ÉTUDE DU COMPORTEMENT DU SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR* L.) AU NIVEAU DE L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE BAIGTS (GAVE DE PAU) LORS DE SA MIGRATION ANADROME.

M. CHANSEAU et M. LARINIER

CSP-CEMAGREF-GHAAPPE, Institut de Mécanique des Fluides, Avenue du Professeur
Camille Soula, 31400 Toulouse, France.

Reçu le 07 mai 1999

Received 07 May, 1999

Accepté le 19 juillet 1999

Accepted 19 July, 1999

RÉSUMÉ

Le comportement de 19 saumons adultes (*Salmo salar* L.) a été étudié au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Baigts à l'aide de la technique de radiotélémétrie lors de trois expérimentations menées en été et en automne de 1995 à 1997.

La majorité des poissons a stationné bien à l'aval de l'obstacle au cours de leur blocage. Les durées de présence en continu sur le site et les départs à l'aval étaient généralement inférieurs à 1 heure, les poissons se repliant au maximum à 200-300 m à l'aval de l'ouvrage avant de se présenter de nouveau sur le site. Lors de replis de durées plus importantes, généralement supérieures à 6 heures, les poissons stationnaient principalement dans un profond s'étendant de 500 m à 1,2 kilomètre de l'obstacle. Les départs du site se produisaient plutôt au crépuscule et les retours au pied de l'obstacle préférentiellement à l'aube, révélant une rythmicité comportementale des poissons au cours du nyctémère.

Les températures moyennes journalières de l'eau et les débits turbinés au niveau de l'usine ont eu une influence sur les présences des poissons au niveau de l'obstacle. Les saumons se présentaient plus souvent mais stationnaient moins longuement au pied de l'aménagement lorsque les températures étaient supérieures à 16°C. Les présences des poissons dans le canal de fuite étaient nettement réduites pour des températures supérieures à 20°C tandis que le stationnement au pied du barrage était plus important pour un fonctionnement réduit (débits turbinés inférieurs à 50 m³/s) de l'usine.

Les études ont mis en évidence l'impact important de l'aménagement sur la migration anadrome des saumons, en regard notamment des durées de blocage importantes induites par l'aménagement (jusqu'à 137 jours) et du faible nombre de poissons (34 %) qui a réussi à passer à l'amont. L'emplacement de l'entrée du dispositif de franchissement, situé pourtant à l'opposé du canal de fuite, ne peut être tenu pour seul responsable, tous les poissons s'étant présentés de nombreuses fois au pied de la passe à poissons. Les conditions rencontrées par les poissons au niveau de l'entrée de la passe à poissons n'ont pas paru optimales, les saumons stationnant le plus souvent moins de 5 minutes devant l'entrée du dispositif de franchissement lors de chaque incursion. De plus, les poissons ont eu des réticences à s'engager à l'intérieur du dispositif, 0,86 % seulement des incursions au niveau de la passe à poissons étant suivies d'une entrée dans le dispositif.

Mots-clés : migration anadrome, aménagement hydroélectrique, radiotélémétrie, saumon atlantique, comportement.

THE BEHAVIOUR OF RETURNING ADULT ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR* L.) IN THE VICINITY OF BAIGTS HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE PAU RIVER AS DETERMINED BY RADIOTELEMETRY.

ABSTRACT

The behaviour of 19 radiotagged adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) was studied during the summer and autumn of three successive years (1995 to 1997) in the vicinity of the Baigts hydroelectric plant.

Most of the time, the fish stayed away from the dam. Visits to the site and the time which they remained downstream were generally short lived (less than 1 hour), with the fish generally being within 300 m downstream from the plant. When fish were absent for a longer time, *i.e.* more than 6 hours, they were often observed in a pool located between 500 m and 1.2 kilometer downstream from the obstacle. Behavioural rhythmicity of fish was pointed out : they approached the plant mainly at dawn and were more present and active during the day.

Mean daily temperature and turbine discharge influenced salmon behaviour in the vicinity of the plant. Fish were more often found approaching the plant when the temperature was higher than 16°C but stayed less time in the vicinity of the obstacle. Presence of fish in the tailrace and at the dam was influenced by temperature and by operation of the hydroelectric power plant with fish being less present in the tailrace when temperature exceeded 20°C and more present at the dam when the turbine discharge was lower than 50 m³/s.

Studies revealed that the plant impeded the upstream migration of salmon with fish being delayed up to 137 days and only a small percentage (34 %) being able to pass over the obstacle. The location of the fish pass, at the opposite side of the tailrace, was not responsible for its poor efficiency since all fish were monitored near the entrance. The conditions encountered by fish at the entrance of the fish pass were not optimal with most of the visits lasting less than 5 minutes. Moreover, only 0.86 % of the visits resulted in fish moving into the pass.

Key-words : upstream migration, hydroelectric power plant, radiotelemetry, Atlantic salmon, behaviour.

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un suivi par radiotélémétrie de la migration anadrome du saumon atlantique sur le gave de Pau afin de déterminer l'impact des différents obstacles érigés sur l'axe (CHANSEAU, CROZE et LARINIER, 1999), une étude a été effectuée au niveau de l'aménagement de Baigts en été et en automne, de 1995 à 1997.

En plus de l'évaluation *per se* de l'impact de l'ouvrage, un suivi détaillé de déplacements des saumons au niveau de l'aménagement, et notamment au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement, a été réalisé lors des trois années d'expérimentation en regard des risques potentiels de blocage que cet obstacle pouvait

engendrer et de sa position très aval sur l'axe de migration. L'étude des stratégies comportementales mises en oeuvre par les poissons au niveau de l'obstacle devait permettre de révéler les raisons des éventuelles difficultés de franchissement rencontrées.

Dans un cadre plus général, ces études constituent une approche dans la compréhension du comportement des poissons au niveau d'un obstacle, paramètre très important à prendre en compte afin de faciliter le passage des migrateurs (KYNARD, 1991). De meilleures informations sont nécessaires dans ce domaine, notamment en ce qui concerne les mécanismes comportementaux responsables de l'attraction des poissons dans les dispositifs de franchissement (NORTHCOTE, 1998).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

L'aménagement hydroélectrique de Baigts (Figure 1) est situé sur le gave de Pau, à environ 25 kilomètres de la confluence avec le gave d'Oloron et à une cinquantaine de kilomètres de l'estuaire de l'Adour. Au niveau de l'aménagement de Baigts (superficie du bassin versant : 2 575 km²), le module interannuel du gave de Pau, calculé sur la période de référence 1973-1997, est de 79 m³/s. Le régime du cours d'eau est de type nivo-pluvial marqué par une période d'étiage en fin d'été (août et septembre), d'eaux de fonte d'avril à juin et de fortes précipitations pluviales en décembre.

Figure 1
 Situation géographique de l'aménagement hydroélectrique de Baigts.

Figure 1
 Geographical situation of the Baigts hydroelectric power plant.

Figure 2
Vue générale de l'aménagement de Baigts et de l'entrée de la passe à poissons.

Figure 2
A general view of the Baigts power plant and of the entrance of the fish pass.

