Etudes ichtyologiques préalables à la conception d'un ascenseur à poissons à Golfech (Garonne, France)

Alain Belaud et René Labat

Laboratoire d'Ingénierie agronomique – Ichtyologie appliquée

Ecole Nationale supérieure agronomique de Toulouse, 145 avenue de Muret, F-31076 Toulouse-Cédex

Travail réalisé avec l'aide de Electricité de France, Région Equipement Alpes-Marseille et Direction des Etudes et Recherches, en collaboration avec le Conseil Supérieur de la Pêche, délégation Midi-Pyrénées.

Résumé. – Le blocage des poissons migrateurs, sur la Garonne, au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Golfech, ayant été mis en évidence, cet article résume les études ichtyologiques réalisées de 1980 à 1986 dans le triple but : 1) de capturer et transférer en amont un maximum de géniteurs pour tenter de recoloniser sans plus tarder les frayères désaffectées depuis 1972 ; 2) d'obtenir les indications manquantes sur l'abondance et le comportement migratoire des poissons en aval de Golfech, nécessaires à la conception d'un ouvrage de franchissement mis en service en 1987 ; 3) de constater les éventuels problèmes de comportement des poissons dans un système de piégeage expérimental.

Les poissons ont été capturés par les techniques de pêche artisanale traditionnelles en Garonne. Le nombre des transferts annuels de 1981 à 1986 a été de 0 à 113 lamproies marines (*Petromyzon marinus*), 15 à 64 salmonidés migrateurs (*Salmo salar* et *Salmo trutta fario*), 2777 à 8400 grandes aloses (*Alosa alosa* L.) et plusieurs milliers d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.). Le fonctionnement des anciennes frayères à aloses sur le tronçon amont a été démontré par le contrôle de juvéniles.

Les effectifs annuels pour l'aloise sont évalués (en 1983) à une centaine de milliers d'individus pour le tronçon Agen-Golfech. L'intensité migratoire, suivie jour après jour, est principalement déterminée par la température de l'eau et par les facteurs hydrauliques en aval de l'usine électrique. L'affluence des aloses au site e Golfech est essentiellement diurne et très variable ; en une seule journée on peut observer de 4,2 à 17% de l'effectif total de la saison.

Les trajets des poissons migrateurs et notamment des aloses ont été reconstitués à l'aval immédiat de l'usine de Golfech, par des opérations de marquages et diverses pêches de sondage pratiquées en différents points.

Ces résultats ont servi à dimensionner et à choisir le point d'implantation d'un ouvrage de transfert automatique, mis en service en 1987 (Travade *et al.* 1991).

En 1985 et 1986, les essais de la partie piège du système de franchissement ont démontré la nécessité d'un jet d'attraction débouchant à l'aval et de l'instauration de fortes vitesses ($> 1 \text{ m.s}^{-1}$) dans l'entrée du système, jusqu'au point de non retour de la nasse. Le guidage précis des poissons est facilité par la focalisation du flux d'eau sur le milieu de l'entrée.

Mots clés. – Garonne, Golfech, Poissons migrateurs anadromes, alose, *Alosa alosa* L.

Abstract. – After the obstacle at Golfech hydroelectric plant on the river Garonne was pointed out as an obvious problem to the migrating fish, the ichthyological studies carried out between 1980 and 1986 are summarized in this paper.

These studies have been made with three goals in mind: 1) to capture and transfer upstream the maximum number of mature migrating fish in an attempt to recolonise spawning sites disrupted since 1972; 2) to obtain the missing data on the abundance and behaviour of migrating fish downstream from Golfech, indispensable for the creation of fish facilities introduced in 1987; 3) to establish the possible problems of fish behaviour in an experimental trapping system.

The fishes were captured by the artisanal and traditional methods of fishing applied in the Garonne. The number of fish annually transferred from 1981 to 1986 was 0-113 sea-lampreys (*Petromyzon marinus*), 15-64 migrating salmonids (*Salmo salar* and *Salmo trutta fario*), 2777-8400 allis shad (*Alosa alosa* L.) and several thousand eels (*Anguilla anguilla* L.). The present use of ancient spawning sites for alewives in the upstream part of the Garonne was evident by the juvenile capture.

The annual population counts for shad (*Alosa alosa* L.) are evaluated (in 1983) at being around 100 thousand individuals for the Agen-Golfech section. The migratory intensity, followed day by day, is strongly influenced by the water temperature and by hydraulic factors downstream of the hydroelectric plant. The influx of shad at the Golfech site is exclusively diurnal and very variable, as in a single day one can observe between 4.2 and 17% of the total count for the season.

The migratory fish routes, especially the shad, have been retraced immediately downstream the plant, by way of fish tagging and a number of different methods of fish sampling at different sites.

These results were useful to take the measurements and to select the implantation site of an automatic fish-lift transfer, into service in 1987 (Travade *et al.* 1991).

The test of an automatic fish-lift realized between 1985 and 1986 gave a clear indication of the necessity of an attraction jet came out in the downstream part, and of the establishment of a sufficient velocity ($> 1 \text{ m.s}^{-1}$) in the system entrance, up to a point of no return kept by an entry which make the trap. The accurate fish guidance is made easier by the focusing of the water flow on the middle of the entry.

Key words. – Garonne river (France), Golfech, Migrating fish, Shad, *Alosa alosa* L., fish lift.

INTRODUCTION

Plusieurs facteurs favorables ont fait du fleuve Garonne (fig. 1) un axe privilégié de la migration des poissons. En aval, un estuaire de 625 km² à marée haute, long d'environ 120 km, largement ouvert sur l'Atlantique, permet l'établissement d'un gradient de salinité entre le fleuve et la mer et fa-

vorise la transition des poissons amphihalins. Le régime de la Garonne entretient de forts débits au printemps (jusqu'au mois de juin) et en automne et les fortes eaux coïncident avec les périodes de migration. Enfin les conditions de milieu sont restées, en maints endroits du fleuve, favorables à la fraie des espèces migratrices, malgré les remaniements du lit dûs aux extractions de graviers

Fig. 1. - Localisation du site de Golfech et disposition de l'aménagement hydroélectrique.

(Beaudelin, 1987) et aux actions d'endiguement.

Plusieurs espèces migratrices fréquentaient encore en 1980 la Garonne (C.T.G.R.E.F., 1979; Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981) (table I). Par ordre d'abondance décroissante, les anguilles (*Anguilla anguilla*) et les aloses (*Alosa alosa*) devançant les salmonidés : *Salmo salar* (Roguet, 1983; 1986) et *Salmo trutta fario*. L'esturgeon *Acipenser sturio* est encore pêché près de l'estuaire mais au rythme de quelques unités par an seulement (Castelnaud, 1988) : il bénéficie de mesures de protection (Elie *et al.*, 1988). Enfin un cyclostome : la lamproie marine *Petromyzon marinus*, est capturé dans la partie basse de la Garonne, généralement en aval d'Agen. Les aloses sont encore exploitées dans la basse vallée de la Garonne et, jusqu'en 1987, plus près de Golfech, dans une pêcherie professionnelle située à Agen (fig. 1).

La première difficulté « physique » rencontrée par les poissons migrateurs anadromes est un seuil construit jadis pour faciliter la navigation près d'Agen (seuil de Beaugard, fig. 1). Ceci n'avait pas compromis les migrations, d'autant plus qu'en 1983 ce seuil a fait l'objet d'un aménagement rustique supplémentaire. La limite amont de la zone accessible aux poissons migrateurs se situait, depuis 1912, à Toulouse (exploitation hydro-électrique du seuil de la chaussée du Bazacle, équipée en passe à poissons en 1989).

