



HAL
open science

Caractérisation de la nature des substrats lacustres par hydroacoustique

Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard

► **To cite this version:**

Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard. Caractérisation de la nature des substrats lacustres par hydroacoustique. [Rapport Technique] irstea. 2010, pp.21. hal-02594638


HAL Id: hal-02594638

<https://hal.inrae.fr/hal-02594638>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Caractérisation de la nature des substrats lacustres par hydroacoustique.

Rapport d'activité 2010.

*Thomas Poulain - Cemagref (Aix-en-Provence)
Christine Argillier - Cemagref (Aix-en-Provence)
Muriel Gevrey – Cemagref (Aix-en-Provence)
Jean Guillard - INRA (Thonon-les-Bains)*

Avec les partenaires :



Contexte de programmation et de réalisation

Les auteurs

Thomas Poulain
CDD CEMAGREF – Ingénieur d'étude
thomas.poulain@thonon.inra.fr
75 Avenue de Corzent - 74200 Thonon-les-Bains

Christine Argillier
Directeur de recherches, responsable du pôle hydroécologie plans d'eau
Christine.argillier@cemagref.fr
CEMAGREF,
3275 Route de Cézanne, CS 40061 - 13182 AIX EN PROVENCE CEDEX 5

Muriel Gevrey
Chargée de missions
Muriel.Gevrey@cemagref.fr
CEMAGREF,
3275 Route de Cézanne, CS 40061 - 13182 AIX EN PROVENCE CEDEX 5

Jean Guillard
Ingénieur de recherche – Directeur Adjoint UMR CARTELE
jean.guillard@thonon.inra.fr
INRA
75 Avenue de Corzent - 74200 Thonon-les-Bains

Les correspondants

Onema : Jean-Marc Beaudoin, DAST/DCIE
Jean-marc.baudoine@onema.fr

Référence du document : Poulain T., Argillier C., Gevrey M. et Guillard J., Caractérisation de la nature des substrats lacustres par hydroacoustique. Programme d'études Onema/Cemagref 2010, 22 pages.

Onema : Yorick Reyjol, DAST
Yorick.reyjol@onema.fr

Droits d'usage :	accès libre
Couverture géographique :	
Niveau géographique :	National
Niveau de lecture :	Professionnel

Nature de la ressource : Rapport d'activités 2010

CARACTERISATION DE LA NATURE DES SUBSTRATS LACUSTRES PAR HYDROACOUSTIQUE.
Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard.

Sommaire

Résumé

Abstract

Synthèse pour l'action opérationnelle

1. Introduction

2. Matériel et Méthode

2.1. Principe général

2.2. Matériel acoustique et post-traitement

2.3. Détermination des paramètres acoustiques optimaux

2.4. Vérification de la similitude des réponses acoustiques obtenues en positions fixes et en mouvement

2.5. Création de la base de données

3. Résultats

3.1. Détermination des paramètres optimaux

3.1.1. Puissance

3.1.2. Longueur d'impulsion

3.2. Construction de la base de données des réponses acoustiques de différents substrats

3.3. Validation de l'utilisation de la base de données lorsque le système est en mouvement

4. Application

5. Discussion

6. Bibliographie

CARACTERISATION DE LA NATURE DES SUBSTRATS LACUSTRES PAR HYDROACOUSTIQUE.
Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard.

RESUME

Pour caractériser la nature des substrats subaquatiques, il existe depuis plusieurs dizaines d'années des méthodes utilisant des moyens acoustiques. Ces méthodes possèdent l'avantage par rapport aux techniques de prélèvement *in situ* traditionnelles (bennes à sédiment, caméra, ...) d'obtenir une résolution spatiale très supérieure. Jusqu'à aujourd'hui ces approches nécessitaient du matériel spécialisé de traitement du signal. Ce document présente des travaux de classification des substrats lacustres utilisant un échosondeur mono-faisceau et un logiciel de post traitement (Sonar5-pro) des réponses acoustiques dédié aux estimations de populations de poissons. Ce logiciel vient en effet d'implémenter un module d'analyse de la nature des fonds lacustres basé sur la théorie développée par Orłowski (1984). Une configuration optimale du sondeur a été déterminée et a permis de différencier quatre natures différentes de substrat : limon, sable, sable + galets et blocs. Une cartographie d'une zone connue comme site de reproduction de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), salmonidé emblématique des grands lacs alpins a été réalisée et montre les performances de ce système sur la discrimination de la nature des substrats.

Mots clés : échosondeur, acoustique, Sonar5, substrat, lac.

CARACTERISATION DE LA NATURE DES SUBSTRATS LACUSTRES PAR HYDROACOUSTIQUE.*Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard.***Abstract**

Since a few decades, underwater substrata can be characterized by methods using acoustic technology. Compare to traditional *in situ* grabbing techniques (bottom grab sampler, video camera, ...), these methods allow a better spatial resolution. Until today, these acoustical techniques required specialized signal processing materials. This document presents works about lakebed classification using single beam echo sounder and a post processing software (Sonar5) dedicated to the estimation of fish biomass. Indeed, an underwater substrate analyzing module based on the theory developed by Orłowski (1984) has just been implemented in the software. An optimum configuration have been selected and permitted to classify four different natures of substrata: silt, sand, sand + stones and rock. A substrata nature map of an area known as an arctic charr (emblematic salmonid of the alpine big lakes) reproduction site has been done and shows the system's performances.

Key words : Echosounder, acoustic, Sonar5, lakebed.

CARACTERISATION DE LA NATURE DES SUBSTRATS LACUSTRES PAR HYDROACOUSTIQUE.*Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard.***Synthèse pour l'action opérationnelle**

La Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/EC)¹ exige le maintien ou l'atteinte du « bon état » écologique des plans d'eau qui comprend une composante hydromorphologique soutenant la biologie. Parmi les critères morphologiques figurent la qualité et la quantité du substrat. En milieux lacustres, souvent profonds et à faible transparence, une observation directe de ces substrats (*in situ* par plongée ou par prélèvement à la benne) est très lourde à mettre en place et/ou techniquement compliquée. Ainsi, la possibilité d'utiliser l'acoustique pour caractériser les substrats des lacs a été envisagée. Ce rapport d'activité présente les premiers résultats de classification des substrats lacustres utilisant un logiciel de post traitement de données issues d'échosondeurs. Ce logiciel n'est pas spécialisé dans l'analyse des substrats subaquatiques mais est largement utilisé par la communauté scientifique travaillant sur les poissons d'eau douce.