L'aménagement se compose en rive gauche d'un barrage mobile d'une hauteur de 18,4 m et d'une longueur de crête de 57 m équipé de 2 vannes bateaux automatiques (capacité d'évacuation : 1 200 m³/s) et d'une vanne de chasse pourvue d'un clapet de surface (capacité d'évacuation : 300 m³/s). En rive droite se trouve l'usine hydroélectrique qui fonctionne au fil de l'eau. Elle est équipée de 3 turbines Kaplan verticales turbinant chacune 30 m³/s sous environ 11 m de chute. Un canal de fuite de 52 m de long permet d'évacuer le débit turbiné (Figure 2).

La passe à poissons, construite en 1941, est située en rive gauche, au niveau du barrage. Elle est longue de 82 m pour un dénivelé de près de 11 m. Elle est composée de 6 volées de pente variant de 16 % à 20 % séparées par 5 bassins de repos. Quatre volées sont équipées de ralentisseurs plans en béton ou métalliques, une de ralentisseurs à chevrons épais en bois et une enfin est constituée de 3 bassins successifs à parois déversantes (Figure 3). Le débit dans la passe à poissons est d'environ 500 L/s et un débit complémentaire d'attrait de 500 L/s transitant par une conduite est injecté au pied du dispositif de franchissement.

Figure 3
Le dispositif de franchissement de Baigts.

Figure 3
The Baigts fish pass.

Période d'étude

Le suivi du comportement du saumon atlantique au niveau de l'aménagement de Baigts a été effectué durant trois années consécutives, de 1995 à 1997. Les expérimentations se sont déroulées chaque année de fin juin jusqu'à mi-décembre. En 1997, des travaux au niveau des vannes bateaux du barrage ont été réalisés, nécessitant un abaissement du plan d'eau amont et par conséquent un arrêt de l'usine, du 14 octobre au 17 décembre. Les données recueillies en 1997 après le 14 octobre ne seront pas intégrées dans les analyses ultérieures.

Paramètres du milieu

La température de l'eau et les débits à l'aval immédiat de l'aménagement ont été relevés tout au long des trois années d'étude. L'enregistrement du fonctionnement des turbines de l'usine et les valeurs de débit à l'aval de l'obstacle ont permis d'évaluer le débit transitant par l'aménagement, le débit turbiné ainsi que le débit évacué par les vannes du barrage. Les 4 périodes du nyctémère (aube, jour, crépuscule et nuit) ont été déterminées sur la base des heures légales de lever et de coucher du soleil. L'aube, d'une durée de 2 heures, correspond à la période comprise entre les heures précédant et suivant

le lever du soleil. Le crépuscule est la période équivalente pour le coucher du soleil. Ces trois paramètres, température, débit et lumière, sont généralement considérés comme ceux exerçant les effets les plus marqués sur la migration anadrome du saumon atlantique (SMITH, 1985 ; JENSEN, HEGGBERGET et JOHNSEN, 1986 ; POTTER, 1988 ; JENSEN, JOHNSEN et HANSEN, 1989 ; JONSSON, 1991 ; SMITH et SMITH, 1997 ; JENSEN, HVIDSTEN et JOHNSEN, 1998).

Capture, marquage et technique de radiotélémétrie

Les saumons ont été capturés dans la passe à poissons de Puyoo, située 8 kilomètres à l'aval du site d'étude, et marqués selon la même procédure que celle décrite dans CHANSEAU, CROZE et LARINIER (1999).

Le matériel de radiotélémétrie utilisé (émetteurs, récepteurs, stations réceptrices fixes automatiques) est de marque ATS (Advanced Telemetry System).

Au niveau de l'aménagement de Baigts, un certain nombre de stations fixes (jusqu'à 7 stations en 1997) composées d'un récepteur relié à un enregistreur numérique (229 KHz) a été installé et a permis de délimiter différentes zones de réception. La présence de poissons au pied de l'aménagement a été ainsi suivie en continu tout au long des études. Lors des trois années d'expérimentation, 4 zones de réception identiques (Figure 1) ont été individualisées de façon à pouvoir comparer les déplacements des saumons radiomarqués.

En 1995, une antenne réceptrice immergée a été installée au niveau de l'entrée de la passe à poissons. En 1996, outre l'entrée du dispositif, les premier et dernier bassins de repos ont été équipés. En 1997, une antenne a été installée dans chacun des 5 bassins de repos.

A l'aval de l'aménagement, la position des saumons était repérée à l'aide d'une antenne omnidirectionnelle fixée sur une voiture. Une localisation plus précise de saumons était effectuée à pied à l'aide d'un récepteur portable et d'une antenne bidirectionnelle.

RÉSULTATS

Sur les trois années d'étude, 43 saumons ont été marqués et lâchés à l'amorçage immédiat du barrage de Puyoo. Trente-deux poissons se sont présentés au pied de l'aménagement de Baigts. En ce qui concerne les 11 poissons qui ne sont pas parvenus jusqu'à l'obstacle, un individu a régurgité son émetteur dans les heures suivant sa remise à l'eau et 9 autres ont disparu peu de temps après le lâcher (arrêt de l'émetteur ou dévalaison). Un poisson enfin, marqué et relâché fin juillet à Puyoo, a dévalé et a été retrouvé au niveau de la confluence des gaves de Pau et d'Oloron où il a stationné plus de 15 jours. Il est ensuite retourné en mer et a été piégé fin novembre sur la Nivelle, au niveau de la station de contrôle des poissons migrateurs située au barrage d'Uxondoa.

Délais entre le lâcher et l'arrivée au pied de l'aménagement

Les délais entre les lâchers et les arrivées des poissons au niveau de l'obstacle de Baigts ont varié de 8 heures à près de 49 jours, la médiane étant égale à 38 heures. Dix poissons ont mis moins de 14 heures, 12 entre 18 heures et 3 jours, 7 entre 3 et 15 jours et 3 enfin entre 18 et 49 jours.

Ces délais ne peuvent servir à calculer une vitesse moyenne de migration dans la mesure où ils prennent en compte le temps de récupération des poissons à l'anesthésie et aux différentes manipulations. A titre indicatif, les vitesses moyennes minimales de déplacement des dix poissons les plus rapides sont comprises entre 0,54 km/h et 1 km/h.

Impact de l'aménagement : franchissements et durées de blocage

Onze seulement des 32 poissons (soit 34 %) qui se sont présentés au niveau de l'obstacle ont réussi à passer à l'amont. Ce pourcentage est resté du même ordre de grandeur chaque année (entre 30 % et 40 % pour les trois années d'étude).

Les durées de blocage, calculées en faisant la différence entre l'heure de la première arrivée d'un poisson sur le site et celle de sa dernière réception au pied de l'obstacle, ont varié de 9 heures à plus de 137 jours. En ce qui concerne les 11 saumons qui ont réussi à franchir l'aménagement, ces durées sont comprises entre 9 heures et plus de 79 jours, deux poissons ayant été retardés moins de 72 heures, la médiane étant égale à 11 jours. Les poissons qui n'ont pas réussi à passer à l'amont ont été bloqués entre 11 et 137 jours, 6 d'entre eux l'ayant été plus de 60 jours. Quatre poissons ont disparu peu de temps après leur arrivée sur le site et ont été retrouvés, lors de différentes reconnaissances aériennes ou en voiture, sur le bassin du gave d'Oloron.

