

L'acoustique passive appliquée à l'étude du comportement des corégones (*Coregonus* sp. et *C. Lavaretus*) durant la reproduction en milieu naturel

Underwater sound detection applied to aquatic ethology : some results on coregonids and charr spawning sites in two subalpine lakes

J. DUBOIS, A. DZIEDZIC

RÉSUMÉ

L'acoustique passive (étude des bruits propres du milieu environnant) constitue une méthode simple, sinon facile, d'étude de l'activité et du comportement de la faune aquatique.

Nous décrivons ici les systèmes de prise de son et d'analyse utilisés à cet effet à l'Institut de Limnologie (Thonon-les-Bains) et rapportons certains résultats d'observations réalisées sur les zones de fraie des corégones (*Coregonus lavaretus*) du lac d'Aiguebelette et des ombles chevaliers (*Salvelinus alpinus*) du lac d'Annecy : l'activité de fraie des corégones est caractérisée par des bruits brefs (0,5 à 2 s) de type "stridulation" ; certains bruits de "fouille" sur substrat d'une omblière semblent directement associés à l'activité prédatrice des lottes (*Lota lota*) sur la ponte.

Mots clés : acoustique, éthologie, poissons, lacs.

SUMMARY

Listening to underwater sound is a simple way of studying the activity and behaviour of aquatic fauna.

The material used in the Institute of Limnology (Thonon-les-Bains) for recording and analysing sounds is described (figure 2). Experiments have been performed on the spawning sites of coregonids (*Coregonus lavaretus*) in Lake Aiguebelette and of charrs (*Salvelinus alpinus*) in Lake Annecy. This paper refers mainly to observations made in december 1987 on the site of "Roc de Chère" in Lake Annecy ; this is where the charrs spawn and the site is easy to survey (figure 1). Most of the work consisted in continuous visual and acoustical observations, in order to determine the origin of the sounds recorded. A great part of the period was noisy because of water disturbance (wind-induced waves).

The most interesting aspect is the study of sounds produced by fish (figure 3). We could not record the activity of the charrs, because of the inconvenient area studied : the observation field was limited to 1 sq.metre, which is very small in comparison to the spawning zone (figure 1). The presence of burbot (*Lota lota*) in the field of the video camera suggested that these fish came and ate the charr eggs which had been deposited on the bottom. This hypothesis was confirmed by the continuous digging activity (which was heard and recorded) due to the burbot feeding and by an analysis of the stomacal content of specimens, caught while SCUBA diving, which contained fertile eggs. Though acoustically evident, burbot activity was not analysed.

The coregonids found in Lake Annecy (1987) (*C. species*) have the same behaviour as those found in Lake Aiguebelette (1986) (*C. lavaretus*, a different species). Typical, short (0.5-2 s) stridulating noises are produced during courtship, when the male and the female rub against each other ; these noises, nearly always the same, have been analysed (figure 4). The loudest sounds emitted are in the 100-300 Hz range.

Another aspect of fish activity has been studied : the noise made by coregonids swimming (figure 4). During courtship, fish is very active and swims energetically. The low frequency of the sound has been recorded by using a special electronic device.

All these observations are in accordance with the results presented in the literature. Acoustical observation is an interesting method which should be developed.

Key-words : Acoustics, ethology, fish, lakes.

INTRODUCTION

L'importance des sons en milieu aquatique n'a été reconnue que récemment (MOULTON, 1964). Dans l'eau, les sons portent mieux et plus loin que dans l'air : la vitesse de propagation y est 4 fois plus rapide. Les sons de basse fréquence sont les moins altérés. Compte tenu des phénomènes de réflexion (à l'interface avec l'air ou avec le sédiment) et de réfraction des sons (à travers des couches d'eau de densité différente, par exemple), on imagine la difficulté de déterminer la nature et l'origine d'un son.

L'évolution technique du matériel permet maintenant d'obtenir une bonne sensibilité d'écoute. Il devient possible, en travaillant dans des conditions favorables, lorsque les bruits parasites (agitation de l'eau, pluie, passage de bateaux) sont réduits, de capter des bruits d'origine biologique comme ceux produits par les poissons.

