



HAL
open science

Anguille et ouvrages : migration de dévalaison : Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010)

F. Bau, P. Gomes, Philippe Baran, A. Alric, Jérôme Lafitte, M. Larinier, F. Travade, Eduardo Henrique de Oliveira

► To cite this version:

F. Bau, P. Gomes, Philippe Baran, A. Alric, Jérôme Lafitte, et al.. Anguille et ouvrages : migration de dévalaison : Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010). [Rapport Technique] irstea. 2011, pp.100. hal-02596838

HAL Id: hal-02596838

<https://hal.inrae.fr/hal-02596838>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison

*Suivi par radiopistage de la dévalaison de
l'anguille argentée sur le Gave de Pau au
niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron,
Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-
2010)*

Rapport d'étape n°3

F. BAU, P. GOMES, J. LAFITTE, A. ALRIC, P. BARAN & M. LARINIER
(Pôle Ecohydraulique)

F. TRAVADE, E. DE OLIVEIRA (EDF R&D)

Juillet 2011

Contexte de programmation et de réalisation

Programme Recherche et Développement Anguille et Ouvrages

Action n°6 : Mode de franchissement d'obstacles en série sur le Gave de Pau

Les auteurs

Frédérique Bau

Ingénieur - Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref)

frederique.bau@cemagref.fr

Cemagref Groupement de Bordeaux, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex, France

Peggy Gomes & Jérôme Lafitte

Ingénieur & Chargé d'étude - Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref)

gomes@imft.fr, lafitte@imft.fr

ONEMA, IMFT, allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse

Les correspondants

ONEMA : Philippe Baran, Responsable du Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref)

baran@imft.fr

IMFT, allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse Cedex, France

Référence du document : rapport GHAAPPE RA 11.03

Partenaire : *François Travade, Ingénieur - LNHE (EDF R&D)*

francois.travade@edf.fr

Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement, 6 Quai Watier, B.P. 49, 78401 Chatou Cedex

Référence du document :

[Autres renseignements nécessaires à la mise sur le Portail « les documents techniques sur l'eau », à renseigner si possible]

Droits d'usage : *Diffusion large*

Couverture géographique : *Bassins*

Niveau géographique

[un seul choix] :

Niveau de lecture

[plusieurs choix possibles] :

Nature de la ressource

[plusieurs choix possibles] :

ANGUILLES-OUVRAGES

PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE-DEVELOPPEMENT



www.onema.fr

ADEME



www.ademe.fr



www.france-hydro-electricite.fr



www.edf.fr



www.shem.fr



www.cnr.tm.fr

w

Depuis plusieurs décennies, l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) présente de nets signes de déclin de son abondance sur l'ensemble de son aire de répartition (Dekker, 2004). Elle fait aujourd'hui partie des espèces menacées et au vu des bilans la situation est aujourd'hui devenue critique. Plus qu'un facteur en particulier, c'est une multiplicité de facteurs qui sont à l'origine de cette diminution continue. Il est donc essentiel de réduire significativement les pressions qui pèsent sur le stock (pêche et aspects environnementaux), mais aussi d'intervenir sur les obstacles à sa libre circulation qui constituent l'un des principaux facteurs limitant son aire de répartition en milieu continental avec des blocages à la montaison et des dommages lors de la dévalaison (dommages et mortalités suite au passage au travers des turbines).

Afin de restaurer le stock d'anguille, l'Union européenne a pris des mesures de protection au travers du règlement CE n° 1100/2007 du 18 septembre 2007. Ce règlement européen pour la reconstitution du stock d'anguilles a défini un objectif d'atteindre un taux d'échappement de géniteurs équivalent à 40% de la biomasse « pristine » (état naturel sans pression anthropique impactant le stock).

Le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire ainsi que le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ont été chargés de mettre en place un Plan de Gestion national pour la reconstitution du stock d'anguilles comportant des mesures sur les différents facteurs de mortalités anthropiques. Ce plan a été présenté par la France le 17 décembre 2008 et approuvé par la Commission européenne le 15 février 2010. Afin de mener à bien ce Plan de Gestion, un Comité National Anguille a été mis en place, ainsi que plusieurs groupes de travail thématiques, dont le groupe de travail « Ouvrages ».

Le groupe de travail « Ouvrages » a rendu un rapport validé par le Comité National le 9 janvier 2008. Celui-ci a conclu notamment à l'intérêt de la mise en œuvre d'un programme de Recherche et de Développement qui a pour objectif la mise en œuvre d'un certain nombre d'actions visant à acquérir une meilleure connaissance du comportement et des rythmes de dévalaison de l'anguille, à évaluer l'impact des aménagements hydroélectriques à la dévalaison (mortalités dans les turbines et impacts cumulés des aménagements sur un axe donné), à développer et évaluer de nouvelles techniques visant à réduire les mortalités dans les turbines (prises d'eau ichtyocompatibles, turbines ichtyophiles, biomoniteurs, barrières comportementales).

Dans ce contexte 18 actions communes de Recherche et Développement sur le franchissement des ouvrages par l'anguille européenne durant leur migration de montaison et d'avalaison ont été engagées en 2008, 2009 et 2010, actions qui ont fait l'objet d'un accord cadre signé le 8 décembre 2008 par les principaux acteurs : Electricité de France, France Hydroélectricité, GDF-SUEZ, la Compagnie Nationale du Rhône, la Société Hydroélectrique du Midi (regroupés au sein de l'UFE : Union Française de l'Electricité), l'ADEME et l'ONEMA.

La présente étude est issue de cet accord-cadre et constitue l'action n°6 de ce programme R&D.

Avant-propos

- Le financement et la maîtrise d'ouvrage de cette étude ont été co-assurés par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) et Electricité de France (EDF).
- La maîtrise d'œuvre a été réalisée conjointement par l'ONEMA et EDF R&D (LNHE) pour le suivi technique de l'étude : radiopistage et RFID.
- EDF R&D (LNHE), l'ONEMA DR5 et le Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref) ont assuré la mise à disposition du matériel de radiotélémetrie et d'enregistrement des paramètres du milieu.
- Enfin, le Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref) et EDF R&D (LNHE) ont garanti le suivi scientifique et les conclusions de l'étude.
- Nous tenons à remercier ici tous les organismes ou propriétaires d'ouvrages hydroélectriques pour le libre accès à leur centrale et la mise à disposition de leurs locaux pour l'installation de nos stations de réception :
 - **le producteur hydroélectricien TOPWATT pour la centrale de Biron-Castétis**, et plus particulièrement Monsieur Jean-Claude Cazenave pour son soutien sur le site,
 - **la société SUO Énergie** (Société des usines d'Orthez Énergie) et ses gérants A. et C. Lanta, **pour leur centrale en rive droite (usine de Sapso)**, et plus particulièrement Monsieur Jean-Pierre Cambet pour son accueil sur le site,
 - **EDF GEH Adour et Gaves pour les centrales de Castetarbe, Baigts de Béarn et Puyôo**, et plus particulièrement l'ensemble du personnel du groupement Baigts-Asasp pour leur accueil sur les sites et leur soutien tout au long des expérimentations.

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010)

Rapport d'étape n°3

F. BAU, P. GOMES, J. LAFITTE, A. ALRIC, P. BARAN, M. LARINIER,
F. TRAVADE, E. DE OLIVEIRA

Sommaire

Avant-propos	4
Synthèse pour l'action opérationnelle	7
1. Contexte et but de l'étude	11
2. Sites d'étude	12
2.1. Présentation du cours d'eau	12
2.2. Présentation des sites d'étude.....	13
3. Matériel et Méthodes	15
3.1. Période d'étude	15
3.2. Matériel biologique utilisé.....	15
3.2.1. <i>Caractéristiques des anguilles</i>	15
3.2.2. <i>Marquage des anguilles</i>	18
3.2.3. <i>Transport et lâcher</i>	18
3.3. Suivi et enregistrement des déplacements des anguilles.....	19
3.3.1. <i>Principe du radiopistage</i>	19
3.3.2. <i>Suivi mobile</i>	20
3.3.3. <i>Suivi fixe</i>	20
3.4. Mesure des paramètres du milieu.....	27
3.4.1. <i>Débits</i>	27
3.4.2. <i>Autres paramètres physico-chimiques</i>	27
4. Résultats	28
4.1. Conditions environnementales.....	28
4.1.1. <i>Hydrologie du Gave de Pau</i>	28
4.1.2. <i>Fonctionnement des ouvrages hydroélectriques étudiés</i>	30
4.1.3. <i>Autres paramètres physico-chimiques</i>	34
4.2. Devenir des 75 anguilles radiomarquées	36
4.3. Comportement et franchissement des anguilles au droit de chacun des cinq aménagements hydroélectriques.....	38
4.3.1. <i>Biron</i>	38
4.3.2. <i>Sapso</i>	44
4.3.3. <i>Castetarbe</i>	49
4.3.4. <i>Baigts</i>	55
4.3.5. <i>Puyoo</i>	61
4.4. Analyse sur les ouvrages cumulés	66
4.4.1. <i>Taux de sortie du secteur d'étude</i>	66
4.4.2. <i>Taux de franchissement</i>	67
4.4.3. <i>Voies de franchissement aux différents ouvrages</i>	67
4.4.4. <i>Heures de franchissement</i>	68
4.4.5. <i>Bilan des durées totales de migration</i>	68
4.4.6. <i>Temps passés à l'amont des ouvrages</i>	69
4.4.7. <i>Estimation de la vitesse de dévalaison</i>	70
4.5. Rôle des facteurs environnementaux et anthropiques	72

4.5.1.	<i>Influence des débits sur l'activité migratoire</i>	72
4.5.2.	<i>Facteurs expliquant le choix des voies de passage par les anguilles</i>	74
4.5.3.	<i>Influence d'autres paramètres environnementaux</i>	80
4.6.	Arrêt de migration, mortalité & prédation	82
4.6.1.	<i>Arrêt de migration des anguilles n'ayant franchi aucun ouvrage</i>	82
4.6.2.	<i>Arrêt de migration et mortalité des anguilles ayant franchi au moins un ouvrage</i>	89
4.6.3.	<i>Conclusion</i>	91
5.	Conclusions et perspectives	92
6.	Références	93
7.	Annexes	96

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010)

Rapport d'étape n°3

F. BAU, P. GOMES, J. LAFITTE, A. ALRIC, P. BARAN, M. LARINIER,
F. TRAVADE, E. DE OLIVEIRA

Synthèse pour l'action opérationnelle

1. Contexte : Suite au déclin des populations d'anguilles observé en France et en Europe depuis plus d'une vingtaine d'années, l'Union européenne a adopté en 2007 un règlement européen (CE n°1100/2007) visant à établir des mesures de protection de l'espèce. Pour ce faire, le Comité National Anguille, créé sous l'égide du MEEDDM et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, a mis en place un programme de Recherche et de Développement qui a pour objectif d'étudier et de comprendre le comportement des anguilles ainsi que l'impact des obstacles en rivière sur la migration et la mortalité de celles-ci. Ce programme a fait l'objet d'un accord cadre entre l'ONEMA, l'ADEME et 5 Producteurs Hydroélectriciens (Compagnie Nationale du Rhône, Electricité de France, France Hydroélectricité, GDF Suez, Société Hydroélectrique du Midi) regroupés sous l'UFE (Union Française d'Electricité). Il s'appuie sur 18 actions et vise à apporter des connaissances pour améliorer à terme le franchissement des obstacles par les anguilles durant leurs migrations de montaison et d'avalaison.

2. Objectifs : L'une de ces actions (action n°6) consiste à déterminer les modalités de franchissement d'obstacles en série sur le Gave de Pau. La présente étude s'inscrit dans ce cadre et constitue ainsi la quatrième campagne consécutive portant sur le suivi de la dévalaison de l'anguille argentée à l'échelle de ce cours d'eau. Elle fait suite aux suivis par radiopistage du comportement de l'espèce réalisés de 2006 à 2009 (Subra *et al.*, 2008 ; Bau *et al.*, 2008, 2010a) afin d'apporter des connaissances supplémentaires sur le comportement migratoire de l'espèce lors de sa dévalaison ainsi que sur la détermination des voies de passages (turbines, exutoires ou barrage) au niveau des cinq ouvrages hydroélectriques étudiés (Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo). Enfin, cette étude doit permettre également de caractériser l'effet des paramètres du milieu, en particulier celui du débit, tant sur le déterminisme de la dévalaison que sur les modalités de franchissement des aménagements.

3. Conditions d'étude : De décembre 2009 à mai 2010, le débit du Gave de Pau a été relevé à la station de jaugeage du pont de Bérenx, à 1 km à l'aval de Baigts (données Banque Hydro). Les débits mensuels moyens sont restés globalement proches de l'hydrologie de référence (période 1960-2009) au cours des mois de décembre, janvier et mai (coefficients d'hydraulicité de 0.92, 1.08 et 1.09). En revanche, la période de février à avril 2010 s'est avérée particulièrement sèche avec des débits mensuels moyens nettement inférieurs aux moyennes de référence (coefficients d'hydraulicité de 0.77, 0.69 et 0.59). Les périodes de forts débits ont été plus rares durant l'étude qu'à l'accoutumée, ce qui contraste avec les faibles mais nombreux événements pluvieux enregistrés cette année. Un coup d'eau significatif a cependant été enregistré le 14/01/2010 durant lequel le Gave a atteint 585 m³/s en débit de pointe (seuil de crue biennale : 640 m³/s) favorisant ainsi la migration de nombreuses anguilles radiomarquées.

- Les autres paramètres (température, conductivité, turbidité de l'eau...) enregistrés à Baigts sont restés voisins respectivement de 9.1°C, 257 µS/cm et 5.3 FNU en médiane sur la période d'étude, excepté lors du principal coup d'eau où la turbidité a augmenté à plus de 700 FNU et la conductivité chuté jusqu'à 176 µS/cm.

4. Méthodologie : L'analyse du comportement des anguilles à l'approche des aménagements hydroélectriques et la détermination des voies de franchissement ont fait appel à la technique de

télémetrie (radiopistage) qui consiste à suivre les déplacements d'individus équipés d'émetteurs radio miniaturisés et de transpondeurs.

- En l'absence de capacité de pêche d'anguilles d'avalaison suffisante sur le bassin du Gave de Pau ou de l'Adour, les anguilles argentées utilisées pour l'étude proviennent de la Loire dans sa partie aval. Après stabulation dans des cuves installées à l'usine de Baigts, 75 anguilles dévalantes (longueur totale : 59.5-98.5 cm ; poids : 369-1881 g) dans un état sanitaire jugé satisfaisant ont été marquées par chirurgie sous anesthésie chimique et dotées d'un émetteur radio codé ATS® (modèle F1820). Les individus marqués ont ensuite été suivis à l'aide de récepteurs mobiles (repérages manuels) et de stations fixes permettant de retracer en continu le cheminement de l'animal à l'amont des ouvrages équipés. Pour pallier l'incertitude de détection dans les exutoires de dévalaison et autres voies de franchissement à section réduite où le passage peut être très rapide (passe à poissons, canal de dégrilleur), les anguilles ont été également équipées d'un transpondeur miniature TIRIS (inséré en même temps que l'émetteur de radiopistage) détectable par des enregistreurs spécifiques (CIPAM).
- Les 75 anguilles radiomarquées ont été relâchées en trois vagues successives sur deux sites de lâchers : Jurançon à 42 km en amont de l'ouvrage de Biron et Gouze, situé plus en aval, à seulement 7.9 km en amont de Biron. Deux premiers lots de 25 individus chacun ont été relâchés en parts quasi égales entre Jurançon (n=12 pour le lot 1 et n=10 pour le lot 2) et Gouze (n=13 pour le lot 1 et n=15 pour le lot 2) respectivement le 19 décembre 2009 et le 7 janvier 2010. Afin de maximiser le nombre de présentations d'anguilles au niveau des cinq ouvrages-tests avant la fin de la période de dévalaison, un 3^{ème} lot a été déversé majoritairement en partie aval du secteur d'étude (n=20 à Gouze, n=5 à Jurançon) les 2 et 3 février 2010.

5. Résultat global sur le taux de sortie du secteur d'étude : En 2009-2010, le premier ouvrage du secteur d'étude (Artix) n'a pas été équipé de stations fixes de radiopistage, mais les suivis manuels quasi quotidiens ont permis de confirmer 16 arrivées supposées d'anguilles à l'ouvrage suivies de 14 franchissements avérés. Le taux de sortie pour le tronçon Artix – Puyoo (soit 6 obstacles) est compris entre 38% (6 poissons sur 16) et 43% (6 poissons sur 14). Il était de 32.5% (13/40) et 31.8% (7/22) lors des 2 dernières années (Bau *et al.*, 2008, 2010). Pour les anguilles relâchées à Gouze, le taux de sortie du tronçon Biron – Puyoo (soit 5 obstacles) a été de 42% (20 poissons sur 48). Il était de 60% (9/15) l'an dernier. Les "pertes" (58-62% selon secteur) correspondent à des anguilles qui ont arrêté leur dévalaison en amont de Puyoo (dommage voire mortalité après franchissement d'un ou plusieurs obstacles, arrêt de migration momentané ou définitif, prédation...).

6. Transit & les conditions de dévalaison : L'activité migratoire des anguilles dans le cours d'eau et leur activité de franchissement des ouvrages sont fortement influencées par les paramètres environnementaux, essentiellement par le débit de la rivière, prévalant au moment de la période de lâcher. Cette année, 85% (154/182) des franchissements des 5 ouvrages équipés se sont produits lors des 18 événements hydrologiques (débits supérieurs au module de 82 m³/s) totalisant 33% seulement du temps d'étude (~56 jours). Il est apparu deux types de comportements.

- A débits modérés, certaines anguilles ont réalisé des déplacements mais généralement de faible amplitude (dévalaisons progressives par étapes). Les temps de transit sont relativement importants. Non seulement les déplacements se font par étapes mais les quelques franchissements d'ouvrages sont peu rapides. Ainsi, l'enchaînement des passages d'obstacles apparaît discontinu, se faisant par "saut" ou par "à-coups". Seuls 15% des franchissements ont eu lieu hors coups d'eau, dont 61% par les turbines.
- Lors des débits importants, les anguilles ont effectué des déplacements entre aménagements et des passages aux ouvrages nettement plus nombreux, de plus grande ampleur et plus rapides. Les temps de transit en période de forts débits sont beaucoup plus courts, la plupart des anguilles progressant directement, sans arrêt, sur les tronçons entre ouvrages. Ces franchissements en période de forts débits se sont produits dans 71% des cas par les évacuateurs de crue.
- Seulement 23% (6/26) des anguilles passées en aval de Puyoo ont évité toutes les turbines, dont 2 du lot 1 et 4 du lot 2. Quatre d'entre elles, relâchées à Gouze (1 du lot 1 & 3 du lot 2) ont donc évité les turbines des 5 ouvrages équipés du secteur d'étude. Les 2 autres, relâchées à Jurançon, ont évité les turbines des 5 et vraisemblablement (au vu des débits) des 6 ouvrages du secteur d'étude. Les 20

autres anguilles passées en aval de Puyoo ont franchi 1 (35%) voire 2 (38%) ou 3 turbines (4%).

- Selon les tronçons considérés, les vitesses de dévalaison des anguilles les plus actives en période de débits importants peuvent atteindre les 6-10 km/h, même si généralement les tronçons Artix-Biron et Castetarbe-Baigts sont les plus longs à négocier. Les vitesses atteintes sur la totalité du parcours entre Jurançon et Puyoo sont en moyenne de 0.32 km/h (variant de 0.28 à 0.34 km/h) et de 0.14 km/h en moyenne (variant de 0.10 à 0.15 km/h) entre Gouze et Puyoo, avec des temps de transit moyens respectifs de l'ordre de 8.0 et 7.8 jours. Chez les anguilles actives soumises à de plus faibles débits, les vitesses sur ces mêmes parcours chutent à 0.093 et 0.035 km/h en moyenne respectivement, et les temps de transit s'élèvent à 27.1 et 34.9 jours.

7. Franchissement des obstacles : Globalement, pour chaque aménagement étudié, le taux de franchissement (nombre d'anguilles franchissant l'ouvrage/nombre d'anguilles s'étant présenté en amont) reste important (supérieur à 85%). Les temps passés par les anguilles à l'amont immédiat des ouvrages avant leur franchissement varient entre individus et suivant l'aménagement. Ceux de Biron demeurent les plus importants (temps médian : 21 min vs 6-11 min pour les 4 autres ouvrages aval ; temps moyen : 3.4 ± 1.3 jours vs $1h \pm 45min$ à 4.2 ± 3.1 jours pour les autres ouvrages).

- Les voies de franchissement les plus utilisées à l'échelle de chaque aménagement suivi sont différentes d'un ouvrage à l'autre. A Biron, les franchissements se sont produits en majorité (65%) par les turbines, alors qu'aux autres ouvrages aval, les passages par le barrage (ou le clapet) demeurent prépondérants, allant de 53% à Sapso à 96% à Puyoo. Ces résultats sont comparables à ceux des 3 précédentes années pour Castetarbe, Baigts et Puyoo (respectivement 72-92%, 62-82% et 91-100% par le barrage). Par contre, ils diffèrent pour Biron et Sapso où la proportion de passages par les turbines a été plus importante cette année (respectivement 65% versus 44-59% et 47% versus 30%). (Bau *et al.*, 2008, 2010a ; Travade *et al.*, 2009).

- Les exutoires de dévalaison dimensionnés pour le saumon, qui ne constituent jamais la voie de passage majoritaire mais qui avaient été empruntés dans 4.2% (7/167) des cas l'an dernier (Bau *et al.*, 2010a), n'ont pas été utilisés par les anguilles cette année. En particulier, l'exutoire de Baigts en rive droite (utilisé dans 11 à 18% des cas selon l'année) était fermé durant la crue de mi-janvier 2010.

- En revanche, d'autres voies de passage ont été utilisées cette année : 2 anguilles ont emprunté la rivière de contournement à Biron et une autre, la passe à bassins pour la montaison à Castetarbe.

8. Franchissement, débits, caractéristiques & configuration des ouvrages : La voie de franchissement dépend fortement du débit total de la rivière, des caractéristiques des usines (débit d'équipement) et de la configuration de la prise d'eau (e.g., position par rapport aux écoulements, espacement des barreaux des grilles) :

- Les passages par les turbines prédominent (59%) pour des débits inférieurs à $150 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que les passages par les évacuateurs de crue (barrage, clapet et autres voies) deviennent majoritaires (86%) à partir de $150\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Les franchissements en période de faibles débits (15% des cas pour plus de 67% du temps d'étude) ont essentiellement concerné Biron (46%) et Sapso (25%) et, dans une moindre mesure, Artix (14% estimé), Baigts (11%), Puyoo (11%) et Castetarbe (7%). Selon l'ouvrage, 50% des franchissements ont eu lieu pour des débits inférieurs à 1.5 (Biron, Sapso), 2.6 (Castetarbe), 3.4 (Puyoo), 3.6 (Baigts) à 4.5 (Artix) fois le module du cours d'eau.

- La répartition des débits au niveau de l'aménagement a un impact fort sur le franchissement. Une grande proportion (35/48, soit 73%) de passages par les turbines a lieu en l'absence ou lors des plus faibles déversements, alors que les passages par les évacuateurs de crue (barrage, clapet et autres voies) deviennent majoritaires (108/134, soit 81%) à partir d'un rapport débit déversé sur débit turbiné à l'usine égal ou supérieur à 1.

- Le débit d'équipement de l'usine a une incidence forte dans la mesure où, pour un débit de rivière donné, il détermine dans une large mesure le débit déversé. Ainsi, le taux de franchissement par les turbines est beaucoup plus important à Biron (65%), où le débit d'équipement est de $110 \text{ m}^3/\text{s}$, qu'à Castetarbe (9% ; $40 \text{ m}^3/\text{s}$) ou à Puyoo (4% ; $29 \text{ m}^3/\text{s}$).

- La configuration des aménagements (e.g., dérivation, barrage mobile ou fixe...) doit avoir aussi une

certaine incidence, plus difficile à mettre en évidence. A Artix, Biron et surtout à Sapso (ouvrages à barrage relativement larges [80-205 m], à large espacement inter barreaux [5-8 cm] des grilles de protection des turbines...), le rapport débit déversé sur débit total de la rivière doit être beaucoup plus élevé qu'à Baigts et surtout qu'à Castetarbe ou Puyoo (barrages moins larges [40-57 m], espacement inter barreaux réduit [2.5-3 cm]) pour arriver à une même probabilité de passage par le barrage. Les résultats de cette année confirment l'effet significatif des plans de grille de Baigts (80% d'efficacité répulsive) et de Castetarbe (67%).

9. Arrêt, mortalité & prédation : Comme lors des campagnes précédentes, des arrêts de migration définitifs (morts des individus) ou momentanés avec ou sans franchissement au préalable d'ouvrage ont été constatés (50 anguilles sur les 75 relâchées soit 66.7%).

- Au total, 23/75 anguilles (soit 30.7%) n'ont franchi aucun obstacle. L'immobilisation prolongée voire définitive de ces individus ne peut donc être imputée au franchissement d'un ouvrage. Pour cette campagne, ces arrêts ont été plus importants que lors des campagnes précédentes 2006-2007 et 2007-2008 (respectivement 5/30 soit 16.7% et 3/42 soit 7.1%) mais légèrement moins importants que lors de la campagne 2008-2009 (30/75 soit 40%). Comme lors de la précédente campagne, ils concernaient principalement les anguilles lâchées à Jurançon (plus la distance avant de franchir le premier obstacle est importante plus il y a des chances qu'elles ne le franchissent jamais). En effet, 13 anguilles (soit 48.1% de l'effectif lâché à Jurançon) n'ont pas franchi Artix et 10 de celles lâchées à Gouze (soit 20.8%) n'ont pas franchi Biron. A la fin du suivi, aucune des 23 anguilles n'était probablement vivante, 8 pouvaient être considérées comme mortes avérées et 15 potentiellement mortes. Aucun événement particulier n'est à priori à l'origine des arrêts (pas d'arrêt massif après une date donnée). Aucun facteur probant commun à chaque campagne n'a pu être mis en évidence pour expliquer ces arrêts définitifs sans franchissement au préalable d'un ouvrage.

- Sur les 52 poissons ayant franchi au moins un obstacle, au total 26 ont arrêté leur dévalaison entre Artix - Puyoo et 1 en aval immédiat des turbines de Puyoo, soit un total de 27 (51.9%). Les « arrêts définitifs » par secteur sont en moyenne de 15%. A la fin du suivi, sur ces 27 anguilles, une seule était probablement vivante, 6 pouvaient être considérées comme mortes avérées et 20 comme potentiellement mortes. Lors de cette campagne et contrairement à la précédente, les arrêts définitifs ne semblent pas plus importants lorsque les franchissements s'effectuent par les turbines. Cependant, ces arrêts ont très bien pu être sous-estimés car non observés. En effet, en fonction des conditions hydrologiques, certaines des anguilles passées par les turbines d'au moins un ouvrage ont pu stopper leur migration en aval de Puyoo (secteur non suivi).

- La prédation est élevée (9/75 soit 12%) et a pu concerner à la fois des anguilles vivantes (en déplacement) et des anguilles déjà mortes ou blessées de petite taille. Contrairement à la campagne précédente, la prédation est plus élevée sur les anguilles ne franchissant aucun aménagement, soit 21.7% (5/23), que sur les anguilles ayant franchi au moins un ouvrage, soit 7.7% (4/52). Les taux de prédation sont plus élevés pour les anguilles ayant franchi au moins un obstacle par les turbines (4/38 soit 10.5%) que pour celles passant par d'autres voies (évacuateurs de crue, exutoire,...) (0/10).

10. Perspectives : Les résultats obtenus lors de cette campagne vont être regroupés avec les 2 autres années d'étude afin d'être analysés dans leur globalité pour construire notamment un modèle de répartition des anguilles au droit des ouvrages hydroélectriques en fonction de l'hydrologie et des caractéristiques des aménagements. Ce type d'étude doit être poursuivie sur des cours d'eau représentant d'autres contextes hydrologiques et d'autres types d'aménagement afin notamment de mieux appréhender le rôle de l'hydrologie sur l'activité migratoire (rôle du 1^{er} événement de crue notamment) et les vitesses de déplacements sur un axe.

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010)

Rapport d'étape n°3

F. BAU, P. GOMES, J. LAFITTE, A. ALRIC, P. BARAN, M. LARINIER,
F. TRAVADE, E. DE OLIVEIRA

1. Contexte et but de l'étude

Afin de restaurer le stock d'anguilles en très forte régression en France et en Europe depuis une vingtaine d'années (Dekker, 2004), le conseil des ministres européens a adopté en 2007 un règlement (CE n°100/2007) qui impose à chaque Etat membre d'élaborer un plan de gestion de sauvegarde de l'espèce. Le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ont alors été chargés de concevoir et de mettre en œuvre le Plan de Gestion de l'anguille à l'échelon national. Ce plan a été présenté par la France le 17 décembre 2008 et approuvé par la Commission européenne le 15 février 2010.

Un programme de Recherche et de Développement a été engagé depuis la signature, le 8 décembre 2008, d'un accord-cadre entre l'ONEMA et les producteurs d'hydroélectricité (EDF, CNR, SHEM, France Hydroélectricité) regroupés au sein de l'UFE (Union Française de l'Electricité). Ce programme s'appuie sur 18 actions qui portent notamment sur : une meilleure connaissance du comportement et des rythmes de dévalaison de l'anguille, l'évaluation de l'impact des aménagements hydroélectriques à la dévalaison (mortalités dans les turbines et impacts cumulés des aménagements sur un axe donné), le développement de nouvelles techniques visant à réduire les mortalités dans les turbines (prises d'eau ichtyocompatibles, turbines ichtyophiles, biomoniteurs, barrières comportementales).

La présente étude répond à l'action n°6 du programme R&D et s'inscrit dans la continuité d'études réalisées sur le Gave de Pau depuis 5 ans (Subra *et al.*, 2006, 2007, 2008 ; Bau *et al.*, 2008, 2010a). Ces différentes études ont permis de suivre successivement le comportement d'anguilles argentées radiomarquées au droit d'un ouvrage hydroélectrique (usine de Baigts), puis de deux ouvrages (Baigts et Castetarbe) et enfin, d'une succession de 5 installations (Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo). En 2008-2009, un aménagement supplémentaire avait été ajouté au suivi : la centrale hydroélectrique de Sapso, située à Orthez entre les usines de Biron et Castetarbe. L'ensemble des ouvrages suivis en 2008-2009 l'ont également été cette année, à l'exception d'Artix. De fait, 5 aménagements ont donc été équipés et suivis en 2009-2010 : Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo.

L'étude, menée de décembre 2009 à mai 2010, avait pour objectifs :

- (1) de compléter les données précédemment acquises sur le comportement migratoire de l'anguille argentée à l'échelle d'un tronçon du Gave de Pau et sur la détermination des voies de passages (turbines, évacuateurs de crue, passes de montaison, exutoires de dévalaison...) au niveau des 5 aménagements en série étudiés,
- (2) de caractériser l'impact des paramètres du milieu, en particulier celui du débit, tant sur le déterminisme de la dévalaison que sur les modalités de franchissement des ouvrages,

A noter que cette expérimentation a également été couplée avec l'action n°7 du programme R&D qui vise à tester l'efficacité d'un dispositif de répulsion à infrasons, lequel est censé réduire le nombre de passages d'anguilles par les turbines. Ces derniers tests ont été réalisés sur les ouvrages de Biron et de Baigts en 2008-2009, et de Biron en 2009-2010. Ils ont fait l'objet de rapports annexes (Bau *et al.*, 2010b, 2011).