Dans toutes les études de télémétrie, il faut supposer que les émetteurs n'interfèrent pas avec la survie, les performances ou le comportement des poissons (BARAS et LAGARDERE, 1995). Seuls 19 des 32 poissons qui se sont présentés au pied de l'aménagement ont été retenus, dont les 11 saumons qui sont parvenus à franchir l'obstacle (Tableau I). Ont été écartés des analyses ultérieures, outre un individu qui a régurgité son émetteur dans les heures suivant son arrivée sur le site d'étude, les poissons qui n'ont été reçus que très peu de temps au pied de l'aménagement.

Tableau I

Détails des 19 saumons radiomarqués suivis au cours des 3 années d'étude.

Table I

Details of 19 radiotagged salmon tracked during the 3-year study.

POISSONS (fréquence de l'émetteur -Mhz-)	LONGUEUR TOTALE (en cm)	SEXE	DATE DU LACHER	DELAI LACHER ARRIVEE	BLOCAGE	PASSAGE AMONT BAIGTS
49,660	68,5	F	07/07/95	13 h	137 jours	NON
49,680	69	F	28/06/95	20 h	10 jours	OUI
49,740	68,2	M	05/10/95	11 j 17 h	32 jours	OUI
49,760	68	F	01/07/95	8 h	36 jours	NON
49,860 A	67,2	F	28/06/95	2 j 07 h	11 jours	NON
49,860 B	69,8	M	05/09/95	18 h	85 jours	NON
48,721	66,5	M	21/08/96	27 h	21 jours	NON
48,741	67,7	M	23/08/96	24 j	21 jours	OUI
48,781	70,6	F	05/09/96	11 j	11 jours	NON
48,801	69,9	M	05/09/96	13 h	61 jours	OUI
48,841	65,3	M	11/09/96	5 j 15 h	18 jours	OUI
48,881	69,4	F	17/09/96	8 h	14 jours	OUI
48,140	70,6	F ?	07/07/97	1 j 09 h	97 jours	NON
48,180	66,8	M	09/07/97	10 h	97 jours	NON
48,200	67	M	08/07/97	1 j 21 h	77 jours	OUI
48,220	63,4	M ?	10/07/97	8 h	17 jours	OUI
48,280	73,8	M	11/07/97	2 j 16 h	79 jours	OUI
48,480	67,9	F	28/07/97	2 j 01 h	9 heures	OUI
48,620	69,8	M ?	07/08/97	6 j 07 h	3 jours	OUI

Présence des poissons au pied de l'obstacle

Durées de présence et caractéristiques des incursions au pied de l'aménagement

La grande majorité des saumons (13 sur 19, soit 68,4 %) a stationné, au cours du blocage, non pas au pied de l'obstacle mais à l'aval de l'aménagement, le plus souvent dans un profond situé entre 500 m et 1,2 kilomètre de l'ouvrage. Deux des 6 poissons qui ont passé proportionnellement plus de temps au pied de l'obstacle sont les saumons qui ont franchi l'ouvrage le plus rapidement, en moins de 72 heures.

Les incursions au pied de l'aménagement ont été généralement de courte durée : 71,5 % (969 sur 1 356) d'entre elles ne dépassent pas 3 heures ; 3,3 % seulement de présences sur le site sont supérieures à 24 heures. La majorité des replis à l'aval (855 sur 1 392, soit 61,4 %) n'a pas excédé 3 heures, les poissons demeurant alors généralement à proximité immédiate de l'obstacle (200 à 300 m à l'aval), principalement en rive gauche en limite de courant. Lors des replis de plus longue durée, généralement supérieures à 6 heures, les poissons étaient localisés le plus souvent dans le profond mentionné plus haut. Seuls 5,1 % des replis à l'aval du site ont eu des durées supérieures à 24 heures (Figure 4). Les poissons, s'ils n'ont pas passé la plus grande partie de leur temps de blocage au pied même de l'obstacle, ne se sont éloignés toutefois que rarement de l'aménagement. Seuls 11 replis d'une distance supérieure à 4 kilomètres ont pu être mis en évidence, 7 d'entre eux se produisant durant les mois d'octobre et de novembre. Deux poissons ont ainsi dévalé le seuil de Puyoo situé 8 kilomètres à l'aval, un individu ayant même été localisé à 16 kilomètres à l'aval de Baigts. Ces deux saumons ont par la suite franchi l'obstacle de Puyoo avant de se présenter de nouveau au pied de l'aménagement de Baigts.

Figure 4A

Durées moyennes de présence des poissons au pied de l'obstacle.

Figure 4B

Durées moyennes de présence des poissons à l'aval de l'aménagement.

Figure 4A

Mean presence duration of fish in the vicinity of the obstacle.

Figure 4B

Mean presence duration of fish further downstream from the plant.

Le nombre d'incursions sur le site au cours d'une journée varie de 1 à 11 (Figure 5A), les nombres les plus fréquents étant de 1 et 2. Les temps totaux passés sur le site au cours d'une journée sont très variables et leur distribution très étalée, allant de moins d'une heure à 24 heures (Figure 5B). Les temps moyens des incursions des poissons au pied de l'obstacle sont faibles, la majorité étant inférieure à 2 heures (Figure 5C).

Figure 5A

Nombre d'incursions par jour au pied de l'obstacle.

Figure 5B

Distribution des durées des incursions au pied de l'obstacle.

Figure 5C

Durées moyennes des incursions au pied de l'obstacle.

Figure 5A

Number of approaches per day to the obstacle.

Figure 5B

Distribution of the duration of approaches to the obstacle.

Figure 5C

Mean duration of approaches to the obstacle.

Présence au cours du nycthémère

La présence des saumons au pied de l'obstacle a été étudiée au cours des quatre périodes du nycthémère : l'aube, le jour, le crépuscule et la nuit.

Treize poissons sur 19 ont séjourné plus de 50 % de leur temps de présence sur le site en pleine journée. En ce qui concerne les 6 autres saumons, deux individus ont séjourné plus de temps au pied de l'obstacle de jour, deux des temps équivalents de jour et de nuit et deux enfin préférentiellement de nuit. Cependant, si l'on compare les durées de présence des poissons de nuit avec la somme des durées à l'aube, de jour et au crépuscule, il apparaît qu'aucun saumon n'a stationné majoritairement de nuit au pied de l'aménagement. La répartition des durées de présence des saumons au niveau de l'aménagement au cours du nycthémère n'est pas aléatoire ($\chi^2 = 253$; $p < 0,001$). Le test de contraste met en évidence d'une part que les saumons stationnent préférentiellement de jour au pied de l'aménagement et d'autre part qu'ils sont moins présents de nuit (Figure 6A). Pour illustrer ce résultat, on a présenté sur la Figure 6B les pourcentages de présence au cours de chaque période du nycthémère rapportés aux durées de ces périodes (2 heures pour l'aube et le crépuscule et respectivement 11 heures pour le jour et la nuit).