L'édification du complexe hydro-électrique de Golfech (fig. 1), mis en

service en 1972, a créé un nouvel obstacle de 17 mètres (fig. 1). Le barrage s'est rapidement révélé infranchissable en dehors des périodes de crues, amputant l'aire de migration de plusieurs centaines de kilomètres sur la Garonne et ses principaux affluents (Tarn, Aveyron).

On pouvait craindre une régression de la population d'aloses, de manière analogue à la disparition des saumons observée 50 années plus tôt à la suite du rehaussement de la digue du Bazacle à Toulouse (fig. 1) ou encore à celle des aloses dans d'autres grands fleuves en Europe comme le Rhône (Rameye *et al.* 1976) ou le Douro (Eiras, 1977) ou aux Etats-Unis (Foerster et Reagan, 1977).

En 1980, après huit années d'interruption de la migration, nécessaires (compte-tenu de la durée des cycles biologiques) pour constater le déclin des populations d'aloses, il s'est avéré urgent de capturer et de transférer par camion des géniteurs en amont de l'obstacle. Tout en contribuant à restaurer cette population migratrice, ces actions annuelles de capture ont fourni des indications précieuses pour la conception d'un aménagement de libre-circulation des poissons.

La Garonne est un exemple des actions menées sur divers axes fluviaux par les pouvoirs publics français, depuis 1970, pour restaurer les populations de poissons migrateurs donnant des signes de déclin. C'est ainsi qu'ont été réalisées des études techniques « amont » sur les dispositifs de franchissement des barrages par les poissons (I.M.F.T., 1982; Tra-

vade, 1982; Larinier, 1983; Travade et Larinier, 1985; Roguet et Larinier, 1987; Belaud *et al.*, 1987).

Dans cet article, il sera question des études ichthyologiques préalables à la décision d'aménagement, d'une part, et de celles qui ont guidé la conception et la mise au point d'un système d'attraction automatique, d'autre part. La conception de l'ouvrage est traitée par Travade *et al.* (1991).

LE SITE DE GOLFECH

Le site est présenté dans la carte de la figure 1. L'aménagement hydraulique comprend essentiellement :

- un barrage mobile sur la Garonne, haut de 10 mètres, situé à Malause, juste en aval de la confluence du Tarn ;

- une prise d'eau pouvant acheminer 650 m³/s, par un canal de 10 630 mètres de long, qui transite en rive droite vers l'usine hydroélectrique de Golfech ;

- l'usine, de débit équipé atteignant 540 m³/s, possédant 3 turbines « bulbe » développant une puissance de 69 mégawatts. La chute brute est, en conditions d'étiage, de 17 mètres ;

- un canal de restitution, de 1950 mètre de long, rejoignant la Garonne en amont immédiat de La Magistère et où est pompée l'eau de refroidissement d'une centrale nucléaire de 2 × 1300 mégawatts, dont la première tranche fonctionne depuis 1990.

Le lit naturel de la Garonne reçoit un débit réservé de 10 à 20 m³/s ainsi que le débit de crue lors de l'ouverture des vannes du barrage de Malause. Le module du fleuve à Golfech étant de 460 m³/s, les excédents de débit non turbiné ne se déversent au barrage que quelques jours par an.

A la construction du complexe, le barrage de Malause a été équipé de deux passes à poissons de type « écluse Borland » qui se sont révélées inefficaces, en particulier du fait de l'inaccessibilité des orifices d'entrée par suite de l'affouillement rapide du lit en aval. Mais, c'est à l'usine de Golfech et non au barrage de Malause que se posent régulièrement les problèmes de blocage des poissons migrateurs, attirés par le débit le plus fort à la confluence du canal de restitution.

L'aval immédiat de l'usine est représenté dans la figure 2. La restitution de l'eau se fait à la cote d'étiage de 47,50 NGF, entre deux bajoyers verticaux distants de 38 mètres. Le canal, s'élargit ensuite et présente une section trapézoïdale.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Technique de capture des poissons en aval de l'usine

La technique de pêche, retenue après divers essais, est la pêche « au coule », traditionnelle en Garonne. Le « coule » est une épuisette de diamè-

Fig. 2. — Représentation de la partie aval de l'usine hydroélectrique de Golfech et indication des trajets suivis par les poissons migrateurs, principalement l'Alose.

1 : sorties de l'eau turbinée ; 2 : plate-forme horizontale en béton recouvrant la sortie des turbines ; 3 : partie de canal à section rectangulaire (sur une longueur de 25 mètres), 4 : partie de canal « élargie », à section trapézoïdale ; 5 : canal de décharge et d'évacuation des débris arrêtés aux grilles de l'usine ; 6 : bajoyer vertical indiquant le point principal de pratique de la pêche « au coule » ; 7 : position de l'entrée du piège-ascenseur actuel. (Les flèches montrent le trajet habituel des poissons migrateurs).

tre d'ouverture 1,20 mètre, fixée à un manche de 4 mètres. L'appareil porte un filet à mailles de 40 mm. Cet engin est actionné lentement dans le sens du courant et est rapidement relevé dès la perception du contact du poisson. C'est le même pêcheur professionnel qui a chaque année assuré les captures, de manière à définir une unité d'effort de pêche (1 heure de maniement de l'engin).

Sitôt leur capture, les poissons ont été placés dans des réservoirs de 100 litres, alimentés en permanence par

un flux d'eau prélevé par gravité dans le bief amont de l'usine. Ils ont été identifiés, sexés, mesurés, pesés, et éventuellement marqués, puis ont reçu un traitement prophylactique (vert malachite 2 mg/l dans l'eau) pendant leur transport par camion vers un point de déversement situé environ 300 mètres en amont de l'usine.

Les marques adoptées après divers essais sont des bagues métalliques numérotées serties sur la nageoire dorsale.

L'âge des géniteurs a été déterminé par scalimétrie (Douchement, 1981; Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981).

A partir de 1985, la capture des poissons «au coule» a pu être complétée par des piégeages automatiques dans le système d'attrait expérimental, première phase de la création d'un ouvrage de franchissement automatique, terminé en 1987.

2. Contrôles de la qualité de l'eau pendant les périodes de migration des poissons

Chaque jour d'expérimentation, la température de l'eau, le taux d'oxygène, les valeurs de pH et conductivité ont été mesurés à l'aide d'appareils portables. La transparence a été évaluée au disque de Secchi. Les données climatologiques proviennent de la station d'Agen.

3. Mesures hydrauliques

La vitesse de l'eau en divers points a été mesurée par utilisation d'un micromoulinet ou d'un courantomètre à capteur électromagnétique (Marsh-McBirney modèle 201). Les cotes ont été suivies sur des échelles limnigraphiques.

4. Méthodes d'évaluation de la fréquentation des frayères à aloses

Le suivi d'efficacité du transfert des géniteurs d'aloses en amont de

l'usine a été basé sur deux méthodes : recherche directe des juvéniles issus de la reproduction et localisation des manifestations de frai. La ponte des aloses peut être objectivée par la reprise de géniteurs femelles (vivants ou, plus fréquemment, morts) présentant des ovaires plus ou moins vides, par la récolte d'œufs dérivants, ou encore par l'écoute directe des bruits caractéristiques du comportement de ponte. Les aloses se regroupent sur des frayères bien délimitées. La ponte a lieu de nuit, généralement entre 23 heures et 3 heures GMT, et se traduit par des battements des nageoires en surface de l'eau. Ces manifestations bruyantes, caractéristiques, peuvent être comptées par un observateur posté ou par traitement différé d'enregistrements sonores. A partir du nombre de pontes, qui réunissent 1 femelle et 1 à 2 mâles et, en retenant les hypothèses de Cassou-Leins et Cassou-Leins (1981) qui font état de 5 pontes par femelle dans la saison, on peut estimer grossièrement le nombre de femelles qui fréquentent une frayère.

