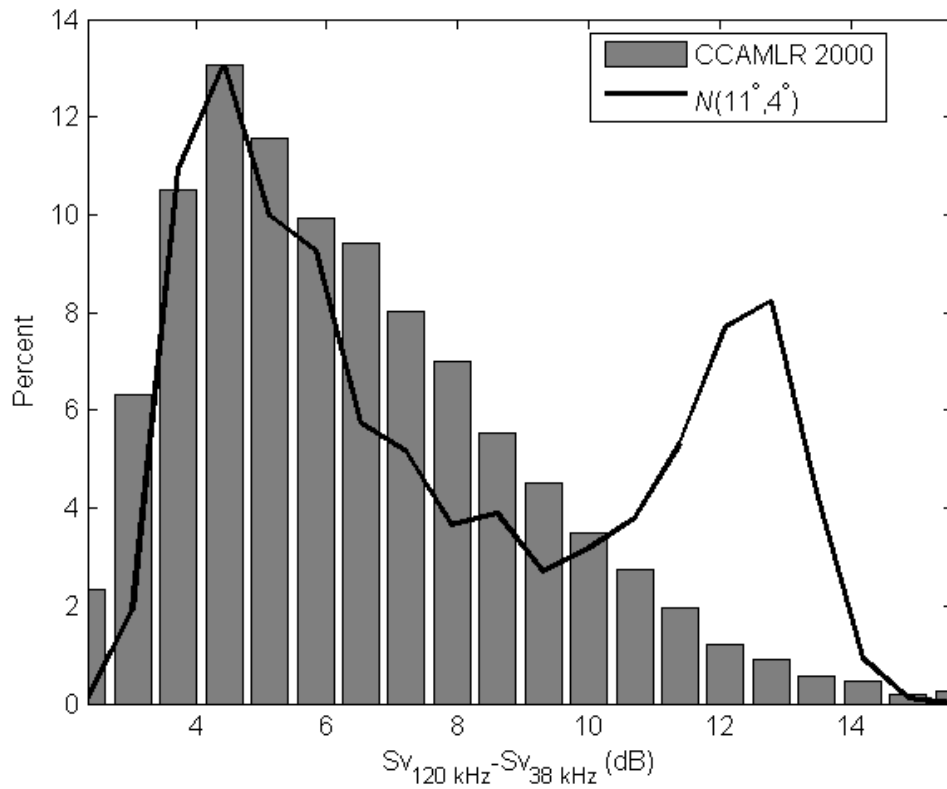


Figure 3 : Différences d'intensité de rétrodiffusion par volume (ΔS_v) attribuée au krill à 120 et 38 kHz et mesurée par le RV *Yuzhmorgeologiya* lors de campagne CCAMLR-2000 (barres grises), par comparaison avec les prévisions du modèle SDWBA résolu avec la distribution de fréquence des longueurs du krill de la campagne CCAMLR-2000 et la distribution de l'orientation du krill ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$) (trait plein).