Sonar5-pro met à disposition de ses utilisateurs toutes les données nécessaires à l'application d'une méthode (first/second echo ratio) utilisée par le système RoxAnn commercialisé et spécialisé dans la classification des sédiments subaquatiques. Le point important est qu'avant toute détermination de la nature d'un fond inconnu, une base de données des réponses acoustiques de fonds connus doit être créée. Elle servira de référence pour l'étude de zones dont on voudra caractériser la nature de leurs fonds.

Ces premiers résultats ont montré qu'une classification grossière du substrat des lacs était possible avec ce logiciel mais il serait important de connaître les limites précises de résolution en terme de taille de grains. Il est également important de noter que le logiciel ne fournit aucune aide pour l'application de la méthode pour ce qui est de la construction de la base de données, de son utilisation lors d'études de zones inconnues mais également dans la représentation des résultats.

¹ http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/128002b_fr.htm

CARACTERISATION DE LA NATURE DES SUBSTRATS LACUSTRES PAR HYDROACOUSTIQUE.*Thomas Poulain, Christine Argillier, Muriel Gevrey, Jean Guillard.*

1. Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/EC) qui exige le maintien ou l'atteinte du « bon état » écologique des plans d'eau comprend une composante hydromorphologique soutenant la biologie. Parmi les critères morphologiques figurent la qualité et la quantité du substrat, en effet la nature des fonds influe sur la distribution spatiale des organismes vivants. Elle influence également la qualité physico-chimique de l'eau au travers des échanges à l'interface sol/eau. Le prélèvement direct d'un échantillon du substrat par la technique classique de la benne à sédiment permet d'obtenir une granulométrie précise des sédiments (Pourriot et Meybeck, 1995) mais on peut noter deux principaux défauts à cette technique : (i) on n'obtient aucun résultat lorsque le fond est constitué d'une roche mère dure ou lorsque celui-ci est recouvert de pierres, (ii) la résolution spatiale est très faible et ne permet pas de couvrir une grande zone. En milieux lacustres, souvent profonds et de faible transparence, l'observation directe de ces substrats (*in situ* par plongée ou par prélèvement à la benne) est très lourde à mettre en place et/ou techniquement compliquée.

Aujourd'hui, plusieurs technologies utilisant les ondes acoustiques permettent de déterminer la nature des substrats subaquatiques (Lurton, 1994 ; Siwabessy *et al.*, 2005 ; Poulain *et al.*, 2010). La plus simple à mettre en œuvre est l'utilisation d'un échosondeur mono-faisceau couplé à un système dédié à l'extraction des paramètres du signal acoustique caractéristiques de la nature du fond. Deux systèmes spécialisés sont disponibles, le système RoxAnn² et le système QTC View³. Ces deux outils permettent de réaliser des cartes géoréférencées de la nature des fonds.

Le système RoxAnn fut le premier système acoustique commercial de classification des fonds. Ce système est basé sur la théorie développée par Orłowski (1984) utilisant le premier écho et le second écho retournés par le fond à partir d'un signal émis par un système embarqué : il extrait deux paramètres qui concernent la « rugosité » (E1) et la « dureté » (E2) du sédiment. Le QTC View n'utilise que le premier écho et détermine des paramètres relatifs à la forme de l'enveloppe de l'écho. Ces deux systèmes acquièrent des données en continue le long d'un trajet

² www.sonavision.co.uk

³ www.questertangent.com

effectué par une embarcation et celles-ci sont enregistrées avec leur position géographique, grâce à un GPS. Une fois toutes les données acquises, un post traitement statistique est appliqué à cette série de données et des classes de réponse acoustiques sont créées. Une caractérisation du sédiment *in situ* par prélèvement du sédiment ou par visualisation à l'aide d'une caméra nous donne ensuite la nature du substrat correspondant à chaque classe acoustique ; le système est validé lorsqu'un nombre suffisant d'échantillon du même type de substrat à été pris en compte. Ces deux systèmes ont fait l'objet de plusieurs travaux pour étudier leur performance ; notons en particulier les travaux de Hamilton *et al.* (1999) qui réalisent une comparaison des deux appareils et en concluent que la classification est de meilleure qualité avec QTC View mais que le système RoxAnn est plus simple d'utilisation.

Dans ce document, nous présentons les résultats d'un travail de classification des fonds lacustres réalisé sur 2 lacs naturels et une retenue de barrage⁴. Le matériel utilisé est constitué d'un échosondeur mono-faisceau et un logiciel de post traitement des données acoustiques (Sonar5-pro⁵, Balk et Lindem, 2006), spécialisé dans l'estimation des populations de poisson, biomasse et classes de tailles, qui vient d'implémenter un module d'analyse de la nature des fonds lacustres basé sur la théorie d'Orlowski (1984). Ce logiciel étant très utilisé par de nombreux chercheurs (Mehner *et al.*, 2010 ; Godlewska *et al.*, 2009), nos travaux de validation du module pourrons donc être réutilisés par un grand nombre.

2. Matériel et Méthode

2.1. Principe général

La méthode générale réside en la création d'une base de données contenant les réponses acoustiques de la plus large gamme possible de substrats, afin que lorsque l'on se trouve sur un substrat inconnu, il suffise de comparer les réponses acoustiques obtenues avec celles enregistrées dans la base de données. Néanmoins, en préalable, les paramètres acoustiques puissance et longueur d'impulsion doivent être optimisés. Lors de la création de la base de données les substrats doivent être systématiquement validés, l'effet de la vitesse sur la prise de

⁴ La classification prévue initialement sur un cours d'eau n'a pas pu être réalisée. Les acquisitions acoustiques ont été faites mais pas validées par des prélèvements à la benne ou par utilisation de la camera, du fait du trop fort courant.

⁵ www.fys.uio.no/~hbalk/sonar4_5/index.htm

donnée devra être déterminé. En utilisation normale les acquisitions se font en mouvement sur des zones qui sont quadrillées de façon plus ou moins dense.

2.2. Matériel acoustique et post-traitement

Nous disposons d'un écho sondeur SIMRAD EK 60 de fréquence 70 kHz dont l'angle d'ouverture du faisceau est de 11° à -3 dB, calibré annuellement en bassin selon la méthode préconisée par Foote *et al.* (1987). Le logiciel Sonar5-pro vient d'implémenter un module intitulé « seabed classification » qui permet de calculer les énergies relatives aux deux premiers échos du fond (fig 1).

