

Centre de Nantes
Département Ecologie et Modèles pour l'Halieutique

Mathieu DORAY
Pierre PETITGAS
Jacques MASSE

....
Mai 2010 - R.INT. DOP/DCN/EMH 10- 02



Ifremer

Estimation de la biomasse de stocks de poissons par acoustique

Sommaire

1. Objectif et données.....	3
1.1. Quelles données? (Simmonds & MacLennan, 2005)	3
1.2. Quelle méthode?.....	3
2. Classification des écotraces.....	4
2.1. Méthode « expert ».....	4
2.2. Méthodes plus automatiques.....	4
3. Relation entre pêches d'identification et données acoustiques.....	5
3.1. Définition de régions homogènes à partir des pêches d'identification et caractéristiques moyennes des chaluts.....	6
3.1.1. Définition de régions homogènes en termes de composition spécifique et de distributions en tailles.....	6
3.1.1.1. Distributions en taille.....	6
3.1.1.2. Composition spécifique.....	7
3.2. Autres méthodes d'allocation des chaluts aux densités acoustiques.....	8
3.2.1. Méthodes par images acoustiques.....	8
3.2.2. Vers des méthodes encore plus automatiques?.....	9
4. Calcul du facteur de conversion d'écho-intégration.....	10
4.1. L'équation.....	10
4.2. Détermination du facteur de conversion d'écho-intégration.....	10
4.2.1. Cas monospécifique.....	10
4.2.2. Cas plurispécifique.....	11
4.2.2.1. Allocation des énergies acoustiques proportionnellement aux captures	11
4.2.2.2. Utilisation des images acoustiques.....	11
5. Synthèse des méthodes d'estimation de biomasse.....	13

1. Objectif et données

1.1. Quelles données? (Simmonds & MacLennan, 2005)

- Données acoustiques :
échogrammes sous forme de Sv ou les mêmes données écho-intégrées ou écho-comptées par tranches de profondeur et ESUs.
- Résultats de calibration
- Composition en espèces et tailles, sexe, maturité des pêches expérimentales d'identification
- Equations indice de cible (Target Strength, TS) ~taille pour chaque espèce considérée
- Géographie de la zone et parcours d'échantillonnage
- Données environnementales : environnements biotique et abiotique

1.2. Quelle méthode?

Estimer la biomasse d'un stock de poissons par acoustique nécessite de combiner des données de nature diverse collectées le long du parcours d'échantillonnage (Woillez et al., 2009). Il s'agit essentiellement de combiner trois champs de données spatialisées : une carte de densités acoustiques attribuées aux poissons, une carte de proportions d'espèces et une carte de longueurs moyennes (Figure 1).

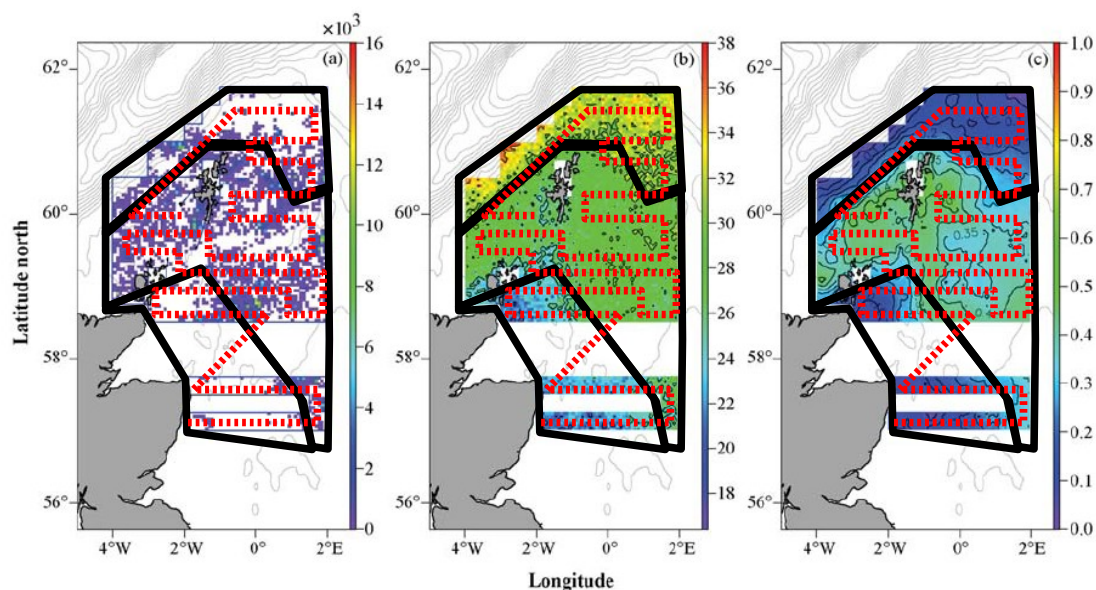


Figure 1. Champs de données à combiner lors d'une estimation de stock de poissons par acoustique : a) densités acoustiques des poissons ; b) longueur moyenne des poissons ; c) proportions par espèces. Ligne rouge pointillée : route du navire ; lignes noires : limites de strates homogènes (adapté de Woillez et al., 2009).

