



HAL
open science

Estimation hydroacoustique du nombre de poissons migrateurs franchissant l'écluse de Beucaire-Vallabrègues (Rhône)

Jean Guillard, B Colon

► **To cite this version:**

Jean Guillard, B Colon. Estimation hydroacoustique du nombre de poissons migrateurs franchissant l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues (Rhône). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 1998, pp.79 - 90. 10.1051/kmae:1998053 . hal-03043323

HAL Id: hal-03043323

<https://hal.inrae.fr/hal-03043323v1>

Submitted on 7 Dec 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.

NOTE BRÈVE

ESTIMATION HYDROACOUSTIQUE DU NOMBRE DE POISSONS MIGRATEURS FRANCHISSANT L'ÉCLUSE DE BEUCAIRE-VALLABRÈGUES (RHÔNE).

J. GUILLARD et B. COLON

Institut National de la Recherche Agronomique, Station d'Hydrobiologie Lacustre, BP 511,
74203 Thonon-les-Bains Cedex, France.

Reçu le 21 janvier 1998
Accepté le 17 mars 1998

Received 21 January, 1998
Accepted 17 March, 1998

RÉSUMÉ

Utilisées fréquemment en mer et en lac pour échantillonner les poissons, les techniques hydroacoustiques se développent de plus en plus dans les milieux de faible profondeur. Le nombre de poissons qui franchissent l'écluse de Beaucaire-Vallabregues, premier obstacle rencontré sur le Rhône, est estimé à l'aide d'un sondeur SIMRAD EY500, fréquence 70 kHz, à faisceaux partagés (split-beam). Deux transducteurs échantillonnent une tranche d'eau évaluée à environ 35 % de la section de l'écluse. Le nombre de poissons franchissant l'écluse est calculé pour chaque éclusée dite à poissons. Les caractéristiques de franchissement des poissons (dates, position, durée de sortie) sont observées. Les analyses actuelles ne permettent pas de faire la distinction entre les deux principales espèces qui franchissent l'obstacle, l'alose (*Alosa fallax*) et le mullet (*Mugil cephalus*).

Mots-clés : hydroacoustique, index de réflexion, *Alosa fallax*, *Mugil cephalus*, Rhône, migrateur, écluse.

HYDROACOUSTIC ESTIMATION OF THE NUMBER OF FISH PASSING THROUGH BEUCAIRE-VALLABREGUES LOCK (RHONE).

ABSTRACT

Frequently used in sea and lake to study fish populations, the use of hydroacoustic methods in shallow waters is increasing. The number of fish passing through Beaucaire-Vallabregues lock, first obstacle on the river Rhone, is estimated using a SIMRAD EY500 split-beam sounder, frequency 70 kHz. Two transducers sample about 35 % of the lock's section. For each lock cycle, the number of fish going across the lock is indicated. The characteristics of the fish crossing (dates, position, time and delay) are shown. Current analyses do not permit to discriminate the two main species which cross the lock, the shad (*Alosa fallax*) and the mullet (*Mugil cephalus*).

Key-words : hydroacoustic, target strength, *Alosa fallax*, *Mugil cephalus*, Rhone, migratory fish, lock.

INTRODUCTION

Dès les années trente, le Rhône, fleuve possédant un fort potentiel hydraulique et un caractère impétueux, a été aménagé par la CNR (Compagnie Nationale du Rhône). Des barrages hydroélectriques ont été construits pour la production d'électricité et des écluses ont été mises en place pour le passage des bateaux ; les endiguements réalisés ont protégé les terres contre les crues du fleuve.

Ces différents aménagements ont modifié le fonctionnement de l'hydrosystème. Parmi toutes les populations de poissons présentes, les poissons migrateurs tels que l'esturgeon (*Acipenser sturio*), la lamproie marine (*Petromyzon marimus*) et l'alose (*Alosa fallax*) (Figure 1a) furent les plus touchées. L'alose est devenue l'espèce cible de ce programme de restauration (LE CORRE *et al.*, 1997).

Pour permettre aux poissons migrateurs de rejoindre leurs lieux de fraie, des passes à poissons ont été installées. Cependant, la mauvaise conception générale de ces passes et la difficulté de les améliorer les rendent souvent inefficaces. Parallèlement, on s'est rendu compte que les écluses permettaient le franchissement des barrages par les poissons (MENELLA et MAZENS, 1997). Outre l'alose, l'écluse est franchie en grand nombre par une autre espèce, le mulot (*Mugil cephalus*). En 1991, la D.I.R.E.N. (Direction Régionale pour l'Environnement) et le S.N.R.S. (Service de Navigation Rhône-Saône) ont établi un Schéma de Vocation Piscicole du Rhône, ayant pour conclusion la réhabilitation des poissons migrateurs dans le Bas-Rhône, jusqu'à l'Ardèche, et ses affluents. Après acceptation de ce schéma par le Comité de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, un plan quinquennal a été instauré, le plan Migrateur Rhône-Méditerranée (MRM). L'objectif de ce schéma est de rétablir la circulation des aloses dans le Bas-Rhône et ses affluents en leur facilitant le franchissement des 3 premiers barrages et des différents seuils. Le retour des poissons migrateurs dans ces zones est un symbole de restauration du fleuve, car ils sont à la fois des indicateurs de la qualité écologique et de la continuité des systèmes fluviaux (MENELLA et MAZENS, 1997).