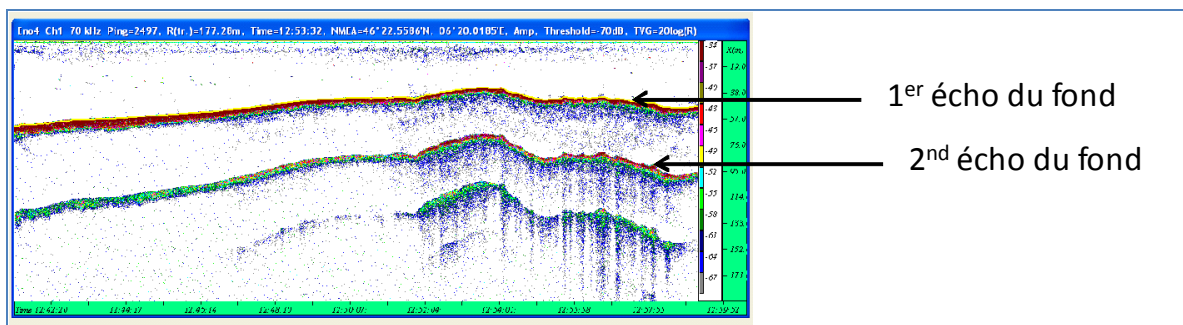
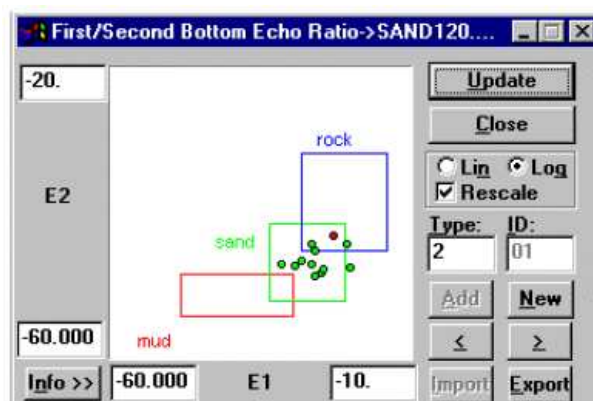


Figure 1. Exemple d'échogramme issu d'un transect analysé par Sonar5-pro.

A partir des énergies fournies par Sonar5-pro, la méthode utilisée par le système RoxAnn (méthode « first/second bottom ratio » décrite par Burczynski dans le document « bottom classification »⁶) a été appliquée. Cette méthode utilise l'énergie de la seconde partie du premier écho (E1) et l'énergie totale du second écho (E2) (Orlowski, 1984 ; Chivers *et al.*). Ces deux variables sont associées puis reportées sur un repère cartésien XY (fig. 2) où sont prédéfinies des zones caractéristiques d'une nature de substrat, zones construites lors de la création de la base de données par la validation *in situ*.



⁶ www.biosonicsinc.com/doc_library/docs/bottom_classification.pdf

Figure 2. Projection de E2 et E1 dans le repère XY où sont prédéfinies trois zones caractéristiques de différents types de sédiment (extrait de Burczynski, 1995).

2.3. Détermination des paramètres acoustiques optimaux

Le sondeur EK60 permettant d'utiliser plusieurs puissances d'émissions et différentes longueurs d'impulsion, il est alors nécessaire de choisir les paramètres optimaux pour la caractérisation de la nature des fonds. En effet plusieurs auteurs (Paulus *et al.*, 2004, Hamilton *et al.*, 1999) ont montré que la puissance d'émission, dans la gamme de 100 à 1000 W, utilisée par les échosondeurs pour effectuer de la classification des substrats subaquatiques, influence les résultats. Nous avons donc testé les puissances d'émission suivantes : 120, 200, 320, 400 et 800 W. La longueur d'impulsion est également un paramètre caractéristique important de l'onde émise qui influe sur les résultats (Paulus *et al.*, 2004). A une puissance donnée elle va déterminer la quantité d'énergie qui sera émise par le transducteur. Nous avons testé les quatre longueurs d'impulsion les plus utilisées avec ce type de sondeur (Godlewska *et al.*, 2010): 0.128, 0.256, 0.512 et 1.024 ms afin de déterminer la longueur d'impulsion optimale.

Neufs substrats ont été sondés sur le lac Léman en positions fixes. Sur chacun d'entre eux nous avons réalisé vingt séries d'acquisitions de deux minutes, en faisant varier à chaque fois la puissance ou la longueur d'impulsion (tab. 1).

Tableau 1 : Paramètres des acquisitions

Puissance (W)	Longueur d'impulsion (ms)	Fréquence de tir (nb d'imp./s)
120	0.128 ; 0.256 ; 0.512 ; 1.024	4
200	0.128 ; 0.256 ; 0.512 ; 1.024	4
320	0.128 ; 0.256 ; 0.512 ; 1.024	4
400	0.128 ; 0.256 ; 0.512 ; 1.024	4
800	0.128 ; 0.256 ; 0.512 ; 1.024	4

De plus, les deux minutes d'acquisition ($2 \times 60 \times 4 = 480$ impulsions) ont permis d'effectuer une analyse de la variabilité « ping à ping » sur un même site dans le but de déterminer une configuration optimale en fonction des deux paramètres puissance et longueur d'impulsion, le but est d'obtenir le moins de variabilité possible entre des points issus d'une série acquise en position fixe, lorsque toutes les impulsions interagissent avec un substrat identique. Pour se faire, nous avons calculé la distance euclidienne entre les points d'une même série dans le repère définie par les énergies provenant des premiers et deuxièmes échos (fig. 3). La

moyenne de ces distances nous permet ensuite de mesurer la dispersion des points entre eux pour une série et donc la variabilité en fonction des configurations testées.

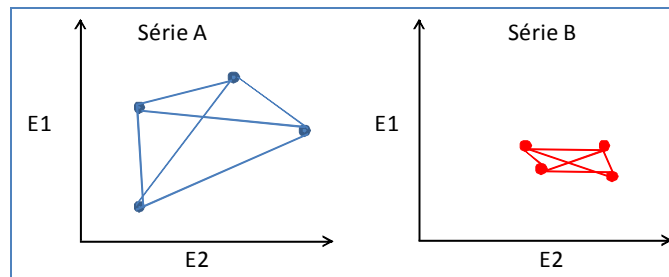


Figure 3. Représentation de la notion de variabilité d'une série.