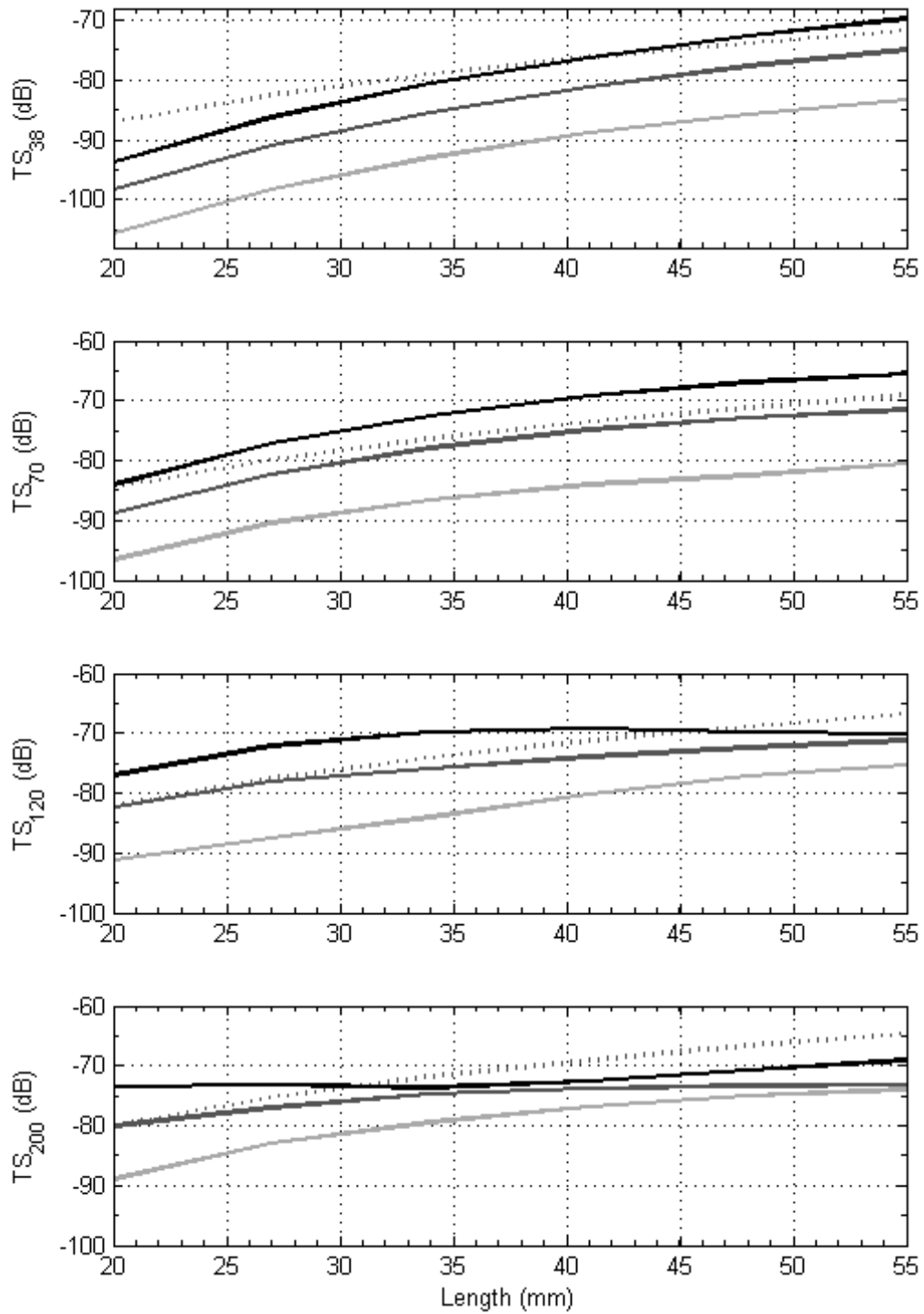


Figure 4 : Différentes TS prévues par le SDWBA simplifié et avec contraintes, à 38, 70, 120 et 200 kHz en fonction de L . Les paramètres du modèle sont tirés du tableau 1 pour les scénarios 1 (trait plein clair), 2 (trait plein gris) and 3 (trait plein foncé). La ligne en pointillés correspond aux prévisions de Greene *et al.* (1991).