Depuis 1993, l'association MRM organise des campagnes d'études sur le site de Beaucaire-Vallabrègues (Figure 1b), premier obstacle rencontré par les poissons migrateurs. Suite aux expérimentations réalisées en 1995 (JOUFFRE, 1997) montrant la faisabilité des techniques d'échantillonnage acoustique, la CNR s'est équipée d'un matériel hydroacoustique et l'a mis à disposition de MRM. En 1996, une étude préliminaire a été réalisée (GUILLARD *et al.*, 1996), qui a permis d'effectuer en 1997 un suivi quotidien (GUILLARD et COLON, 1997). Utilisé depuis longtemps pour la détection des poissons en mer et en lac (MARCHAL, 1985 ; BRANDT, 1996), le développement de cette technique pour l'étude des milieux de faible profondeur évolue rapidement (GUILLARD et MARCHAL, 1998). En particulier, on utilise la détection horizontale en position fixe ou mobile afin d'étudier les répartitions spatio-temporelles des poissons en rivières, estuaires... (LÉVESQUE et HARTE, 1994 ; DUNCAN et KUBECKA, 1996 ; STABLES et THOMAS, 1992 ; STEIG et JOHNSTON, 1996 ; GAUTHIER *et al.*, 1997).

L'objectif de cette étude était de suivre quotidiennement le franchissement de l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues par les poissons migrateurs, et d'optimiser le mode de fonctionnement de l'écluse de navigation en tant que passe à poissons.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les écluses dites à poissons

Une éclusée à poissons est l'utilisation de l'écluse en tant que passe à poissons. Sur l'écluse de navigation du barrage hydroélectrique de Beaucaire-Vallabrègues, le fonctionnement est le suivant (Figure 1c) :

- sas vide et portes aval ouvertes, une vanne de remplissage d'un débit de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est ouverte afin de créer un courant d'attrait dans l'écluse qui permet aux poissons de trouver l'entrée et d'y pénétrer : c'est l'attrait aval ;

- au bout de 20 minutes, l'attrait aval terminé, la vanne de remplissage et les portes aval sont fermées ;

- le remplissage du sas se fait ensuite avec les vannes de remplissage de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

- le remplissage du sas terminé, la porte amont est ouverte et un courant d'attrait est créé pendant 20 minutes pour que les poissons sortent du sas : c'est l'attrait amont. Ce courant est de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en ouvrant les 2 vantelles de la porte, ou il est nul ($0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) si les deux vantelles restent fermées. Ces manoeuvres sont analogues à celles permettant le passage des bateaux, mis à part les courants d'attrait. Elles sont effectuées entre 2 et 5 fois par jour pendant la période de migration, c'est-à-dire de mi-avril à fin juin.

L'écluse de Beaucaire-Vallabrègues possède une porte baissante en amont, qui peut être abaissée totalement ou partiellement. Un abaissement partiel (Figure 1c) permet un comptage visuel du nombre de poissons sortant de l'écluse. Le principe est le même, sauf que lorsque le dénivelé entre le niveau amont et le niveau du sas atteint 0,20 m, la porte amont de l'écluse est baissée de 0,30 m en dessous du niveau amont. Il y a alors formation d'une vague que les poissons franchissent, ce qui permet un dénombrement visuel. Ce mode de comptage est efficace mais très lourd à gérer et mettre en place car il nécessite une équipe d'au moins 4 personnes.

L'hydroacoustique

Cette technique est basée sur les propriétés du son dans l'eau. Un son émis dans l'eau, à une certaine fréquence, se propage sous forme d'ondes à une vitesse dépendante des caractéristiques du liquide : température, salinité, pression. Les ondes émises sont réfléchies par toute cible rencontrée : le fond, la surface, les poissons... Les échos ainsi produits sont réceptionnés par le transducteur, qui fonctionne en émission-réception (MACLENNAN et SIMMONDS, 1992). Pour réaliser cette étude, un sondeur SIMRAD EY500 (SIMRAD, 1996 a) à faisceaux partagés (split-beam) (MACLENNAN et SIMMONDS, 1992) est utilisé. Ses principales caractéristiques sont :

- fréquence de 70 kHz,

- longueur d'impulsions de 0,6 ms,

- une fonction d'amplification GVT (Gain Variable dans le Temps) $40 \log R$, qui permet de compenser automatiquement, en fonction de la distance, les pertes dues à la propagation du son dans l'eau.

Le sondeur à faisceaux partagés possède un transducteur divisé en quatre quadrants. L'émission du son s'effectue de façon simultanée sur tous les quadrants, mais la réception est analysée séparément sur chacun. Les différences de phase entre les quadrants sont proportionnelles aux différences de distance parcourue par l'écho et permettent ainsi de calculer la position de la cible dans le faisceau acoustique. A partir de la fonction de directivité du transducteur, on peut calculer les index de réflexion (TS d'après l'anglais Target Strength) des cibles et suivre le déplacement d'une cible ; on peut ainsi évaluer la vitesse et la direction du mouvement des poissons (MacLENNAN et SIMMONDS, 1992 ; BRANDT, 1996). On pourra dans notre étude différencier les cibles qui remontent le courant des cibles dévalantes, et donc ne prendre en compte que les poissons qui remontent le Rhône.