Nous rapportons ici les résultats d'une observation de bio-acoustique réalisée entre les 3 et 28 décembre 1987 sur une zone de fraie de corégones et d'ombles chevaliers du lac d'Annecy, près du Roc de Chère à Menthon Saint-Bernard. Les enregistrements réalisés pour les corégones sont comparés à ceux que nous avons obtenus au lac d'Aiguebelette, les 17 décembre 1985 et 16 décembre 1986.

Basées sur l'enregistrement continu du niveau sonore, l'écoute et l'observation visuelle simultanée par caméra vidéo, ces études montrent notamment l'intérêt de l'acoustique passive en éthologie subaquatique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1 - Le site expérimental

1-1 Les frayères à corégones

Les corégones fraient à faible profondeur, à proximité du rivage. Au lac d'Aiguebelette, une zone de fraie, facilement accessible, s'étend sur plusieurs centaines de mètres, le long de la rive Est entre les rivières de La Gua et de la Combe ; les poissons (*Coregonus lavaretus*) viennent frayer tout au bord. Au lac d'Annecy (Roc de Chère), la frayère est un peu moins étendue ; les animaux (*C. species*) se tiennent plus éloignés du rivage (3 à 5 mètres du bord) (figure 1).

1-2 La frayère à ombles

Réaménagée en 1977 par déversement de blocs et de graviers, la frayère du Roc de Chère constitue un site expérimental particulièrement intéressant du fait notamment de sa faible profondeur (30-45 m), de sa proximité du rivage (80-100 m) et de son relatif isolement des zones d'activité du lac (figure 1).