2. Sites d'étude

2.1. Présentation du cours d'eau

Le Gave de Pau est une rivière pyrénéenne qui naît près d'Argelès-Gazost de la confluence entre le Gave de Gavarnie et les Gaves de Cauterets, de Luz et d'Azun. Il s'écoule sur 175 km et rejoint le Gave d'Oloron à hauteur de Peyrehorade, pour se jeter ensuite dans l'Adour avant de rejoindre l'Océan Atlantique au niveau de Bayonne.

Le bassin du Gave de Pau est soumis à la double influence du climat océanique et de la proximité du massif pyrénéen. Le régime du cours d'eau, de type nivo-pluvial, est marqué par des précipitations annuelles importantes et l'apport prononcé d'eaux de fonte des neiges. On distingue une période d'étiage en fin d'été (août et septembre), d'eaux de fonte d'avril à juin, et de fortes précipitations en novembre et décembre (Tableau 2.1, Figure 2.1). Au niveau de la station limnimétrique du pont de Bérenx, le module interannuel du Gave de Pau, calculé sur la période 1923 – 2010 est de 81.9 m³/s (source : banque Hydro).

Tableau 2.1 : Caractéristiques hydrologiques du Gave de Pau au niveau de la station limnimétrique du pont de Bérenx

Cours d'eau : Gave de Pau Station : Pont de Bérenx Code de la station : Q5501010 Surface de bassin versant naturel : 2575 km ² 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 : 1960-2009												
Débits mensuels moyens mesurés de 1960 à 2009 à la station du Pont de Bérenx												
MOIS	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Débits (m ³ /s)	95	96	89	107	129	116	71	46	43	61	78	98

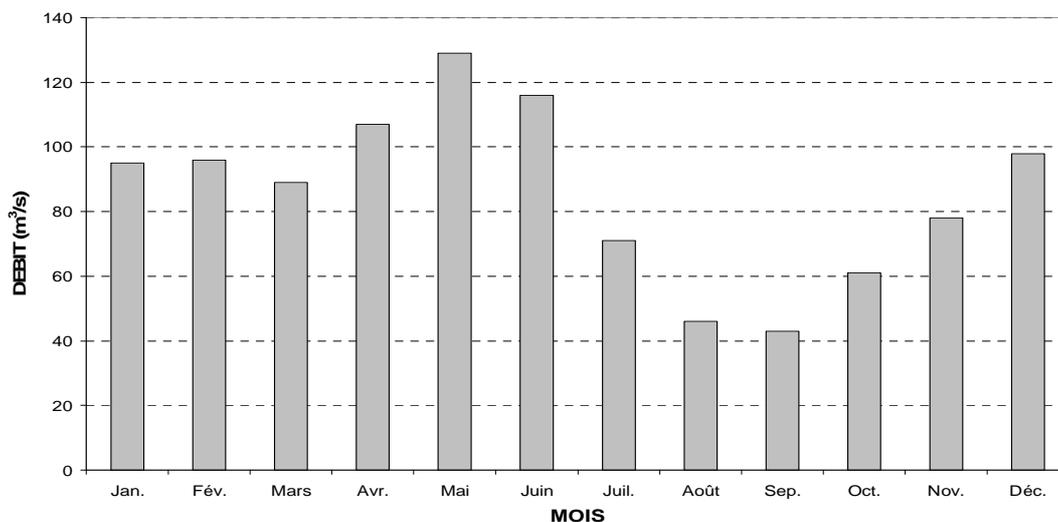


Figure 2.1 : Débits mensuels moyens à la station du pont de Bérenx calculés sur la période 1960-2009

Le tronçon du gave concerné par l'étude s'étend sur 60.3 km et se situe entre Jurançon et Puyoo, Jurançon étant à environ 125 km de l'océan Atlantique. La pente moyenne du Gave est de 0.25% et la largeur fluctue entre 30 et 60 m. Dans la zone étudiée, les faciès dominants sont les radiers, les plats courants et les chenaux lotiques. Les mouilles sont peu importantes, excepté quelques zones profondes naturelles au niveau des méandres ou artificielles en amont des barrages.

2.2. Présentation des sites d'étude

Sur la vingtaine d'aménagements hydroélectriques implantés sur le Gave de Pau, les cinq situés les plus à l'aval (Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo) ont été suivis lors de cette étude (Tableau 2.2, Figure 2.2). Le secteur d'étude est référencé à partir de l'usine hydroélectrique de Baigts (pk=0). De fait, tous les points kilométriques (pk) sont déterminés en fonction de leur distance par rapport à ce point.

Tableau 2.2 : Principales caractéristiques des 5 aménagements hydroélectriques étudiés

Obstacle	Biron	Sapso	Castetarbe	Baigts	Puyoo
PK (km)	10,5	8,5	5,7	0	-7,8
Chute nette	3.6 m	4.8 m	5.2 m	9.6 m	3.5 m
Dérivation	non	oui (400 m)	non	non	oui (238 m)
Longueur du canal de fuite	25 m	15 m	30 m	52 m	120 m
Débit d'équipement	110 m ³ /s	48 m ³ /s	40 m ³ /s	90 + 10 m ³ /s	29 m ³ /s
Situation usine(s)*	Usine : RD	Usine : RD	Usine : RD	Usine : RD, Microcentrale : RG	Usine : RD
Equipement usine(s)	2 turbines Kaplan verticales de 55 m ³ /s (vit. de rotation : 89 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 3.7 m)	2 turbines Francis de 24 m ³ /s (vit. de rotation : 95 tr/min ; 17 aubes ; Ø roue : 3.15 m)	3 turbines : 2 Francis, une de 10 m ³ /s (vit. de rotation : 94 tr/min ; 17 aubes ; Ø roue : 1.7 m) et une de 18 m ³ /s (vit. de rotation : 90 tr/min ; 17 aubes ; Ø roue : 1.68 m) et un groupe Flygt de 12 m ³ /s (vit. de rotation : 223 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 1.5 m)	Usine : 3 turbines Kaplan verticales de 30 m ³ /s (vit. de rotation : 214 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 2.35 m) Microcentrale : 1 turbine Kaplan verticale de 10 m ³ /s (vit. de rotation : 333 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 1.45 m)	4 turbines : 1 groupe Flygt de 6 m ³ /s (vit. de rotation : 228 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 1.2 m) et 3 turbines Kaplan : 1 de 11 m ³ /s (vit. de rotation : 175 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 1.7 m) et 2 de 6 m ³ /s installées en 2008 (vit. de rotation : 261 tr/min ; 4 pales ; Ø roue : 1.3 m)
Plan de grille et espacement (e)	e = 8 cm	e = 8 cm	Inclinaison de 15° e = 2.5 cm.	RD plan de grille amont chambre d'eau de 40.15 m sur 5 m et e = 3 cm. RG plan de grille de 7.4 m sur 4.6 m et e = 2 cm.	e = 3 cm
Ouvrages évacuateurs	Barrage mobile de 80 m (3 clapets)	Barrage fixe de 205 m	Barrage fixe de 50 m	Barrage de 57 m (2 vannes bateaux + 1 vanne de chasse/clapet)	Seuil fixe béton de 110 m
Dispositifs de franchissement	Rivière artificielle de 255 m. Pas d'exutoire de dévalaison	Exutoire de dévalaison (Q = 0.4 m ³ /s). Passe à poissons à ralentisseurs au niveau du barrage (Q = 1+2 m ³ /s)	3 exutoires de surface au-dessus du plan de grilles (Q = 1,2 à 2,5 m ³ /s). Passe à poissons à fentes verticales de 18 bassins (Q = 0.8 à 1.6 m ³ /s)	1 exutoire de surface en RD (Q = 2.2 m ³ /s) + 3 exutoires en RG (2 de surface et 1 de fond) (Q = 0.5 m ³ /s). Ascenseur à poissons en RG (Q = 2 m ³ /s). Rampe à anguilles	Exutoire de dévalaison en RD usine (Q = 1 m ³ /s) Passe à bassins à 2 fentes en RD barrage (Q = 2.5 m ³ /s) Glissière à canoës en RG barrage

* RG : rive gauche, RD : rive droite

** Q : débit

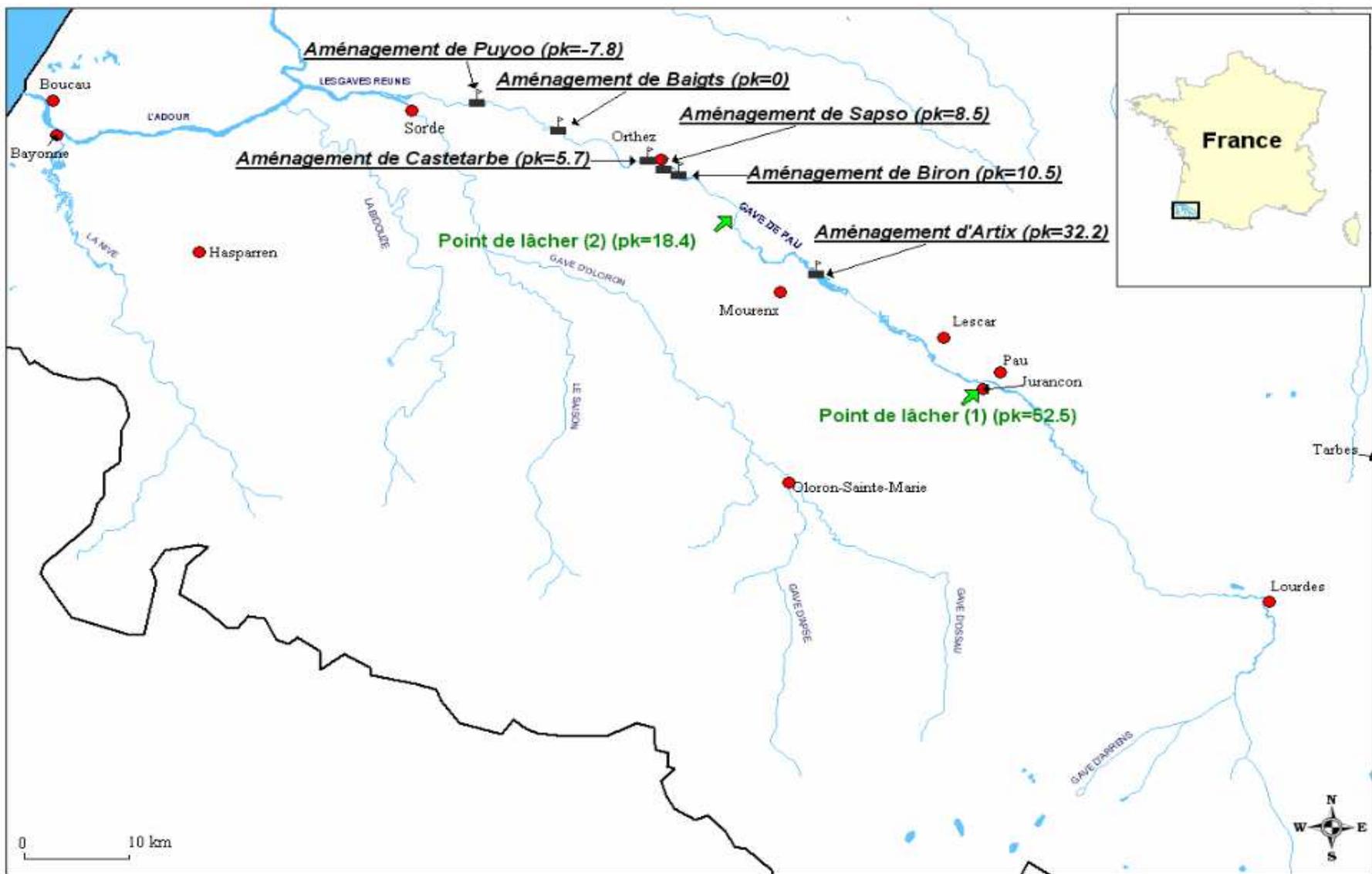


Figure 2.2 : Carte du Gave de Pau avec localisation des ouvrages hydroélectriques et des sites de lâcher des anguilles

3. Matériel et Méthodes

3.1. Période d'étude

L'installation et la calibration du matériel de radiopistage sur les sites ainsi que les essais préliminaires concernant le fonctionnement général du système ont eu lieu de la mi-octobre à la mi-décembre. L'étude proprement dite, c'est-à-dire le marquage et le suivi des déplacements des anguilles radiomarquées, s'est déroulée du 17 décembre 2009 (date de marquage du premier lot d'anguilles) au 17 mai 2010 (date du début du démontage des dispositifs de radiopistage sur les sites), soit 151 jours au total.

3.2. Matériel biologique utilisé

3.2.1. Caractéristiques des anguilles

3.2.1.1. Origine des anguilles - Capture - Transport

En l'absence de capacité de pêche d'anguilles d'avalaison suffisante sur le bassin du Gave de Pau ou de l'Adour, les anguilles argentées utilisées pour l'étude proviennent de la Loire dans sa partie aval. Issues d'une pêcherie professionnelle, les anguilles ont été acheminées en deux fois jusqu'à l'usine de Baigts dans des camions équipés de cuves alimentées en oxygène. Un premier lot de 105 anguilles, pêchées les 9 et 10 décembre, a été récupéré à proximité de Varades (Loire Atlantique) le 16 décembre 2009. 50 d'entre elles, dont l'état sanitaire était jugé satisfaisant, ont été utilisées pour l'expérimentation, constituant ainsi les deux premiers lots d'individus marqués. Les autres anguilles non utilisées ont, quant à elles, été remises à l'eau. Un second groupe d'individus plus fraîchement pêchés a été transporté sur Baigts pour constituer le troisième lot d'anguilles marquées. Ainsi, 36 anguilles, pêchées entre Noël et le premier de l'an, ont été ramenées de Varades le 26 janvier 2010 ; 25 d'entre elles ont ensuite été marquées, complétant ainsi notre échantillon (75 anguilles au total).

3.2.1.2. Conditions de stabulation

Les anguilles ont été maintenues en stabulation jusqu'au marquage dans trois cuves (deux de 1.5 m³ et une de 3 m³ environ) installées à l'usine de Baigts et alimentées par pompage de l'eau du Gave de Pau. Des traitements antistress et antiparasitaires préventifs « classiques », à savoir des baignades à 3-5‰ de sel marin pur durant 20-30 min tous les 2-3 jours, ont été réalisés durant les stabulations.

3.2.1.3. État sanitaire des anguilles

Afin d'éviter tous risques sanitaires et de contamination, 19 anguilles pêchées sur la Loire ont été analysées par le laboratoire départemental des services vétérinaires de l'Hérault (LDA 34) à Montpellier. Les analyses n'ont révélé aucune affection virologique grave de type NHI (Nécrose Hématopoïétique Infectieuse), EVEX (Eel Virus Europe origin X) ou SHV (Septicémie Hémorragique Virale), autorisant ainsi l'utilisation des anguilles capturées sur la Loire pour la réalisation de l'étude.

3.2.1.4. Biométrie

Lors du marquage des 75 anguilles, les paramètres suivants ont été mesurés : diamètres oculaires vertical (Dv) et horizontal (Dh), diamètres de tête et du corps (vertical et horizontal), longueur totale (Lt) et masse corporelle (P) (cf. Annexe 1). Ces mesures ont été réalisées essentiellement dans le but de décrire les caractéristiques morphologiques de notre échantillon et d'évaluer et confirmer le niveau d'argenture des individus marqués. Ces paramètres ont également permis de déterminer la capacité de franchissement des anguilles au niveau des plans de grille des usines hydroélectriques étudiées.

- Le choix des anguilles à marquer a été guidé par la volonté de constituer un échantillon couvrant des classes de taille et de poids suffisamment larges pour être représentatif de la population d'anguilles argentées présente dans le Gave de Pau. Les individus devaient toutefois respecter un certain poids limite de manière à pouvoir utiliser des émetteurs radio ayant une autonomie importante avec un poids n'excédant pas 2 à 3% du poids de l'anguille, conformément à ce qui a été admis par Baras et Lagardère (1995) comme limite de non-réduction significative de la flottabilité des poissons. Ainsi, les individus de notre échantillon présentaient un poids moyen de 806 g (médiane : 715 g), avec des valeurs variant de 369 à 1881 g (Figure 3.1). La longueur totale des 75 anguilles radiomarquées était comprise entre 59.5 et 98.5 cm, avec des valeurs moyenne et médiane avoisinant 76 cm (Figure 3.2).

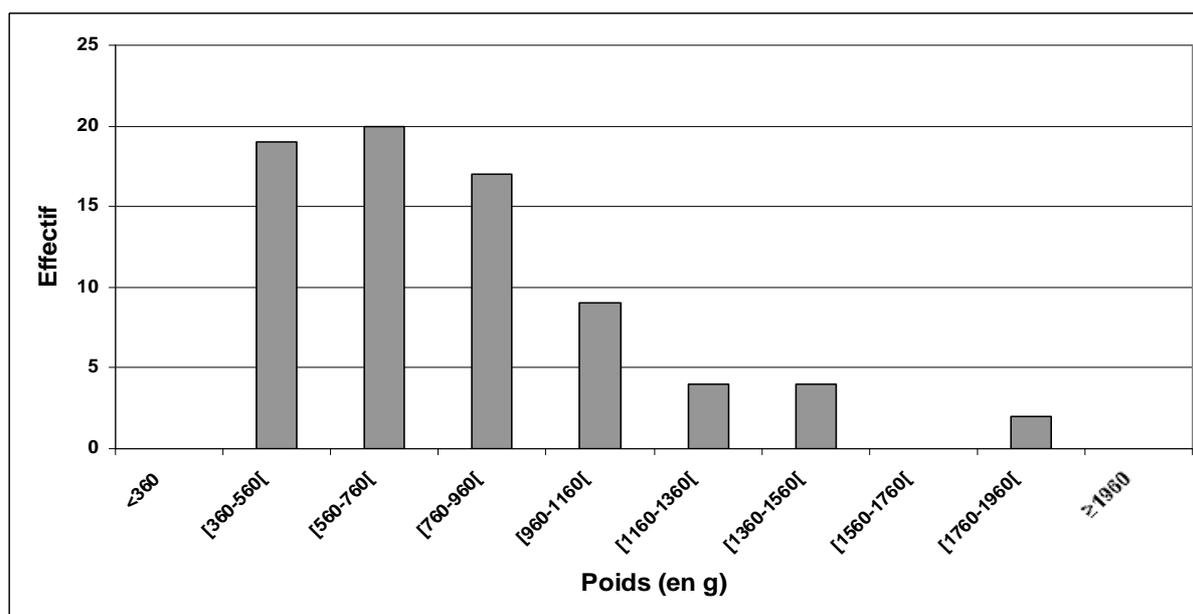


Figure 3.1 : Distribution par classes du poids des anguilles radiomarquées

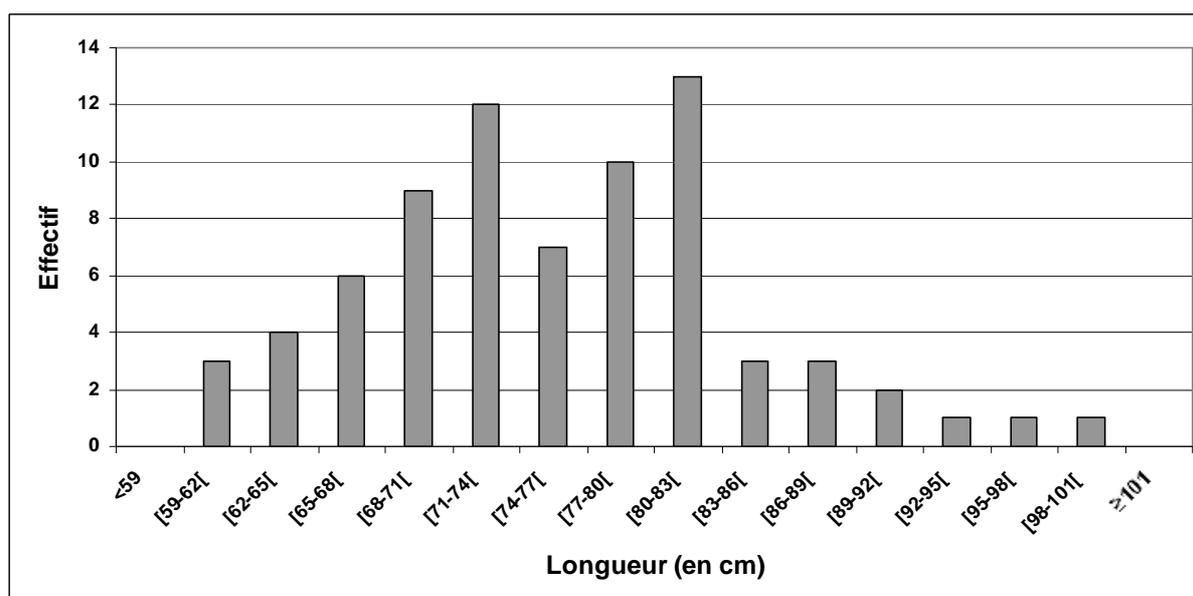


Figure 3.2 : Distribution par classes de la longueur totale des anguilles radiomarquées

- Une grille constitue une barrière physique pour une anguille tant que l'espacement libre entre les barreaux est inférieur à la dimension de sa tête (hauteur ou largeur). En effet, son corps étant très souple, une anguille peut rester bloquée au niveau des grilles à cause de sa tête, plus rigide. Ainsi, les dimensions de tête (hauteur et largeur) ont été mesurées, notamment afin d'apprécier la part des individus radiomarqués susceptibles de passer au travers des grilles de protection des turbines. Dans la mesure où une anguille est capable de se contorsionner au niveau des plans de grilles, seule la valeur la plus faible entre hauteur et largeur de tête a été prise en considération pour chaque individu radiomarqué. Les pourcentages cumulés de ces valeurs minimales permettent d'évaluer la proportion d'anguilles pouvant traverser les grilles en fonction de l'écartement des barreaux (Figure 3.3). On constate ainsi qu'au moins 78% des individus radiomarqués sont capables de passer à travers des barreaux espacés de 30 mm (cas des pré-grilles en rive droite à Baigts). De la même manière, le plan de grilles de Castetarbe, où les barreaux sont espacés de 25 mm, ne constitue une barrière physique que pour seulement 63% des anguilles marquées ; 37% des individus de notre échantillon sont donc susceptibles de passer à travers les turbines de Castetarbe. Connaissant l'aptitude de ce poisson à se contorsionner, on peut raisonnablement penser que ces pourcentages ne représentent qu'une limite basse en ce qui concerne la possibilité de passage.

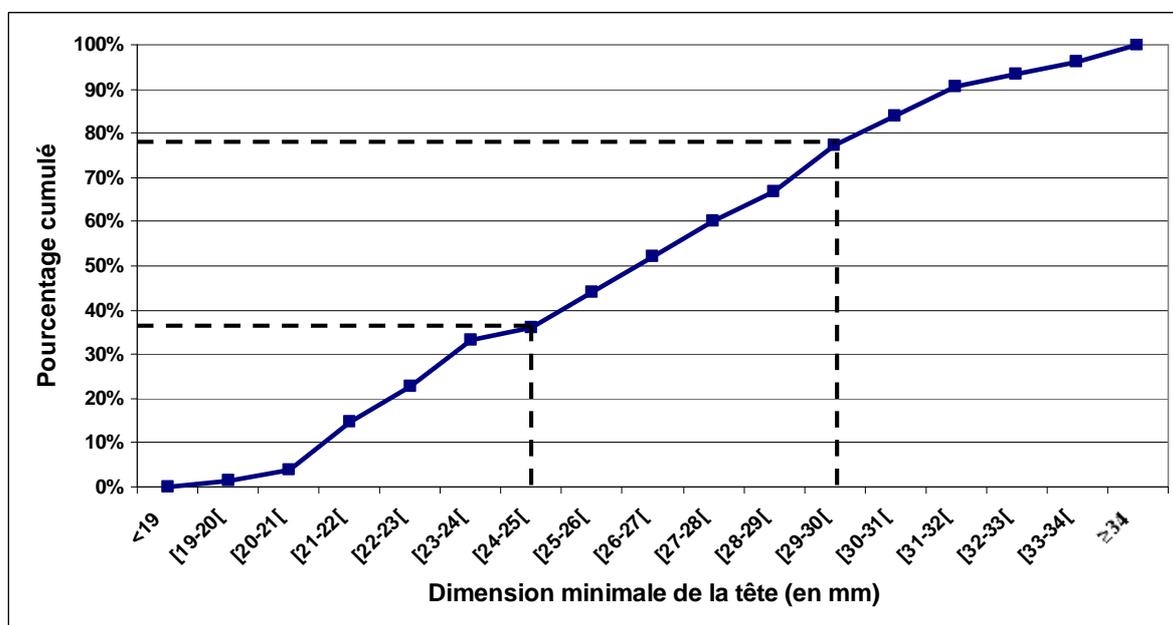


Figure 3.3 : Pourcentage cumulé des anguilles marquées en fonction de leur dimension minimale de tête

- Les diamètres oculaires ont été mesurés afin de calculer l'indice oculaire (IO) (Pankhurst, 1982).

$$IO = \left(\frac{Dv + Dh}{4} \right)^2 \times \left(\frac{\pi}{Lt} \right) \times 100$$

La valeur de l'indice oculaire permet de caractériser une anguille ayant entamé sa métamorphose d'avalaison. La valeur seuil varie suivant les auteurs. Pankhurst (1982) a établi la limite de l'indice oculaire entre anguille jaune et anguille argentée à 6.5. Fontaine (1994) estime que, parmi une population d'anguilles jaunes, celles ayant un IO supérieur à 5.6 ont sans doute amorcé leur argenture et effectueront leur avalaison dans l'année. Enfin, Dufour et Marchelidon (1998) considèrent qu'une taille de plus de 50 cm, associée à un IO supérieur à 10, permet de caractériser une femelle argentée. Dans notre échantillon, les valeurs de cet indice variaient de 6.58 à 17.2, avec une valeur moyenne de 9.08 (Figure 3.4). Les 75 anguilles radiomarquées pouvaient donc être considérées comme dévalantes. De plus, toutes présentaient également un embonpoint comparable à celui d'anguilles argentées échantillonnées sur d'autres cours d'eau (Fontaine, 1994), avec un facteur de condition K de 0.18 en moyenne, allant de 0.12 à 0.26 (cf. Annexe 1).

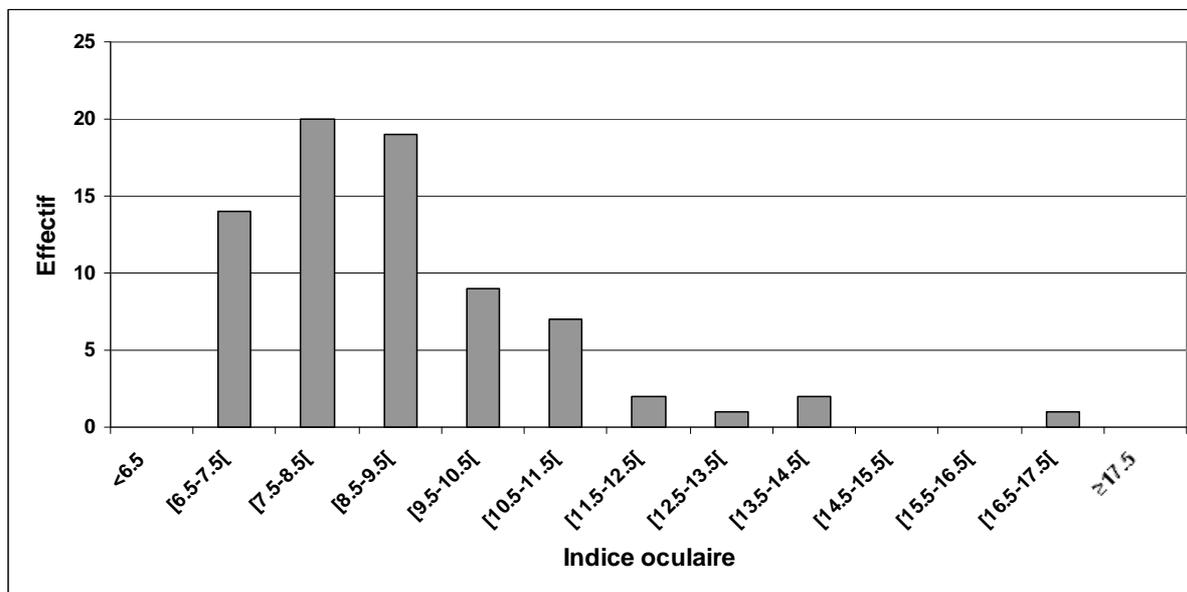


Figure 3.4 : Distribution par classes de l'indice oculaire des anguilles radiomarquées

3.2.2. Marquage des anguilles

Le marquage des anguilles a été réalisé dans un Algéco installé sur le site de Baigts. Appliquant le protocole de marquage suivi l'année précédente (Bau *et al.*, 2010a), les anguilles ont été anesthésiées à l'aide d'huile essentielle de clou de girofle diluée à 10% avec de l'éthanol à 70° (proportions : 9 à 15 mL de clou de girofle dilué pour 10 L d'eau suivant la température du bain). Après anesthésie, les anguilles ont été marquées par implantation dans la cavité abdominale d'un émetteur radio codé ATS® modèle F1820 (\varnothing x L=12 x 43 mm, poids dans l'air : 8 g (0,4 à 2,2% du poids corporel)) et d'un transpondeur miniature PIT tag (\varnothing x L=3 x 30 mm). Après injection préventive d'un antibiotique, les individus marqués ont été ensuite maintenus en stabulation durant 30 h en moyenne avant d'être relâchés. La durée d'anesthésie moyenne était de l'ordre de 01h 41min, dont 14 min de chirurgie en moyenne pour chaque individu.

3.2.3. Transport et lâcher

Les 75 anguilles marquées ont été relâchées en trois vagues successives. Au vu du comportement des anguilles déversées à Jurançon lors de la campagne de suivi précédente (Bau *et al.*, 2010a) et afin d'acquérir un maximum de résultats sur le franchissement des aménagements, il a été décidé cette année de relâcher les individus marqués de chaque lot à deux endroits différents : Jurançon à 42 km en amont de l'usine de Biron et Gouze, situé plus en aval, à seulement 7.9 km à l'amont de Biron. Deux premiers lots de 25 individus chacun ont ainsi été relâchés en parts quasi égales entre Jurançon (n=12 pour le lot 1 et n=10 pour le lot 2) et Gouze (n=13 pour le lot 1 et n=15 pour le lot 2) respectivement le 19 décembre 2009 et le 7 janvier 2010. De la même manière que précédemment et pour maximiser le nombre de présentations d'anguilles au niveau des cinq ouvrages-tests avant la fin de la période de dévalaison, un 3^{ème} lot a été déversé majoritairement en partie aval du secteur d'étude (n=20 à Gouze, n=5 à Jurançon) les 2 et 3 février 2010.

Les anguilles ont été transportées en voiture jusqu'aux points de lâcher dans des containers d'eau du Gave légèrement salée à moins de 3‰. La durée de transport était d'environ 30 min pour les anguilles relâchées à Gouze et de 1h 30min pour les anguilles relâchées à Jurançon. Toutes ont été déversées progressivement, en 1h environ (rééquilibrage de la température et de la conductivité entre eau de transport et eau du Gave), en zones calmes, et profondes par endroits, avec un substrat propice à leur récupération physique.

3.3. Suivi et enregistrement des déplacements des anguilles

Une fois marquées et relâchées, les anguilles ont été suivies sur plus de 60 km. 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).