En amont, les anciennes frayères connues avant la mise en service de Golfech ont été surveillées. Les juvéniles ont été recherchés à l'aide de filets monofilaments de maille 10 mm dérivant avec le courant ou immobilisés dans les zones de frayères potentielles. En période de dévalaison, des juvéniles peuvent aussi être observés et capturés dans les chambres anti-vortex des groupes de l'usine de Golfech.

Tableau I. – Liste des espèces migratrices amphibiotiques en Garonne.

ESPECES	Limite amont avant 1972	Blocage à Golfech	Périodes de migration
CYCLOSTOME			
Lamproie marine <i>Petromyzon marinus</i>	Moissac	oui	Janvier-Juin
CHONDROSTEEN			
Esturgeon <i>Acipenser sturio</i>	Agen	non	-
TELEOSTEENS			
<u>Famille des Clupéidés</u>			
Grande alose <i>Alosa alosa</i>	Toulouse	oui	Mars-Août
Alose feinte <i>Alosa ficta</i>	La Réole	non	-
<u>Famille des Salmonidés</u>			
Saumon atlantique <i>Salmo salar</i>	Toulouse	oui	Printemps et Automne
Truite de mer <i>Salmo trutta fario</i>	Toulouse	oui	Avril-Sept.
<u>Famille des Anguillidés</u>			
Anguille <i>Anguilla anguilla</i>	St Gaudens	oui	Juin-Oct.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les caractéristiques anatomiques, biologiques et écologiques de la grande alose (*Alosa alosa*), qui étaient déjà connues au moment de cette étude, ont été récemment énumérées dans la revue de Quignard et Douchement (1991). Pour compléter ces connaissances les recherches ont porté sur l'abondance des migrations

à Golfech et sur le comportement des géniteurs à l'approche de l'obstacle.

1. Abondance et diversité des poissons migrateurs

La table II indique le nombre des poissons migrateurs capturés, chaque année, au cours des pêches « au coule » organisées de jour (entre 6 et 16 heures GMT), entre mai et juillet. Pour 1985 et 1986, les aloses transférées

avaient été capturées indifféremment « au coule » ou dans le système de piégeage expérimental en phase d'essais.

Les aloses sont abondantes à Golfech. Dès lors que l'efficacité maximale des techniques de pêche a été atteinte, les captures ont dépassé 6000 aloses, avec un record de 8400 prises en 1984. Ces valeurs ne peuvent être comparées à aucune référence préalable. Elles indiquent seulement que le blocage des poissons migrateurs à Golfech était un phénomène massif et qu'un dispositif de franchissement du barrage de l'usine devait être mis à l'étude.

Les chiffres des captures expérimentales d'aloses à Golfech, de 1981 à 1984, stables ou en progression, ne suivent pas exactement l'évolution

des captures des pêcheries professionnelles dans le système estuarien. Ces captures professionnelles sont en stagnation de 1980 à 1982, passent par un pic exceptionnel en 1983 et diminuent fortement de 1984 à 1987 (Elie *et al.*, 1988; Taverny et Elie, 1989) (table II). Cette régression des années 84-87 (par rapport à 80-83) a été confirmée à la pêcherie professionnelle d'Agen. Dans un contexte de stagnation ou de régression globale de la population d'aloses en Garonne, l'augmentation des captures à Golfech pourrait s'expliquer soit par la progression de l'efficacité des pêches expérimentales, soit par une amélioration des conditions de migration à l'aval proche de Golfech (notamment au seuil d'Agen-Beauregard (Fig. 1), qui permettrait à une

Tableau II. – Évolution des captures de poissons migrateurs à Golfech et des captures professionnelles d'aloses en estuaire. Données indiquant le nombre d'individus ou, pour les anguilles, le poids approximatif, en kilogrammes. Les captures professionnelles (en tonnes) ont été estimées par le CEMAGREF (Taverny et Elie, 1989).

ESPECES	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Lamproies	1	1	15	0	113	4	7
Saumons	0	0	0	0	4	7	16
Truites de mer	10	64	15	26	24	27	28
Aloses	248	2777	6765	7227	8400	6044	6102
Anguilles	-	40 kg	138 kg	30 kg	100 kg	150 kg	26417
Captures d'aloses dans le système fluvio-estuarien (Tonnes)	840	826	863	1096	615	620	583

plus grande proportion des aloses entrées en Garonne d'atteindre précocement Golfech et de se répartir vers l'amont.

Les aloses capturées en 1981 et 1982 mesuraient de 32 à 56 cm, avec une fréquence maximale pour 41 cm (soit un poids de 985 grammes), pour les mâles, et de 36 à 60 cm avec une à fréquence maximale pour 51 cm (soit un poids de 1843 grammes), pour les femelles. L'âge était compris entre 3 et 7 ans et la majorité des géniteurs était âgée de 4 ou 5 ans (Dautrey et Lartigue, 1983). Le sex-ratio établi pour l'ensemble des captures des années 1981 à 1983, est compris entre 0,53 et 0,60 mâle pour une femelle. Le poids moyen des aloses, établi sur les échantillons de 4 années, est de 1,650 kg.

Bien que les pêches aient été conçues pour capturer les aloses, les anguilles sont parfois en nombre supérieur (table II). Le dénombrement n'a pu être réalisé qu'en 1986, à l'occasion du tri des poissons entrés dans un piège provisoire. Il s'agit de 26 417 anguilles de 20 à 50 grammes, capturées essentiellement en juillet, à une date d'arrivée qui n'a pu être reliée à aucun événement hydraulique ou climatique particulier.

Les lamproies marines sont en nombre faible et variable selon les années (table II). Les plus fortes abondances (113 individus en 1984) correspondent aux journées de hautes eaux qui semblent indispensables pour attirer les lamproies jusqu'à Golfech. Arrivés à l'obstacle, ces ani-

maux s'ancrent aux murs de l'usine et peuvent être capturés « au coule » lorsqu'ils changent de position. Les dates de captures de lamproies se répartissent sur toute la durée des opérations de pêche. Le nombre de lamproies a été vraisemblablement sous-estimé du fait de leur comportement nocturne (Manteifel *et al.*, 1978).

Les truites de mer sont capturées en nombre relativement stable (10 à 64 individus par an) au cours des années d'étude préalables à la mise en service de l'ascenseur de Golfech. L'année 1984 a été marquée par la première réapparition du saumon, faisant suite aux actions de restauration entreprises depuis 1982 (Roguet, 1983).

Bien que rarement observés lors des pêches « au coule », les mullets *Mugil cephalus* sont apparus de plus en plus nombreux ces dernières années et empruntent facilement l'ascenseur de Golfech.

En dehors des grands migrateurs amphihalins, les pêches ont permis d'observer une vingtaine d'espèces de poissons holobiotiques, dont les plus fréquentes : gardons (*Rutilus rutilus*), brèmes (*Abramis brama*), brèmes bordelières (*Blicca bjoerkna*), barbeaux (*Barbus fluviatilis*), poissons-chat (*Ictalurus melas*), ablettes (*Alburnus alburnus*), sandres (*Sander lucioperca*), carpes (*Cyprinus carpio*).

Un dispositif de franchissement efficace de l'obstacle de Golfech s'imposait donc pour faire transiter les aloses, les anguilles et les salmonidés, ainsi que diverses espèces ho-

liobiotiques, pourvu que les frayères d'aloses à l'amont soient restées fonctionnelles.