2.4. Vérification de la similitude des réponses acoustiques obtenues en positions fixes et en mouvement

Avec un système opérationnel, c'est à dire avec une base de données déjà établie, les acquisitions acoustiques destinées à caractériser les natures du fond d'une zone inconnue se font avec une embarcation en mouvement. Puisque nous allons construire notre base de données en position fixe, il est nécessaire de vérifier la similitude des réponses obtenues en position fixe et en mouvement.

Nous avons donc comparé les acquisitions obtenues dans les deux cas : acquisition en position fixe et en mouvement. Un transect à la vitesse d'acquisition standard a été parcouru sur le lac du Bourget, ensuite des acquisitions en positions fixes ont été réalisées le long de ce trajet (fig 6.). Un GPS relié à un ordinateur possédant un logiciel de navigation nous a permis de nous repositionner précisément sur le transect pour réaliser les acquisitions fixes.

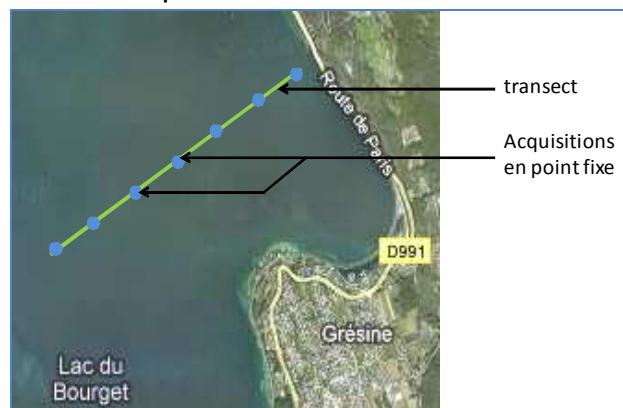


Figure 6. Comparaison entre des acquisitions obtenues avec une embarcation en mouvement et en point fixe.

Les acquisitions en points fixes définissent un espace dans le repère cartésien (Fig. 2) due à la variabilité « ping à ping » du système. Pour être comparable, la réponse obtenue en mouvement doit être inclus dans cet espace.

2.5. Création de la base de données

Sur chaque site, la nature du substrat (fig. 4) a été confirmée par visualisation directe d'un prélèvement effectué à la benne à sédiment type Eckman et par l'utilisation d'une caméra équipée d'une lampe étanche. Durant ces vérifications, le bateau est maintenu en position stationnaire (ancré). La caméra a également permis de décrire le fond lorsque la benne à sédiment était inutilisable, dans le cas de rochers ou de cailloux. Une fois la nature du substrat validé, une série d'impulsions acoustiques espacées de 0.25 seconde est émise pendant deux minutes et on enregistre les réponses obtenues.

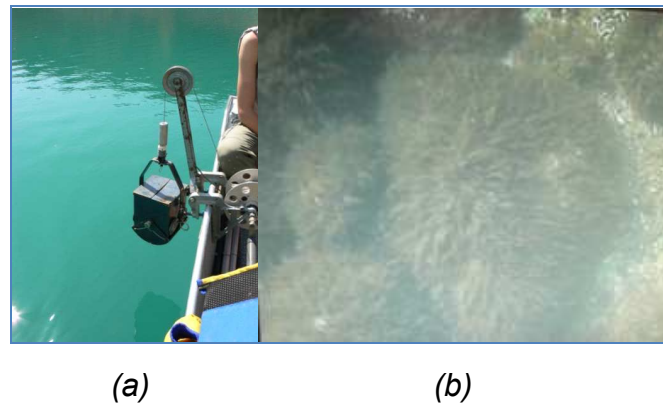


Figure 4. (a) Benne à sédiment de type Ekman. (b) Image obtenue avec la caméra étanche : ici pierres recouvertes de plantes aquatiques.

Des acquisitions acoustiques avec validation *in situ* des natures de substrats ont été effectuées sur trois lacs entre le mois de février et juillet 2010 : le lac Léman, le lac du Bimont (retenue artificielle) et le lac du Bourget (fig 5). Un échantillonnage sur un tronçon du Rhône situé à Sault-Brénaz (Ain) a également été réalisé. Quatre types de substrats ont été identifiés sur vingt-cinq sites grâce à l'association benne à sédiment et caméra : limon (2-20 μm), sable (20 μm – 2mm), sable (20 μm – 2mm) + galets (2-20 cm) et blocs ($\text{\O} > 20\text{cm}$) (norme NF P18-560).