Figure 6A

Pourcentage de présence des saumons au pied de l'obstacle au cours de la journée.

Figure 6B

Pourcentage de présence des saumons au pied de l'obstacle au cours de chaque période du nycthémère rapportée aux durées de ces périodes.

Figure 6A

Percentage of presence of fish in the vicinity of the obstacle in relation to the time of the day.

Figure 6B

Percentage of presence of fish per hour in each diurnal period in the vicinity of the obstacle.

Heures d'arrivée et de départ du site

Il a été possible d'examiner la distribution des arrivées et des départs à l'échelle horaire, respectivement 373 et 406 horaires d'arrivée et de départ du site ayant été enregistrés pour l'ensemble des 19 poissons étudiés (Figure 7). Seules les arrivées précédées d'un départ à l'aval au moins égal à 6 heures et les départs supérieurs à 6 heures ont été pris en compte dans l'analyse. En effet, lors de la majorité des replis de courte durée, les saumons stationnaient généralement à proximité immédiate des zones de réception individualisées au pied de l'obstacle.

Figure 7A

Distribution des incursions au pied de l'obstacle au cours de la journée.

Figure 7B

Distribution des replis à l'aval au cours de la journée.

Figure 7A

Distribution of approaches in the vicinity of the plant in relation to the time of the day.

Figure 7B

Distribution of downstream departures in relation to the time of the day.

Les poissons se présentent préférentiellement à l'aube ($\chi^2 = 146,7$; $p < 0,0001$), entre 6 et 8 heures, au pied de l'aménagement et quittent le site au crépuscule ($\chi^2 = 104,8$; $p < 0,0001$). Les départs sont cependant beaucoup plus étalés au cours de la journée que les arrivées, une fraction non négligeable s'effectuant le matin, correspondant aux incursions de faibles durées sur le site.

Influence de la température et du débit sur la présence au pied de l'obstacle

Des analyses par régression multiple pas à pas indiquent d'une part que les nombres d'incursions par jour des poissons au niveau de l'aménagement dépendent de la température de l'eau ($p = 0,0001$) et d'autre part que les durées de présence au pied de l'obstacle sont significativement liées aux débits du gave ($p = 0,015$).

Il apparaît que les saumons se présentent plus fréquemment sur le site d'étude lorsque les températures sont élevées (ANOVA à 1 facteur, avec le facteur température (a : 8-12°C ; b : 12-16°C ; c : 16-20°C ; d : 20-24°C), $F_{3,856} = 14,6$; $p < 0,0001$), notamment lorsqu'elles deviennent supérieures à 16°C (Figure 8A).

Les poissons stationnent plus longtemps au pied de l'ouvrage pour des débits faibles à moyens (ANOVA à 1 facteur, avec le facteur débit (a : $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$; b : $50-100 \text{ m}^3/\text{s}$; c : $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$), $F_{2,885} = 6,2$; $p < 0,005$), les durées de présence diminuant pour des débits supérieurs à $100 \text{ m}^3/\text{s}$, conditions hydrologiques qui correspondent généralement à des coups d'eau associés à des augmentations de la turbidité (Figure 8B).

Si l'on ne prend en considération que les jours où les saumons se sont présentés au pied de l'aménagement, une régression multiple pas à pas indique que seule la température de l'eau contrôle les durées de présence des poissons au pied de l'obstacle au cours de la journée ($p < 0,0001$). Ces derniers stationnent d'autant plus longtemps au pied de l'obstacle que les températures sont faibles (ANOVA à 1 facteur, $F_{3,520} = 16,8$; $p < 0,0001$) (Figure 8C).

Comportement des poissons au pied de l'obstacle

Dans toutes les analyses ultérieures, seuls les jours où les poissons se sont présentés au pied de l'aménagement seront pris en compte.

Les températures et les débits turbinés ont été répartis respectivement en 4 et 2 catégories : 8-12°C, 12-16°C, 16-20°C et 20-24°C en ce qui concerne les températures et 0-50 m^3/s et 50-90 m^3/s pour les débits turbinés par l'usine hydroélectrique. L'usine pouvant turbiner jusqu'à 90 m^3/s , les déplacements des poissons au pied de l'obstacle ont été étudiés sans déversement au niveau du barrage.

Présence et durées des incursions dans les différentes zones de réception

Huit poissons ont stationné préférentiellement dans le canal de fuite de l'usine (zone de réception I), 5 au pied du barrage (zone de réception III), 3 des temps équivalents dans ces deux zones et 3 enfin dans la zone II située dans le prolongement de la jetée et qui présente la particularité d'être hydrauliquement abritée tout en étant à proximité du courant principal.

Les durées des incursions des poissons dans les zones II et III sont courtes, respectivement 89,2 % (1 422 sur 1 593) et 68,2 % (806 sur 1 182) étant inférieures à 1 heure. Ces durées sont plus importantes dans la zone I, 58,8 % (880 sur 1 496) ne dépassant pas 1 heure mais 36 % d'entre elles étant comprises entre 3 et 6 heures (Figure 9). Ces résultats mettent en évidence le fait que le canal de fuite paraît être la zone la plus attractive.

Figure 8A

Nombre moyen d'incursions par jour au pied de l'aménagement en fonction de la température de l'eau.

Figure 8B

Durées moyennes de présence par jour au pied de l'obstacle en fonction du débit.

Figure 8C

Durées moyennes de stationnement au pied de l'obstacle des poissons en fonction de la température.

Figure 8A

Mean daily number of approaches to the plant in relation to water temperature.

Figure 8B

Mean daily presence duration in the vicinity of the obstacle in relation to river flows.

Figure 8C

Mean presence duration in the vicinity of the obstacle in relation to water temperature.

Figure 9A
Nombre et durée des incursions dans la zone I.
Figure 9B
Nombre et durée des incursions dans la zone II.
Figure 9C
Nombre et durée des incursions dans la zone III.
Figure 9D
Nombre et durée des incursions dans la zone IV.

Figure 9A
Number and duration of the visits to area I.
Figure 9B
Number and duration of the visits to area II.
Figure 9C
Number and duration of the visits to area III.
Figure 9D
Number and duration of the visits to area IV.

Influence de la température de l'eau et du fonctionnement de l'usine

Les effets des facteurs débit turbiné et température de l'eau sur les pourcentages de présence des saumons dans les différentes zones de réception individualisées au pied de l'aménagement ont été étudiés à l'aide d'analyses de variance (ANOVA) à 2 facteurs (Tableaux II et III).

Il apparaît clairement que la présence des poissons dans le canal de fuite est nettement plus faible lorsque les températures dépassent 20°C. Les poissons ont stationné en moyenne entre 39 et 45,5 % de leur temps de présence sur le site dans le canal pour des températures de l'eau inférieures à 20°C et 15,1 % à peine lorsqu'elles deviennent supérieures. Le fonctionnement de l'usine hydroélectrique n'exerce aucune influence, le canal restant toujours, quels que soient les débits, une zone attractive.