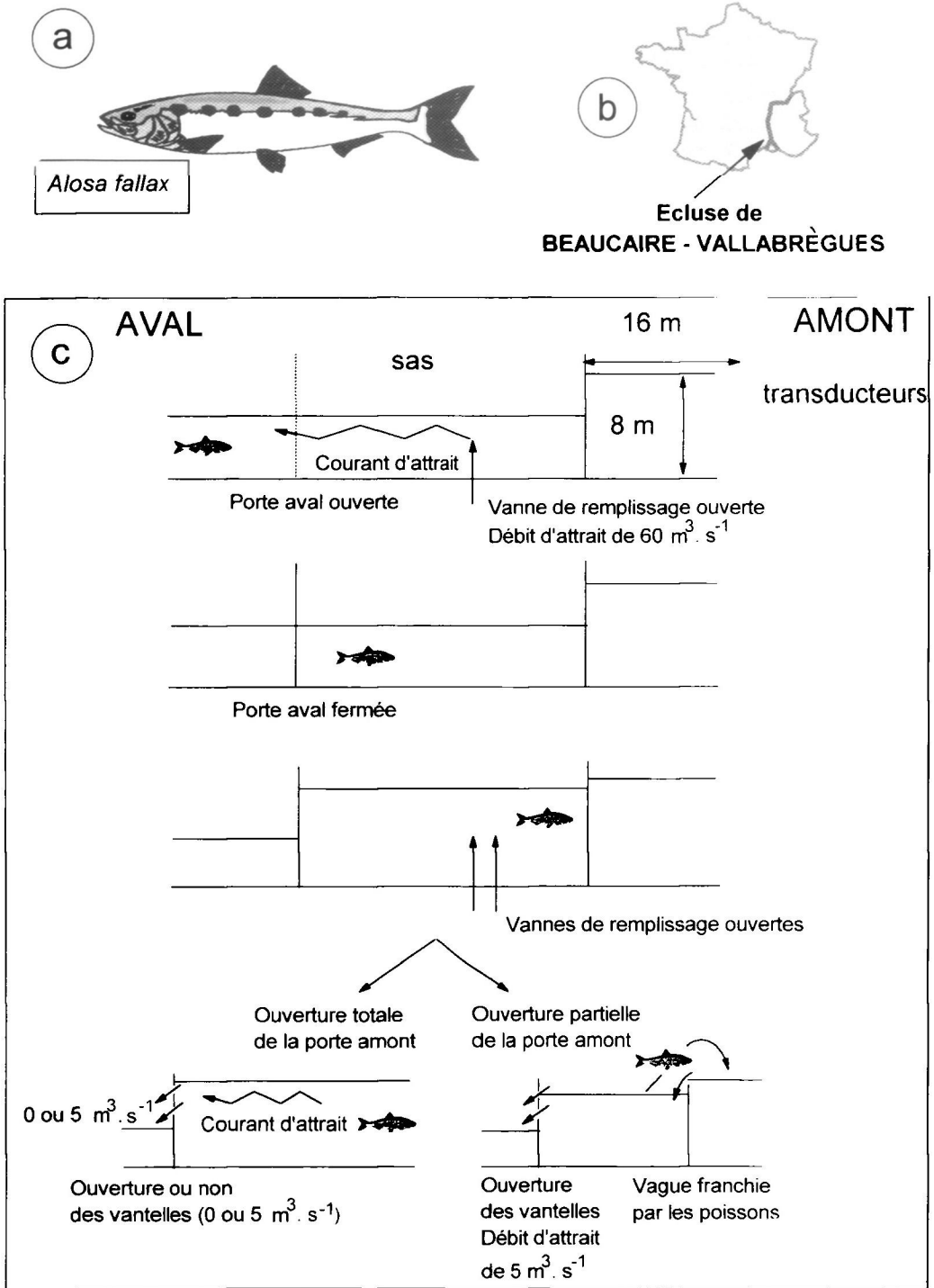


Figure 1
 a – L'aloise présente dans le Rhône (*Alosa fallax*).
 b – Situation géographique de l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues.
 c – Principe de franchissement de l'écluse par les poissons migrateurs.

Figure 1
 a – The shad in the river Rhone (*Alosa fallax*).
 b – Geographical position of Beaucaire-Vallabregues lock.
 c – Principal of lock's cross over by the migratory fish.

Deux transducteurs circulaires SIMRAD ES70-11 (11° d'ouverture totale à -3 dB) sont associés à ce sondeur et à un multiplexeur qui permet la commutation automatique d'un transducteur à l'autre, toutes les deux secondes. Le rythme des émissions, environ 10 émissions par seconde, est optimisé par le programme EY500 afin que les cibles soient échantillonnées le plus de fois possible. Les deux transducteurs sont montés sur un cadre en acier inox et inclinés de $5,5^\circ$ pour le premier (TR1) et de $16,5^\circ$ pour le second (TR2) par rapport à la surface (Figure 2). Cet ensemble est mis en place à une distance de 16 m en amont de la porte de l'écluse, rive gauche, dans la rainure à batardeau pour le protéger du passage des bateaux. Il est suspendu à un treuil manuel qui permet de régler la profondeur des transducteurs (0,5 m pour TR1 et 1 m pour TR2).