L'estimation de biomasse par acoustique s'effectue en 2 étapes :

1. Classification des échotraces : il s'agit de distinguer les échotraces des échogrammes attribuables à : i) des poissons individuels, ii) des bancs composés d'une seule espèce, iii) des agrégations comportant plusieurs espèces (Simmonds & MacLennan, 2005).
2. Relation entre pêches d'identification et densités acoustiques et calcul d'un facteur d'écho-intégration moyen : il s'agit de mettre en relation les cartes de densités acoustiques et de proportions d'espèces/classes de taille, afin de

calculer un facteur de proportionnalité (ou facteur d'écho-intégration) entre les densités acoustiques et la biomasse des différentes espèces/classes de taille.

Classiquement, des grandes régions homogènes en terme de captures/tailles sont définies et les compositions en espèce et tailles des chalutages réalisés y sont moyennées, pour calculer un facteur de proportionnalité dépendant du TS moyen (et donc de la taille moyenne) des poissons dans chaque région. Ce facteur de proportionnalité est utilisé pour convertir les densités acoustiques en densités de poissons (en nombre ou en masse) le long du parcours d'échantillonnage. D'autres méthodes d'allocation plus spécifiques relient les données de pêche à des types d'échotrases.

La clef d'une bonne analyse réside dans la justesse du découpage en régions, au sein desquelles sont regroupées les observations. Le problème est que chaque observation (acoustique ou de pêche) contient des informations sur la densité de poissons ou leurs caractéristiques biologiques, mais est également entachée d'une erreur d'observation. L'objectif est de combiner dans une région plusieurs observations proches spatialement pour réduire l'influence des erreurs d'observation. Mais il ne faut pas en combiner trop, au risque de brouiller les patrons spatiaux. Lorsque les erreurs d'échantillonnage sont importantes, il convient de multiplier les observations et de les moyennner autant que possible. Lorsque les erreurs d'échantillonnage sont faibles, les meilleurs résultats sont obtenus en regroupant moins de données (Simmonds & MacLennan, 2005).

2. Classification des échotrases

2.1. Méthode « expert »

C'est la méthode la plus largement répandue, elle consiste à identifier et classifier manuellement les « échotrases » : objets acoustiques homogènes en termes de densité et/ou de morphologie (poissons individuels, bancs, agrégations, couches). Chaque échotrase est attribué à une catégorie, qui sera elle-même mise en relation avec les chalutages d'identification. Cette étape permet d'allouer aux espèces et classes de taille observées dans les captures les densités acoustiques issues des cibles identifiées comme poisson. L'expert s'appuie en général sur la représentation de l'énergie acoustique cumulée au cours du temps (ou « intégramme ») pour classifier manuellement les échos (Simmonds & MacLennan, 2005).

Il n'existe pas de méthodologie standardisée pour réaliser cette analyse visuelle des échogrammes, qui dépend très largement de l'expérience de l'expert dans la zone étudiée. Un groupe de travail a récemment comparé l'allocation des énergies acoustiques réalisées par des experts de différents pays travaillant sur une même espèce : le sébaste du Nord (*Sebastes mentella*). Ce rapport fait état de différences entre les énergies acoustiques minimales et maximales attribuées à cette espèce à partir des mêmes échogrammes allant de 16 à 450% (Planque *et al.*, 2009).

Simmonds et MacLennan (2005) reconnaissent la "large part de subjectivité dans l'allocation des échotrases aux espèces". Ils recommandent néanmoins d'établir une bibliothèque d'échotrases identifiées avec certitude, avec mention de la position géographique, de la saison et de l'heure de la journée, afin de définir des règles communes d'allocation.

2.2. Méthodes plus automatiques

La procédure de classification des échotrases peut être partiellement automatisée (ou objectivée) dans le cas des petits poissons pélagiques grégaires, en utilisant des algorithmes d'analyse d'image visant à l'extraction automatique de descripteurs quantitatifs de « bancs acoustiques » (e.g. (Barange, 1994; Diner *et al.*, 1994; Haralabous & Georgakarakos, 1996; Nero & Magnuson, 1989; Reid & Simmonds, 1993; Richards *et al.*, 1991; Rose & Leggett, 1988; Weill *et al.*, 1993). Cette technique peut également être appliquée à des données collectées à différentes fréquences acoustiques, ou à des « échogrammes virtuels » résultant d'opérations arithmétiques

entre les échogrammes enregistrés à différentes fréquences (Korneliussen & Ona, 2003).

Les bancs acoustiques extraits peuvent ensuite être attribués manuellement à des types d'échotracés, ou classifiés au moyen de méthodes statistiques. Ces algorithmes d'extraction automatique nécessitent un paramétrage et une validation manuelle des résultats qui rendent leur utilisation coûteuse en temps et relativement subjective. L'utilisation de critères visuels afin de définir des bancs acoustiques est cependant une pratique commune en acoustique halieutique (Barange, 1994; Petitgas *et al.*, 1998; Reid & Simmonds, 1993). Une étude a été menée afin de comparer : i) les résultats de l'extraction de bancs acoustiques de petits pélagiques obtenue au moyen de différentes méthodes manuelles et plus ou moins automatisées ii) l'interprétation visuelle d'échogrammes par des experts différents (Petitgas *et al.*, 1998). Cette étude a montré que les résultats des méthodes d'extraction semi-automatiques et manuelles étaient similaires et que l'interprétation des experts était relativement proche. Les auteurs ont notamment conclu que « tous les protocoles d'extraction font appel à la subjectivité (l'expertise) des scientifiques car une sélection (visuelle) des échotracés est nécessaire à la fin du processus » (Petitgas *et al.*, 1998).

