



EDF R&D

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

GESTION HYDRO-ENVIRONNEMENTALE DES OUVRAGES

6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

22 janvier 2010

**FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR
L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON
Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-
Béarn (64)
Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines**

François TRAVADE

LARINIER Michel

ONEMA

SUBRA Sébastien

EDF R&D

GOMES Peggy

ONEMA

Eric DE OLIVEIRA

H-P76-2009-02948-FR

1.0

L'étude, réalisée de 2004 à 2006 au cours de trois campagnes in situ, avait pour objectif la recherche de solutions pour minimiser les mortalités résultant du passage des anguilles argentées en dévalaison dans les turbines de centrales hydroélectriques. 116 anguilles ont été suivies par télémétrie (radiopistage et transpondeurs RFID -Radio Frequency IDentification) sur le Gave de Pau à l'amont de la centrale de Baigts avec plusieurs objectifs : déterminer les conditions de milieu propices à l'arrivée des anguilles au droit de l'aménagement, quantifier les voies de franchissement de l'aménagement, analyser le comportement des anguilles devant les ouvrages, tester la fonctionnalité pour l'anguille d'exutoires de surface utilisés pour le saumon ou d'exutoires profonds et tester la faisabilité d'utilisation de grilles à faible espacement à l'entrée des prises d'eau. L'étude fait apparaître que le débit du cours d'eau et ses variations, jouent un rôle majeur tant sur le comportement des anguilles que sur les voies de franchissement (turbines, évacuateurs de crue ou exutoire). L'échappement (passages par des voies autres que les turbines) a pu être modélisé en fonction de la taille des anguilles et des débits (usine et cours d'eau). Les exutoires de surface utilisés pour le saumon s'avèrent être partiellement fonctionnels pour l'anguille. L'utilisation de grilles fines devant les prises d'eau permet un échappement des anguilles à condition de ne pas dépasser un seuil de vitesse d'écoulement (risque de mortalité). Ces grilles occasionnent un certain retard dans la migration.



EDF R&D

NATIONAL HYDRAULICS AND ENVIRONMENT LABORATORY
HYDRO-ENVIRONMENTAL POWER PLANTS MANAGEMENT
6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

January 22 2010

DOWNSTREAM PASSAGE OF SILVER EELS AT HYDROELECTRIC PLANTS
Study of the pathways at the hydroelectric plant Baigts-de-Béarn (64)
Test of downstream bypasses and small spacing trashrack

François TRAVADE

LARINIER Michel

ONEMA

SUBRA Sébastien

EDF R&D

GOMES Peggy

ONEMA

Eric DE OLIVEIRA

H-P76-2009-02948-FR

1.0

The study, conducted from 2004 to 2006 during three operations on field, was to find solutions to minimize mortalities resulting from the passage of silver eel through the hydroelectric turbines. 116 eels have been monitored by telemetry (radio-tracking and PIT tagging) on the Gave de Pau river upstream the Baigts hydro power plant (HPP) with several objectives: determine the environmental conditions occurring at the arrival of eels near the HPP, quantify the pathways at the plant, analyze the eels behavior close to the HPP, test the functionality for silver eel of surface bypasses used for salmon or specific deep bypasses and test the feasibility of using small bar spacing trashrack to the water intake. The study shows that the river discharge and its variations play a major role on the eel behavior and on the pathways (turbines, spillway or bypass). The escapement (passage through pathways other than the turbines) could be modelized according to the size of eels and flow rates (plant and river). The surface bypass used for salmon appears to be partially operational for eel. The use of small bar spacing trashracks at water intakes allows the escapement of eels if water velocity does not exceed a threshold value (mortality risk by impingement). These trashracks cause some delay in migration.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--

Liste de diffusion

Groupe destinataire	

Destinataire	Entité / Structure	Diffusion
Alain CAUSSE	EDF R&D - DIR R&D	alain.causse@edf.fr
Gérard LABADIE	EDF R&D - DIR R&D	gerard.labadie@edf.fr
Jean-pierre BOUCHARD	EDF R&D - LNHE	jean-pierre.bouchard@edf.fr
Eric DE OLIVEIRA	EDF R&D - LNHE	eric.de-oliveira@edf.fr
Cécile DELATTRE	EDF R&D - LNHE	cecile.delattre@edf.fr
Bruno DUPUIS	EDF R&D - LNHE	bruno.dupuis@edf.fr
Véronique GOURAUD	EDF R&D - LNHE	veronique.gouraud@edf.fr
Jean-daniel MATTEI	EDF R&D - LNHE	jean-daniel.mattei@edf.fr
Laurent PEROTIN	EDF R&D - LNHE	laurent.perotin@edf.fr
Pascal POULHE	EDF R&D - LNHE	pascal.poulhe@edf.fr
Paul THELLIER	EDF R&D - LNHE	paul.thellier@edf.fr
Regis THEVENET	EDF R&D - LNHE	regis.thevenet@edf.fr
Laurence TISSOT	EDF R&D - LNHE	laurence.tissot@edf.fr
François TRAVADE	EDF R&D - LNHE	francois.travade@edf.fr
Tim KESTENS	UP CENTRE - E M UP CENTRE	tim.kestens@edf.fr
LACROIX Claudine	AEAG	claudine.lacroix@eau-adour-garonne.fr
MASSON Angélique	AEAG	angelique.masson@eau-adour-garonne.fr
TESEYRE Dominique	AEAG	dominique.tesseire@eau-adour-garonne.fr
RAVEL-SIBILLOT Frédéric	Attaché Bassin Loire-Bretagne	frederic.ravel-sibillot@edf.fr
CORGNET Bruno	CIDEN	Bruno.Corgnet@edf.fr
Marie MERLE	CIDEN	marie.merle@edf.fr
ALLAIN Camille	CIT	camille.allain@edf.fr
ELIE Pierre	Cemagref	pierre.elie@bordeaux.cemagref.fr
GONTHIER Paul	Cemagref	paul.gonthier@bordeaux.cemagref.fr
ROCHARD Eric	Cemagref	eric.rochard@bordeaux.cemagref.fr
BORGNE Bruno	DPIT	bruno.borgne@edf.fr
THOMAS Marie-Hélène	DPN	Marie-Hélène.Thomas@edf.fr
LAGARRIGUE Thierry	ECOGEA	thierry.lagarrigue@ecogea.fr
VOEGTLE Bruno	ECOGEA	bruno.voegtle@ecogea.fr
OSSELIN Pascal	EDF Attaché de Bassin Adour-Garonne	pascal.osselin@edf.fr
DUMOND Lionel	EDF CIH	lionel.dumont@edf.fr
LINE Katrin	EDF CIH	Katrin.line@edf.fr
VILLEMUR Andre	EDF GEH ADOUR	andre.villemur@edf.fr
CROSNIER Gilles	EDF METE	gilles.crosnier@edf.fr
GADET Aymeric	EDF METE	aymeric.gadet@edf.fr
Charles TEISSON	EDF UPSO	charles.teisson@edf.fr
DEFOSSEZ Philippe	EDF délégué de Bassin Loire-Bretagne	philippe-franc.defossez@edf.fr
ANTHIAN Patrick	GEH Adour	patrick.anthian@edf.fr
CASAUX-SAFFORES Yan	GEH Adour	yan.casaux-saffores@edf.fr
CUENDE François Xavier	Institution Adour	f.cuende@cg64.fr
PERONY Michele	MIGRADOUR	migradour@migradour.fr
BARAN Philippe	ONEMA	baran@imft.fr
BAU Frédérique	ONEMA	frederique.bau@imft.fr
CHAMBEU Gerard	ONEMA	gerard.chambeu@onema.fr
GOMES Peggy	ONEMA	peggy.gomes@imft.fr
LARINIER Michel	ONEMA	larinier@imft.fr
TOLLIE Annabelle	UP Alpes	annabelle.tollie@edf.fr
DECOUX Roland	UP Centre	roland.decoux@edf.fr
LACAVE Thomas	UP Est	thomas.lacave@edf.fr
GERENTE Pierre	UP Med	pierre.gerente@edf.fr
LERAY Vincent	UPS0	vincent.leray@edf.fr

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--



**FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR
L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON**
**Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-
Béarn (64)**
Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines



F. TRAVADE, M. LARINIER, S. SUBRA, P. GOMES, E. DE-OLIVEIRA

RAPPORT EDF R&D N°H-P76-2009-02948-FR
RAPPORT GHAAPPE RA09.05

Décembre 2009

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Synthèse

Cette étude s'inscrit dans un programme de recherche sur la minimisation des effets des obstacles à la migration de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), qui fait l'objet d'exigences croissantes dans la mesure où cette espèce est en très forte régression depuis quelques années en France et en Europe. Le règlement européen (CE) N° 1100/2007 du Conseil du 18 septembre 2007, institue des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes incluant la nécessité, pour tous les Etats Membres, de réduire les mortalités anthropiques sur l'espèce. Les centrales hydroélectriques sont susceptibles d'engendrer, dans certain cas, des mortalités significatives sur les adultes en dévalaison qui sont entraînés dans les turbines. A ce jour, ces mortalités sont peu connues car elles dépendent essentiellement de la proportion d'individus qui passent effectivement par les turbines. Par ailleurs, aucun « dispositif de dévalaison » destiné à éviter l'entraînement dans les prises d'eau n'a donné lieu à ce jour à des installations industrielles vraiment opérationnelles.

La présente étude conduite sur l'aménagement hydroélectrique EDF de Baigts (Gave de Pau) était destinée à répondre à plusieurs questions relatives au mode de franchissement d'un aménagement hydroélectrique par les anguilles et à la mise au point de dispositifs de dévalaison :

- dans quelles conditions de milieu les anguilles arrivent-elles au droit de l'aménagement ?
- quelles sont, en l'absence de dispositifs spécifiques de dévalaison, les voies de franchissement de l'aménagement et en particulier quelles sont les probabilités d'échappement par les évacuateurs de crue ?
- quel est le comportement des anguilles argentées au voisinage de l'aménagement, et en particulier au niveau des grilles de prise d'eau ?
- les dispositifs de dévalaison utilisés pour le saumon (exutoires de dévalaison implantés en surface au voisinage des grilles de prise d'eau) sont ils efficaces et utilisables pour l'anguille argentée ?
- l'utilisation de grilles de prise d'eau à faible espacement agissant comme une barrière physique permet-elle le franchissement sans dommage de l'aménagement, par quelles voies (évacuateurs ou exutoires) et avec quel délai ?

Mise en œuvre de l'étude

L'aménagement de Baigts se compose d'un barrage-usine dont le débit d'équipement est de 90 m³/s auquel a été rajouté en 2006 une micro-centrale turbinant 12 m³/s. La prise d'eau de l'usine principale est équipée de grilles à barreaux de 30 mm d'espacement et celle de la micro-centrale de grilles à espacement de 20 mm. Plusieurs exutoires de dévalaison ont été testés : un exutoire de surface, fonctionnel pour le saumon, implanté à proximité de la prise d'eau de l'usine principale qui a été provisoirement modifié en exutoire « de profondeur » (entrée à 7 m sous la surface) lors de la campagne 2005, et trois exutoires (2 de surface et un situé en profondeur) implantés sur la prise d'eau de la micro-centrale.

L'étude in situ a été conduite de 2004 à 2006 durant trois saisons de migration de l'anguille (octobre à février) à l'aide de techniques télémétriques (radiopistage et transpondeurs RFID¹). 116 anguilles équipées d'émetteurs radio et de transpondeurs ont été suivies dans le Gave de Pau et au droit de l'aménagement hydroélectrique. Grâce à l'installation d'enregistreurs appropriés, installés en diverses zones à l'amont immédiat de l'aménagement hydroélectrique, les voies de franchissement de l'aménagement ont été déterminées et le comportement des anguilles, tant au niveau de la retenue que des grilles de prise et des exutoires de dévalaison, a pu être analysé.

En 2004 et 2005, le radiopistage a été effectué sur des anguilles de taille moyenne, dont la majorité pouvait passer au travers des grilles de prise d'eau. En 2006, de façon à tester l'effet d'une grille

¹ RFID : Radio Frequency Identification : technologie d'étiquetage par puce électronique lisible à distance

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

infranchissable sur le comportement de l'anguille et sur son échappement, des anguilles de plus grande taille dont la majorité ne pouvait pas passer au travers de la grille de prise d'eau ont été utilisées.

Comportement de dévalaison dans le cours d'eau

Les épisodes de dévalaison dans le Gave de Pau sont intermittents et se produisent lors de « fenêtres environnementales » essentiellement influencées par les variations de débit dans le cours d'eau et par le nycthémère. Les migrations les plus actives, se produisent lors de « coups d'eau » correspondants à des augmentations rapides de débit du Gave. En dehors de ces périodes, certains individus restent immobiles et d'autres effectuent une dévalaison lente et « exploratoire ». Les dévalaisons sont essentiellement nocturnes : 90% des individus arrivent sur le site de Baigts au crépuscule ou la nuit (17h à 7h).

Voies de franchissement de l'aménagement

Sur les trois campagnes, les voies de franchissement de l'aménagement empruntées par les 116 individus radiopistés ont été les évacuateurs de crue (41%), les turbines (41%), les exutoires de dévalaison (15%) et l'ancienne passe à poissons (3%). L'échappement, c'est à dire les passages par les voies autres que les turbines (évacuateurs de crue, exutoire de dévalaison) a été en moyenne de 59%, mais a varié notablement selon les années (respectivement 40%, 46% et 92% en 2004, 2005 et 2006) selon l'hydraulicité du Gave, et le fait que les anguilles pouvaient ou non franchir la grille de prise d'eau (fort échappement en 2006).

Comportement des anguilles à l'amont de l'aménagement et devant les grilles de prise d'eau

Cinq types de comportement ont été distingués à l'amont de l'aménagement et au niveau des grilles de prise d'eau : échappement direct et rapide par les **évacuateurs**, franchissement direct et rapide par les **turbines**, franchissement par les **turbines** après exploration du site, passage par les **évacuateurs ou l'exutoire** après exploration du site et enfin franchissement par les **évacuateurs ou l'exutoire** après blocage de longue durée en amont de l'aménagement.

Ce comportement s'est avéré dépendre étroitement de deux facteurs : d'une part les débits du Gave, et en particulier les débits déversés au barrage lors de l'arrivée des anguilles sur le site, et d'autre part, la taille des individus. Un « patron de franchissement » a pu peut être établi en fonction de la taille des individus et du débit du Gave lors de l'arrivée des anguilles sur le site:

- Les anguille de grande taille (>800 mm), bloquées par la grille de prise d'eau, explorent la prise d'eau, en général à plusieurs reprise, puis s'échappent par les évacuateurs ou par l'exutoire, plus ou moins rapidement selon la valeur du débit déversé. En l'absence de débit déversé, elles sont susceptibles de rester bloquées un temps relativement important (plusieurs jours) en amont de l'aménagement soit dans l'attente de l'ouverture des vannes de crues soit pour trouver l'entrée de l'exutoire.
- Les anguilles de petite taille (<600-650 mm), franchissent très rapidement l'aménagement. Leur passage peut se faire indifféremment par les évacuateurs ou par les turbines en fonction de Q_{dev}/Q_{total} (ratio débit déversé/débit du Gave), les grilles paraissant transparentes à la migration. En période de faible débit, et en l'absence de déversement au barrage, le franchissement des grilles et leur passage par les turbines se fait moins rapidement.
- Le comportement des anguilles de taille intermédiaire semble influencé par les grilles, même si celles-ci sont perméables : leur franchissement se fait généralement moins rapidement que pour les petites anguilles. Leur passage peut se faire par les évacuateurs ou par les turbines en fonction de Q_{dev}/Q_{total} mais en proportion moindre par les turbines que pour les petits individus pour un même ratio débit déversé/débit turbiné.
- En période de fort déversement, les passages se font préférentiellement par les évacuateurs, et ce, quelle que soit la taille des individus.

Modélisation de l'échappement

L'échappement par les évacuateurs et l'exutoire de dévalaison a été modélisé par une régression

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

logistique en fonction de (Q_{dev}/Q_{total}) (rapport débit déversé sur débit total du Gave), et de (L_t/e) , (rapport longueur des individus sur espacement des barreaux de la grille de prise d'eau). L'expression de la probabilité d'échappement (P) par les ouvrages évacuateurs pour une anguille de longueur L_t est la suivante :

$$P = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$$

où :

$$\eta = -6.88794 + 4.28269 * (Q_{dev}/Q_{total}) + 0.0273 * L_t/e$$

Cette régression montre que le blocage par les grilles se produit pour un rapport L_t/e de l'ordre de 28.5-30 et qu'elles deviennent « transparentes » pour un rapport L_t/e inférieur à 18.5-20.

Le modèle logistique montre que pour le site de Baigts, équipé d'une grille à 30 mm d'espacement, et pour une répartition 50%/50% des débits par les turbines et les évacuateurs, 50% des anguilles de 500-550 mm de longueur, 75% des anguilles de 650 mm de longueur (taille moyenne des anguilles utilisée dans les expérimentations de 2004 et 2005), et 95% des anguilles de 850 mm (taille moyenne dans l'expérimentation de 2006) passent par les évacuateurs.

Ce modèle, qui prend en compte implicitement la configuration particulière du site de Baigts (nature des évacuateurs, positionnement et orientation de la prise d'eau...) n'est pas extrapolable directement à d'autres usines hydroélectriques, mais les expérimentations en cours sur le Gave de Pau (collaboration ONEMA-EDF) qui consistent à quantifier les voies de passage sur 5 aménagements hydroélectriques de caractéristiques différentes, pourront apporter les éléments nécessaires à cette extrapolation.

Exutoires de dévalaison

Deux exutoires de dévalaison ont été testés sur la centrale principale (rive droite): le premier, situé en surface (et fonctionnel pour le saumon) a permis le passage de 18% à 22% (respectivement pour 2004 et 2006) des anguilles ayant franchi l'aménagement de Baigts. Le second, situé en profondeur, n'a permis en 2005 que le passage d'un seul individu. Par ailleurs, en 2006, les trois exutoires de la nouvelle micro-centrale installée en rive gauche (2 exutoires de surface et un exutoire en profondeur) ont été suivis. Un seul individu sur les 20 venus à proximité de la prise d'eau a emprunté l'un des exutoires (exutoire de surface).

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de cette expérimentation : (i) la fonctionnalité, pour l'anguille, d'exutoires associés aux grilles de prise d'eau tels qu'ils sont utilisés pour le saumon (fonctionnement basé sur la répulsivité comportementale des grilles pour le saumon) est limitée par le fait que les grilles ont un effet répulsif très peu marqué sur les anguilles de petite taille ($L < 650$ mm pour la grille de 30 mm de Baigts) qui passent à travers la grille sans prospection ; (ii) le positionnement en surface de l'exutoire semble être adéquat, même sur une retenue de profondeur conséquente (10-12 m à Baigts) puisque, lorsqu'elles sont bloquées par les grilles de prise d'eau, la quasi-totalité des anguilles font des incursions devant l'entrée de l'exutoire ; (iii) Il est difficile de trancher sur la fonctionnalité d'un exutoire situé en profondeur du fait que la position de celui testé à Baigts n'était ni en surface ni réellement au fond puisque situé à 3 m au dessus du fond de la retenue ; (iiii) la mise en opération des exutoires de surface existants pour le saumon est utile sur des sites comme Baigts (barrages-usines) car ils peuvent contribuer partiellement à l'échappement et indiscutablement nécessaire sur des sites munis de canaux d'amenée où la prise d'eau représente un cul de sac. La fonctionnalité de ces exutoires sera d'autant plus importante qu'ils seront associés à des grilles à espacement suffisamment fin pour bloquer la majeure partie des individus.

Utilisation de grilles fines à la prise d'eau

La simulation d'une grille fine par utilisation d'anguilles de grande taille en 2006 a montré l'efficacité de cette solution puisque l'échappement par les évacuateurs de crue et les exutoires a été de 92% en 2006 alors qu'il était de 40% et 46% en 2004 et 2005 respectivement dans des conditions hydrologiques similaires. Les anguilles, après des explorations multiples de la prise d'eau, sont passées partiellement par l'exutoire de dévalaison et principalement par les évacuateurs de crue lors des augmentations de débit du Gave, ce qui s'est traduit par un retard à la migration de plusieurs

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	---	--

jours, sous la dépendance de l'hydrologie du Gave. Aucun plaquage des anguilles sur les grilles n'a été observé avec des vitesses moyennes d'écoulement à l'approche des grilles (rapport du débit turbiné sur la surface des grilles) comprises entre 0.10 m/s et 0.41 m/s sur la prise d'eau de l'usine principale et de 0.29 m/s sur la prise d'eau de la micro-centrale. Ceci tendrait à valider le critère de vitesse maximale de 0.50 m/s préconisé en Allemagne pour éviter le placage et la mortalité afférente sur les grilles.

Les tests de franchissement de grilles et les résultats des expérimentations au cours des trois années ont montré que les grilles à 30 mm d'espacement interdisait le passage dans les turbines d'anguilles de taille supérieure à 850 mm. Avec des grilles d'espacement 20 mm, l'entraînement dans les turbines d'anguilles de tailles supérieures à 550-600 mm deviendrait très faible, alors que la perméabilité demeurerait importante sinon totale pour les anguilles de taille inférieure à 350-400 mm.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--

Sommaire / Summary

PAGE DE GARDE	1
FRONT PAGE	2
CIRCUIT DE VALIDATION	3
PRE-DIFFUSION.....	3
LISTE DE DIFFUSION	4
SYNTHÈSE	2
SOMMAIRE / SUMMARY	6
1. AVANT-PROPOS.....	8
2. CONTEXTE	9
3. SITE D'ETUDE – METHODES	11
3.1. LE SITE DE BAIGTS	11
3.2. PROTOCOLE D'ETUDE.....	15
3.3. OBJECTIFS ET DEROULEMENT DES ETUDES. CARACTERISTIQUES DES ANGUILLES RADIOPISTEEES	17
4. PARAMETRES DE MILIEU	20
4.1. DEBIT DU GAVE DE PAU	20
4.2. PARAMETRES DE QUALITE D'EAU.....	21
5. CARACTERISTIQUES DE LA DEVALAISON ET COMPORTEMENT DES ANGUILLES DANS LE GAVE EN AMONT DE BAIGTS.....	22
5.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA MIGRATION.....	22
5.2. INFLUENCE DES PARAMETRES DE MILIEU SUR LES DEPLACEMENTS DANS LE GAVE	22
6. FRANCHISSEMENT DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE.....	26
6.1. TAUX D'ÉCHAPPEMENT ET VOIES DE FRANCHISSEMENT DE 2004 A 2006.....	26
6.2. INFLUENCE DES PARAMETRES DE MILIEU SUR LE FRANCHISSEMENT DE BAIGTS.....	28
6.2.1. <i>Effet du nyctémère</i>	<i>28</i>
6.2.2. <i>Débit du Gave lors du franchissement de Baigts.....</i>	<i>28</i>
6.2.3. <i>Effet du débit sur les voies de franchissement.....</i>	<i>30</i>
6.3. INFLUENCE DE LA TAILLE DES ANGUILLES SUR LES VOIES DE FRANCHISSEMENT	34
7. COMPORTEMENT DES ANGUILLES DEVANT L'AMENAGEMENT ET DEVANT LES GRILLES DE PRISE D'EAU	35
7.1. PARAMETRES CARACTERISANT LE COMPORTEMENT DE L'ANGUILLE.....	35
7.2. TYPOLOGIE DU COMPORTEMENT	36
8. PASSAGES PAR LES EXUTOIRES DE DEVALAISON	44
8.1. QUANTIFICATION DES PASSAGES PAR LES EXUTOIRES	44
8.2. COMPORTEMENT DEVANT LES EXUTOIRES	45
8.2.1. <i>Exutoire de surface en Rive Droite.....</i>	<i>45</i>
8.2.2. <i>Exutoire de profondeur en Rive Droite.....</i>	<i>46</i>
8.2.3. <i>Exutoires sur la micro-centrale Rive Gauche.....</i>	<i>47</i>
8.2.4. <i>Passé à poissons (ancienne).....</i>	<i>47</i>
9. MODELISATION DE L'ÉCHAPPEMENT	48

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	---	--

10.	DISCUSSION – CONCLUSIONS.....	52
11.	REFERENCES	57
12.	ANNEXES 1	60
13.	ANNEXE 2 : TESTS DE FRANCHISSEMENT DE GRILLES	64

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	---	--

1. Avant-Propos

Cette étude est le fruit d'une collaboration scientifique entre le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP devenu par la suite l'ONEMA) et EDF R&D avec l'appui technique de l'Association MIGRADOUR. Elle s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche commun relatif à la « Restauration de la Continuité Ecologique des Cours d'Eau » au sein de l'Equipe de Recherche Technologique N° 28.

Le financement de l'étude a été assuré conjointement par EDF, le CSP et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

L'étude s'est déroulée sur trois années lors de la période de dévalaison de l'anguille, c'est-à-dire d'octobre à février-avril 2004-2005, 2005-2006, et 2006-2007.

La mise en place des installations expérimentales sur les différents sites a été réalisée conjointement par l'équipe technique du pôle R&D d'EDF (Paul Thellier, Bruno Dupuis, Lamine Barbach, Sébastien Subra), du personnel du CSP-GHAAPPE (Peggy Gomes, Stéphane Vighetti) et du personnel de MIGRADOUR (Yannick Bory, David Clave)

Le travail de terrain (marquage et suivi des anguilles, récupération des données environnementales et de radiopistage...) a été effectué par les personnels EDF (Sébastien Subra) CSP-GHAAPPE (Peggy Gomes et Stéphane Vighetti), MIGRADOUR (Yannick Bory, David Clave) restés à demeure sur le secteur d'étude lors de chacune des campagnes.

L'encadrement scientifique s'est effectué sous la responsabilité de François Travade et Eric De Oliveira (EDF R&D) et de Michel Larinier (ONEMA-GHAAPPE).

Le traitement des données et le rapport relatif à chacune des années d'étude ont été réalisés par Sébastien Subra et Peggy Gomes.

Le présent rapport, rédigé par François Travade et Michel Larinier, reprend et analyse l'ensemble des résultats acquis lors de ces trois campagnes. Pour de plus amples informations sur les campagnes annuelles, on se rapportera aux rapports d'étude détaillés [36,37,38].

Nous tenons à remercier tout particulièrement :

- le personnel de l'aménagement hydroélectrique EDF de Baigts pour son aide, sa gentillesse et l'accueil chaleureux qu'il nous a assuré au cours des trois années d'étude,
- le personnel de la BMI du CSP (en particulier, Francis Jalibert et Alain Borda) pour leur aide à l'installation des enregistreurs de radiopistage et au repérage des poissons dans le Gave,
- l'ancien pêcheur professionnel, Pierre Campistrion, qui nous a fourni les anguilles des Landes et le pêcheur professionnel (Yannick Perraud) qui a capturé les anguilles sur la Loire.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

2. Contexte

La problématique du franchissement des obstacles par l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) fait l'objet d'exigences croissantes dans la mesure où les populations d'anguilles sont en très forte régression depuis quelques années en France et en Europe. Le règlement européen (CE) N° 1100/2007 du Conseil du 18 septembre 2007, institue des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes incluant la nécessité, pour tous les Etats Membres, de réduire les mortalités anthropiques sur l'espèce. Les mortalités d'anguilles argentées par transit dans les turbines lors de la migration d'avalaison sont citées comme l'une des causes de mortalités. Si la mise en œuvre de passes à la montée pour cette espèce ne semble pas poser de problèmes spécifiques, la protection des adultes en dévalaison vis-à-vis des mortalités dans les turbines apparaît problématique dans la mesure où cette mortalité est en général élevée, du fait de la taille importante des individus, et où aucun dispositif de prévention du transit dans les turbines n'est à ce jour vraiment opérationnel.