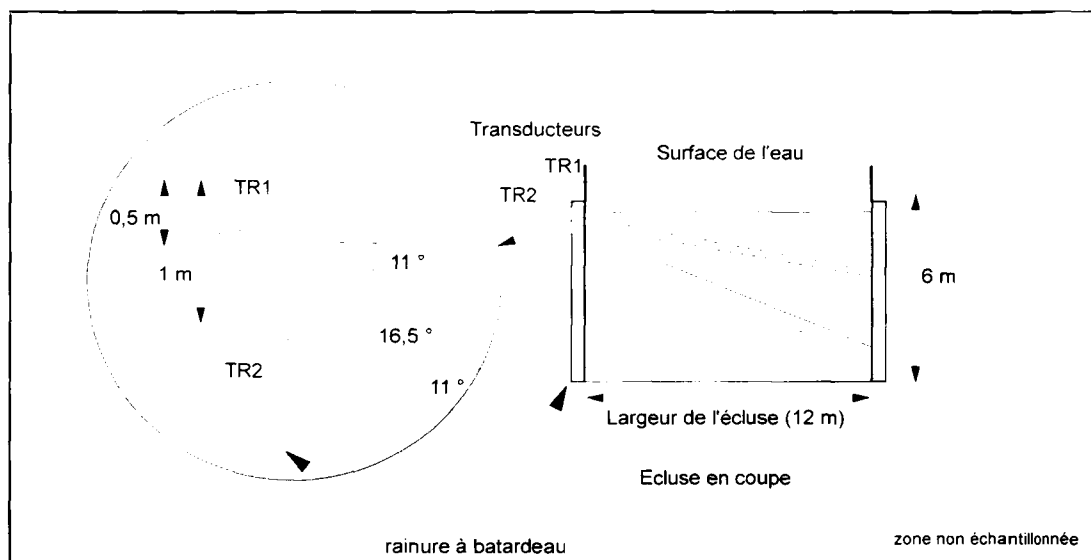


Figure 2

Schéma de montage des transducteurs dans l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues.

Figure 2

Sketch of the transducers position in Beaucaire-Vallabregues lock.

Dans le cas d'observations en position fixe et en émission horizontale, comme pour l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues, les techniques de comptage d'échos sont dans la plupart des cas les seules utilisables (THORNE, 1998). Le traitement des données (Figure 3) s'effectue avec le programme d'analyse SIMRAD EP500 (version 5.2) (SIMRAD, 1996 b). Le comptage des échos est une technique relativement simple, et qui donne des résultats tout à fait intéressants (MARCHAL, 1985). La condition de base est que les poissons soient éloignés les uns des autres pour que leurs échos puissent être discriminés. Pour chaque éclusée à poissons, on obtient les caractéristiques des cibles discriminées (index de réflexion, vitesse, distance par rapport au transducteur, direction). On ne retient que les cibles allant dans la direction opposée au courant. Lors des éclusées à abaissement partiel qui permettent de réaliser les comptages visuels, on procède aussi à des enregistrements acoustiques. Les poissons étudiés sont des clupéidés dont la taille moyenne est de 433 mm, pour un poids moyen de 1115 g (LE CORRE *et al.*, 1997). Si l'on utilise la relation donnée par MACLENNAN et SIMMONDS (1992) pour les clupéidés [$TS = 20 \log(L) - 71,9$ avec L en cm et TS en dB], déterminée en émission verticale, on obtient pour les tailles moyennes des TS de $-37,5$ dB et $-39,3$ dB respectivement. Les valeurs des TS sont plus faibles et variables lorsque l'on travaille en émission de type horizontale (KUBECKA, 1993). Le seuil choisi de -55 dB permet de s'affranchir des cibles plus petites, sans risque de ne pas tenir compte des poissons étudiés.

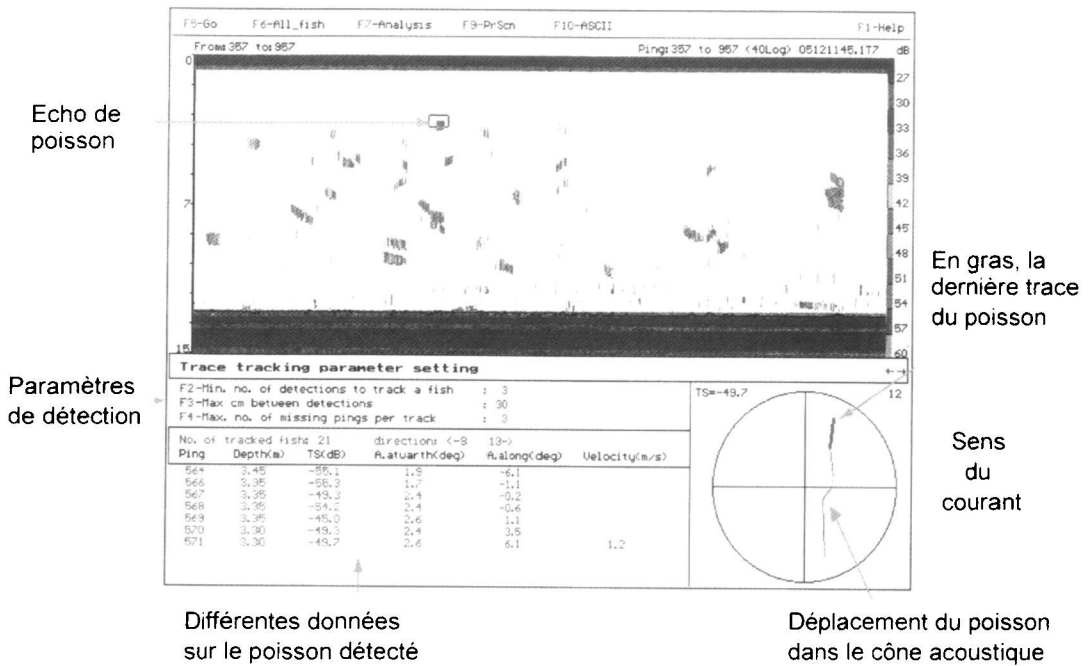


Figure 3
Exemple d'échogramme et direction de déplacement d'une cible.

Figure 3
Example of an echogram, and direction of a target.