Des méthodes ont été proposées afin d'allouer automatiquement l'énergie des bancs acoustiques extraits aux espèces et classes de taille observées dans les pêches d'identification, au moyen des algorithmes d'analyse d'image. La majorité repose sur l'analyse des descripteurs quantitatifs des bancs acoustiques au moyen de méthodes statistiques appartenant à deux grandes familles (ICES, 2000) :

- ordination/classification : classification (Gerlotto, 1993; Rose & Leggett, 1988), analyse discriminante (Scalabrin *et al.*, 1996), analyse canonique de redondance (Doray, 2006), tests de comparaison de descripteurs moyens (Villalobos, 2008) ;
- apprentissage automatique : réseaux neuronaux (Haralabous & Georgakarakos, 1996), approche bayésienne (Hammond & Swartzman, 2001).

Ces méthodes ont donné des résultats satisfaisants dans le cas de jeux de données réduits (e.g. (Haralabous & Georgakarakos, 1996)) ou ayant déjà subi une sélection préalable des bancs (Scalabrin *et al.*, 1996) et/ou dans un environnement caractérisé par un petit nombre d'espèces formant des agrégations bien différenciées (Doray, 2006; Gerlotto, 1993; Hammond & Swartzman, 2001; Rose & Leggett, 1988). Aucune de ces méthodes n'a permis de réaliser une classification automatique des échotracés observés lors d'une campagne dans le contexte multispécifique du golfe de Gascogne (Villalobos, 2008).

Petitgas *et al.* (2003) ont proposé une approche alternative, basée sur l'hypothèse de l'existence de « populations acoustiques » (Gerlotto, 1993) i.e. d'une organisation spatiale régionale des échotracés pérenne à l'échelle pluri-annuelle. Cette approche est basée sur l'analyse non pas des descripteurs de bancs acoustiques issus de sondeurs monofaisceaux, jugés trop variables, mais sur l'étude des descripteurs globaux des images acoustiques, sur lesquelles ont été basées les décisions des chalutages d'identification. Les descripteurs globaux des images sont calculés à partir des descripteurs individuels de bancs acoustiques, issus d'une écho-intégration par banc supervisée. Des méthodes d'ordination en espace réduit appliquées sur les descripteurs d'images permettent ainsi de définir des zones homogènes en terme de structuration spatiale des populations acoustiques (Petitgas *et al.*, 2003).

3. Relation entre pêches d'identification et données acoustiques

3.1. Définition de régions homogènes à partir des pêches d'identification et caractéristiques moyennes des chaluts

L'objectif est de définir la composition spécifique et en tailles des populations échantillonnées (qui peuvent varier au cours de la campagne...), en établissant une **carte de la distribution des espèces / tailles pour identifier des grandes zones homogènes.**

3.1.1. Définition de régions homogènes en termes de composition spécifique et de distributions en tailles

Les régions homogènes peuvent être identifiées a priori, en se basant sur la stratification du plan d'échantillonnage. Celle-ci peut par exemple être basée sur le fait que la distribution des espèces/tailles soit reliée à des covariables, telle la profondeur. Les zones homogènes peuvent également être définies a posteriori, à partir des données biologiques collectées.

Simmonds et MacLennan (2005) suggèrent par exemple de quantifier les différences entre les distributions en taille par espèce des différents chaluts au moyen du test de Kolmogorov-Smirnov, qui fournit une mesure de similarité, P_{KS} , bornée entre 0 et 1. Un algorithme de classification appliqué sur P_{KS} permet ensuite de regrouper les chaluts qui se ressemblent le plus et de définir des grandes zones homogènes et contenant un nombre suffisant de chaluts.

La même méthode peut-être utilisée pour regrouper les chaluts selon leur composition spécifique, en appliquant le test sur les proportions en espèces au lieu des proportions en taille. Petitgas *et al.* (2003) ont également proposé d'appliquer une méthode d'ordination en espace réduit (Analyse en Composantes Principales (ACP) puis Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)) sur les proportions d'espèces dans les captures, afin d'isoler des groupes de chalutages, définissant des régions où la composition spécifique est homogène.

Dans chacune des zones identifiées, les chalutages doivent être combinés, afin de produire des distributions en taille et espèces moyennes. Les méthodes proposées par Simmonds et MacLennan (2005) pour y parvenir sont présentées ci-dessous.

3.1.1.1. Distributions en taille

- Supposons que l'on dispose de M_i coups de chaluts de durée t_k avec des captures suffisantes de l'espèce i pour établir une distribution en taille pour l'espèce i .
- N_{ik} est alors le nombre total d'individus de l'espèce i dans le chalut k
- n_{ijk} est l'effectif de la classe de taille j de l'espèce i dans le chalut k
- P_{ij} est la fréquence moyenne de la classe de taille j de l'espèce i

L'efficacité de pêche d'un chalut (pélagique) pouvant être très variable, les captures totales par chalut peuvent ne représenter que très imparfaitement la véritable densité de la population à l'échelle d'un trait.