Plusieurs types de solutions ont été testées pour éviter le passage des anguilles dans les turbines et les diriger vers des exutoires de contournement : des barrières physiques (grilles et écrans à persiennes) [1, 5, 14], et des barrières comportementales utilisant la lumière [22, 23, 24, 25] le son [35] ou l'électricité [15].

Cependant, aucune d'entre elles n'a donné lieu à ce jour à des installations industrielles vraiment opérationnelles.

Depuis une quinzaine d'années, des recherches ont été entreprises en France pour mettre au point des dispositifs de dévalaison spécifiques aux juvéniles de saumon atlantique [9, 10, 11, 28, 29, 39]. Elles ont abouti à la mise au point d'exutoires de surface associés aux grilles conventionnelles de prise d'eau pour lequel on possède maintenant un bon retour d'expérience [30, 31, 40]. Les grilles de prise d'eau se comportent comme des barrières physiques pour les adultes et comme des barrières comportementales pour les juvéniles, qui éprouvent, sous certaines conditions, une certaine répulsion à passer au travers. L'efficacité est liée à l'espacement des grilles qui doivent se révéler suffisamment répulsives pour le poisson, aux conditions hydrodynamiques à l'amont immédiat des grilles (en particulier importance des vitesses et présence ou non d'un courant tangentiel aux grilles susceptible de guider le poisson vers l'exutoire) ainsi qu'à la position, à la géométrie et au débit de l'exutoire. Une très bonne efficacité a été constatée pour les smolts, pour des espacements de 2.5 cm à 3 cm sur des centrales dont le débit turbiné n'excède pas 100 m³/s.

En 1999, des expérimentations ont été entreprises à la centrale d'Halsou (Nive) pour tester sur l'anguille des dispositifs de dévalaison similaires à ceux utilisés pour le saumon. Deux types d'exutoires situés à proximité de la grille de prise d'eau ont été testés: l'un de surface, utilisé pour le saumon, et l'autre de fond. Les résultats ont montré qu'un tel exutoire pouvait avoir une certaine efficacité [12, 13, 16, 17, 18, 19, 26] mais que l'effet répulsif des grilles conventionnelles était moindre pour l'anguille que pour le saumon. L'exutoire situé en profondeur était apparu plus efficace que l'exutoire de surface. La configuration particulière de l'aménagement (canal d'aménée de grande longueur, faible profondeur et largeur de la prise d'eau) ne permettait pas une généralisation des résultats et une extrapolation à des aménagements hydroélectriques de plus grande taille. L'étude sur le site de Baigts (Gave de Pau) était donc destinée à compléter les résultats obtenus à Halsou. Les questions posées étaient les suivantes :

- dans quelles conditions de milieu les anguilles arrivent elles au droit de l'aménagement ?
- quelles sont, en l'absence de dispositifs spécifiques de dévalaison, les voies de franchissement de l'aménagement et en particulier quelles sont les probabilités d'échappement par les évacuateurs de crue ?
- quel est le comportement des anguilles argentées au voisinage de l'aménagement, et en particulier au niveau des grilles ?
- les dispositifs de dévalaison utilisés pour le saumon (exutoires de dévalaison associés aux grilles de prise d'eau) sont ils efficaces et utilisables pour l'anguille argentée ?
- l'utilisation de grilles de prise d'eau à faible espacement agissant comme une barrière physique permet elle le franchissement sans dommage de l'aménagement, par quelles voies

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	---	--

(évacuateurs ou exutoires) et avec quel délai ?

Les expérimentations ont été réalisées à l'aide de techniques télémétriques (radiopistage et transpondeurs RFID) durant trois campagnes in situ lors des périodes de migration de l'anguille (octobre à février) en 2004, 2005 et 2006.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

barreaux à fort espacement (20 cm) limitent l'entrée de corps flottants à l'intérieur du dispositif. Le transit des poissons vers l'aval est assuré par un canal de dévalaison de 45 m de long environ, amenant les poissons à une vingtaine de mètres en aval du barrage. Cet exutoire de dévalaison a été utilisé pour la première campagne (2004-2005) et la troisième campagne (2006-2007). Pour la deuxième campagne (2005-2006), l'exutoire de surface a été transformé en exutoire de fond en installant devant l'exutoire de surface un masque semi-cylindrique (Figure 4). Ce masque métallique était ouvert dans sa partie inférieure, située au niveau du bas de la grille de prise d'eau (- 7m), de façon à ce que le débit de l'exutoire soit prélevé en profondeur. Des ouvertures latérales de 50 cm de large et 80 cm de haut ont été pratiquées sur la face du masque jouxtant la grille de façon à ce que les anguilles longeant la grille puissent les emprunter. Le débit était sensiblement le même que celui de l'exutoire de surface (2.2 m³/s) et la vitesse d'écoulement à l'entrée du bypass de l'ordre de 1 m/s. Les deux bypass ont été fonctionnels durant toute la durée de chacune des trois saisons d'expérimentation.

La prise d'eau de la micro-centrale (RG) est équipée de trois exutoires de dévalaison de 0.8 m de largeur (Figures 3 et 4): deux en surface, de part et d'autre de la grille de prise d'eau, et un au fond en rive droite de la grille. Le débit délivré par chacun de ces exutoires est de l'ordre de 0.5 m³/s.

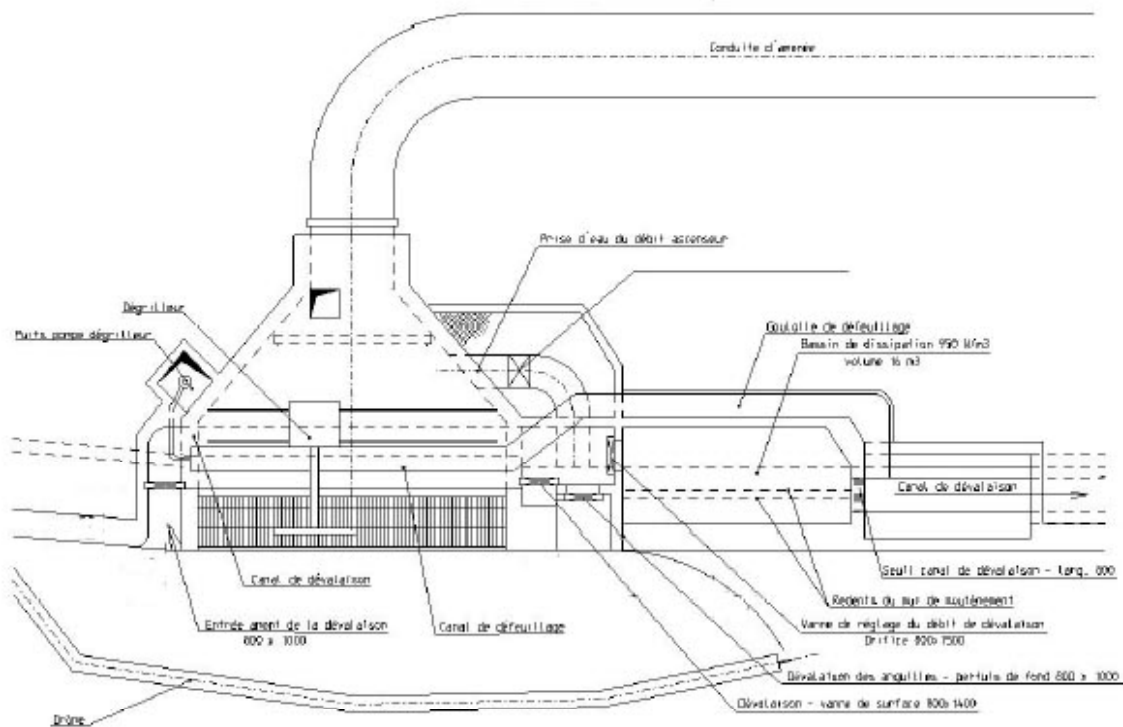


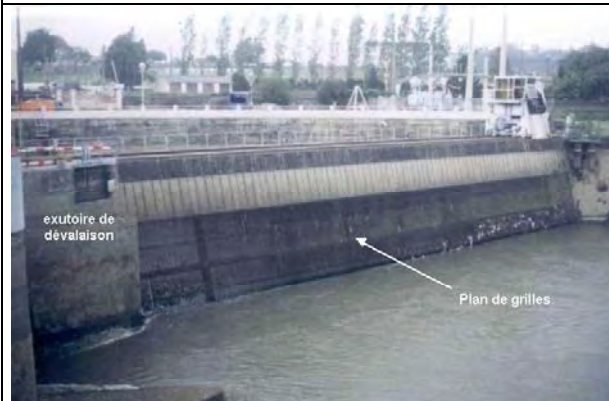
Figure 3 : Plan de la micro-centrale de turbinage du débit d'attrait de l'ascenseur.



Usine de Baigts (à gauche) et barrage (à droite) vus de l'aval en l'absence de déversement



Usine lors d'un déversement par les vannes de crue



Plan de grille de l'usine principale lors d'un abaissement du plan d'eau et exutoire de dévalaison de surface utilisé en 2004 et 2006



Plan de grille et exutoire profond utilisé en 2005



Détail de l'exutoire profond à niveau bas. On distingue les orifices latéraux. L'entrée principale est située dans le bas du cylindre (- 7m)



Prise d'eau de la micro-centrale en rive gauche avant sa mise en eau. On distingue les deux exutoires de surface et l'exutoire de fond

Figure 4 : Photos du site de Baigts et des exutoires de dévalaison sur l'usine principale et sur la micro-centrale.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

3.2. Protocole d'étude

L'étude a été réalisée par suivi télémétrique du positionnement d'anguilles équipées d'émetteurs radio (radiopistage) et par marquage-détection par transpondeurs RFID (Radio Frequency IDentification). Ces techniques, couramment utilisées depuis une vingtaine d'années [34, 41, 42], sont les plus adaptées aux études in situ sur les poissons migrateurs dans lesquelles il est nécessaire d'appréhender le positionnement des individus et leur comportement dans le cours d'eau.

Radiopistage

Le suivi par radiopistage des déplacements dans le milieu est réalisé à l'aide de récepteurs manuels (déplacements dans la rivière) et à l'aide de récepteurs-enregistreurs détectant la présence dans des zones de réception de taille calibrée (déplacements au voisinage de l'aménagement hydroélectrique).

Les émetteurs radio de marque ATS (Advanced Telemetry System) modèle F1820 (Fréquence 48-49 MHz, longueur 45 mm, diamètre 11 mm, poids 8 g, durée de vie 4 mois) sont implantés chirurgicalement [2, 21] dans la cavité générale après anesthésie par galvanonarcose selon la technique proposée par Gosset [20, 21]. Les récepteurs radio (ATS – R2100), couplés à des antennes « boucles » ou « fouet » sont utilisés en manuel pour repérer ponctuellement le positionnement des anguilles dans le Gave. Couplés à des antennes aériennes (« boucles ») ou immergées (« brins ») et associés à des enregistreurs numériques (ATS-D5041A et DCC II) les récepteurs permettent de détecter avec précision l'entrée et la sortie des poissons dans des zones calibrées et ainsi de suivre leurs déplacements. 14 zones de réception de taille variable ont été définies sur le site de Baigts (Figure 5). Les zones de grande taille permettent de détecter la présence des anguilles dans la retenue et de déterminer les voies de passage (vannes de crue, clapet de surface, turbines de l'usine RD et de la micro-centrale RG, ancienne passe à poisson de montée). Des zones de petite taille (quelques mètres) ont été aménagées le long de la grille de prise d'eau de la centrale RD (zones A à E) et au voisinage de l'exutoire de dévalaison (EX) de façon à y suivre précisément le comportement des anguilles.

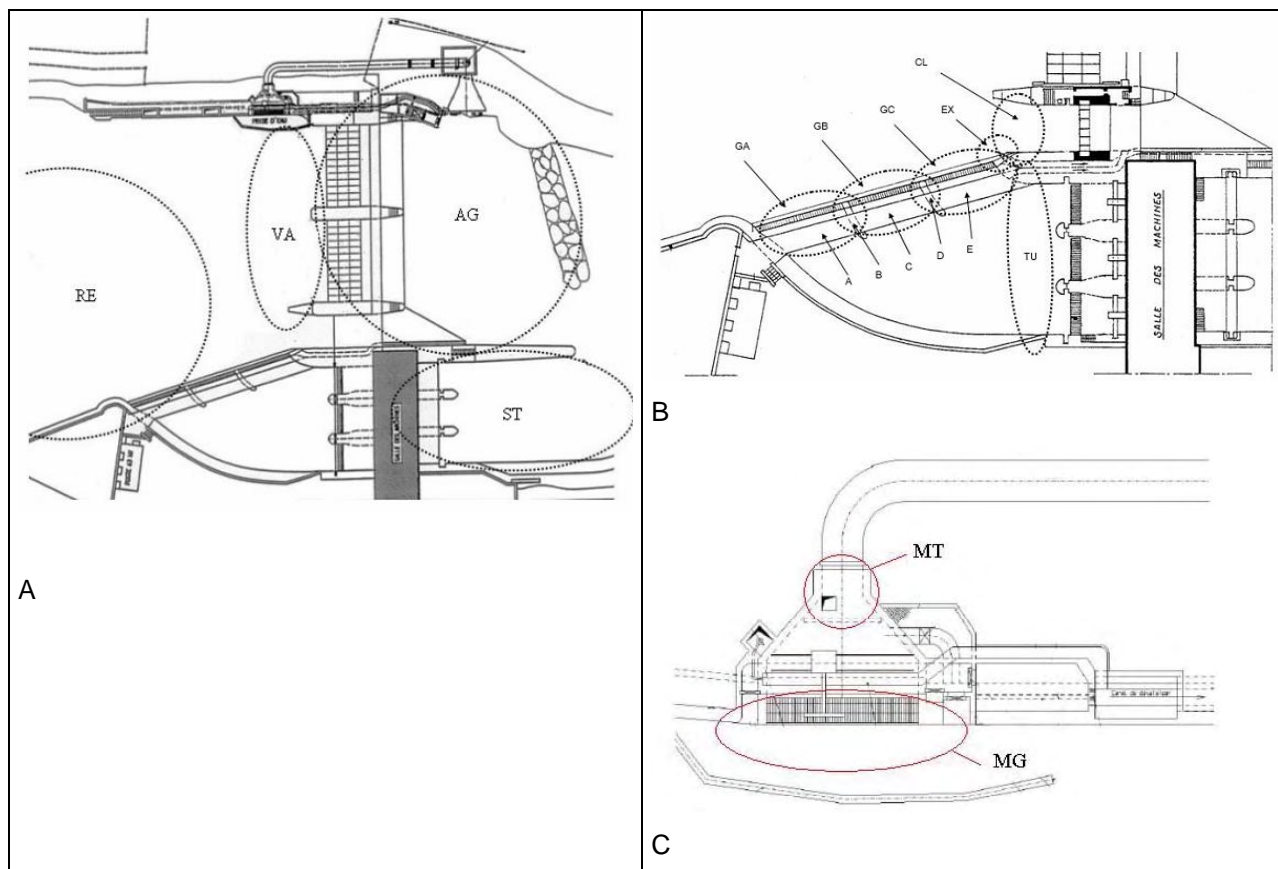


Figure 5 : Localisation des zones de réception des enregistreurs de radiopistage. A : zones générales. B : zones au voisinage de la prise d'eau de l'usine principale en rive droite. C : zones au voisinage de la prise d'eau de la micro-centrale en rive gauche.

Du fait de l'impossibilité de mettre en œuvre un dispositif de capture d'avalaison sur le Gave de Pau, les anguilles proviennent (année 2004 et 2005) d'une pêcherie des Landes (courant du Vieux Boucau à Soustons) et les anguilles de grande taille, utilisées pour la campagne 2006, d'une pêcherie de Loire. Après transport, les anguilles ont été maintenues de quelques jours à plusieurs semaines dans des bassins alimentés en eau du Gave. Cet approvisionnement en anguilles provenant de pêcheries d'avalaison résulte du choix qui a été fait d'expérimenter sur des anguilles en migration active plutôt que sur des anguilles en provenance du Gave. En effet, les anguilles provenant du Gave n'auraient pu être obtenues que par pêche électrique avec une incertitude concernant l'état d'avancement de leur argenture et donc de leur aptitude à dévaler rapidement après leur lâcher.

Après marquage, les anguilles sont gardées pendant au moins 24 heures en observation dans des bassins puis relâchées dans le Gave en trois points situés respectivement à 2.8 km, 5.7 km et 7.5 km en amont de Baigts. Les lâchers se font par lots de 2 à 6 individus en fonction des capacités des enregistreurs de radiopistage (suivi maximal simultané de 4 à 8 fréquences radio)

Transpondeurs RFID

Un marquage des anguilles radiopistées a été réalisé simultanément par transpondeurs RFID de façon à détecter avec précision les passages dans des zones de taille restreinte. Le transpondeur, encapsulé dans du verre, (TIRIS RI-TRP-RR2B, longueur 32 mm, diamètre 3 mm, poids 0.8 g) est inséré dans la cavité générale en même temps que l'émetteur radio. Des antennes, réalisées sur mesure et couplées à des enregistreurs, ont été installées à l'entrée des exutoires sur les deux prises d'eau (une sur l'exutoire de la prise d'eau principale RD et une sur chacun des trois exutoires de la micro-centrale RG) ainsi que sur les goulottes d'évacuation des dégrilleurs des deux prises d'eau de

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

façon à détecter un éventuel placage d'anguille sur les grilles de prise d'eau.

Biométrie des anguilles

Avant marquage, les mesures suivantes sont effectuées sur chaque individu : longueur totale, largeur de la tête (mesure au pied à coulisse) et diamètre oculaire pour calcul de l'indice oculaire de Pankhurst [32] caractérisant le « degré d'argenture ».

Paramètres de milieu

Les paramètres de milieu susceptibles d'influer sur la migration des anguilles ont été enregistrés sur place (pas de temps horaire) par des centrales d'acquisitions autonomes: température de l'eau, conductivité, turbidité, pression atmosphérique, pluie, éclairement solaire. Les débits sur les divers organes des deux usines (turbines, évacuateurs de crue...) ont été acquis par la télé-exploitation EDF du site. Le débit du Gave de Pau provient de la station limnimétrique de Pont de Berenx gérée par la DIREN.

3.3. Objectifs et déroulement des études. Caractéristiques des anguilles radiopistées

Objectifs

L'objectif de chacune des trois années successives d'étude est le suivant :

- Campagne 2004-2005 (dénommée « étude 2004 »): quantifier l'efficacité, pour l'anguille, d'un dispositif de dévalaison (exutoire de surface) efficace pour le saumon [9, 11], déterminer les voies de franchissement de l'aménagement hydroélectrique, et analyser le comportement de l'anguille dans le cours d'eau et au voisinage de l'aménagement,
- Campagne 2005-2006 (étude 2005) : mêmes objectifs que ceux de l'étude 2004, mais avec test d'un exutoire profond, installé à la place de l'exutoire de surface testé en 2004,
- Campagne 2006-2007 (étude 2006) : mêmes objectifs que ceux de l'étude 2004, mais avec une grille de prise d'eau empêchant physiquement le passage des anguilles. L'étude a donc été réalisée avec des anguilles de grande taille dont la majorité ne pouvait pas passer au travers de la grille existante (30 mm d'espacement inter-barreaux).

Déroulement

Les trois campagnes se sont déroulées lors de la période de la migration d'avalaison (octobre à février). Les dates de début et fin d'opérations ainsi que le nombre d'anguilles relâchées ont été dépendantes de l'approvisionnement en anguilles et du déroulement de la dévalaison (Tableau 1). Le nombre de lâchers d'anguilles en amont de Baigts a été conditionné par la capacité des enregistreurs à poste fixe qui ne peuvent suivre de façon fiable que 4 à 8 poissons simultanément.

Tableau 1 : Caractéristiques des opérations de radiopistage des expérimentations de 2004, 2005 et 2006.

Année	Nombre anguilles marquées	Nombre de lots lâchés	Période du suivi
2004-2005	40	12	29/10/04 au 19/01/05
2005-2006	39	17	10/11/05 au 13/02/06
2006-2007	37	11	21/11/06 au 06/04/07
TOTAL	116	40	

Caractéristiques des anguilles radiopistées

La taille des anguilles radiopistées et leur largeur de tête est différente selon l'année d'expérimentation (Tableau 2, Figures 6 et 7). En 2004 et 2005, la majorité des anguilles a été choisie avec une largeur de tête inférieure à 30 mm, espacement des barreaux de la grille de prise d'eau, puisque l'on recherchait à savoir quel était le pouvoir répulsif d'une grille « poreuse » : longueur moyenne respective 610 et 646 mm ; largeur de tête moyenne 24 et 27 mm. En 2006, au contraire, où le but de l'expérimentation était de tester une grille « physique » empêchant le passage des anguilles, la majorité des individus radiopistés a une largeur de tête supérieure à 30 mm : longueur moyenne 840 mm ; largeur de tête moyenne 34 mm.

Tableau 2 : Caractéristiques des anguilles radiopistées lors des trois années d'expérimentation.
 L_t = longueur totale, $L_{tête}$ = largeur tête.

Année	L_t min	L_t max	L_t moy	$L_{tête}$ min	$L_{tête}$ max	$L_{tête}$ moy	Nb indiv.	Nb indiv.	Nb indiv.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	$L_{tête}$ <30mm	$L_{tête}$ >30mm	Total
2004	540	750	610	19	32	24	38	2	40
2005	500	990	646	16	46	27	31	8	39
2006	620	1100	840	21	48	34	9	28	37

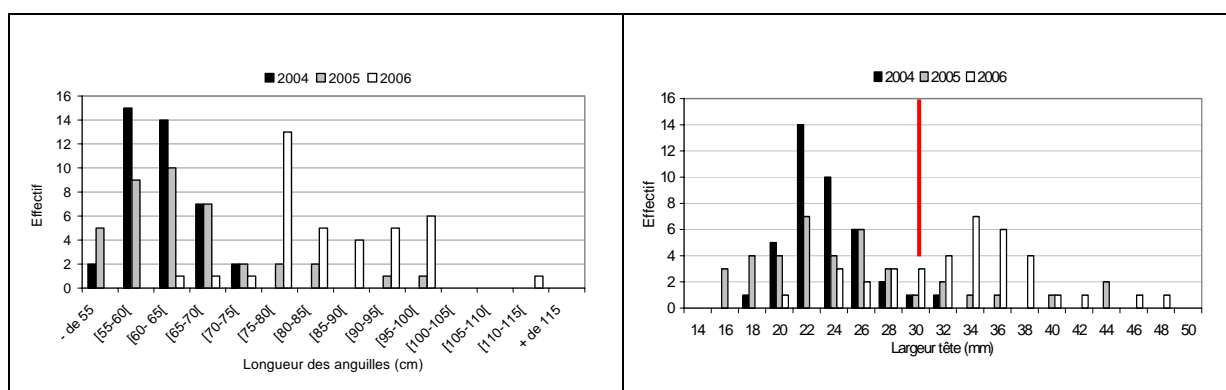


Figure 6 : Répartition des longueurs (cm) et des largeurs de têtes (mm) des anguilles radiopistées en 2004, 2005 et 2006. Le trait rouge indique l'espacement des barreaux de la prise d'eau (30 mm).

Compte tenu du fait que la largeur de la tête est une mesure en général beaucoup moins disponible que la longueur totale des individus, nous avons établi une relation entre ces deux grandeurs biométriques à l'aide de mensurations effectuées sur 354 anguilles argentées provenant des deux zones d'approvisionnement pour l'étude (pêcherie de Soustons et pêcherie de la Loire). Le meilleur ajustement entre les deux grandeurs biométriques $L_{tête}$ (largeur de la tête) et L_t (longueur totale de corps) (Figure 7) est une régression linéaire qui a pour équation :

$$L_{\text{tête}} = 0.0436 L_t - 3.4662 \quad L_{\text{tête}} \text{ et } L_t \text{ exprimées en mm}$$

$$R^2 = 0.896$$

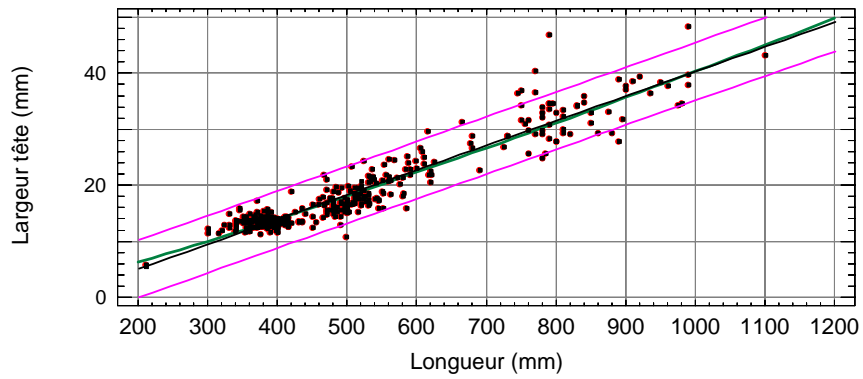


Figure 7 : Relation entre la largeur de la tête des anguilles et la longueur totale du corps. Les lignes encadrant la droite de régression représentent l'intervalle de confiance à 95% sur les prévisions.

4. Paramètres de milieu

4.1. Débit du Gave de Pau

L'hydraulicité mensuelle du Gave de Pau (station de Pont de Berenx située à l'aval immédiat de Baigts - Annexe 1.1) lors des trois expérimentations est en règle générale inférieure ou égale à la normale (période de référence : 1960 - 2008). Elle varie de 0,33 (janvier 2007) à 1 (octobre 2006).

Le débit du Gave de Pau est caractérisé par des successions d'augmentations brusques du débit de durée et d'amplitude variable (Figure 11). Nous avons dénommé ces pics de débit « coups d'eau ». On peut les caractériser par une augmentation du débit d'un facteur supérieur à 2 en 24 à 48 heures par rapport au débit moyen observé dans les jours précédents.

Le débit du Gave, à l'époque des études (octobre- mars) se caractérise (Figure 11, Annexes 1.2 et 1.3) par un débit de base compris entre 25 et 60 m³/s et de multiples coups d'eau d'amplitude variable : 6 coups d'eau à débit maximal de 100 à 400 m³/s en 2004, 7 de 80 à 315 m³/s en 2005 et 13 de 100 à 344 m³/s en 2006.

Les débits extrêmes sont comparables sur les trois périodes d'étude (Figure 8), par contre, dans la gamme des débits moyens du Gave (50 m³/s – 120 m³/s) les débits les plus faibles sont observés en 2004 (80% des débits journaliers inférieurs à 60 m³/s) et les plus élevés en 2006 (80% des débits journaliers inférieurs à 100 m³/s).