En utilisant le logiciel EP500, on peut piloter en direct et à distance, avec un modem relié au réseau téléphonique, le sondeur EY500. Dans le protocole d'une éclusée à poissons, l'éclusier appelle la Station d'Hydrobiologie Lacustre de Thonon lorsqu'il lance le remplissage de l'écluse. On connecte alors les deux ordinateurs distants afin de déclencher les émissions et les acquisitions. Cette méthode évite la permanence d'une personne sur le site de Beaucaire-Vallabrègues, et permet d'obtenir des données à chaque éclusée.

Calibration

La calibration du sondeur et des deux transducteurs est effectuée à l'aide d'une boule de cuivre étalon selon la méthode standard préconisée par FOOTE *et al.*, 1987. D'après les caractéristiques des transducteurs, le volume d'eau échantillonné est égal à environ 35 % du volume de la section de l'écluse. Cette valeur a été vérifiée expérimentalement, en prenant en compte les zones non prospectées par le sondeur (MacLENNAN et SIMMONDS, 1992), près du transducteur et du mur opposé (Figure 2).

RÉSULTATS

Évolution du nombre de poissons franchissant l'écluse pendant la période d'étude (15 avril - 30 juin 1997)

Afin d'étudier l'évolution saisonnière du nombre de poissons franchissant l'écluse, le nombre de poissons détectés au m² par éclusée est pondéré par le nombre d'éclusées réalisées pendant la journée. Nous avons ainsi un nombre moyen de poissons migrateurs par m² et par éclusée pour chaque jour, moyenné par semaine pour une meilleure vision de l'évolution (Figure 4a).

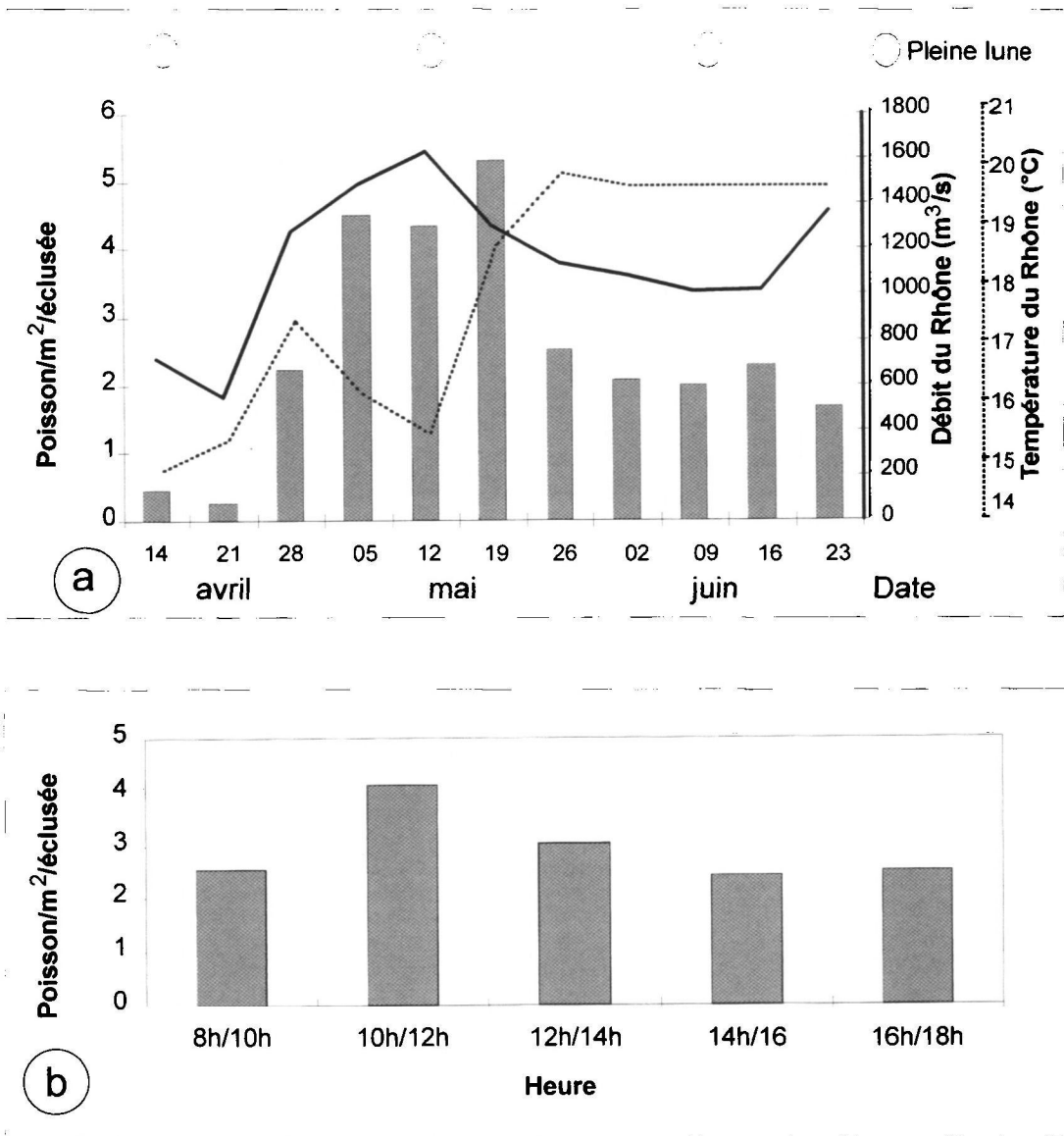


Figure 4
 a – Evolution du nombre de poissons franchissant l'écluse ; les dates indiquées sur les graphiques correspondent au premier jour de la semaine.
 b – Evolution journalière du nombre de poissons franchissant l'écluse.