Méthode 1 : Si les quantités capturées dans chaque trait sont suffisamment importantes, la meilleure option est donc de donner un poids équivalent aux distributions en taille de chaque chalut, sans pondérer par les captures totales. On a alors :

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^{M_i} n_{ijk} / N_{ik} / M_i \quad (1)$$

Méthode 2 : si les nombres de poissons capturés sont trop faibles pour définir des fréquences de taille, on peut traiter tous les traits de chalut ensemble, en donnant un poids égal à chaque poisson, mais en pondérant par la durée du trait :

$$P_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{M_i} n_{ijk} / t_k}{\sum_{k=1}^{M_i} N_{ik} / t_k} \quad (2)$$

Méthode 3 : allocation directe de l'énergie au chalut le plus proche. Toujours si les nombres de poissons capturés sont trop faibles pour définir des fréquences de taille, une troisième option consiste à pondérer les proportions en taille par la densité acoustique

intégrée au voisinage de la position du chalutage, dans le cas de chalutages monospécifiques :

$$P_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{M_i} n_{ijk} E_{ik}}{\sum_{k=1}^{M_i} E_{jk}} \quad (3)$$

où E_{ij} est la densité acoustique moyenne pour l'espèce i au voisinage du chalutage k .

3.1.1.2. Composition spécifique

De même, pour la composition spécifique moyenne, si l'on suppose que l'on dispose de M coups de chaluts de durée t_k dans une zone homogène et (Simmonds & MacLennan, 2005) :

- q_{ik} est la quantité de la $i^{\text{ème}}$ espèce dans le chalut k et q_k la capture totale
- w_i est le poids attribué à chaque espèce i pour calculer la composition spécifique dans la région

Méthode 1 : même poids pour les proportions en espèces de chaque chalut (recommandé en cas de pêches ciblées sur un petit nombre de bancs) :

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^M q_{ik}/q_k}{M} \quad (4)$$

Méthode 2 : pondération par le taux de capture horaire de chaque chalut (recommandé dans la plupart des cas) :

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^M q_{ik}/t_k}{\sum_{k=1}^M q_k/t_k} \quad (5)$$

Méthode 3 : proportions par espèce de chaque chalut pondérées par la densité acoustique au voisinage des chaluts (recommandé si les densités acoustiques sont très variables et si le taux de capture horaire est un mauvais indicateur de l'abondance) :

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^M q_{ik} E_k/q_k}{\sum_{k=1}^M E_k} \quad (6)$$

où E_k est la densité acoustique moyenne au voisinage du chalutage k .

Simmonds et MacLennan (2005) recommandent d'utiliser cette dernière méthode lorsque les densités acoustiques sont très variables et que le taux de captures horaire représente plus mal que la densité acoustique la densité réelle de poissons. Ils notent cependant que la pondération par les densités acoustiques dépend des TS relatifs des espèces présentes. Les espèces avec un fort TS contribuent ainsi davantage que les autres. Cela ne pose pas de problème si la composition spécifique (et en tailles) est la même partout. Dans le cas contraire, trop de poids est donné aux espèces à fort TS.

Le chalut pélagique est un outil très imprécis pour échantillonner des densités de poissons et son utilisation peut générer des erreurs substantielles dans l'identification de

la composition spécifique d'agrégations de poissons plurispécifiques. **L'allocation manuelle des énergies acoustiques des échotraces à des groupes d'espèces/tailles devrait être préférée à l'allocation des énergies aux espèces proportionnellement au contenu des traits de chalut. Même si l'interprétation des échogrammes est incertaine, cette incertitude est en général inférieure à celle obtenue en se basant uniquement sur les proportions spécifiques des traits de chalut pélagique** (Simmonds & MacLennan, 2005).

3.2. Autres méthodes d'allocation des chaluts aux densités acoustiques

3.2.1. Méthodes par images acoustiques

Petitgas *et al.* (2003) ont proposé trois méthodes d'allocation des densités des images acoustiques aux chalutages.

- La première méthode consiste simplement à associer chaque image acoustique au chalutage le plus proche.
- La seconde méthode, « AICASA », repose sur : i) la définition par ACP/CAH de groupes d'images acoustiques « identifiées », i.e. les images les plus proches d'un chalutage ; ii) l'agrégation des chalutages des images identifiées dans chacun des groupes, pour produire un chalutage « moyen » par groupe d'image ; iii) l'attribution des images non-identifiées à un groupe d'images identifiées (et donc à un chalutage moyen), en fonction de la proximité dans le plan factoriel de l'ACP entre les projections des images non-identifiées et les centroïdes des groupes d'images.
- La troisième méthode, « THC », consiste en : i) une classification par ACP/CAH, non pas des images, mais des chalutages, en fonction de leur composition, ii) le calcul de descripteurs moyens de chalutage pour chaque groupe ; iii) l'allocation des images non-identifiées au groupe de chalutage auquel appartient le chalut le plus proche.

Ces méthodes permettent ainsi une allocation automatique des proportions d'espèces observées dans les chaluts à des groupes d'images acoustiques et l'estimation acoustique de la biomasse de chacune des espèces rencontrées. Elles ont été testées sur les données d'une campagne Pelgas (en 2000) et ont produit des résultats proches de ceux de la méthode expert, au moins pour les espèces d'intérêt principal (anchois et sardine) (Petitgas *et al.*, 2003). Les méthodes AICASA et THC présentent de plus l'avantage de permettre l'estimation par bootstrap de la variance autour de l'estimateur de biomasse moyen, en distinguant la variabilité des densités acoustiques d'une part, et de celle des facteurs d'écho-intégration d'autre part.

Villalobos (2008) a réutilisé avec succès ces méthodes de classification d'images et d'espèces, afin de caractériser l'évolution des structures agrégatives de petits poissons pélagiques observées lors de 10 campagnes Pelgas dans le Golfe de Gascogne (Villalobos, 2008).