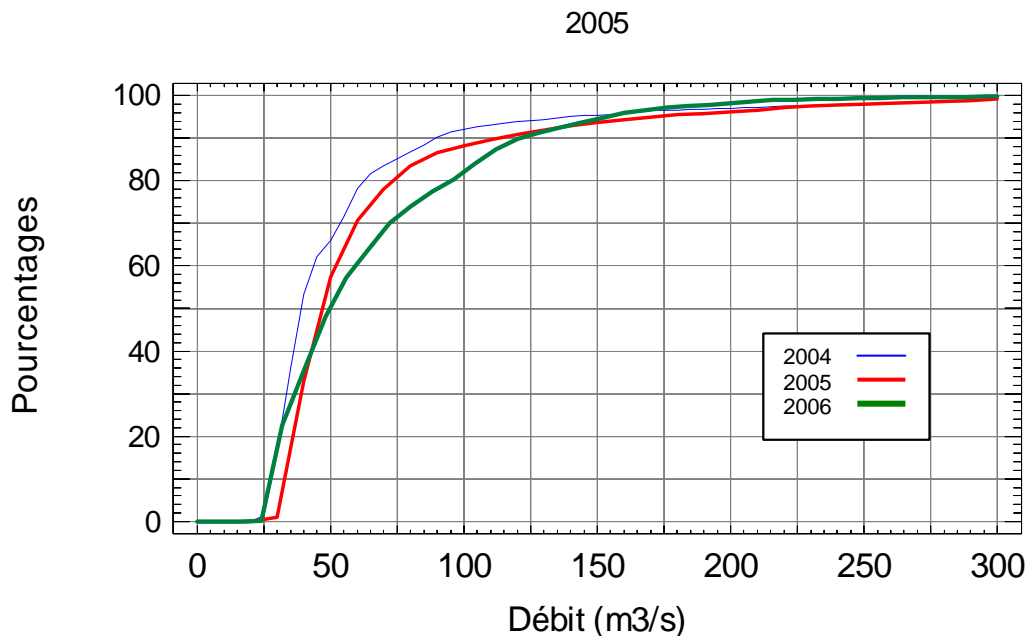


Figure 8 : Courbe de fréquence cumulée des débits journaliers du Gave de Pau durant la période des trois expérimentations.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--

4.2. Paramètres de qualité d'eau

Les gammes de variation des paramètres température, conductivité et turbidité du Gave de Pau sont rapportées dans le tableau.

Tableau 3 : Gamme de variation de la température, de la conductivité et de la turbidité du Gave de Pau lors des expérimentations de 2004, 2005 et 2006.

Année	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	Turbidité
2004	3,7 à 12,3	166 à 322	0 à 880 NTU
2005	4,9 à 15,6	162 à 336	0 à 1990 mg/l MES
2006	4,4 à 15,6	163 à 320	0 à 1367 mg/l MES

On constate sur les courbes chronologiques (Annexe 1.2) que la conductivité et la turbidité sont très liées au débit dans la mesure où les coups d'eau sont synchrones avec une diminution de la conductivité et une augmentation de la turbidité. Lors des coups d'eau les plus élevés ($Q_{max} > 200 \text{ m}^3/\text{s}$) la chute de la conductivité est d'environ 100 µS/cm : passage de $250\text{-}300 \text{ µS/cm}$ avant le coup d'eau à $150\text{-}200 \text{ µS/cm}$ lors du coup d'eau.

La température de l'eau présente des variations cycliques importantes (Annexe 1.3) avec des amplitudes thermiques pouvant atteindre $4 \text{ à } 7 \text{ °C}$ en quelques jours. Ces variations ne semblent pas influencées par le débit du Gave.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

5. Caractéristiques de la dévalaison et comportement des anguilles dans le Gave en amont de Baigts

5.1. Description générale de la migration

Entre le point de lâcher dans le Gave et l'arrivée à l'usine de Baigts, la dévalaison des anguilles est caractérisée par une alternance de périodes d'immobilité pouvant être très longues et de périodes de déplacements. Les anguilles relâchées à 2.8 km à l'amont de Baigts (81 individus) mettent 2 heures à 57 jours, selon les individus, pour arriver à l'usine (médiane 5.5 jours) ; celles relâchées à 5.7 km en amont (9 individus) arrivent à l'usine entre 7h et 59 jours (médiane 8.1 jours) et celles relâchées à 7.5 km en amont de Baigts (26 individus) mettent 3 heures à 52 jours (médiane 9.7 jours) pour arriver à l'usine.

5.2. Influence des paramètres de milieu sur les déplacements dans le Gave

Les relevés manuels quotidiens du positionnement des anguilles dans le Gave montrent que la migration est fortement influencée par le débit fluvial et par le nyctémère.

Débit du Gave

L'ampleur des déplacements dans le Gave est quantifiée par un « indice d'activité migratoire »

$$I_{am} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad \text{où } d_i \text{ représente la distance quotidienne parcourues par l'individu } i \text{ et } n \text{ le nombre}$$

d'individus radiopistés présents dans le Gave à un instant donné.

En période de stabilité du débit dans le Gave, les déplacements sont soit inexistantes, soit de faible amplitude avec un comportement exploratoire conduisant les anguilles à stationner majoritairement dans certaines zones bien identifiées. Durant ces phases exploratoires, certains individus effectuent des remontées de quelques centaines de mètres dans le Gave. Les déplacements rapides ont lieu lors des coups d'eau comme le montre la variation de l'indice d'activité migratoire en fonction du débit du Gave (Figure 9).

On pouvait se demander dans quelle mesure les périodes d'immobilité ne résultait pas d'un besoin d'acclimatation au cours d'eau après marquage. En fait ce besoin d'acclimatation semble peu influencer sur ce comportement dans la mesure où les anguilles relâchées durant des périodes de crue entament immédiatement leur migration (Annexe 1.4).

Les conditions de débit lors de l'arrivée des anguilles à Baigts sont rapportées dans le tableau 4 et sur les Figures 10 et 11. On constate que :

- les arrivées à l'usine ont lieu pour des débits plus faibles en 2004 (50% des arrivées pour un débit inférieur à 55 m³/s) qu'en 2005 et 2006 où les débits sont similaires (50% des arrivées pour un débit inférieur à 75 m³/s). Ceci résulte vraisemblablement de l'hydraulicité plus faible de l'année 2004 par rapport à 2005 et 2006 (Cf § 4.1),
- sur l'ensemble des 3 campagnes d'étude, les arrivées ont lieu à part quasiment égale en condition de débit stable (47% ; 43% à 52% selon les années) et lors des coups d'eau (53% ; 48% à 57% selon les années).

Il est difficile de savoir si ces conditions d'arrivée sont représentatives de la migration naturelle, sachant que le radiopistage biaise ces conditions dans la mesure où les individus entament leur migration à partir de la zone, relativement proche de l'aménagement, où ils ont été relâchés.

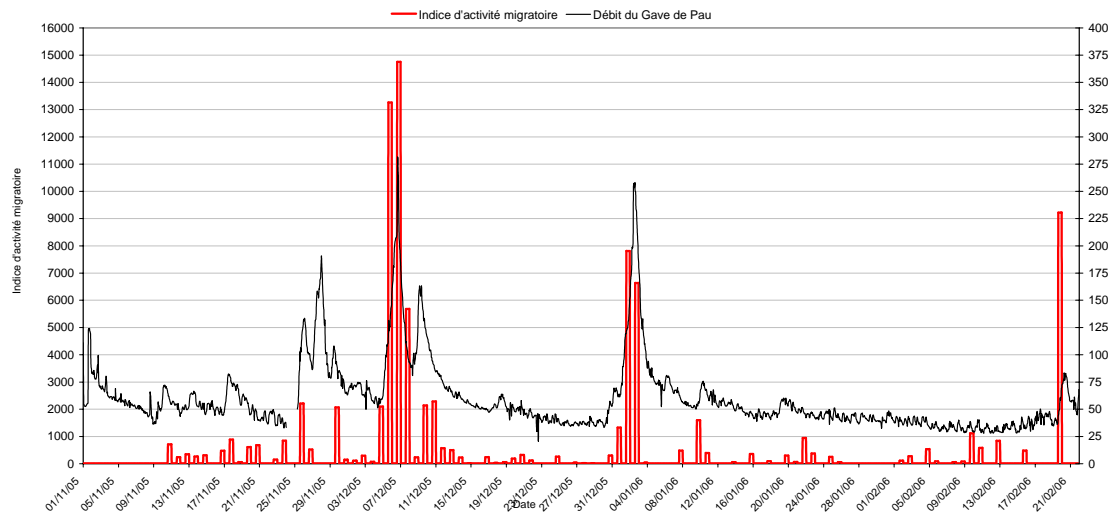


Figure 9 : Indice d'activité migratoire quotidienne (Cf § 5.2) en fonction du débit du Gave en 2005.

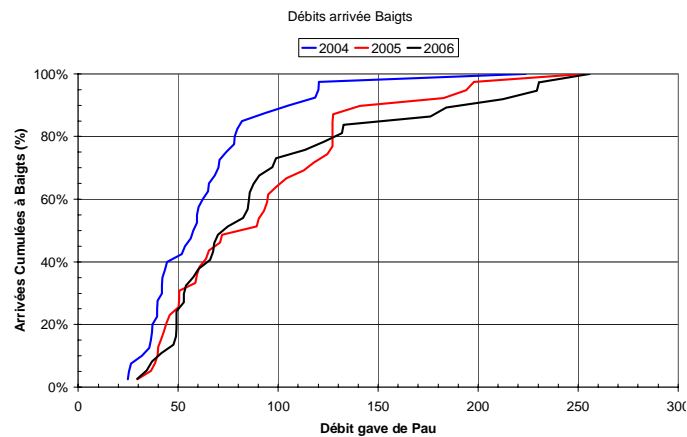
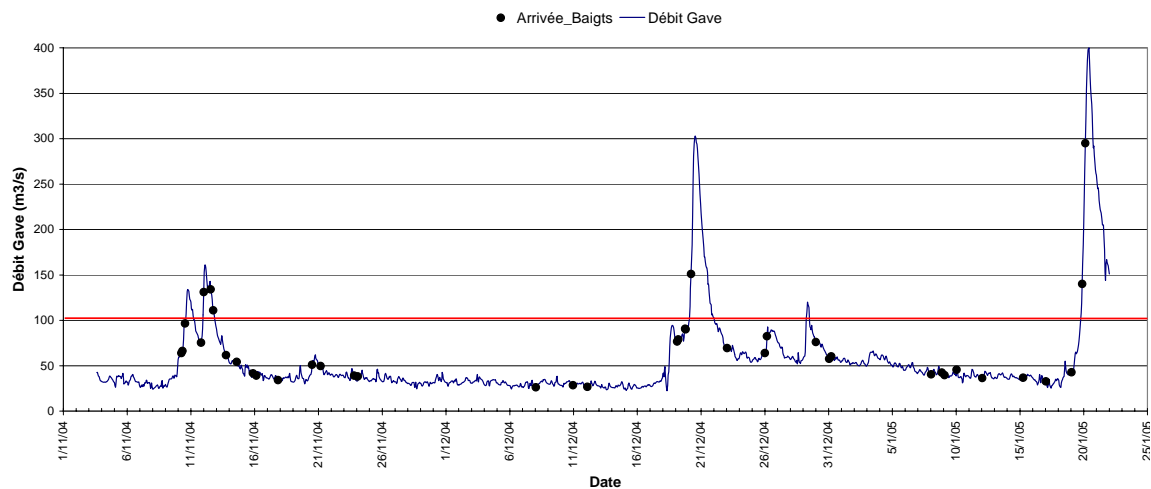


Figure 10 : débits cumulés du Gave de Pau lors de l'arrivée des anguilles radiopistées au droit de l'aménagement de Baigts (détection dans la zone « retenue »).

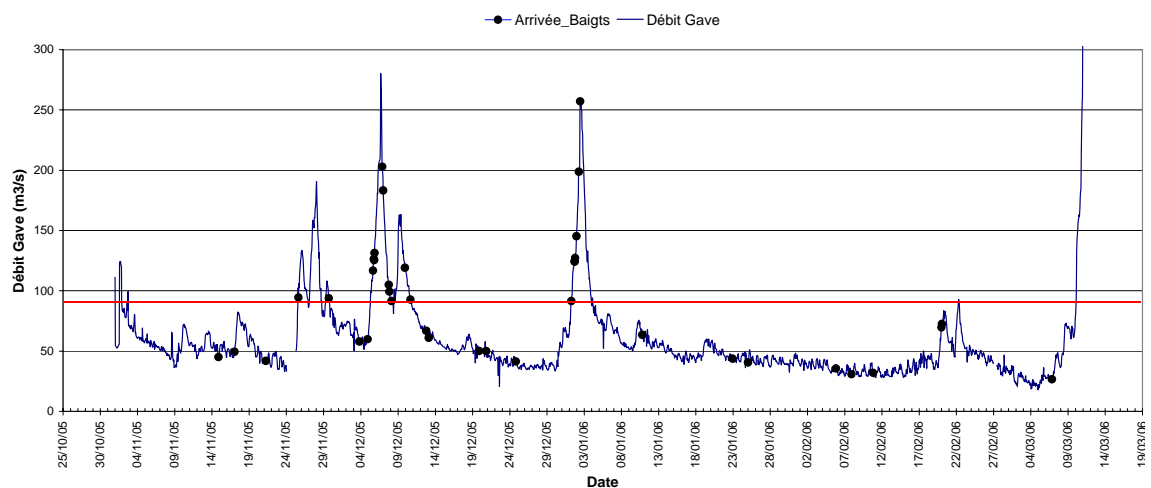
Tableau 4 : Conditions de débit du Gave lors de l'arrivée et du franchissement des anguilles à Baigts ; « Coup d'eau », « Hors coup d'eau »= voir définition § 4.1.

Année	Arrivée à Baigts		Franchissement de Baigts	
	Coup d'eau	Hors coup d'eau	Coup d'eau	Hors coup d'eau
2004	19 (48%)	21 (52%)	19 (48%)	21 (52%)
2005	22 (56%)	17 (44%)	27 (68%)	12 (32%)
2006	21 (57%)	16 (43%)	30 (81%)	7 (19%)
TOTAL	62 (53%)	54 (47%)	76 (66%)	40 (34%)

Arrivée des anguilles à Baigts et débit du Gave de Pau / 2004-2005



Arrivée des anguilles à Baigts et débit du Gave de Pau / 2005-2006



Arrivée des anguilles à Baigts et débit du Gave de Pau / 2006-2007

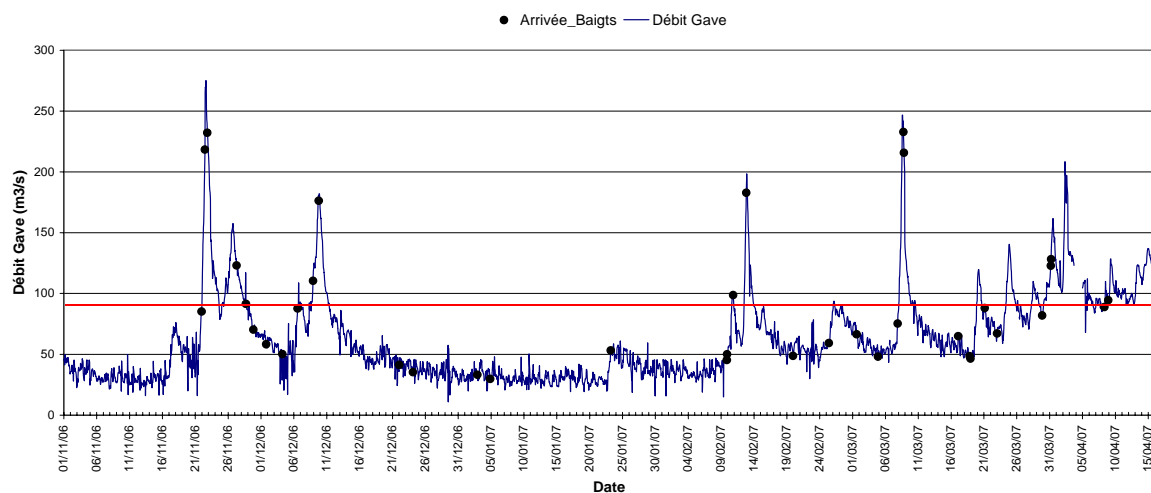


Figure 11 : Arrivée des anguilles radiopistées à Baigts et débit du Gave de Pau lors des campagnes 2004, 2005 et 2006.

Nycthémère

Les déplacements dans le Gave ont lieu essentiellement au crépuscule et durant la nuit, comme en témoignent les heures d'arrivées à l'usine de Baigts (Figure 12). Sur les 116 individus arrivés à l'usine durant les trois expérimentations, 79% des arrivées ont lieu la nuit (19 h à 7 h), 9% au crépuscule (17 h - 18 h) et 11% durant la journée (8 h – 16 h). Les 13 anguilles arrivant durant la journée le font dans une gamme très variée de débit du Gave (53 à 255 m³/s) et de turbidité (0 à 109 NTU et 8 à 535 mg/l), par contre, elles arrivent toutes pendant une phase de « coup d'eau » du Gave.

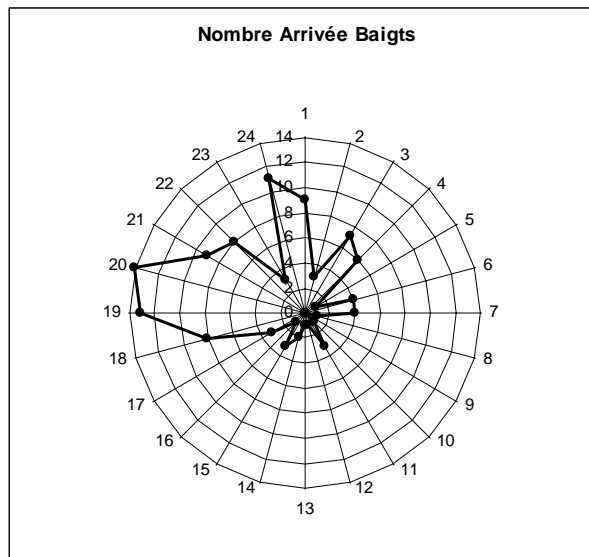


Figure 12 : Heures d'arrivée des anguilles radiopistées à l'amont de l'usine de Baigts de 2004 à 2006 (116 individus).

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

6. Franchissement de l'aménagement hydroélectrique

6.1. Taux d'échappement et voies de franchissement de 2004 à 2006

Le taux d'échappement est défini comme étant la proportion d'anguilles qui franchit l'aménagement par des voies autres que les turbines (évacuateurs de crue, exutoires), et donc, sauf cas particulier, sans mortalité notable.

Le taux d'échappement est variable selon l'année d'expérimentation (Tableau 5, Figure 14) :

- en 2004, l'échappement est de 40%,
- en 2005, l'échappement est de 46%, c'est à dire similaire à celui de 2004,
- en 2006, l'échappement est très élevé (92%) et provient du fait, qu'en raison de la taille élevée des individus radiopistés, la majorité des anguilles était physiquement arrêtée par les grilles de prise d'eau et ne pouvait pas transiter dans les turbines.

Les voies de franchissement de l'usine de Baigts (Figures 13, 14 et 17 et Tableau 5 sont très différentes selon les années d'étude :

- en 2004, la majorité des anguilles passe par les turbines (60%). Le reste des passages se répartit de façon similaire entre l'exutoire de surface (17,5%) et les évacuateurs de crue (15%). Quelques individus (3 anguilles soit 7,5%) passent par le débit d'alimentation (1 m³/s) de l'ancienne passe à poissons de montaison située en rive gauche de la retenue,
- en 2005, la majorité des anguilles passe, comme en 2004, par les turbines (53,9%), et un seul individu par l'exutoire de fond. Le passage par les évacuateurs est par contre beaucoup plus élevé qu'en 2004 (43,6%),
- en 2006, comme attendu, le franchissement par les turbines est faible (8,1%) du fait que la majorité des anguilles ne pouvait pas, de par leur taille, passer au travers de la grille de prise d'eau. Le passage par l'exutoire de surface de la prise d'eau de l'usine principale (21,6%), est comparable à celui observé en 2004 (17,5%). Le passage par les évacuateurs de crue est prépondérant (67,6%). Un passage (2,7%) est observé par l'un des exutoires de dévalaison de la micro-centrale en rive gauche de l'aménagement. Sur aucune des deux prises d'eau (centrale principale en rive droite et micro-centrale en rive gauche) il n'a été observé de placage d'anguilles sur les grilles puisque qu'aucun individu (21 individus venus au contact de la grille rive droite et 20 en rive gauche) n'a été détecté dans les eaux de lavage des dégrilleurs. Les vitesses d'écoulement au niveau des grilles des deux prises d'eau étaient faibles : comprises entre 0,10 m/s et 0,41 m/s pour la grille rive droite et 0,29 m/s (débit turbiné constant) pour la grille rive gauche.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

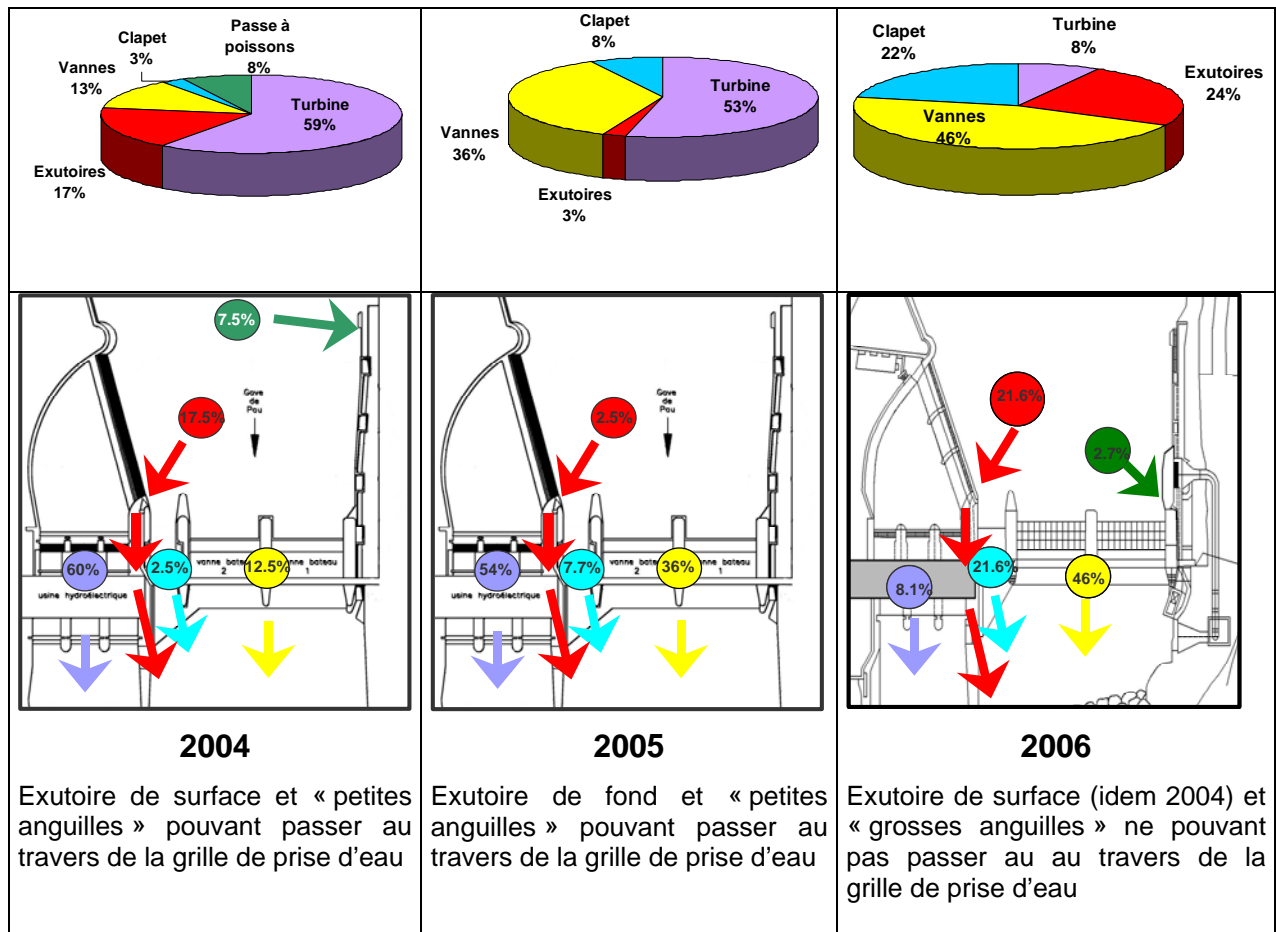


Figure 13 : Voies de franchissement de l'usine de Baigts de 2004 à 2006.

Tableau 5 : Voies de franchissement de l'usine de Baigts de 2004 à 2006.

	2004	2005	2006	TOTAL
Nombre d'anguilles suivies	40	39	37	116
Echappement (passage hors turbines)	16 (40%)	18 (46.1%)	34 (91.9%)	68 (58.6%)
Turbines (total)	24 (60%)	21 (53.9%)	3 (8.1%)	48 (41.4%)
Turbines (rive droite)	24 (60%)	21 (53.9%)	3 (8.1%)	48 (41.4%)
Micro-centrale (rive gauche)	-	-	0 (0%)	0 (0%)
Exutoires de dévalaison (total)	7 (17.5%)	1 (2.5%)	9 (24.3%)	17 (14.7%)
Exutoire (rive droite)	7 (17.5%)	1 (2.5%)	8 (21.6%)	16 (13.8%)
Exutoires (micro-centrale)	-	-	1 (2.7%)	1 (0.9%)
Evacuateurs de crue (total)	6 (15%)	17 (43.6%)	25 (67.6%)	48 (41.4%)
Vannes secteur	5 (12.5%)	14 (35.9%)	17 (46%)	36 (31%)
Clapet et vanne de chasse	1 (2.5%)	3 (7.7%)	8 (21.6%)	12 (10.3%)
Passe à poissons (ancienne)	3 (7.5%)	-	-	3 (2.6%)

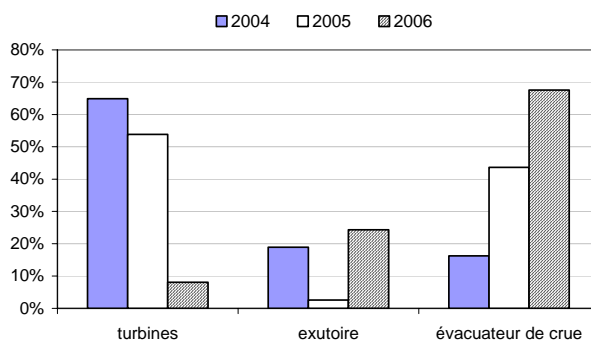


Figure 14 : Comparaison des voies de franchissement de l'usine de Baigts de 2004 à 2006.

6.2. Influence des paramètres de milieu sur le franchissement de Baigts

6.2.1. Effet du nyctémère

Les franchissements de l'aménagement de Baigts ont lieu essentiellement au crépuscule et durant la nuit (Figure 15). Sur les 116 individus arrivés à l'usine durant les trois expérimentations, 70% des franchissements ont lieu la nuit (19 h à 7 h), 8% au crépuscule (17 h - 18 h) et 22% durant la journée (8 h – 16 h). Les 25 anguilles franchissant durant la journée le font majoritairement (15/26 individus) au zénith (11h à 13h) et lors d'un coup d'eau du Gave (23/26 individus).