2. Transfert en amont et devenir des géniteurs transférés

La plupart des poissons capturés ont été transférés par camion en amont de l'obstacle. La manipulation des aloses était réputée difficile (Raveret-Wattel, 1907); C.T.G.R.E.F., 1979; Le Clerc, 1941). Elle a été possible moyennant la réduction du temps d'émersion et le renouvellement d'eau dans les bacs. Ces précautions ont limité la mortalité (table III) mais celle-

ci s'élève en juillet, alors que la température de l'eau dépasse 23 °C. Le futur système de transfert automatique devait donc éviter toute phase d'émersion, notamment par températures élevées.

Des résultats positifs de fraie d'aloses ont été rapportés sur des tronçons de la rivière Tarn, régulièrement depuis 1981. Sur la Garonne, un site de fraie a fonctionné en 1981, puis d'autres les années suivantes, dont le plus en amont à 20 kilomètres de Toulouse. Actuellement, les poissons migrateurs ont accès à plus de 200 kilomètres de rivières en amont de Golfech et de nombreux alosons ont

Tableau III. – Résultats des pêches d'aloses « au coul ». Caractéristiques de chaque saison de migration et en particulier du pic journalier d'affluence.

CARACTERISTIQUES	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
<u>Pour la saison :</u>							
Durée de la pêche (jours)	-	50	50	59	58	43	32
" (heures)	-	275	255	292	210	82	28
Captures totales	248	2777	6765	7227	8400	3169	1361
Captures par heure	-	10, 09	26, 53	24, 75	40, 00	51, 11	48, 60
Mortalité immédiate (%)	-	0.80	1.22	0.16	0.30	-	-
Température moyenne de passage (°C)	-	18.77	20.17	20.46	18.46	19.66	18.35
<u>Pour le jour de la pointe migratoire :</u>							
Date	-	16/08	22/08	08/06	18/06	01/06	29/05
Température	-	20.0	22.4	20.8	21.4	18.0	17.2
Captures	-	303	508	399	501	315	233
% des prises de la saison	-	11.0	7.7	5.5	5.9	4.2	17.0
Moyenne horaire des captures	-	46.6	68.4	75.6	83.5	135.0	77.6

pu être contrôlés jusqu'en amont de Toulouse, la chaussée du Bazacle (fig. 1) ayant été aménagée en 1989.

L'évaluation de la présence d'aloses issus de la reproduction en amont de Golfech reste qualitative, dans le seul but de savoir si des frayères ont fonctionné. Les essais de captures de juvéniles, aux filets dérivants, ont donné 12 individus en 1981 et 10 individus en 1982, dans la Garonne à environ mi-chemin entre Golfech et Toulouse. Dès 1982, il a été remarqué que le meilleur site pour constater l'existence de juvéniles issus de la reproduction amont était à l'usine de Golfech elle-même : 200 aloses ont été capturés à l'épuisette dans les 3 chambres anti-vortex.

Les frayères amont étant encore en état de fonctionner, l'aménagement de franchissement de l'obstacle de Golfech s'imposait pour assurer la remontée des divers poissons mis en évidence en aval. La question suivante portait sur l'abondance, notamment des aloses et donc sur les dimensions de l'aménagement à réaliser.

3. Estimation de l'abondance des aloses près de Golfech

On pouvait tenter une estimation de l'abondance des aloses en considérant le tronçon Agen-Golfech comme virtuellement isolé. Ce tronçon est réellement fermé à l'amont (où on contrôle les passages). A l'aval, la frayère d'Agen étant séparée de plusieurs dizaines de kilomètres des autres points de rassemblement, on

pouvait la considérer comme une limite fictive. Ce sont les techniques de marquage-recapture qui ont été mises en œuvre dans un premier temps.

Les premières expériences (en 1980, 1981 et 1982), utilisant des marques plastiques transperçant la musculature dorsale, ont occasionné la mortalité immédiate de plus de 10% des aloses. En 1983, les problèmes de mortalité directement liée au marquage ont été résolus en utilisant des marques métalliques numérotées serties sur la nageoire dorsale. Les nombres de recaptures sont faibles :

— 2 recaptures sur 226 aloses marquées en aval de l'usine en 1982,

— 1 recapture sur 64 aloses marquées en aval de l'usine en 1983.

— 1 recapture sur 20 aloses marquées et relâchées en amont, la même année,

— 2 recaptures à Golfech sur 400 aloses marquées à Agen (relâchées en amont du seuil de Beauregard), en 1983,

— 2 recaptures sur 327 aloses marquées à Golfech en 1984,

— 45 recaptures sur 1 206 marquages à l'usine de Golfech en 1986.

Une autre opération de marquage, au seuil de Beauregard (fig. 1), réalisée par le Conseil Supérieur de la Pêche en 1982, avait conduit à 11 recaptures d'aloses seulement pour 1 217 marquages (Maudet, 1983).

Plus de la moitié des aloses ont été retrouvées en aval du point de marquage et avaient donc présenté un comportement aberrant. Ces techniques de marquage, employées avec

les moyens de capture disponibles à Golfech, sont donc inappropriées au cas de l'aloise.

Faute d'une méthode expérimentale fiable, le nombre de poissons a été grossièrement évalué sur la base des renseignements recueillis. Pour le tronçon Agen – Golfech, l'estimation tient compte d'abord des poissons réellement capturés chaque année (pêcherie professionnelle d'Agen (30 000 aloses) et transferts expérimentaux de Golfech (6 000 aloses par an). A ces 36 000 géniteurs, il fallait ajouter les poissons restés se reproduire sur les frayères d'Agen et de La Magistère, qui ont été évalués à 30 000 (pour chaque frayère), à partir des pontes dénombrées la nuit (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981). Au total, on atteint donc environ 100 000 aloses pour le segment Agen-Golfech.

Partant de cet ordre de grandeur, diverses considérations ont été prises en compte pour dimensionner l'ouvrage de transfert automatique. En premier lieu il n'était pas question de transférer la totalité des aloses du secteur puisque deux frayères y sont établies et accueillent dans de bonnes conditions 60 000 géniteurs d'aloise. L'appareil ne concernait donc au maximum que 30 000 à 40 000 aloses en 1985, soit 40% de l'effectif. En second lieu il fallait « anticiper » l'effet escompté de l'appareil de transfert lui-même sur le développement des populations. A titre d'exemple, les travaux d'aménagement du barrage de Holyoke, sur la rivière Connecticut, ont permis de faire passer l'effectif d'aloises américaines (*Alosa sapidiss-*

sima) transférées en amont de 4 900 en 1955 à 380 000 en 1981 (Moffitt *et al.*, 1982).

Une telle progression semble difficile à transposer intégralement en Garonne, en raison des capacités trophiques des zones favorables au développement des juvéniles. C'est donc un facteur d'amplification de l'ordre de 10 qui a été retenu pour fixer les idées. L'appareil de transfert devait donc être conçu pour environ 400 000 aloses par an. Il sera impératif de vérifier le développement réel de la population d'aloises dans les décennies suivant la mise en service de l'ascenseur.