Les pourcentages de présence des saumons à l'aval immédiat de la jetée (zone II), zone hydrauliquement protégée mais à proximité immédiate du courant principal, sont plus importants lorsque les débits turbinés sont supérieurs à 50 m³/s, les poissons y stationnant dans ces conditions plus de 25 % contre 19 % pour des débits inférieurs.

Les poissons stationnent proportionnellement plus de temps au pied du barrage (zone III) lorsque les débits turbinés sont inférieurs à 50 m³/s : les poissons y ont passé en moyenne près de 45 % de leur temps de présence au pied de l'obstacle contre à peine 37 % pour des débits supérieurs. Les effets de la température sur les pourcentages de présence dans la zone III s'expliquent par le fait que les poissons stationnent moins au pied de l'aménagement et dans le canal de fuite pour des températures élevées et non par le fait qu'ils stationnent plus au pied du barrage.

Le fonctionnement de l'usine exerce un effet sur la présence des poissons au pied du dispositif de franchissement, les poissons séjournant en moyenne 2,4 % de leur temps au pied de la passe à poissons quand les débits sont inférieurs à 50 m³/s et 5,1 % pour des débits plus élevés. L'influence de la température, mise en évidence par l'analyse statistique, ne paraît pas toutefois très claire.

Comportement au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement

Au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement (zone IV), 56,2 % et 89,2 % (1 041 sur 1 851 et 1 652 sur 1 851) des incursions sont respectivement inférieures à 1 et 5 minutes (Figure 9D). Ce résultat est dû en partie à la faible superficie de cette zone (6 m² environ), les poissons pouvant quitter la zone de réception pour de faibles déplacements, mais aussi, très certainement, à sa faible attractivité.

Tous les poissons se sont présentés de nombreuses fois au niveau de l'entrée du dispositif, en moyenne 91 fois (médiane : 40 fois). De plus, les poissons ont été reçus généralement au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement peu de temps après leur arrivée initiale sur le site, 18 des 19 saumons radiomarqués ayant mis en moyenne 12,5 heures (médiane : 6,4 heures). Ce délai représenterait la durée minimale de blocage des poissons induite par l'aménagement dans l'hypothèse où l'efficacité hydraulique de la passe à poissons serait optimale. Le dernier poisson n'est resté que quelques heures au pied de l'obstacle lors de son arrivée initiale puis s'est replié à l'aval, dans un profond, pendant près de 52 jours. Lors de son retour sur le site, fin octobre, il n'a mis que 30 minutes pour se présenter au pied de l'échelle.

Seize des 1 851 réceptions au niveau de l'entrée de la passe à poissons, soit 0,86 %, ont été suivies d'une incursion à l'intérieur du dispositif de franchissement. Le nombre médian d'incursions au pied de l'échelle nécessaires pour le franchissement de l'obstacle est de 43 ; 4 saumons ont même effectué plus de 100 incursions au pied du dispositif de franchissement avant de passer à l'amont. Tous les poissons, qu'ils aient ou non franchi l'aménagement, ont stationné dans la zone IV, un saumon s'y présentant même plus de 200 fois sans réussir à passer à l'amont.

Tableau II

Pourcentage de présence des saumons dans la zone I (canal de fuite) et dans la zone II (aval jetée) en fonction de la température de l'eau et du débit turbiné.

Table II

Percentage of presence of fish in area I (tailrace) and area II (downstream the pier) in relation to water temperature and turbine discharge.

Pourcentage de présence dans la zone I (canal de fuite)	DEBIT < 50 m³/s	N	DEBIT > 50 m³/s	N
8°C < TEMPERATURE ≤ 12°C	0,67 ± 0,09	25	0,66 ± 0,11	18
12°C < TEMPERATURE ≤ 16°C	0,70 ± 0,04	111	0,65 ± 0,08	33
16°C < TEMPERATURE ≤ 20°C	0,62 ± 0,05	99	0,64 ± 0,05	75
20°C < TEMPERATURE ≤ 24°C	0,17 ± 0,07	44	0,37 ± 0,10	20

ANOVA à 2 facteurs : Température : $p < 0,0001$; Débit : $p = 0,56$; Interaction : $p = 0,45$

Pourcentage de présence dans la zone II (aval jetée)	DEBIT < 50 m³/s	N	DEBIT > 50 m³/s	N
8°C < TEMPERATURE ≤ 12°C	0,22 ± 0,08	25	0,6 ± 0,10	18
12°C < TEMPERATURE ≤ 16°C	0,38 ± 0,04	111	0,44 ± 0,07	33
16°C < TEMPERATURE ≤ 20°C	0,37 ± 0,04	99	0,45 ± 0,05	75
20°C < TEMPERATURE ≤ 24°C	0,31 ± 0,06	44	0,48 ± 0,09	20

ANOVA à 2 facteurs : Température : $p = 0,99$; Débit : $p < 0,001$; Interaction : $p = 0,22$

(Les résultats correspondent aux pourcentages de présence transformés par la fonction Arcsin)

Tableau III

Pourcentage de présence des saumons dans la zone III (barrage) et dans la zone IV (entrée passe) en fonction de la température de l'eau et du débit turbiné.

Table III

Percentage of presence of fish in area III (dam) and area IV (fishpass entrance) in relation to water temperature and turbine discharge.

Pourcentage de présence dans la zone III (barrage)	DEBIT < 50 m³/s	N	DEBIT > 50 m³/s	N
8°C < TEMPERATURE ≤ 12°C	0,71 ± 0,09	25	0,42 ± 0,11	18
12°C < TEMPERATURE ≤ 16°C	0,58 ± 0,04	111	0,57 ± 0,08	33
16°C < TEMPERATURE ≤ 20°C	0,66 ± 0,04	99	0,58 ± 0,05	75
20°C < TEMPERATURE ≤ 24°C	1,13 ± 0,07	44	0,76 ± 0,10	20

ANOVA à 2 facteurs : Température : $p < 0,0001$; Débit : $p < 0,005$; Interaction : $p = 0,07$

Pourcentage de présence dans la zone IV (entrée passe)	DEBIT < 50 m³/s	N	DEBIT > 50 m³/s	N
8°C < TEMPERATURE ≤ 12°C	0,10 ± 0,027	25	0,067 ± 0,03	18
12°C < TEMPERATURE ≤ 16°C	0,05 ± 0,01	111	0,076 ± 0,024	33
16°C < TEMPERATURE ≤ 20°C	0,066 ± 0,014	99	0,15 ± 0,12	75
20°C < TEMPERATURE ≤ 24°C	0,076 ± 0,02	44	0,19 ± 0,03	20

ANOVA à 2 facteurs : Température : $p = 0,01$; Débit : $p < 0,005$; Interaction : $p = 0,013$

(Les résultats correspondent aux pourcentages de présence transformés par la fonction Arcsin)

Activité au pied de l'obstacle

Le nombre d'incursions dans les zones I et III rapporté à l'heure de présence des poissons sur le site a semblé être un bon indicateur de l'activité des saumons au pied de l'obstacle.