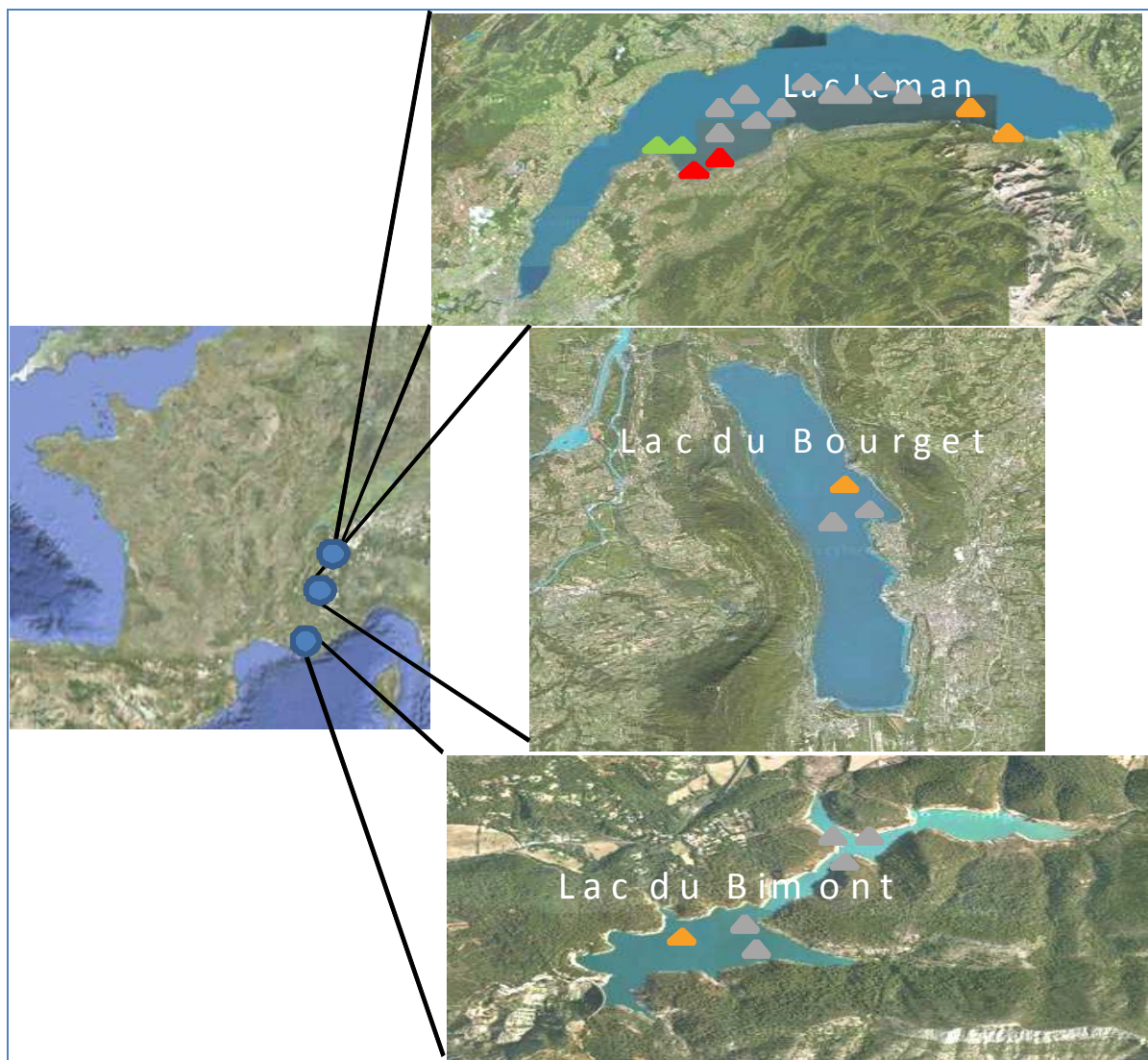


Figure 5. Localisation des trois lacs qui ont permis la création de la base de données. Ronds bleus : localisation des différents lacs ; triangles gris : limon ; triangles rouges : sable ; triangles verts : sable + galets ; triangles oranges : blocs.

Pour chaque série, nous disposons d'environ 480 couples de données (E1, E2) issus des deux minutes d'acquisition. Pour être certain de toujours analyser le même nombre de données, seules les 350 premières émissions acquises de chaque série ont été retenues. Les 5% des valeurs les plus éloignées de la moyenne des valeurs de E1 et de E2 ont été éliminés. Il reste donc 332 couples de valeurs E1 et E2 par série. La base de données est constituée de 25 séries de 332 couples de valeurs caractéristiques d'une nature de substrat validé *in situ*.

3. Résultats

3.1. Détermination des paramètres optimaux

3.1.1. Puissance

Pour certaines profondeurs, des problèmes de saturation énergétique sont apparus lors du post traitement des données et ce, quelle que soit la puissance. A 800 W, Sonar5-pro ne parvient à calculer aucune valeur d'énergie pour des profondeurs comprises entre 0 et 8 mètres ; à 120, 200, 320 et 400 W le seuil de saturation se situe à 5 mètres et ce pour toutes les longueurs d'impulsion. Les zones littorales étant très importantes dans la description des fonds lacustres, l'utilisation de 800 W comme puissance de fonctionnement du système a été écartée. L'intérêt de notre étude étant de valider une configuration permettant d'être utilisée dans le plus grand nombre de configurations possibles du milieu, nous avons retenu 400 W qui permet de sonder des zones plus profondes que les puissances inférieures (ceci due à l'atténuation de l'onde lors de sa propagation dans la colonne d'eau).

3.1.2. Longueur d'impulsion

Sur les neufs sites sondés en faisant varier la longueur d'impulsion, la valeur médium (0.512 ms), a la plus faible variabilité « ping à ping » dans 66% des cas (tab. 2).

Tableau 2. Distances euclidiennes moyennes (représentatives de la variabilité) de chaque série pour quatre longueurs d'impulsion et en neuf points (les cellules grisées correspondent aux minima trouvés).

Longueurs d'impulsion \ Point fixe sondé	0.128 ms	0.256 ms	0.512 ms	1.024 ms
1	7.034792	6.697146	5.607074	5.641553
2	3.693478	4.011664	2.394591	5.097685
3	4.348528	4.212506	3.441101	5.223453
4	3.843789	4.223026	3.008194	3.688075
5	4.253682	3.490434	5.897102	3.713833
6	4.419561	5.711269	5.148001	8.360396
7	5.770659	4.863542	4.346881	3.47657
8	5.522125	4.575119	4.565673	4.78093
9	4.319312	4.282175	3.702367	4.474473

La configuration optimale du sondeur pour la suite des travaux est donc:
Puissance d'émission de l'onde : 400 W et longueur d'impulsion : 0.512 ms.

3.2. Construction de la base de données des réponses acoustiques de différents substrats

Sur l'ensemble des trois lacs, vingt-cinq séries ont été acquises sur quatre natures de substrats différents (fig. 5).

Toutes les séries d'un même type de substrat ont été regroupées dans une seule matrice puis les extrêmes de chaque variable ont été calculés, c'est à dire les minimum et maximum de E1 et E2. Ceci nous donne les limites en abscisse et en ordonnée pour chaque nature de substrat que l'on reporte sur les axes (fig. 7).

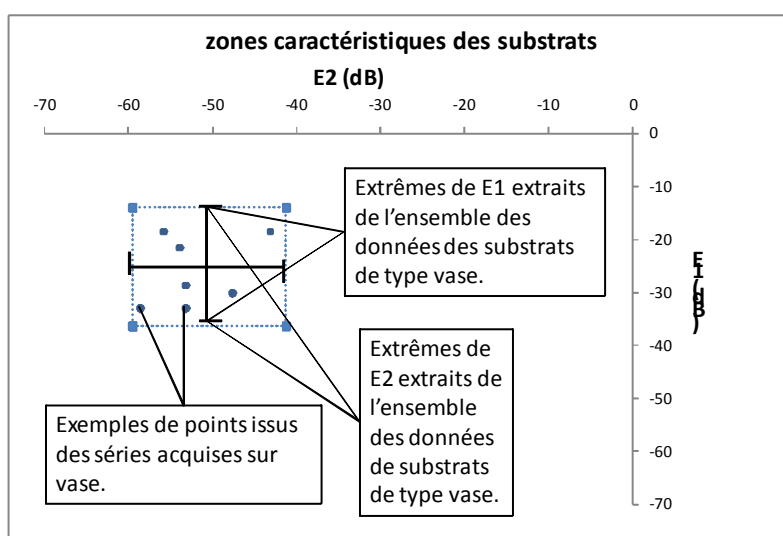


Figure 7. Explication de la construction de la zone de l'espace E2/E1 caractéristique d'un substrat de type vase.