Figure 4
 a – Evolution of the number of fish passing through the lock ; dates on the graphics correspond to the first day of the week.
 b – Daily evolution of fish passing through the lock.

Évolution quotidienne

De la même façon que pour l'évolution mensuelle, le nombre de poissons au m² a été pondéré par le nombre d'éclusées réalisées aux différentes heures de la journée (Figure 4b).

Répartition des poissons

La répartition verticale des poissons (Figure 5a) ne diffère pas selon le débit d'attrait de sortie. D'après ces résultats (Figure 5b), les poissons ont tendance à sortir sur les bords de l'écluse, sauf dans les éclusées à abaissement total où les poissons passent plus dans l'axe de l'écluse. On remarque aussi que le débit d'attrait influence peu la répartition des poissons dans la largeur de l'écluse.

Temps de sortie des poissons

Pour étudier le temps de sortie, on calcule le pourcentage de poissons détectés pendant une plage de temps par rapport au nombre total de poissons ayant franchi l'écluse (Figure 5c). Dans les cas d'abaissement total de la porte, 90 % des poissons sortent pendant les 10 premières minutes, alors que lors des comptages visuels les poissons sortent plus lentement.

DISCUSSION

La calibration du sondeur et des transducteurs a permis de préciser le volume échantillonné et la bonne position des 2 transducteurs dans l'écluse, en particulier leur inclinaison. Les mesures réalisées montrent que les 2 transducteurs n'ont qu'une faible zone de recouvrement et échantillonnent environ 35 % de la section de l'écluse. Seule la zone du fond de l'écluse, du fait de la position des transducteurs, ne peut pas être insonnifiée et laisse persister un doute sur un éventuel passage préférentiel des poissons dans cette zone, peu probable vu les résultats obtenus par ailleurs. L'ajout de transducteurs supplémentaires, ainsi que le positionnement d'un des deux transducteurs sur l'autre rive, auraient permis d'optimiser le volume échantillonné, mais celui-ci n'est pas possible pour des raisons conjoncturelles et structurelles.

La gestion du déclenchement à distance, par une liaison modem, du sondeur et du stockage des données permet d'éviter la présence sur le site d'un technicien durant la période de migration, et de récupérer à distance les informations. Un certain nombre de dysfonctionnements n'a permis d'exploiter que 70 % des éclusées à poissons jusqu'au 17 mai et un peu moins de 50 % entre le 17 mai et le 30 juin. La mauvaise synchronisation lors des appels téléphoniques est un facteur limitant. Afin d'augmenter l'efficacité du système pour les futures campagnes, une automatisation du déclenchement des acquisitions a été réalisée (COLON et GUILLARD, 1997). Celle-ci permettra d'augmenter le nombre d'éclusées suivies et simplifiera le travail d'analyse grâce à la synchronisation de l'ouverture des portes et du démarrage des émissions.

On constate, aux alentours du 20 mai 1997, un pic du nombre de poissons franchissant l'écluse. Ces résultats sont confirmés par les résultats des comptages visuels (MENELLA et MAZENS, 1997). Nous avons utilisé des données moyennées par semaine pour aborder les relations entre les paramètres environnementaux et le nombre de poissons franchissant l'obstacle, car il existe une très forte variabilité journalière. Les paramètres étudiés sont les températures journalières moyennes relevées en amont de l'écluse et les débits moyens du Rhône, ainsi que les phases lunaires. On observe une augmentation du nombre de poissons, synchrone avec l'augmentation du débit moyen, et parallèlement à la montée de la température moyenne des eaux. La baisse de la température moyenne, avec le débit qui reste stable, n'implique pas d'arrêt du franchissement.

La répartition des poissons dans l'écluse permet de conclure qu'il existe des passages préférentiels. Indépendamment du débit, les poissons sortent de l'écluse en