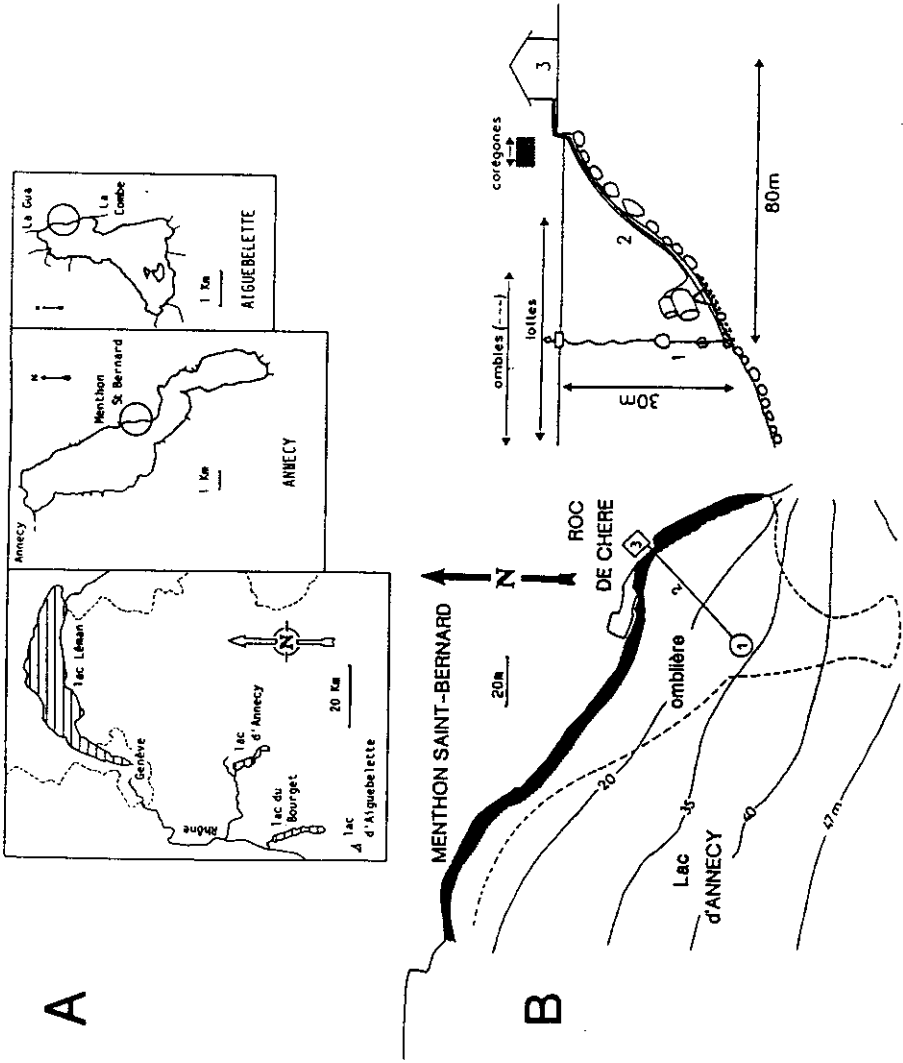


Figure 1. - Les sites d'étude.

1A : Situation géographique des lacs étudiés. Emplacement des sites d'observation (cerclés) sur le lac d'Anney et le lac d'Aiguebelette. Attention : les échelles sont différentes.

1B : Le site d'étude (omblière du Roc de Chère à Menthon Saint-Bernard).
 (1) Zone d'observation (hydrophone et caméra)

(2) Câble

(3) Laboratoire de terrain

Figure 1. - The study areas.
 1A : Geographic location of the lakes. Sites of observation along Lake Anney and Lake Aiguebelette are circled.

1B : The study area (charr spawning area of Roc de Chère, Menthon Saint-Bernard).

(1) Observation area

(2) Cable

(3) Field laboratory

La zone d'observation est située à 100 m du laboratoire de terrain (installé à proximité du rivage), par 30 m de fond. L'aire de fraie des ombles (ou supposée telle) est formée par une gravière propre de tout dépôt, légèrement en pente, couvrant une surface d'environ 5 m².

2 - Le matériel

La présence des corégones près du bord permet leur observation directe et l'enregistrement de leur activité, à l'aide d'un système portable : hydrophone Bruel et Kjaer raccordé à l'entrée micro de l'enregistreur Nagra IV-SJ, au travers du module QSJP de Bruel et Kjaer.

L'observation de la frayère à ombles chevaliers nécessite la mise en place d'un matériel plus important (figure 2). Les sons détectés par l'hydrophone sont amplifiés et peuvent être enregistrés sur bande magnétique ou transformés graphiquement. Un système d'observation vidéo est installé en parallèle. L'écoute des bruits, associée à l'observation visuelle, permet d'identifier le comportement animal dans le champ de la caméra et dans la zone directement visible à l'oeil nu.

L'hydrophone (1) est placé à 1,5 m au-dessus de l'aire supposée de frai des ombles, le câble de liaison à l'amplificateur 2606 reposant sur le fond. La caméra est fixée à proximité immédiate de l'hydrophone. Elle couvre un champ d'observation de 1 m² sur le fond. D'abord placés à la lisière de cette frayère, l'hydrophone et la caméra vidéo sont ensuite installés en son centre.

Nous avons limité à 400 Hz maximum, par filtrage "passe bas" (3), la bande passante de la chaîne d'enregistrement graphique du niveau sonore, éliminant de ce fait les sons les plus aigus, non liés à une activité des poissons, optimisant en quelque sorte le rapport (bruit biologique)/(bruit ambiant). Pour faciliter le suivi de l'évolution temporelle du niveau sonore, nous avons réglé l'enregistreur de niveau (4) sur une faible vitesse de défilement (0.01 mm/s) et une forte constante de temps (vitesse d'écriture : 31,5 mm/h ; niveau de fréquence le plus bas : 10 Hz), la dynamique de l'ensemble étant de 50 dB.

Le modulateur TBF (6) matérialise auditivement les bruits infra-sonores.

Les bruits non filtrés, ainsi que les commentaires ont été pour leur part enregistrés, à la discrétion de l'observateur, en vue d'éventuelles analyses, sur un magnétophone Nagra IV-SJ (7). Ce dernier a été modifié pour permettre d'enregistrer les bruits de très basse fréquence (TBF), à partir de 1 Hz, sur une seconde voie d'enregistrement.