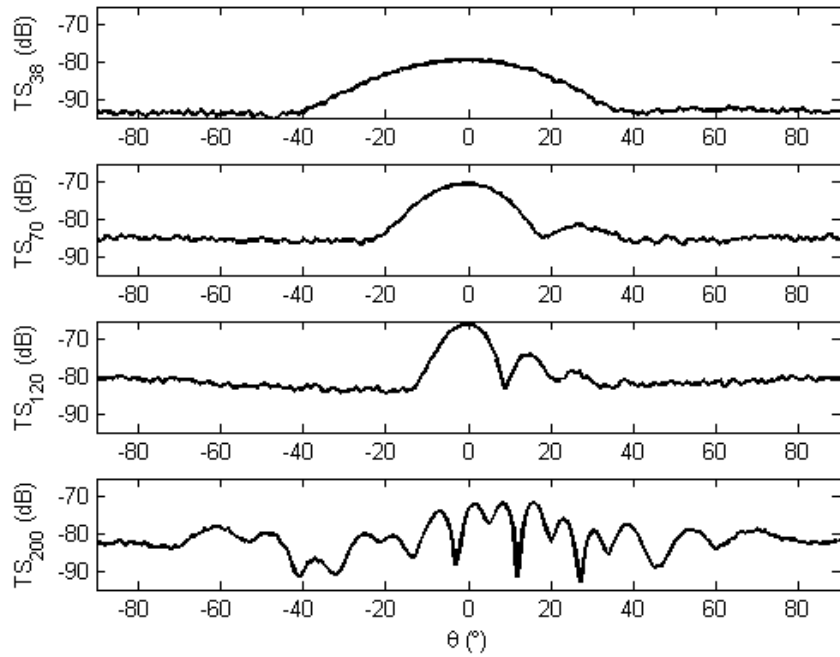


Figure 5 : TS prévue par le SDWBA simplifié et avec contraintes, en fonction de l'angle d'orientation à 38, 70, 120 et 200 kHz. Les paramètres du modèle sont tirés du tableau 1 pour le scénario 2.

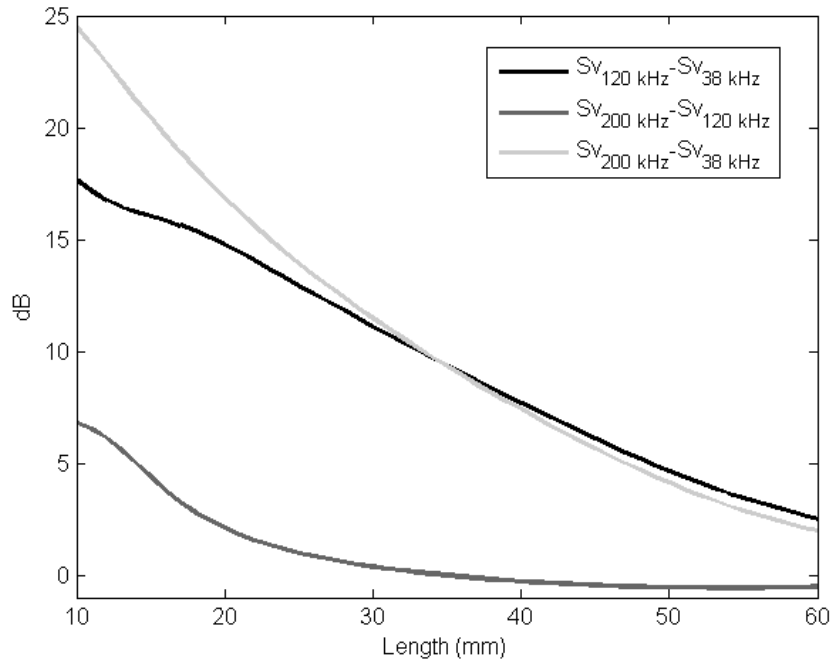


Figure 6 : Différences de S_v prévue par le SDWBA simplifié et avec contraintes à 200, 120 et 38 kHz en fonction de L . Ces rapports peuvent être utilisés pour réduire au minimum la capture et le contournement acoustiques (voir tableau 3).

**MODÈLE D'APPROXIMATION DE BORN
STOCHASTIQUE GÉNÉRALISÉE (SDWBA)**

L'approximation du krill est réalisée par N cylindres courbés isolés de divers rayons a_j . Dans ce cas, la fonction de la forme de la rétrodiffusion pour le cylindre j et l'incidence de l'angle θ est :

$$f_{bsj}(\theta) = \frac{k_1}{4} \int [\gamma_\kappa - \gamma_\rho] \exp(-2i\vec{k}_i \cdot \vec{r}_0) \frac{a_j J_1(2k_2 a_j \cos \beta_{ilt})}{\cos \beta_{ilt}} dr_0 \quad (1)$$

où $\gamma_\kappa = (\rho_1 c_1^2 / \rho_2 c_2^2) - 1$, $\gamma_\rho = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$, l'indice 1 dénote l'eau de mer ambiante, et 2 le krill. J_1 est la fonction Bessel du premier type d'ordre 1, \vec{r}_0 le vecteur de position,