Les résultats obtenus pour tous les substrats sont représentés en figure 8.

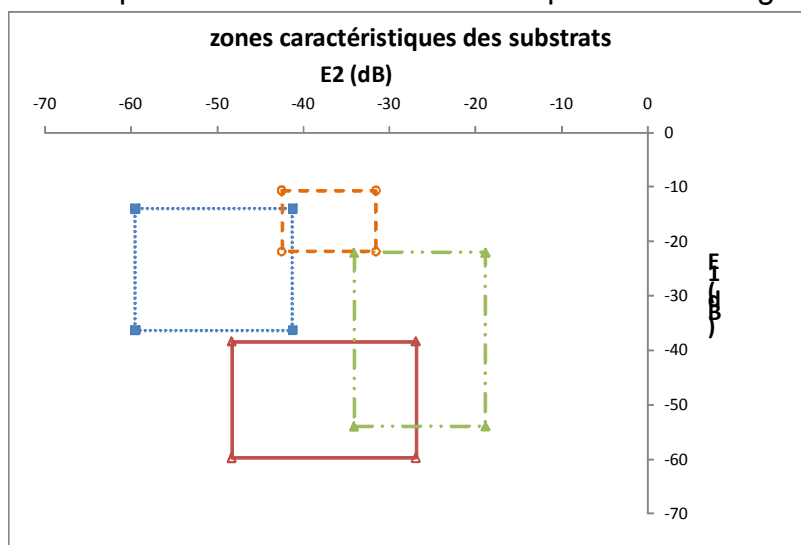


Figure 8. Visualisation des zones caractérisant les quatre natures de substrats sondés. Carrés bleus : limon ; ronds oranges : blocs ; triangles verts : sable + galets ; triangles rouges : sable.

Des phénomènes de chevauchement sont à noter pour les natures de fond suivantes : sable et sable + galets et limon et blocs. Il subsiste donc une incertitude sur la nature du substrat lorsque la réponse acoustique se situe dans cette zone. Ce phénomène de chevauchement existe également avec le système RoxAnn (Hamilton *et al.*, 1999). Lorsque des points sont situés en dehors de toutes les zones prédéfinies, la réponse du système est « substrat inconnu ». Les données acquises sur le Rhône n'ont pas pu être utilisées pour la construction de ces zones, un courant trop fort rendait impossible la validation *in situ* : il était impossible de s'ancreur ou de prélever un échantillon du substrat avec la benne à sédiment.

3.3. Validation de l'utilisation de la base de données lorsque le système est en mouvement.

Sept séries ont été réalisées en points fixes le long du transect. Plus de 70 % des points obtenus en mobile sont parfaitement superposés aux points obtenus dans les séries en positions fixes (fig. 9 a) et 29% sont non superposés mais sont inclus dans l'espace définissant la zone caractéristique de substrat (fig. 9 b).

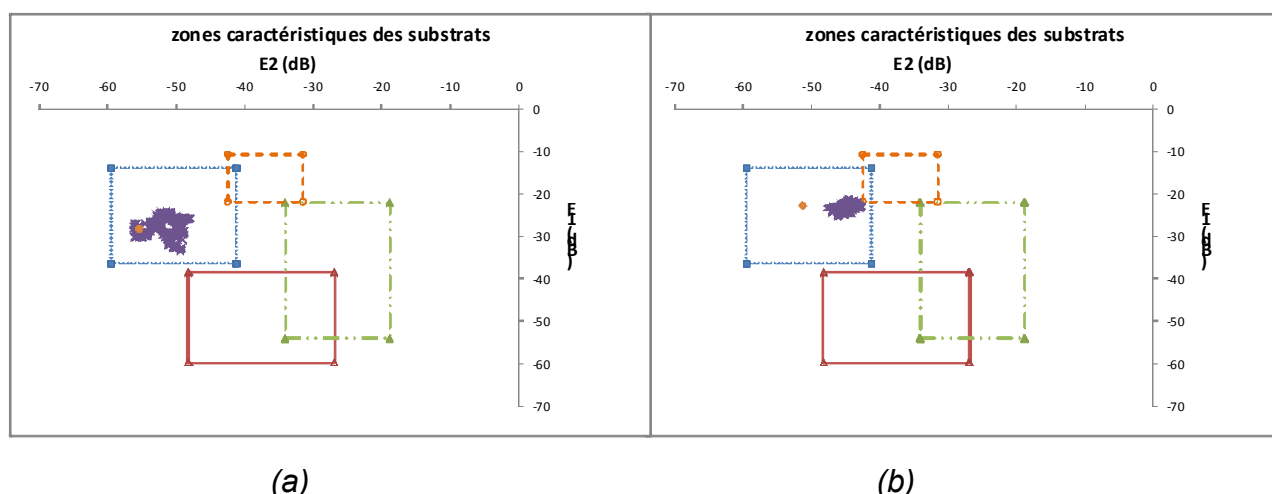


Figure 9. (a) Exemple d'un des cinq points où les acquisitions en position fixe correspondent parfaitement avec le point obtenu en acquisition mobile. (b) Représentation d'un point où l'on trouve un léger décalage entre position fixe et acquisition mobile. Croix violettes : points de la série acquise en position fixe ; points oranges : points issus du transect.

Les acquisitions réalisées en positions fixes et en mouvement sont donc similaires, ce qui permet d'étudier de larges zones en un minimum de temps. Cependant, les systèmes utilisant des échosondeurs mono-faisceau fonctionnent sous réserve d'une vitesse maximale de huit nœuds selon Hamilton (1999) et Szalay et McConnaughey (2002). Nos acquisitions ont été réalisées à quatre nœuds, vitesse classique d'acquisition concernant le poisson (Guillard et Marchal, 2001), il est donc

conseillé de ne pas dépasser cette vitesse pour être certain de ne pas atteindre la limite.