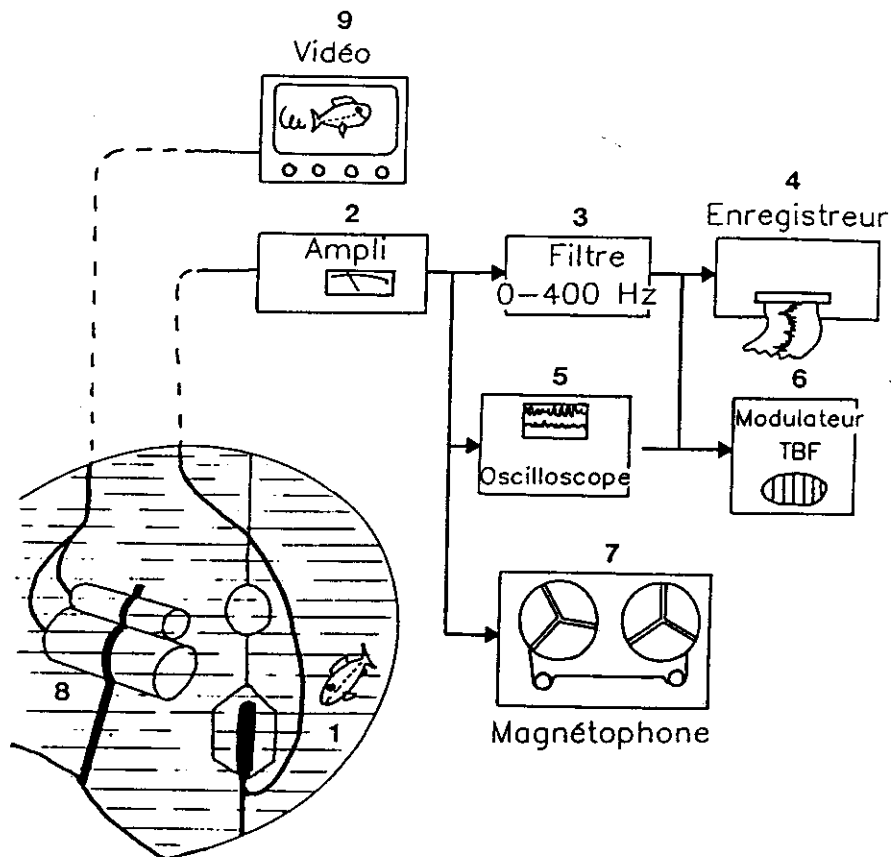


Figure 2. - Bloc diagramme de l'ensemble des matériels électroniques utilisés.

- (1) : hydrophone Bruel et Kjaer 8101 avec préamplificateur incorporé
- (2) : amplificateur Bruel et Kjaer 2606
- (3) : filtre Multimetrics modèle 120
- (4) : enregistreur de niveau Bruel et Kjaer 2305
- (5) : oscilloscope 2 voies Etertec modèle 5222
- (6) : modulateur très basse fréquence TBF (réalisation propre)
- (7) : magnétophone Nagra IV-SJ
- (8) : caméra vidéo Panasonic modèle WN-261N avec objectif 25 mm, f1.4 et projecteur de 100 W
- (9) : moniteur vidéo

Figure 2. - Electronic device.

- (1) : hydrophone B & K 8101 with incorporated preamplifier
- (2) : B & K amplifier 2606
- (3) : multimetrics filter 120
- (4) : B & K level paper recorder 2305
- (5) : Etertec oscilloscope, two channels, 5222
- (6) : lower frequency (TBF) modulator
- (7) : Nagra IV SJ tape recorder
- (8) : Panasonic camera WN-261 N
- (9) : video monitor

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs du niveau acoustique sont exprimées en dB par rapport à la valeur de référence de $20 \mu \text{ Pa}$.

Alors que l'enregistrement graphique du niveau acoustique était effectué en continu, sur la période journalière (avec une interruption de 4 jours entre les 10 et 15 décembre consécutive à un défaut d'inscription), l'observation visuelle n'a porté que sur environ 1/10 du temps et la durée de l'enregistrement magnétique réalisé n'excède pas 20 h.