3.3.1. Principe du radiopistage

Les poissons n'étant généralement pas visibles dans leur environnement naturel, la télémétrie (*suivi à distance par ondes radiophoniques [radiopistage] en eau douce ou ondes acoustiques [pistage acoustique] en milieux marins/estuariens*) constitue une méthode particulièrement utile pour connaître leurs mouvements et leurs comportements (Priede, 1980 ; Baras et Cherry, 1990). La télémétrie présente certains avantages par rapport aux techniques classiques de marquage-recapture pour collecter des informations sur le comportement d'espèces cibles, comme par exemple la distribution de l'habitat, les migrations, la saisonnalité du comportement, les zones d'alimentation ou de ponte, ou encore la réponse à des modifications naturelles ou artificielles de l'environnement. Le principal intérêt de cette technique est qu'elle n'impose pas la recapture des individus. Le biais dû aux interactions entre l'observateur et l'animal est très limité puisque celui-ci évolue librement dans son milieu naturel. Le radiopistage (ou radiotélémétrie) est utilisé pour étudier le comportement animal depuis les années 1960. En France, cette technique a surtout été employée pour des études relatives au saumon atlantique (Baglinière et Porcher, 1994 ; Bach *et al.*, 1996 ; Gerlier et Roche, 1998 ; Croze, 2005 ; Bau *et al.*, 2005 à 2007). Concernant l'anguille, elle a été utilisée en France sur le Gave de Pau au cours des 5 campagnes précédentes (Subra *et al.*, 2006, 2007, 2008 ; Bau *et al.*, 2008, 2010a) et sur la Nive (Durif *et al.*, 2003 ; Gosset *et al.*, 2005), mais également en Nouvelle-Zélande (Jellyman et Sykes, 2003), en Espagne (LaBar *et al.*, 1987) ainsi qu'aux Etats-Unis (Lamothe *et al.*, 2000 ; Hammond et Welsh, 2009).

Dans son principe général, la technique consiste à équiper un animal d'un émetteur muni d'une batterie qui envoie sur une fréquence donnée un signal continu ou pulsé sous forme d'ondes électromagnétiques qui se propagent dans le milieu. Ce signal peut être capté par une antenne et transmis à un récepteur/enregistreur qui le filtre et l'amplifie pour le rendre perceptible pour l'opérateur sous la forme de «bips» sonores. Suivant le degré de sophistication du récepteur/enregistreur, des informations (date, heure, fréquence, code, force du signal, ...) peuvent ou non être stockées dans une mémoire interne dont le contenu peut être transféré sur un support informatique. Chaque individu marqué est identifié par une fréquence (émetteur standard) ou par une fréquence et un code (émetteur codé). Ce dernier type d'émetteur est généralement utilisé pour le suivi de gros effectifs. En effet, une seule fréquence portant jusqu'à 25 codes, l'emploi de 3 fréquences codées peut permettre sans risque l'enregistrement de 75 poissons marqués arrivant simultanément dans un champ d'antennes.

De manière générale, les limites du suivi télémétrique sont imposées par la technologie utilisée (portée et durée de vie des émetteurs). Le signal transmis par l'émetteur s'atténue plus rapidement dans l'eau que dans l'air et ce, d'autant plus qu'on est en profondeur, que la conductivité électrique de l'eau augmente et que la fréquence d'émission est élevée (Winter, 1983). Aussi, les bandes fréquence utilisées en milieu aquatique (30-50MHz) sont inférieures à celles utilisées en milieu terrestre. De plus, à cause des lois de la réfraction, seules les ondes dont les vecteurs forment un angle inférieur à 6° avec la perpendiculaire à l'interface air-eau peuvent traverser l'interface et se propager dans l'air.

Le radiopistage permet donc de suivre en eau douce les déplacements d'un animal équipé d'un émetteur radio, par utilisation d'une ou plusieurs stations de réception (fixes ou mobiles) disposées le long de son parcours. Une station de réception se compose d'une antenne délimitant une zone de détection et d'un récepteur/enregistreur réglé sur la fréquence de l'émetteur porté par l'animal suivi.

3.3.2. *Suivi mobile*

Entre les différents aménagements qui jalonnent le secteur étudié, un suivi mobile a été réalisé de façon manuelle :

- tout d'abord en voiture, à l'aide d'une antenne fouet, permettant une détection à distance très variable selon la topographie des lieux (500 m à 1 km environ),
- puis à pied, avec une boucle aérienne 1/4 et/ou une boucle immergée, de façon à déterminer avec précision l'emplacement des poissons radiomarqués. Ce type de matériel est également utilisé pour récupérer les émetteurs d'individus morts lorsque ceux-ci sont accessibles.

3.3.3. *Suivi fixe*

Au niveau des ouvrages, des stations automatiques assurent la détection des animaux marqués, ce qui permet, après traitement des informations enregistrées, de décrire leur comportement et de déterminer leur voie de passage. Pour cela, ces stations nécessitent des réglages et des étalonnages qui doivent être réalisés en début d'expérimentation. Il faut notamment définir les zones de couverture voulues, via le réglage, au niveau des stations, du gain attribué à chaque antenne. Plus le gain est élevé, plus la zone couverte par l'antenne (i.e. la zone de détection) sera grande. Sur un site donné, la calibration consiste, une fois les gains pré-réglés, à placer dans l'eau un émetteur-test en plusieurs points d'une zone de détection pré-définie et à plusieurs profondeurs pour chaque point, afin d'établir une cartographie assez précise des gradients de forces de signal alors obtenus pour chaque antenne.

En mode stationnaire, le récepteur balaye chacune des fréquences pré-sélectionnées pendant une durée choisie et n'effectue d'enregistrement que si la fréquence de l'émetteur d'une anguille (ou la fréquence et le code en cas d'émetteur codé) est reconnue. La projection des forces de ces signaux enregistrés sur la cartographie initiale des zones de détection individualisées sur un site permet de localiser l'animal. L'intégration spatio-temporelle des positions successives fournit une approximation de la trajectoire de l'animal d'une zone à une autre sur le site.

Ainsi, sur chaque site, l'individualisation des différentes zones de réception grâce à plusieurs stations d'enregistrement automatiques (récepteurs-enregistreurs ATS® R4500C) permet :

- de déterminer la voie et l'heure de passage des anguilles radiomarquées,
- le suivi de leurs déplacements en amont immédiat des ouvrages,
- de déterminer les durées de présence des poissons dans les différentes zones de réception et donc sur les différents ouvrages.

De manière générale, sur chaque ouvrage ont été systématiquement calibrées et définies :

- une zone en canal d'amenée et/ou en amont immédiat des turbines, et une zone en canal de fuite pour caractériser le passage du poisson par les turbines,
- une grande zone générale couvrant l'amont et l'aval du barrage pour distinguer le passage par les ouvrages évacuateurs de crue (vannes, clapet, déversoir) et connaître le temps de présence à l'amont des ouvrages.

De manière spécifique, sur certains ouvrages ont été calibrées et définies :

- de petites zones couvrant une passe à poissons (Biron), l'entrée d'une microcentrale (Baigts), la goulotte d'un dégrilleur (Baigts) ou les entrées d'un exutoire (Castetarbe),
- plusieurs zones de réception au droit d'un plan de pré-grilles (comme précédemment à Baigts ; cf. Bau *et al.*, 2010b) ou d'une drome (Biron ; cf. Bau *et al.*, 2010b, 2011) afin d'étudier l'efficacité de dispositifs de répulsion à infrasons installés sur site.

Pour délimiter ces zones de réception automatique, différents types d'antennes radiophoniques ont été utilisés :

- des antennes radio aériennes, antennes boucles portables à réception uni-directionnelle, pour définir des zones de réception de grande taille,
- des antennes radio immergées, antennes filaires de câble coaxial, pour définir des zones de réception plus réduites que celles établies par les antennes aériennes.

En complément de ces stations d'enregistrement radio, des stations d'enregistrement TIRIS (Texas Instrument Registration and Identification System) avec leur antenne ont aussi été installées. Elles ont permis de détecter le passage de poissons dans certains exutoires de dévalaison, échancrures de passes à poissons et goulottes de dégrilleurs, où les vitesses de passage, en général très élevées, rendent la détection par radiopistage très aléatoire.

Pour l'expérimentation 2009-2010, 29 stations d'enregistrement radio et 8 stations d'enregistrement TIRIS ont été installées sur les cinq ouvrages hydroélectriques étudiés (Biron, Sapsos, Castetarbe, Baigts et Puyoo).

Un descriptif détaillé des dispositifs mis en place sur chaque ouvrage est donné dans le Tableau 3.1. Ont également été reportés, sur les Figures 3.5 à 3.9, les 5 dispositifs ainsi que les différentes zones de réception définies sur chaque site.

Tableau 3.1 : Descriptif des dispositifs d'enregistrement

Ouvrages (de l'amont vers l'aval)	Nom de la station	Type de dispositif		Type d'antenne associée	Zone de réception définie
		Station Radio	Station TIRIS		
BIRON	BIG	1		antenne boucle	large zone amont & aval barrage
	BIDa	1		antenne immergée 3 brins	zone partie amont drome
	BIDb	1		antenne immergée 3 brins	zone partie centrale drome
	BIDc	1		antenne immergée 3 brins	zone partie aval drome
	BIDa1	1		antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou amont de la drome
	BIDa2	1		antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou amont de la drome (sous BIDa1)
	BIDc1	1		antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou aval de la drome
	BIT1	1		antenne boucle	amont immédiat grilles chambre d'eau & large zone aval barrage
	BIT2	1		antenne immergée 2 brins	petite zone de confirmation sortie turbines
	BIP	1		antenne immergée 1 brin	petite zone centrale dans rivière de contournement
SAPSO	SAG1	1		antenne boucle	petite zone amont barrage & large zone aval barrage
	SAG2	1		antenne boucle	zone amont barrage & large zone aval barrage
	SAC	1		antenne immergée 1 brin	zone canal d'amenée
	SAT	1		antenne immergée 1 brin	petite zone de confirmation sortie turbines
CASTETARBE	CAG	1		antenne boucle	large zone amont & aval barrage
	CAE	1		antenne immergée 3 brins	zone amont immédiat grilles & entrées canal exutoire de dévalaison
	CAT	1		antenne immergée 3 brins	zone de confirmation sortie turbines
	1		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans passe à poissons
2		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans canal du dégrilleur	
BAIGTS	BAR	1		antenne boucle	large zone dans retenue & amont barrage
	BAB	1		antenne boucle	amont immédiat barrage & large zone aval barrage
	BAGa	1		antenne immergée 3 brins	zone partie amont du plan des pré-grilles
	BAGb	1		antenne immergée 4 brins	zone partie centrale du plan des pré-grilles
	BAGc	1		antenne immergée 3 brins	zone partie aval du plan des pré-grilles
	BAC	1		antenne immergée 3 brins	zone amont immédiat grilles dans chambre d'eau
	BAT	1		antenne boucle	large zone sortie turbines
	BAM	1		antenne immergée 1 brin	petite zone dans puits prise d'eau amont microcentrale RG
	BAD	1		antenne immergée 1 brin	petite zone dans canal du dégrilleur RG*
	3		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans exutoire de dévalaison RD
	4		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans exutoire de dévalaison RD
	5		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans canal dégrilleur RD
	6		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG
7		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG	
8		1	Fenêtre TIRIS	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG	
PUYOO	PUG	1		antenne boucle	large zone amont & aval barrage
	PUT	1		antenne boucle	large zone amont dans canal d'amenée & petite zone aval sortie turbine
	PUE	1		antenne immergée 1 brin	zone partie centrale du canal de l'exutoire de dévalaison
TOTAL		29	8		

* Zone de réception réelle définie par l'antenne BAD plus large (aussi bien en amont/aval rive gauche) lorsque le brin est exondé

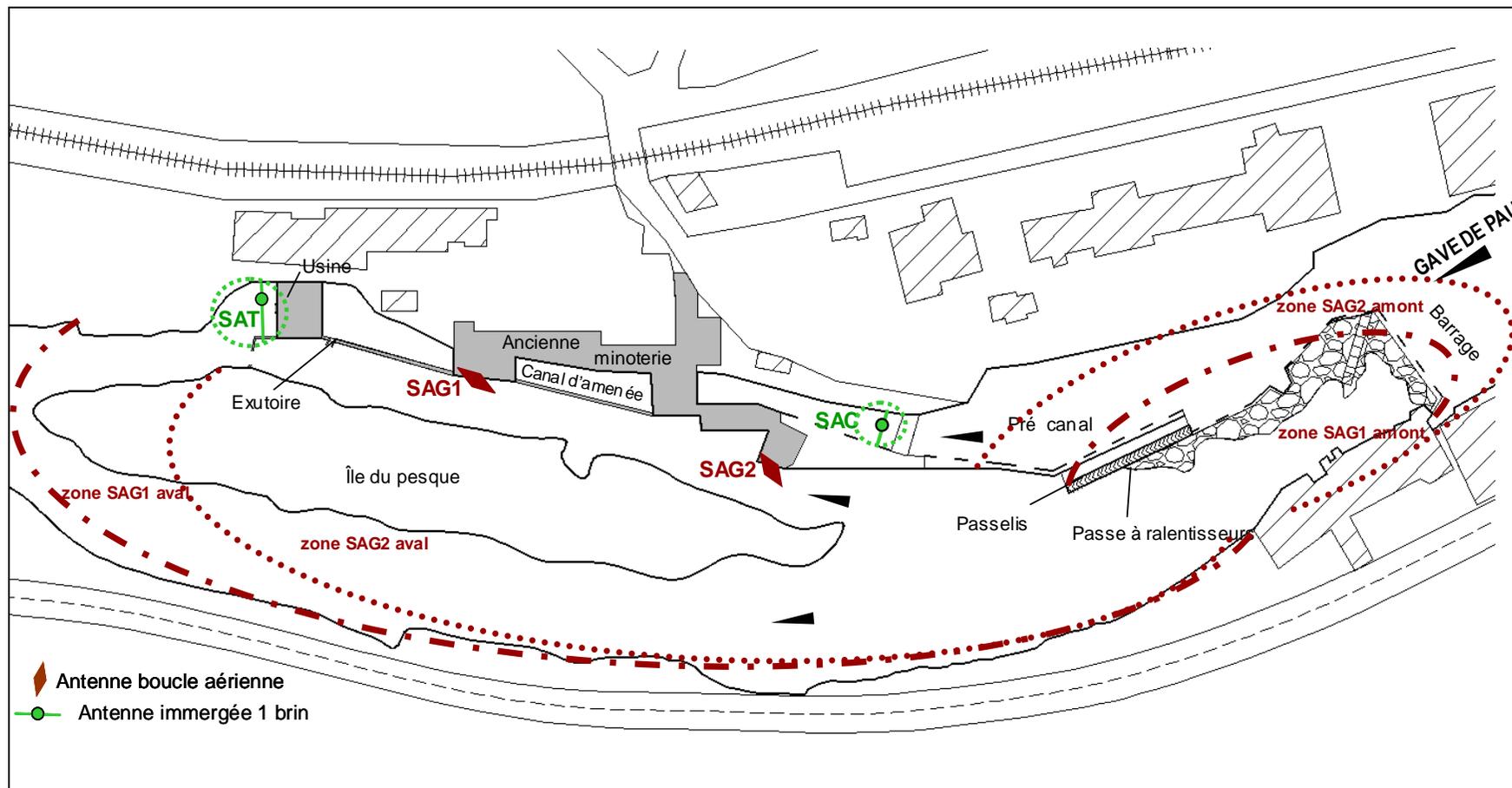


Figure 3.6 : Localisation des antennes et des zones de réception au niveau de l'aménagement de Sapso

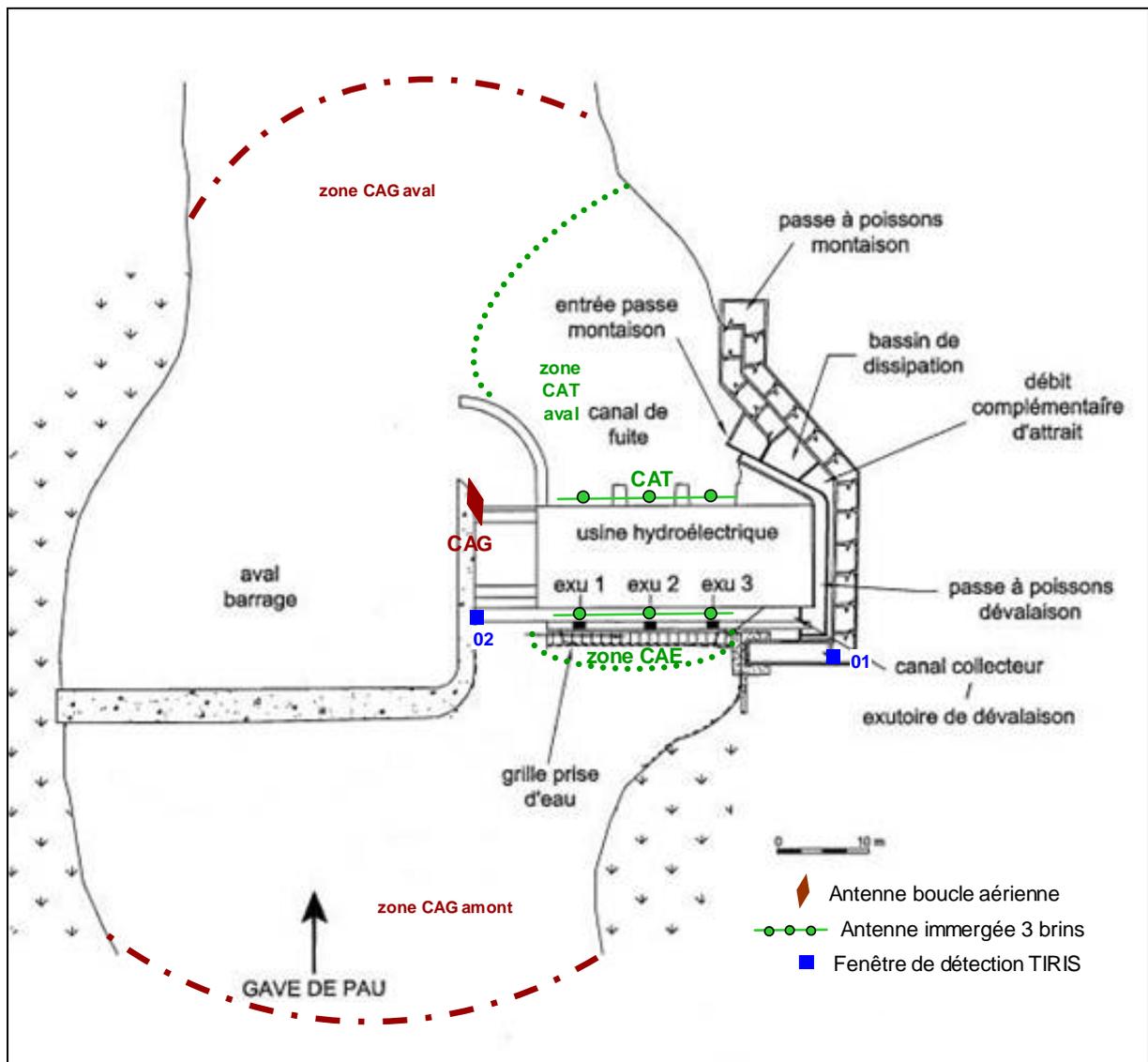


Figure 3.7 : Localisation des antennes et des zones de réception au niveau de l'aménagement de Castetarbe

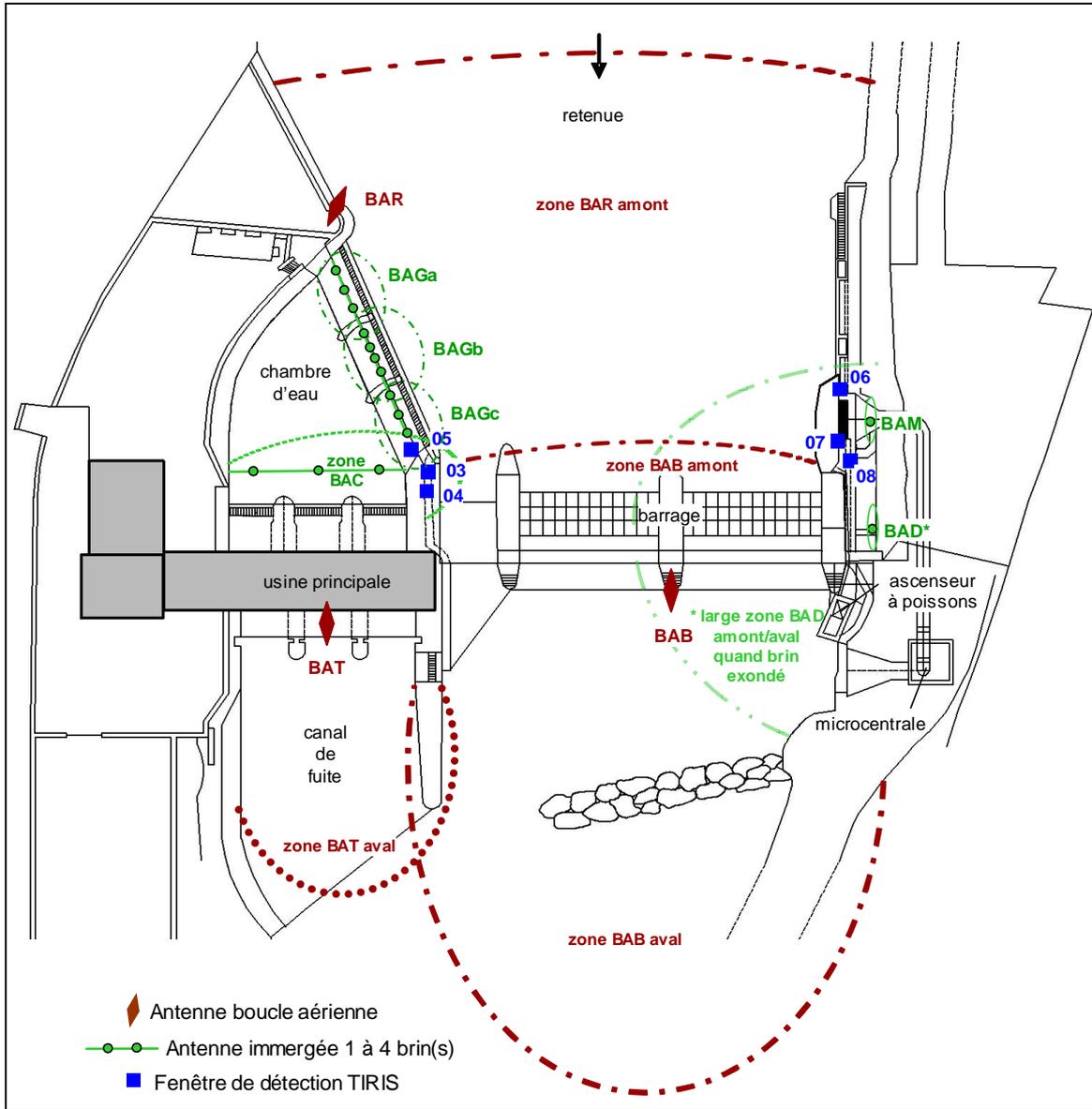


Figure 3.8 : Localisation des antennes et des zones de réception au niveau de l'aménagement de Baigts

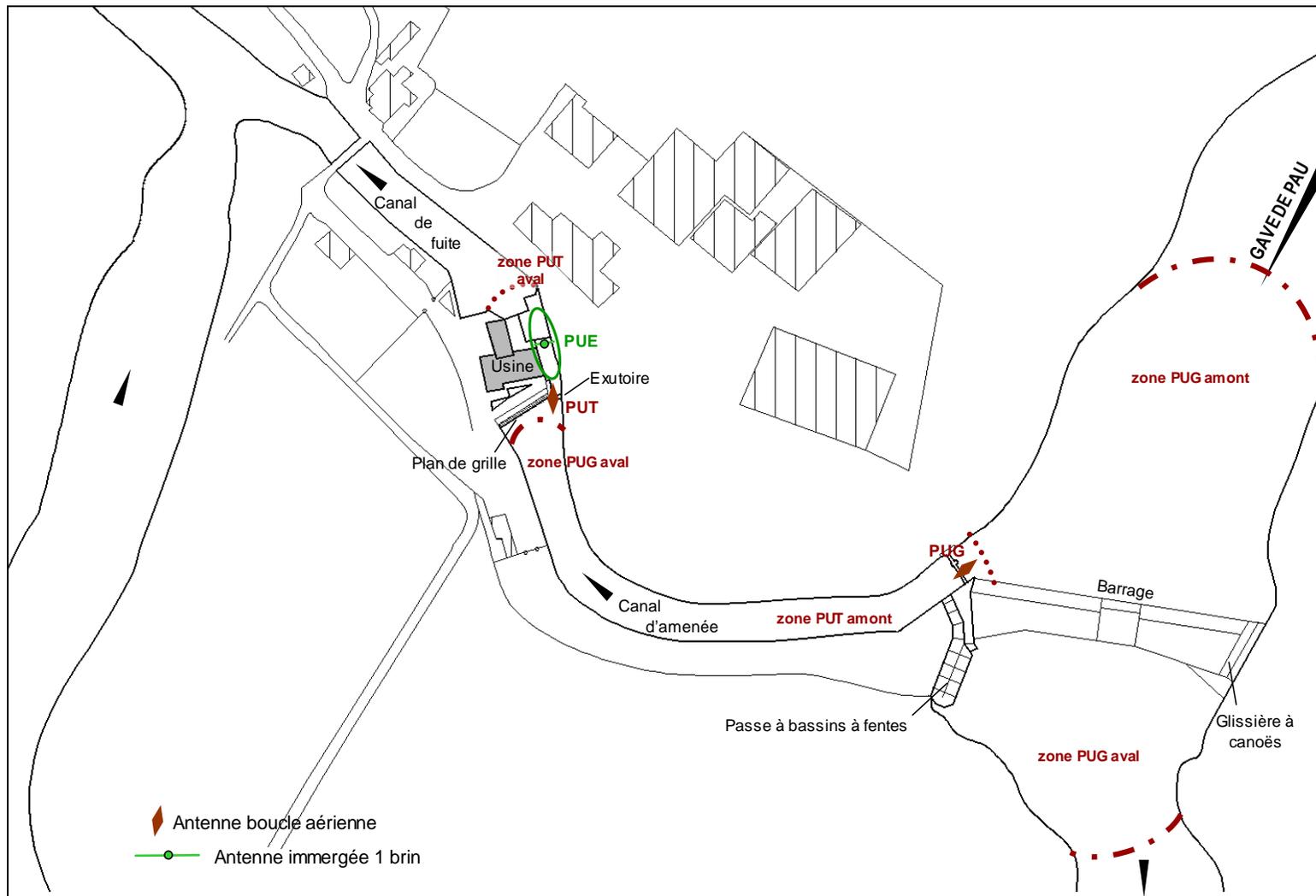


Figure 3.9 : Localisation des antennes et des zones de réception au niveau de l'aménagement de Puyoo

3.4. Mesure des paramètres du milieu

Les différents paramètres (débit, pression, turbidité, conductivité, solarimétrie, température) ont été suivis durant la totalité de l'étude. L'heure, que ce soit pour les paramètres du milieu ou le comportement des anguilles radiomarquées, est toujours donnée en temps universel (TU).

3.4.1. Débits

Les débits du Gave de Pau sont ceux fournis par la Banque Hydro à la station limnimétrique du pont de Bérenx, située à environ 1 km à l'aval de Baigts.

Les moyens d'acquisition et les méthodes de calcul des différents débits au niveau des cinq ouvrages hydroélectriques étudiés sont compilés dans le Tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Modalités d'acquisition et de calcul des débits pour les cinq ouvrages suivis

Aménagement	Q total	Q turbiné	Q déversé
Biron	Q Bérenx pondéré par le ratio des surfaces de bassins versants (application de la formule de Myer)	Q d'équipement de l'usine	Q total - Q turbiné - Q rivière de contournement de l'usine
Sapso	Q enregistré à la station vigicrues d'Orthez (située à environ 100m à l'aval de l'usine)	Q d'équipement de l'usine	Q total - Q turbiné - Q exutoire de dévalaison
Castetarbe	Moyenne de Q Bérenx et de Q Orthez (station vigicrues)	Données fournies par EDF	Q total - Q turbiné - Q passe à poissons - Q exutoires de dévalaison
Baigts	Q Bérenx	Données fournies par EDF	Q total - Q turbinés (centrale en RD et microcentrale en RG) - Q ascenseur à poissons - Q exutoires de dévalaison en RG
Puyoo	Q Bérenx	Données fournies par EDF	Q total - Q turbiné - Q passe à poissons - Q exutoire de dévalaison

Pour tous les sites, il a ainsi été possible d'évaluer les débits totaux, turbinés et déversés. Leur obtention étant parfois basée sur des extrapolations ou des hypothèses, ces valeurs ne sont toutefois qu'approximatives. Néanmoins, cela permet d'avoir un ordre d'idée assez réaliste de ces débits et de l'importance de leurs variations.

3.4.2. Autres paramètres physico-chimiques

Trois paramètres environnementaux ont fait l'objet d'enregistrements (pas de temps : 20 min) par des capteurs reliés à une centrale d'acquisition de données physico-chimiques de type CEMA, en coffret au standard Logicap, conditionnée par HydroInvest et placée en rive droite à l'amont de l'usine de Baigts :

- la conductivité (conductimètre type WTW 340i),
- la pression atmosphérique (capteur Druck Hirschmann),
- la luminosité diurne (capteur pyranomètre Solar 130 avec ampli Solar 20 et convertisseur 4-20 mA). Le capteur permet de faire la différence jour/nuit, mais n'est pas suffisamment précis pour mettre en évidence l'effet de la lune ou du couvert nuageux la nuit.

Deux autres paramètres ont été enregistrés durant l'étude : la turbidité avec un turbidimètre H-Lange équipé d'une sonde optique TS-Line (pas de temps : 10 min), et la température de l'eau avec une sonde CT420T (pas de temps : 20 min).

4. Résultats

4.1. Conditions environnementales

4.1.1. Hydrologie du Gave de Pau

La courbe de débits classés établie pour la période d'étude (Figure 4.1) est relativement proche de l'hydrologie moyenne de référence (1960-2009). Toutefois, les périodes de forts débits ont été plus rares durant l'étude qu'à l'accoutumée ($Q_{0,05} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période d'étude, $Q_{0,05} = 236 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période de référence). A l'inverse, les débits sont restés relativement soutenus avec des valeurs supérieures à $49 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant plus de 90% du temps et supérieures à $42 \text{ m}^3/\text{s}$ durant la totalité de l'étude. Cela est à mettre en relation avec les faibles mais nombreux événements pluvieux observés cette année. Le débit journalier médian est de $71.4 \text{ m}^3/\text{s}$ et représente 87% du module ($84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période 1960-2009, soit 103% du module). Le module a été dépassé pendant environ 35% du temps durant l'étude, contre 53% pour la période de référence.