Les poissons se sont montrés nettement moins actifs au pied de l'obstacle de nuit que lors des autres périodes du nycthémère : nuit-aube ($W, Z = 2,70 ; p < 0,01$), nuit-jour ($W, Z = 2,71 ; p < 0,01$) et nuit-crêpuscule ($W, Z = 2,67 ; p < 0,01$), aucune différence n'ayant été mise en évidence entre les trois autres périodes (Figure 10A).

Les saumons ont été plus actifs au pied de l'aménagement lorsque les températures ont dépassé 16°C (ANOVA, $F_{3,428} = 5,78 ; p = 0,0007$), effectuant en moyenne moins de 0.7 incursion par heure pour des températures inférieures à 16 °C contre plus de 1.1 incursion pour des températures supérieures (Figure 10B).

Figure 10A
Activité journalière des poissons au pied de l'obstacle.

Figure 10B
Activité des poissons au pied de l'obstacle en fonction de la température de l'eau.

Figure 10A
Daily activity of fish in the vicinity of the obstacle.

Figure 10B
Activity of fish in the vicinity of the obstacle in relation to water temperature.

Tableau IV

Nombre moyen d'incursions par jour au niveau de l'aménagement, activité moyenne journalière au pied de l'obstacle et présence moyenne journalière au niveau de l'entrée de la passe à poissons pour les poissons qui sont parvenus à franchir l'obstacle et ceux qui n'ont pu passer à l'amont.

Table IV

Mean daily number of approaches to the plant, mean daily activity in the vicinity of the obstacle and mean daily presence at the fish pass entrance for fish which passed over the plant and those which did not.

	PASSAGE AMONT	N	BLOCAGE	N
Nombre de présentation moyenne au pied de l'obstacle par jour de blocage (covariable : Température)	3,28 ± 0,34	146	2,20 ± 0,24	289
Activité au pied de l'obstacle (covariable : Température)	1,37 ± 0,24	146	0,73 ± 0,17	289
% Présence entrée passe par rapport durée présence zone III (barrage) (covariable : Débit turbiné)	0,28 ± 0,019 *	140	0,11 ± 0,014 *	232

ANCOVA : Incursions Site : facteur Franchissement $p < 0,0001$

Activité : facteur Franchissement : $p < 0,0001$

Présence entrée passe : facteur Franchissement : $p < 0,0001$

(* Les résultats correspondent aux valeurs des pourcentages transformées par la fonction Arcsin)

Franchissement de l'obstacle

Des analyses de covariance (ANCOVA) ont permis de mettre en évidence des différences de comportement entre les poissons qui ont franchi l'aménagement et ceux qui n'y sont pas parvenus (Tableau IV), notamment en ce qui concerne le nombre d'incursions des poissons au pied de l'obstacle ($p < 0,0001$), leur activité au pied de l'obstacle, mesurée par le nombre de changements de zone par heure de présence ($p < 0,0001$) et le pourcentage de temps passé au niveau de l'entrée de la passe à poissons par rapport au temps de présence dans la zone barrage ($p < 0,0001$).

Il apparaît que les saumons qui ont franchi l'aménagement se sont présentés en moyenne 3,3 fois par jour au pied de l'obstacle contre 2,2 fois pour ceux qui n'ont pu passer à l'amont.

De même, ils ont été près de 2 fois plus actifs au pied de l'obstacle réalisant en moyenne 1,37 changement de zone par heure de présence sur le site contre à peine 0,73 pour les saumons qui sont restés à l'aval.

Enfin, les poissons qui ont réussi à franchir l'obstacle ont stationné proportionnellement plus de temps (12,8 %) au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement que les autres saumons (4,3 %) lorsqu'ils étaient présents dans la zone barrage (zone III).

Comportement dans la passe à poissons

Sur les 16 incursions au pied de la passe à poissons qui ont été suivies d'une incursion dans le dispositif, 13 se sont déroulées en pleine journée, 2 au crépuscule et 1 de nuit. Cinq de ces incursions n'ont pas été suivies d'un franchissement, les poissons redévalant la passe à poissons après des durées variables de présence comprises entre 20 minutes et plus de 7 heures, 4 d'entre elles ne dépassant pas cependant 1 heure. L'une des 2 incursions à l'intérieur de la passe à poissons effectuée au crépuscule ainsi que celle réalisée de nuit n'ont pas été suivies du franchissement du dispositif. Lors de la seconde incursion réalisée au crépuscule, le saumon a passé la nuit entière dans le 2^{ème}, 3^{ème} ou 4^{ème} bassin de repos et a été reçu le lendemain, en milieu de matinée, dans le dernier bassin de repos, avant de franchir l'aménagement en fin de matinée. La franchissabilité du dispositif ne paraît pas optimale, 5 incursions à l'intérieur du dispositif n'ayant pas été suivies de son franchissement.

Les durées de présence dans la passe à poissons lors de 8 des 11 incursions à l'intérieur de la passe à poissons suivies du franchissement de l'aménagement ont pu être déterminées. Sans prendre en compte le poisson qui est resté 17 heures dans la passe à poissons de nuit, 4 individus sont restés moins de 1 heure 30 à l'intérieur du dispositif, 1 y a séjourné 2 heures et 2 enfin ont franchi la passe à poissons en 3 heures.

Les saumons stationnent généralement peu de temps dans le premier bassin de repos : deux seulement sur les 10 durées enregistrées ont été supérieures à 4 minutes (7 et 13 minutes).

Les durées dans les deuxième et troisième bassins sont homogènes et plus importantes qu'au niveau du premier bassin, 6 des 8 temps de stationnement étant compris entre 10 et 20 minutes pour une moyenne de 13,3 minutes.

Les durées de présence dans le quatrième bassin sont nettement plus élevées que dans les autres bassins aval : un saumon sur les 4 poissons reçus n'a été reçu que 9 minutes, les 3 autres ayant stationné plus de 30 minutes (moyenne : 44,7 minutes). La chute relativement importante (entre 45 et 55 cm) entre ce bassin de repos et le bassin à parois déversantes amont peut expliquer les durées importantes de stationnement des saumons. L'observation visuelle du saumon radiomarcué qui est resté le moins longtemps dans ce bassin a mis en évidence un des comportements caractéristiques d'un poisson au pied d'une chute. Ce saumon a sorti la tête au moins 2 fois hors de l'eau au pied de la chute avant de passer à l'amont, dans la lame déversante.

Les durées de présence dans le cinquième bassin de repos sont peu homogènes et varient de 12 minutes à plus d'une heure, la moyenne étant de 32,4 minutes. Trois des 6 durées enregistrées sont comprises entre 12 et 25 minutes.

DISCUSSION - CONCLUSION

Trente-deux des 43 saumons marqués et lâchés à Puyoo sont parvenus jusqu'à l'aménagement de Baigts, situé 8 kilomètres à l'amont, les délais variant de 8 heures à près de 49 jours. Cette hétérogénéité dans les résultats est comparable à celle obtenue par d'autres auteurs, en particulier SMITH, JOHNSTONE et SHEARER (1996), qui ont mis en évidence des délais allant de 5 à 57 jours, les poissons étant pourtant lâchés à la même date et le point de lâcher n'étant distant de l'obstacle que de 1 kilomètre.