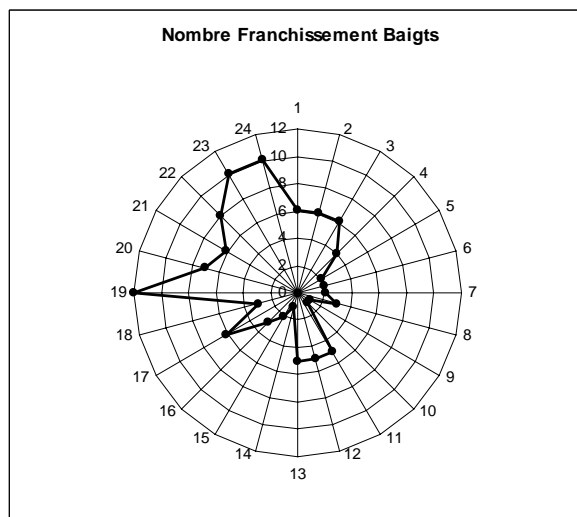


Figure 15 : Heures de franchissement de l'aménagement de Baigts de 2004 à 2006 (116 individus).

6.2.2. Débit du Gave lors du franchissement de Baigts

L'arrivée des anguilles au droit de l'aménagement de Baigts et son franchissement s'effectuent dans une plage très étendue de débit du Gave (30 à 300 m³/s). Sur les Figures 16 et 17, représentant les arrivées à l'usine (détection des individus à l'approche de l'aménagement) et les franchissements cumulés en fonction du débit du Gave pour les trois années, on constate que le franchissement de l'usine s'effectue dans une gamme de débits similaire à celle des arrivées des anguilles sur le site

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	---	--

pour les années 2004 et 2005. Par contre, en 2006 les franchissements ont lieu dans une gamme de débit supérieure à celle des arrivées sur le site (50% des franchissements pour un débit supérieur à 110 m³/s). On verra plus loin (Cf § 7.2) que cela résulte du fait que, en 2006, les anguilles, arrêtées par les grilles de prise d'eau ont stationné un certain temps en amont de Baigts pour franchir l'aménagement par les évacuateurs de crue lors des augmentations de débit du Gave.

Les franchissements de Baigts en fonction des débits du Gave sont différents d'une année à l'autre (Tableau 4). En 2004 les franchissements se répartissent à part quasiment égale durant les coups d'eau (48%) et en condition de débit stable (52%). En 2005 et 2006 les franchissements lors des coups d'eau sont plus importants (respectivement 68% et 81%) que les franchissements en condition de débit stable (respectivement 32% et 19%).

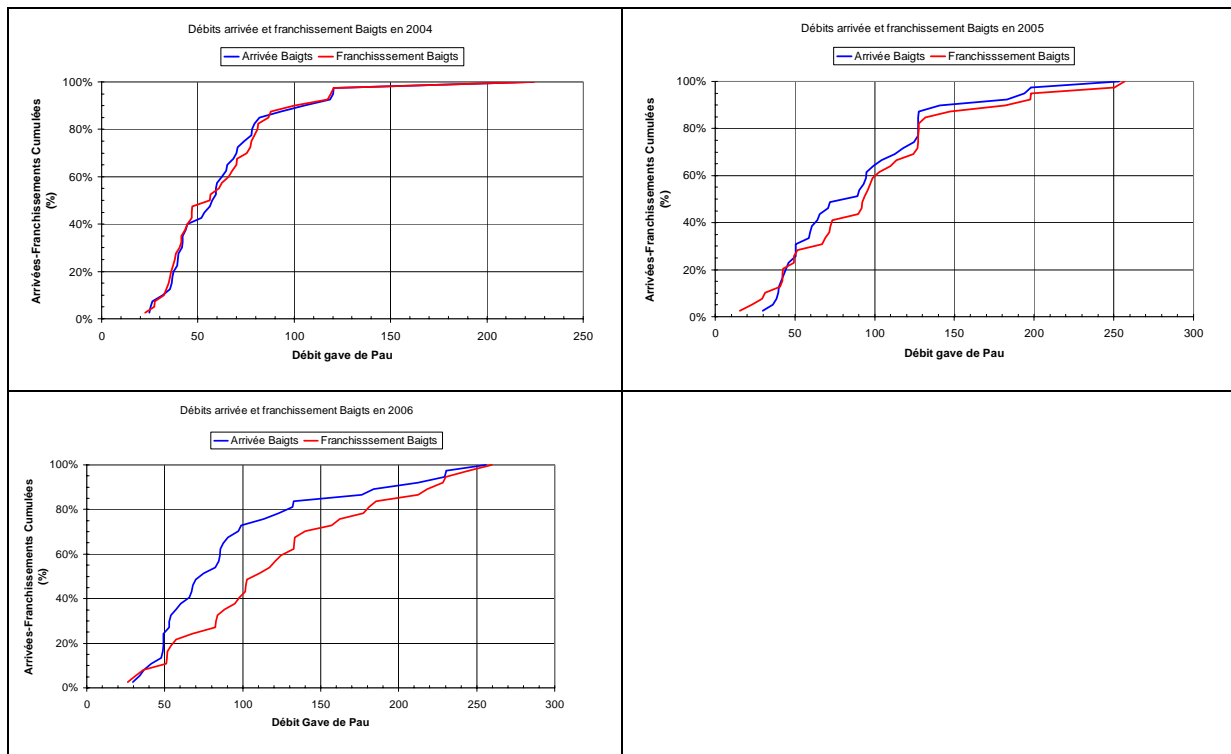


Figure 16 : débits cumulés du Gave de Pau lors de l'arrivée des anguilles radiopistées au droit de l'aménagement (détection dans la zone « retenue ») et lors de son franchissement.

6.2.3. Effet du débit sur les voies de franchissement

La répartition des voies de franchissement selon la chronologie des débits du Gave (Figure 17) montre que les passages par les évacuateurs ont lieu lors des coups d'eau à débit élevé alors que les passages par les turbines et les exutoires ont lieu essentiellement pour des débits du Gave stables ou lors de « petits coups d'eau ».

On constate que les franchissements par les évacuateurs de crue (Figures 18 et 19) ont lieu pour un débit du Gave très nettement supérieur à celui des franchissements par les turbines et par l'exutoire : gamme de 30 m³/s à 250 m³/s (médiane 130 m³/s ; premier et troisième quartile 84 et 180 m³/s). Les franchissements par les turbines et par l'exutoire ont lieu dans une gamme de débits du Gave comparables (20 à 100 m³/s) mais sont légèrement supérieurs pour les franchissements par les turbines (médiane 71 m³/s, premier et troisième quartile 42 et 91 m³/s) à ceux par l'exutoire (médiane 52 m³/s, premier et troisième quartile 39 et 83 m³/s).

Ceci met en évidence l'importance du débit déversé par les évacuateurs de crue sur les voies de franchissement. Sur la figure 19, on voit que le passage par les évacuateurs s'effectue avec des débits déversés très notablement supérieurs (médiane 48 m³/s, premier et troisième quartile 11 et 106 m³/s) à ceux relatifs aux passages par les turbines (médiane 3 m³/s, premier et troisième quartile 3 et 6 m³/s) et les exutoires (médiane 3 m³/s, premier et troisième quartile 4 et 13 m³/s).

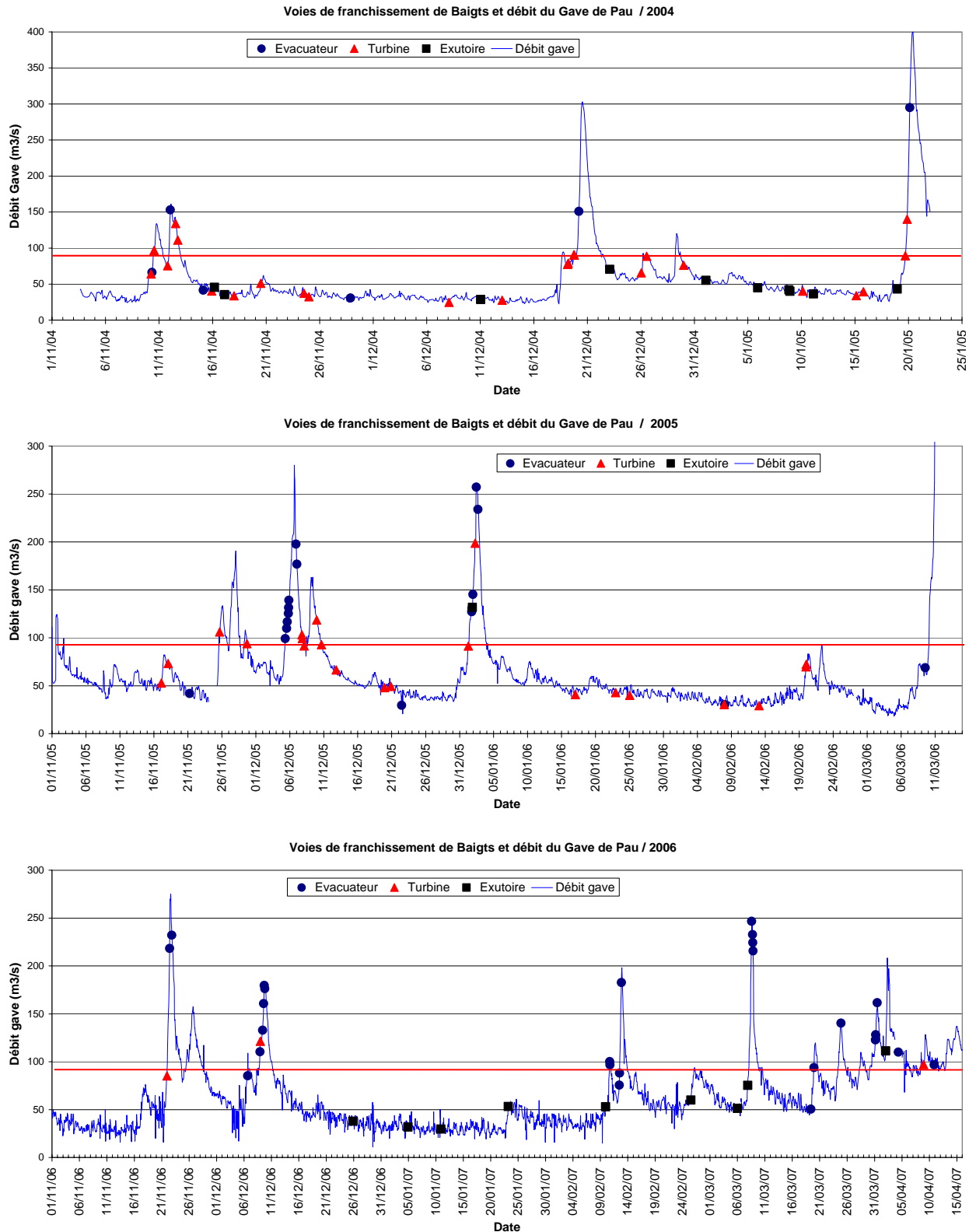


Figure 17 : Voies de franchissement de l'usine de Baigts et débit du Gave de Pau de 2004 à 2006. Chaque symbole matérialise le franchissement d'une anguille radiopistée par l'une des diverses voies de franchissement.

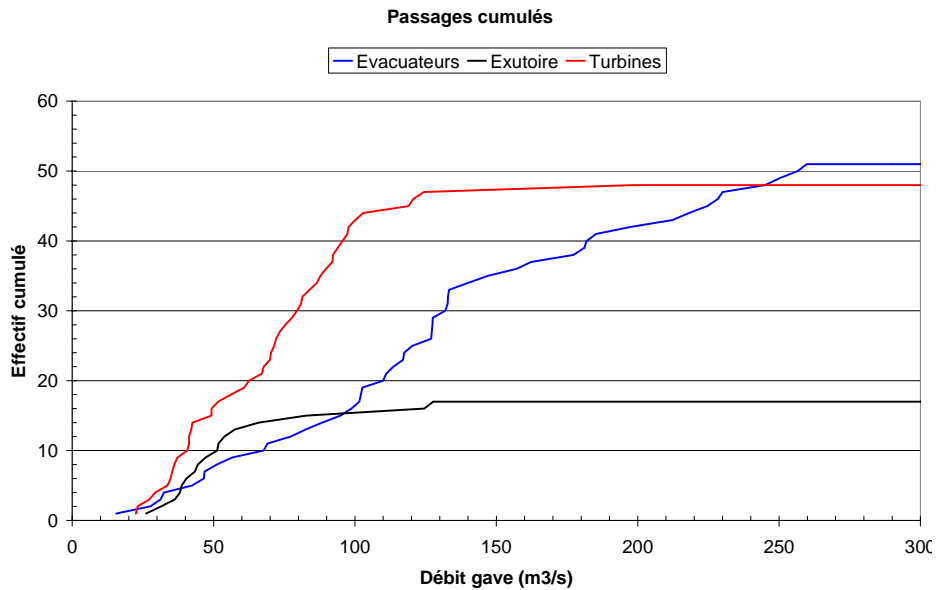


Figure 18 : Effectifs cumulés des franchissements d'anguilles par les diverses voies de passage de l'usine de Baigts en fonction du débit du Gave de Pau.

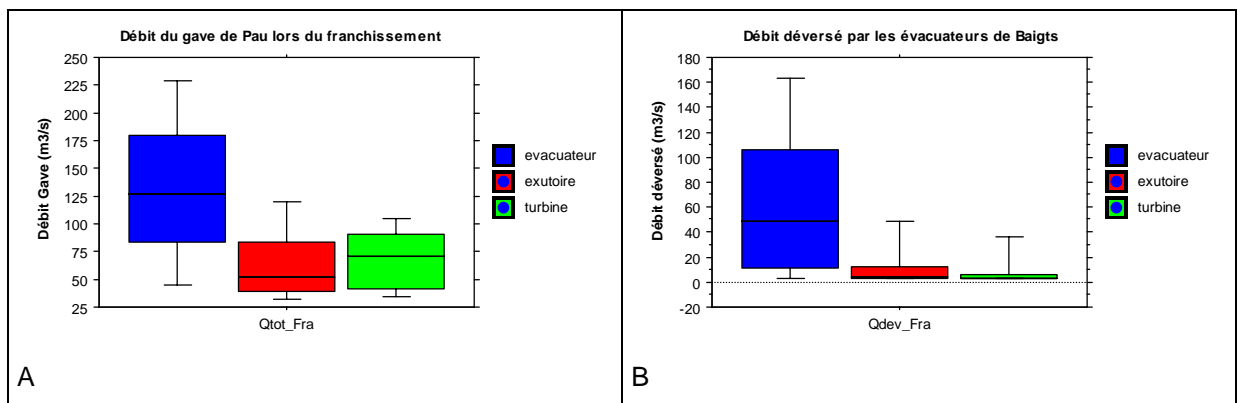


Figure 19 : Débit du Gave de Pau (A) débit déversé par les évacuateurs de crue (B) lors du passage par les diverses voies de franchissement de l'ensemble des anguilles de 2004 à 2006 (N=116).

De façon à préciser comment se répartissaient les passages en fonction de (Q_{dev} / Q_t), (ratio débit déversé / débit turbiné), nous avons représenté sur la figure 20 les voies de passage en fonction de ces deux débits. Nous avons pris en compte sur ce graphe uniquement les anguilles qui, de par leur taille, ne pouvaient pas être arrêtées par les grilles de prise d'eau (largeur de tête inférieure à 30 mm). On constate que :

- les passages par les turbines ont lieu en grosse majorité lorsque Q_{dev} / Q_t est inférieur 0.25 et sont quasi inexistantes lorsque Q_{dev} / Q_t dépasse 0.67 (2/3),
- les passages par les évacuateurs ont lieu majoritairement lorsque Q_{dev} / Q_t est supérieur à 0.25,

- les passages par l'exutoire ont lieu en quasi-totalité lorsque qu'il n'y a pas de déversement (débit déversé de l'ordre de 5 m³/s correspondant en général à des fuites sous les vannes).

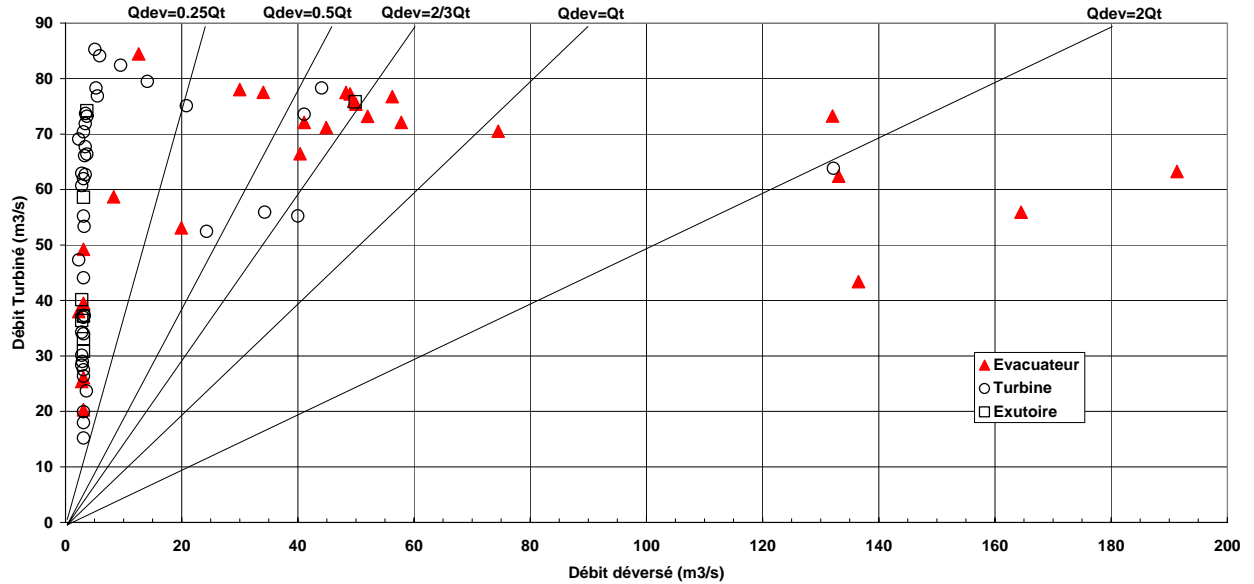


Figure 20 : Voies de franchissement de Baigts par les anguilles de petite taille (Largeur tête < 30mm) non arrêtées par les grilles de prise d'eau (N=78) en fonction des débits turbinés (Q_t) et déversés (Q_{dev}).

6.3. Influence de la taille des anguilles sur les voies de franchissement

La taille des anguilles (Figure 21), s'avère être significativement différente selon les voies de franchissement de Baigts (ANOVA, $F=17.1$; $p < 0.0001$). La taille des anguilles empruntant les turbines (moyenne 618 mm, médiane 60 mm, premier et troisième quartiles 570 et 645 mm) est significativement inférieure (test de Bonferroni) à celle des anguilles passant par les évacuateurs ou les exutoires (respectivement : moyenne 745 et 759 mm, médiane 755 et 770 mm, premier quartile 633 et 600 mm et troisième quartile 827 et 885 mm) qui, par contre, ne diffèrent pas entre elles. L'analyse du comportement (§ 7) montre que cette différence résulte de la sélectivité due au franchissement des grilles de prise d'eau.

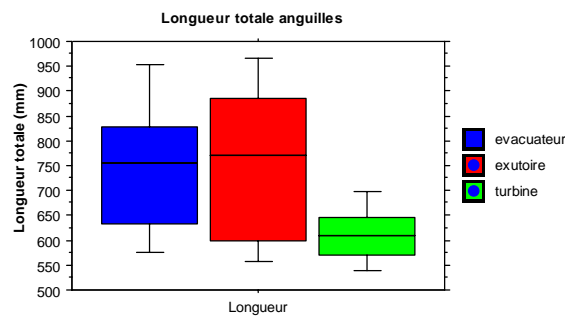


Figure 21 : Taille des anguilles empruntant les diverses voies de franchissement de Baigts de 2004 à 2006 (N=116).

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

7. Comportement des anguilles devant l'aménagement et devant les grilles de prise d'eau

La technique de radiopistage que nous avons utilisée permet d'accéder à un certain nombre de paramètres caractérisant le comportement des anguilles tant au niveau de l'aménagement qu'au voisinage des grilles de prise d'eau.

7.1. Paramètres caractérisant le comportement de l'anguille

Le comportement des anguilles à l'approche de l'aménagement de Baigts peut se caractériser par **le nombre d'incursions** dans la retenue effectué par les individus avant franchissement, par **le délai** avant franchissement de l'aménagement et par **le nombre de zones d'enregistrement** fréquentées (toutes zones confondues) qui est un indicateur de l'activité de prospection du site.

Les incursions sont considérées ici à l'échelle de l'aménagement, c'est à dire vis à vis de la zone « retenue » qui s'étend à environ 150 m en amont du barrage. Une incursion correspond à l'entrée dans cette zone de détection. Les individus qui effectuent des incursions multiples sont ceux qui, après exploration de l'aménagement, remontent le Gave en amont de cette zone de détection pour revenir ensuite. Cette remontée des anguilles dans le Gave est en général limitée à quelques centaines de mètres en amont de l'aménagement (distance maximale : 2.8 km). Les individus qui restent dans la zone « retenue », même pendant une durée conséquente sont considérés comme n'effectuant qu'une seule incursion.

Nombre d'incursions dans la retenue

La grande majorité des individus (92/116 = 79%) franchit l'aménagement après avoir effectué une seule incursion sur le site, 16 individus (14%) effectuent 2 incursions, 4 individus (3%) effectuent 3 incursions, 3 individus (2.6%) effectuent 4 incursions et un seul individu effectue 6 incursions.

Délai avant franchissement

Le délai avant franchissement de l'aménagement (durée entre la première détection dans la zone « retenue » et le passage à l'aval de l'aménagement) est très variable d'un individu à l'autre, puisqu'il est compris entre 0.4 minutes et 77 jours. La médiane est d'environ 1 heure, les premier et troisième quartiles respectivement de 10 min et de 49 heures.

Nombre de zones prospectées

Le nombre de zones prospectées dans la retenue (Figure 5) avant le franchissement est également très variable d'un individu à l'autre, et varie de 1 à 90. La médiane est de 2, les premier et troisième quartiles de 1 et 12.

Le comportement des individus se présentant au niveau du plan de grille apparaît très variable selon les individus: certains passent directement et rapidement au travers de la grille sans exploration apparente, d'autres effectuent une « exploration » du plan de grille caractérisé par des incursions multiples (venues à proximité de la grille suivies d'un retour dans la retenue) et par un déplacement le long de la grille caractérisé par la fréquentation d'un nombre plus ou moins important de zones d'enregistrements de radiopistage délimitées le long de la grille (zones A, B, C, D, E – Figure 5).

Ce comportement au niveau des grilles peut se caractériser par **la durée cumulée de présence** à proximité de la grille, le **nombre d'incursions devant la grille**, le **nombre de zones explorées le long du plan de grille** et par **le délai entre la première venue au contact de la grille et le franchissement** de l'aménagement.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Nombre d'incursions devant la grille

Pour les individus qui se présentent aux grilles, le nombre d'incursions aux grilles varie de 1 à 50. La majeure partie des individus effectuent cependant peu d'incursions : la médiane est de 2, les premier et troisième quartiles de 1 et 6.

Nombre de zones explorées le long du plan de grille

Le nombre de zones explorées varie de 1 à 52, mais, comme pour le nombre d'incursions, le nombre de zones explorées reste limité : la médiane est de 3, les premier et troisième quartiles de 1 et 10.

Durée cumulée de présence à proximité de la grille

La durée cumulée de présence à proximité de la grille est généralement faible : la médiane est de 1.4 minute, les premier et troisième quartiles 0.5 et 6.6 minutes.

Délai entre la première venue au contact de la grille et le franchissement

Ce délai varie très fortement entre les individus (30 secondes à 72 jours) : la médiane est d'une heure, les premier et troisième quartiles sont respectivement de 0.6 minute et 2.4 jours.

7.2. Typologie du comportement

Sur la base du comportement à l'approche de l'aménagement et au niveau des grilles ainsi que sur les voies de franchissement empruntées, cinq types de comportement, schématisés sur la Figure 22, ont pu être distingués ; les caractéristiques en sont rapportées sur les Figures 23 et 24 :

- **C1** : échappement direct et rapide par les **évacuateurs** (vanne, clapet) sans venue préalable devant les grilles de prise d'eau de l'usine. Les individus n'effectuent qu'une seule incursion sur le site, les délais de franchissement sont très courts (médiane 6 min, premier et troisième quartiles 4 min et 15 min), le nombre de zones fréquentées est faible (médiane de 2, premier et troisième quartiles 1 et 3),
- **C2** : franchissement direct et rapide par les **turbines** sans exploration d'autres voies de franchissement (exutoire, vanne, clapet). Les individus n'effectuent pour la plupart qu'une seule incursion sur le site, les délais de franchissement sont très courts (médiane 11 min, premier et troisième quartiles 4 mn et 15 mn), une seule zone amont fréquentée (médiane, premier et troisième quartiles de 1, le maximum de 2). Le passage des grilles se fait très rapidement (médiane 3.5 min, premier et troisième quartiles 2.6 min et 6.7 min) avec une durée de présence (médiane 0.5 min, premier et troisième quartiles 0.32 min et 1.3 min) et une exploration très limitée des grilles (nombre de zone explorées : médiane 2, premier et troisième quartiles 1 et 3 zones), le passage se faisant le plus souvent lors de la première incursion aux grilles,
- **C3** : franchissement relativement rapide par les **turbines** après exploration d'autres zones de franchissement (grille prise eau, exutoire, vanne, clapet). Les individus effectuant des d'incursions multiples sur le site sont plus nombreux (32% des individus). Les délais de franchissement sont plus longs (médiane 1.75 heure, premier et troisième quartiles 0.6 et 22 heures), le nombre de zones prospectées à l'amont est plus important (médiane 5 zones, premier et troisième quartiles 4 et 18 zones). Le passage aux grilles se fait moins rapidement (médiane 53 min, premier et troisième quartiles 9.6 min et 17 heures), le nombre d'incursions (médiane 4 incursions, premier et troisième quartiles 2 et 16 incursions) ainsi que la durée de présence aux grilles (médiane 3.5 min, premier et troisième quartiles 1.3 min et 11.6 min) sont plus importants que pour C2,
- **C4** : franchissement par une voie autre que les turbines (**exutoire, évacuateur**) après exploration des grilles. Les individus effectuant des d'incursions multiples sont peu nombreux (11% des individus). Les délais de franchissement (médiane 1.6 heure, premier et troisième quartiles 0.45 et 19 heures) et le nombre de zones prospectées (médiane 2.5 zones, premier et troisième quartiles 2 et 11 zones) sont du même ordre de grandeur que pour le groupe C3. Le passage à l'aval se fait également dans des temps comparables (médiane 80 min, premier

et troisième quartiles 4.2 min et 17 heures). Si le nombre d'incursions aux grilles est comparable, (médiane 4 incursions, premier et troisième quartiles 1 et 9 incursions), la durée de présence aux grilles (médiane 1.2 min, premier et troisième quartiles 0.30 min et 3.8 min) est plus faible que pour C3,

- **C5** : franchissement de l'aménagement par les **évacuateurs ou l'exutoire** mais après un blocage de longue durée en amont de l'aménagement. Les individus effectuant des d'incursions multiples sont plus nombreux (46% des individus). La médiane, le premier et troisième quartiles des délais de franchissement sont respectivement de 137 heures, 72 heures et 212 heures. Le nombre de zones prospectées à l'amont est important (médiane 26 zones, premier et troisième quartiles 13 et 40 zones). Le nombre d'incursions (médiane 9, premier et troisième quartiles 3 et 25), la durée de présence (médiane 3.8 min, premier et troisième quartiles 1.2 min et 10.9 min) ainsi que le nombre de zones prospectées (médiane 9, premier et troisième quartiles 3 et 25) au niveau des grilles sont plus importantes que pour tous les groupes précédents.