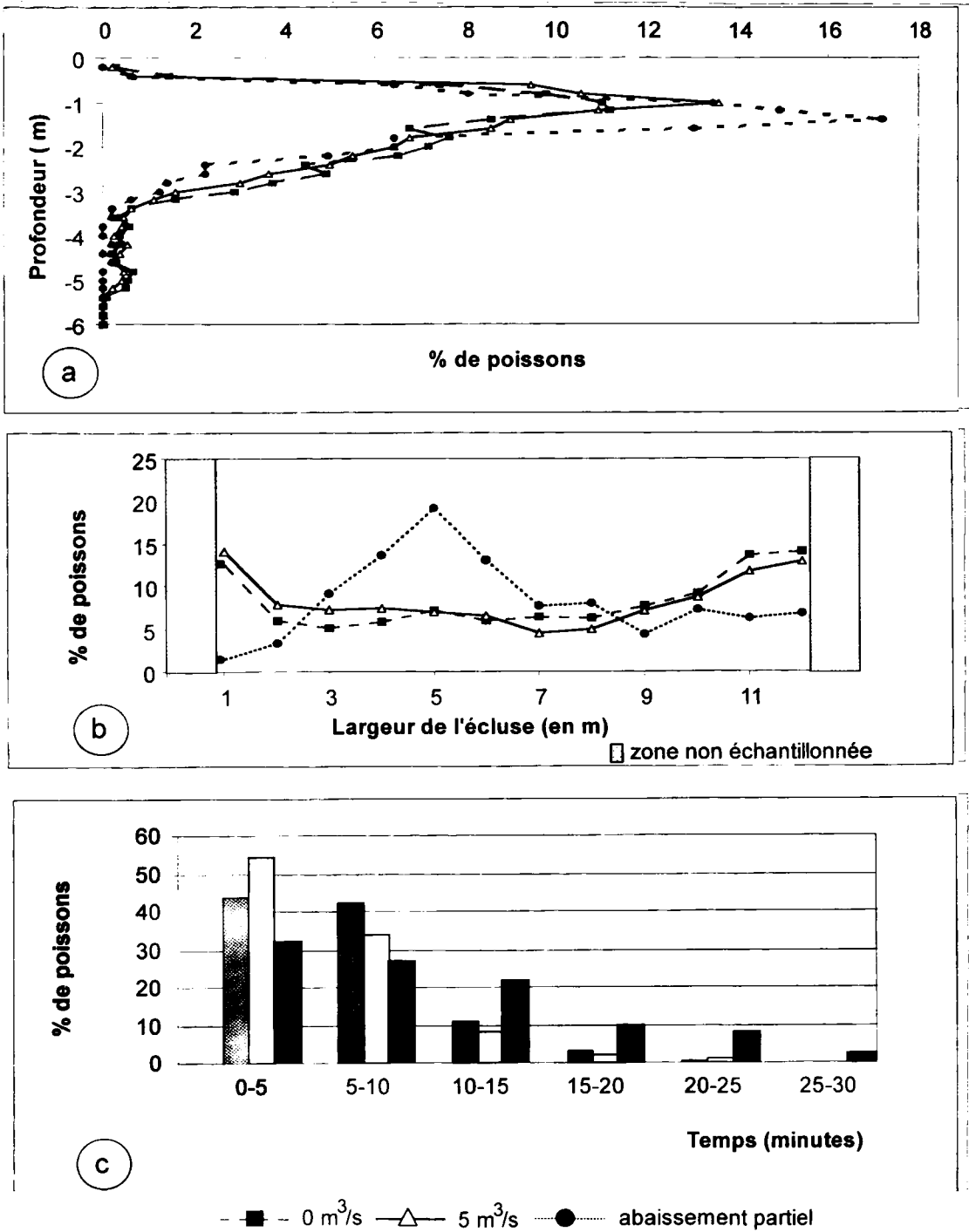


Figure 5
 a – Répartition des poissons dans la profondeur de l'écluse.
 b – Répartition des poissons dans la largeur de l'écluse.
 c – Temps de sortie des poissons hors de l'écluse.

Figure 5
 a – Fish distribution in the lock (depth).
 b – Fish distribution in the lock (width).
 c – Delay to go out of the lock.

majorité près de la surface et sur les bords. Le passage sur les bords correspond aux observations du comportement de ce poisson qui migre en suivant les berges. Lors d'un comptage visuel, cette sortie latérale des poissons est modifiée au profit d'une répartition au centre de l'écluse. Selon le mode d'abaissement, le comportement des poissons est différent, d'autant plus qu'en abaissement partiel les poissons passent forcément très en surface. La comparaison des données provenant des deux types de comptage est donc difficile et ne pourra être éventuellement réalisable qu'avec un grand nombre de données.

L'étude du temps de sortie montre une décroissance rapide du nombre de poissons sortant de l'écluse : 90 % des poissons détectés sont sortis au bout de 10 minutes pour les éclusées à abaissement total de la porte. Ce résultat permettra de modifier le protocole des éclusées en réduisant leur durée à 10 minutes, au lieu des 20 minutes actuelles. Lors des comptages visuels, le franchissement est plus lent. Ce résultat confirme qu'une éclusée à comptage visuel doit être plus longue qu'une éclusée à abaissement total de la porte.

L'utilisation des index de réflexion pour étudier la taille des poissons, bien que fréquemment cités dans la littérature (MACLENNAN et SIMMONDS, 1992), n'est pas retenue. Ce paramètre varie beaucoup selon le positionnement du poisson, et en détection horizontale cette variabilité augmente fortement. Il est donc peu recommandé d'utiliser les mesures d'index de réflexion (GAUTHIER *et al.*, 1997), en particulier lorsque l'on observe des poissons en mouvement. Les nombreux problèmes soulevés dans la littérature (MACLENNAN et SIMMONDS, 1992 ; SOULE *et al.*, 1995. ; ONA *et al.*, 1996) sur la signification des index de réflexion, en particulier aux faibles distances, n'ont pas été soulevés ici, car on utilise uniquement le comptage des cibles et le sens de déplacement. La distinction de groupe de poissons de taille très différente est souvent possible (BRANDT, 1996) mais n'a pas permis dans notre cas de différencier les aloses de l'autre espèce, le mulot, qui franchit également l'écluse en très grand nombre. Ses caractéristiques morphométriques sont trop peu différentes de celles de l'aloise. L'étude d'autres paramètres tels que la vitesse de franchissement et le positionnement n'ont pas permis jusqu'à présent de faire de distinction. Les prochains suivis, plus étalés dans le temps, de mars à juillet, permettraient d'obtenir des données lorsque les aloses ne sont pas présentes, afin d'essayer de dégager les caractéristiques comportementales du franchissement par les mulots.