4. Application

En mai 2010, nous avons quadrillé acoustiquement une zone d'environ 3 km² située en face d'Yvoire (ville côtière du lac Léman) connue pour être un site de ponte d'ombles chevaliers (*Salvelinus alpinus*), salmonidés emblématiques des grands lacs alpins (Rubin, 2005). Le long des transects les données ont été acquises quasiment en continue (fig. 10 b) du fait de la fréquence de tirs du sondeur (0.25 seconde) alors qu'entre deux transects il n'y a évidemment pas eu de valeur acquise. La qualité des représentations va donc dépendre directement des espaces inter transects. La carte interpolée a été réalisée avec le logiciel Surfer en choisissant l'algorithme d'interpolation « nearest neighbor » qui permet d'affecter aux nœuds de la grille ne possédant pas de valeurs, la même valeur que celle du nœud le plus proche (fig. 10 c).

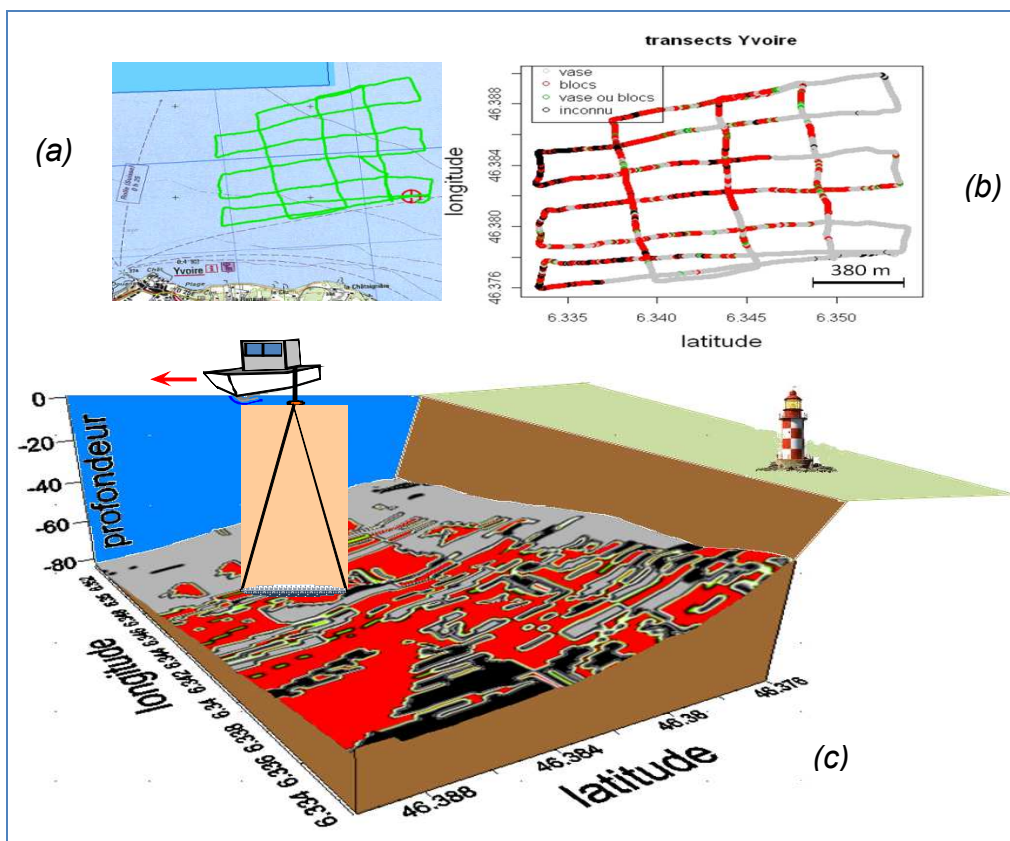


Figure 10. (a) Représentation des transects au large d'Yvoire. (b) Représentation des natures du substrat sur les transects. (c) Carte réalisée en interpolant les résultats issus des transects. Gris : limon ; rouge : blocs ; vert : limon ou blocs ; noir : inconnu.

Deux types de sédiment caractérisent cette zone, du limon mais surtout des blocs, caractéristiques d'une ombrière, zone de fraye de ce salmonidé. Ces poissons frayent dans des zones précises, les mêmes d'une année sur l'autre, sur un substrat dur et une courantologie particulière (Rubin, 2005).

5. Discussion

La classification théorique des fonds aquatiques par acoustique est connue depuis les années 80 (Orlowski, 1984) mais elle nécessitait jusqu'à présent du matériel spécialisé. Dans ce document nous avons montré qu'un module d'analyse, encore en cours de construction-validation, implémenté dans le logiciel Sonar5-pro permettait d'obtenir les informations nécessaires à l'application d'une méthode de classification des substrats. Les paramètres acoustiques qui influent sur les résultats, puissance et longueur d'impulsion, ont été testés afin de déterminer les caractéristiques optimales de l'impulsion émise par le sondeur pour pouvoir travailler en milieu lacustre (400 W, 0.512 ms). En effet si beaucoup de travaux antérieurs ont été réalisés en milieu marin, très peu de résultats sur les écosystèmes lacustres ont été publiés (Cholwek *et al.*, 2000). Les deux principaux facteurs qui différencient ces milieux sont la salinité, qui influence la propagation de l'onde dans l'eau et la profondeur, plus importante en mer. Les paramètres que nous avons déterminés permettent d'obtenir des résultats quant à l'identification du substrat à partir de cinq mètres de profondeur et ce jusqu'à cent quarante mètres (profondeur maximale testée), en respectant la contrainte de vitesse : 4 noeuds maximum. L'utilisation de ces paramètres permet donc une utilisation sur un très large panel de lacs.

De plus, la comparabilité des résultats entre acquisition en position fixe et en mouvement suggère la possibilité de cartographier de larges zones.

La construction de la base de données par l'association de réponses acoustiques à des natures de substrats déterminées *in situ* et la répétabilité sur plusieurs sites prouve la validité du système. Cependant, cette classification reste grossière et des incertitudes subsistent sur la détermination de certains substrats (sable et sable+gravier, limon et bloc). Des études complémentaires sur les limites de résolution, différences minimales observables de la taille de grain du substrat, permettraient de connaître les performances réelles du logiciel.