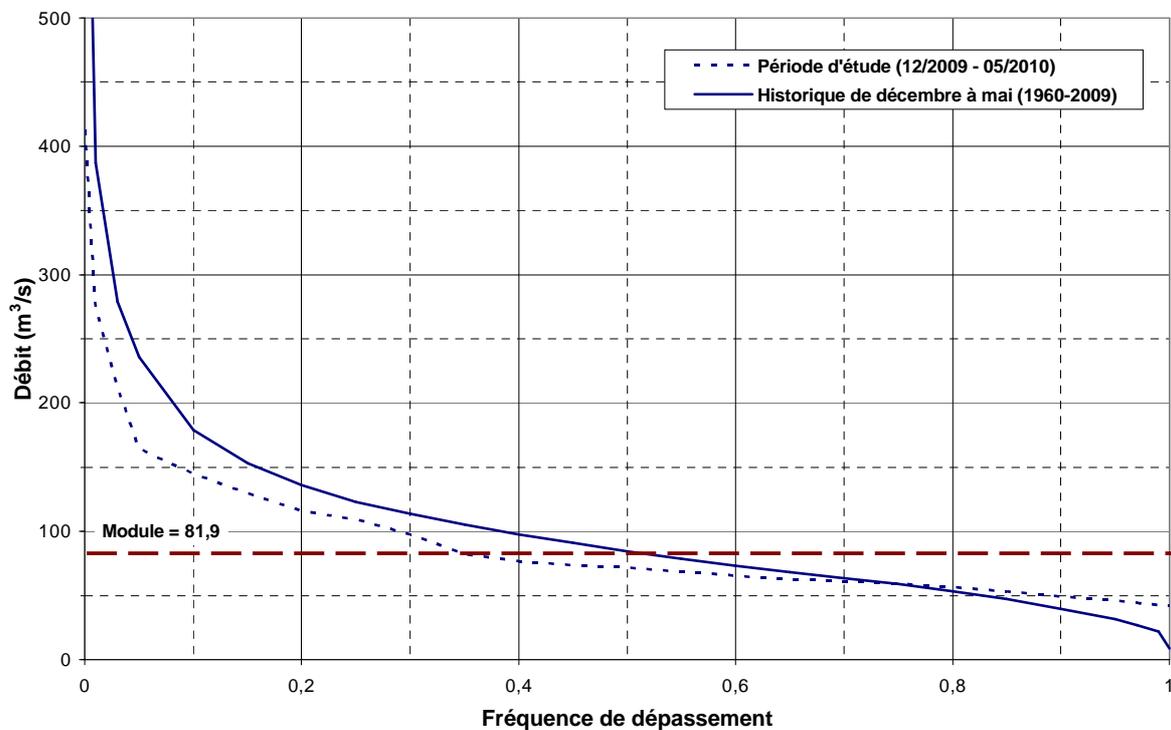


Figure 4.1 : Courbes des débits classés

Les débits mensuels moyens enregistrés durant la période février-avril 2010 sont faibles et nettement inférieurs à l'hydrologie moyenne de référence (Figure 4.2). De ce fait, les coefficients d'hydraulicité calculés sont respectivement de 0.77, 0.69 et 0.59 (Tableau 4.1). A l'inverse, l'hydrologie mensuelle a été sensiblement plus soutenue en décembre, janvier et mai avec des valeurs proches de l'hydrologie de référence (coefficients d'hydraulicité de 0.92, 1.08 et 1.09).

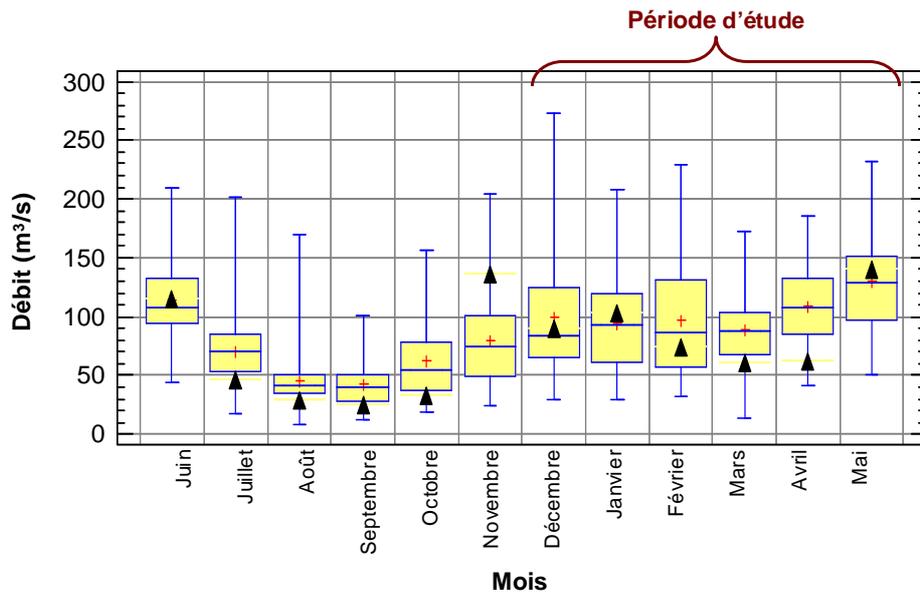


Figure 4.2 : Débits moyens mensuels sur la période 2009-2010 (triangles noirs) et boîtes de dispersion des débits moyens mensuels sur la période de référence

Tableau 4.1 : Coefficients d'hydraulicité du Gave de Pau à la station de Bérenx

	Q moyen mensuel (m ³ /s)												Année
	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	
Référence 1960-2009	116	71	46	43	61	78	98	95	96	89	107	129	86
Etude 2009-2010	115	46	30	25	34	137	90	103	74	61	63	141	77
Coeff. d'hydraulicité	0,99	0,65	0,65	0,58	0,56	1,76	0,92	1,08	0,77	0,69	0,59	1,09	0,89

En termes de débits horaires (Figure 4.3), on observe une variation allant de 33.5 m³/s à 585 m³/s durant la période d'étude.

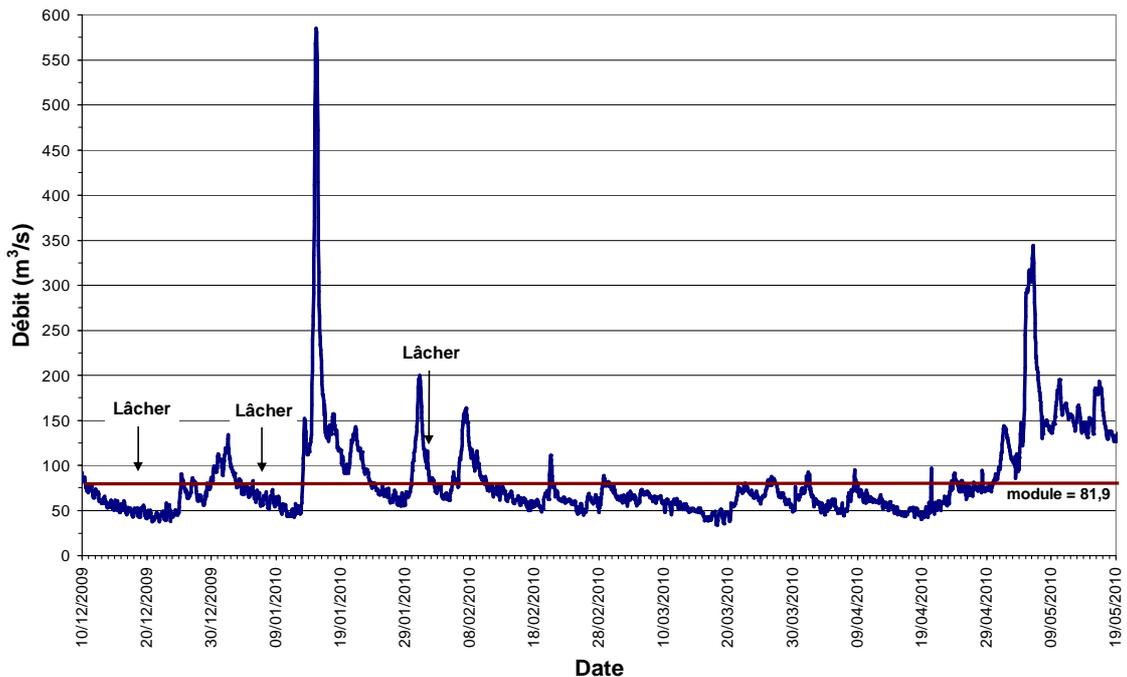


Figure 4.3 : Hydrogramme du Gave de Pau à la station de Bérenx au cours de la période d'étude

Le Gave de Pau a connu 18 évènements hydrologiques (Tableau 4.2) correspondant à des augmentations de débit plus ou moins importantes (épisodes de crue ou de hautes eaux) durant lesquels le débit a dépassé le module ($81.9 \text{ m}^3/\text{s}$). Ces évènements ont principalement été observés de mi-janvier à février et d'avril à mai 2010. Quatre « pics » de débit supérieurs à deux fois le module (en gris clair) et deux supérieurs à trois fois le module (en gris foncé) ont été constatés, avec en particulier un épisode significatif le 15/01/2010 où le Gave a atteint $585 \text{ m}^3/\text{s}$ en débit de pointe (seuil de crue biennale = $640 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tableau 4.2 : Caractéristiques des évènements hydrologiques observés lors de la période d'étude

	Date début évènement	Débit avant évènement (m^3/s)	Date du débit de pointe	Débit de pointe (m^3/s)	Date fin évènement	Débit après évènement (m^3/s)	Durée approximative de l'évènement
1	25/12/2009 00:00	49,4	25/12/2009 09:00	90,7	27/12/2009 22:00	60,8	2jrs 22h
2	28/12/2009 21:00	56,1	01/01/2010 14:00	134,0	02/01/2010 23:00	75,1	5jrs 2h
3	12/01/2010 22:00	47,2	13/01/2010 10:00	152,0	13/01/2010 20:00	112,0	0jrs 22h
4	14/01/2010 10:00	130,0	15/01/2010 06:00	585,0	16/01/2010 11:00	155,0	2jrs 1h
5	16/01/2010 22:00	130,0	17/01/2010 21:00	157,0	19/01/2010 15:00	91,5	2jrs 17h
6	20/01/2010 05:00	91,4	21/01/2010 08:00	143,0	22/01/2010 18:00	90,3	2jrs 13h
7	29/01/2010 20:00	74,2	31/01/2010 07:00	200,0	01/02/2010 21:00	80,3	3jrs 1h
8	06/02/2010 06:00	76,3	07/02/2010 11:00	164,0	08/02/2010 18:00	93,7	2jrs 12h
9	20/02/2010 07:00	63,9	20/02/2010 12:00	111,0	20/02/2010 21:00	76,1	0jrs 14h
10	28/02/2010 06:00	55,9	28/02/2010 17:00	89,1	01/03/2010 03:00	76,9	0jrs 21h
11	25/03/2010 00:00	56,9	26/03/2010 17:00	87,8	27/03/2010 21:00	64,6	2jrs 21h
12	30/03/2010 07:00	49,7	01/04/2010 09:00	92,8	02/04/2010 07:00	54,0	3jrs 0h
13	07/04/2010 10:00	50,4	08/04/2010 14:00	95,3	10/04/2010 06:00	58,3	2jrs 20h
14	20/04/2010 07:00	47,5	20/04/2010 10:00	96,9	20/04/2010 21:00	46,2	0jrs 14h
15	29/04/2010 18:00	71,6	01/05/2010 16:00	144,0	03/05/2010 07:00	101,0	3jrs 13h
16	04/05/2010 00:00	95,3	06/05/2010 05:00	344,0	07/05/2010 14:00	130,0	3jrs 14h
17	09/05/2010 03:00	137,0	10/05/2010 06:00	195,0	10/05/2010 17:00	156,0	1jrs 14h
18	15/05/2010 13:00	135,0	16/05/2010 11:00	193,0	17/05/2010 18:00	129,0	2jrs 5h

4.1.2. Fonctionnement des ouvrages hydroélectriques étudiés

4.1.2.1. Biron

A la centrale de Biron, le débit du Gave a varié de 30 à $527 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne : $76 \text{ m}^3/\text{s}$, médiane : $61 \text{ m}^3/\text{s}$) et le débit turbiné a oscillé entre 0 et $110 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne : $51 \text{ m}^3/\text{s}$, médiane : $41 \text{ m}^3/\text{s}$) (Figure 4.4). Le débit d'équipement de l'usine a été dépassé durant environ 15% du temps. Enfin, le débit déversé par le barrage a varié de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit réservé) à $412 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne : $20 \text{ m}^3/\text{s}$, médiane : $15 \text{ m}^3/\text{s}$). Mis à part problème particulier sur l'usine (coupure d'électricité, maintenance des machines, ...), les turbines fonctionnaient généralement à plein régime lorsque le débit du Gave était supérieur au débit maximal d'équipement (de l'ordre de $110 \text{ m}^3/\text{s}$).

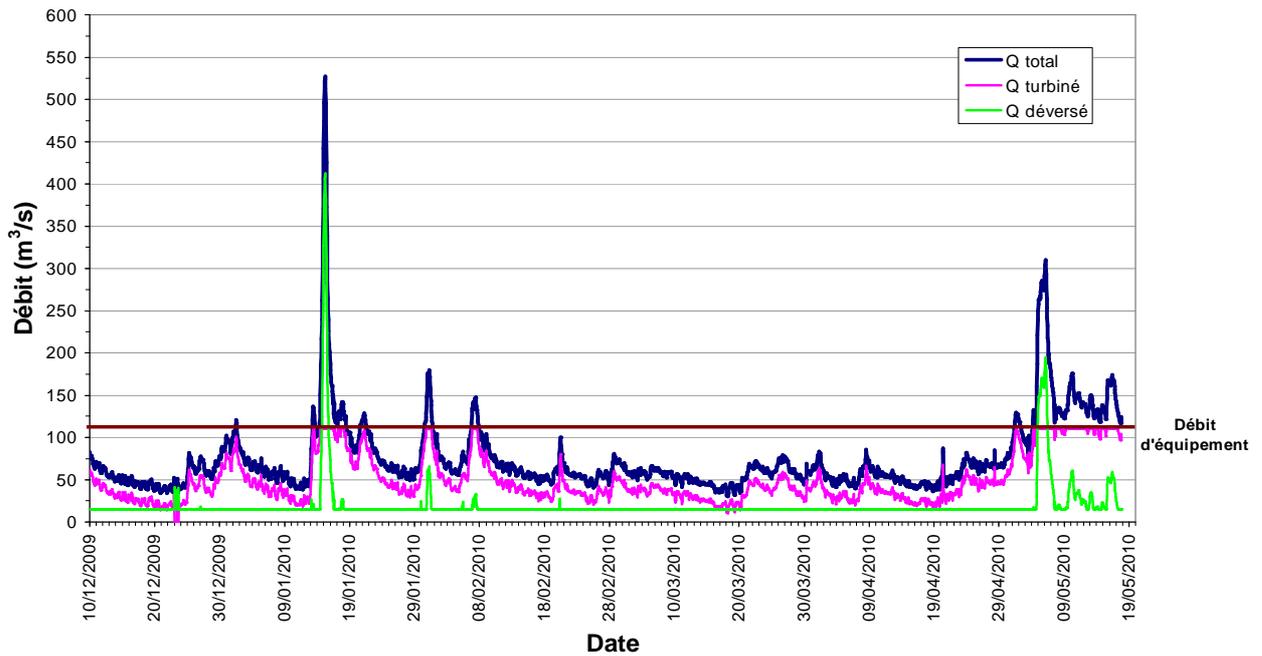


Figure 4.4 : Evolution des débits horaires totaux, déversés et turbinés à l'usine de Biron

4.1.2.2. Sapso

A l'usine de Sapso, le débit du Gave a oscillé entre 32 et 556 m³/s (moyenne : 83 m³/s, médiane : 70 m³/s) (Figure 4.5). Le débit turbiné a varié de 28 à 48 m³/s (moyenne : 47 m³/s, médiane : 48 m³/s), sachant que le débit d'équipement de l'usine (48 m³/s) a été dépassé durant près de 90% du temps. Le débit déversé au barrage a varié de 3 m³/s (débit de la passe à poissons) à 507 m³/s (moyenne : 36 m³/s, médiane : 21 m³/s).

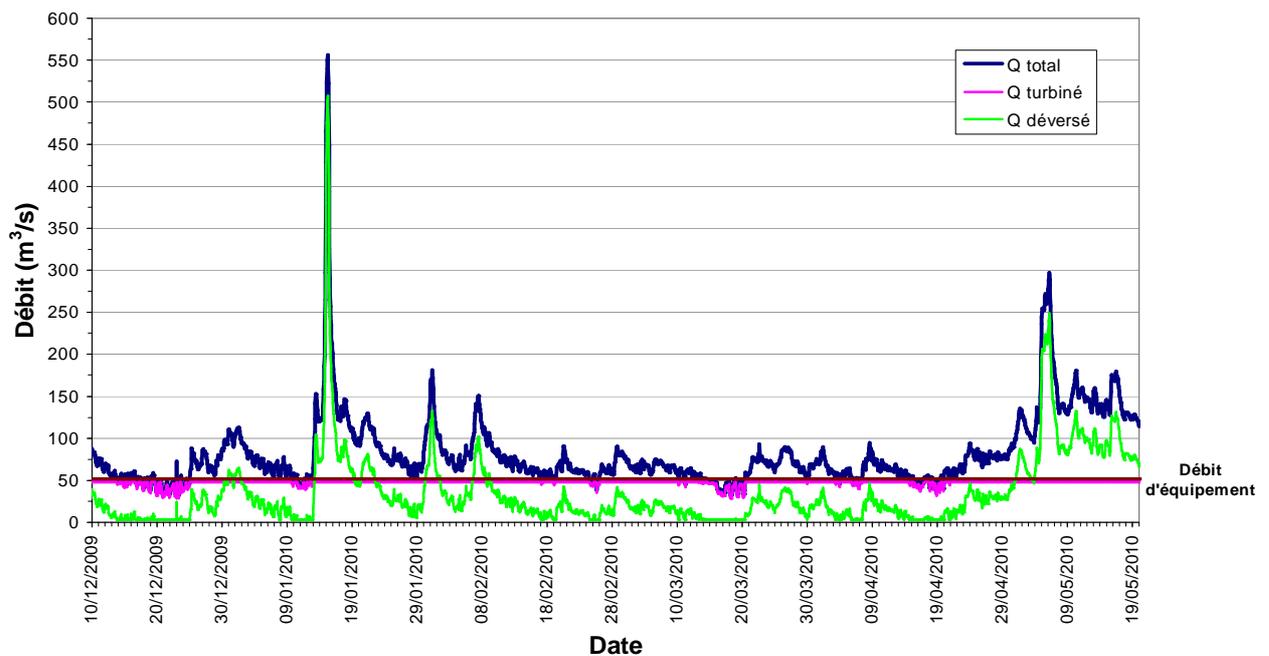


Figure 4.5 : Evolution des débits horaires totaux, déversés et turbinés à l'usine de Sapso

4.1.2.3. Castetarbe

A la centrale hydroélectrique de Castetarbe, le débit du Gave a varié de 33 à 571 m³/s (moyenne : 83 m³/s, médiane : 69 m³/s) et le débit turbiné de 0 à 39 m³/s (moyenne : 35 m³/s, médiane : 37 m³/s) (Figure 4.6). Le débit d'équipement de l'usine (40 m³/s) a été dépassé durant la quasi totalité de l'étude (soit 98% du temps). Enfin, le débit déversé par le barrage a varié de 0 à 567 m³/s (moyenne : 45 m³/s, médiane : 30 m³/s). Suite à une coupure de courant dans l'usine, les turbines sont restées à l'arrêt du 10/01/2010 au 15/01/2010. Durant cette période, des reprises ponctuelles de turbinage ont cependant été constatées. De plus, en raison de problèmes techniques, les données de débits fournies par EDF sur Castetarbe n'ont pas été enregistrées du 15 au 18/01/2010. De ce fait, les débits turbinés ont été considérés comme nuls durant cette période.

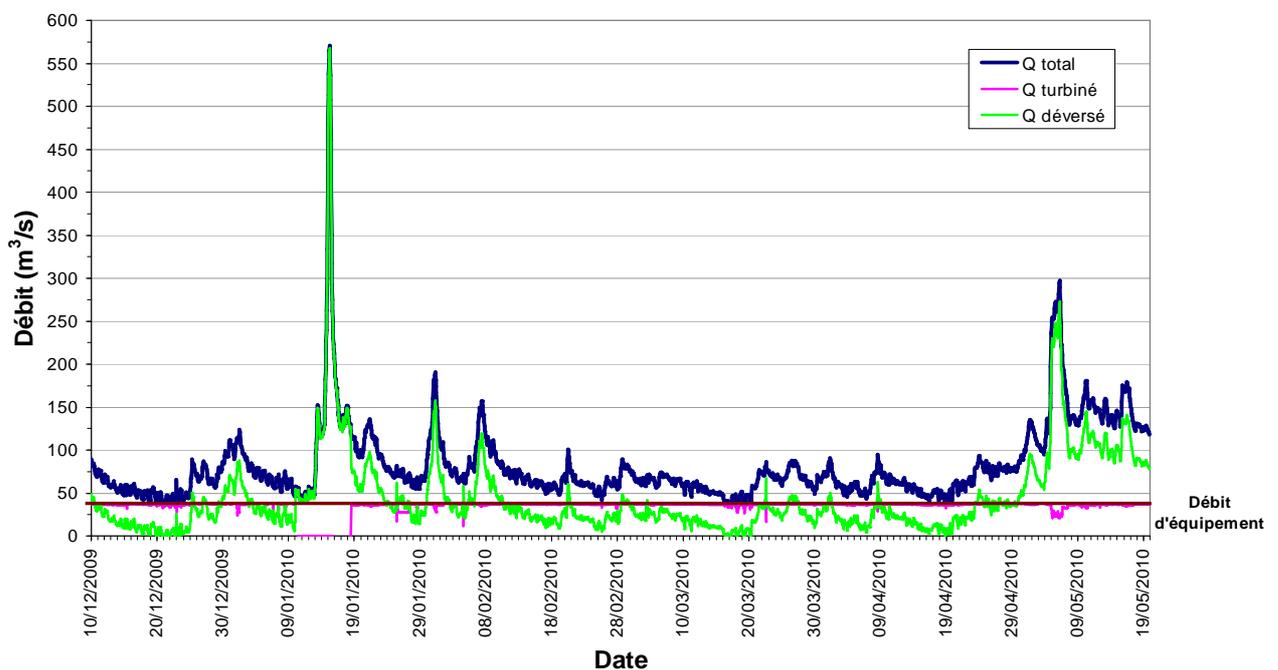


Figure 4.6 : Evolution des débits horaires totaux, déversés et turbinés à l'usine de Castetarbe

4.1.2.4. Baigts

A la centrale de Baigts, le débit du Gave a oscillé entre 34 et 585 m³/s (moyenne : 84 m³/s, médiane : 68 m³/s) (Figure 4.7). Le débit turbiné a varié de 3 à 86 m³/s (moyenne : 53 m³/s, médiane : 51 m³/s), sachant que le débit d'équipement de l'usine (90 m³/s) a été dépassé durant seulement 25% du temps de l'étude. Enfin, le débit déversé par le barrage a varié de 0 à 546 m³/s (moyenne : 22 m³/s, médiane : 7 m³/s).

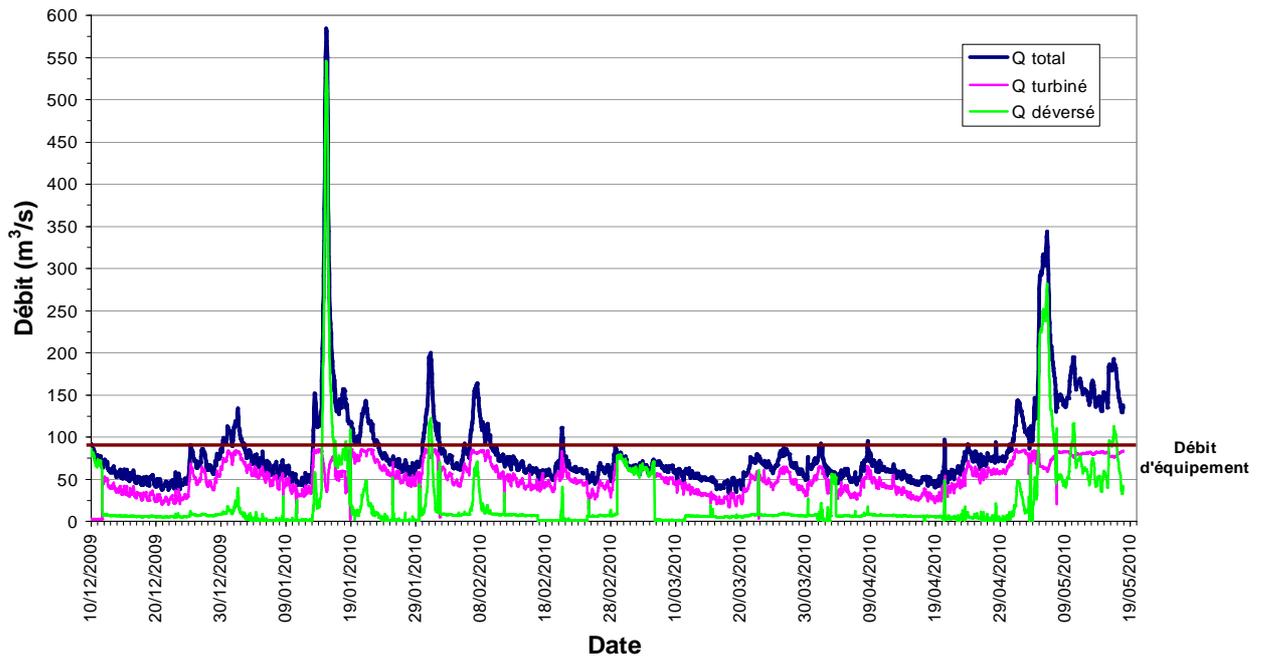


Figure 4.7 : Evolution des débits horaires totaux, déversés et turbinés à l'usine de Baigts

4.1.2.5. Puyoo

A la centrale de Puyoo, le débit du Gave a varié de 34 à 585 m³/s (moyenne : 84 m³/s, médiane : 68 m³/s) (Figure 4.8). Le débit turbiné a fluctué entre 0 et 32 m³/s (moyenne : 25 m³/s, médiane : 26 m³/s) alors que le débit d'équipement de l'usine (29 m³/s) a été dépassé durant la totalité de l'étude. Enfin, le débit déversé par le barrage a varié de 8 à 577 m³/s (moyenne : 59 m³/s, médiane : 44 m³/s).

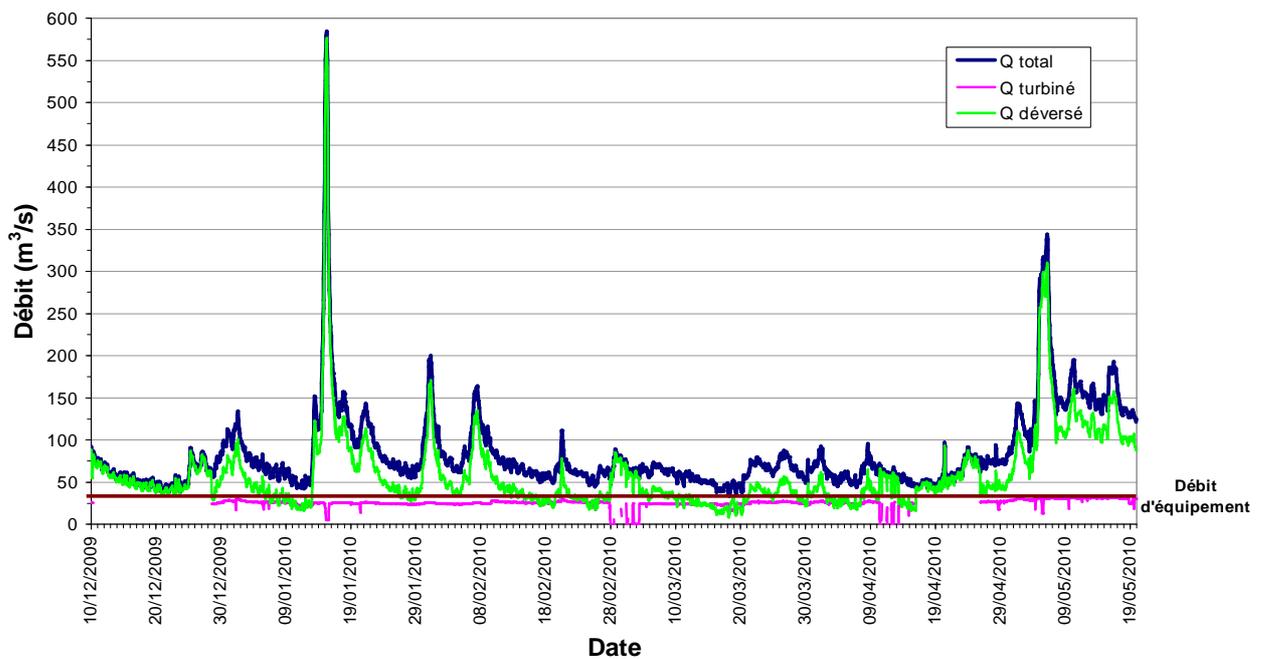


Figure 4.8 : Evolution des débits horaires totaux, déversés et turbinés à l'usine de Puyoo

4.1.3. Autres paramètres physico-chimiques

Les enregistrements en continu durant l'étude des différents paramètres environnementaux sont reportés sur la Figure 4.9 et la Figure 4.10.

La température du Gave de Pau a varié de 4°C à 15.6 °C. La température moyenne sur l'ensemble de la période d'étude a été de 9.2°C et la valeur médiane de 9.1°C (1^{er} et 3^{ème} quartiles : 7.4 et 11.1°C). Les températures enregistrées cette année sont du même ordre de grandeur que celles obtenues lors des campagnes précédentes.

Le rayonnement global (ou solarimétrie) a varié de 0.68 W/m² à 1057 W/m², avec une valeur moyenne de 126 W/m² et une valeur médiane de 0.9 W/m² (1^{er} quartile : 0.81 W/m², 3^{ème} quartile : 144 W/m²).

La pression atmosphérique a oscillé entre 974 et 1025 hPa, avec une valeur moyenne proche de 1007 hPa (médiane : 1008 hPa). Durant 75% du temps, elle est restée inférieure à 1013 hPa (pression atmosphérique standard). Ces faibles pressions atmosphériques traduisent les dépressions associées au mauvais temps hivernal rencontré durant une large partie de l'étude.

La conductivité du Gave a fluctué entre 176 et 308 µS/cm. La conductivité moyenne sur l'ensemble de la période d'étude a été de 256 µS/cm (médiane : 257 µS/cm, 1^{er} et 3^{ème} quartiles : 235 et 281 µS/cm). La conductivité a chuté à 176 µS/cm lors du principal épisode de crue (le 14/01/2010).

Enfin, la turbidité du Gave a varié de 1.73 à 740 FNU durant la période d'étude. La turbidité moyenne est restée proche de 17.9 FNU et la valeur médiane de 5.3 FNU (1^{er} et 3^{ème} quartiles : 3.7 et 14.8 FNU). Une hausse de turbidité à plus de 700 FNU a été mesurée lors du principal épisode de crue.