3.2.2. Vers des méthodes encore plus automatiques?

La méthode AICASA ou ses dérivées nécessite toujours l'extraction préalable de descripteurs quantitatifs de bancs. Cette étape est couteuse en temps et en main d'œuvre et introduit potentiellement de la subjectivité dans le processus d'évaluation. De plus, les algorithmes d'extraction de bancs ne permettent pas de caractériser de façon satisfaisante les poissons distribués en couches très diffuses, potentiellement mêlés à des couches planctoniques (Burgos & Horne, 2008; Burgos & Horne, 2007). La biomasse de ces poissons, parfois importante près des côtes dans le golfe de Gascogne, n'est ainsi pas prise en compte de façon adéquate par la méthode AICASA.

Une alternative consisterait à conduire une analyse type AICASA, mais basée sur des descripteurs d'échogrammes non-issus d'un algorithme d'extraction de bancs (ou issus

d'une extraction de bancs automatisée). Des métriques utilisées en écologie du paysage ont ainsi été calculées à partir d'échogrammes, afin de décrire la structuration spatiale et d'établir une typologie d'agrégations diffuses et protéiformes de lieu en Alaska (Burgos & Horne, 2008). Ces métriques pourraient être réutilisées afin de décrire de façon synthétique et automatique la structuration spatiale des poissons pélagiques dans les échogrammes des campagnes d'évaluation, découpés en fines cellules d'écho-intégration. Ces échogrammes seraient ensuite classifiés sur la base de ces indices spatiaux globaux et alloués aux chalutages selon le principe de la méthode AICASA. Des validations visuelles de certaines séquences (notamment en présence de bancs très denses) seront certainement encore nécessaires avec cette méthode, mais leur nombre pourra être considérablement réduit. Cette méthode « QUAD-AICASA » (« QUick And Dirty » AICASA) fournirait ainsi une évaluation rapide des biomasses de poissons pélagiques par acoustique, qui pourrait être comparée aux résultats de la méthode expert.

4. Calcul du facteur de conversion d'écho-intégration

Objectif : estimer la densité des cibles à partir des énergies acoustiques écho-intégrées.

4.1. L'équation

$$F_i = C_E \frac{E_i}{\sigma_i} \quad (7)$$

où :

E_i est la densité acoustique moyenne attribuée au groupe de cibles i (espèces, groupes d'espèces, classe d'âge...), issue de l'écho-intégration dans une tranche de profondeur donnée,

σ_i est l'indice de cible moyen de l'espèce i dans la zone considérée,

C_E est la constante de calibration du sondeur

F_i est le nombre ou le poids de l'espèce i par unité de surface dans la tranche de profondeur

$C_i = \frac{C_E}{\sigma_i}$ est le facteur de conversion d'écho-intégration

4.2. Détermination du facteur de conversion d'écho-intégration

4.2.1. Cas monospécifique

L'indice de cible moyen de l'espèce i peut-être déterminé directement à partir de mesures in-situ. Il est dérivé plus couramment d'équations modélisant l'indice de cible (ou target strength : TS) d'un organisme : TS_1 , en fonction de sa longueur L :

$$TS_1 = b_i + m_i \log(L) \quad (8)$$

d'où :

$$\sigma_i = 10^{TS_i/10} = 10^{(b_i + m_i \log(L))/10} \quad (9)$$

L'indice de cible moyen doit être calculé à partir de la distribution moyenne en taille de i soit :

$$\langle \sigma_i \rangle = \sum_j P_{ij} 10^{(b_i + m_i \log(L_{ij}))/10} \quad (10)$$

où :

L_{ij} est la valeur médiane de la classe de taille j et P_{ij} la fréquence correspondante.

Le facteur de conversion d'écho-intégration est alors calculé comme : $C_i = \frac{C_E}{\langle \sigma_i \rangle}$, pour toutes les espèces dont l'équation TS-longueur a été déterminée.

4.2.2. Cas plurispécifique

4.2.2.1. Allocation des énergies acoustiques proportionnellement aux captures

Si des écotraces ne peuvent être allouées spécifiquement à N espèces mélangées dans la même zone, une alternative consiste à partitionner l'énergie acoustique totale entre les espèces à partir de la composition spécifique des captures (Nakken & Dommasnes, 1977). On a alors :

$$E_i = \frac{w_i \langle \sigma_i \rangle E_m}{\sum_{j=1}^N w_j \langle \sigma_j \rangle} \quad (11)$$

où :

E_m est la densité acoustique moyenne totale

w_i la proportion de la $i^{\text{ème}}$ espèce, calculée comme la somme pondérée des compositions spécifiques des chaluts

$\langle \sigma_i \rangle$ l'indice de cible moyen de l'espèce i

E_i dépend alors des proportions d'espèces w_i , mais également de leurs indices de cible moyens.

D'après (7), La densité de poissons de l'espèce i s'écrit alors :

$$F_i = \frac{C_E}{\langle \sigma_i \rangle} \frac{w_i \langle \sigma_i \rangle}{\sum_{j=1}^N w_j \langle \sigma_j \rangle} E_m = C_E \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j \langle \sigma_j \rangle} E_m = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N w_j \frac{\langle \sigma_j \rangle}{C_E}} E_m = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^N \frac{w_j}{C_j}} E_m \quad (12)$$

Si l'on choisit de pondérer les proportions d'espèces dans les chaluts par les densités acoustiques avoisinantes (méthode 3, (6)), (12) est l'équation « historique » utilisée pendant les campagnes acoustiques d'évaluation de stock à l'Ifremer.