D'autres considérations sur la fécondité et les taux de survie des embryons et juvéniles d'aloises ont été invoquées pour éprouver la vraisemblance de ces prévisions d'effectifs. La fécondité absolue, évaluée sur 30 femelles de 1,5 à 2,0 kilogrammes prélevées sur toute la durée de la migration en 1982, atteint 130 000 à 350 000 ovocytes par femelle, soit une moyenne de 211 000 ovocytes par femelle ou encore 156 600 ovocytes par kilogramme. A la suite d'un transfert de 4 570 femelles en 1982, c'est environ 1 milliard d'ovocytes qui étaient susceptibles d'être fécondés dans les zones amont. Avec l'hypothèse d'un taux de fécondation de 75 % (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981; Leim, 1924) puis un taux d'éclosion de 13,8% (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981), ce sont 100 millions de juvéniles supplémentaires qui pouvaient être produits en amont de Golfech. Un taux de retour présumé

de 1 pour mille aurait ainsi augmenté la population de 100 000 géniteurs supplémentaires dans les années 86 à 88. Ceci a été difficile à vérifier avec précision à cette période d'essais et de mise au point de l'ascenseur, mais il est incontestable que les chiffres d'affluence des aloses dans ce secteur sont en forte augmentation (saturation de la frayère de La Magistère en 1990 et 1991) et que ceci peut être imputé à l'effet à moyen terme de l'aménagement d'un passage automatique des poissons.

4. Variabilité quotidienne de l'abondance des aloses

La figure 3 présente l'évolution des captures, jour après jour, pour 1984. Les résultats homologues de 1981, 1982 et 1983 ont été publiés précédemment (Dautrey et Lartigue, 1983; Belaud *et al.*, 1985). Chaque année on observe une forte irrégularité de l'affluence quotidienne, qui s'est vérifiée depuis l'installation de l'ascenseur.

Les présents résultats (fig. 3) et ceux des années précédentes peuvent être comparés aux observations des passages quotidiens de gaspareaux (*Alosa pseudoharengus*) dans une échelle à poissons de la rivière Annaquatucket (Saila *et al.* 1972). A l'évidence les pointages effectués à Golfech sont encore plus irréguliers que ceux de Saila *et al.* Deux hypothèses peuvent être retenues : soit l'aloise européenne présente des caractéristiques migratoires différentes de celles du gaspareau soit le site artificiel de Golfech détermine un

comportement particulier des poissons, marqué par des séjours brefs et non réitérés devant le site. Cette deuxième hypothèse sera reprise et discutée en prenant en compte des observations sur le comportement des aloses en aval de l'usine de Golfech (cf. 6). Ce phénomène inattendu avait des implications pratiques pour le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement.

La table III indique que le pic d'affluence journalière de chaque année de migration correspond à 4,2 à 17% de l'effectif total de la saison (moyenne 8,55%). Compte-tenu des conditions de pêche, où les prises par effort de pêche plafonnent à une centaine de captures par heure (fig. 4), ces chiffres d'affluence maximale sont sous estimés. Il a bien été constaté que, les jours de pointes migratoires, les aloses sont présentes par milliers aux sorties des turbines. Avec d'autres moyens de pêche, l'année 1987 (mise en service de l'ascenseur), le pic journalier de migration aurait dépassé 20% de l'effectif de toute la saison. On retiendra pour le futur que, pour 400 000 aloses par an, on pourrait observer une pointe journalière de plus de 30 000 aloses. Dans l'optique d'un éventuel étalement du passage de ce pic migratoire, il restait à juger combien de jours les aloses restent à l'usine et sont donc susceptibles d'être piégées.

5. Le comportement migratoire des aloses à Golfech

Les facteurs habituellement pris en considération pour comprendre les

GOLFECH 1984 aloses transférées

Fig. 3. — Les captures d'aloses par unité d'effort de pêche, en 1983 : évolution journalière. (L'unité d'effort de pêche est définie comme 1 heure de manègement du « coule » (voir texte), par un pêcheur professionnel).

variations d'intensité migratoire des poissons sont la température, le débit de la rivière et la lumière (Northcote, 1984; Jonsson, 1991). Les données climatiques et hydrologiques relevées systématiquement à Golfech ont aussi été analysées en relation avec l'abondance des migrateurs.

5.1. facteur thermique

Les principaux résultats concernant le rôle de la température sur la mi-

gration des aloses à Golfech sont reportés dans la figure 3 et dans la table III.

L'étude des captures en relation avec le facteur thermique, en phase de début de migration (mois de mai), avait fait apparaître, pour les années 1981 à 1983 (Belaud *et al.*, 1985), l'existence d'un seuil thermique évalué à 16 °C et en-dessous duquel l'affluence était insignifiante.

Pour 1984 (fig. 3), des aloses sont capturées en début de saison à des

Fig. 4. — Premiers résultats des captures semi-automatiques dans le piège expérimental. Dans les conditions de 1985, le système n'est efficace que les jours de forte affluence des aloses.

températures inférieures à ce seuil, qui paraît donc avoir été surestimé d'environ 1,5 °C. Ceci pourrait être lié au fait que la température avait déjà atteint 15,9 °C en avril et qu'un premier afflux d'aloses avait été observé. Les résultats obtenus par la suite avec le suivi des passages au piège-ascenseur montrent que ce seuil n'est pas précis et qu'il se situe entre 14 et 16 °C selon les événements climatiques en cours de migration. A titre comparatif, pour l'alose du Rhône, le seuil d'arrivée des aloses à l'usine de

Beaucaire (proche du delta) était de 12 °C (Rameye *et al.*, 1976).

Une fois le seuil thermique dépassé et la migration enclenchée à Golfech, la température continue à régler l'affluence. La pêcherie professionnelle d'Agen réalisait le maximum de prises au-dessus de 14 °C (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981). Pour le cas de Golfech, la table III indique d'une part les températures correspondant au pic annuel d'affluence journalière et, d'autre part, la valeur de la température moyenne de pas-

sage, calculée pour l'ensemble des aloses capturées dans la saison.

La superposition de la courbe de température de l'eau et de l'abondance des aloses (captures par unité d'effort de pêche) montre clairement que le réchauffement de l'eau est favorable à la migration et inversement pour les phases de refroidissement (fig. 3). Ce résultat de 1984, donné à titre d'exemple, confirme les conclusions dégagées à partir des résultats des années précédentes (Belaud et Labat, 1984; Belaud *et al.*, 1985) et a été confirmé depuis à l'occasion de chaque saison de migration.

L'ensemble de ces résultats peut être comparé aux migrations des aloses américaines *Alosa sapidissima*. L'influence prépondérante du facteur thermique a été mise en évidence aussi bien dans l'océan Atlantique (Talbot et Syckes, 1958; Walburg et Nichols, 1967; Leggett et Whitney, 1972) et les fleuves de la côte Est des Etats-Unis (McDonald, 1884; Massmann et Pacheco, 1957; Leggett et Whitney, 1972) que dans l'océan Pacifique et les rivières de la côte Ouest (Talbot, 1953). Les aloses américaines entrent dans les rivières sous l'influence de divers facteurs (maturation gonadique, température, débit, alternance jour-nuit (Saila *et al.*, 1972) et la progression en rivière est corrélée aux phases d'accroissement thermique. Le pic d'abondance maximale pour *Alosa sapidissima* se situe entre 14 et 20 °C (moyenne 18,0 °C) selon les années à Bonneville (Columbia river) et entre 18,5 et 21,0 °C (moyenne 19,5 °C) selon les années

à Holyoke (Connecticut River) (Leggett et Whitney, 1972).

5.2. facteur hydraulique

Après le facteur thermique, ce sont les conditions hydrauliques qui agissent sur les mouvements migratoires d'*Alosa sapidissima* (leggett et Whitney, 1972). Selon les pêcheurs d'aloses de la Garonne (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981) ou du Rhône (Rameye *et al.*, 1976) la baisse des eaux après les crues printanières semble faciliter la progression de la migration en rivière de l'aloise européenne.