1 - Les variations du niveau acoustique

Nombreuses sont les sources de bruit qui contribuent aux fluctuations du niveau acoustique dans un milieu aquatique, les plus intenses masquant souvent les autres. Du fait de la très bonne propagation des sons dans l'eau, leur influence peut se faire sentir sur de très longues distances.

Globalement, on peut classer les diverses sources de bruit en trois catégories :

- 1) Les bruits dus aux phénomènes naturels (agitation du milieu ; incidence du vent, des précipitations).
- 2) Les bruits résultant de l'activité humaine (bateaux, trafic routier, activités industrielles et touristiques).
- 3) Les bruits d'origine biologique (oiseaux, poissons).

Les caractéristiques spectrales de ces bruits sont très différentes ; il est relativement facile de les identifier auditivement et graphiquement.

L'activité biologique se caractérise par des bruits brefs, dont le niveau moyen est généralement inférieur aux autres bruits et qui ne présentent que très rarement une périodicité. Elle apparaît sur les tracés comme une succession d'impulsions brèves, qui émergent plus ou moins nettement du bruit de fond (figure 3).

2 - Les bruits dus à l'activité animale

Les évolutions des oiseaux aquatiques : plongée, nage, envol, fouille dans le substrat, etc... s'accompagnent de bruits caractéristiques, parfaitement perceptibles, que l'observation visuelle permet d'identifier sans ambiguïté. Tel n'est pas le cas en ce qui concerne l'activité des poissons, l'observation de leur comportement en milieu naturel étant beaucoup plus difficile.

Nous ne nous intéressons ici qu'aux bruits liés à l'activité des poissons.

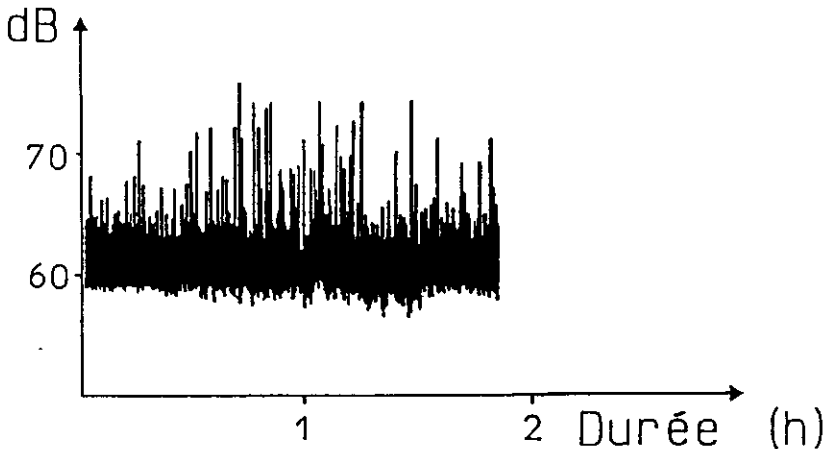


Figure 3. - Enregistrement graphique du niveau acoustique (actographie) lié à l'activité biologique (lac d'Annecy).

Figure 3. - Graphic recording of the acoustical level for biological activity (lake Annecy).

Notons d'abord, en dehors de quelques passages furtifs d'individus isolés et indépendamment de l'éclairage, qu'aucune observation d'omble chevalier n'a été faite ; la raison doit en être attribuée à un mauvais emplacement et à l'étroitesse du champ d'observation. Ainsi, les seuls bruits liés à une activité comportementale ou de locomotion des poissons, identifiés avec certitude actuellement, sont ceux qui accompagnent l'activité de fraie des corégones, les bruits de fouille et de déplacement du substrat par les lottes ainsi que les "bruits" de nage.

2-1 Bruits liés à la fraie des corégones

Le comportement de cour des corégones du lac d'Annecy (*Coregonus species*) comme pour ceux observés au lac d'Aiguebelette (*C. lavaretus*) se caractérise par une forte activité de nage et de poursuite des individus sur la zone de fraie, le frottement écailles contre écailles des couples, avec parfois des bonds hors de l'eau.

Acoustiquement, le comportement de fraie des corégones se manifeste donc par la présence :

- d'une importante activité TBF produite par les mouvements de nage,
- des bruits caractéristiques produits par le frottement, corps contre corps, de deux individus, et qui s'apparente à une espèce de raclement ou stridulation, dont la durée est comprise entre 0,5 et 2 s,
- du bruit de bondissement hors de l'eau.