Cependant, l'utilisation de Sonar5-pro pour la classification des substrats n'est pas facile à mettre en place. Contrairement aux systèmes spécialisés, l'opérateur doit effectuer toutes les étapes de traitement des données, de transformation des énergies renvoyées par Sonar5-pro afin d'appliquer la méthode du « first/second

bottom ratio » et de construction de la base de données . Il doit également maîtriser les logiciels de cartographie (notamment dans l'interpolation des résultats aux points situés entre deux transects) pour la mise en forme des résultats. Les performances de cet outil pourraient donc être comparées avec celles de systèmes plus automatisés.

Du point de vue de la valorisation de ces données, nous avons montré qu'il était d'ores et déjà possible de cartographier finement certaines zones d'intérêt. Dans le cas de l'ombrière étudiée ici, les observations sur l'évolution temporelle du substrat de cette zone pourraient être mises en regard de la dynamique de l'espèce. Dans certains lacs des ombrières sont restaurées par le dépôt de matériaux (ALP, 1997) ; il pourrait être intéressant de suivre leurs évolutions dans le temps en particulier vis-à-vis des phénomènes de colmatage. Outre l'analyse de la distribution et de la qualité des substrats nécessaire à la reproduction des diverses espèces de poisson, ces approches pourraient être envisagées pour déterminer par exemple l'importance des zones d'implantation potentielle des végétaux aquatiques.

Plus généralement, dans le contexte DCE, l'acquisition des informations sur la nature des substrats de toute la cuvette et sur l'ensemble des écosystèmes lacustres (ou a minima ceux inclus dans les réseaux) serait nécessaire. Cela pourrait permettre d'avancer sur la connaissance des liens entre les caractéristiques morphologiques des milieux d'une part et leurs composantes biologique et physico-chimique d'autre part. Les pourcentages de divers types de substrats naturels ou altérés (colmatage par exemple), pourraient être inclus dans les variables explicatives des modèles. Une phase préalable sera probablement requise pour définir les descripteurs les plus pertinents des substrats à l'échelle de la cuvette. Au-delà de l'importance relative de chacun des types identifiés, on pourrait imaginer par exemple une combinaison de paramètres substrat et profondeur si l'on raisonne en terme d'intérêt pour les organismes aquatiques ; la prise en compte de la fragmentation des substrats pourrait aussi être intéressante si l'on considère que certains substrats n'ont un intérêt qu'à partir du moment où ils représentent une surface minimale. Ces domaines sont encore peu explorés mais certainement très informatifs sur les processus écologiques et fonctionnels. Ces connaissances seront nécessaires pour l'établissement des diagnostics d'état écologique des milieux et pour définir les critères hydromorphologiques soutenant la biologie. Elles seront cruciales pour identifier les leviers de la restauration.

6. Bibliographie

ALP, 1997. Restauration de l'ombrière "La Madeleine" à Talloires. *Annecy Lac Pêche*, 30, 6-7.

Balk, H., Lindem, T., 2006. Sonar 4, Sonar 5, Sonar 6 – Post-processing Systems. Operator Manual. University of Oslo, Norway, 427p.

Burczynski J., 1995. www.biosonicsinc.com/doclibrary/docs/bottomclassification.pdf

Chevillon, C., 2000. Rapport d'activité pour l'année 2000. Caractérisation des types de fonds et habitats benthiques par classification hydro-acoustique dans le lagon Sud-Ouest de nouvelle Calédonie. Centre IRD, BP A5 Nouméa.

Chivers R.C., Emerson N. and Burns D.R. 1990. New acoustic processing for underway surveying. *The Hydrographic Journal*, 56, 8-17.

Cholwek, Bonde, Li, Richards, Yin, (2000) "Processing RoxAnn sonar data to improve its categorization of lake bed surficial substrates", *Marine Geophysical Researches* 21, 409-421.

Foot, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N., Simmonds, E.J., 1987. Calibration of acoustic instruments for fish-density estimation: a practical guide. ICES Cooperative Research Report, 144 p.

Godlewska M., Colon M., Guillard J., 2009. Hydroacoustic measurements using different pulse length: consequences for fish stock estimations *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*,
soumis

Guillard J., Marchal E., 2001. L'hydroacoustique, méthode d'étude de la distribution spatiale et de l'abondance des peuplements pisciaires lacustres. *In* La gestion piscicole des grands plans d'eaux, Ed. Gerdeaux, INRA Paris, 215 - 239.

Hamilton, L.J., Mulhearn, P.J. and Poeckert, R. (1999). "Comparison of RoxAnn and QTC View acoustic bottom classification system performance for the Cairns area, Great Barrier Reef, Australia." *Continental Shelf Research* 19: 1577-1597.

Lurton X., (1994). Caractérisation des fonds marins par acoustique : état de l'art et perspectives. *Journal de physique IV*. Colloque C5, complément au journal de physique III, vol 4, 1031-1038.

Mehner, T., Busch, S., Helland, I.P., Emmrich, M., and Freyhof, J. 2010. Temperature related nocturnal vertical segregation of coexisting coregonids. *Ecology of Freshwater Fish*, *in press*. doi: 10.1111/j.1600-0633.2010.00424.x

Orlowski A., (1984) "Application of multiple echoes energy measurements for evaluation of sea bottom type". *Oceanologia* 19, 61–78.

Penrose J. D., Siwabessy P. J. W., Gavrilo A., Parnum I, Hamilton L. J., Bickers A., Brooke B., Ryan D. A. and Kennedy P. (2005), "Acoustic techniques for seabed classification", Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management, technical report 32.

Poulain T., Argillier C., Guillard J., 2010, Classification des fonds lacustres par hydroacoustique. Rapport bibliographique. 29 p

Pourriot R. et Meybeck M., 1995, Limnologie générale. Paris, Masson, 956 p

Siwabessy P., Tseng Y., Gavrilo A. (2004), "Seabed habitat mapping in coastal waters using a normal incident acoustic technique." Proceedings of acoustics. November 2004, Gold Coast, Australia.

Rubin J. F. (2005), « Les sites de reproduction de l'omble chevalier du Léman ont-ils évolué de 1981 à 2005 ? ». *Archives des Sciences* 58, 201-230.

Szalay P., McConnaughey R. (2002), « The effect of slope and vessel speed on the performance of a single beam acoustic seabed classification system". *Fisheries Research* 54 181-194.

Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00
www.onema.fr

Inra
147 rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07

01 42 75 90 00
www.inra.fr

Classification des fonds lacustres par hydroacoustique.

Thomas Poulain
Christine Argillier
Muriel Gevrey
Jean Guillard