4.2.2.2. Utilisation des images acoustiques

La biomasse B_i de l'espèce i dans une image acoustique s'écrit :

$$B_i = C_i E_{tot}$$

où :

C_i est le facteur de conversion d'écho-intégration de l'espèce i

E_{tot} est la densité acoustique totale dans l'image

Si l'on attribue à chaque image acoustique le chalutage le plus proche, C_i est simplement le facteur d'écho-intégration spécifique de l'espèce i dans ce chalut.

Avec la méthode AICASA, C_i est le facteur d'écho-intégration spécifique moyen de l'espèce i , calculé pour tous les chaluts du groupe d'image g , auquel appartient l'image considérée. On a alors :

$$B_{ig} = E_{tot} C_{ig} = E_{tot} \sum_{k=1}^{N_g} C_{ikg} / N_g \quad (13)$$

où :

C_{ikg} est le facteur d'écho-intégration de l'espèce i dans le chalut k du groupe d'images g

N_g est le nombre de chalut total dans le groupe g .

Avec la méthode THC, C_i est le facteur d'écho-intégration spécifique moyen de l'espèce i , calculé pour tous les chaluts du groupe d'espèces s , auquel l'image acoustique considérée a été attribuée. On a alors :

$$B_{is} = E_{tot} C_{is} = E_{tot} \sum_{k=1}^{N_s} C_{iks} / N_s \quad (14)$$

où :

C_{iks} est le facteur d'écho-intégration de l'espèce i dans le chalut k du groupe d'espèces s

N_s est le nombre de chalut total dans le groupe d'espèce s .

5. Synthèse des méthodes d'estimation de biomasse

Le principe des différentes méthodes d'estimation de biomasse de stocks de poissons présentées ci-dessus est résumé dans les figures ci-dessous.