CONCLUSION

L'année 1997 a permis d'avoir un système de détection acoustique des poissons franchissant l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues efficace pendant 3 mois (du 15 avril au 30 juin 1997). Le pic du nombre de poissons qui franchissent l'obstacle a pu être observé, et un certain nombre de caractéristiques comportementales de ces poissons ont été mises en avant. Lors des éclusées à poissons, 90 % des poissons sortent de l'écluse, en abaissement total, au bout de 10 minutes, alors qu'en abaissement partiel le franchissement est plus long. Dans la pratique, le temps de l'attrait amont pourrait donc être réduit, ce qui simplifiera la mise en place des éclusées. Aucune différence significative n'a été constatée entre le débit d'attrait à $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et l'absence de débit. Le dispositif expérimental utilisé a montré ses avantages mais aussi ses limites : bonne description de la dynamique de franchissement, mise en évidence du temps de sortie des poissons, automatisation de l'acquisition des données. Les limites sont une vue partielle du milieu qui implique que l'on ne dénombre qu'une partie des poissons franchissant l'écluse, mais surtout la non différenciation des deux principales espèces qui franchissent l'écluse. La possibilité de pouvoir accumuler un grand nombre d'observations devrait permettre de dégager les paramètres comportementaux qui différencieront les deux espèces. Les indices d'abondance de l'espèce cible qui en découleront pourront alors mesurer l'évolution du nombre de poissons migrateurs franchissant l'écluse au cours des prochaines années.

REMERCIEMENT

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme de réhabilitation des poissons migrateurs dans le Rhône et ses principaux affluents, coordonné par MRM. Nous tenons à remercier J.Y. MENELLA, toute l'équipe des éclusiers de Beaucaire-Vallabrègues, ainsi que M. COLON pour son aide précieuse sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- BRANDT S.B., 1996. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In MURPHY B.R., WILLIS D.W. (eds), Fisheries techniques, 385-432, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland (USA).
- COLON B., GUILLARD J., 1997. Programme d'automatisation de l'acquisition des données acoustiques lors des éclusées à poissons. Rapport I.L., 124, 11 p.
- DUNCAN A., KUBECKA J., 1996. Patchiness of longitudinal fish distributions in a river as revealed by a continuous hydroacoustic survey. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 161-166.
- FOOTE K.H., KNUDSEN H.P., VESTNES G., MACLENNAN D.N., SIMMONDS E.J., 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation : a practical guide. ICES Coop. Res. Rep., 144 p.
- GAUTHIER S., BOISCLAIR D., LEGENDRE P., 1997. Evaluation of a variable angle scanning method to estimate relative abundance and distribution of fish using a single-beam echosounder in shallow lakes. *J. Fish Biol.*, 50, 208-221.
- GUILLARD J., COLON B., 1997. Etude de la migration des aloses - Utilisation des techniques acoustiques - campagne 1997. Rapp. I.L., 123, 51 p.
- GUILLARD J., MARCHAL E., 1998. L'hydroacoustique, méthode d'étude de la distribution spatiale et de l'abondance des peuplements pisciaires lacustres. In GERDEAUX D. (ed.), La gestion piscicole des grands plans d'eau, INRA, Paris, sous presse.
- GUILLARD J., THERRY F., COLON M., 1996. Etude de la migration des aloses. Utilisation des techniques acoustiques. Campagne 1996. Rapport I.L., 108, 64 p.
- JOUFFRE C., 1997. Etude de la faisabilité d'une technique de comptage par échos de poissons transitant par l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues. Association Migrateur-Rhône-Méditerranée, 33 p.
- KUBECKA J., 1993. Simple model on the relationship between fish acoustical target strength and aspect for high-frequency sonar in shallow waters. *J. Appl. Ichthyol.*, 10, 75-81.
- LE CORRE M., BAGLINIERE J.L., SABATIER R., MENELLA J.Y., PONT D., 1997. Données récentes sur les caractéristiques morphologiques et biologiques de la population d'Alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 346, 527-545.
- LÉVESQUE F., HARTE M.K., 1994. Application de l'hydroacoustique en milieu fluvial : exemple de l'étude de la montaison du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) par sondage à double faisceau dans la rivière Moisie, Québec. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 332, 33-41.
- MACLENNAN D.N., SIMMONDS E.J., 1992. Fisheries acoustics. Fish and fisheries serie, Chapman and Hall, Londres, 325 p.
- MARCHAL E., 1985. La détection acoustique dans l'étude des peuplements pisciaires. In GERDEAUX D., BILLARD R. (eds), Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles, 107-124, INRA, Paris.

- MENELLA J.Y., MAZENS Y., 1997. Le Rhône et ses affluents retrouvent leurs grands migrateurs. Première étape : l'Alose dans le bassin du Rhône jusque dans l'Ardèche. Rapport de synthèse 1993-1997, MRM, 46 p.
- ONA E., ZHAO X., SVELLINGEN I., FOOTE K.G., 1996. Some pitfalls of short-range standard calibration. ICES/CM 1996/B : 36, 14 p.
- SIMRAD, 1996 a. Instruction manual, portable scientific echo sounder, P2473E, 36 p.
- SIMRAD, 1996 b. EP500 : Instruction manual, echo processing system, P259E, 73 p.
- SOULE M.A., BARANGE M., HAMPTON I., 1995. Evidence of bias in estimates of target strength obtained with a split-beam echo-sounder. *ICES J. Mar. Sci.*, 52, 139-144.
- STABLES T.B., THOMAS G.L., 1992. Acoustic measurement of trout distributions in Spada Lake, Washington, using traditional transducers. *J. Fish Biol.*, 40, 191-203.
- STEIG T.W., JOHNSTON S.V., 1996. Monitoring fish movement patterns in a reservoir using horizontally scanning split-beam techniques. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 435-441.
- THORNE R.E., 1998. Experiences with shallow water acoustics. *Fish. Res.*, sous presse.