A l'usine de Golfech, la corrélation entre le débit moyen de l'usine et les captures d'aloses n'est significative au seuil $p < 0,05$ que si on ne considère que les quinze premiers jours de la saison de migration (Dautrey et Lartigue, 1983). Il est cependant difficile de différencier les rôles respectifs de la température et du débit turbiné moyen car la relation entre température et captures est aussi forte que celle entre le débit et les captures. La liaison des captures avec la température semble cependant s'observer plus longtemps dans la saison (Dautrey et Lartigue, 1983).

Si, à Golfech, le débit turbiné moyen semble peu déterminant, il n'en est pas de même des variations instantanées résultant des changements soudains du fonctionnement de l'usine hydroélectrique. Les journées marquées par une pointe de turbinage de 8 à 12 heures suivie d'une baisse brusque de débit l'après-midi, produi-

sent des captures plus nombreuses le matin que l'après-midi. A conditions thermiques identiques, les journées de forte migration dans le canal sont celles où le débit turbiné reste stable, voire en augmentation, tout le long de la journée.

5.3. Effets de la photopériode

Le rôle de la photopériode est généralement admis pour expliquer le déclenchement des migrations (Billard et Breton, 1978; Eriksson *et al.*, 1984), mais ce facteur est difficile à prendre en compte pour les observations de Golfech, où les aloses sont entrées depuis plusieurs mois en estuaire. Divers contextes climatiques observés depuis (par exemple des eaux froides de fonte de neige jusqu'en juillet, en 1991) montrent que les aloses attendent les conditions thermiques favorables pour progresser, indépendamment de la photopériode.

L'effet possible de la lumière se traduit plus clairement sur la rythmicité nycthémérale de l'affluence des aloses à l'usine de Golfech. Des pêches ont été organisées de nuit, à trois reprises, en 1981 : elles n'ont permis de capturer aucune alose à Golfech entre 1 heure après le coucher et 1 heure avant le lever du soleil. A titre de vérification, l'expérience a été refaite en 1986 pendant 2 nuits en utilisant un dispositif provisoire de piégeage, plus facile à mettre en œuvre de nuit que le « coule ». Après des journées de migration abondante, les résultats obtenus de nuit sont : 2

captures entre 19 h et 21 h 30 GMT ; 0 capture jusqu'à 3 h et 176 captures entre 3 h et 5 h 30. L'activité quasi-diurne des aloses a été confirmée, depuis, à l'observatoire de la passe de Bergerac sur la Dordogne (fig. 1) et plus récemment à celui de l'ascenseur de Golfech.

5.4. Autres facteurs

Hormis les charges de l'eau en débris et les opérations de dégrillage à l'usine, aucun facteur particulier n'a été considéré comme de nature à contrarier les mouvements des poissons. Les recherches ont porté sur les valeurs de pH, la conductivité électrique, la turbidité, ..., de l'eau. L'influence des conditions atmosphériques semble se limiter à une stimulation des remontées d'aloses par temps orageux mais ceci est difficile à dissocier de l'influence de la température. Enfin aucune correspondance avec les cycles lunaires, pourtant admise chez l'anguille (Gibson, 1978), n'a pu être objectivée pour l'alose.

6. Comportement des poissons à l'aval de l'usine

6.1. Dans le canal de restitution

Les migrations dans ce canal restent mal connues. Devant l'extrême irrégularité de l'abondance des poissons à Golfech, et sachant que le site de Golfech est aussi déserté la nuit par les aloses, l'hypothèse la plus vraisemblable est que ces poissons stationneraient plus durablement

en aval ou dans les zones profondes du canal de restitution et de la Garonne et que, partant de cette base, elles effectueraient (par conditions favorables) des raids de reconnaissance jusqu'à l'usine. En cas de non capture à l'usine, les géniteurs d'aloise se replieraient en aval dès lors que les conditions deviendraient défavorables (variations de débit, évacuation de corps flottants...) et en tout cas au crépuscule suivant.

Les pêches aux filets dérivants, effectuées à diverses heures du jour dans les parties moyenne et inférieure du canal, n'ont jamais permis d'intercepter les aloses en mouvement, même les jours où la migration était constatée par des prises abondantes à l'usine. Les trajets migratoires dans le canal seraient donc profonds et hors de portée des filets de surface. Cette hypothèse est appuyée par le fait que les aloses n'ont jamais été directement aperçues depuis les rives.

L'évidence de « raids migratoires » à partir d'une zone de stabulation à l'aval, proche de frayères, posait la question du nombre probable de tentatives de franchissement en cas d'échecs répétés. Comme il a souvent été constaté que le banc d'aloises qui n'avait pu être capturé et transféré un jour de pointe migratoire ne se représentait pas forcément le lendemain, il a été supposé que les aloses pouvaient renoncer très rapidement à leur migration. Confirmant cette hypothèse, les aloses sacrifiées pour examen des ovaires indiquent que la majorité de celles-ci n'a pas encore

pondu lorsqu'elles se présentent à Golfech et ceci même en fin de migration. En revanche, les aloses examinées à la frayère de La Magistère ont en majorité déjà pondu partiellement. Il semble donc s'opérer chaque jour un tri entre les aloses mûres qui se fixent au fur et à mesure sur les frayères et les aloses fraîchement arrivées qui réitèrent leurs tentatives de passage de l'obstacle jusqu'à ce que la maturation complète soit atteinte. Pour mieux évaluer le temps qui sépare l'arrivée des aloses et leur fixation sur les frayères, des recherches sont en cours pour décrire la phase ultime de la maturation et tenter d'en établir le déterminisme (Bengen *et al.*, 1991).

Les observations à l'usine de Golfech, complétées par les comptages des pontes sur les frayères, permettent de distinguer des arrivées migratoires successives, parfois même caractérisées par des tailles d'individus différentes.

Il est en donc impératif d'assurer un fonctionnement optimal du dispositif de franchissement les jours de remontées d'aloises, pour les transférer sans tarder. Les insuffisances éventuelles du transfert engorgeraient la frayère de La Magistère.

6.2. A l'aval immédiat de l'usine

Il a été plus aisé d'observer et de reconstituer les trajets des poissons à proximité de l'obstacle. Les poissons paraissent attirés prioritairement par le débit de sortie des trois turbines. Devant l'impossibilité de sta-

tionner dans l'axe de l'écoulement des turbines (vitesses de l'ordre de 4 m/s), des aloses peuvent trouver une zone plus calme en marge de cet écoulement, à l'abri de structures en béton. C'est d'ailleurs précisément en ces points, que la pêche « au coule » a été la plus efficace et pratiquée chaque année. A partir de cet abri précaire, des aloses sont parfois soulevées par l'instabilité des courants et on peut parfois les observer furtivement dans les tourbillons. Elles s'empressent alors de replonger pour se repositionner dans une zone abritée. Ces zones où les aloses peuvent se maintenir juste en aval de l'usine sont peu spacieuses, excepté par conditions de forts débits où les poissons peuvent aussi passer sur une dalle de béton qui recouvre les sorties des turbines à la cote 47,5 NGF (fig. 2). Dans ce dernier cas, il est possible d'intercepter les poissons emportés sur la dalle et qui ne peuvent replonger qu'après s'être dégagés de cette plate-forme.