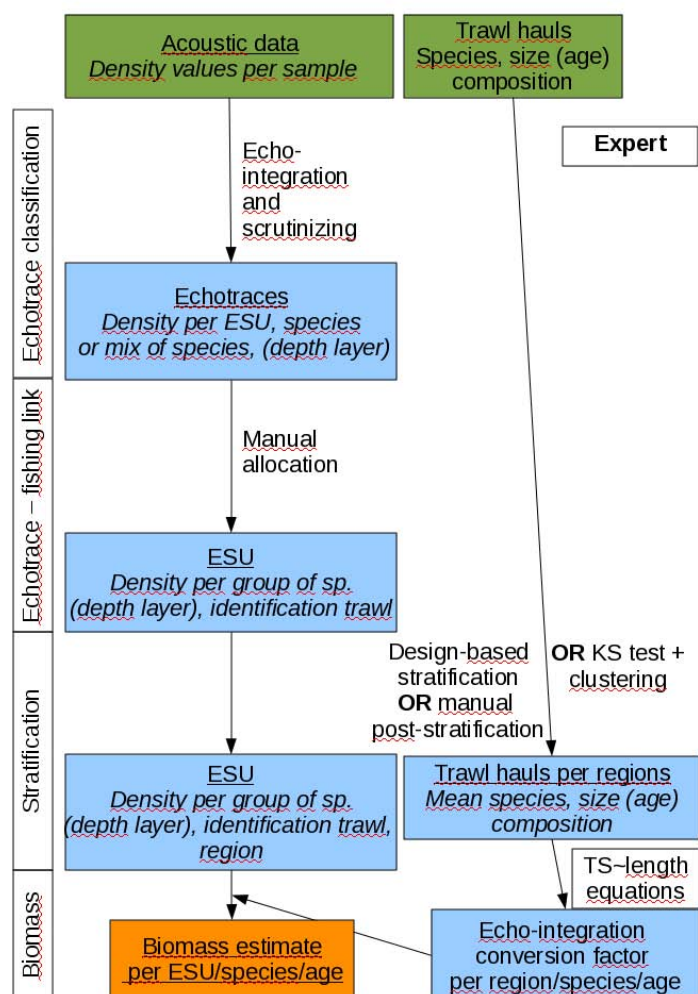


Figure 2. Méthode expert d'estimation de biomasse par acoustique

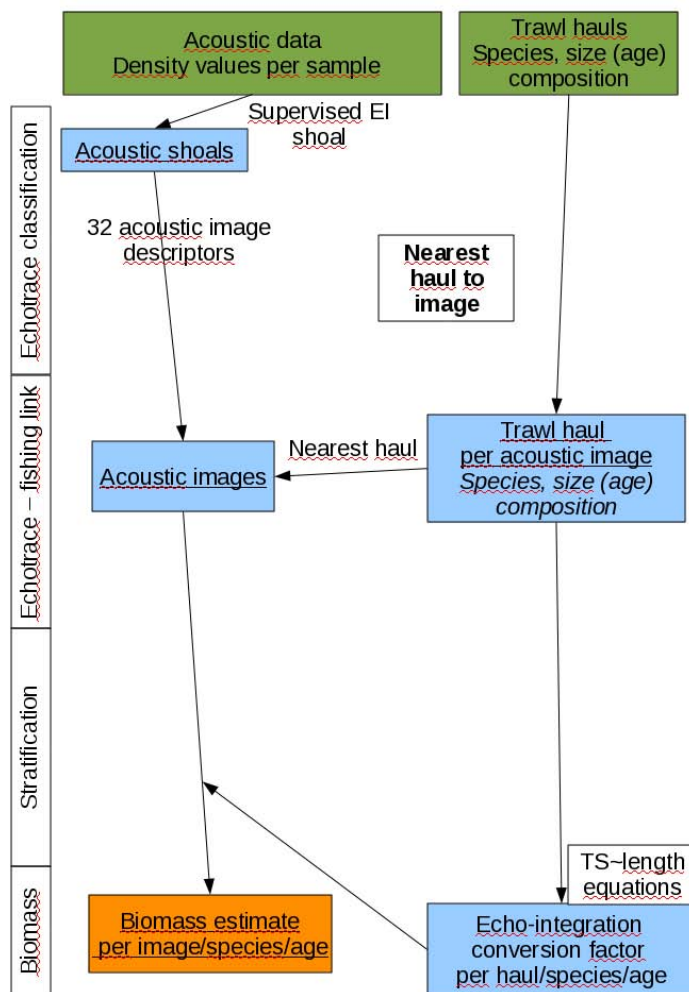


Figure 3. Méthode par image acoustique/chalut le plus proche

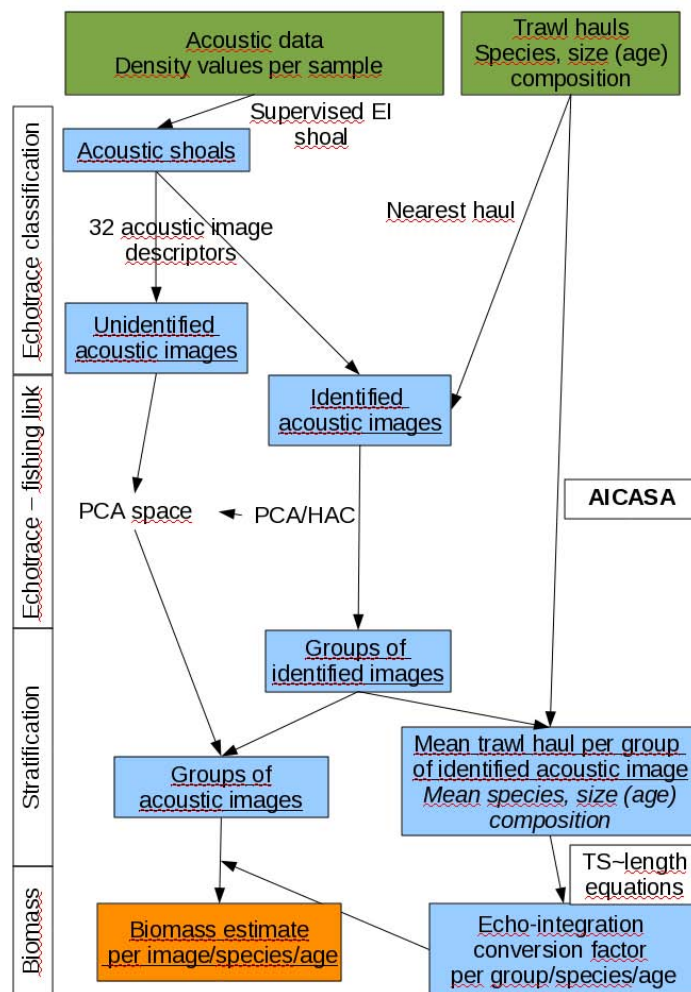


Figure 4. Méthode AICASA d'estimation de biomasse par acoustique

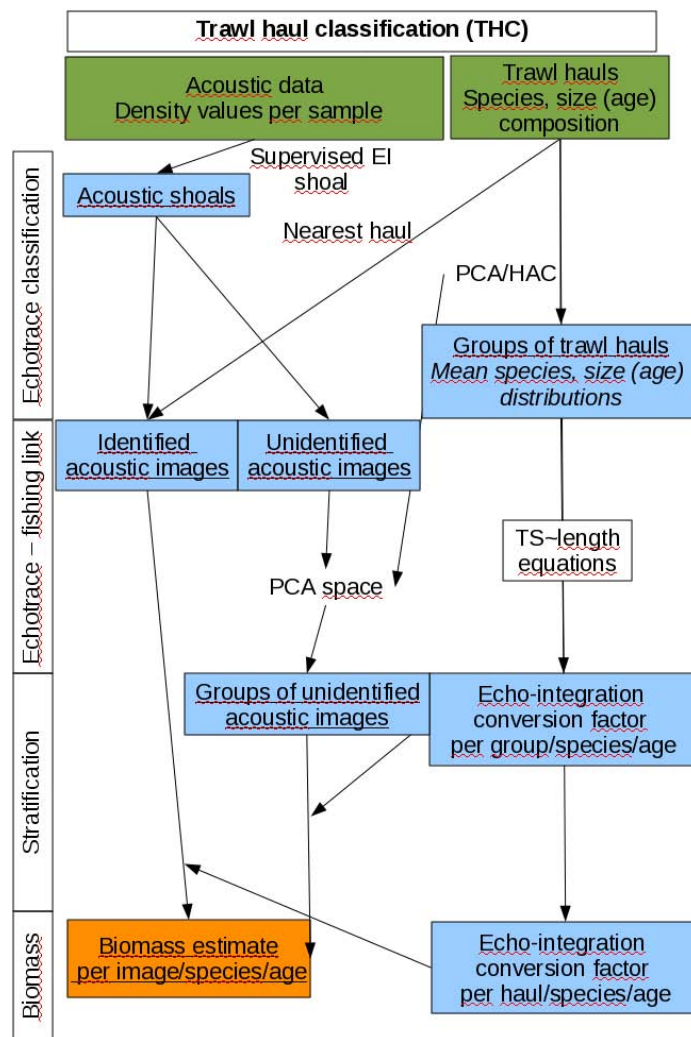


Figure 5. Méthode THC d'estimation de biomasse par acoustique

Bibliographie

- Barange M., 1994. Acoustic identification, classification and structure of biological patchiness on the edge of the Agulhas Bank and its relation to frontal features. *S. Afr. J. Mar. Sci./S.-Afr. Tydskr. Seewet*, **14**: pp. 333-347.
- Burgos J.M. & Horne J.K., 2008. Characterization and classification of acoustically detected fish spatial distributions. *ICES J. Mar. Sci.*, **65**: pp. 1235-1247.
- Burgos J.M. & Horne J.K., 2007. Sensitivity analysis and parameter selection for detecting aggregations in acoustic data. *ICES J. Mar. Sci.*, **64**: pp. 160-168.
- Diner N., Scalabrin C. & Weill A., 1994. Automatic shoal recognition and classification based on MOVIES-B software. In Sabathe P (Ed.). *Proceeding of Oceans 94 with OSATES.*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, p. II.319-II.324.
- Doray M., 2006. L'agrégation de thons de sub-surface au sein du système [DCP ancré - macronecton - environnement - pêche] en Martinique : étude hiérarchique par méthodes acoustiques, optiques et halieutiques. Thèse de doctorat, ENSAR, Rennes (France). <http://www.ifremer.fr/docelec/doc/2006/these-1735.pdf>
- Gerlotto F., 1993. Identification and spatial stratification of tropical fish concentrations using acoustic populations. *Aquat. Living Resour.*, **6**: pp. 243-254.
- Hammond T. & Swartzman G., 2001. A general procedure for estimating the composition of fish school clusters using standard acoustic survey data. *ICES J. Mar. Sci.*, **58**: pp. 1115-1132.
- Haralabous J. & Georgakarakos S., 1996. Artificial neural networks as a tool for species

identification of fish schools. *ICES J. Mar. Sci.*, **53**: pp. 173-180.

ICES, 2000. Report of Echotrace Classification. *ICES Coop. Res. Rep.*, **238**: p. 107.

Korneliussen R. & Ona E., 2003. Synthetic echograms generated from the relative frequency response. *ICES J. Mar. Sci.*, **60**: pp. 636-640.

Nakken O. & Dommasnes A., 1977. Acoustic estimates of the Barents Sea capelin stock 1971–1976. *ICES CM*, **1977/H:35**: .

Nero R.W. & Magnuson J.J., 1989. Characterization of patches along transects using high-resolution 70-kHz integrated acoustic data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**: pp. 2056-2064.