Les "bruits" de nage, difficiles de distinguer des fluctuations de la pression statique dues aux mouvements des masses d'eau, notamment à proximité du rivage, peuvent être suivis auditivement, grâce au modulateur TBF, lorsque les animaux évoluent près de l'hydrophone. La

figure 4 en donne une illustration. Trois séquences de différentes durées ainsi que leur densité spectrale (DSE) sont représentées. Les analyses ont été effectuées numériquement, sur des séquences successives de 512 points. Les composantes fréquentielles dominantes se situent entre 0,78 et 2,5 Hz. Le niveau acoustique de ces "bruits" peut atteindre 90 dB.

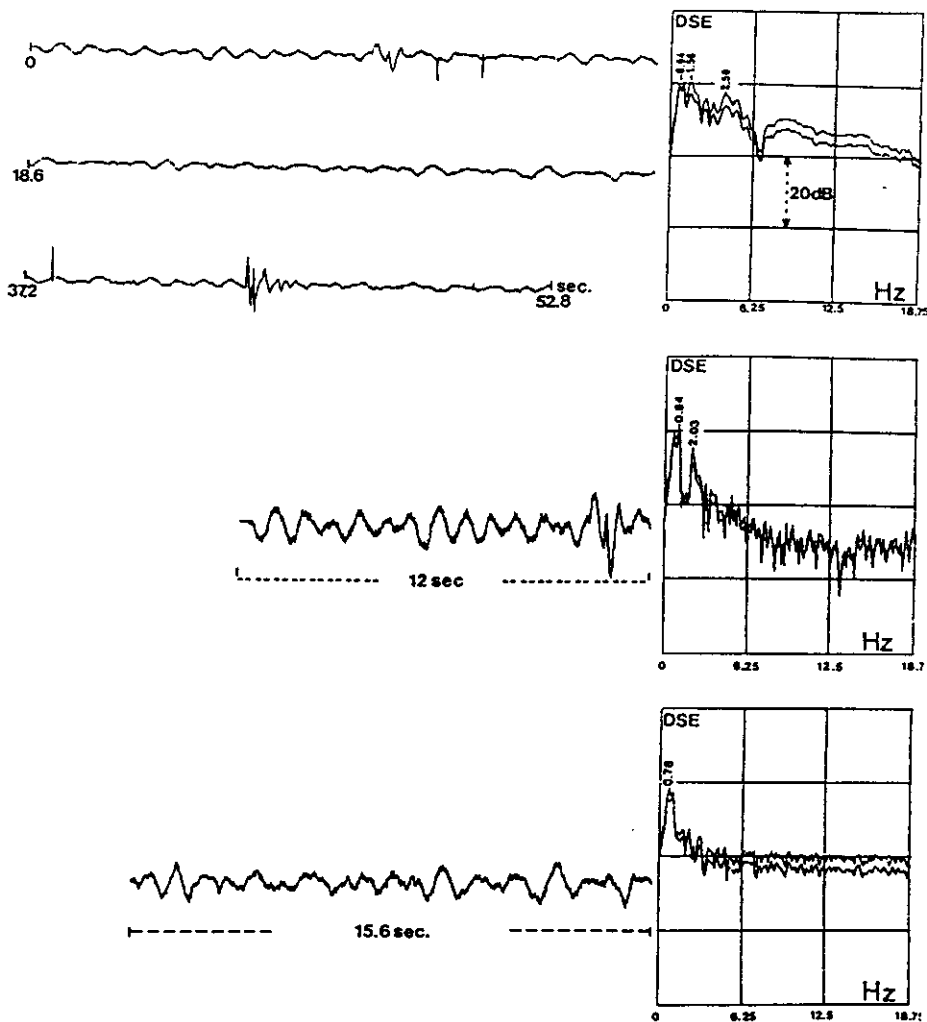


Figure 4. - Enregistrement des bruits de nage des corégones pour 3 situations différentes. Evolution graphique de l'amplitude du signal. Courbe moyenne (tracé inférieur) et moyenne + écart-type (tracé supérieur) de la densité spectrale d'énergie (DSE) distribuée selon la fréquence.