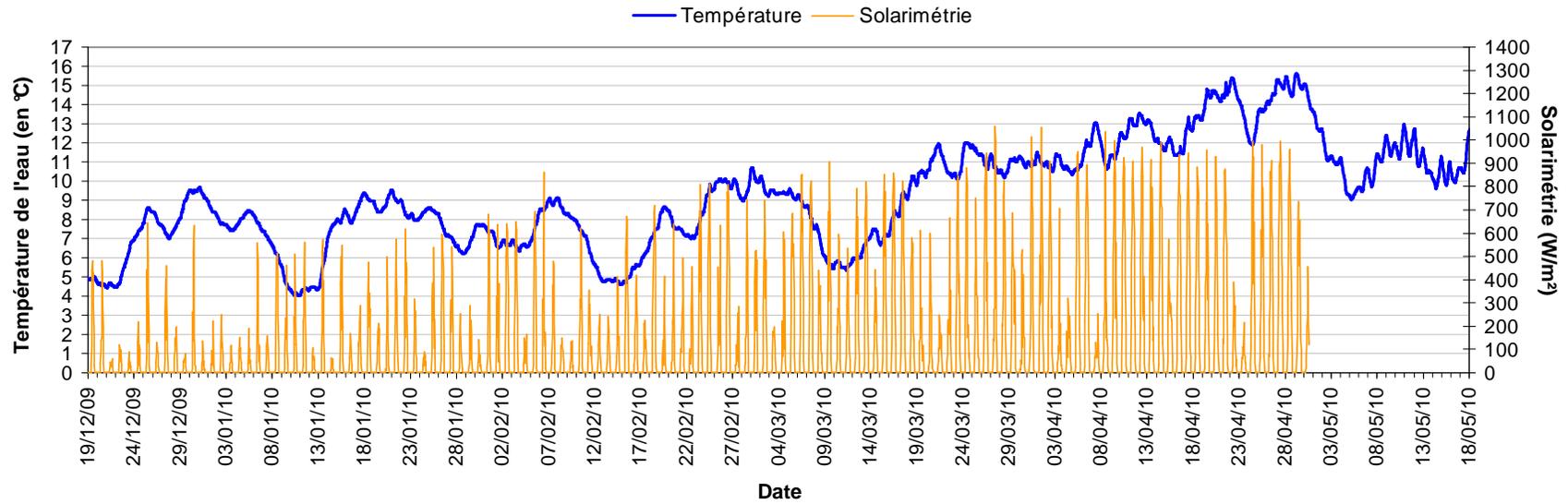


Figure 4.9 : Evolution de la solarimétrie et de la température de l'eau du Gave de Pau

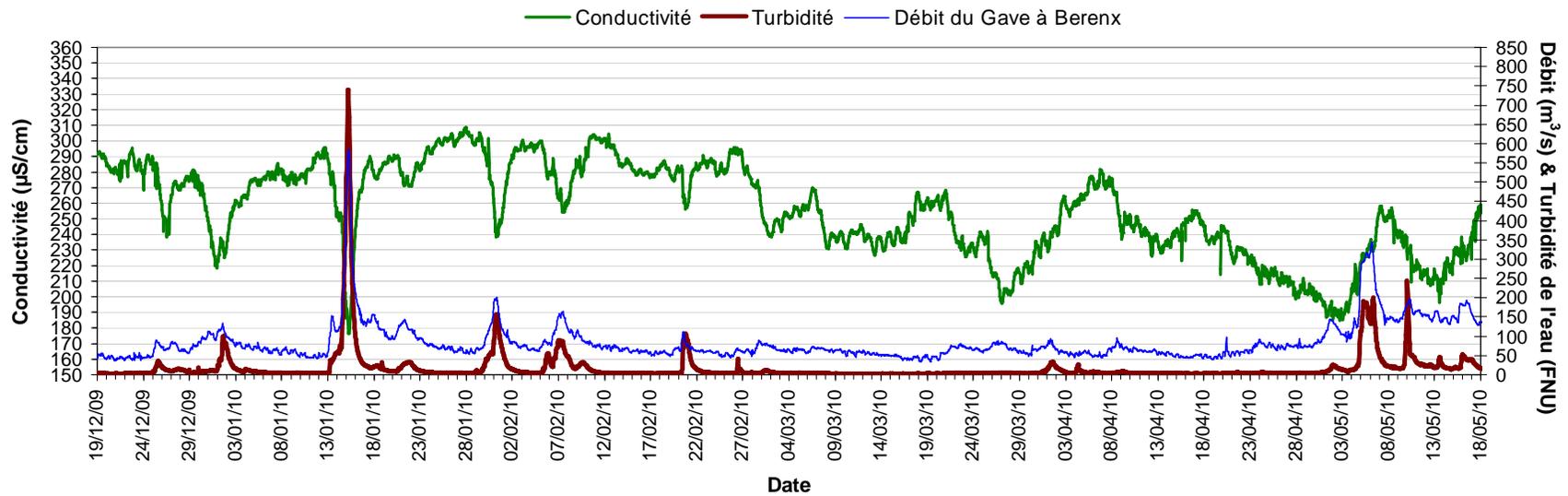


Figure 4.10 : Evolution de la turbidité, de la conductivité et du débit du Gave de Pau à Bérenx

4.2. Devenir des 75 anguilles radiomarquées

Les 75 anguilles ont été relâchées en trois lots successifs : les lots 1, 2 et 3 constitués chacun de 25 anguilles ont été déversés respectivement le 19 décembre 2009, le 7 janvier 2010 et le 2-3 février 2010. Ces dates ont été décidées en fonction du comportement des individus déjà relâchés, pour limiter le nombre de fréquences à l'amont de certains ouvrages.

Concernant les points de lâcher, contrairement aux précédentes campagnes de suivis multi ouvrages, la majorité des anguilles n'a pas été relâchée à Jurançon (Tableau 4.3). Sur les 75 anguilles suivies, seulement 27 ont été déversées à Jurançon, c'est-à-dire en partie amont de la zone d'étude, afin d'acquiescer des résultats sur le franchissement des différents aménagements comparables à ceux des campagnes précédentes et d'obtenir un comportement de dévalaison le plus naturel possible. Etant donné que cette année, l'ouvrage d'Artix n'était pas équipé et en raison, également, des difficultés de dévalaison constatées en 2008-2009 sur la partie la plus amont du secteur d'étude, les 48 autres anguilles ont donc été déversées à Gouze (7.9 km en amont de Biron) pour tenter d'augmenter le pool de données au droit des ouvrages les plus en aval, notamment au droit de Biron équipé cette année comme la précédente d'un dispositif de répulsion à infrasons dont l'effet sur le comportement de l'anguille en dévalaison devait encore être testé.

Tableau 4.3 : Répartition par lot du nombre d'anguilles déversées par point de lâcher

N° Lot	Nb total d'anguilles	Nb d'anguilles déversées à Jurançon	Nb d'anguilles déversées à Gouze
Lot 1	25	12 (48%)	13 (52%)
Lot 2	25	10 (40%)	15 (60%)
Lot 3	25	5 (20%)	20 (80%)
Total	75	27 (36%)	48 (64%)

En fin d'étude (mi-mai 2010), seules 26 des 75 anguilles se trouvaient à l'aval de l'aménagement hydroélectrique de Puyoo, l'ouvrage situé le plus à l'aval de la zone d'étude (Tableau 4.4), ce qui donne un taux d'échappement global entre Jurançon et Puyoo de 35% (contre 37% en 2006-2007, 31-33% en 2007-2008 et 35% en 2008-2009). A noter qu'une de ces 26 anguilles (passée à Puyoo par les turbines) a arrêté sa migration dans le canal de fuite de l'usine (mortalité plus que probable).

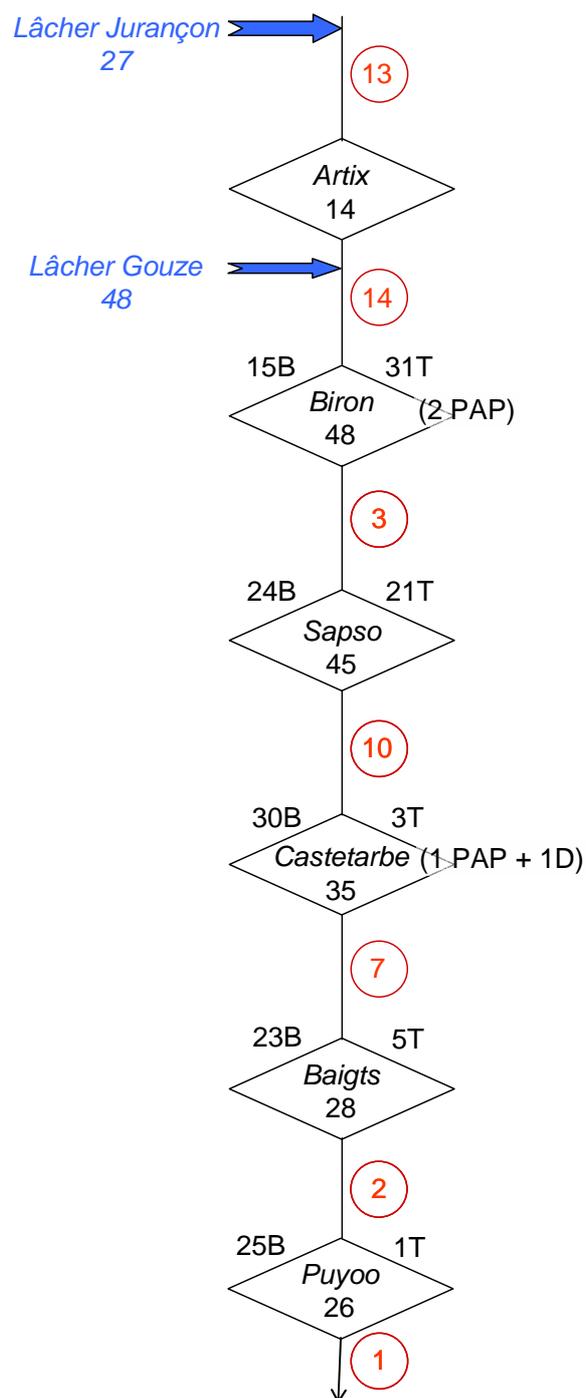
Tableau 4.4 : Bilan du devenir des 75 anguilles au 17 mai 2010

Secteur	Nb anguilles sur secteur	Nb ang. arrivées à l'obstacle	Nb ang. passées à l'obstacle	Arrêt de migration*
<i>Lâcher à Jurançon (n=27)</i>				
Amont Artix	↳ 27 sur 27 (100%)	? **	14 sur 27 (52%)	13
<i>Lâcher à Gouze (n=48)</i>				
Artix – Biron	↳ 62 sur 75 (83%)	53 sur 62 (85%)	48 sur 53 (91%)	14
Biron – Sapso	48 sur 75 (64%)	46 sur 48 (96%)	45 sur 46 (98%)	3
Sapso – Castetarbe	45 sur 75 (60%)	41 sur 45 (91%)	35 sur 41 (85%)	10
Castetarbe – Baigts	35 sur 75 (47%)	28 sur 35 (80%)	28 sur 28 (100%)	7
Baigts – Puyoo	28 sur 75 (37%)	26 sur 28 (93%)	26 sur 26 (100%)	2
Aval Puyoo	26 sur 75 (35%)			1

* Arrêt de migration: anguille n'ayant plus effectué de mouvements durant la période d'étude, ou anguille ayant été prédatée ou retrouvée morte (récupération ou localisation précise de l'émetteur) ou arrêt d'émetteur avant la fin de la période d'étude.

** L'ouvrage d'Artix n'a pas été équipé lors de cette campagne

Les 49 autres anguilles marquées ont stoppé leur dévalaison entre Jurançon et Puyoo pour diverses raisons (cf. Chapitre 4.6). La synthèse du devenir des 75 anguilles est schématisée en Figure 4.11.



Légende :

- Passage à l'obstacle (\diamond) par Barrage, Turbines, Passe à Poissons, Dégriateur
- \circ arrêt de migration

Figure 4.11 : Schématisation du devenir des 75 anguilles radiomarquées suivies sur le Gave de Pau entre Jurançon et Puyoo en 2009-2010

Grâce aux suivis mobile et fixe, on a également établi par lot l'ensemble de la chronologie temporelle et spatiale des déplacements des individus (Annexe 2) illustrant les périodes d'arrêts, les reprises de migration et les franchissements des ouvrages (cf. aussi Annexe 3).

4.3. Comportement et franchissement des anguilles au droit de chacun des cinq aménagements hydroélectriques

4.3.1. Biron

Parmi les 14 anguilles qui ont franchi Artix, 11 (79%) ont rejoint Biron (soit 41% des 27 déversées à Jurançon). De plus, sur les 48 anguilles relâchées à Gouze (7.9 km en amont de Biron), 42 (88%) l'ont atteint, soit 53 anguilles au total arrivées à Biron. Le dispositif d'enregistrement installé au niveau de l'ouvrage (cf. Figure 3.5) a permis d'appréhender leur comportement au droit de l'aménagement et en particulier, en présence d'un dispositif de répulsion par infrasons placé à l'entrée du canal d'amenée de l'usine de façon à détourner les anguilles vers l'exutoire pratiqué au barrage (i.e., le clapet de surface alimenté en continu à 15 m³/s). Trois zones de réception (BIDa, BIDb, BIDc) comparables à celles définies l'année précédente ont été maintenues cette année autour du dispositif à tester.

Les principaux résultats obtenus pour Biron sont consignés dans le Tableau 4.5. Ils font également l'objet d'une analyse plus détaillée dans le compte-rendu des tests de fonctionnalité et d'efficacité du dispositif de répulsion par infrasons Profish (cf. Bau *et al.*, 2011).

4.3.1.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Sur les 53 anguilles présentes à Biron, 48 ont dévalé, soit un taux de franchissement de l'ouvrage de 91% (48/53). Les passages à l'aval ont eu lieu par le barrage ou le clapet dans 31% (15/48) des cas, par les turbines dans 65% (31/48) des cas, et par la rivière de contournement dans 4% (2/48) des cas.

Les voies de passage sont liées à l'hydrologie et au fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débits déversé et turbiné) prévalant dans ces conditions (Figure 4.12¹ et Figure 4.13) :

- en l'absence de déversement au barrage plus important que le débit réservé (soit $Q_d=15$ m³/s au maximum et $Q_t=15$ à 109 m³/s), 27 passages à l'aval ont été effectués, dont 22 par les turbines, 4 par le clapet au niveau de la vanne rive droite côté usine, et 1 par la rivière de contournement. Huit de ces 27 passages à l'aval (3 par clapet, 5 par turbine) ont été effectués alors qu'une des deux turbines était en arrêt ($Q_t=15$ à 55 m³/s).
- en situation de surverses relativement faibles au barrage et de débits turbinés maximum, égaux aux 110 m³/s de débit d'équipement de l'usine (soit dans des conditions de rapport $Q_d/Q_t \leq 1.0$), 5 passages se sont produits, dont 4 par les turbines et 1 par le clapet. Un des 4 passages par turbine a eu lieu en condition de faible surverse au barrage (26 m³/s) et alors qu'une des deux turbines était en arrêt ($Q_t=55$ m³/s ; $Q_d/Q_t=0.5$).
- enfin, lors de déversements plus importants (133 à 412 m³/s), atteignant de 1.2 à 3.7 fois le débit turbiné maximum, 16 passages en aval ont eu lieu : 10 par le barrage (dont 4 par le clapet RD), 5 par les turbines et 1 par la rivière de contournement.

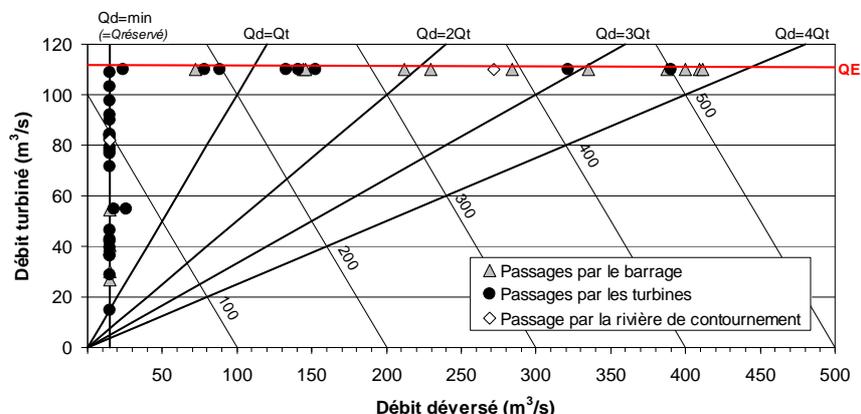


Figure 4.12 : Voie de franchissement de Biron suivant le fonctionnement de l'ouvrage

¹ Figure 4.12 montre la voie de passage en fonction du débit déversé (Q_d en abscisse) et turbiné (Q_t en ordonnée). Les droites diagonales correspondent aux rapports constants Q_d/Q_t , et les droites parallèles retranscrivent le débit total.

Tableau 4.5 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 53 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de Biron (pk 10.5)

Code anguille	Date & Heure 1 ^{ère} réception Biron	Date & Heure Passage Biron	Voie de passage	Débit du Gave à Biron (m³/s)	Débit déversé (Qdev, m³/s)	Débit turbiné (Qturb, m³/s)	Qdev/Qturb lors passage	Nb Inc. sur site	Durée de blocage (hh:mm)	Durée de présence sur site	% Durée sur site lors blocage	Nb Inc. z.BIG	Durée z.BIG	Nb Inc. z.BiDa	Durée z.BiDa	Nb Inc. z.BiDb	Durée z.BiDb	Nb Inc. z.BiDc	Durée z.BiDc	Total Inc. barrière	Total Durée barrière	Zone traversée	Nb Inc. z.BIT	Durée z.BIT	Nb Inc. z.BIP	Durée z.BIP	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site	
48611_11	26/12/2009 07:21	14/01/2010 14:11	barrage	187	72	110	0.7	29	462:50	216:31	46.8%	29	216:31	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:14
48611_12	26/12/2009 22:31	26/12/2009 22:53	clapet	74	15	54	0.3	1	00:22	00:22	100.0%	1	00:16	1	00:02	1	00:01	1	00:03	1	00:06	--	0	00:00	0	00:00	1	00:06	
48611_16	15/01/2010 11:45	15/01/2010 11:49	barrage	344	229	110	2.1	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	1	00:01	
48611_20	15/01/2010 05:39	15/01/2010 05:43	barrage	524	409	110	3.7	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	1	00:03	
48611_26	15/01/2010 12:17	15/01/2010 12:23	barrage	327	212	110	1.9	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	1	00:08	
48671_1	11/01/2010 01:13	15/01/2010 00:16	barrage	450	335	110	3.0	5	95:03	13:03	13.7%	5	13:03	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	1	00:03	
48671_2	14/01/2010 18:42	14/01/2010 18:53	clapet	260	145	110	1.3	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:11	0	00:00	1	< 00:01	0	00:00	1	< 00:01	--	0	00:00	0	00:00	1	00:06	
48671_7.5	15/01/2010 03:10	15/01/2010 03:20	barrage	515	400	110	3.6	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:10	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	1	00:06	
48671_8	14/01/2010 18:45	14/01/2010 18:57	clapet	261	146	110	1.3	1	00:12	00:12	100.0%	1	00:09	1	< 00:01	1	00:02	1	00:01	1	00:03	--	0	00:00	0	00:00	1	00:05	
48671_9	14/01/2010 22:41	14/01/2010 22:48	clapet	399	284	110	2.6	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	--	0	00:00	0	00:00	1	00:04	
48671_17	15/01/2010 02:18	15/01/2010 02:23	barrage	502	387	110	3.5	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	--	0	00:00	0	00:00	1	00:02	
48671_23	15/01/2010 05:02	15/01/2010 05:06	clapet	527	412	110	3.7	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:03	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:01	--	0	00:00	0	00:00	1	00:03	
48741_1	04/03/2010 18:33	04/03/2010 18:50	clapet	60	15	40	0.4	1	00:17	00:17	100.0%	1	00:14	1	00:01	1	< 00:01	1	00:02	1	00:03	--	0	00:00	0	00:00	1	00:06	
48741_11	03/04/2010 20:32	04/04/2010 06:23	clapet	47	15	27	0.6	1	09:51	09:51	100.0%	4	02:41	1	00:03	1	< 00:01	4	07:07	4	07:10	--	0	00:00	0	00:00	10	61:41	
48741_19	06/02/2010 22:49	30/03/2010 02:42	clapet	50	15	30	0.5	35	1227:53	400:39	32.6%	50	277:38	0	00:00	6	02:42	14	120:18	17	123:00	--	0	00:00	0	00:00	6	43:36	
Moyenne (n=15, passés barrage)				301.9	206.1	90.8	2.0	5.4	119:49	42:47	86.2%	6.6	34:05	0.4	00:00	0.9	00:15	1.5	09:48	1.9	10:01		0.0	00:00	0.0	00:00	1.9	07:05	
Médiane (n=15, passés barrage)				327.1	212.1	110.0	1.9	1.0	00:11	00:11	100.0%	1.0	00:10	0.0	00:00	1.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:01		0.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:06	
48611_0	14/01/2010 18:59	14/01/2010 19:09	turbine	268	153	110	1.4	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:09	0	00:00	1	00:01	0	00:00	1	00:01	BIDb	1	< 00:01	0	00:00	1	00:05	
48611_1	25/12/2009 02:32	25/12/2009 03:10	turbine	63	15	43	0.4	1	00:38	00:38	100.0%	1	00:30	1	00:03	1	00:01	1	00:01	1	00:05	BIDc	1	00:03	0	00:00	1	00:05	
48611_2	31/12/2009 20:22	01/01/2010 19:36	turbine	97	15	77	0.2	6	23:14	04:46	20.5%	6	04:40	1	00:03	1	00:01	1	00:01	1	00:05	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:07	
48611_3	31/12/2009 09:54	15/01/2010 21:21	turbine	204	89	110	0.8	4	371:27	369:48	99.6%	6	88:01	3	00:07	2	00:30	1	00:01	3	00:38	BIDc	1	281:09	0	00:00	1	00:05	
48611_4	06/01/2010 18:42	08/01/2010 18:33	turbine	49	15	29	0.5	8	47:51	23:09	48.4%	8	22:39	2	00:04	2	00:22	1	00:02	2	00:28	BIDc	1	00:02	0	00:00	1	00:10	
48611_5	03/01/2010 22:38	13/01/2010 07:11	turbine	123	15	20	0.2	2	224:33	00:48	0.4%	2	00:46	0	00:00	1	00:01	0	00:00	1	00:01	BIDb	1	00:01	0	00:00	1	00:06	
48611_6	25/12/2009 19:47	25/12/2009 20:18	turbine	67	15	47	0.3	1	00:31	00:31	100.0%	1	00:24	1	00:02	1	00:01	0	00:00	1	00:03	BIDb	1	00:04	0	00:00	1	00:36	
48611_7.5	03/01/2010 22:22	15/01/2010 02:34	turbine	505	390	110	3.5	12	268:12	258:50	96.5%	12	141:16	1	00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:02	BIDb	1	117:32	0	00:00	1	14:55	
48611_8	01/01/2010 04:20	01/01/2010 04:41	turbine	104	15	84	0.2	1	00:21	00:21	100.0%	1	00:14	1	00:04	1	00:01	0	00:00	1	00:05	BIDb	1	00:02	0	00:00	1	11:10	
48611_9	26/12/2009 21:18	27/12/2009 01:39	turbine	77	17	55	0.3	1	04:21	04:21	100.0%	1	04:16	1	00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:02	BIDb	1	00:03	0	00:00	1	00:59	
48611_14	31/12/2009 22:43	31/12/2009 23:01	turbine	99	15	79	0.2	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:15	1	00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:02	BIDb	1	00:01	0	00:00	1	00:06	
48611_15	15/01/2010 09:38	15/01/2010 09:44	turbine	437	322	110	2.9	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:04	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:01	BIDb/c	1	00:01	0	00:00	1	00:04	
48611_24	01/01/2010 21:24	01/01/2010 21:46	turbine	91	15	71	0.2	1	00:22	00:22	100.0%	1	00:17	1	00:02	1	00:01	0	00:00	1	00:03	BIDb	1	00:02	0	00:00	1	00:07	
48671_0	13/01/2010 06:03	13/01/2010 06:22	turbine	110	15	90	0.2	1	00:19	00:19	100.0%	1	00:16	1	00:01	1	00:01	1	< 00:01	1	00:02	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:09	
48671_3	13/01/2010 02:24	13/01/2010 02:57	turbine	86	26	55	0.5	1	00:33	00:33	100.0%	1	00:27	1	00:02	1	00:02	0	00:00	1	00:04	BIDb	1	00:02	0	00:00	1	00:17	
48671_4	13/01/2010 19:43	14/01/2010 18:43	turbine	256	141	110	1.3	3	23:00	14:15	62.0%	3	14:13	0	00:00	0	00:00	1	00:01	1	00:01	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:05	
48671_5	14/01/2010 18:10	14/01/2010 18:21	turbine	248	133	110	1.2	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:09	0	00:00	1	00:01	0	00:00	1	00:01	BIDb	1	00:01	0	00:00	1	00:05	
48671_6	13/01/2010 18:05	13/01/2010 18:23	turbine	103	15	83	0.2	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:13	0	00:00	1	00:04	1	< 00:01	1	00:04	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:06	
48671_11	14/01/2010 00:48	14/01/2010 01:09	turbine	104	15	84	0.2	1	00:21	00:21	100.0%	1	00:17	1	00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:01	BIDa	1	00:03	0	00:00	1	00:05	
48671_15	13/01/2010 06:33	13/01/2010 06:49	turbine	118	15	98	0.2	1	00:16	00:16	100.0%	1	00:13	1	00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:02	BIDb	1	00:01	0	00:00	1	00:07	
48671_16	15/01/2010 23:07	15/01/2010 23:17	turbine	193	78	110	0.7	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:07	1	00:01	1	00:01	1	< 00:01	1	00:02	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:04	
48741_0	02/02/2010 19:29	06/02/2010 18:17	turbine	112	15	92	0.2	4	94:48	10:16	10.8%	4	10:13	0	00:00	1	00:01	1	00:01	1	00:02	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:04	
48741_2	19/03/2010 03:02	19/03/2010 04:26	turbine	35	15	15	1.0	2	01:24	00:26	31.0%	2	00:12	0	00:00	1	00:02	1	00:02	1	00:04	BIDc	1	00:10	0	00:00	1	00:34	
48741_4	07/02/2010 01:56	07/02/2010 02:05	turbine	139	24	110	0.5	0	00:09	00:09	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	BIDc	1	00:02	0	00:00	1	00:04	
48741_5	18/02/2010 19:59	07/03/2010 19:11	turbine	60	15	40	0.4	14	407:12	16:00	3.9%	14	15:57	1	< 00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:01	BIDb	1	00:02	0	00:00	1	00:06	
48741_6	08/02/2010 04:57	08/02/2010 05:10	turbine	98	15	78	0.2	1	00:13	00:13	100.0%	1	00:11	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:07	
48741_7.5	08/02/2010 00:32	08/02/2010 00:41	turbine	104	15	84	0.2	1	00:09	00																			

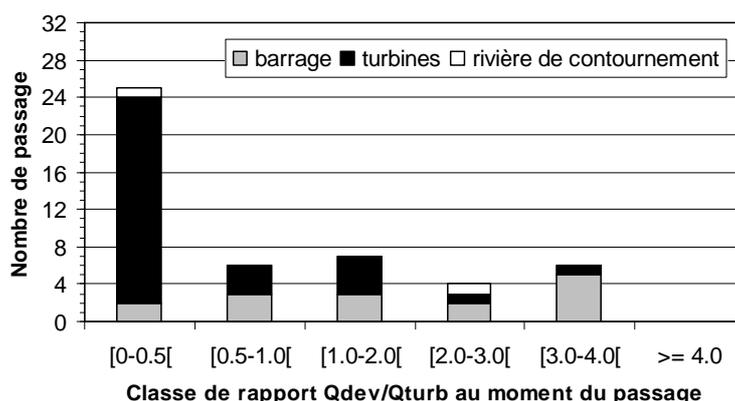


Figure 4.13 : Nombre de passages par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

4.3.1.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

- Nombre d'incursions sur site² avant franchissement (Figure 4.14) :

La grande majorité des anguilles (12/15, soit 80%) passées par le barrage ou le clapet ont dévalé après avoir effectué une seule incursion au droit de l'ouvrage. Ces dévalaisons directes ont eu lieu le plus souvent à fort débit entrant (médiane : 336 m³/s). Les autres anguilles se sont présentées 5, 29 et 35 fois sur site avant de dévaler par les vannes en condition de débit plus faible (médiane : 187 m³/s).

- Temps de transit³ sur site avant franchissement (Figure 4.15) :

Onze des 12 anguilles (92%) qui ont franchi l'ouvrage à leur première incursion ont dévalé en moins d'1h, dont 50% en moins de 10 min. Pour la 12^{ème}, le temps de transit n'a pas dépassé 10 h. Il a été nettement plus long pour les 3 anguilles qui, arrivées sur site à plusieurs reprises souvent lors de plus faibles débits, sont demeurées bloquées par l'obstacle durant 4.0, 19.3 et 51.2 jours avant de passer en aval. Durant leur blocage, ces anguilles se sont repliées la majorité du temps (53 à 86% du temps) dans les méandres de la retenue entre 400 m et 700 m en amont de l'ouvrage.

- Temps de présence⁴ sur site et changements de zones (Figure 4.16, Figure 4.17) :

Pour les 12 anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant leur franchissement, le temps de présence sur le site dans les champs de réception des antennes équivaut bien sûr à leur temps de transit soit, pour rappel, 8 min en médiane (4 min à 9h 51min, n=12). Quatre d'entre elles ont transité directement par la zone BIG avant de dévaler, soit un temps sur site particulièrement court (4 à 10 min ; médiane : 5 min) réalisé dans tous les cas lors de fortes surverses (327 à 524 m³/s) de 4 à 6.4 fois le module. Les 8 autres anguilles ont en plus approché au moins une fois même brièvement la barrière sonore ; selon l'individu, cela représente de <5% à 73% du temps de présence en amont de l'ouvrage. Aucune ne l'a traversée. Leur temps sur site, plus long (4 min à 9h 51min ; médiane : 11 min), a été réalisé à surverses plus modérées ($Q_d/Q_t=0.3-3.7$) de 0.6 à 6.4 fois le module. Les 3 autres anguilles, qui se sont présentées à plusieurs reprises au droit de l'ouvrage, ont séjourné sur site encore plus longtemps (0.5, 9.0 et 16.7 jours au total), exclusivement en BIG pour les 2 premières. La dernière a effectué plusieurs changements de zones (Tableau 4.5), explorant aussi longuement la barrière sonore (zones BIDb, BIDc) (soit 69% du temps en BIG, 31% du temps près de la barrière sonore). Elle a finalement dévalé par le clapet à l'occasion d'un arrêt des turbines. Dans 93% des cas, les dévalaisons par le barrage/clapet ont été réalisées moins de 24 hrs après l'arrivée (ou dernière entrée) sur site, et de nuit ou au crépuscule dans 80% des cas.

² Le 'site' correspond à l'ensemble des 5 zones de réception individualisées au droit de l'ouvrage (BIG : zone générale amont, BIDa, b, c : zones amont, médiane, aval de la barrière sonore, BIT : amont immédiat usine) qui, dans la configuration de Biron, couvrent les ~350 m en amont de l'ouvrage (Figure 3.5). La zone BIP dans la rivière de contournement a aussi été empruntée.

³ Temps de transit : temps entre arrivée sur site et franchissement. Pour des temps longs, englobant éventuellement plusieurs arrivées/replis avant passage, on parle de temps de blocage.

⁴ Temps de présence : temps strictement passé au droit de l'ouvrage dans les champs de réception des antennes (cf. note 2), soit = temps de transit – (le cas échéant) temps total passé en repli(s).

4.3.1.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.14) :

Une petite majorité d'anguilles (20/31, soit 64.5%) passées par les turbines ont franchi l'ouvrage lors de leur première incursion au droit de l'aménagement, en l'absence de déversement au barrage pour 14 (70%) d'entre elles et lors de surverses faibles ($Q_d < 78 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_d/Q_t = 0.2-0.7$, $n=3$) ou modérées ($Q_d/Q_t = 1.2-2.9$, $n=3$) pour les 6 autres. Les 11 autres anguilles ont réalisé entre 2 et 21 incursions sur le site (médiane : 4) avant de dévaler par les turbines, en l'absence de surverse pour 8 (73%) d'entre elles ou lors de surverses modérées (Q_d/Q_t médian=1.3) pour les 3 autres.

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.15) :

Les dévalaisons ont eu lieu de 6 min à 4h 21min après l'arrivée (médiane : 18 min ; moyenne : 30 min) chez les 20 anguilles passées à la première incursion sur site, et d'environ 2 h à plus de 25 jours (médiane : 3.9 jours ; moyenne : 7.9 jours) après leur première arrivée pour les 11 autres. Durant leur plus long blocage, ces anguilles se sont repliées dans les méandres de la retenue pendant 1% à 99% du temps (médiane : 69% ; moyenne : 58%, $n=11$).