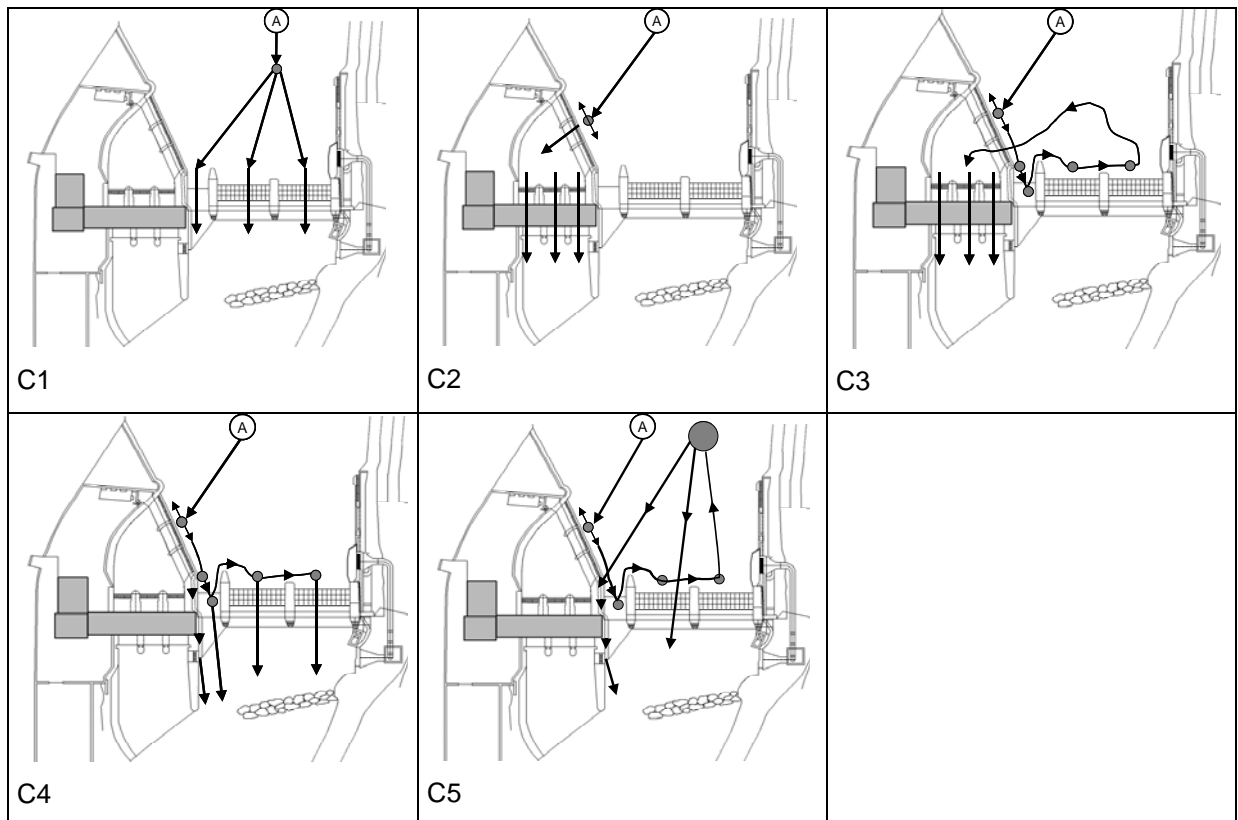


Figure 22 : Représentation schématisques des divers types de comportement des anguilles observés à l'amont de l'usine de Baigts. A = trajet lors de la première arrivée sur le site.

Sur l'ensemble des 116 anguilles ayant franchi l'aménagement de Baigts de 2004 à 2006, 112 ont pu être caractérisées par l'un des 5 types de comportement décrits précédemment. Les quatre individus restant ont eu des comportements atypiques :

- 2 individus, arrivés sur le site en absence de déversement (débit du Gave de 59 m³/s et 87 m³/s), sont allés directement devant les vannes sans venir devant les grilles de prise d'eau et y sont restés respectivement 15 heures et 14 jours avant de franchir l'aménagement lors de l'ouverture des vannes (débit déversé respectif de 30 et 38 m³/s),
- 2 individus, arrivés sur le site en absence de déversement (débits du Gave de 54 m³/s et 30

m³/s respectivement), sont passés directement et rapidement (13 mn et 70 mn après leur arrivée sur le site) par l'exutoire de dévalaison sans venir devant les grilles de prise d'eau

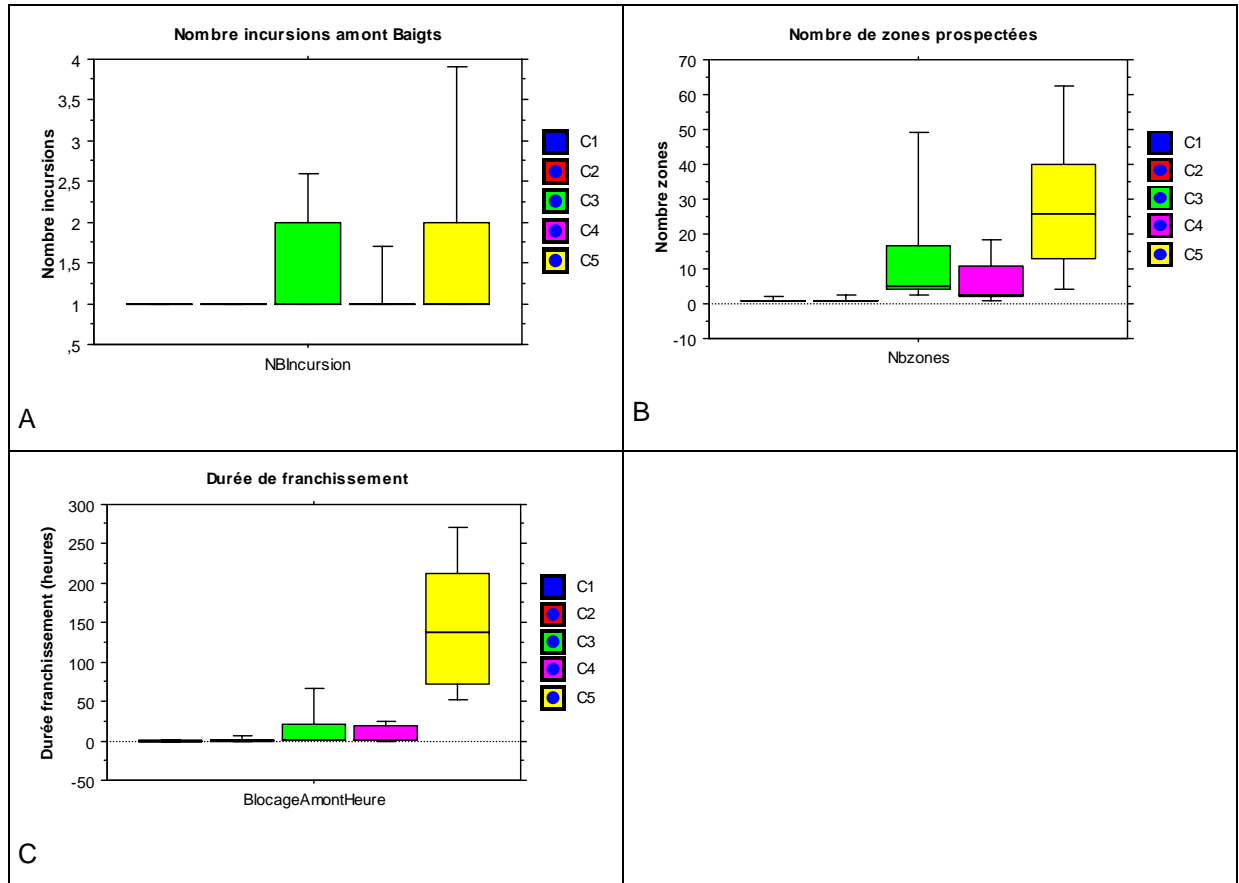


Figure 23 : Caractéristiques du comportement de l'ensemble des anguilles arrivées à Baigts (N=112) selon les 5 types de comportement (Cf § 7.2) : nombre d'incursions dans la retenue (A) ; nombre de zones prospectées (B) et durée de franchissement de l'aménagement (C).

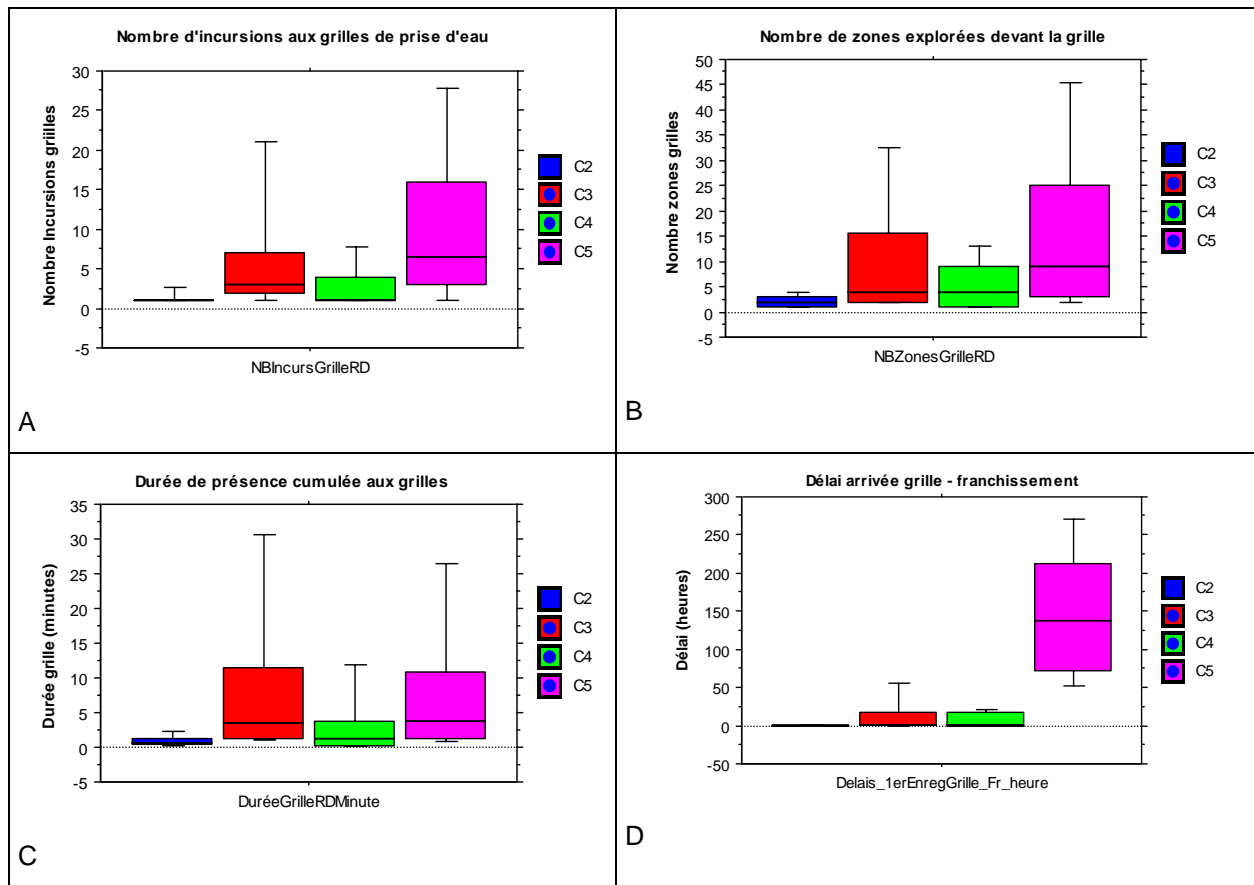


Figure 24 : Caractéristiques du comportement des anguilles venues aux grilles de prise d'eau de l'usine principale (N= 92) selon les 4 types de comportement (Cf § 7.2) : nombre d'incursions devant les grilles (A) ; nombre de zones prospectées (B) ; durée de présence cumulée au contact des grilles (C) et délai entre l'arrivée devant les grilles et le franchissement de l'aménagement (D).

Le débit du Gave et la taille des anguilles sont susceptibles d'influer sur le comportement des anguilles à l'amont de l'aménagement en agissant d'une part sur l'attraction vers les évacuateurs de crue qui dépend des débits déversés et turbinés, et d'autre part sur la franchissabilité de la grille de prise d'eau qui dépend de la taille des anguilles et plus spécifiquement de la largeur de la tête par rapport à l'espacement des barreaux.

Sur la figure 25, on distingue les conditions propices à chaque type de comportement :

- l'échappement direct par les évacuateurs (C1) se produit pour des débits du Gave supérieurs à une centaine de m³/s, ce qui correspond à des débits déversés supérieurs à une vingtaine de m³/s. La taille des anguilles ne peut pas avoir d'effet particulier dans la mesure où elles ne viennent pas au contact de la prise d'eau,
- le passage direct par les turbines (C2) se produit pour des débits du Gave voisins ou légèrement supérieurs au débit d'équipement de l'usine (débit maximal turbinable) ce qui correspond à un débit turbiné élevé et un débit déversé faible à nul. Il concerne surtout des anguilles de petite taille,
- le passage par les turbines après exploration des autres voies de franchissement (C3) est le fait d'anguilles de petite taille mais il se produit lors des faibles débits du Gave, c'est à dire

dans des conditions de débit turbiné inférieur au débit d'équipement et en l'absence de déversement,

- l'échappement par les évacuateurs ou l'exutoire, après venue aux grilles de prise d'eau (C4), se produit dans des conditions similaires au comportement C3, mais avec un débit plus élevé et pour des anguilles de taille plus étendue,
- l'échappement par les évacuateurs et exutoire après stationnement de longue durée en amont de l'aménagement (C5) est le fait d'anguilles de grande taille qui majoritairement ne peuvent pas passer au travers des grilles de prises d'eau et qui arrivent sur le site dans des conditions de débit faible c'est à dire en absence de déversement significatif.

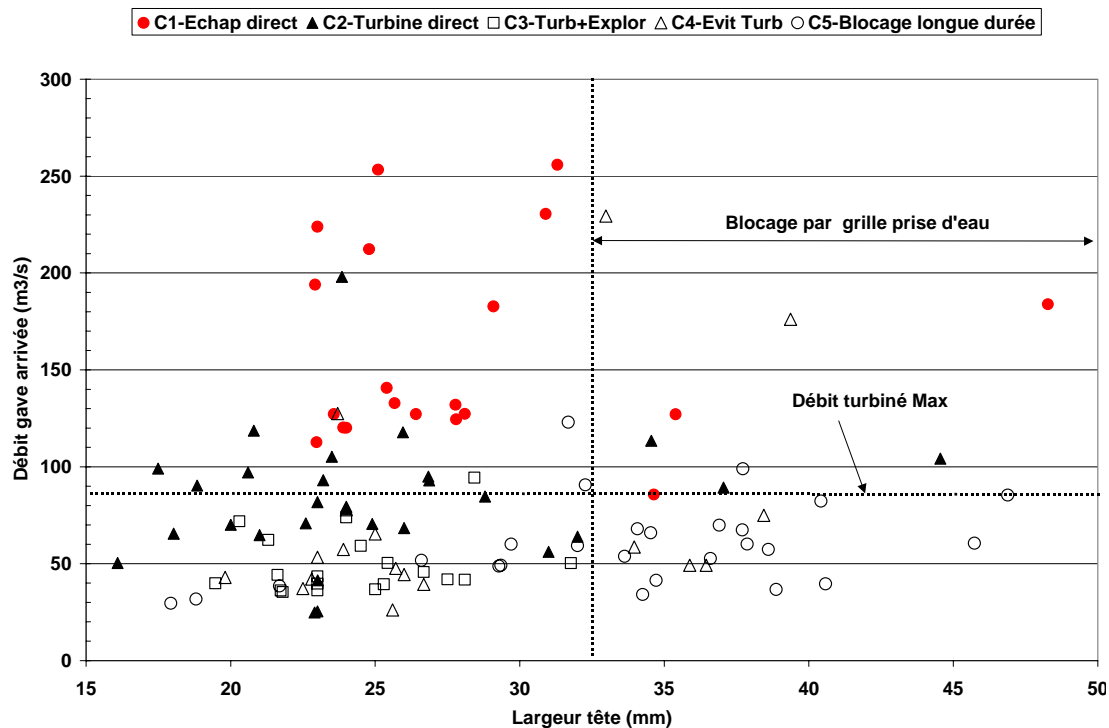


Figure 25: Types de comportement des anguilles sur le site de Baigts (CF § 7.2) en fonction de la taille des anguilles (largeur de tête) et du débit du Gave enregistré lors de l'arrivée des anguilles sur l'aménagement.

Certains des points mis en évidence sur le graphique peuvent être confirmés plus rigoureusement à l'aide d'analyses de variance à un facteur permettant de comparer les valeurs moyennes des débits du Gave et des débits turbinés lors du franchissement ainsi que de la taille des individus pour les cinq types de comportements.

Le débit du Gave lors de l'arrivée des anguilles sur le site (Figure 26) est significativement différent selon les 5 types de comportement (ANOVA, $F=28.1$, $p < 0.05$). L'échappement direct par les évacuateurs (C1) se produit pour des débits du Gave supérieurs à ceux des autres groupes: les moyennes des débits pour C1 ($160 \text{ m}^3/\text{s}$) sont significativement différentes (procédure des comparaisons multiples de Bonferroni) de celles pour les autres groupes C2, C3 C4 et C5 (moyennes respectives de 83 , 52 , 75 et $60 \text{ m}^3/\text{s}$).

Des autres groupes, seuls C2 et C3 se distinguent de façon significative (Bonferroni, $p < 0.05$) par les débits (moyennes respectives 83 et $52 \text{ m}^3/\text{s}$). Cela pourrait expliquer pourquoi les individus du groupe

C2 passent par les turbines plus rapidement que ceux du groupe C3.

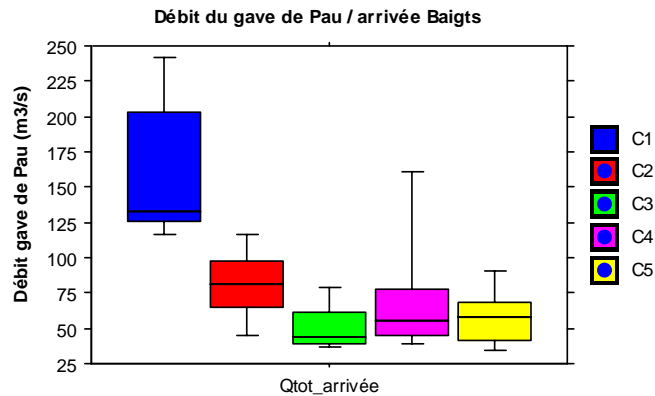


Figure 26 : Débit du Gave de Pau lors de l'arrivée de l'ensemble des anguilles (N=112) sur l'aménagement de Baigts pour les 5 comportements types (Cf § 7.2).

Le débit turbiné lors de l'arrivée des anguilles devant les grilles de prise d'eau (N=92) est significativement différent pour les 4 groupes de comportement (ANOVA, $F=6.5$; $p < 0.05$) (Figure 27). Le groupe C2 se distingue des autres groupes par des débits turbinés lors de l'arrivée aux grilles significativement plus importants (moyenne $63 \text{ m}^3/\text{s}$, médiane $66 \text{ m}^3/\text{s}$) que pour tous les autres groupes C3, C4 et C5 (moyennes respectives 42 , 48 et $50 \text{ m}^3/\text{s}$ et médianes de 37 , 45 et $50 \text{ m}^3/\text{s}$) (test de Bonferroni). Cela peut expliquer pourquoi les individus du groupe C2 passent par les turbines plus rapidement que le groupe C3. Cela semble également indiquer que lors des faibles débits turbinés, les anguilles manifestent une « certaine répulsion », tout au moins momentanée, à passer au travers des grilles de prise d'eau. La vitesse moyenne d'écoulement au droit du plan de grille est respectivement de l'ordre de 0.30 m/s lors du franchissement rapide de la grille (groupe C2) et de 0.20 m/s lors du franchissement « prudent » de la grille (groupe C3). Nous ne savons pas si cette vitesse a une quelconque influence sur la répulsivité temporaire du plan de grille où si c'est un autre facteur qui est en jeu.

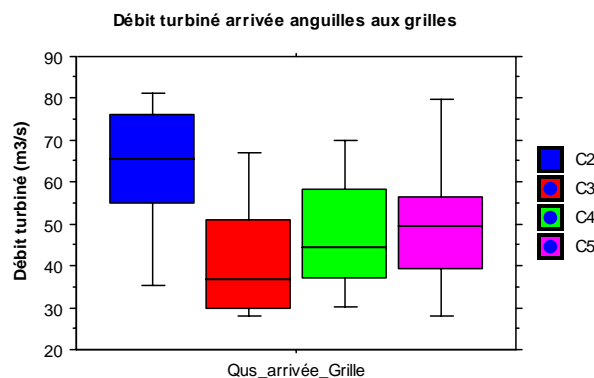


Figure 27 : Débit turbiné à l'arrivée des anguilles devant les grilles de prise d'eau (N=92) pour les 4 comportements types des anguilles venues aux grilles (Cf § 7.2).

La taille des anguilles est également significativement différente selon les types de comportements de l'ensemble des 112 individus ayant franchi l'aménagement (ANOVA, $F=13.7$; $p < 0.001$). Sur la figure 28, on constate que les individus franchissant l'aménagement par les **évacuateurs ou l'exutoire** après un blocage de longue durée en amont de l'aménagement (groupe C5) se distinguent par des tailles significativement plus importantes (moyenne 810 mm) que celles des autres groupes C1, C2, C3 C4 (moyennes respectives de 691, 629, 600, 703 mm) (test de Bonferroni), ce qui confirme que le stationnement de longue durée en amont de l'aménagement résulte d'un effet de la grille de prise d'eau sur les anguilles de grande taille. On constate d'autre part que la taille des anguilles du groupes C2 (passage direct et très rapide par les turbines) ne diffère pas significativement (test de Bonferroni, $p < 0.05$) de celle du groupe C3 (passage par les turbines après exploration de la grille), ce qui tendrait à prouver que c'est bien le débit turbiné (Cf § précédent) et non la taille des anguilles qui serait responsable de cette différence de comportement au niveau de la grille de prise d'eau. A contrario, la taille des anguilles du groupe C4 (échappement après exploration de la grille) est significativement plus élevée que celle du groupe C3, ce qui tendrait à prouver que c'est la taille plus importante des anguilles qui rendrait la grille plus répulsive et leur éviterait le passage dans les turbines.

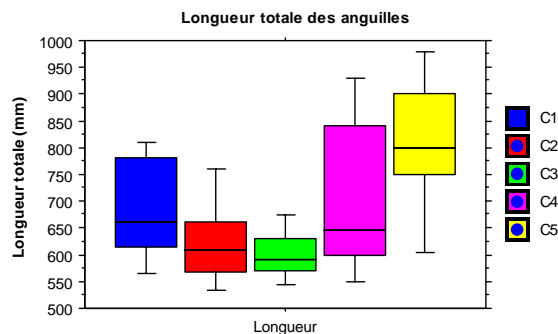


Figure 28 : Taille des anguilles (longueur totale en mm) selon les 5 comportements types (Cf § 7.2) pour l'ensemble des individus ayant franchi l'aménagement de Baigts (N=112).

La répartition des divers types de comportement selon les années d'expérimentation est rapportée sur la figure 29. L'expérimentation 2006 est caractérisée par une forte dominance du comportement C5, qui indique que les anguilles, dans l'impossibilité de passage au travers de la grille de prise d'eau du fait de leur taille, sont restées en amont de l'aménagement en attente de passage par l'exutoire de dévalaison ou par les évacuateurs de crue. Lors des expérimentations de 2004 et 2005, les passages directs et rapides par les turbines (C2) prédominent sur les passages par les turbines après prospection d'autres voies de franchissement (C3). Par contre, les années 2004 et 2005 se distinguent par des comportements différents des anguilles échappant aux turbines : en 2004, ce sont les passages par les évacuateurs après exploration (C4) qui prédominent alors qu'en 2005, les passages directs par les évacuateurs (C1) sont majoritaires. Il est vraisemblable que ceci résulte de l'hydraulicité du Gave plus élevée lors de la campagne 2005 que lors de celle de 2004.

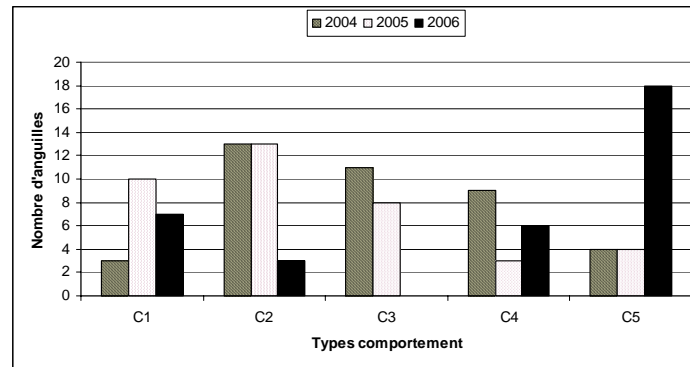


Figure 29 : Répartition des divers comportements types (Cf § 6.1.1) au cours des trois années d'expérimentations.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

8. Passages par les exutoires de dévalaison

Plusieurs dispositifs de dévalaison (exutoires) ont été suivis au cours des trois années d'expérimentation (§ 3.1) :

- deux exutoires, un de surface (années 2004 et 2006) et un de profondeur (année 2005), sur la prise d'eau de l'usine principale en rive droite,
- trois exutoires, deux de surface et un de profondeur sur la prise d'eau de la micro-centrale en rive gauche (année 2006 uniquement).

Les suivis effectués sur ces dispositifs ont consisté à y comptabiliser le passage des anguilles radiopistées et, pour les exutoires de la centrale principale, à détecter la présence des individus dans la zone proche de leur entrée (2-3 mètres). Pour la micro-centrale, seuls le passage dans les exutoires et la présence à proximité de la totalité de la grille de prise d'eau ont été suivis.

En outre, au cours de l'expérimentation de 2004, l'ancienne passe à poissons (figure 2) située en rive gauche de l'aménagement était en service et a constitué également un point de passage vers l'aval malgré sa situation a priori peu favorable et son faible débit (1 m³/s).

8.1. Quantification des passages par les exutoires

Sur les 116 anguilles radiopistées de 2004 à 2006 (tableau 6), 16 (13.8%) sont passées par les exutoires de dévalaison (surface et profondeur) de l'usine principale (RD) dont 15 par l'exutoire de surface en service en 2004 et 2006 et 1 par l'exutoire de fond en service en 2005. Pour l'année 2006, où a été mise en service la micro-centrale (RG), 1 seul individu sur les 37 radiopistés est passé par l'un des trois exutoires de la micro-centrale (Tableau 5). Au cours de l'expérimentation de 2004, 3 individus sur les 40 radiopistés (7.5%) ont emprunté l'ancienne passe à poissons (Figure 13, Tableau 5). Au total, sur les trois années d'expérimentation, 20 individus (17.2%) ont franchi l'aménagement par des exutoires spécifiques ou assimilés.