$\vec{k}_i = k_1 \begin{bmatrix} \sin \theta \\ 0 \\ \cos \theta \end{bmatrix}$ le vecteur de l'onde incidente, et β_{ilt} l'angle entre le cylindre et l'axe central du

corps. La fonction de la forme du SDWBA est obtenue en additionnant les éléments de chaque cylindre avec une phase aléatoire φ_j différente :

$$f_{bs}(\theta) = \sum_{j=1}^N f_{bsj}(\theta) \exp(i\varphi_j) \quad (2)$$

La variabilité de la phase φ_j est dérivée d'une distribution de Gauß centrée sur 0, avec un écart-type sd_φ , pour chaque cylindre j le long du corps. Enfin, le profil de rétrodiffusion $\sigma_{bs}(\theta)$ est tiré de la moyenne de nombreuses réalisations des ensembles de la phase φ_j :

$$\sigma_{bs}(\theta) = \left\langle |f_{bs}(\theta)|^2 \right\rangle_\varphi, \quad (3)$$

et

$$TS(\theta) = 10 \log_{10}(\sigma_{bs}(\theta)). \quad (4)$$

La forme générique du krill est définie par McGehee *et al.* (1998, longueur standard $L_0 = 38.35$ mm). La largeur de la forme générique est augmentée de 40% dans Demer et Conti (2003a), parce que les individus qui venaient d'être capturés étaient plus gros que les individus en état de malnutrition mesurés par McGehee *et al.* (1998). A $f_0 = 120$ kHz, et en utilisant $N_0 = 14$ cylindres, $sd_{\varphi 0}$ est estimé à $\sqrt{2}/2$ radians par la comparaison entre les prévisions du SDWBA et les mesures expérimentales. Du fait que les facteurs N , sd_φ , f et L

sont codépendants dans leur influence sur les résultats du SDWBA, $sd_\varphi(f)f$ est maintenu à une valeur constante,

$$sd_\varphi(f)f = sd_{\varphi_0}f_0. \quad (5)$$

De même, comme f et L ont été modifiés, N est également ajusté pour que la résolution spatiale du corps du krill reste une constante relative à la longueur d'onde. De ce fait, le rapport entre la longueur d'onde λ et la longueur de chaque cylindre est maintenu constant :

$$\frac{L}{N\lambda} = \frac{L_0}{N_0\lambda_0} \quad (6)$$

ou

$$\frac{Lf}{N} = \frac{L_0f_0}{N_0}. \quad (7)$$

D'après les équations (5) et (7) :

$$N(f, L) = N_0 \frac{fL}{f_0L_0} \quad (8)$$

et

$$sd_\varphi(f, L) = sd_{\varphi_0} \frac{N_0L}{N(f, L)L_0}. \quad (9)$$

Ainsi, sd_φ et N sont ajustés en fonction des valeurs désirées de L et f . La TS est estimée en fonction de L à $f = 38, 70, 120, \text{ et } 200$ kHz (figure 4) en résolvant le SDWBA avec une forme générique de krill en bonne condition physique, et en ajustant N et sd_φ selon les équations (8) et (9). Les paramètres sont récapitulés au tableau 1.

Les prévisions de TS du SDWBA sont exprimées de manière concise en fonction du produit du nombre d'onde acoustique $k=(2\pi/\lambda)$ et de L . En déterminant la moyenne de cette fonction sur une distribution lognormale ($\theta = N[\bar{\theta} = x^\circ, \text{ s.d.} = y^\circ]$) des orientations du krill, Demer et Conti (2005) présentent une représentation simplifiée ou polynomiale de la fonction $TS(kL)$:

$$TS(kL) = A \left[\frac{\log_{10}(BkL)}{BkL} \right]^C + D(kL)^6 + E(kL)^5 + F(kL)^4 + G(kL)^3 + H(kL)^2 + I(kL) + J + 20 \log_{10} \left(\frac{L}{L_0} \right). \quad (10)$$

Pour ce modèle, de nouveaux paramètres sont générés au moyen des paramètres du tableau 2, et de kL variant de 0 à 200, pour ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{ s.d.} = 4^\circ]$) (tableau 1). L'erreur rms moyenne sur cet intervalle de kL est de 0,75 dB.

La distribution ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$) de l'orientation est estimée au moyen des données de CCAMLR 2000. Les valeurs de S_v entre 120 et 38 kHz selon les mesures prises pendant la campagne d'évaluation sont comparées aux valeurs prévues au moyen du modèle et de la distribution de longueurs mesurée pendant la campagne d'évaluation (figure 3). Par une optimisation des moindres carrés moyen avec la moyenne et l'écart-type de l'orientation entre 0° et 25° et entre 1° et 30° respectivement, le meilleur ajustement est obtenu pour ($\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$).