Figure 4. - Swimming noise of coregonids in 3 different situations. Graphical development of the signal amplitude. Mean (lower line) and mean + standard deviation (upper line) of the spectral energy density (DSE) vs frequency.

Le caractère impulsif du bruit de frottement (figure 5) apparaît clairement sur l'oscillogramme. Quant à son spectre, il couvre une bande qui se situe entre 100 et 400 Hz. La présence de ce bruit, tout à fait typique, constitue à elle seule un révélateur d'une activité de frai chez les corégones.

2-2 Bruits d'activité des lottes

Toutes les observations, tant vidéo que celles effectuées par les plongeurs, ont révélé une concentration inhabituelle de lottes (*Lota lota*) sur la totalité de la zone de fraie des ombles chevaliers. Ainsi, dans le champ de 1 m² de la caméra, il n'était pas rare de voir évoluer, simultanément, jusqu'à 3 individus. Leur comportement, en dehors de lents mouvements de nage au ras du sol, consistait surtout à explorer le substrat et à effectuer une fouille superficielle. Cette activité, liée probablement à la recherche de nourriture, s'accompagnait de divers bruits typiques de déplacement et de roulement de gravier, parfaitement reconnaissables à l'oreille, dont l'analyse nous a paru superflue, et qu'il est donc possible de mettre en évidence par simple écoute passive.

En dehors de l'aspect acoustique, cette observation montre clairement le caractère prédateur de la lotte sur le frai des ombles chevaliers, comme le confirment d'ailleurs les examens du contenu stomacal effectués d'un des individus capturés sur le site.

2-3 Nature des sons produits

Les bruits enregistrés correspondent essentiellement à une activité physique des poissons : bruits de fouille des lottes, frottements et bruits de nage des corégones. Ce sont des sons de basse fréquence. Ainsi, chez les corégones, la fréquence des sons liés aux bruits de nage est inférieure à 20 Hz (figure 4) ; celle liée aux bruits de frottement reste inférieure à 500 Hz (figure 5). Des chiffres du même ordre ont été relevés en conditions naturelles. Les sons produits par la carpe (*Cyprinus carpio*) et le vairon (*Phoxinus phoxinus*), durant l'activité d'alimentation, ont des fréquences ne dépassant pas 180 Hz et 250 Hz respectivement (STEPANEK, 1968).

Les poissons peuvent ainsi émettre des sons que l'on peut qualifier de biologiques et qui s'apparentent soit à des bruits rythmiques sourds, soit à des cris brefs plus aigus (HAWKINS et MYRBERG, 1983). Au printemps 1988, des bruits de succion chez les perches (*Perca fluviatilis*) ainsi que des bruits secs émis durant la fraie des gardons (*Rutilus rutilus*), ont été enregistrés sur le Léman. LADICH (1988) a mesuré chez le goujon (*Gobio gobio*) des bruits produits lors du changement de comportement des poissons : la fréquence reste inférieure à 6 KHz.

Les sons produits par les poissons sont caractéristiques des espèces étudiées et de leur type d'activité. Ces résultats confirment les données de MOULTON (1960 et 1964), STOBBER (1969), HAWKINS et MYRBERG (1983), à savoir qu'il existe des sons caractéristiques liés aux espèces ichthyennes et à leur comportement.