Tableau 6 : passage des anguilles par les exutoires de l'usine principale (RD) de 2004 à 2006 . (a) : % par rapport aux anguilles marquées ; (b) : % par rapport aux anguilles venues aux grilles ; (c) : % par rapport aux anguilles venues à l'exutoire.

	2004	2005	2006	TOTAL
Type d'exutoire de dévalaison	surface	profondeur	surface	
anguilles marquées	40	39	37	116
anguilles venues aux grilles (RD)	37	28	27	92
anguilles venues à l'exutoire (a)	13 (35.1%)	14 (50%)	23 (88.8%)	50 (54.3%)
franchissements par l'exutoire (a)	7 (17.5%)	1 (2.6%)	8 (21.6%)	16 (13.8%)
(b)	18.9%	3.6%	29.6%	17.4%
(c)	53.8%	7.1%	33.3%	30.2%

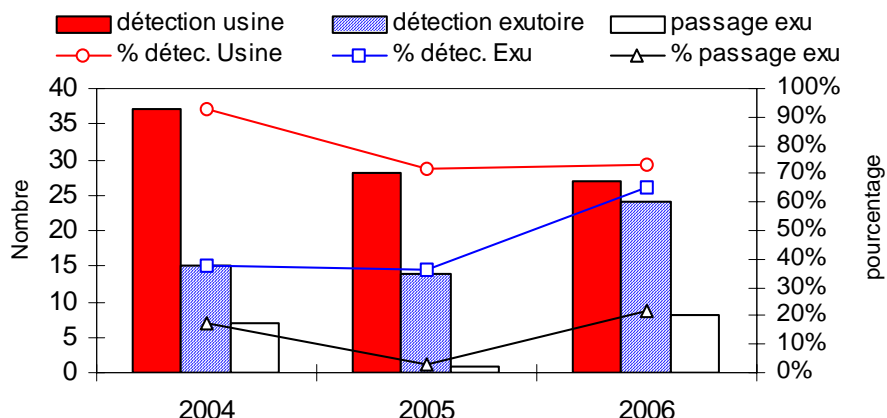


Figure 30 : Nombre et pourcentage d'anguilles venues à l'usine (RD), venues devant l'exutoire (RD) et ayant emprunté l'exutoire de dévalaison de surface (2004 et 2006) et en profondeur (2005). Les pourcentages sont relatifs au nombre d'anguilles marquées.

8.2. Comportement devant les exutoires

8.2.1. Exutoire de surface en Rive Droite

La fonctionnalité de l'exutoire peut être appréciée par plusieurs paramètres : la proportion d'anguilles marquées qui se présentent au voisinage de l'exutoire, la proportion d'anguilles venues au voisinage de l'exutoire qui passent par l'exutoire, le nombre d'incursions et le temps de présence au voisinage de l'exutoire et le temps que mettent les anguilles à franchir l'aménagement par l'exutoire à compter de leur arrivée devant les grilles de prise d'eau.

Les individus qui passent par l'**exutoire de surface** y viennent en général après avoir exploré les grilles de prise d'eau. Seuls deux individus ont eu un comportement atypique et sont passés directement dans l'exutoire sans venir à la prise d'eau (Cf § 7.2). On constate (Figure 30, Tableau 6) que 35% des individus venus au contact de la grille de prise d'eau en 2004 et 89% en 2006 font des incursions au voisinage de l'entrée de l'exutoire. Comme vu au § 7, la forte proportion des venues à l'exutoire en 2006 s'explique par le fait que la majorité des individus ne pouvait pas franchir la grille du fait de leur grande taille. Seuls une vingtaine à une trentaine de pourcent (18.9% et 29.6% respectivement en 2004 et 2006) des individus venus à proximité de l'exutoire passent par l'exutoire ; les autres poursuivent leur exploration et passent ensuite soit par les turbines (26%), soit par les évacuateurs (44%).

Le nombre d'incursions au voisinage de l'exutoire qu'ont effectué les 36 individus qui l'ont fréquenté est très variable d'un individu à l'autre (1 à 21), mais reste faible (médiane 4 incursions, premier et troisième quartile 2 et 8 incursions).

La durée cumulée de présence au voisinage de l'exutoire est également très variable d'un individu à l'autre (10 secondes à 18 minutes) mais est relativement courte (médiane 2.4 minute, premier et troisième quartile 40 secondes et 4.6 minutes).

Le temps que mettent les anguilles à franchir l'aménagement par l'exutoire à compter de leur arrivée devant les grilles de prise d'eau est très variable d'un individu à l'autre (30 secondes à 7.7 jours) mais il est relativement long (médiane 3 jours, premier et troisième quartile 1.7 heures et 3.9 jours). Cette durée est significativement influencée par la taille des individus (Mann-Whitney, $p < 0.05$): les anguilles de longueur inférieure à 750 mm (7 individus/13), empruntent l'exutoire beaucoup plus rapidement (médiane 2 heures, premier et quatrième quartile 13 minutes et 38 heures) que les individus de longueur supérieure à 750 mm (médiane 4.1 jours ; premier et quatrième quartile 3 jours et 5.5 jours -Figure 31). Cette différence de comportement pourrait s'expliquer par le fait que les individus de grande taille, dont la majorité ne peut pas passer au travers des grilles de prise d'eau

passent plus de temps à explorer le site et en particulier le voisinage des grilles (Cf § 7.2.)

Deux individus ont eu un comportement atypique car ils sont passés directement par l'exutoire de dévalaison sans venir devant les grilles de prise d'eau. Arrivés sur le site lors de faibles débits du Gave (30 m³/s et 54 m³/s respectivement) et en absence de déversement, ils ont emprunté l'exutoire très rapidement (13 mn et 70 mn après leur arrivée sur le site) et sans hésitation apparente (une seule incursion devant l'exutoire d'une durée respective de 17 et 30 secondes).

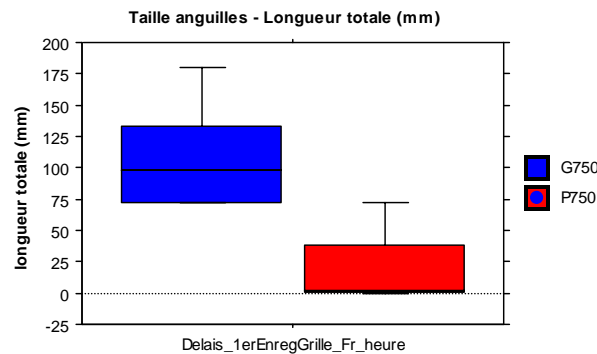


Figure 31 : Délais de franchissement de l'aménagement de Baigts par l'exutoire de surface en fonction de la taille des anguilles (G750 et P750: individus de longueur supérieure et inférieure à 750 mm).

On ne constate pas de différence significative en terme de nombre d'incursions et de durée cumulée de présence au voisinage de l'exutoire, ni entre les individus qui passent par l'exutoire et ceux qui passent par une autre voie de franchissement (Mann-Whitney, $P > 0.05$), ni entre les individus de grande taille ($Lt > 750$ mm) et ceux de petite taille (Mann-Whitney, $P > 0.05$).

Le **débit du Gave** influe sur les passages par l'exutoire : les franchissements par l'exutoire ont lieu majoritairement lors de débits faibles dans le Gave (gamme de 26 à 124 m³/s, médiane 51 m³/s, premier et troisième quartile 38 et 78 m³/s) c'est à dire majoritairement en l'absence de déversement par les évacuateurs : il y a absence de déversement lors du passage de 12 individus sur 15 et des déversements respectifs de 42, 38 et 65 m³/s pour les trois individus restants.

8.2.2. Exutoire de profondeur en Rive Droite

L'exutoire de profondeur testé en 2005 a fait preuve d'une très faible fonctionnalité (Figure 30, Tableau 6) dans la mesure où il a été emprunté par un seul individu sur les 28 venus devant les grilles de prise d'eau (3.6%) et sur les 14 ayant fréquenté au moins une fois le voisinage de l'exutoire (7.1%). Pourtant, une proportion plus élevée d'individus ($14/28 = 50\%$) que pour l'exutoire de surface en 2004 (35%) était venue (ou passée) au voisinage de l'exutoire.

Le **nombre d'incursions** au voisinage de l'exutoire qu'ont effectué les 14 individus qui l'ont fréquenté est très variable d'un individu à l'autre (1 à 35), mais s'avère plus faible que pour l'exutoire de surface (médiane 1 incursion, premier et troisième quartile 1 et 2 incursions). En fait 9 individus sur 14 n'ont fait qu'une seule incursion, 4 en ont fait de 2 à 6 et un seul individu en a fait 35.

La **durée cumulée de présence** au voisinage de l'exutoire est également très variable d'un individu à l'autre (20 secondes à 38 minutes) mais est également plus faible que pour l'exutoire de surface (médiane 53 secondes, premier et troisième quartile 20 secondes et 1.3 minutes). L'anguille qui a franchi l'exutoire n'a fait aucune exploration du plan de grille puisqu'elle est passée à la première incursion en une trentaine de secondes, apparemment « par hasard » étant arrivée devant la grille au

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

niveau de l'entrée de l'exutoire. Lors du passage de cette anguille, le débit dans le Gave était relativement important (130 m³/s) ; le débit déversé était de 50 m³/s. La faible fonctionnalité de l'exutoire de fond par rapport à celui de surface semble donc être due à la faible prospection au voisinage de son entrée. Vu le faible nombre d'incursions devant l'entrée de l'exutoire et leur courte durée, on peut se demander s'il s'agit d'une recherche active d'une voie de franchissement ou bien d'un simple passage devant l'exutoire lors de la prospection du plan de grille. La raison pourrait en être le positionnement de l'entrée de l'exutoire, situé au bas de la grille de prise d'eau, soit à 7 m en dessous de la surface mais encore à 3 m au dessus du fond de la retenue.

8.2.3. Exutoires sur la micro-centrale Rive Gauche

Sur les 37 anguilles radiopistées en 2006, 20 sont venues au moins une fois devant la grille de prise d'eau de la micro-centrale RG. Un seul individu a emprunté un exutoire de dévalaison (exutoire de surface en RG de la prise d'eau) (Figure 3 et 4). Cette anguille est venue à 5 reprises au droit de la micro-centrale et est restée au total 4.5 minutes devant les grilles avant d'entrer dans l'exutoire. Elle a emprunté l'exutoire rapidement (12 minutes) après son arrivée sur le site. Le débit total du Gave était de 51 m³/s et il n'y avait pas de déversement.

Les 20 individus venus devant le plan de grille ont effectué plusieurs explorations de la prise d'eau (1 à 17 selon les individus, médiane 6 incursions premier et troisième quartile 3 et 10 incursions). La durée de présence devant les grilles de prise d'eau est également variable (40 secondes à 24 minutes, médiane 5.6 minutes, premier et troisième quartile 2.5 et 12.5 minutes). Les anguilles se sont présentées devant la micro-centrale alors que le débit total du Gave était compris entre 24 et 164 m³/s. La majorité des anguilles est venue devant les grilles pour des débits relativement faibles : 57% des incursions se produisent pour des débits compris entre 40 et 70 m³/s et 80% entre 30 et 80 m³/s. 85% des incursions ont lieu alors que les vannes et le clapet sont fermés. L'instrumentation de la micro-centrale n'était pas suffisante pour déterminer avec plus de précision le comportement des anguilles devant la prise d'eau RG.

8.2.4. Passe à poissons (ancienne)

Trois individus ont emprunté l'ancienne passe à poissons située en rive gauche à une centaine de mètres en amont du barrage et fonctionnelle uniquement en 2004. Arrivées dans des conditions de débit faible et stable du Gave (26 à 60 m³/s), ces anguilles, susceptibles de passer au travers de la grille de prise d'eau compte tenu de leur taille (longueur 570 à 730 mm, largeur de tête 23.9 à 29.7 mm), ont effectué plusieurs incursions (3 à 16) le long de la grille de prise d'eau, ainsi que, pour deux d'entre elles, des incursions à l'exutoire de dévalaison. Elles ont emprunté la passe à poissons après des durées respectives de stationnement à l'amont de la retenue de 1.4, 22 et 140 heures et après des incursions multiples (2 et 4) en amont de la retenue pour deux d'entre elles. Il est dommage que cet « exutoire » n'ait pas été en service au cours des années ultérieures pour confirmer les capacités de passage des anguilles dans une voie de passage atypique dans son positionnement (fort éloignement de la prise d'eau) par rapport aux exutoires utilisés classiquement pour le saumon.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

9. Modélisation de l'échappement

Les variables « passage par les ouvrages évacuateurs » ou « transit par les turbines » sont des variables qualitatives dichotomiques et peuvent faire l'objet d'une analyse par une régression de type logistique ou d'une analyse discriminante.

On a utilisé la régression logistique pour estimer les probabilités d'échappement par les ouvrages évacuateurs (ou celles du passage par les turbines) en fonction des variables Q_{dev}/Q_{total} (rapport débit déversé sur débit total du Gave) et L_t (longueur des individus). Ces deux variables indépendantes sont en effet les deux seules variables intervenant significativement dans l'échappement au barrage. L'échantillon traité inclut non seulement les 116 individus suivis au niveau de la prise d'eau en 2004, 2005 et 2006, mais aussi 23 individus supplémentaires marqués à l'aide d'émetteurs codés en 2006 et lors d'une campagne ultérieure en 2007, dont le comportement n'a pas été suivi très précisément au niveau de la prise d'eau mais dont les voies de franchissement au niveau de l'usine ont été enregistrées.

L'expression de la probabilité (P) d'échappement (c'est à dire passage par les ouvrages évacuateurs ou par l'exutoire) pour une anguille de longueur L_t est la suivante :

$$P = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$$

avec :

$$\eta = -6.88794 + 4.28269 * (Q_{dev}/Q_{total}) + 0.00909811 * L_t$$

L_t , longueur de l'anguille, étant exprimée en mm.

Pour le seuil de probabilité égal à 0.5, le modèle classe correctement 84% des passages des anguilles par les ouvrages évacuateurs ou par les turbines.

Le test du Chi-carré d'adéquation (Chi-carré = 8.38572 avec 6 ddl, probabilité = 0.211), qui détermine si la fonction logistique ajuste adéquatement les données observées, indique qu'il n'y a pas de raison de rejeter l'adéquation du modèle ajusté au niveau de confiance de 90% dans la mesure où la probabilité est supérieure ou égale à 0.10.

On a porté sur la Figure 32 les probabilités de taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs suivant l'importance des débits déversés pour plusieurs longueurs d'anguilles données. Les figures mettent très clairement en évidence l'effet de la longueur des individus sur la perméabilité des grilles : quelles que soit les conditions de débit, l'entraînement par les turbines des anguilles de longueur supérieures à 850-900 mm est faible. Pour les anguilles de tailles inférieures à 550-600 mm, la perméabilité des grilles est importante et l'effet du débit est prépondérant sur le taux d'entraînement par les turbines.

La perméabilité des grilles à section rectangulaire (espacement 30 mm) de la centrale paraît voisine de celle des grilles de tri à section circulaire de 25 mm (Annexe 2). L'espacement de 25 mm de grilles à barreaux de sections circulaires bloque en effet 90% des anguilles de 870 mm de longueur, 75% des anguilles de 820 mm, 50% des anguilles de 770 mm, 25% des anguilles de 710 mm et 10% des anguilles de 650 mm. On pourrait expliquer la différence par la forme de la section (il est en effet plus facile de « forcer le passage » sur une grille à barreaux circulaires que sur une grille à barreaux plats) et/ou par l'effet dissuasif des grilles différenciant un passage naturel et volontaire d'un passage forcé.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--

En prenant comme nouvelle variable indépendante le rapport L_f/e (ratio longueur de l'anguille sur espacement moyen des grilles), on obtient la relation suivante qui peut permettre d'extrapoler les taux d'échappement à Baigts pour d'autres espacements de grilles.

$$P = \exp(\eta)/(1+\exp(\eta))$$

avec :

$$\eta = -6.88794 + 4.28269*(Q_{dev}/Q_{total}) + 0.273*L_f/e$$

Si on rapporte la longueur des individus à l'espacement des grilles, on peut considérer que le blocage se produit pour un rapport L_f/e de l'ordre de 28.5-30, et la transparence pour un rapport inférieur à 18.5-20 (Figure 33).

Avec des grilles d'espacement 20 mm, l'entraînement dans les turbines d'anguilles de tailles supérieures à 550-600 mm deviendrait faible. La perméabilité des grilles ne deviendrait importante et l'effet du débit sur le taux d'entraînement par les turbines prépondérant que pour les anguilles de tailles inférieures à 350-400 mm.

Avec des grilles d'espacement 25 mm, les longueurs correspondant au blocage et à la transparence passeraient respectivement à 700-750 mm et à 450-500 mm.

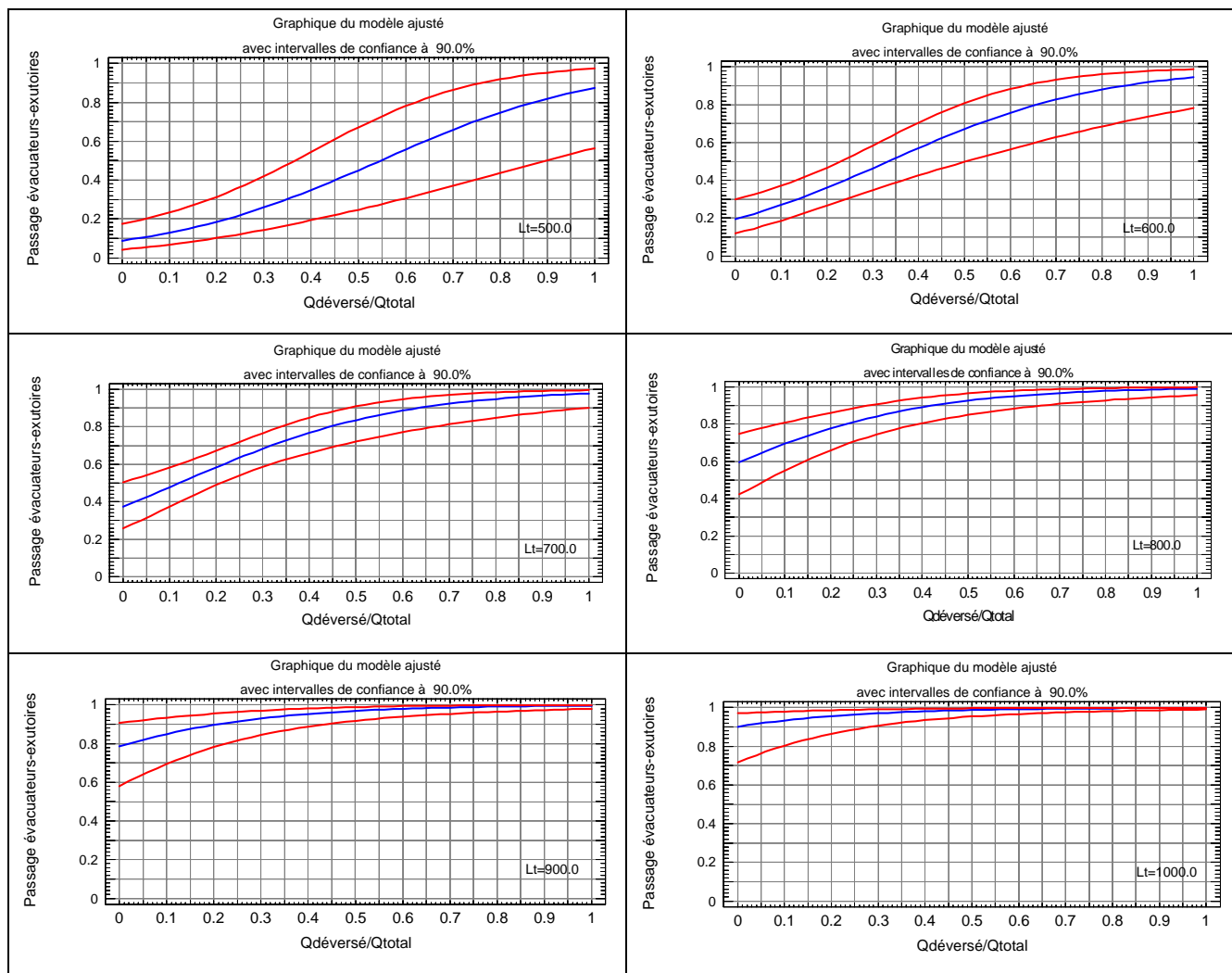


Figure 32 : Probabilités d'échappement (passages par les évacuateurs de crue et l'exutoire de dévalaison) des anguilles à l'usine de Baigts en fonction du rapport Q_{dev}/Q_{total} (ratio débit déversé / débit du Gave) pour des anguilles de taille L_t (longueur totale du corps en mm) comprise entre 500 et 1000 mm.

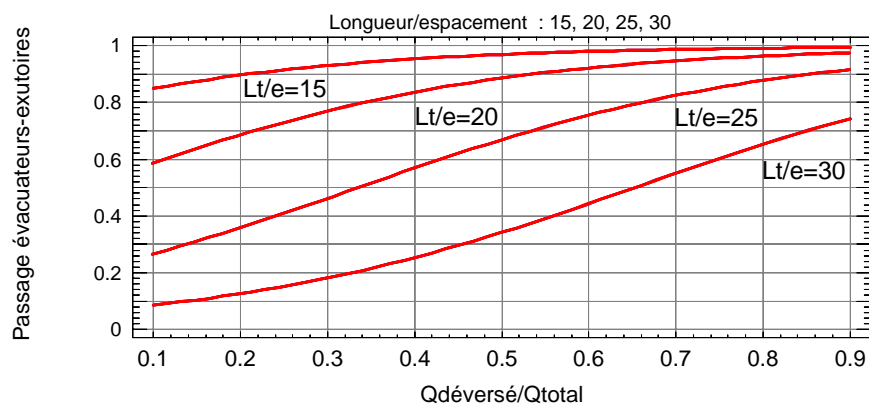


Figure 33 : Probabilités d'échappement (passages par les évacuateurs de crue et l'exutoire de dévalaison) des anguilles à l'usine de Baigts en fonction du rapport $Q_{dév}/Q_{tot}$ (ratio débit déversé / débit du Gave) pour des rapports L_t/e (ratio longueur totale des anguilles/espacement des barreaux de la prise d'eau) de 15, 20, 25, et 30.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTÉE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

10. Discussion – Conclusions

L'étude conduite durant trois saisons de migration sur l'aménagement hydroélectrique de Baigts avait pour objectif de répondre à plusieurs questions relatives au franchissement d'un aménagement hydroélectrique par l'anguille argentée en avalaison et aux possibilités de minimiser les mortalités engendrées par le passage dans les turbines:

- dans quelles conditions de milieu les anguilles arrivent-elles au droit de l'aménagement ?
- quelles sont, en l'absence de dispositifs spécifiques de dévalaison, les voies de franchissement de l'aménagement et en particulier quelles sont les probabilités d'échappement par les évacuateurs de crue ?
- quel est le comportement des anguilles argentées au voisinage de l'aménagement, et en particulier au niveau des grilles ?
- les dispositifs de dévalaison utilisés pour le saumon (exutoires de dévalaison associés aux grilles de prise d'eau) sont ils efficaces et utilisables pour l'anguille argentée ?
- l'utilisation de grilles de prise d'eau à faible espacement agissant comme une barrière physique permet-elle le franchissement sans dommage de l'aménagement, par quelles voies (évacuateurs ou exutoires) et avec quel délai ?

Techniques d'évaluation

L'étude a été conduite à l'aide de techniques de télémétrie : le radiopistage, qui permet de suivre les déplacements des poissons tant dans la rivière qu'à l'approche de l'aménagement et de déterminer les voies de franchissement et le transpondeur RFID qui permet d'augmenter la précision du radiopistage pour la détection de passage dans des zones particulières de petite taille (exutoires de dévalaison, goulottes de dégrilleurs...).

Si la technique utilisée a permis de détecter les voies de franchissement de l'aménagement, elle s'est révélée incapable, malgré l'installation d'un dispositif d'enregistrement très conséquent, de suivre très finement le comportement des anguilles, en particulier leur capacité d'exploration de la colonne d'eau qui est une composante importante du comportement de l'anguille au droit des prises d'eau [4, 5, 6, 7], contrairement aux smolts de saumon dont la migration a lieu en surface. Le suivi d'un nombre significatif d'individus (116 anguilles sur les trois années) a cependant permis d'obtenir des réponses relativement précises aux questions posées.

Comportement de dévalaison dans le cours d'eau

Le comportement de dévalaison de l'anguille argentée dans le cours d'eau à l'amont de l'aménagement s'est confirmé être très dépendant des paramètres de milieu. Comme observé dans d'autres études [8, 12, 13,], les épisodes de dévalaison dans le Gave de Pau sont intermittents et se produisent lors de « fenêtres environnementales » essentiellement influencées par les variations de débit dans le cours d'eau et par le nyctémère. Les migrations les plus actives, caractérisées par une vitesse de dévalaison importante dans le cours d'eau, se produisent lors de « coups d'eau » correspondants à des augmentations rapides de débit. En dehors des coups d'eau, les anguilles sont soit parfaitement immobiles sur des durées de plusieurs jours, voire plusieurs semaines, soit effectuent une dévalaison lente et « exploratoire » avec des stationnements dans certaines zones bien déterminées. La majorité des individus (53%) arrivent sur le site de Baigts lors de périodes de coups d'eau et donc en condition de « migration active », mais les arrivées en dévalaison « exploratoire » représentent une fraction non négligeable des 116 anguilles radiopistées (47%, soit 54 individus). Par rapport à la migration naturelle, la répartition des individus en migration « active » ou « exploratoire » est vraisemblablement biaisée par le radiopistage dans la mesure où les individus sont relâchés à une distance relativement proche en amont de l'aménagement. Il nous est impossible de déterminer l'importance de ce biais qui pourra sans doute être mieux évalué par l'étude en cours

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

sur le Gave de Pau [3, 38] où les anguilles sont relâchées à une cinquantaine de kilomètres en amont de Baigts.

Les dévalaisons sont essentiellement nocturnes : près de 90% des individus arrivent sur le site de Baigts au crépuscule ou la nuit (17h à 7h).

Voies de franchissement de l'aménagement

Les deux principales voies de franchissement de l'aménagement sont les turbines après passage au travers des grilles de prises d'eau et les évacuateurs de crue lorsqu'ils sont en fonctionnement, c'est à dire lorsque le débit de la rivière est supérieur au débit maximal turbiné.

L'échappement par les évacuateurs est fortement dépendant de l'hydrologie en période de migration, des rythmes de migration de l'anguille en fonction du débit du cours d'eau et de la répulsivité ou du blocage par les grilles de prise d'eau, eux mêmes fonctions de la taille des anguilles. L'effet de l'hydrologie est bien mis en évidence par la différence des échappements entre l'année 2004 à faible hydraulité (15% d'échappement) et l'année 2005 (44% d'échappement) dont hydraulité est plus élevée. L'effet de la taille des anguilles a été mis en évidence en 2006 par utilisation d'anguilles de grande taille dont la majorité ne pouvaient pas franchir les grilles de prise d'eau. L'échappement par les évacuateurs de crue a été de 68%.