Lorsque les poissons sont épuisés par ces conditions hydrauliques de la sortie de l'usine, ou lorsqu'ils quittent l'obstacle, ils se replient et il est possible d'observer des passages nombreux, depuis la surface, le long des murs latéraux de l'usine. Ce mouvement de repli est dévié lorsque les poissons atteignent la zone d'élargissement du canal. En effet, il existe là un courant de retour qui débouche à l'angle de l'élargissement (fig. 2). Les poissons qui décèlent ce courant latéral virent vers la zone d'eaux plus calmes de la partie élargie. Ces observations directes d'un comporte-

ment rhéophile, confirmées chaque année, ont été vérifiées en procédant à des opérations de pêche « au coule » en divers points du canal. Les trajets des aloses en aval de l'usine de Golfech sont schématisés dans la figure 2.

Ces résultats ont été déterminants pour conseiller l'implantation du point de piégeage automatique sur le trajet de repli.

7. Comportement des aloses dans les systèmes de piégeage expérimentaux

En 1985 et 1986, un système de piégeage expérimental a fonctionné sur l'emplacement du futur piège-ascenseur.

7.1. Expérimentation 1985

En 1985, il s'agissait d'un simple couloir d'attrait, traversé par un débit d'eau de l'ordre de 5 m³ par seconde, et dont la sortie profilée formait un jet dirigé vers l'aval. Les vitesses au droit de l'entrée étaient comprises entre 1,5 et 3,2 m/s, selon la différence de niveau entre le couloir d'attrait et le bief aval (assurée par un seuil immergé ajustable) réglée manuellement entre 0,1 et 0,6 m. Les poissons qui entraient spontanément dans ce couloir étaient relevés soit par une grille verticale qui était abaissée périodiquement pour piéger les poissons, soit par des sondages « au coule ». Le graphique de la figure 4 montre que la première journée d'essais, le 3 juin,

donna ainsi plus de 500 captures. Ceci correspondait à une forte vague migratoire (température favorable et arrivée d'un banc serré d'aloses, visible au niveau des sorties de turbines de l'usine). Dès les premiers piégeages expérimentaux, il s'avéra cependant qu'il fallait créer des vitesses élevées en entrée de bassin de stabulation, ce qui fût obtenu par augmentation du débit à 6,5 m³/s. En revanche les aloses pouvaient franchir sans difficulté apparente une dénivellation à l'entrée de 60 cm. Malgré cela, les jours suivants furent marqués par une diminution des captures, explicable dans un premier temps par l'abaissement des températures (fig. 4). Mais le retour aux conditions favorables (13 au 15 juin) ne permit pas de réitérer le succès de la première vague migratoire (fig. 4). Les sondages « au coule » à l'entrée du couloir d'attrait indiquaient que les aloses s'accumulaient à l'entrée, plaquées contre le fond, dans des zones où les vitesses étaient inférieures à 0,5 m/s. Dans ces conditions, la grille expérimentale, implantée trop en amont par rapport à l'entrée, ne pouvait les piéger. On ne put remédier à ce problème qu'en installant, à partir du 29 juin, un déflecteur immergé qui, en rétrécissant la surface mouillée, accroissait les vitesses. La faible affluence des aloses à partir de cette date n'a pas permis de multiplier les expériences. Cette année 1985 a donc indiqué que l'attraction spontanée des aloses ne peut se faire qu'avec de fortes vitesses en entrée, maintenues sur une distance suffisante pour assurer un piégeage franc.

7.2. Expérimentation 1986

En 1986, le couloir était muni du système de piégeage automatique définitif (grille d'entrée faisant nasse et système de concentration mécanique des poissons piégés dans une cuve d'ascenseur expérimentale. Par rapport au système provisoire de l'année précédente, la grille de piégeage était située plus en aval et les structures immergées avaient augmenté les vitesses à l'entrée du système d'attrait. L'efficacité de l'installation fut bonne (fig. 5).

Il restait à rechercher les meilleures conditions d'attractivité, en testant diverses combinaisons d'écoulement dans le bassin de stabulation. L'étude 1986 a consisté à changer fréquemment la disposition de panneaux pleins et de grilles assurant l'injection d'eau dans le bassin, jusqu'à l'obtention du meilleur attrait des aloses. Ceci est le cas lorsque l'écoulement converge exactement sur l'ouverture de la grille d'entrée.

Il restait alors à optimiser la largeur de l'ouverture, de manière à faciliter l'entrée des poissons tout en évitant les évasions. Les taux d'évasion ont été évalués par des techniques de relevages successifs de la cuve, avec marquages différents des poissons entrés dans chaque intervalle de piégeage. Les difficultés d'entrée ont été évaluées par le dénombrement des « chocs » des poissons contre la grille (sensibles au toucher de la partie émergée). Dès lors que le courant est bien focalisé sur la nasse, la largeur optimale de l'entrée est de 35 à 39 cm.

Fig. 5. — Résultats quotidiens du piégeage automatique des aloses lors de la campagne 1986. Les pics de captures atteignent 1000 aloses par jour.

Dans ces conditions, le système de piégeage a capturé 6102 aloses en 304 manœuvres (fig. 5). L'irrégularité des arrivées d'aloses est telle que 85 % des captures sont effectuées lors de 46 manœuvres et que le pic journalier représente 17% de l'effectif total de la saison. Ceci confirme la nécessité d'un dimensionnement en conséquence de l'ascenseur, préconisé par les résultats des pêches « au coule ».

Cette première expérimentation en vraie grandeur a fourni une première liste des problèmes imprévus et qui

ont été autant que possible corrigés lors des premières années de suivi du dispositif.

Remerciements

Des remerciements chaleureux sont adressés à la cinquantaine de personnes qui ont participé directement au projet Golfech, pour leur amical dévouement.

RÉFÉRENCES

- Beaudelin P., 1987. Les méfaits des extractions de galets de Garonne. *Rev. Adour-Garonne*, 34, 10-13.
- Belaud A., Dautrey R., Labat R., Lartigue J.P. et Lim P., 1985. Observations sur