Petitgas P., Diner N., Georgakarakos S., Reid D., Aukland R., Massé J., Scalabrin C., Iglesias M., Muino R. & Carrera P., 1998. Sensitivity analysis of school parameters to compare schools from different surveys: A review of the standardisation task of the EC-FAIR programme CLUSTER. *ICES CM*, **1998/J:23**: .

Petitgas P., Massé J., Beillois P., Lebarbier E. & Le Cann A., 2003. Sampling variance of species identification in fisheries-acoustic surveys based on automated procedures associating acoustic images and trawl hauls. *ICES J. Mar. Sci.*, **60**: pp. 437-445.

Planque B., Bethke E., Drevetnyak K., Harbitz A., Nedreaas K., Pedchenko A., Pedersen R., Skúvadal F. & Zubov V., 2009. Workshop on hydro-acoustics scrutinizing in the Norwegian Sea. *IMR report*, **3/2009**: p. 42.

Reid D.G. & Simmonds E.J., 1993. Image analysis techniques for the study of fish school structure from acoustic survey data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**: pp. 886-893.

Richards L.J., Kieser R., Mulligan T.J. & Candy J.R., 1991. Classification of fish assemblages based on echo integration surveys. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **48**: pp.

1264-1272.

Rose G.A. & Leggett W.C., 1988. Hydroacoustic signal classification of fish schools by species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45**: pp. 597-604.

Rose G.A. & Leggett W.C., 1988. Hydroacoustic signal classification of fish schools by species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45**: pp. 597-604.

Scalabrin C., Diner N., Weill A., Hillion A. & Mouchot M.C., 1996. Narrowband acoustic identification of monospecific fish shoals. *ICES J. Mar. Sci.*, **53**: pp. 181-188.

Simmonds E.J. & MacLennan D.N., 2005. Fisheries Acoustics. Theory and Practice. Blackwell publishing, Oxford, UK.

Villalobos H., 2008. Évolution de l'écosystème pélagique du Golfe de Gascogne pendant la période 1990-2003. Conséquences sur la capturabilité des espèces. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.

Villalobos H., 2008. Évolution de l'écosystème pélagique du Golfe de Gascogne pendant la période 1990-2003. Conséquences sur la capturabilité des espèces. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.

Weill A., Scalabrin C. & Diner N., 1993. MOVIES-B: An acoustic detection description software. Application to shoal species' classification. *Aquat. Living Resour.*, **6**: pp. 255-267.

Wuillez, M., Rivoirard, J., and Fernandes, P. G., 2009. Evaluating the uncertainty of abundance estimates from acoustic surveys using geostatistical simulations. *ICES J. Mar. Sci.*, **66**: 1377-1383.