L'exutoire de surface de l'usine principale (Rive Droite), fonctionnel pour le saumon sur la centrale de Baigts, a été utilisé en 2004 et 2006. Il a permis le passage de 18% (2004) et 24% (2006) des individus. La transformation de cet exutoire en exutoire « profond » (entrée à 7 m sous la surface et à 3 m au dessus du fond de la retenue) lors de la campagne 2005 n'a permis le passage que d'un seul individu. Les trois exutoires (2 de surface et un de profondeur) installés sur la prise d'eau de micro-centrale en Rive Gauche de l'aménagement ont été fonctionnels uniquement en 2006. Une seule anguille a emprunté l'un des exutoires de surface. L'ancienne passe à poissons située en Rive Gauche de la retenue à 150 m en amont du barrage et utilisée comme débit d'alimentation de l'ascenseur à poissons, a permis le passage de 3 individus (7.5%) en 2004, seule année où elle était en fonctionnement.

L'échappement cumulé par les évacuateurs de crue et par les exutoires de dévalaison (y compris la passe à poissons en 2004) a été respectivement de 40%, 46% et 92%, pour les années 2004, 2005 et 2006.

Comportement des anguilles à l'amont de l'aménagement et devant les grilles de prise d'eau

Plusieurs types de comportement ont été distingués à l'amont de l'aménagement et au niveau des grilles de prise d'eau :

- échappement direct et rapide par les **évacuateurs** (vanne, clapet) sans venue préalable devant les grilles de prise d'eau de l'usine. Cet échappement se produit lors de débits du Gave importants (>120 m³/s) et de déversements au barrage significatifs. Toutes les gammes de taille d'anguilles sont concernées,
- franchissement très rapide et sans exploration (en quelques minutes) des grilles et passage par les **turbines**. Ce comportement est observé pour les débits turbinés importants sans déversements notables, c'est-à-dire pour des débits du Gave de l'ordre de 70-100 m³/s et pour des anguilles de taille relativement faible : longueur moyenne de 630 mm (570-660 mm),
- franchissement assez rapide par les **turbines** mais après exploration d'autres zones de franchissement que la grille de prise eau (exutoire, vanne, clapet). Par rapport au cas précédent, les délais de franchissement sont plus longs (médiane 1.75 heure), le nombre de zones prospectées à l'amont est plus important (médiane 5 zones). Le passage aux grilles se fait moins rapidement (médiane 53 min), le nombre d'incursions (médiane 4 incursions) ainsi que la durée de présence aux grilles (médiane 3.5 min) sont plus importants. Les anguilles ont une taille similaire à celle du cas précédent : moyenne de 600 mm (570-630). Le passage aux grilles se fait dans des conditions de débits turbinés relativement faible (moyenne 42 m³/s). La « motivation » à dévaler semble beaucoup moins nette que pour le groupe précédent et se

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

traduit par une certaine « appréhension » à franchir la grille de prise d'eau,

- comportement très semblable au précédent, mais passage par les **évacuateurs ou l'exutoire** après exploration préalable de la grille de prise d'eau. Par rapport au cas précédent, les délais de franchissement sont voisins (médiane 1.60 heure), le nombre de zones prospectées à l'amont (médiane 2.5 zones) et le nombre d'incursions aux grilles (médiane 4 incursions) sont du même ordre de grandeur. Le passage par les évacuateurs et/ou l'exutoire se fait assez rapidement (médiane 80 min). Les anguilles sont significativement plus grosses que pour le groupe précédent (longueur moyenne de 703 mm, (600-840 mm)). L'aspect dissuasif des grilles, lié à la taille des individus pourrait expliquer, tout au moins en partie, le passage par les évacuateurs plutôt que par les grilles,
- franchissement de l'aménagement par les **évacuateurs ou l'exutoire** mais après un blocage de longue durée en amont de l'aménagement. Le pourcentage d'individus effectuant plusieurs incursions (46% des individus), les délais de franchissement (médiane 137 heures), le nombre de zones prospectées à l'amont (médiane 26 zones), le nombre d'incursions aux grilles (médiane 9) ainsi que le nombre de zones prospectées aux grilles (médiane 9) sont plus importantes que pour les tous les groupes précédents. Ce comportement est spécifique des anguilles de grande taille (longueur moyenne 810 mm) qui, en majorité, sont physiquement bloquées par les grilles de prise d'eau. Les individus attendent en amont de l'aménagement que les conditions favorables à leur passage à l'aval (ouverture des vannes de crue) se produisent ou arrivent, pour certains, à passer par l'exutoire de dévalaison.

Le comportement des anguilles au niveau de l'aménagement et leur l'échappement s'avère donc dépendre étroitement de deux facteurs : d'une part les débits du Gave, et en particulier les débits déversés au barrage lors de l'arrivée des anguilles sur le site, et d'autre part, la taille des individus. Le « patron de franchissement » suivant peut être établi en fonction de la taille des individus et du débit du Gave lors de l'arrivée des anguilles sur le site :

- les anguilles de grande taille ($L_t > 800$ mm), bloquées par la grille de prise d'eau, s'échappent par les évacuateurs ou par l'exutoire, plus ou moins rapidement selon la valeur du débit déversé. En l'absence de débit déversé, elles sont susceptibles de rester bloquées un temps relativement important (plusieurs jours) en amont de l'aménagement,
- les anguilles de petite taille ($L_t < 600-650$ mm), franchissent très rapidement l'aménagement. Leur passage peut se faire indifféremment par les évacuateurs ou par les turbines en fonction du ratio « débit déversé sur débit turbiné », les grilles paraissant transparentes à la migration. En période de faible débit, et en l'absence de déversement au barrage, le franchissement des grilles et leur passage par les turbines se fait moins rapidement, du fait de l'appréhension qu'ont les anguilles à franchir les grilles dans les conditions de débit faible,
- le comportement des anguilles de taille intermédiaire semble influencé par les grilles, même si celles-ci sont perméables : leur franchissement se fait généralement moins rapidement que pour les petites anguilles. Leur passage peut se faire par les évacuateurs ou par les turbines en fonction du ratio « débit déversé sur débit turbiné », mais en proportion moindre par les turbines que pour les petits individus pour un même ratio « débit déversé/débit turbiné »,
- En période de fort déversement, les passages se font préférentiellement par les évacuateurs, et ce, quelle que soit la taille des individus

Evaluation de l'échappement

Les données recueillies ont été utilisées dans une régression logistique pour estimer les probabilités d'échappement par les ouvrages évacuateurs en fonction des variables Q_{dev}/Q_{total} , (rapport débit déversé sur débit total du Gave) et L_t/e (rapport longueur des individus sur espacement des barreaux de la grille de prise d'eau). L'expression de la probabilité de passage (P) par les ouvrages évacuateurs pour une anguille de longueur L_t est la suivante :

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

$$P = \exp(\eta)/(1+\exp(\eta))$$

où :

$$\eta = -6.88794 + 4.28269*(Q_{dev}/Q_{total}) + 0.0273* L_i/e$$

Cette régression montre que le blocage des anguilles par les grilles se produit pour un rapport L_i/e de l'ordre de 28.5-30 et qu'elles deviennent « transparentes » pour un rapport L_i/e inférieur à 18.5-20.

Le modèle logistique montre que pour le site de Baigts, équipé d'une grille à 30 mm d'espacement, et pour une répartition 50%/50% des débits par les turbines et les évacuateurs, 50% des anguilles de 500-550 mm de longueur, 75% des anguilles de 650 mm de longueur (taille moyenne des anguilles utilisée dans les expérimentations de 2004 et 2005), et 95% des anguilles de 850 mm (taille moyenne dans l'expérimentation de 2006) passent par les évacuateurs. Ce résultat pourrait théoriquement être extrapolable à d'autres centrales hydroélectriques en prenant en compte le degré d'équipement de l'usine (débit maximal turbinable rapporté au module du cours d'eau) et l'espacement des barreaux de la grille de prise d'eau. En fait, cette extrapolation est délicate car la régression prend en compte implicitement la configuration particulière du site de Baigts (nature des évacuateurs, positionnement et orientation de la prise d'eau...) qui est susceptible d'influer de façon notable sur la répartition des anguilles entre les différentes voies de franchissement. Cet « effet site » devrait pouvoir être précisé par les expérimentations en cours sur le Gave de Pau (collaboration ONEMA-EDF) qui consistent à quantifier les voies de passage sur 5 aménagements hydroélectriques de caractéristiques différentes.

Exutoires de dévalaison

Deux exutoires de dévalaison ont été testés. Le premier, situé en surface, a déjà été testé il y a une douzaine d'années pour le saumon et s'est révélé fonctionnel: les passages de smolts de saumon sont compris entre 45% (passage dans l'exutoire seul) et 92% (passage dans l'exutoire et par le clapet de surface attenant) des individus arrivant devant la prise d'eau [11]. Cet exutoire a permis le passage de 18% à 22% (respectivement pour 2004 et 2006) des anguilles ayant franchi l'aménagement de Baigts. Le second, situé en profondeur, au niveau du bas des grilles mais à 3 m au dessus du lit du Gave n'a permis en 2005 que le passage d'un seul individu. On peut difficilement parler d'efficacité de ces exutoires, essentiellement du fait que sur un site comme Baigts (barrage-usine sans canal d'amenée) l'exutoire ne représente qu'une voie partielle de passage en complément des évacuateurs de crue. Par ailleurs, du fait que les anguilles dévalent généralement lors des coups d'eau, l'exutoire se trouve alors en compétition avec des débits déversants au barrage beaucoup plus importants. La probabilité de passage des anguilles par les exutoires est donc liée tout autant, voire plus, à la répartition des débits sur les voies de franchissement (turbines, évacuateurs) qu'à la fonctionnalité intrinsèque des exutoires.

Plusieurs enseignements peuvent cependant être tirés de cette expérimentation : (i) la fonctionnalité, pour l'anguille, d'exutoires associés aux grilles de prise d'eau tels qu'ils sont utilisés pour le saumon (fonctionnement basé sur la répulsivité comportementale des grilles pour le saumon) est limitée par le fait que les grilles ont un effet répulsif très peu marqué sur les anguilles de petite taille ($L < 650$ mm pour la grille de 30 mm de Baigts) qui passent à travers la grille sans prospection ; (ii) le positionnement en surface de l'exutoire semble être adéquat, même sur une retenue de profondeur conséquente (10-12 m à Baigts) puisque, lorsqu'elles sont bloquées par les grilles de prise d'eau, la quasi-totalité des anguilles font des incursions devant l'entrée de l'exutoire ; (iii) les résultats décevants obtenus en 2005 sur l'exutoire profond semblent en contradiction avec ceux obtenus sur le site d'Halsou [12, 13, 19] qui avaient montré qu'un exutoire de fond était plus fonctionnel qu'un exutoire de surface. Il est cependant difficile de trancher sur l'exutoire testé à Baigts en 2005, sa position n'étant ni en surface ni réellement au fond. Nous n'avons pas pu déterminer, lors de cette étude pourquoi seule une faible fraction des anguilles venant au voisinage immédiat de l'exutoire l'empruntait. Cela peut signifier que l'exutoire manque d'attractivité et donc que les critères de conception des exutoires à saumon (dimensions de l'exutoire, conditions de débits ou hydrodynamisme à proximité de son entrée) sont inadaptés à l'anguille. Mais cela peut également signifier que les enregistrements de présence des anguilles devant les exutoires ne correspondent pas à une recherche active de franchissement mais à un simple passage des anguilles au voisinage

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

de l'exutoire. La mise au point d'exutoires spécifiques à l'anguille nécessiterait une étude plus fine du comportement des anguilles au voisinage de l'entrée des exutoires (visualisation par caméra optique ou par caméra « Didson » par exemple), ce que ne permet pas la technique de radiopistage que nous avons utilisée dans cette étude.

Sur les sites hydroélectriques similaires à Baigts (barrage-usine), on peut se poser la question de savoir si les exutoires utilisés pour le saumon ont une quelconque utilité. Les deux années d'études à Baigts montrent que l'exutoire peut constituer une voie de passage non négligeable (une vingtaine de pourcent en 2004 et 2006) pour les individus prospectant les grilles, c'est-à-dire les individus de grande taille, ou ceux de taille moyenne lors des conditions de débit très faible. L'exutoire peut également permettre de réduire le délai de migration occasionné sur les anguilles de grande taille bloquées physiquement par les grilles qui doivent, en l'absence d'exutoire, attendre l'ouverture des vannes de crue pour dévaler.

Sur des sites munis de canaux d'amenée où la prise d'eau représente un cul de sac, la mise en opération des exutoires de surface prévus pour le saumon s'avère indispensable. Leur fonctionnalité sera d'autant plus importante qu'ils seront associés à des grilles à espacement suffisamment fin pour bloquer la majeure partie des individus.

Utilisation de grilles fines

La fonctionnalité de grilles de prise d'eau fines, empêchant physiquement le passage des anguilles vers les turbine, a été évaluée lors de l'expérimentation de 2006 par le marquage d'anguilles de taille supérieure à celles des années précédentes (longueur moyenne de 840 mm vs 640 mm en 2004 et 2005) dont la majorité ne pouvaient pas franchir la grille de prise d'eau à espacement de 30 mm. Par ailleurs, la micro-centrale servant à l'alimentation en eau de l'ascenseur à poissons a été mise en service en 2006 avec une grille de prise d'eau à espacement de 20 mm. L'expérimentation a montré l'efficacité de cette solution puisque l'échappement par les évacuateurs de crue et les exutoires a été de 92% en 2006 alors qu'il était de 40% et 46% respectivement en 2004 et 2005.

Les anguilles arrivées sur le site lors de faibles débits déversés et bloquées par les grilles sont passées partiellement par l'exutoire de dévalaison, et majoritairement par les évacuateurs de crue lors des augmentations de débit du Gave, ce qui s'est traduit par un retard à la migration de plusieurs jours, sous la dépendance de l'hydrologie du Gave. Aucun plaquage des anguilles sur les grilles n'a été observé. Les vitesses moyennes d'écoulement à l'approche des grilles (rapport du débit turbiné sur la surface des grilles) sont restées comprises entre 0.10 m/s et 0.41 m/s sur la prise d'eau de l'usine principale et étaient de 0.29 m/s (débit constant de 7 m³/s) sur la prise d'eau de la micro-centrale. Ces vitesses sont inférieures aux vitesses maximales préconisées en Allemagne ($V_{max} = 0.50$ m/s) [33] pour éviter le placage et la mortalité afférente sur les grilles fines. Le paramètre vitesse est en effet le principal facteur limitant à l'utilisation des grilles fines puisqu'une vitesse excessive peut se traduire par des mortalités par placage sur les grilles plus importantes que celles générées par le passage dans les turbines. L'expérience en a été faite à l'usine hydroélectrique de Wannhausen sur la rivière Fulda en Allemagne [33] où l'utilisation d'une grille de 2 cm avec des vitesses d'écoulement de 0.8 m/s à 1 m/s s'est traduite par des mortalités très importantes mises en évidence par les quantités conséquentes d'anguilles relevées par le dégrilleur. La limitation à 0.5 m/s de la vitesse par réduction du débit turbiné en période de migration a permis de résoudre le problème.

Les tests de franchissement de grilles et les résultats des expérimentations au cours des trois années ont montré que les grilles à 30 mm d'espacement évitaient le passage dans les turbines d'anguilles de taille supérieure à 850 mm. Avec des grilles d'espacement 20 mm, l'entraînement dans les turbines d'anguilles de tailles supérieures à 550-600 mm deviendrait très faible, alors que la perméabilité demeurerait totale pour les anguilles de taille inférieure à 350-400 mm.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

11. Références

- [1] - AMARAL S.V., WINCHELL F.C., MC MAHON B.J., DIXON D.A., 2003. Evaluation of angled bar racks and louvers for guiding silver phase American eels. In: Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels, Dixon DA (ed.). American Fisheries Society, Symposium 33: Bethesda, Maryland, 367-376.
- [2] - BARAS E., JEANDRAIN D., 1998. Evaluation of surgery procedures for tagging eel *Anguilla anguilla* (L.) with telemetry transmitters. *Hydrobiologia*, 371/372 : 107-111.
- [3] - BAU F., GOMES P., BORDES N., LARINIER M., TRAVADE F., DE OLIVEIRA E., 2008. Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2007-2008). Rapport GHAAPPE RA 08.06 et Rapport EDF R&D H-P76-2008-04291-FR, 77 p.
- [4] - BEGOUT M. L., 2001. Etude comportementale de l'anguille de dévalaison devant les exutoires par pistage sonore. Rapp. sous-traitance INRA/CNRS BC 22C07986 au contrat INRA/EDF n° C03203, INRA, St-Pée-sur-Nivelle, 9 p. + annexes.
- [5] - BOUBÉE, J.A.T. & WILLIAMS, E.K. 2006. Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *Fisheries Management and Ecology* 13. 165-176.
- [6] - BROWN L.S., 2005. Downstream passage behaviour of silver-phase American eels at a small hydroelectric facility. PhD thesis University of Massachusetts, 106 p. + Appendix.
- [7] - BROWN L.S., HARO A., CASTRO-SANTOS T., 2005. Three-dimensional movement of silver-phase American eels at a small hydroelectric facility. Proceedings of the 2003 International Eel Symposium, American Fisheries Society Symposium Publication, Bethesda, Maryland.
- [8] - BRUIJS M.C.M., POLMAN H.J.G., VAN AERSEN G.H.F.M., HADDERING R.H., WINTER H.V., DEERENBERG C., JANSEN H.M., SCHWEWERS U., ADAM B., DUMONT U., KESSELS N., 2003. Management of silver eel: human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. Final Report Contract Q5RS-2000-31141, 106 p.
- [9] - CHANSEAU M., CROZE O., De FAVERI N., BOSC S., LARINIER M. et TRAVADE F., 1997. Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les juvéniles de saumon atlantique. Usine hydroélectrique de Baigts (Gave de Pau-64). Rapport GHAAPPE, RA 97.08, 23 p. + annexes.
- [10] - CHANSEAU M., LARINIER M., TRAVADE F., 1999. Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et comportement des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Bedous sur le Gave d'Aspe étudiés par le technique de marquage-recapture et par radiotéléométrie. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 353-354, 99-120.
- [11] - CHANSEAU M., BARRIERE O., TRAVADE F., 2002. Etude de la migration de dévalaison des juvéniles de saumon Atlantique (*Salmo salar*) au niveau des aménagements hydroélectriques de Castetarbe, Baigts-de-Béarn et Puyoo sur le Gave de Pau en 2001. Rapport EDF R&D LNHE, HP-76/02/035/A, 34p. + annexes.
- [12] - DURIF C., 2003. La migration de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse doctorat Ecologie Aquatique Univ. Toulouse III. Soutenue le 9 janvier 2003. 348 p.
- [13] - DURIF C., GOSSET C., RIVES J., TRAVADE F., ELIE P., 2003. Behavioral study of downstream migrating eels by radio-telemetry at a small hydroelectric power plant. In: Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels, Dixon DA (ed.). American Fisheries Society, Symposium 33: Bethesda, Maryland; 343-356.
- [14] - EPRI. 2001. Review and documentation of research and technologies on passage and protection of downstream migrating catadromous eels at hydroelectric facilities. Report, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA. 1000730, 73 p.
- [15] - GLEESON L. 1997. Use of electric eel passage. Presented at the Fish Passage Workshop

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

(sponsored by Alden Research Laboratory, Inc., Conte Anadramous Fish Research Center, Electric Power Research Institute, and Wisconsin Electric), Milwaukee, WI (May 6-8, 1997).

[16] - GOSSET C., TRAVADE F., DURF C., RIVES J., GARAI COECHEA C., 2000. Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée : tests de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique d'Halsou (Nive-64) en 1999. Rapp. INRA Saint-Pée-sur-Nivelle / Cemagref / EDF R&D LNHE, HP-76/05/022/A, 35 p. + annexes.

[17] - GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAI COECHEA C., ELIE P., 2001. Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée : tests de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique d'Halsou (Nive-64) en 2000. Rapp. INRA Saint-Pée-sur-Nivelle / Cemagref / EDF R&D LNHE, HP-76/05/023/A, 46 p. + annexes.

[18] - GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAI COECHEA C., ELIE P., 2002. Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée : tests de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique d'Halsou (Nive-64) en 2001. Rapp. INRA Saint-Pée-sur-Nivelle / Cemagref / EDF R&D LNHE, HP-76/05/024/A, 46 p. + annexes.

[19] - GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., ELIE P., 2005. Tests of two types of bypasses for downstream migration of eels at a small hydroelectric plant. River Research and Applications. Accepté 04 March 2005

[20] - GOSSET C., GARAI COECHEA C., 1974. Cuve galvanonarcotique pour la mensuration des poissons. Bull. fr. Pêche. Piscic., 225 : 72-76.

[21] - GOSSET C., RIVES J., 2005. Anesthésie et procédures chirurgicales pour l'implantation de radio émetteurs dans la cavité ventrale de truites communes adultes (*Salmo trutta*). Bull. fr. Pêche. Piscic, (2005) 374 : 21-34.

[22] - HADDERINGH RH. 1982. Experimental reduction of fish impingement by artificial illumination at Bergum Power Station. Int. revue Ges. Hydrobiol. 67(6) : 887-900.

[23] - HADDERING RH, VAN DER STOEP JW, HABRAKEN JMPM. 1992. Deflecting eels from water inlets of power stations with lights. Irish Fisheries Investigations Serie A (Freshwater). 36: 78-87.

[24] - HADDERINGH RH, BAKER HD. 1998. Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht rivers. In: Fish Migration and Fish Bypasses, Jungwirth M, Schmutz S, Weis S (eds.). Fishing News Books: Oxford; 315-328.

[25] - HADDERINGH RH, VAN AERSSSEN GHFM, DE BEIJER RFLJ, VAN DER VELDE G. 1999. Reaction of silver eels to artificial light sources and water currents: an experimental deflection study. Regulated Rivers - Research & Management 15: 365-371.

[26] - LANGON M., DARTIGUELONGUE J., 1997. La dévalaison des anguilles (*Anguilla anguilla*) argentées. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique E.D.F. d'Halsou (Nive-64). Rapp. SCEA, SCEA, Toulouse, 100 p. + tabl.

[27] - LARINIER M., DARTIGUELONGUE J., 1989. La circulation des poissons migrateurs: le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. Bull. fr. Pêche. Piscic., 312-313.

[28] - LARINIER M., BOYER-BERNARD S., 1991a. Dévalaison des smolts et efficacité d'un exutoire de dévalaison à l'usine hydroélectrique d'Halsou sur la Nive. Bull. Fr. Pisc., 321: 30-51.

[29] - LARINIER M., BOYER-BERNARD S., 1991b. La dévalaison des smolt de saumon atlantique au barrage de Poutès sur l'Allier: utilisation de lampes à vapeur de mercure en vue d'optimiser l'efficacité de dévalaison. Bull. Fr. Pisc., 323: 129-148.

[30] - LARINIER M., TRAVADE F., 1996. Smolt behavior and downstream fish bypass efficiency at small hydroelectric plants in France. Association Internationale de Recherches Hydrauliques, 2ème Symposium international sur l'hydraulique et les habitats, Ecohydraulique 2000, Québec, vol B, 891-902.

[31] - LARINIER M., TRAVADE F., 2002. Downstream Migration: Problems and Facilities. Bull. Fr. Pêche Piscic., 364 Suppl. 181-208.

[32] - PANKHURST N. W., 1982. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
--------------------	--	--

European eel *Anguilla anguilla* L. J. Fish Biol., 21 : 127-140.

[33] - PÖHLER F., 2006. Experience with eel friendly operation modus of hydropower plants. International DWA symposium on water resources management, Berlin 3-7 April 2006.

[34] - PRIEDE I.G., 1980. An analysis of objectives in telemetry studies of fish in the natural environment. In : A Handbook on biotelemetry and radiotracking. 804p. Amlaner C.J. & Macdonald D.W. (Eds.) Pergamon press.New-York.: 105-117.

[35] - SAND O, ENGER PS, KARLSEN HE, KNUDSEN F, KVERNSTUEN T. 2000. Avoidance responses to infrasound. In : Downstream migrating european silver eels, *Anguilla anguilla*. Environmental Biology of fishes 57 : 327-336.

[36] - SUBRA S., GOMES P., VIGHETTI S., THELLIER P., LARINIER M., TRAVADE F., 2006. Etude de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Comportement de l'anguille et test d'un dispositif de dévalaison à l'usine hydroélectrique de Baigts de Béarn (Gave de Pau – 64). Rapp. EDF R&D / GHAAPPE / MIGRADOEUR, H-P76-2006-01319-FR, 83 p. + annexes.

[37] - SUBRA S., GOMES P. VIGHETTI S. THELLIER P. LARINIER M., DE-OLIVEIRA E., TRAVADE F., 2007. Etude de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Expérimentation de dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée sur les ouvrages hydroélectriques de Castetarbe et Baigts (Gave de Pau – 64). Rapp. EDF R&D / GHAAPPE / MIGRADOEUR, H-P76-2006-03437-FR, 108 p. + annexes.

[38] - SUBRA S., GOMES P., BORY Y., CLAVE D., LARINIER M., DE-OLIVEIRA E., TRAVADE F., 2007. Etude du franchissement par l'anguille argentée en dévalaison de différents ouvrages hydroélectriques du Gave de Pau - 64. Suivi par radiopistage des rythmes de dévalaison et du franchissement des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo. Campagne expérimentale 2006. Rapp. EDF R&D / GHAAPPE / MIGRADOEUR, H-P76-2007-02606-FR, 115 p. + annexes.

[39] - TRAVADE F., GOUYOU C., DE FAVERI N., 1999. Efficacité d'un exutoire de dévalaison et d'une barrière acoustique pour les smolts de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) à l'aménagement hydroélectrique de St Cricq sur le Gave d'Ossau Bull. Fr. Pêche Piscic. 353/354: 157-180.

[40] - TRAVADE F, LARINIER M. 2006. French experience with downstream migration devices. International DWA symposium on water resources management, Berlin 3-7 April 2006.

[41] - TYUS H.M. 1988. Acquisition of habitat preference data by radiotelemetry. In : Proceeding of a workshop on the development and evaluation of habitat suitability criteria. Bovee K. & Zuboy J.R. (Eds.) Fish and wildlife service. US departement of the interior: 137-154.

[42] - WINTER J.D., 1983. Underwater biotelemetry. In: Fisheries techniques. Nielsen L.A & Johnson D.L. (Eds.) American Fisheries Society, Bethesda.: 371-395.

12. Annexes 1

Cours d'eau : Gave de Pau
Station : Pont de Bérenx
Surface du bassin versant naturel : 2575 km²
Altitude du zéro de l'échelle : 30,00 m N.G.F.
Type de station : Naturel
Nature des débits : Débits influencés
Fréquence des mesures : Moyenne journalière entre 0 et 24 heures
Période : 1960-2008

Débits moyens mensuels 2004-2007 mesurés à la station du Pont de Bérenx.

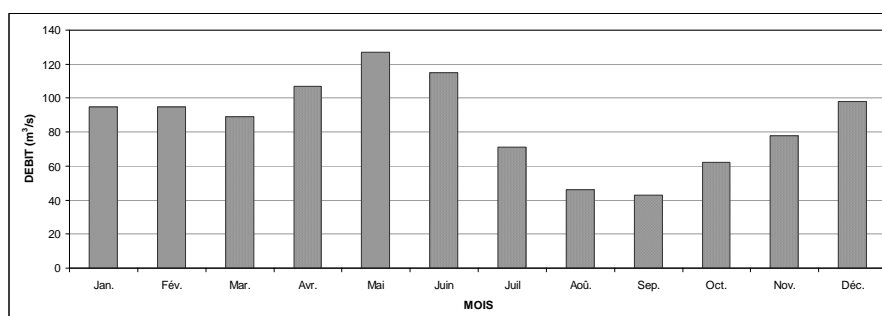
MOIS	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
2004-2005 Débits (m ³ /s)	116	55,6	36,3	25,9	35,4	45,4	55,4	71	53,7	68,4	128	131
2005-2006 Débits (m ³ /s)	72,8	37,5	28,5	33,6	46,3	69,3	73,8	63,2	41,3	103	73,3	71,8
2006-2007 Débits (m ³ /s)	46,8	32,3	24,1	54,1	61,8	68,1	60,1	31,3	56,9	79,7	139	170

Moyenne de référence : période 1960-2008.