- le comportement migratoire des aloses (*Alosa alosa* L.) dans le canal artificiel de l'usine de Golfech. *Ann. Limnol.*, 21, (2), 161-172.
- Belaud A. et Labat R., 1984. Le comportement migratoire des aloses (*Alosa alosa* L.) dans le canal de restitution de l'usine de Golfech. Effet de la température. *Ichthyophysiological acta*, 9, 73-80.
- Belaud A., Labat R., Trivellato D. et Tison G., 1987. Expérimentations hydrauliques et ichthyologiques d'un système de piégeage automatique des poissons migrateurs à Golfech. *La houille blanche*, 1/2, 73-79.
- Bengen G., Kugler J., et Péquignot J., 1981. Etude de l'ovaire d'*Alosa alosa* L. au cours de sa migration en Garonne. *Cybiurn*, 15(3), 229-238.
- Billard R. et Breton B., 1978. Rhythms of reproduction in teleost fish. In: *Rhythmic activity of fishes*. J.E. Thorpe éd., Academic Press, N.Y., 31-53.
- Cassou-Leins F. et Cassou-Leins J.J., 1981. Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'aloise (*Alosa alosa* L.). Thèse 3^e cycle, Institut National Polytechnique, Toulouse, 382 p.
- Castelnaud G., 1988. L'opération de marquage de l'esturgeon dans l'estuaire de la Gironde (France): une dimension européenne. *Conseil Int. pour l'exploration de la mer*, Comité des poissons anadromes et catadromes, paper CM 1988/28, 11 p.
- C.T.G.R.E.F., 1979. Etude halieutique de l'estuaire de la Gironde. *C.T.G.R.E.F. rapport*, division A.L.A., Bordeaux, 189 p.
- Dautrey R. et Lartigue J.P., 1984. Recherches sur la migration des aloses (*Alosa alosa* L.) et des truites de mer (*Salmo trutta*) en Garonne (site de Golfech). Thèse 3^e cycle, Institut National Polytechnique, Toulouse, 212 p.
- Douchement C., 1981. Les aloses des fleuves français, *Alosa fallax* Lacépède 1803 et *Alosa alosa* Linné 1578, biométrie, écobiologie: autonomie des populations. Thèse de 3^e cycle, USTL Montpellier, 377 p.
- Eiras J., 1977. Algumas medilas de protescão do savel (*Alosa alosa* L.) de Rio Douro. *Publ. Inst. Zool. Augusto Nobre*, Porto, 134, 1-16.
- Elie P., Prouzet P. et Dumas J., 1988. La pêche des amphihalins dans l'espace grand littoral. *Proc. 1^{re} rencontre interrég. «recherches appliquées à la gestion des ressources vivantes marines»*, Arcachon, 1988, 18 p.
- Elie P., Rochard E. et Boigontier B., 1988. Etude de suivi halieutique de l'estuaire de la Gironde. *Rapport CEMAGREF*, division ALA, Bordeaux, 174 p.
- Eriksson L.O., Lundqvist H., Brännäs E. et Eriksson T., 1982. Annual periodicity of activity and migration in the Baltic salmon, *Salmo salar* L.. In: *coastal research of the gulf of Bothnia*. K. Müller éd., W. Junk publ., 415-430.
- Foerster J.W. et Reagan J.P., 1977. Management of the northern Chesapeake Bay American shad. *Biol. Conserv. Netherl.*, 3, 179-201.
- Gibson R.N., 1978. Lunar and tidal rhythms in fish. in: *Rhythmic activity of fishes*. J.E. Thorpe éd., Academic Press, N.Y., 201-213.
- I.M.F.T., 1982. Etude sur modèle réduit de la passe à poissons de Bergerac *Institut de Mécanique des Fluides* (Toulouse) rap. n° 411, 48 p.
- Jonsson N., 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.*, 66, 20-35.
- Labat R., Cassou-Leins F. et Cassou-Leins J.J., 1983. Problèmes posés par les poissons migrateurs dans le bassin de la Garonne: cas de l'aloise (*Alosa alosa* L.). *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse, 119, 99-102.
- Larinier M., 1983. Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages par les poissons migrateurs. *Bull. Fr. Pisc.*, n° spécial, 39 p.

- Larinier M. et Travade F., 1981. Les poissons migrateurs aux Etats-Unis. Ouvrages de franchissement des barrages. Electricité de France et C.E.M.A.G.R.E.F. rap. n° HE/318256, 30 p.
- Le Clerc M., 1941. Note sur des essais de multiplication artificielle de l'aloise dans le bassin de la Loire. *Bull. Fr. Pisc.*, 123, 27-37.
- Leggett W.C., 1969. Studies on the reproduction biology of the American shad (*Alosa sapidissima*, Wilson). A comparison of population from four rivers of the Atlantic sea-board. *Ph. D. Thesis*, McGill Univ., Montréal, 125 p.
- Leggett W.C., 1976. The American shad (*Alosa sapidissima*) with special reference to its migration and population dynamics in the Connecticut river. In : *The Connecticut River Ecological Study*, D. Merriman et L.M. Thorpe éds., Am. Fish. Soc. Monograph, pp. 169-226.
- Leggett W.C. et Whitney R.R., 1972. Water temperature and the migrations of american shad. *Fish. Bull.*, 70(3), 659-671.
- Leim A.H., 1924. The life history of the shad (*Alosa sapidissima*, (Wilson)), with special reference to the factors limiting its abundance. *Contrib. Can. Biol.*, new ser., 2, 163-284.
- McDonald M., 1884. The Shad – *Clupea sapidissima*. In : « the fisheries and fishery industries of the United States », section 1, Natural history of usefull aquatic animals. G.B. Goode et ass. éds., pp. 594-607.
- Manteifel B.P., Girsal I.I. et Pavlov D.S., 1978. On rhythmic activity of fish behaviour. In : *Rhythmic activity of fishes*. J.E. Thorpe éd., Academic Press, N.Y., 31-53.
- Masseman W.H. et Pacheco A.L., 1957. Shad catches and water temperature in Virginia. *J. Wildl. Manag.*, 21, 351-352.
- Maudet F., 1983. L'aloise à Agen. *Rap. Institut National Polytechnique*, Toulouse, 108 p.
- Moffit C.M., Kynard B. et Rideout G., 1982. Fish passage facilities and anadromous fish restoration in the Connecticut river basin. *Fisheries*, 7 (6), 2-11.
- Northcote T.G., 1984. Mechanisms of fish migrations in rivers. in : *Mechanisms of migration on fishes*, J.D. McCleave, G.P. Arnold, J.J. Dodson et W.H. Neill éds., Plenum publish. Co., 317-355.
- Quignard J.P. et Douchement C., 1991. *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758). In : *The freshwater fishes of Europe*, vol 2 : *Clupeidae, Anguillidae*. H. Hoestland éd., Aula verlag, Wiesbaden, pp. 88-126.
- Rameye L., Kiener A., Spillmann C.P. et Biousse J., 1976. Aspects de la biologie de l'aloise du Rhône. Pêches et difficultés croissantes de ses migrations. *Bull. Fr. Pisc.*, 263, 50-56.
- Raveret-Wattel C., 1907. La pisciculture. *Klincksieck éd.*, Paris, vol. 2, 508 p.
- Roguet M., 1983. Bilan et perspectives du « plan saumon ». Le retour du saumon. *Rev. Adour-Garonne*, 26, 3-9.
- Roguet M., 1986. La restauration des poissons migrateurs dans le bassin de l'Aveyron. *Rev. Adour-Garonne*, 33, 12-17.
- Roguet M. et Larinier M., 1987. Aspects méthodologiques et prospectifs du maintien et du rétablissement des voies de migration. *La Houille Blanche*, 1/2, 143-146.
- Saila S.B., Polgar T.T., Sheehy D.J. et Flowers J.M., 1972. Correlations between alewife activity and environmental variables at a fishway. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 4, 583-594.
- Talbot G.B., 1953. Passage of shad at the Bonneville fishways. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish.*, 94, 30 p.
- Talbot G.B. et Sickles J.F., 1958. Atlantic coast migrations of American shad. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull.*, 58, 473-490.

- Taverny C. et Elie P., 1989. Les aloses du système estuarien Gironde-Garonne-Dordogne. Mortalités engendrées par l'industrie de la pêche dans les cas des juvéniles d'*Alosa alosa* et d'*Alosa fallax*, de 1985 à 1988. *Rapport CEMAGREF*, division ALA, Bordeaux, 206 p.
- Travade F., 1982. Ascenseurs à poissons. Critères de conception. Application au barrage de Golfech. Electricité de France rap. n° HE/318248, 35 p.
- Travade F. et Larinier M., 1985. Dispositif de franchissement pour le saumon atlantique au barrage de Poutès sur l'Al-lier. Electricité de France rap. n° HE/318505, 30 p.
- Travade F., Larinier M., Trivellato D. et Dartiguelongue J., 1991. Conception d'un ascenseur à poissons adapté à l'aloise sur un grand cours d'eau : l'ascenseur de Golfech sur la Garonne. *Hydroécol. appl.*, 4, 91-119.
- Walburg C.H. et Nichols P.R., 1967. Biology of the American shad and status of the fisheries, Atlantic Coast of the United States, 1960. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish.*, 550, 105 p.
- Weaver C.R., 1963. Influence of water velocity upon orientation and performance of adult migratory salmonids. *U.S. Fish. Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 63 (1), 97-121.