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.16, Figure 4.17) :

Pour les 20 anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant leur franchissement, le temps passé sur le site dans les champs de réception des antennes équivaut donc à leur temps de transit, soit 18 min (médiane) de présence en amont de l'ouvrage avant la dévalaison. Elles ont approché à une ($n=19$) ou deux ($n=1$) reprises d'au moins une des 3 zones de la barrière sonore avant de la traverser (dans 5% des cas par BIDA, 50% par BIDb, 45% par BIDc), d'entrer dans la chambre d'eau et de franchir l'obstacle par les turbines (cf. Tableau 4.5). Le temps global passé au niveau de la barrière a varié de 1 à 16 min (médiane : 2 min). Les durées dans les autres zones ont également été courtes : 4 min à 4h 16min (médiane : 13 min) en BIG et 1 à 4 min (médiane : 2 min) en BIT. Selon l'individu, cela représente pour BIG de 41% à 98% (médiane : 78%), pour BIDA,b,c de 1% à 50% (médiane : 12%) et pour BIT de 1% à 22% (médiane : 9%) du temps de présence sur site (cf. Figure 4.17).

Pour les 11 autres anguilles qui ont effectué plusieurs incursions et replis avant leur passage, la durée de présence sur site a été plus longue (26 min à 15.4 jours ; médiane : ~14h ; moyenne : ~69h). Elles ont approché à une ($n=9$), deux ($n=1$) ou trois ($n=1$) reprises d'au moins une des 3 zones de la barrière sonore avant de la traverser (27% par BIDb, 73% par BIDc), d'entrer dans la chambre d'eau et de franchir l'obstacle par les turbines. Le temps global passé au niveau de la barrière a été de 1 à 38 min (médiane : 3 min ; moyenne : 8 min). Les durées dans les autres zones ont varié de 12 min à 5.9 jours (médiane : ~14h ; moyenne : ~33h) en BIG, 1 min à 11.7 jours (médiane : 2 min ; moyenne : ~36h) en BIT. Selon l'individu, cela représente pour BIG de 24% à ~100% (médiane : 98%), pour BIDA,b,c de <1% à 15% (médiane : <1%) et pour BIT de <1% à 76% (médiane : <1%) du temps de présence sur site. Dans 93.5% des cas (29/31), les dévalaisons par les turbines se sont produites en moins de 24hrs après l'arrivée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site (dont 81% en moins d'1h), et très majoritairement de nuit ou au crépuscule (97%, 30/31).

4.3.1.4. Comportement des anguilles passées par la rivière

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.14) :

Les 2 anguilles ont emprunté la rivière de contournement dès leur première incursion sur le site, mais en hydrologie très différente ($Q_d/Q_t = 0.2$ pour l'une et 2.5 pour l'autre).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.15) :

Les 2 dévalaisons se sont produites rapidement, soit 23 min et 1h 37min après l'arrivée sur le site.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.16, Figure 4.17) :

Le temps de présence (23 min, 1h 37min) a été passé majoritairement en zone BIG (22 min et 1h, soit 96% et 62% du temps total passé sur site) puis en zone BIP (1 min et 37 min soit 4% et 38%). Aucune n'a approché de la barrière sonore (Tableau 4.5). Comme la zone BIP ne couvre qu'une petite portion de la rivière de contournement (à hauteur de la centrale), le temps de séjour global dans la rivière ne peut être qu'estimé : par la durée entre la 1^{ère} réception en BIG à l'amont de l'ouvrage et la dernière réception en BIP à l'aval de l'ouvrage, soit 25 min au maximum pour l'une et 14h 22min au maximum pour celle arrivée à fort débit. Ces dévalaisons ont été réalisées de nuit.

4.3.1.5. Comportement des anguilles n'ayant pas franchi

Parmi les 5 anguilles qui n'ont pas à terme dévalé l'ouvrage de Biron, une a fait l'objet d'une prédation par des cormorans environ 15 h après son arrivée dans la zone générale amont BIG. Les 4 autres ont été bloquées par l'ouvrage pendant 1, 31, 53 et 74 jours, jusqu'à l'arrêt de leur émetteur. Deux de ces dernières ont approché durant 2h et 4h la partie amont (zone BIGa) de la barrière sonore dans les limites de réception de 4-5 m, avant de se replier en zone BIG ; une 3^{ème} a rapidement traversé en zone médiane (BIGb) de la barrière sonore pour stationner définitivement dans la chambre d'eau de l'usine (Tableau 4.5). Les 5 anguilles étaient confrontées à de faibles débits (43-87 m³/s) lors de leurs derniers jours de présence au droit de l'aménagement.

4.3.1.6. Comportement des anguilles après passage

Concernant le devenir immédiat des 48 anguilles après leur passage en aval de Biron, quelle que soit la voie de passage empruntée, 41 (85%) ont quitté le site en moins d'1 h, dont 34 (71%) en moins de 10 min (1^{er} quartile, médiane et 3^{ème} quartile de 5, 6 et 7 min respectivement, n=41) (cf. Tableau 4.5). Pour les 7 autres, les temps passés à l'aval immédiat de l'ouvrage ont varié d'environ 10h à 6.2 jours (médiane : ~15h ; moyenne : ~43h). Sur les 48 anguilles, 46 (96%) ont continué leur dévalaison au moins jusqu'à Sapso. Une autre a fait l'objet d'une prédation par un cormoran à 200 m en amont de Sapso 3.8 jours après son passage à Biron par les turbines ; la seconde est morte (ou arrêt marqué [83 j post-marquage]) à 300 m en amont de Sapso 27.3 jours après son passage à Biron par le clapet.

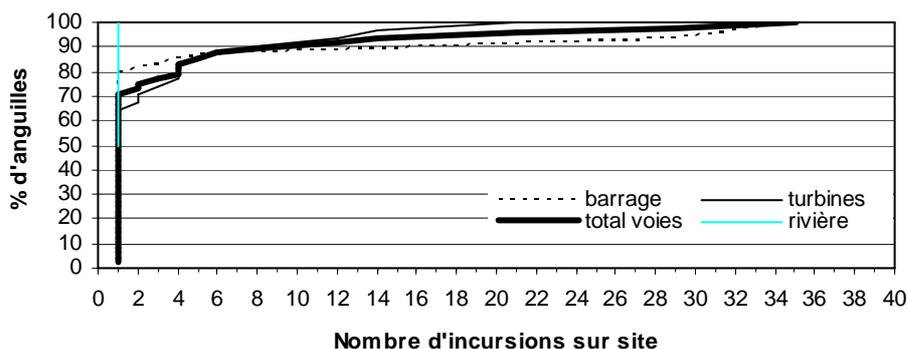


Figure 4.14 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement de Biron

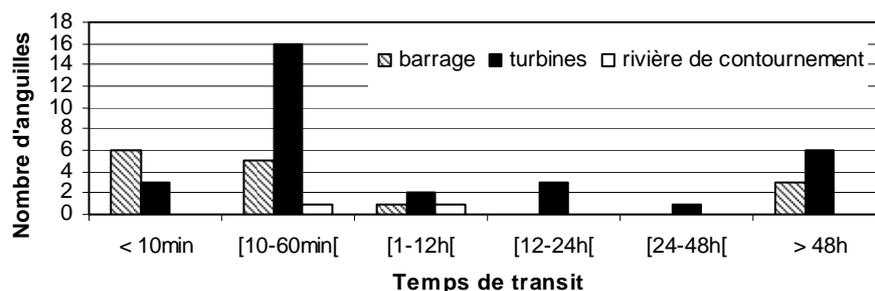


Figure 4.15 : Temps de transit avant le franchissement de Biron

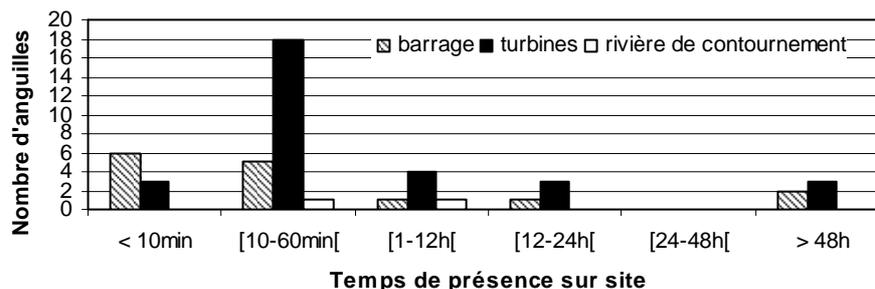


Figure 4.16 : Temps de présence sur site avant le franchissement de Biron

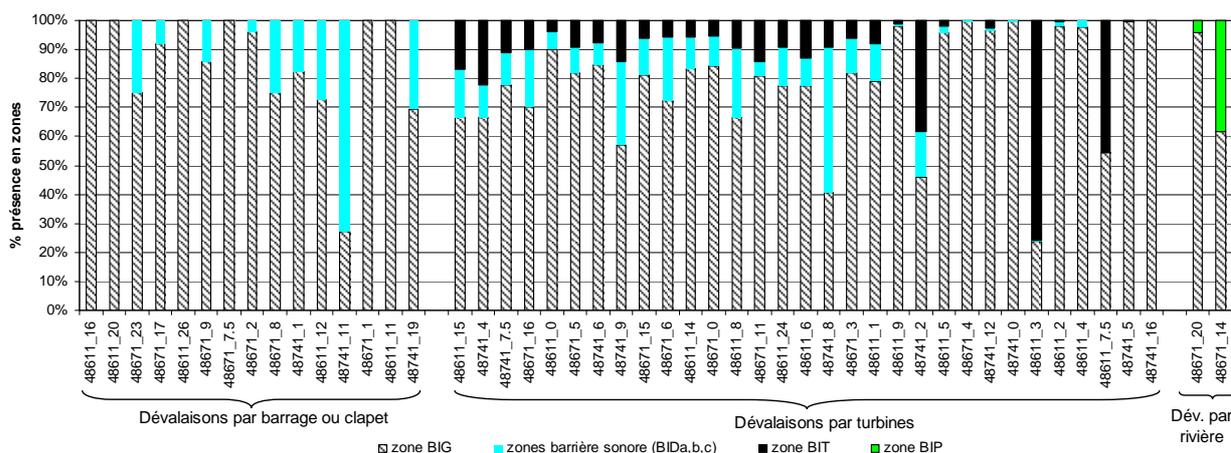


Figure 4.17 : Répartition spécifique des temps de présence des 48 anguilles dans les zones de réception amont avant leur franchissement de Biron

4.3.1.7. Conclusions sur les franchissements de Biron

Le taux de franchissement de Biron a été de 91% (48/53). Les passages à l'aval ont eu lieu :

- par les turbines dans 65% (31/48) des cas,
- par le barrage ou clapet dans 31% (15/48) des cas,
- et par la rivière de contournement dans 4% (2/48) des cas.

La voie de passage au niveau de l'aménagement est influencée par les conditions hydrologiques du Gave et le fonctionnement associé de l'usine (Figure 4.12). Sur les 48 franchissements :

- 32 (67%) se sont produits en l'absence ou sur une faible surverse au barrage ($15 \leq Q_d \leq 89 \text{ m}^3/\text{s}$), dont la majorité (81%) par les turbines ;
- 16 (33%) se sont produits lors de déversements plus importants ($133 \leq Q_d \leq 412 \text{ m}^3/\text{s}$), dont une majorité (63%) par le barrage ou le clapet RD.

Les retards induits par l'ouvrage sont également dépendants des débits (Figure 4.18). Les anguilles passées lors des plus fortes surverses ont franchi plus vite (retard médian 10 min ; IQR⁵ 27 min) que celles passées à plus bas débit (retard médian 31 min ; IQR 29h). Quelle que soit la voie de passage, 71% (34/48) des anguilles ont dévalé lors de la première incursion [100% (2/2) par la rivière, 80% (12/15) par le barrage/clapet, 65% (20/31) par les turbines]. Ces dévalaisons ont été effectuées en moins d'1h, et de nuit ou au crépuscule dans 91% (31/34) des cas. Les dévalaisons réalisées après plusieurs incursions sur site (14/48, 29%) ont duré généralement plus longtemps (7 de plus d'1h dont 3 de plusieurs jours) et se sont terminées de nuit ou au crépuscule dans 93% (13/14) des cas.

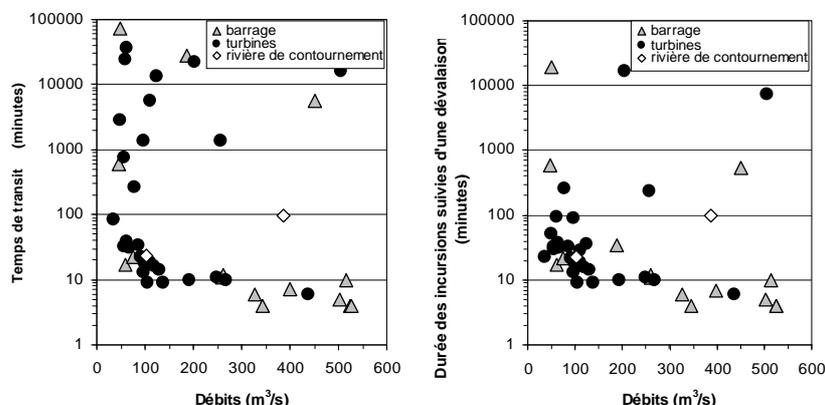


Figure 4.18 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du Gave au moment des passages à Biron par les différentes voies

⁵ IQR : Inter Quartile Range pour amplitude interquartile (différence entre les 3^{ème} et 1^{er} quartiles).

4.3.2. Sapso

Parmi les 48 anguilles qui ont franchi Biron, 46 (96%) ont atteint Sapso. Le dispositif d'enregistrement installé au niveau de l'ouvrage (cf. Figure 3.6) a permis d'appréhender leur comportement au droit de l'aménagement. Les principaux résultats obtenus pour Sapso sont consignés dans le Tableau 4.6.

4.3.2.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Sur les 46 anguilles atteignant l'aménagement de Sapso, 45 ont dévalé soit un taux de franchissement de l'ouvrage de 98% (45/46). Les passages à l'aval ont eu lieu par le barrage dans 53% (24/45) des cas et par les turbines dans 47% (21/45) des cas.

Les voies de passage sont fortement liées aux conditions hydrologiques et au fonctionnement estimé de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 4.19 et Figure 4.20) :

- en condition de bas débits du Gave associés aux plus faibles déversements ($Q_d \leq 37 \text{ m}^3/\text{s}$) et à des débits turbinés proches du débit d'équipement [QE] de l'usine (soit $Q_d/Q_t < 1$), 9 passages à l'aval sur 45 (20%) ont été effectués, dont 8 par les turbines,
- lors de débits intermédiaires, dans un rapport Q_d/Q_t de 1 à 2 ($Q_d=48-92 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_t=48 \text{ m}^3/\text{s}$), 15 passages sur 45 (33%) se sont produits, dont 10 par les turbines,
- aux plus fortes surverses (150 à 507 m^3/s), de 3 à 11 fois le débit turbiné, 21 passages en aval (47%) ont eu lieu, dont 18 par le barrage.

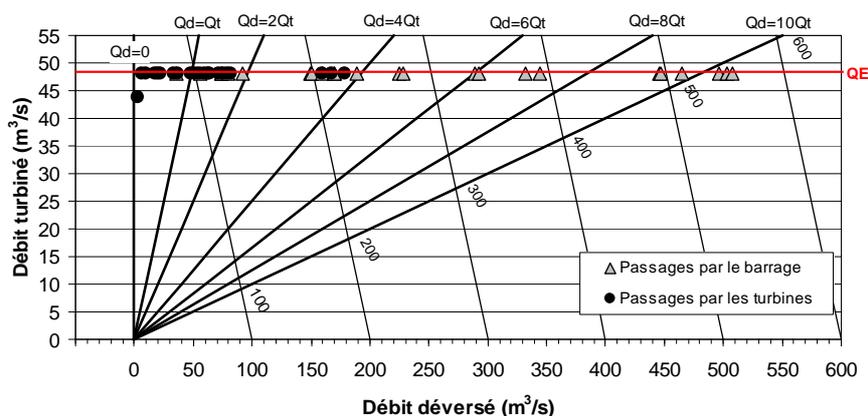


Figure 4.19 : Voie de franchissement de Sapso suivant le fonctionnement de l'ouvrage

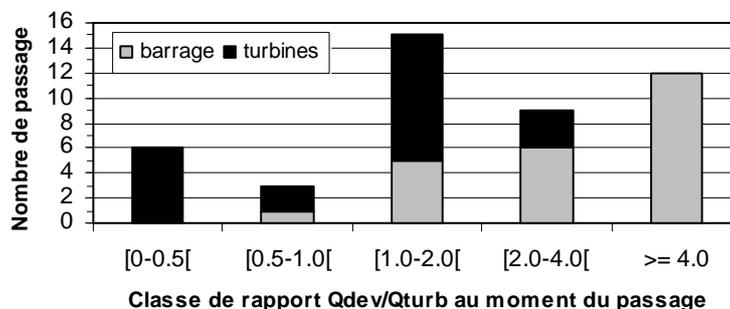


Figure 4.20 : Nombre de passages par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

Tableau 4.6 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 46 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de Sapso (pk 8.5)

Code anguille	Date & Heure 1 ^{ère} réception Sapso	Date & Heure Passage Sapso	Voie de passage	Débit du Gave à Sapso (m ³ /s)	Débit déversé (Qdev, m ³ /s)	Débit turbiné (Qturb, m ³ /s)	Qdev/Qturb lors passage	Nb Inc. sur site	Durée de blocage (hh:mm)	Durée de présence sur site	% Durée sur site lors blocage	Nb Inc. z.SAG	Durée z.SAG	Nb Inc. z.SAC	Durée z.SAC	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48611_1	14/01/2010 18:00	14/01/2010 18:05	barrage	199	151	48	3.1	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	1	00:09
48611_5	13/01/2010 17:04	13/01/2010 17:07	barrage	128	80	48	1.7	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:08
48611_7.5	15/01/2010 17:44	15/01/2010 17:45	barrage	237	189	48	3.9	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:06
48611_11	15/01/2010 01:50	15/01/2010 01:51	barrage	495	446	48	9.3	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:06
48611_15	15/01/2010 09:57	15/01/2010 09:58	barrage	495	447	48	9.3	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:09
48611_16	15/01/2010 12:11	15/01/2010 12:12	barrage	380	331	48	6.9	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	16:55
48611_20	15/01/2010 05:56	15/01/2010 05:57	barrage	555	507	48	10.6	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:06
48611_26	15/01/2010 12:45	15/01/2010 12:46	barrage	341	293	48	6.1	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:04
48671_0	13/01/2010 06:58	13/01/2010 06:59	barrage	123	74	48	1.5	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:11
48671_1	15/01/2010 14:54	15/01/2010 14:55	barrage	274	225	48	4.7	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:05
48671_2	14/01/2010 19:14	14/01/2010 19:16	barrage	218	170	48	3.5	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	1	00:05
48671_3	14/01/2010 21:21	14/01/2010 21:22	barrage	277	228	48	4.8	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:06
48671_5	14/01/2010 18:41	14/01/2010 18:42	barrage	208	160	48	3.3	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:10
48671_6	13/01/2010 18:52	13/01/2010 18:55	barrage	122	73	48	1.5	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:22
48671_7.5	15/01/2010 04:27	15/01/2010 04:28	barrage	544	496	48	10.3	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:15
48671_8	14/01/2010 19:16	14/01/2010 19:16	barrage	218	170	48	3.5	1	< 00:01	< 00:01	100.0%	1	< 00:01	0	00:00	1	00:09
48671_9	14/01/2010 23:03	14/01/2010 23:04	barrage	393	345	48	7.2	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:08
48671_14	15/01/2010 12:46	15/01/2010 12:49	barrage	338	290	48	6.0	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	02:02
48671_16	15/01/2010 23:37	15/01/2010 23:37	barrage	198	150	48	3.1	1	< 00:01	< 00:01	100.0%	1	< 00:01	0	00:00	1	00:06
48671_17	15/01/2010 02:35	15/01/2010 02:35	barrage	514	465	48	9.7	1	< 00:01	< 00:01	100.0%	1	< 00:01	0	00:00	1	00:05
48671_23	15/01/2010 05:19	15/01/2010 05:19	barrage	552	503	48	10.5	1	< 00:01	< 00:01	100.0%	1	< 00:01	0	00:00	1	00:06
48741_2	24/03/2010 03:50	01/04/2010 03:01	barrage	84	36	48	0.7	15	191:11	18:15	9.5%	15	18:15	0	00:00	14	60:38
48741_4	07/02/2010 02:26	07/02/2010 02:33	barrage	140	92	48	1.9	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:07	0	00:00	1	00:06
48741_6	08/02/2010 05:48	08/02/2010 05:54	barrage	104	56	48	1.2	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:06
Moyenne (n=24, passés barrage)				297.4	249.0	48.0	5.2	1.6	09:35	00:56	96.2%	1.6	00:56	0.0	00:00	1.5	03:25
Médiane (n=24, passés barrage)				255.4	207.0	48.0	4.3	1.0	00:01	00:01	100.0%	1.0	00:01	0.0	00:00	1.0	00:07
48611_0	14/01/2010 19:29	14/01/2010 19:39	turbine	227	178	48	3.7	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:02	1	00:08	1	00:05
48611_2	01/01/2010 20:25	01/01/2010 20:34	turbine	100	52	48	1.1	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:04	1	00:05	1	00:46
48611_3	15/01/2010 21:41	15/01/2010 21:49	turbine	207	159	48	3.3	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:03	1	00:05	1	00:27
48611_4	08/01/2010 19:17	08/01/2010 19:33	turbine	55	7	48	0.1	1	00:16	00:16	100.0%	1	00:13	1	00:03	1	00:06
48611_6	26/12/2009 04:12	26/12/2009 12:56	turbine	69	20	48	0.4	2	08:44	02:04	23.7%	2	01:46	1	00:18	1	25:15
48611_8	01/01/2010 16:20	01/01/2010 16:31	turbine	107	59	48	1.2	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:06	1	00:05	2	15:14
48611_9	27/12/2009 03:10	27/12/2009 03:16	turbine	85	37	48	0.8	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:02	1	00:04	1	00:02
48611_12	26/12/2009 23:22	26/12/2009 23:32	turbine	81	33	48	0.7	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:05	1	00:05	1	00:03
48611_14	31/12/2009 23:31	31/12/2009 23:42	turbine	103	55	48	1.1	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:05	1	00:06	1	00:07
48611_24	01/01/2010 22:22	01/01/2010 22:32	turbine	97	48	48	1.0	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:05	1	00:05	1	00:02
48671_4	14/01/2010 19:03	14/01/2010 19:10	turbine	216	168	48	3.5	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:03	1	00:04	1	00:04
48671_11	14/01/2010 01:38	14/01/2010 01:52	turbine	123	75	48	1.6	1	00:14	00:14	100.0%	1	00:06	1	00:08	1	00:05
48671_15	13/01/2010 07:15	13/01/2010 07:23	turbine	130	82	48	1.7	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:04	1	00:04	5	35:14
48671_20	13/01/2010 23:31	13/01/2010 23:40	turbine	121	72	48	1.5	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:06	1	00:03	1	00:04
48741_0	06/02/2010 19:09	06/02/2010 19:15	turbine	113	64	48	1.3	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:02	1	00:04	1	00:04
48741_1	04/03/2010 19:51	04/03/2010 20:13	turbine	70	22	48	0.5	1	00:22	00:22	100.0%	1	00:18	1	00:04	16	89:15
48741_5	11/03/2010 21:44	11/03/2010 21:55	turbine	59	10	48	0.2	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:08	1	00:03	1	00:03
48741_7.5	08/02/2010 01:10	08/02/2010 01:16	turbine	111	62	48	1.3	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:02	1	00:04	1	00:02
48741_9	06/02/2010 21:06	06/02/2010 21:12	turbine	127	79	48	1.6	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:03	1	00:03	1	00:04
48741_11	07/04/2010 02:02	07/04/2010 02:13	turbine	47	3	44	0.1	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:07	1	00:04	12	896:09
48741_12	04/03/2010 18:27	05/03/2010 14:53	turbine	65	17	48	0.4	7	20:26	03:52	18.9%	7	03:31	1	00:21	4	23:50
Moyenne (n=21, passés turbine)				110.2	62.0	47.8	1.3	1.3	01:32	00:26	92.5%	1.3	00:20	1.0	00:06	2.6	58:34
Médiane (n=21, passés turbine)				103.4	55.0	48.0	1.1	1.0	00:10	00:10	100.0%	1.0	00:05	1.0	00:04	1.0	00:05
48741_8	07/03/2010 02:08	07/03/2010 08:42*	-	71.4	23.0	48.0	0.5	2	06:34	01:56	29.4%	2	01:56	0	00:00	-	-

* Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, l'anguille 48741_8 n'ayant pas dévalé (repli définitif jusqu'à arrêt de l'émetteur)

4.3.2.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

- Nombre d'incursions sur site⁶ avant franchissement (Figure 4.21) :

La grande majorité des anguilles (23/24, soit 96%) passées par le barrage ont dévalé après avoir effectué une seule incursion au droit de l'ouvrage. Dans tous les cas, ces dévalaisons directes ont eu lieu alors que l'usine devait turbiner au maximum (avec $Q_d=56-507 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $Q_d/Q_t=1.2-10.6$). La 24^{ème} anguille s'est présentée à 15 reprises en amont du barrage avant de le franchir ; le débit du Gave au droit de l'ouvrage et *a fortiori* le déversement au barrage étaient faibles (71 et $22 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement en moyenne sur la période de blocage, avec un rapport Q_d/Q_t de 0.46 en moyenne).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.22) :

Toutes les anguilles qui ont franchi l'aménagement dès leur première incursion ont rapidement dévalé, en 1 min en moyenne (maximum : 7 min). La 24^{ème} anguille, se présentant à plus faibles surverses, a transité en 8 jours. Entre chaque incursion, elle se repliait à plus de 200 m en amont du barrage.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.23, Figure 4.24) :

Pour les anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant leur franchissement par le barrage, le temps passé sur site (exclusivement en SAG) équivaut bien sûr à leur temps de transit (soit 1 à 7 min, $n=23$). La 24^{ème} anguille, qui a réalisé plusieurs incursions avant de dévaler, a séjourné 18h 15min au total sur site (exclusivement en SAG) avant de passer en aval du barrage (9.5% de son temps de blocage). Dans l'ensemble, les 24 dévalaisons par le barrage se sont produites moins de 9 min après l'arrivée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site, et dans 79% des cas (19/24), la dévalaison a été nocturne (crépuscule ou nuit).

4.3.2.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.21) :

La grande majorité des anguilles (19/21, soit 90.5%) passées par les turbines ont franchi l'obstacle à leur première incursion au droit de l'ouvrage, lors de faibles déversements au barrage ($Q_d < 82 \text{ m}^3/\text{s}$; $0.1 < Q_d/Q_t < 1.7$) pour 16 (84%) d'entre elles. Les 2 autres anguilles ont réalisé 2 et 7 incursions avant de dévaler à très faible débit du Gave et *a fortiori* à très faible déversement au barrage ($Q_d/Q_t=0.4$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.22) :

Les franchissements ont eu lieu entre 6 min et 22 min (médiane : 10 min) après l'arrivée chez les 19 anguilles ayant dévalé à la première incursion, et après plus de 8h et 20h après la première arrivée sur site pour les 2 autres.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.23, Figure 4.24) :

Pour les 19 anguilles passées directement, la durée de présence sur site dans le champ de réception des antennes équivaut à leur durée de transit (médiane : 10 min). Durant leur présence au droit de l'ouvrage, elles ont stationné 5 min en moyenne (maximum : 18 min) dans la zone générale amont SAG avant d'être reçues durant 4 min en moyenne (maximum : 8 min) dans le canal d'amenée de l'usine jusqu'à l'amont immédiat des grilles d'entrée des turbines (zone SAC). Selon l'individu, cela représente pour SAG de 20% à 82% (médiane : 50%) et pour SAC de 18% à 80% (médiane : 50%) du temps de présence sur site (cf. Figure 4.24). Pour les 2 anguilles qui ont effectué des incursions et replis avant leur passage, la durée de présence sur site a été plus longue (2h 4min et 3h 52min), dont 1h 46min en SAG et 18 min en SAC (soit 85% et 15% du temps passé sur site) pour la première, et 3h 31min en SAG et 21 min en SAC (soit 91% et 9% du temps passé sur site) pour la deuxième.

Dans l'ensemble, les dévalaisons par les turbines se sont produites en moins de 30 min après l'arrivée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site dans 90.5% des cas (19/21), et majoritairement de nuit ou au crépuscule (81%, 17/21).

⁶ Le 'site' correspond à l'ensemble des 2 zones de réception individualisées au droit de l'ouvrage (**SAG** : zone générale barrage [regroupement des zones SAG1 (antenne aérienne détectant surtout l'aval du barrage) et SAG2 (nouvelle antenne aérienne détectant aussi l'amont immédiat du barrage)]), **SAC** : zone canal d'amenée de l'usine incluant aussi l'amont immédiat du plan de grilles de l'usine [en réception commune avec SAT, l'antenne aérienne 'turbines' aval]) qui, dans la configuration de Sapso, couvrent les ~80 m en amont de l'ouvrage (Figure 3.6).