Sur ces 32 poissons, 2 saumons ont régurgité leur émetteur (4,6 %). Ce taux de régurgitation est plus faible que ceux mis en évidence par SMITH, CAMPBELL et MACLAINE (1998) qui étaient compris entre 12,5 % et 16,7 %.

Quatre poissons, bloqués par l'aménagement de Baigts, ont dévalé et ont ensuite été retrouvés sur d'autres rivières, deux sur le gave d'Oloron et deux sur un de ses affluents, le Saison. Un saumon, marqué fin juillet à Puyoo, a dévalé peu de temps après le lâcher puis est resté plus de 15 jours au niveau de la confluence du gave de Pau et du gave d'Oloron avant de retourner en mer et d'être piégé fin novembre sur la Nivelle, au niveau d'une station de contrôle. D'autres études ont révélé de tels comportements (LAUGHTON, 1991 ; STONEHEWER, WALTERS et MEE, 1993), certains poissons pouvant remonter un cours d'eau sur plus de 20 kilomètres avant de dévaler (MILNER, 1990).

Seulement 34 % des poissons qui se sont présentés au pied de l'aménagement ont réussi à passer à l'amont, les durées de blocage pouvant atteindre près de 80 jours. Les poissons qui n'ont pas franchi l'obstacle sont restés bloqués jusqu'à 137 jours à l'aval de l'ouvrage. L'impact de cet obstacle sur la migration des saumons, à la fois en terme de pourcentage et de retard à la migration, est incompatible avec tout plan de restauration du saumon sur le gave de Pau.

La majorité des poissons a stationné bien à l'aval de l'obstacle au cours du blocage dans un profond s'étendant de 500 m à 1,2 kilomètre à l'aval de l'obstacle. Ce comportement est vraisemblablement lié à la topographie du site d'étude, aucune zone de stationnement propice ne se trouvant à proximité de l'aménagement.

Les temps de présence en continu des poissons sur le site et les départs à l'aval étaient généralement de courtes durées, inférieures à 1 heure, les saumons se repliant au maximum à 200-300 m à l'aval de l'ouvrage et stationnant préférentiellement en rive gauche, en limite du courant principal. Pour des replis de durées plus importantes supérieures à 6 heures, les poissons étaient très souvent localisés dans le profond mentionné plus haut.

Il est généralement admis que la migration du saumon atlantique dans les parties non obstruées des cours d'eau se déroule principalement de nuit (BANKS, 1969 ; SMITH 1985 ; HAWKINS et SMITH, 1986 ; WEBB, 1989 ; LAUGHTON, 1991 ; MILNER, 1990 ; JONSSON, 1991), des déplacements vers l'amont pouvant toutefois avoir lieu en pleine journée en période de crue (HELLAWELL, LEATHAM et WILLIAMS, 1974 ; LAUGHTON 1989). Par contre, au niveau des obstacles, très peu de données concernant le comportement des poissons ont été recueillies. Les seules données accessibles sont le plus souvent les chronologies des passages dans les dispositifs de franchissement passages qui semblent être majoritairement diurnes dans les passes à bassins (DARTIGUELONGUE et LANGON, 1998) et variables au niveau de seuils de comptage (DUNKLEY et SHEARER, 1982 ; SMITH, JOHNSTONE et DUNKLEY, 1996 ; SMITH et SMITH, 1997). Ces résultats quelque peu contradictoires sont certainement plus le reflet de la distribution temporelle, et en particulier nycthémérale, des conditions permettant aux poissons de franchir l'obstacle que de la variation temporelle de leur motivation à migrer (CRISP, 1996).

Lors des trois années d'expérimentation, la grande majorité des poissons a été présente en pleine journée au pied de l'aménagement, aucun poisson n'ayant stationné préférentiellement de nuit au niveau de l'obstacle. De plus, l'activité des poissons a été nettement supérieure de jour au pied de l'ouvrage.

Les poissons ont semblé présenter une certaine rythmicité comportementale au cours du nycthémère. Les arrivées au pied de l'obstacle, après des départs supérieurs à 6 heures, se sont effectuées majoritairement à l'aube, les poissons se présentant très rarement de nuit au niveau de l'aménagement. Ce résultat est comparable à celui obtenu par SMITH, JOHNSTONE et SHEARER (1996) mais semble différent de celui de STONEHEWER, KIRKPATRICK et MEE (1995) qui n'ont pas mis en évidence de préférence au cours du nycthémère. Les départs ont été beaucoup plus étalés que les arrivées, un nombre important d'entre eux survenant en fin de journée, au crépuscule, une fraction non négligeable s'effectuant toutefois le matin, correspondant aux incursions de faibles durées sur le site.

Il semblerait ainsi y avoir chez le saumon atlantique, comme l'avance BANKS (1969), un conflit entre le besoin de lumière pour franchir les obstacles et une préférence pour la nuit sur les parties de cours d'eau sans obstacle.

La présence des poissons au niveau de l'aménagement de Baigts est apparue liée à la température moyenne journalière de l'eau, les saumons se présentant plus fréquemment au pied de l'obstacle lorsque les températures étaient supérieures à 16°C. Les saumons étaient également plus actifs au pied de l'aménagement. Il est généralement admis que l'activité augmente avec les températures de l'eau (JONSSON, 1991) jusqu'à une certaine valeur variant, selon les auteurs, entre 22°C et 24-25°C (ELSON, 1969 ; ALABASTER, 1990). Les poissons stationnaient toutefois moins longtemps au pied de l'obstacle et en particulier dans le canal de fuite, révélant peut être un *preferendum* thermique de valeur inférieure.

Les saumons ont stationné moins de temps au pied de l'obstacle lorsque les débits étaient supérieurs à 100 m³/s. Ces conditions hydrologiques correspondent à des coups d'eau généralement associés à une augmentation de la turbidité.

Le canal de fuite, par où transite le débit turbiné par l'usine, est resté une zone toujours attractive. Les poissons ont stationné toutefois nettement moins longtemps au pied de l'usine lorsque les températures de l'eau étaient élevées, supérieures à 20°C.

La zone située à l'aval de la jetée, zone hydrauliquement protégée mais située à proximité du canal de fuite, a été plus fréquentée lorsque les débits turbinés étaient supérieurs à 50 m³/s. Un comportement similaire de salmonidés au pied d'un obstacle a déjà été mis en évidence par RAINEY (1991).

Les durées de présence des saumons au pied du barrage ont été proportionnellement plus importantes lorsque les débits turbinés étaient inférieurs à 50 m³/s.