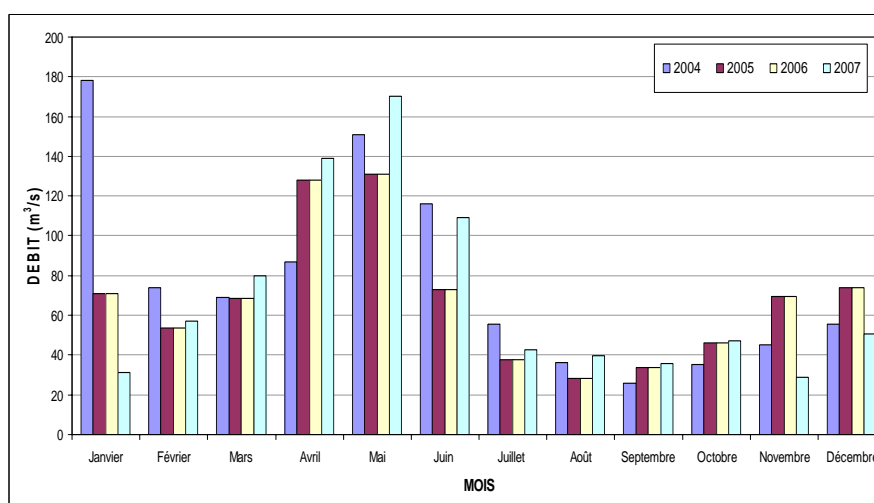
MOIS	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Valeur annuelle
Débits (m ³ /s)	115	71	46	43	62	78	98	95	95	89	107	127	85

Coefficient d'hydraulicité par rapport à la période 1960-2008.

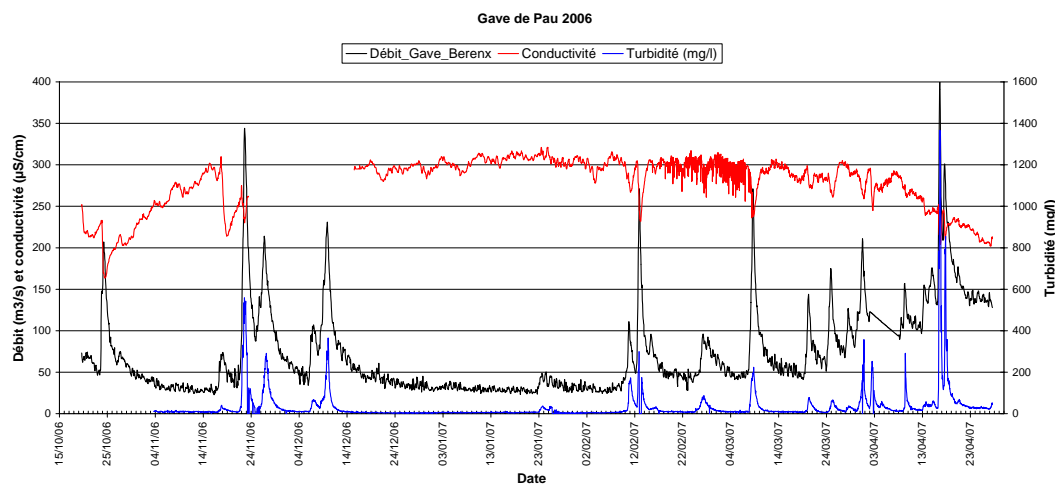
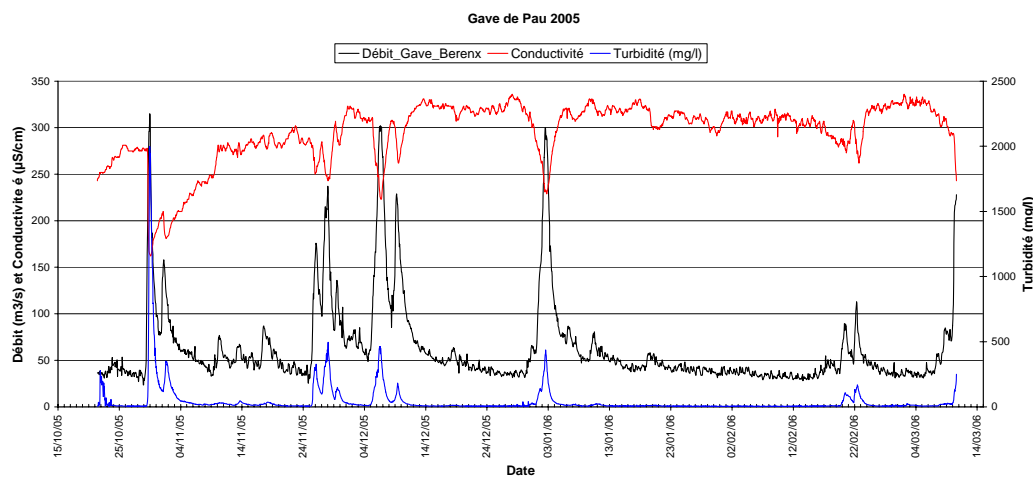
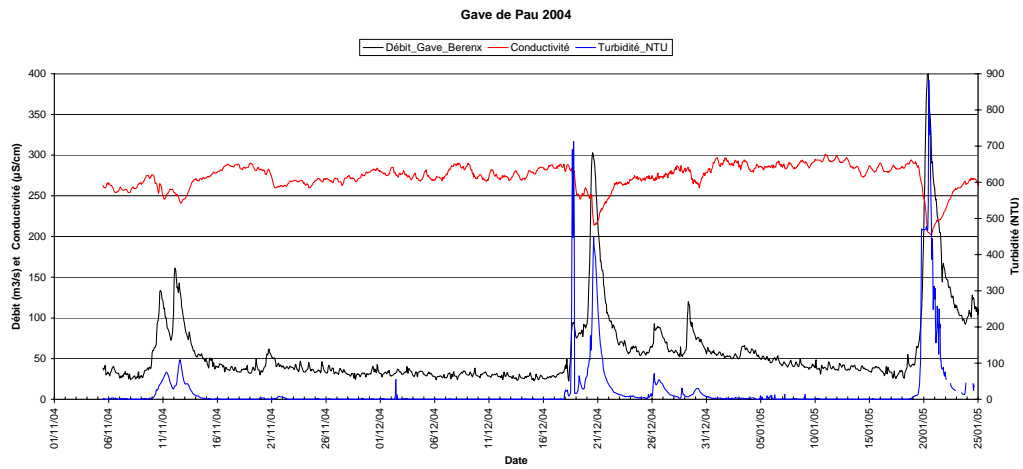
2004-2005	1,01	0,78	0,79	0,60	0,57	0,58	0,57	0,75	0,57	0,77	1,20	1,03
2005-2006	0,63	0,53	0,62	0,78	0,75	0,89	0,75	0,67	0,43	1,16	0,69	0,57
2006-2007	0,41	0,45	0,52	1,26	1,00	0,87	0,61	0,33	0,60	0,90	1,30	1,34



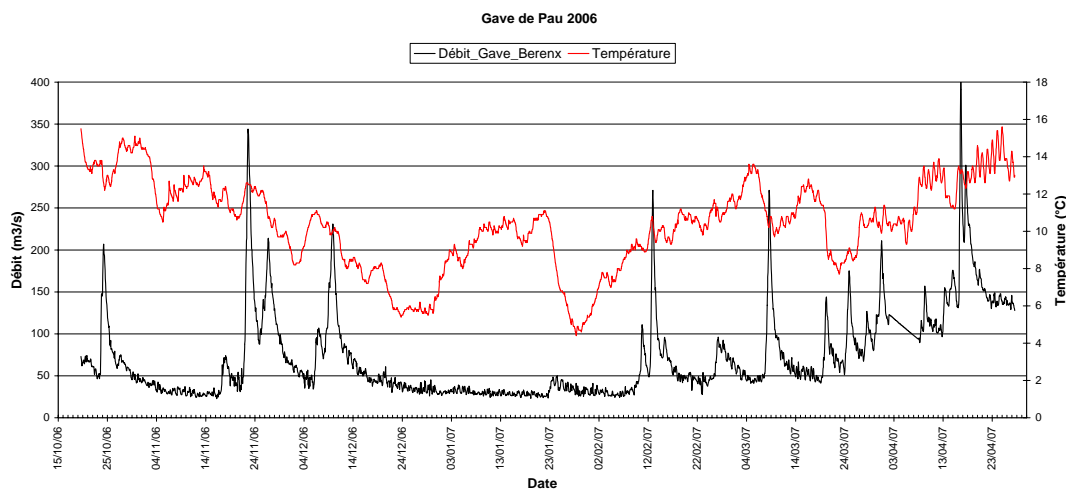
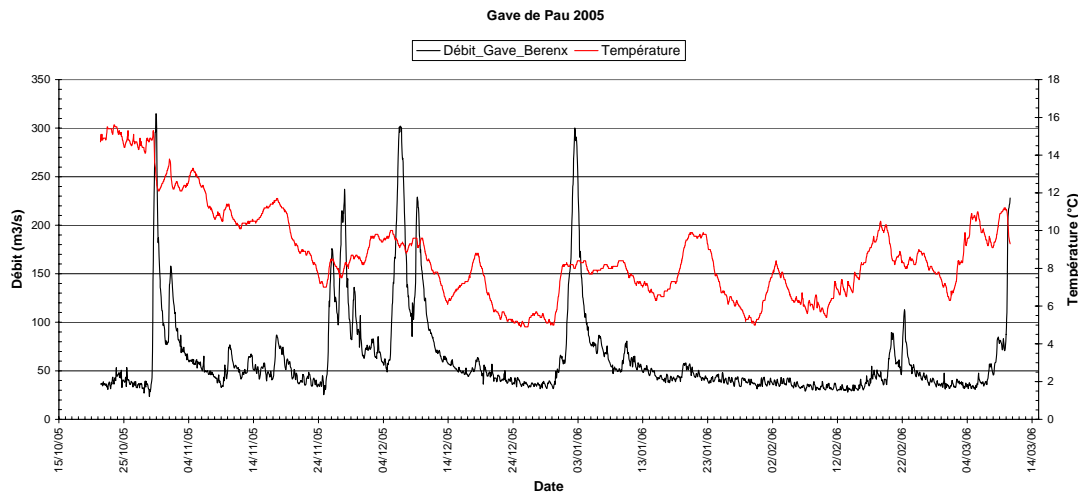
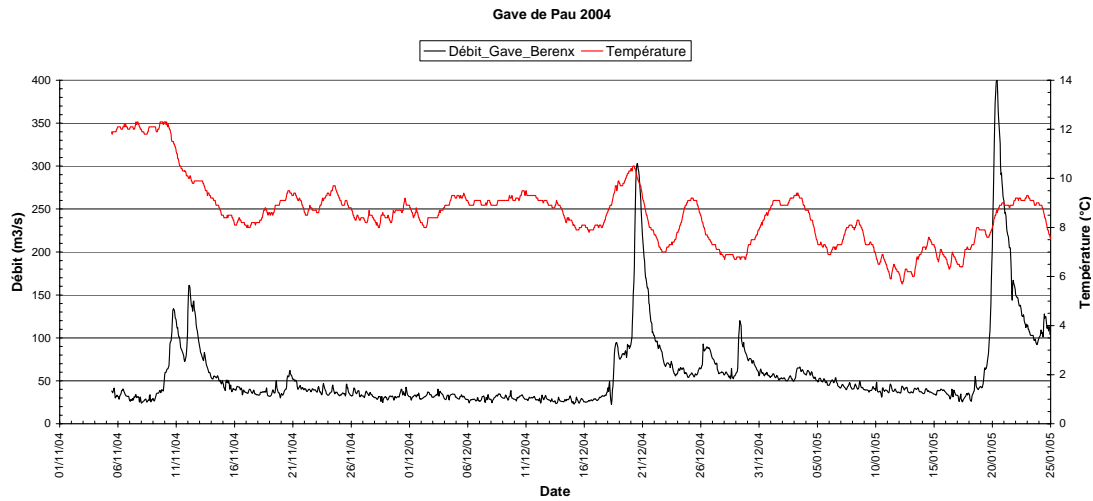
Débits moyens mensuels période de référence (1960-2008)



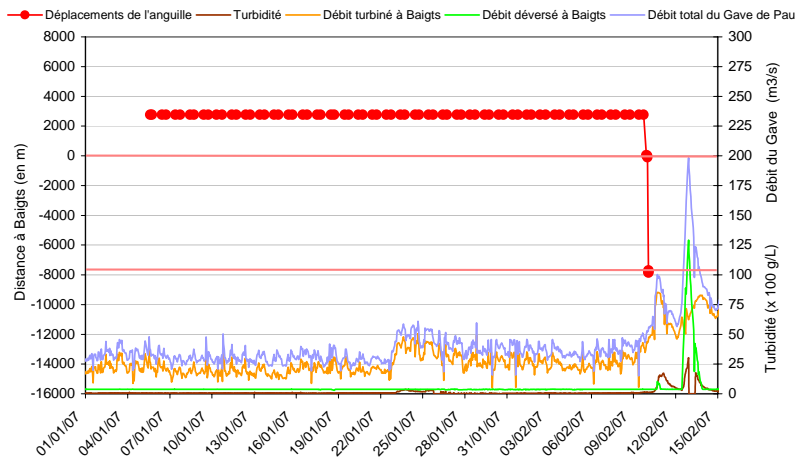
Annexe 1.1 : Caractéristiques hydrologiques du Gave de Pau à la station de Pont de Bérenx sur la période de référence (1960-2008) et lors des expérimentations de 2004 à 2007



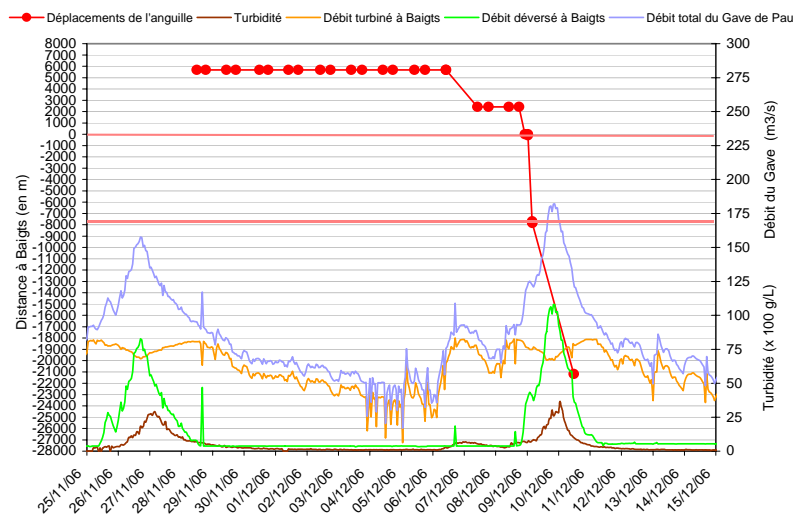
Annexe 1.2 : Evolution du débit, de la conductivité et de la turbidité du Gave de Pau lors des expérimentations de 2004, 2005 et 2006



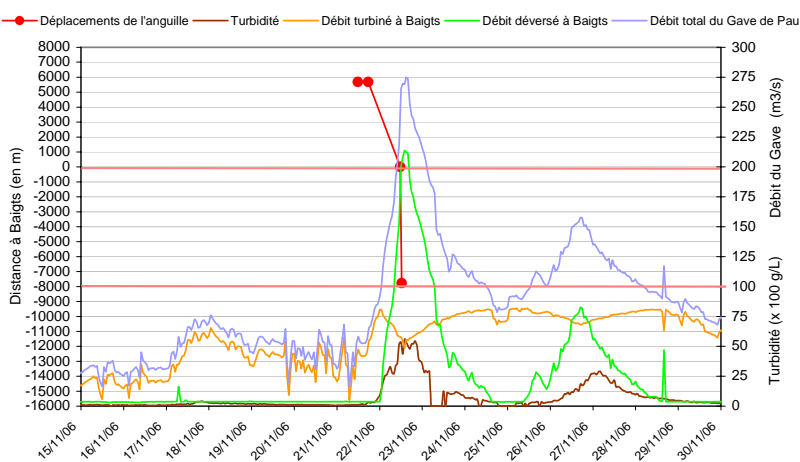
Annexe 1.3 : Evolution du débit, et de la température du Gave de Pau lors des expérimentations de 2004, 2005 et 2006



A



B



C

Annexe 1.4: Exemples de comportement migratoire (distance à Baigts de l'amont : positive=amont de Baigts ; négative= aval) après lâcher des anguilles radiopistées dans le Gave. A : stagnation de longue durée et migration très rapide sur un coup d'eau. B : stagnation de courte durée et déplacements de faible ampleur avant le coup d'eau. C : dévalaison immédiate lorsque l'anguille est lâchée durant un coup d'eau.

EDF R&D	FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES PAR L'ANGUILLE ARGENTEE EN DEVALAISON Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64) Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines	H-P76-2009-02948-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

13. Annexe 2 : Tests de franchissement de grilles

Des tests de franchissement de grilles de différentes tailles ont été effectués afin de déterminer les capacités de franchissement des anguilles en fonction des données biométriques collectées sur les individus radiopistés : longueur totale, hauteur et largeur de tête, hauteur et largeur maximales du corps.

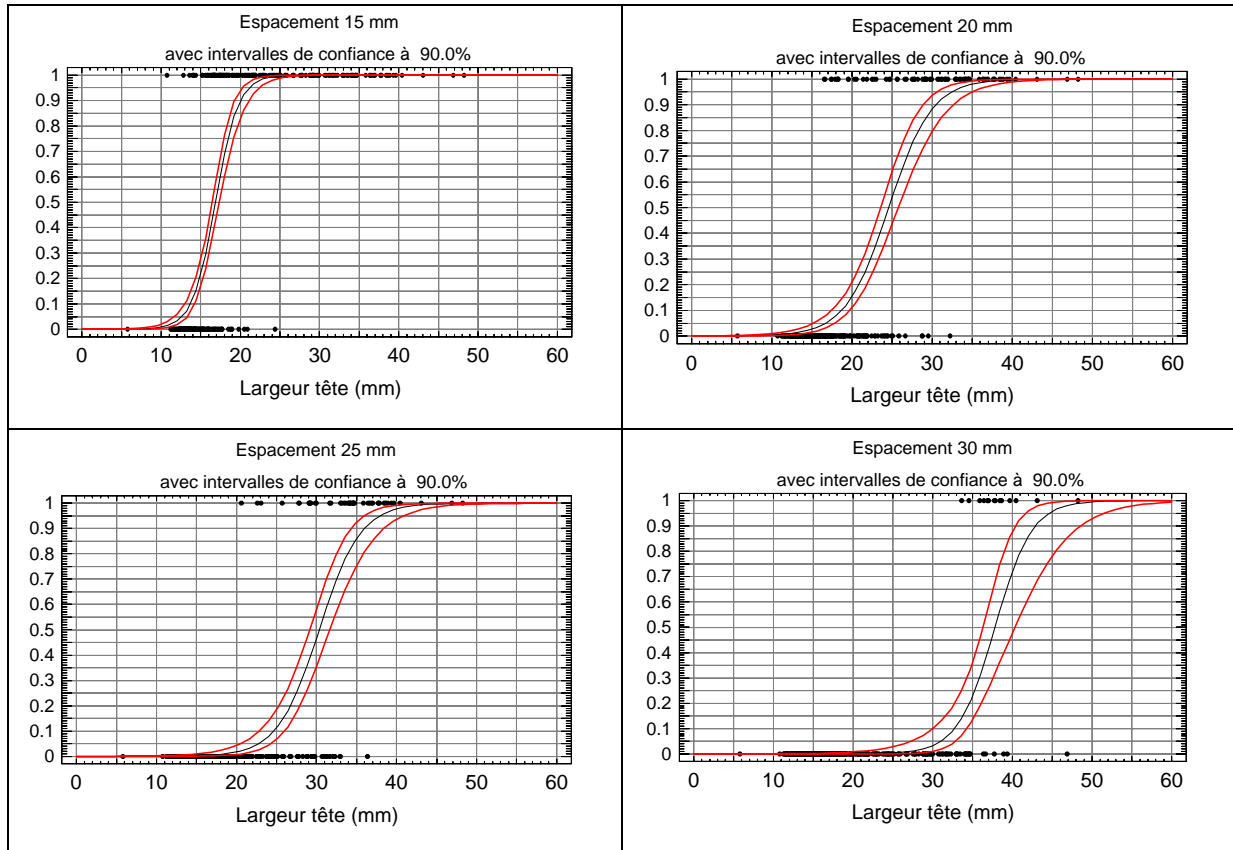
Les tests ont été réalisés grâce à un trieur à barreaux destiné à calibrer les poissons en pisciculture. Le trieur est composé d'un bac en fibre de verre (dimensions : 0,70 x 0,50 x 0,40 m), dont le fond est constitué d'une grille démontable à barreaux de section circulaire. Cinq espacements de grilles ont été testés : 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm et 30 mm.

Au total, 352 anguilles, provenant des pêcheries de Soustons et de Loire, ont été manipulées par lot de 10 à 20 individus. Les anguilles ont été placées pendant 5 minutes dans le trieur immergé dans un bassin équipé de la grille à plus forte maille (30 mm). Au bout de ce délai, les anguilles n'étant pas parvenues à franchir les grilles de 30 mm ont été isolées. Les anguilles ayant franchi les grilles sont placées dans le trieur à 25 mm, et l'expérience est répétée jusqu'à obtention de 6 lots : cinq lots correspondant aux anguilles bloquées par les cinq types de grilles, et un sixième lot composé d'anguilles franchissant les grilles les plus fines. Toutes les anguilles ont ensuite été anesthésiées pour effectuer les mesures biométriques.

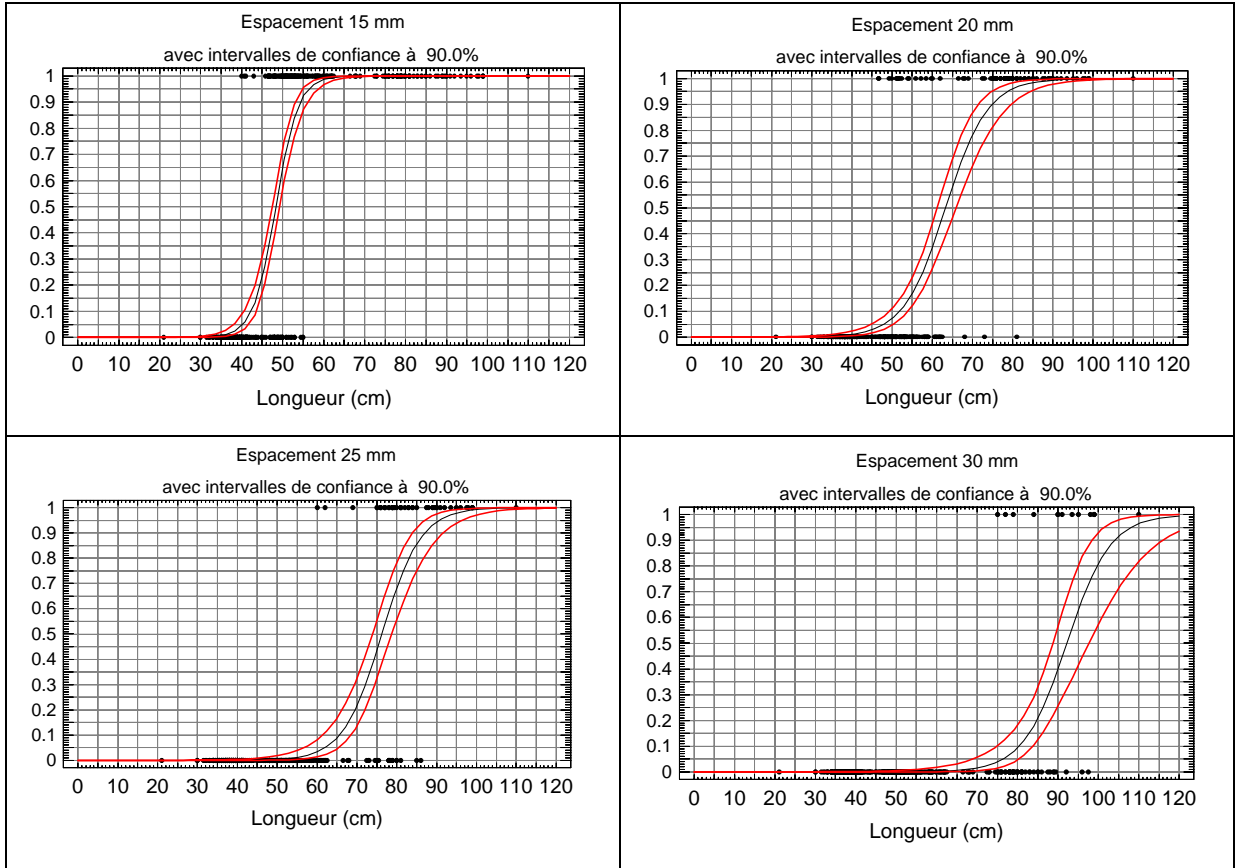
De façon à déterminer la probabilité de passage des anguilles au travers de grilles à espacement compris entre 15 mm et 30 mm, les données de passage ont été analysées à l'aide de régressions logistiques. Les résultats en sont rapportés sur les Annexes 2.1 et 2.2.

On constate sur les figures en Annexe 2.1 que la largeur de tête « limite » (au-delà de laquelle les anguilles ne parviennent pas à franchir les grilles) est nettement supérieure à l'espacement des grilles. Cela provient du fait que la mesure de la largeur de la tête est effectuée au pied à coulisse « sans serrer excessivement » et du fait que les anguilles sont capables de « forcer le passage » en comprimant fortement leur tête par des mouvements de rotation. La largeur de tête maximale des anguilles parvenant à franchir les grilles représente environ 1.5 fois l'espacement des grilles.

Le franchissement des grilles en fonction de la longueur totale du corps est rapporté sur l'Annexe 2.2. On constate qu'une grille à 30 mm d'espacement bloque 50% des individus d'une longueur de 870 à 950 mm, 75% des individus de 930-1050 mm. Le blocage total a lieu pour des individus de 1100 à 1200 mm. Une grille de 20 mm, bloque 50% des individus d'une longueur de 600 à 650 mm, 75% des individus de 650-730 mm. Le blocage total a lieu pour des individus de 850 à 950 mm.



Annexe 2.1 : Probabilité de passage d'anguilles au travers de grilles à barreaux de section circulaire espacés de 15, 20, 25 et 30 mm en fonction de la largeur de la tête. 0 représente le franchissement et 1 le blocage.



Annexe 2.1 : Probabilité de passage d'anguilles au travers de grilles à barreaux de section circulaire espacés de 15, 20, 25 et 30 mm en fonction de la longueur totale du corps. 0 représente le franchissement et 1 le blocage.