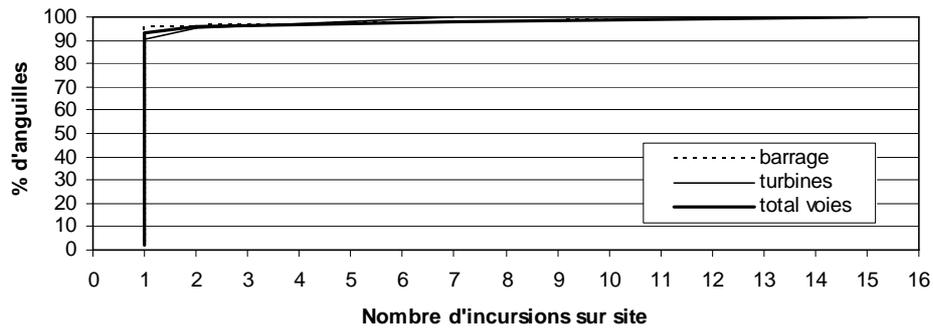


Figure 4.21 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement de Sapso

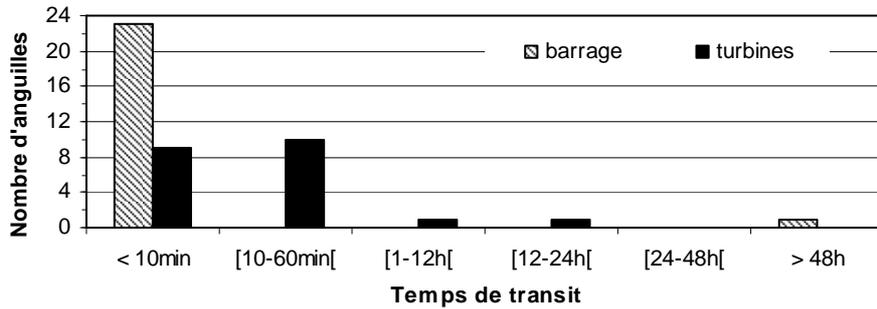


Figure 4.22 : Temps de transit avant le franchissement de Sapso

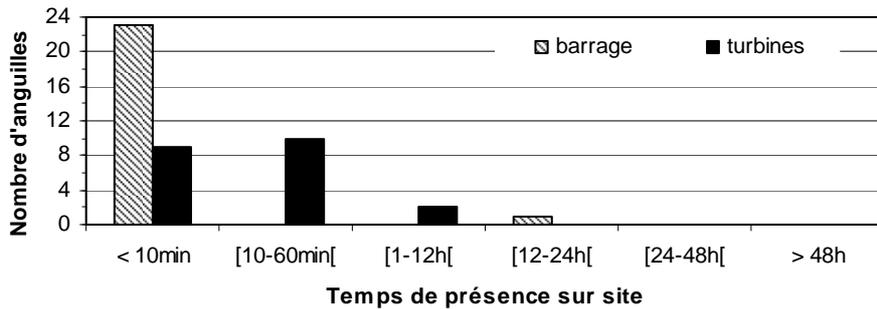


Figure 4.23 : Temps de présence sur site avant le franchissement de Sapso

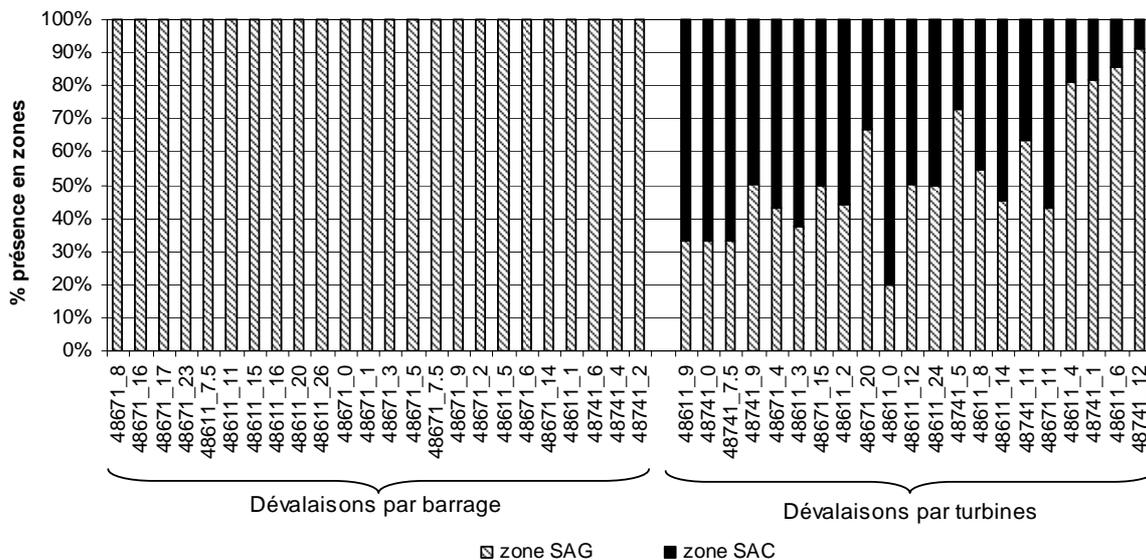


Figure 4.24 : Répartition spécifique des temps de présence des 45 anguilles dans les deux zones de réception avant leur franchissement de Sapso

4.3.2.4. Comportement des anguilles n'ayant pas franchi

Une anguille n'a pas à terme dévalé Sapso (Tableau 4.6). Elle a été bloquée par l'ouvrage pendant près de 7h au total (exclusivement en SAG) avant de se replier définitivement à 100 m en amont du barrage jusqu'à sa mort supposée* plus de 50 jours après sa dernière incursion à Sapso (*voire arrêt de la marque car 83 jours post-marquage). Elle était confrontée à un faible débit du Gave ($Q=65 \text{ m}^3/\text{s}$) et donc à une faible surverse ($Qd=17 \text{ m}^3/\text{s}$) lors de sa présence sur site.

4.3.2.5. Comportement des anguilles après passage

Concernant le devenir immédiat des 45 anguilles après leur passage en aval de Sapso, quelle que soit la voie de passage empruntée, 36 (80%) ont quitté le site en moins d'1h, dont 30 (67%) en moins de 10 min (1^{er} quartile, médiane et 3^{ème} quartile de 4, 6 et 8 min respectivement, $n=36$) (Tableau 4.6). Pour les 9 autres, les temps passés à l'aval immédiat de l'ouvrage ont varié d'environ 2h à 37.3 jours (médiane : $\sim 1.5 \text{ j}$; moyenne : $\sim 6.1 \text{ j}$). Sur les 45 anguilles, 41 (91%) ont continué leur dévalaison au moins jusqu'à l'amont immédiat de Castetarbe. Les 4 autres ont stoppé définitivement leur migration. Une est morte en sortie des turbines et les 2 autres à 700 m et 900 m en aval, environ 39, 77 et 52 jours respectivement après leur dévalaison par les turbines de Sapso ; la 4^{ème} est morte (ou arrêt marque [79 j post-marquage]) à 700 m en amont de Castetarbe environ 22 jours après sa dévalaison par le barrage de Sapso.

4.3.2.6. Conclusions sur les franchissements de Sapso

Les passages à l'aval de Sapso ont eu lieu :

- par le barrage dans 53% (24/45) des cas,
- par les turbines dans les cas restants (47%).

La voie de passage au niveau de l'aménagement est influencée par les conditions hydrologiques du Gave et le fonctionnement associé de l'usine (cf. Figure 4.19). Sur les 45 franchissements :

- 24 (53%) se sont produits lors de déversements faibles à modérés ($0.1 \leq Qd/Qt \leq 1.9$), dont 75% (18/24) par les turbines,
- les 21 autres passages (47%) se sont produits lors de plus fortes surverses ($3.1 \leq Qd/Qt \leq 10.6$), dont 86% (18/21) par le barrage.

Les retards induits par l'ouvrage sont également dépendants des débits (Figure 4.25). Les individus passés à fort débit ($Qd/Qt \geq 3.1$) ont franchi plus vite (retard médian 1 min ; IQR 1 min) que ceux passés à bas débit (retard médian 9 min ; IQR 5 min). Quelle que soit la voie de passage, 93% (42/45) des anguilles ont dévalé dès la première incursion : ces dévalaisons ont été faites en moins de 30 min et de nuit dans 83% (35/42) des cas. Les dévalaisons réalisées après plusieurs incursions sur site ont duré généralement plus longtemps (médiane : 56 min) et se sont terminées de jour dans 2 cas sur 3.

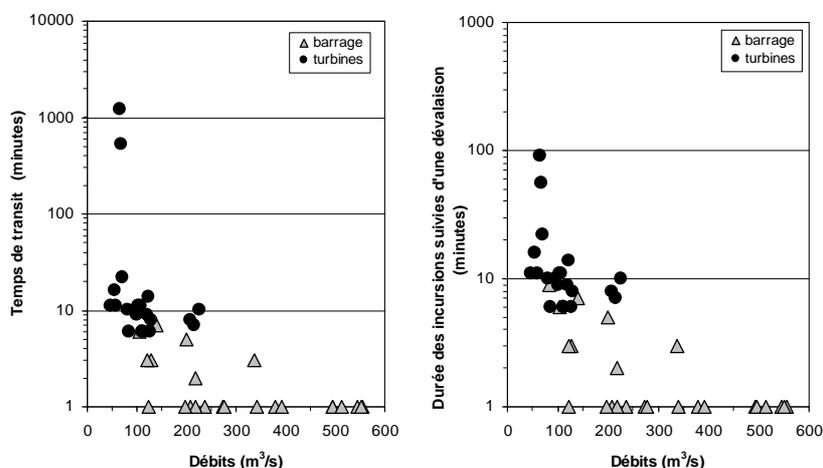


Figure 4.25 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du Gave au moment des passages à Sapso par les différentes voies

4.3.3. Castetarbe

Parmi les 45 anguilles qui ont franchi Sapso, 41 (91%) ont atteint l'ouvrage de Castetarbe. Le dispositif d'enregistrement (Figure 3.7) a permis d'appréhender leur comportement au droit de l'aménagement. Les principaux résultats obtenus pour Castetarbe sont consignés dans le Tableau 4.7.

4.3.3.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Sur les 41 anguilles arrivées au droit de Castetarbe, 35 ont dévalé, soit un taux de franchissement de l'ouvrage de 85% (35/41). Les passages à l'aval ont eu lieu par le barrage dans 89% (31/35) des cas, par les turbines dans 9% (3/35) des cas et le cas restant, par la passe à bassins de montaison.

Comparé aux ouvrages précédents, les voies de passage au niveau de Castetarbe apparaissent plus dictées par la configuration et l'équipement de l'ouvrage (débit d'équipement de l'usine : $40 \text{ m}^3/\text{s}$) et moins tributaires des conditions hydrologiques et du fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 4.26 et Figure 4.27) :

- en condition de surverses sur le seuil très faibles à modérées ($1-110 \text{ m}^3/\text{s}$) et de débits turbinés importants ($35-38 \text{ m}^3/\text{s}$), atteignant le débit d'équipement [QE] de l'usine ($40 \text{ m}^3/\text{s}$), 9 passages sur 35 (soit 26%) se sont produits, dont 2 par les turbines et un par la passe de montaison en rive droite de l'usine. Le relatif sous-équipement de l'usine a néanmoins entraîné majoritairement des passages par le seuil (67%, 6/9) quelle que soit l'importance de la surverse.
- les autres franchissements ont eu lieu dans une large gamme de surverses ($113 \text{ à } 567 \text{ m}^3/\text{s}$) associée, dans 96% (25/26) des cas, à une absence de turbinage à l'usine qui a favorisé les passages par le barrage.

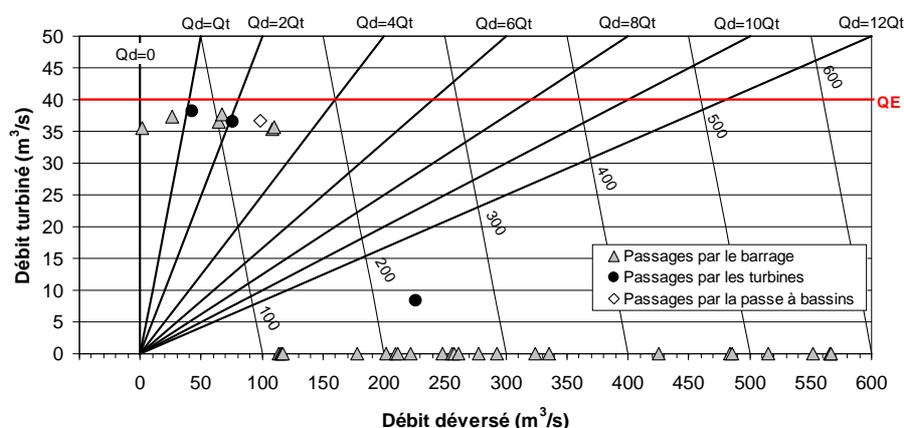


Figure 4.26 : Voie de franchissement de Castetarbe suivant le fonctionnement de l'ouvrage

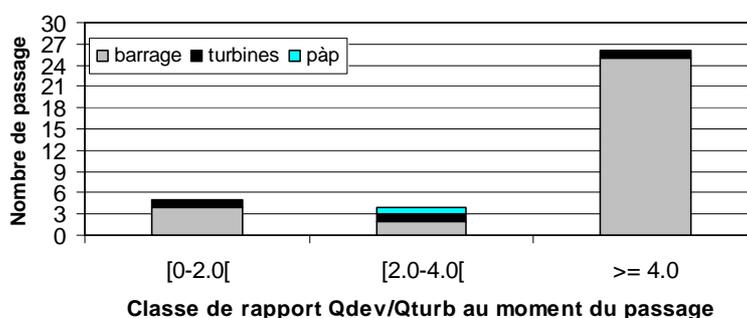


Figure 4.27 : Nombre de passages par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

Tableau 4.7 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 41 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de Castetarbe (pk 5.7)

Code anguille	Date & Heure 1 ^{ère} réception Castetarbe	Date & Heure Passage Castetarbe	Voie de passage	Débit du Gave à Castetarbe (m ³ /s)	Débit déversé (Qdev, m ³ /s)	Débit turbiné (Qturb, m ³ /s)	Qdev/Qturb lors passage	Nb Inc. sur site	Durée de blocage (hh:mm)	Durée de présence sur site	% Durée sur site lors blocage	Nb Inc. z.CAG	Durée z.CAG	Nb Inc. z.CAE	Durée z.CAE	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48611_0	14/01/2010 20:51	14/01/2010 20:54	barrage	295	292	0	292.3	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:02
48611_3	15/01/2010 22:46	15/01/2010 22:59	barrage	212	209	0	209.1	1	00:13	00:13	100.0%	1	00:13	0	00:00	1	00:08
48611_4	13/01/2010 20:31	13/01/2010 20:51	barrage	116	113	0	113.0	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:20	0	00:00	1	00:06
48611_5	13/01/2010 18:04	13/01/2010 18:24	barrage	120	117	0	116.8	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:20	0	00:00	1	00:08
48611_6	15/01/2010 01:11	15/01/2010 01:15	barrage	487	484	0	483.5	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	1	00:02
48611_7.5	19/01/2010 09:40	20/01/2010 10:46	barrage	104	64	36	1.8	8	25:06	09:59	39.8%	8	09:59	0	00:00	1	00:09
48611_9	06/01/2010 03:57	14/01/2010 21:48	barrage	327	324	0	324.0	14	209:51	42:19	20.2%	14	42:19	0	00:00	1	00:01
48611_11	15/01/2010 02:13	15/01/2010 02:14	barrage	519	516	0	515.5	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:04
48611_14	01/01/2010 00:18	01/01/2010 00:36	barrage	108	67	38	1.8	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:18	0	00:00	1	00:06
48611_15	15/01/2010 10:21	15/01/2010 10:24	barrage	488	485	0	485.3	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:04
48611_20	15/01/2010 06:20	15/01/2010 06:22	barrage	569	566	0	565.9	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	1	00:04
48611_26	15/01/2010 13:16	15/01/2010 13:22	barrage	338	335	0	335.1	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:06
48671_0	14/01/2010 16:59	14/01/2010 17:05	barrage	214	211	0	210.8	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:04
48671_1	15/01/2010 15:35	15/01/2010 15:41	barrage	281	278	0	277.7	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:03
48671_2	14/01/2010 19:53	14/01/2010 19:55	barrage	261	258	0	257.6	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	1	00:02
48671_4	14/01/2010 19:46	14/01/2010 19:51	barrage	259	256	0	256.1	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	1	00:03
48671_5	14/01/2010 19:24	14/01/2010 19:31	barrage	251	248	0	248.3	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:07	0	00:00	1	00:02
48671_6	13/01/2010 20:03	14/01/2010 17:50	barrage	224	221	0	221.5	5	21:47	01:50	8.4%	5	01:50	0	00:00	1	00:02
48671_7.5	15/01/2010 05:57	15/01/2010 05:58	barrage	570	567	0	567.2	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:03
48671_8	14/01/2010 19:56	14/01/2010 20:02	barrage	264	261	0	260.8	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:03
48671_9	14/01/2010 23:39	14/01/2010 23:42	barrage	428	425	0	425.0	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:01
48671_11	14/01/2010 02:39	14/01/2010 03:02	barrage	118	115	0	114.7	1	00:23	00:23	100.0%	1	00:23	0	00:00	1	00:06
48671_14	15/01/2010 23:17	16/01/2010 04:11	barrage	181	178	0	177.8	1	04:54	04:54	100.0%	1	04:54	0	00:00	1	00:09
48671_15	15/01/2010 04:01	15/01/2010 04:06	barrage	555	552	0	551.9	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	1	00:02
48671_16	16/01/2010 00:06	16/01/2010 00:14	barrage	205	202	0	201.7	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:08	0	00:00	1	00:03
48671_20	14/01/2010 00:30	14/01/2010 00:48	barrage	119	116	0	115.8	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:18	0	00:00	1	00:08
48671_23	15/01/2010 05:39	15/01/2010 05:41	barrage	569	566	0	565.5	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	1	00:03
48741_0	07/02/2010 02:07	07/02/2010 02:27	barrage	148	110	36	3.1	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:20	0	00:00	1	00:06
48741_1	01/04/2010 21:32	02/04/2010 00:55	barrage	67	26	37	0.7	1	03:23	03:23	100.0%	2	02:31	1	00:52	2	09:13
48741_4	07/02/2010 03:20	07/02/2010 03:21	barrage	147	108	35	3.1	1	00:01	00:01	100.0%	1	00:01	0	00:00	1	00:04
48741_5	13/03/2010 21:50	16/03/2010 14:27	barrage	40	1	36	0.0	5	64:37	47:49	74.0%	11	46:56	3	00:53	2	85:06
Moyenne (n=31, passés barrage)				276.8	266.8	7.0	255.0	1.9	10:44	03:39	91.7%	2.1	03:36	0.1	00:03	1.1	03:06
Médiane (n=31, passés barrage)				251.3	248.3	0.0	248.3	1.0	00:06	00:06	100.0%	1.0	00:06	0.0	00:00	1.0	00:04
48611_1	14/01/2010 18:46	14/01/2010 18:52	turbine	238	226	8	27.1	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:06	1	< 00:01	1	00:05
48611_12	27/12/2009 00:14	27/12/2009 00:36	turbine	84	43	38	1.1	1	00:22	00:22	100.0%	1	00:21	1	00:01	1	00:17
48671_17	17/01/2010 11:44	21/01/2010 17:01	turbine	115	76	36	2.1	4	101:17	86:39	85.6%	4	83:55	1	02:44	20	2152:06
Moyenne (n=3, passés turbine)				145.7	115.1	27.7	10.1	2.0	33:55	29:02	95.2%	2.0	28:07	1.0	01:22	7.3	717:29
Médiane (n=3, passés turbine)				115.3	75.9	36.5	2.1	1.0	00:22	00:22	100.0%	1.0	00:21	1.0	01:22	1.0	00:17
48741_9	06/02/2010 22:02	06/02/2010 22:07	pâp	138.0	98.2	36.7	2.7	1.0	00:05	00:05	100.0%	1.0	00:05	1.0	00:06	1.0	00:02
48611_2	05/01/2010 10:05	05/01/2010 16:19*	-	64	23	38	0.6	3	06:14	05:53	94.4%	3	05:53	0	00:00	-	-
48611_16	16/01/2010 05:35	25/01/2010 11:55**	dégrilleur	79	41	36	1.1	4	222:20	78:29	35.3%	5	78:22	2	00:07	-	-
48611_24	01/01/2010 23:28	06/04/2010 16:40***	-	53	13	37	0.3	109	2273:12	1788:15	78.7%	110	1788:08	1	00:07	-	-
48671_3	21/01/2010 11:11	21/01/2010 17:47**	dégrilleur	115	75	36	2.1	1	06:36	06:36	100.0%	8	04:15	7	02:21	-	-
48741_6	20/03/2010 04:15	05/05/2010 06:12***	-	254	226	25	8.9	12	1105:57	1001:55	90.6%	12	1001:55	0	00:00	-	-
48741_7.5	19/03/2010 04:21	19/03/2010 23:32***	-	47	8	36	0.2	4	19:11	11:11	58.3%	5	11:03	1	00:08	-	-

* Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, l'anguille 48611_2 n'ayant pas dévalé (prédation par cormoran en amont de l'ouvrage confirmée)

** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, les anguilles 48611_16 & 48671_3 n'ayant pas dévalé (prise par dégrilleur en amont des turbines confirmée)

*** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, les anguilles 48611_24 et 48741_6 & 7.5 n'ayant pas dévalé (repli définitif jusqu'à arrêt de l'émetteur)

4.3.3.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

- Nombre d'incursions sur site⁷ avant franchissement (Figure 4.27) :

La grande majorité des anguilles (27/31, soit 87%) passées par le barrage ont dévalé après avoir effectué 1 seule incursion au droit de l'ouvrage. Les autres se sont présentées entre 5 et 14 fois sur le site avant de dévaler, notamment pour 2 d'entre elles, lors de surverses parmi les plus modérées ($Q_d/Q_t=0.1-1.8$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.28) :

Les anguilles qui ont franchi l'ouvrage dès leur première incursion ont rapidement dévalé, en 25 min en moyenne (médiane : 6 min ; maximum : 4h 54min, $n=27$). Les temps de transit ont été nettement plus longs pour les 4 anguilles qui ont réalisé plusieurs incursions au droit de l'ouvrage avant la dévalaison. Entre chaque incursion, la plupart se sont repliées à 200 m en amont de l'obstacle. Elles l'ont franchi près de 22 h, 1 j, 2.7 j et 8.7 j après leur première arrivée.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.29, Figure 4.30) :

Pour les anguilles qui n'ont effectué aucun repli, le temps passé sur site (exclusivement en zone CAG dans 26/27 des cas) équivaut bien sûr à leur temps de transit (médiane : 6 min). Les 4 autres anguilles qui n'ont pas directement dévalé ont effectué plusieurs incursions pour une durée de présence de ~2h à ~48h au total selon l'individu (médiane : 26h 9min). Le reste du temps durant le blocage (soit 26% à 92% du temps ; médiane : 70%) a été passé en replis. Lors des incursions sur site, 3 d'entre elles ont séjourné exclusivement en CAG, tandis que la 4^{ème} a aussi prospecté à 3 reprises au niveau du plan de grilles couvert par la zone CAE (53 min au total ; 2% du temps de présence). Ainsi, seulement 2 des 31 anguilles, arrivées durant les plus faibles surverses ($Q_d/Q_t=0.1-0.7$), ont exploré le plan de grilles de l'usine (durant quasiment 1h chacune) avant de passer par le déversoir.

Dans 84% des cas (26/31), la dévalaison par le barrage s'est produite moins de 30 min après l'arrivée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site. Dans 84% des cas, elle a eu lieu de nuit ou au crépuscule.

4.3.3.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.27) :

Deux des 3 anguilles passées par les turbines ont franchi directement, et la 3^{ème} après 4 incursions sur site ($Q_t=36 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=2.1$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.28) :

Les passages se sont produits 6 min, 22 min et 4.2 jours après l'arrivée (ou première arrivée) des anguilles au droit de l'ouvrage.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.29, Figure 4.30) :

Pour les 2 anguilles qui n'ont effectué aucun repli, le temps de présence sur site équivaut au temps de transit (soit 14 min en moyenne), passé majoritairement en zone générale CAG incluant l'entrée de la prise d'eau (95-99% du temps sur site). Elles ont ensuite transité en 1 min par la zone CAE couvrant l'amont immédiat du plan de grilles de l'usine, avant de dévaler de nuit dans les deux cas. L'autre anguille a prospecté plus longuement y compris de jour, avec une durée globale sur site de 3.6 jours dont 2h 44min (3% du temps) en CAE, avant de dévaler par les turbines au crépuscule.

⁷ Le 'site' correspond à l'ensemble des 2 zones de réception individualisées au droit de l'ouvrage (CAG : zone générale amont barrage/usine, CAE : zone entrée(s) des 3 exutoires de dévalaison et amont immédiat plan de grilles de l'usine) qui, dans la configuration de Castetarbe, couvrent la totalité des ~100 m en amont de l'aménagement. L'antenne Pit-tag TIRIS à l'entrée de la passe à bassins a enregistré un passage ; le temps de séjour dans la passe a été estimé par différence entre la dernière réception en amont par l'antenne CAG et la première détection en aval par l'antenne 'canal de fuite' CAT (cf. Figure 3.7).

4.3.3.4. Comportement de l'anguille passée par la passe à bassins

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.27) :

L'anguille a emprunté la passe dès sa première incursion sur site ($Q_t=37 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=2.7$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.28) :

L'entrée dans la passe s'est produite 5 min après l'arrivée à l'amont de l'ouvrage.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.29, Figure 4.30) :

Lors de sa brève présence sur site (5 min), l'anguille a stationné en CAG sans s'approcher de l'amont immédiat du plan de grilles de l'usine (CAE). La durée de la dévalaison (nocturne) dans les différents bassins de la passe a été estimée à 6 min (cf. Note⁷).

4.3.3.5. Comportement des anguilles n'ayant pas franchi

Six anguilles sont arrivées au droit de Castetarbe mais n'ont pas franchi l'ouvrage (cf. Tableau 4.7). La première a fait l'objet d'une prédation par un cormoran (survol enregistré) environ 6h 14min après sa première entrée sur site ; confrontée à un faible débit ($Q \text{ Gave}=64 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=0.6$), elle a effectué 3 incursions en CAG d'une durée globale de 5h 53min avant d'être prédatée. Deux autres anguilles ont été prises par le dégrilleur de l'usine ; arrivées à faible débit ($Q_t=36 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=1.1-2.1$), elles ont réalisé une à plusieurs incursions sur site (durée globale ~7h et ~78h) et plusieurs prospections en zones CAG et CAE (7 min et 2h 21min au total devant le plan de grilles) avant d'être dégrillées. Enfin, les 3 dernières anguilles sont restées bloquées par l'ouvrage jusqu'à l'arrêt de leur marque (48, 92 et 110 jours post-marquage). Arrivées également en période de faible débit, elles se sont présentées à de nombreuses reprises (4, 12, 109 fois) et ont stationné longuement sur site (11h, 42 j, 75 j) surtout en CAG. A noter que l'anguille la moins longtemps sur site (11h) était enregistrée devant le plan de grilles de l'usine avant l'arrêt supposé de sa marque. Toutefois la courte durée de vie de cette marque (48 j) conduit à l'hypothèse d'une prise de l'anguille par le dégrilleur avec détérioration de l'émetteur.

4.3.3.6. Comportement des anguilles après passage

Concernant le devenir immédiat des 35 anguilles après leur passage en aval de Castetarbe, 32 (91%) ont quitté le site rapidement (médiane : 4 min, maximum : 17 min) et 2 autres environ 9h et 3.5 j après leur passage par le seuil. Seulement 28 anguilles ont rejoint Baigts soit une perte de 20% (7/35) entre ouvrages. Une est morte en sortie des turbines et une seconde a fait l'objet d'une prédation (survol confirmé) 17 min après son passage dans les turbines. Les 5 autres ont stoppé leur migration dans la retenue entre 4.6 km et 1.3 km à l'amont de Baigts 21, 45, 53, 63 et 78 j après leur passage par le déversoir de Castetarbe (53-83 j post-marquage).

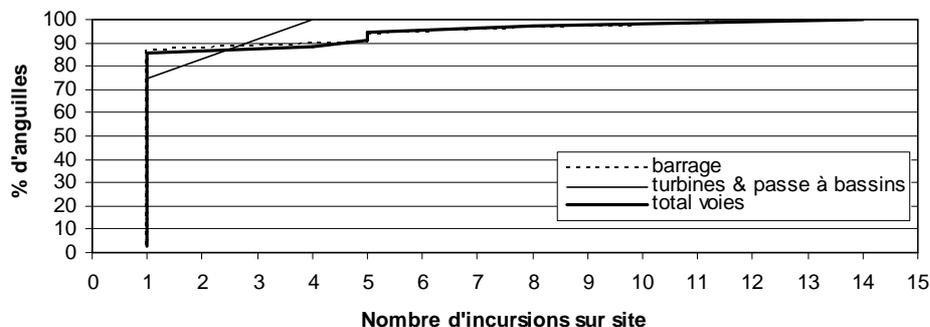


Figure 4.28 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement de Castetarbe

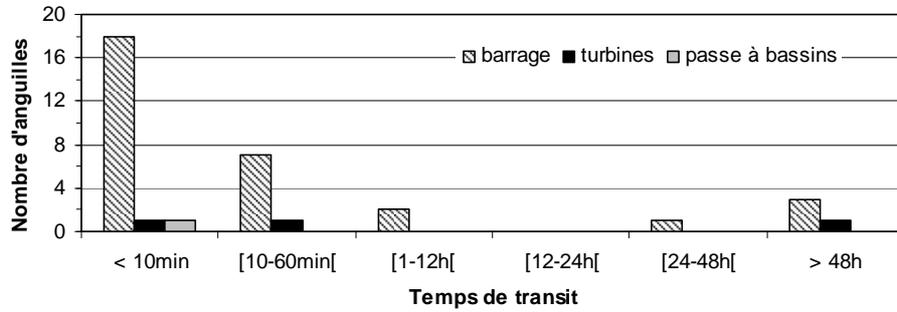


Figure 4.29 : Temps de transit avant le franchissement de Castetarbe

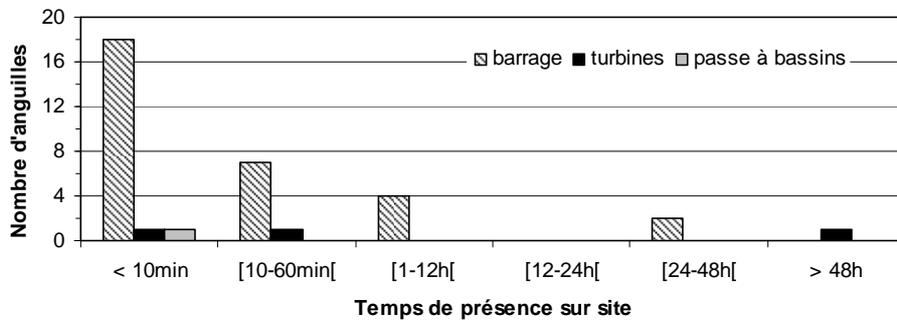


Figure 4.30 : Temps de présence sur site avant le franchissement de Castetarbe

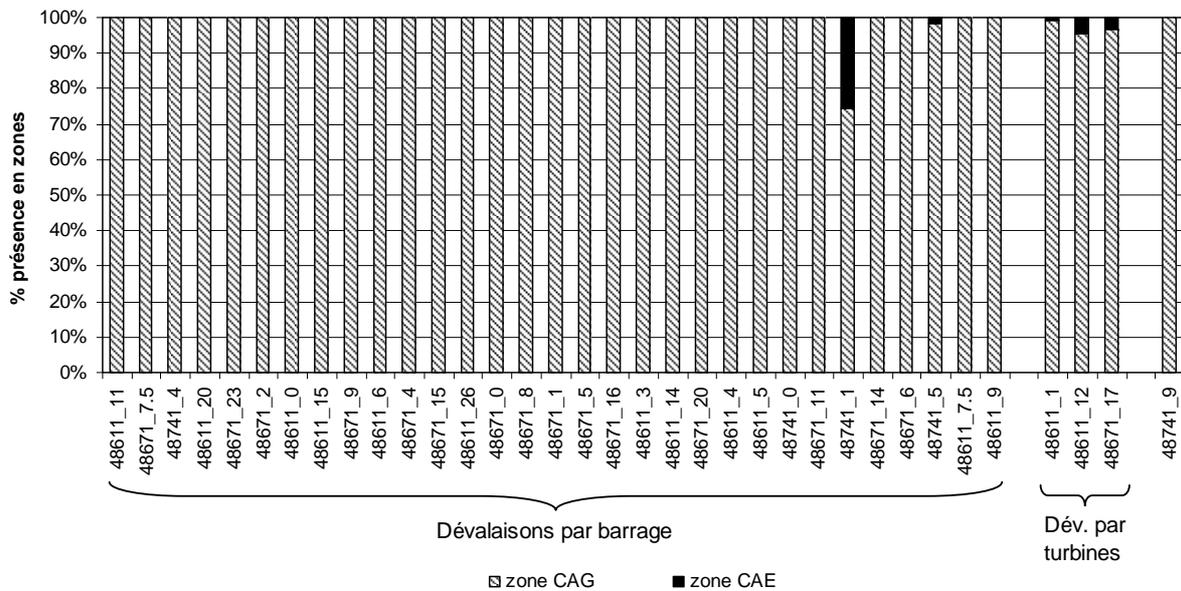


Figure 4.31 : Répartition spécifique des temps de présence des 35 anguilles dans les deux zones de réception avant leur franchissement de Castetarbe

4.3.3.7. Conclusions sur les franchissements de Castetarbe

Les passages à l'aval de Castetarbe ont eu lieu :

- par le déversoir dans 89% (31/35) des cas,
- par les turbines dans 9% (3/35) des cas et par la passe à bassins dans le cas restant.