Les poissons ont stationné plus longtemps au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement pour des débits turbinés supérieurs à 50 m³/s. La présence des poissons au pied de la passe à poissons est très certainement la conséquence d'un comportement exploratoire prononcé, les saumons devant en effet traverser la vaste zone de faible profondeur située à l'aval des vannes du barrage, généralement peu attractive car alimentée (hors période de déversement) uniquement par le débit de la passe à poissons et les fuites au niveau des vannes du barrage. Ces déplacements pourraient ainsi être facilités par des débits plus importants, généralement liés à des profondeurs d'eau plus importantes.

Les saumons qui ont franchi l'aménagement ont présenté un comportement différent de celui des poissons qui ne sont pas parvenus à passer à l'amont. Ils ont été plus actifs au niveau de l'aménagement, se présentant plus souvent au niveau de l'obstacle et se

déplaçant davantage au pied de l'aménagement. De plus, ils ont été beaucoup plus présents au niveau de l'entrée du dispositif de franchissement révélant un comportement exploratoire plus marqué.

Tous les saumons se sont présentés plusieurs fois au pied de la passe à poissons. De plus, les délais entre les arrivées initiales des poissons sur le site et leur venue au niveau de l'échelle étaient peu élevés (en moyenne 12,5 heures) pour la grande majorité des saumons.

La faible efficacité du dispositif de franchissement ne peut donc être uniquement attribuée à sa position, sur la berge opposée au canal de fuite de l'usine.

REMERCIEMENTS

Ces études ont bénéficié de l'aide technique de J.M. Bach, O. Croze, E. Galiay et F. Giroux ainsi que des équipes de piégeage de MIGRADOURL.

Nous remercions la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques des Pyrénées Atlantiques, le Conseil Supérieur de la Pêche, en particulier la Brigade Mobile d'Intervention de la Délégation Régionale Midi-Pyrénées, et Électricité De France, notamment le sous-groupe d'Oloron et le groupement de Baigts de Béarn.

BIBLIOGRAPHIE

- ALABASTER J.S., 1990. The temperature requirements of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., during their upstream migration in the River Dee. *J. Fish Biol.*, 37, 659-661.
- BANKS J.W., 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *J. Fish. Biol.*, 1, 85-136.
- BARAS E., LAGARDERE J.P., 1995. Fish telemetry in aquaculture : review and perspectives. *Aquaculture International*, 3, 77-102.
- CHANSEAU M., CROZE O., LARINIER M., 1999. Impact des aménagements sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le gave de Pau (France). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 353/354, 211-238.
- CRISP D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine european salmonic fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, 323, 201-221.
- DARTIGUELONGUE J., LANGON M., 1998. Contrôle du fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Tuilières en 1997. Suivi de l'activité ichthyologique. Rapport S.C.E.A pour M.I.G.A.D.O., 33 p.
- DUNKLEY D.A., SHEARER D.W., 1982. An assessment of the performance of a resistivity fish counter. *J. Fish Biol.*, 20, 717-737.
- ELSON P.F., 1969. High temperature and river ascent by Atlantic salmon. Anadromous and Catadromous Fish Committee, ICES. Dublin, Eire, 1969. C.M 1969/M : 12, 5 p.
- HAWKINS A.D., SMITH G.W., 1986. Radio-tracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire Dee. Scottish Fisheries Research Report, 36, 24 p.
- HELLAWELL J.M., LEATHAM H., WILLIAMS G.I., 1974. The upstream migratory behaviour of salmonids in the River Frome, Dorset. *J. Fish Biol.*, 6, 729-744.

- JENSEN A.J., HEGGBERGET T.G., JOHNSEN B.O., 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, *salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. *J. Fish Biol.*, 29, 459-465.
- JENSEN A.J., JOHNSEN B.O., HANSEN L.P., 1989. Effect of river flow and water temperature on the upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. In : Proceedings of the second international symposium on salmonid migration and distribution, BRANNON E. and JONSSON B. (Eds.), Trondheim, Norway, 140-146.
- JENSEN A.J., HVIDSTEN N.A., JOHNSEN B.O., 1998. Effects of temperature and flow on the upstream migration of adult Atlantic salmon in two Norwegian Rivers. In : Fish migration and fish bypasses, JUNGWIRTH M., SCHMUTZ S. and WEISS S. (Eds.), Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, 45-54.
- JONSSON N., 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.*, 66, 20-35.
- KENARD B.E., 1991. Anadromous fish behaviour important for fish passage. Proceedings of the workshop on fish passage at hydroelectric developments, WILLIAMS U.P., SCRUTON D.A., GOOSNEY R.F., BOURGEOIS C.E., ORR D.C. and RUGGLES C.P. (Eds.). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1905, 95-105.
- LAUGHTON R., 1989. The movements of adult salmon within the River Spey. Scottish Fisheries Research Report, 41, 19 p.
- LAUGHTON R., 1991. The movements of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Spey as determined by radiotelemetry during 1988 and 1989. Scottish Fisheries Research Report, 50, 34 p.
- MILNER N.J. (ed.), 1990. Fish movements in relation to fresh water flow and quality. Proceedings of Atlantic Salmon Trust/Wessex Water Workshop, Pitlochry, Atlantic Salmon Trust, 51 p.
- NORTHCOTE T.G., 1998. Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. In : Fish migration and fish bypasses, JUNGWIRTH M., SCHMUTZ S. and WEISS S. (Eds.), Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, 3-18.
- POTTER E.C.E., 1988. Movements of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in an estuary in south west England. *J. Fish Biol.*, 33 sup. A, 153-159.
- RAINEY W.S., 1991. Recent adult fish passage projects on tributaries of the Columbia River. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 10, 278-288.
- SMITH R.J.F., 1985. The control of fish migration. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 243 p.
- SMITH I.P., SMITH G.W., 1997. Tidal and diel timing of river entry by adult Atlantic salmon returning to the Aberdeenshire Dee, Scotland. *J. Fish Biol.*, 50, 463-474.
- SMITH I.P., JOHNSTONE A.D.F., DUNKLEY D.A., 1996. Evaluation of a portable electrode array for a resistivity fish counter. *Fish. Manage. Ecol.*, 3, 129-141.
- SMITH G.W., JOHNSTONE A.D.F., SHEARER W.M., 1996. The behaviour of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) at a borland lift fish pass as determined by radiotelemetry. Fisheries Research Services Report No. 7/96. Scottish Office Agriculture Environment and Fisheries Department, 12 p.
- SMITH G.W., CAMPBELL R.N.B., MACLAINE J.S., 1998. Regurgitation rates of intragastric transmitters by adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during riverine migration. *Hydrobiologia*, 371/372, 117-121.
- STONEHEWER R.O., WALTERS D.W., MEE D.M., 1993. A draft report on the results of the Tawe barrage fisheries impact studies 1993. National Rivers Authority, Welsh Region, South West Area, Report No. PL/EAW/93/6.

- STONEHEWER R.O., KIRKPATRICK A.J., MEE D.M., 1995. The results of the Tawe barrage post impoundment fisheries impact studies 1993-1994. Environment Agency (Welsh Region), Report No. PL/EAW/95/4, 53 p.
- WEBB J., 1989. The movements of adult Atlantic salmon in the River Tay. Scottish Fisheries Research Report, 44, 32 p.