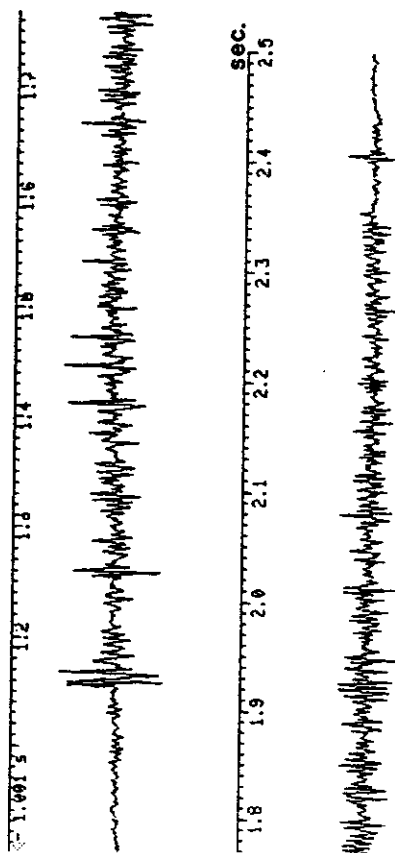
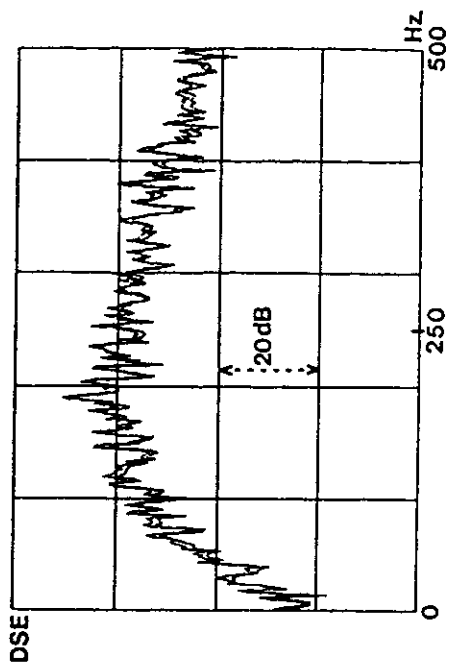


Figure 5. - Enregistrement des bruits de frottement durant la fraie des corégonés (cf. légende figure 4).
 Figure 5. - Stridulating sounds due to the friction of coregonids during the courtship period (see legend figure 4).

CONCLUSION

Le site du "Roc de Chère", au lac d'Annecy, constitue un domaine privilégié pour une observation visuelle et auditive du comportement des poissons liés à l'activité de fraie des corégones et des ombles chevaliers. Les caractéristiques des bruits qui accompagnent le comportement de cour des corégones sont les mêmes que pour ceux enregistrés chez *Coregonus lavaretus* au lac d'Aiguebelette. De plus, l'action prédatrice des lottes sur la ponte des ombles chevaliers (bruits de fouille et de déplacement du substrat) a été mise en évidence.

L'exploration du site par les plongeurs jusqu'à une profondeur de 40 m a, par ailleurs, permis de localiser avec précision les zones de ponte des ombles, reconnaissables par la propreté et la régularité du substrat ainsi que par une concentration de lottes particulièrement dense. Ces résultats montrent l'intérêt et les limites de l'écoute passive en éthologie subaquatique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement Mrs. KAHL, MERIAUX et POTEVIN de la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F. d'Annecy et d'Aiguebelette) ainsi que les membres du Club de Plongée d'Annecy, pour leur participation active dans la mise en oeuvre de cette expérimentation. Nous exprimons aussi notre gratitude à la Direction de "La Muraz" et notamment à Mr. DUC pour les facilités qui nous ont été accordées pour son exécution et son bon déroulement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HANKINS A.D., MYRBERG A.A. Jr. (1983). Hearing and sound communication under water. In : B. Lewis Ed., *Bioacoustics, a comparative approach*, Acad. Press London, 347-405.

LADICH F. (1988). Sound production by the gudgeon (*Gobio gobio* L.), a common european freshwater fish (Cyprinidae, Teleostei). *J. Fish. Biol.*, 32, 707-715.

MOULTON J.M. (1960). Swimming sounds and the schooling of fishes. *Biol. Bull.*, 119 (2), 210-223.

MOULTON J.M. (1964). Underwater sound : biological aspects. *Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev.*, 2, 425-454.

STEPANEK M. (1968). Beiträge zur Bioakustik der Binnengewässer. II. Fressgeräusche von Karpen und Elritzen. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 33, 423-430.

STOBER Q.J. (1969). Underwater noise spectra, fish sounds and response to low frequencies of cutthroat trout (*Salmo clarki*) with reference to orientation and homing in yellow Stone Lake. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 98 (4), 652-663.