La voie de passage est influencée par l'hydrologie mais aussi par la configuration et l'équipement de l'ouvrage (Figure 4.26). En effet, le relatif sous-équipement de l'usine a entraîné d'importantes durées de surverse et donc une majorité de passages par le déversoir.

La durée de transit dépend aussi du débit (Figure 4.32). Les individus arrivés aux plus fortes surverses ($Q_d/Q_t \geq 27$) ont franchi plus vite (retard médian 6 min ; IQR 13 min) que ceux passés à faible surverse (retard médian 22 min ; IQR ~25h). Quelle que soit la voie de passage, 86% (30/35) des anguilles ont dévalé dès la première incursion : ces dévalaisons ont été faites en moins de 30 min dans 93% des cas et de nuit ou au crépuscule dans 90% (27/30) des cas. Les dévalaisons réalisées après plusieurs incursions sur site ont duré généralement plus longtemps (médiane : 1h 6min) et se sont terminées de nuit ou au crépuscule dans 3 cas sur 5.

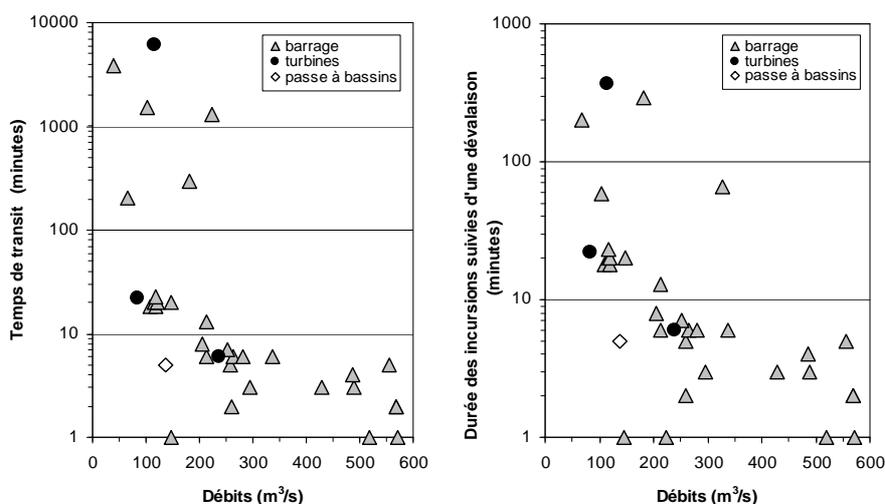


Figure 4.32 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du Gave au moment des passages à Castetarbe par les différentes voies

4.3.4. Baigts

Sur les 35 anguilles qui ont franchi Castetarbe, 28 (80%) ont atteint l'ouvrage de Baigts. Le dispositif d'enregistrement (Figure 3.8) a permis d'appréhender leur comportement au droit de l'aménagement. Les principaux résultats obtenus pour Baigts sont consignés dans le Tableau 4.8.

Pour rappel, le test de fonctionnalité et d'efficacité du dispositif de répulsion par infrasons Profish mené à Baigts en 2008-2009 (cf., Bau *et al.*, 2010b) n'a pas été renouvelé cette année au niveau de Baigts. Par contre, toutes les zones de réception (dont BAGa, BAGb, BAGc créées autour de l'ex-dispositif) demeurent strictement comparables à celles définies l'année précédente.

4.3.4.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Les 28 anguilles arrivées à Baigts ont toutes dévalé, soit un taux de franchissement de l'ouvrage de 100%. Les passages à l'aval ont eu lieu par le barrage (vannes ou clapet) dans 23 cas (82%) et par les turbines dans les 5 cas restants (18%). Aucun passage n'a eu lieu par les exutoires de dévalaison mais il faut signaler que du 14/01 au 16/01/2010, durant le principal épisode de crue qui a entraîné une majorité (79%) de dévalaisons à Baigts, l'exutoire de dévalaison en rive droite à proximité de la centrale était fermé.

Malgré ce biais, les voies de passage restent fortement liées aux conditions hydrologiques et au fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 4.33 et Figure 4.34) :

- en l'absence ou à très faible déversement au barrage ($Q_d=2-21 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t < 0.5$), 6 passages à l'aval ont été effectués, dont 2 par les turbines,
- lors de déversements relativement importants ($Q_d=90-191 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=1.5-2.8$), 5 passages se sont produits, dont 1 par les turbines,
- enfin, lors de plus forts déversements ($Q_d=200-550 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=3.1-15.2$), 17 passages en aval (67%) ont eu lieu, dont 15 par le barrage ou clapet.

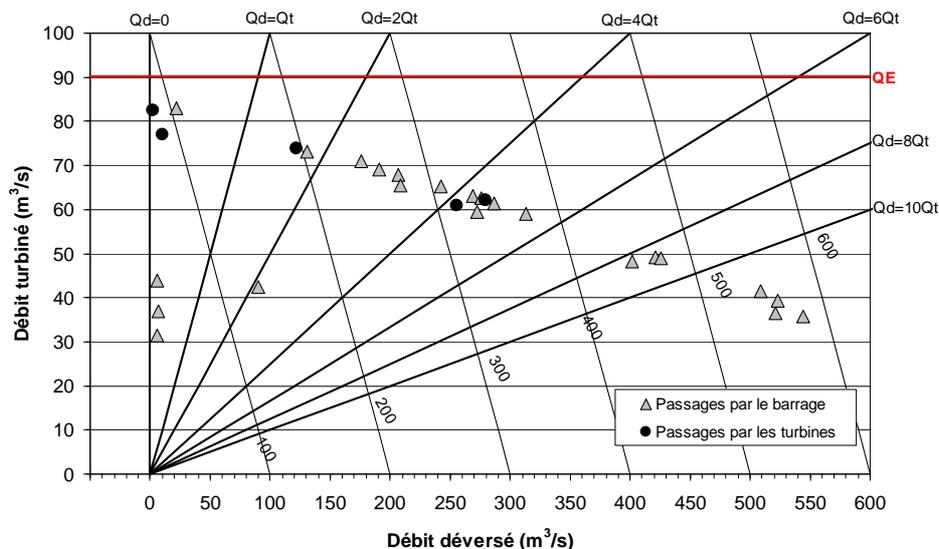


Figure 4.33 : Voie de franchissement de Baigts suivant le fonctionnement de l'ouvrage

Tableau 4.8 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 28 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de Baigts (pk 0.0)

Code anguille	Date & Heure 1 ^{ère} réception Baigts	Date & Heure Passage Baigts	Voie de passage	Débit du Gave à Baigts (m ³ /s)	Débit déversé (Qdev, m ³ /s)	Débit turbiné (Qturb, m ³ /s)	Qdev/Qturb lors passage	Nb Inc. sur site	Durée de blocage (hh:mm)	Durée de présence sur site	% Durée sur site lors blocage	Nb Inc. z.BAR	Durée z.BAR	Nb Inc. z.BAG a	Durée z.BAG a	Nb Inc. z.BAG b	Durée z.BAG b	Nb Inc. z.BAGc	Durée z.BAGc	Total Inc. pré-grilles	Total Durée pré-grilles	Zone traversée	Nb Inc. z.BAB	Durée z.BAB	Nb Inc. z.BAC	Durée z.BAC	Nb Inc. z.BAD	Durée z.BAD	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48611_0	14/01/2010 22:03	14/01/2010 22:05	clapet	374	313	59	5.3	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48611_1	14/01/2010 20:24	14/01/2010 20:27	clapet	310	242	65	3.7	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:02	1	00:02	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48611_3	16/01/2010 01:10	16/01/2010 01:14	barrage	206	130	73	1.8	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48611_4	14/01/2010 00:17	14/01/2010 00:23	clapet	114	21	83	0.3	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	00:02	1	00:01	1	00:03	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:06
48611_5	14/01/2010 04:31	14/01/2010 17:35	clapet	249	176	71	2.5	5	13:04	02:58	22.7%	7	02:21	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	5	00:33	0	00:00	2	00:04	1	00:06
48611_9	15/01/2010 01:04	15/01/2010 03:50	barrage	565	523	39	13.3	1	02:46	02:46	100.0%	1	02:41	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:07
48611_11	15/01/2010 03:04	15/01/2010 03:06	clapet	553	509	41	12.3	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48611_15	15/01/2010 11:17	15/01/2010 11:20	clapet	453	402	48	8.3	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:01
48611_20	15/01/2010 13:37	15/01/2010 14:19	clapet	335	272	60	4.6	2	00:42	00:05	11.9%	2	00:03	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48671_0	14/01/2010 18:35	14/01/2010 18:41	clapet	263	191	69	2.8	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:04	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48671_1	15/01/2010 17:03	15/01/2010 17:06	clapet	277	209	66	3.2	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:04
48671_4	14/01/2010 21:04	14/01/2010 21:12	clapet	341	276	63	4.4	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:03	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:01
48671_5	14/01/2010 20:49	18/01/2010 03:02	clapet	145	90	42	2.1	5	78:13	76:34	97.9%	15	08:13	0	00:00	0	00:00	18	48:09	18	48:09	--	22	20:12	0	00:00	0	00:00	1	00:06
48671_6	14/01/2010 19:19	14/01/2010 19:27	clapet	277	207	68	3.1	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:05	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	00:06
48671_8	14/01/2010 21:23	14/01/2010 21:28	clapet	351	287	61	4.7	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	00:03	1	00:03	--	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48671_9	15/01/2010 00:36	15/01/2010 00:40	clapet	477	426	49	8.7	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48671_11	14/01/2010 20:58	14/01/2010 21:03	clapet	335	269	63	4.3	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	--	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48671_15	15/01/2010 08:22	15/01/2010 08:28	clapet	560	521	36	14.3	1	00:06	00:06	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	--	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	00:20
48671_20	14/01/2010 22:51	15/01/2010 00:34	clapet	473	421	49	8.6	1	01:43	01:43	100.0%	2	00:23	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	--	1	01:19	0	00:00	0	00:00	1	00:04
48671_23	15/01/2010 06:27	15/01/2010 06:31	clapet	583	545	36	15.2	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:03	1	00:03	--	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48741_1	06/04/2010 03:06	13/04/2010 19:42	clapet	50	6	31	0.2	12	184:36	12:50	7.0%	20	05:19	2	00:09	3	00:16	9	01:28	10	01:53	--	15	05:31	0	00:00	2	00:07	1	00:03
48741_4	09/02/2010 23:45	02/03/2010 20:46	clapet	63	6	44	0.1	13	501:01	248:49	49.7%	15	07:02	4	09:40	8	01:33	4	52:45	10	63:58	--	15	175:39	0	00:00	5	02:10	1	00:04
48741_5	20/03/2010 11:57	20/03/2010 12:40	clapet	56	7	37	0.2	1	00:43	00:43	100.0%	1	00:16	1	00:03	1	00:01	1	00:23	1	00:27	--	0	00:00	0	00:00	0	00:00	3	16:54
Moyenne (n=23, passés barrage)				322.1	263.0	54.5	5.4	2.4	34:05	15:06	86.5%	3.4	01:10	0.3	00:25	0.7	00:05	2.1	09:21	2.4	09:33		3.2	12:43	0.0	00:00	0.4	00:06	1.1	00:48
Médiane (n=23, passés barrage)				334.5	269.2	58.9	4.3	1.0	00:06	00:06	100.0%	1.0	00:03	0.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:03	1.0	00:03		1.0	00:03	0.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:04
48611_14	01/01/2010 22:58	01/01/2010 23:21	turbine	100	10	77	0.1	1	00:23	00:23	100.0%	1	00:18	1	00:01	1	00:01	0	00:00	1	00:02	BAGb	0	00:00	1	00:03	0	00:00	1	00:16
48611_26	15/01/2010 14:45	15/01/2010 14:50	turbine	319	256	61	4.2	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:02	1	00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:01	BAGa	0	00:00	1	00:02	0	00:00	1	00:02
48671_2	14/01/2010 21:15	14/01/2010 21:18	turbine	344	280	62	4.5	1	00:03	00:03	100.0%	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:01	1	00:01	BAGc	0	00:00	1	00:02	0	00:00	1	00:13
48671_16	16/01/2010 01:56	16/01/2010 02:09	turbine	198	122	74	1.6	1	00:13	00:13	100.0%	1	00:02	0	00:00	1	00:06	0	00:00	1	00:06	BAGb	1	00:02	1	00:03	0	00:00	1	00:02
48741_9	08/02/2010 20:16	04/05/2010 00:07	turbine	97	2	83	0.0	14	2019:51	1336:20	66.2%	36	408:03	1	00:03	5	00:57	7	03:13	11	04:13	BAGb	44	885:42	1	00:04	22	38:18	1	00:08
Moyenne (n=5, passés turbine)				211.7	133.9	71.3	2.1	3.6	404:07	267:24	93.2%	8.0	102:06	0.8	00:01	1.6	00:16	1.6	00:38	3.0	00:52		9.0	177:08	1.0	00:02	4.4	07:39	1.0	00:08
Médiane (n=5, passés turbine)				198.3	121.8	74.0	1.6	1.0	00:13	00:13	100.0%	1.0	00:10	1.0	00:01	1.0	00:03	0.0	00:00	1.0	00:02		0.0	00:00	1.0	00:03	0.0	00:00	1.0	00:08

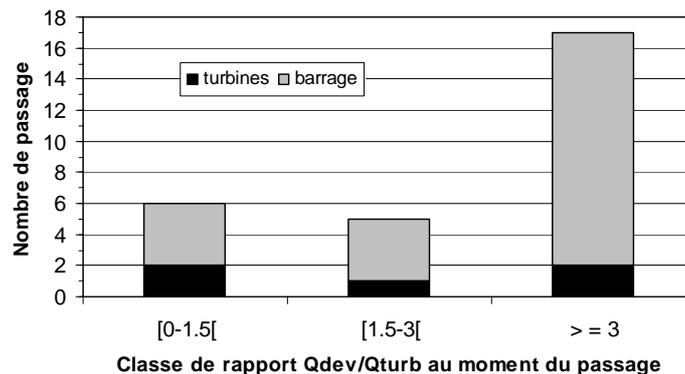


Figure 4.34 : Nombre de passages par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

4.3.4.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

- Nombre d'incursions sur site⁸ avant franchissement (Figure 4.35) :

La plupart des anguilles (18/23, soit 78%) passées par le barrage ont dévalé dès la première incursion au droit de l'ouvrage. Les 5 autres se sont présentées de 2 à 13 fois (médiane : 5 fois) sur site avant de dévaler. Dans 83% (19/23) des cas, la dévalaison a eu lieu lors de déversements importants par les évacuateurs de crue ($Q_{Gave}=145-583 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=1.8-15.2$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.36) :

Les anguilles qui ont franchi l'aménagement lors de leur première incursion ont rapidement dévalé, en 21 min en moyenne (médiane : 5 min ; maximum : 2h 46). Le blocage a été plus long pour les 5 autres qui ont réalisé plusieurs incursions. Elles ont franchi l'obstacle entre 42 min et 21 j (médiane : ~78h) après leur première arrivée. Le temps passé en repli(s) dans la retenue a été important (en moyenne : 62% ; médiane : 77% de leur temps de blocage).

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.37, Figure 4.38) :

Pour les 18 anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant la dévalaison, le temps de présence sur site dans les différents champs des antennes équivalait bien sûr à leur temps de transit (médiane : 5 min).

- 3 d'entre elles ont seulement transité par la zone générale 'retenue' (BAR) et la zone 'amont immédiat barrage' (BAB) avant de dévaler par les vannes ou le clapet ;
- 10 autres ont transité par BAR, BAB ainsi que par la zone 'pré-grilles aval' (BAGc) à proximité immédiate du clapet durant 1 à 3 min avant de dévaler par le clapet ;
- 4 autres ont transité par BAR, BAB ainsi que par les zones 'pré-grilles' médiane (BAGb) et aval (BAGc) durant 1 à 3 min avant de dévaler par le clapet ;
- enfin, une anguille a stationné en BAR avant d'explorer durant 27 min la totalité des zones pré-grilles (BAGa, b, c) et plus particulièrement BAGc (23 min) avant de dévaler par le clapet.

Les 5 anguilles qui ont réalisé plusieurs incursions ont séjourné plus longtemps sur le site (médiane : ~13h ; maximum : 10.4 j) en zones BAR, BAB ainsi qu'en BAGc (n=3) ou en BAGa, b, c (n=2) avant de dévaler par le clapet. Les prospections au niveau des pré-grilles ont été plus longues (médiane : ~2h). Trois d'entre elles ont aussi fréquenté la rive gauche de l'usine (zone BAD).

Pour rappel, 87% (20/23) des arrivées à l'ouvrage ont eu lieu alors que l'exutoire de dévalaison en rive droite proche du clapet (et à proximité de BAGc) était fermé.

Sur l'ensemble des 23 dévalaisons par le barrage, 19 (83%) se sont produites moins de 30 min après l'arrivée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site, et de nuit ou au crépuscule dans 83% des cas.

⁸ Le 'site' regroupe l'ensemble des 7 zones de réception individualisées en amont de l'ouvrage (BAR : zone générale retenue, BAB : zone centrale amont immédiat barrage, BAGa, b, c : zones amont, médiane, aval du plan des pré-grilles, BAC : zone amont RD [chambre d'eau], BAD : zone amont RG) qui, dans la configuration de Baigts, couvrent la totalité des ~200 m en amont (Figure 3.8). Aucune antenne TIRIS couvrant les exutoires de dévalaison RD et RG n'a enregistré de passage.

4.3.4.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.35) :

Parmi les 5 anguilles passées par les turbines, 4 (80%) ont dévalé dès leur première incursion au droit de l'ouvrage ($Q_t=61-77 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=0.1-4.5$) ; la 5^{ème} a effectué 14 incursions avant de passer en aval ($Q_t=83 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=0.02$)

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.36) :

Les anguilles qui ont franchi l'ouvrage dès leur première incursion ont rapidement dévalé, en 11 min en moyenne (médiane : 9 min ; maximum : 23 min, $n=4$). Le temps de blocage a été nettement plus long (84.2 jours) pour l'anguille qui est venue à l'ouvrage à plusieurs reprises avant sa dévalaison. Entre chaque incursion, elle s'est repliée dans la retenue à 300-400 m de l'obstacle (au total 34% du temps).

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.37, Figure 4.38) :

Pour les 4 anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant la dévalaison, le temps de présence sur site dans les différents champs des antennes équivaut bien sûr à leur temps de transit (médiane : 11 min).

- 2 ont transité par BAR (et BAB pour l'une) ainsi que par une seule zone 'pré-grilles' (BAGa ou BAGb) avant de traverser les pré-grilles, de passer 2 à 3 min dans la chambre d'eau de l'usine (zone BAC) et de dévaler par les turbines ;
- une autre a transité par BAR et par les zones 'pré-grilles' BAGa et BAGb avant de traverser par BAGb, de passer 3 min en BAC et de dévaler par les turbines ;
- enfin, une anguille a transité par BAR et par les 3 zones 'pré-grilles' avant de traverser en BAGc, de passer 2 min en BAC et de dévaler par les turbines.

La 5^{ème} anguille a séjourné sur site durant 55.7 jours au total, explorant plus ou moins longuement les 7 zones individualisées en amont de Baigts. Cela représente proportionnellement 66% en BAB, 31% en BAR, 0.3% en BAGa, b, c (traversée en BAGb) et 0.005% (4 min) en BAC. Elle a aussi fréquenté la rive gauche de l'usine, passant 3% du temps en BAD, dont 2% à l'amont immédiat des grilles de la microcentrale (zone BAM). A noter que ces très longues prospections ont commencé en février alors que l'exutoire de dévalaison en rive droite était ré-ouvert.

La traversée des pré-grilles s'est donc faite par BAGb dans 3 cas sur 5. De plus, 80% des dévalaisons par les turbines se sont produites de nuit et en moins de 30 min après l'arrivée de l'anguille sur site (6.7 jours après la dernière entrée pour la 5^{ème}).

4.3.4.4. Comportement des anguilles n'ayant pas franchi

Les 28 anguilles qui se sont présentées au droit de l'aménagement de Baigts l'ont toutes dévalé.

4.3.4.5. Comportement des anguilles après passage

Concernant le devenir immédiat des 28 anguilles après leur passage en aval de Baigts, 27 (96%) ont quitté le site rapidement (médiane : 4 min, maximum : 20 min), et une a prospecté en aval du barrage durant 17h avant de repartir. Seules 2 anguilles n'ont pas rejoint Puyoo (perte de 7% entre ouvrages). Une a fait l'objet d'une prédation par un cormoran (survol confirmé) à 700 m en aval de Baigts moins de 3.7 jours après son passage par les turbines. La seconde a stoppé sa migration à 2.1 km à l'aval de Baigts 48.2 jours après son passage par une vanne de l'ouvrage (75 j post-marquage).

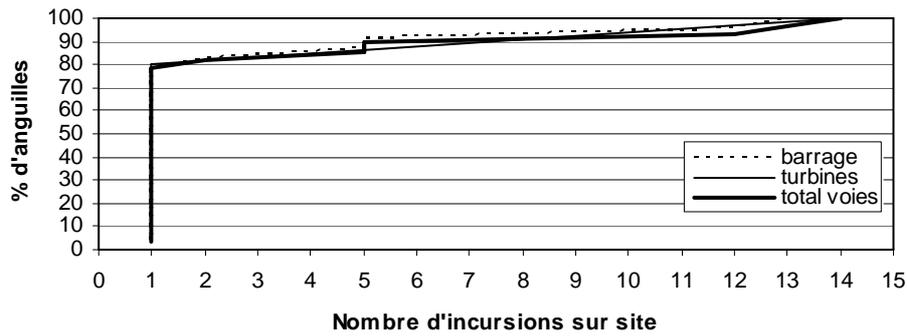


Figure 4.35 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement de Baigts

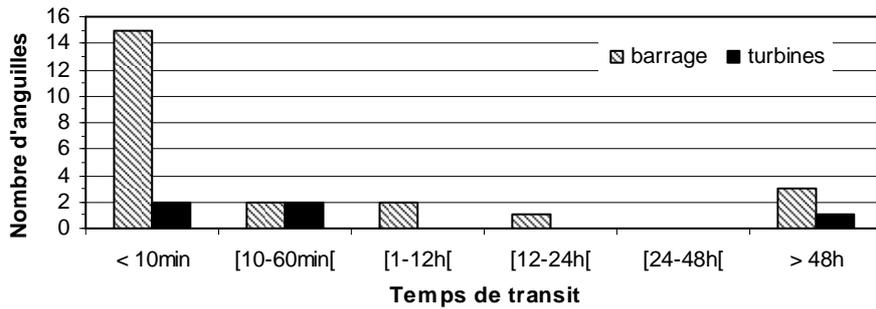


Figure 4.36 : Temps de transit avant le franchissement de Baigts

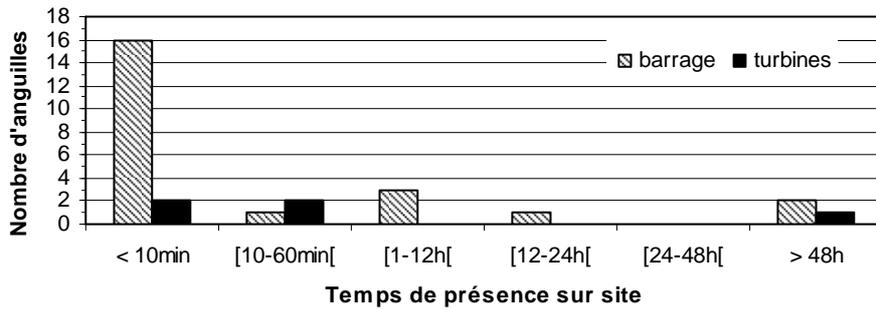


Figure 4.37 : Temps de présence sur site avant le franchissement de Baigts

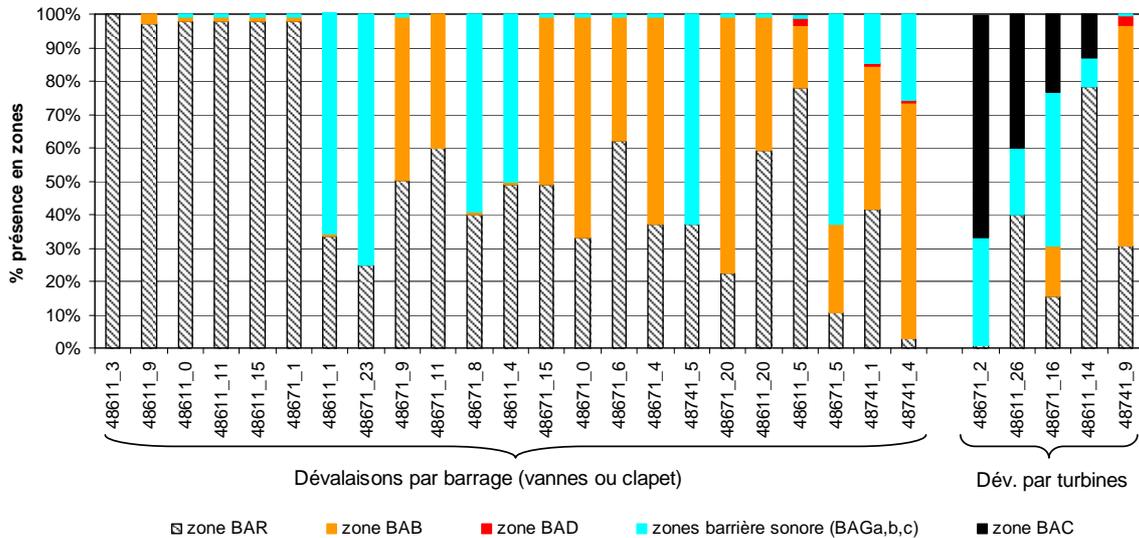


Figure 4.38 : Répartition spécifique des temps de présence des 28 anguilles dans les zones de réception amont avant leur franchissement de Baigts

4.3.4.6. Conclusions sur les franchissements de Baigts

Les passages à l'aval de Baigts ont eu lieu :

- par le barrage (vannes ou clapet) dans 82% (23/28) des cas,
- par les turbines dans 18% (5/28) des cas.

La voie de passage au niveau de l'aménagement est influencée par les conditions hydrologiques du Gave et le fonctionnement associé de l'usine (cf. Figure 4.33). Sur les 28 franchissements :

- 22 (79%) ont eu lieu lors de surverses modérées ($Q_d=90-191 \text{ m}^3/\text{s}$) à fortes ($Q_d=200-550 \text{ m}^3/\text{s}$), dont 19 par le barrage,
- les 6 autres passages (21%) se sont produits en l'absence ou à très faible surverse au barrage ($Q_d=2-21 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t < 0.5$), dont 2 par les turbines.

Les retards induits par l'ouvrage semblent également dépendre des débits (Figure 4.39). Les individus passés à débit modéré à fort ($Q \text{ Gave} > 145 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_d/Q_t \geq 1.65$) ont franchi plus rapidement l'obstacle (retard médian 5 min ; IQR 8 min) que ceux passés à bas débit (retard médian ~93h ; IQR 18 j).

Quelle que soit la voie de passage, 79% (22/28) des anguilles ont dévalé dès leur première incursion. Ces dévalaisons ont été réalisées moins d'1h après l'arrivée à l'ouvrage dans 91% (20/22) des cas, dont 17 (86%) moins de 30 min après ; 82% (18/22) d'entre elles ont eu lieu de nuit. Les 6 dévalaisons effectuées après plusieurs incursions au droit de l'ouvrage ont duré généralement plus longtemps (médiane : 17 min ; seulement 67% d'entre elles réalisées moins d'1h après la dernière entrée) et se sont terminées de nuit ou au crépuscule dans 5 cas sur 6.

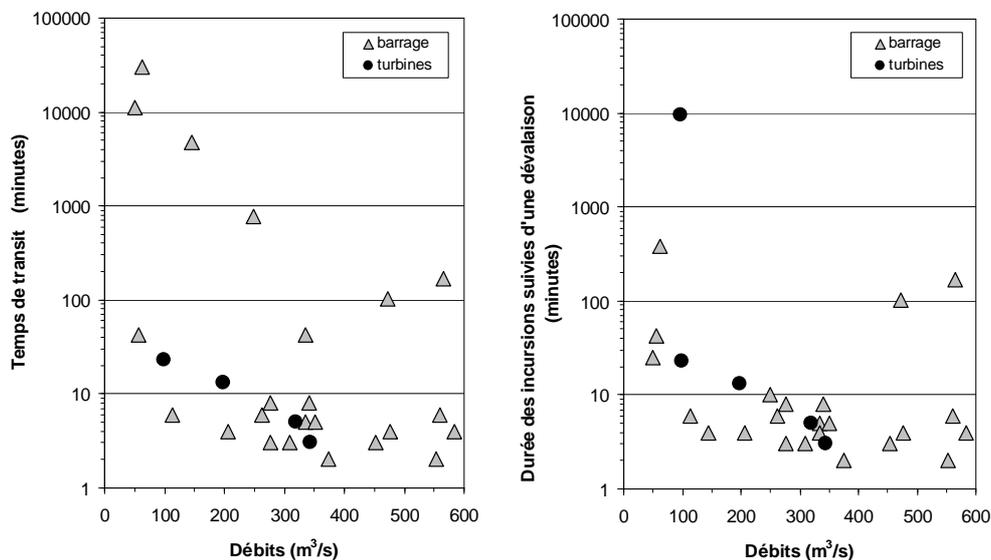


Figure 4.39 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du gave au moment des passages à Baigts par les différentes voies

4.3.5. Puyoo

Sur les 28 anguilles qui ont franchi Baigts, 26 (93%) ont atteint Puyoo, le dernier obstacle du secteur d'étude. Le dispositif d'enregistrement (Figure 3.9) a permis d'appréhender leur comportement au droit de l'aménagement. Les principaux résultats obtenus pour Puyoo sont consignés dans le Tableau 4.9.

4.3.5.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Les 26 anguilles arrivées à Puyoo ont toutes dévalé, soit un taux de franchissement de l'ouvrage de 100%. Les passages à l'aval ont eu lieu par le barrage dans 25 cas (96%) et par les turbines dans le cas restant (4%).

Comparé à d'autres ouvrages, les voies de passage à Puyoo apparaissent plus dictées par la configuration et l'équipement de l'ouvrage (débit d'équipement de l'usine : $29 \text{ m}^3/\text{s}$) et moins tributaires des conditions hydrologiques et du fonctionnement de l'usine (pris en compte par le rapport entre débit déversé [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions. Le relatif sous-équipement de l'usine a donc entraîné majoritairement (96%) des passages par le barrage quelle que soit l'importance de la surverse (Figure 4.40 et Figure 4.41) :

- en condition de surverses au barrage très faibles ($Q_d < 50 \text{ m}^3/\text{s}$) et de débits turbinés importants ($Q_t = 26-27 \text{ m}^3/\text{s}$), atteignant le débit d'équipement [QE] de l'usine ($29 \text{ m}^3/\text{s}$), 2 passages sur 26 (soit 8%) se sont produits, dont 1 par les turbines et un par le barrage.
- en condition de surverses modérées ($Q_d = 90-100 \text{ m}^3/\text{s}$) et de débits turbinés importants ($Q_t = 25-26 \text{ m}^3/\text{s}$) (soit dans un rapport Q_d/Q_t de 2 à 4), seulement 2 passages (8%) se sont produits, tous par le barrage,
- les 22 autres franchissements (85%) ont ainsi eu lieu dans une large gamme de surverses (30 à $569 \text{ m}^3/\text{s}$; médiane : $303 \text{ m}^3/\text{s}$) associée, dans 23% (5/22) des cas, à une absence ou quasi absence ($Q_t \leq 5 \text{ m}^3/\text{s}$) de turbinage à l'usine, ce qui a favorisé les passages par le barrage.

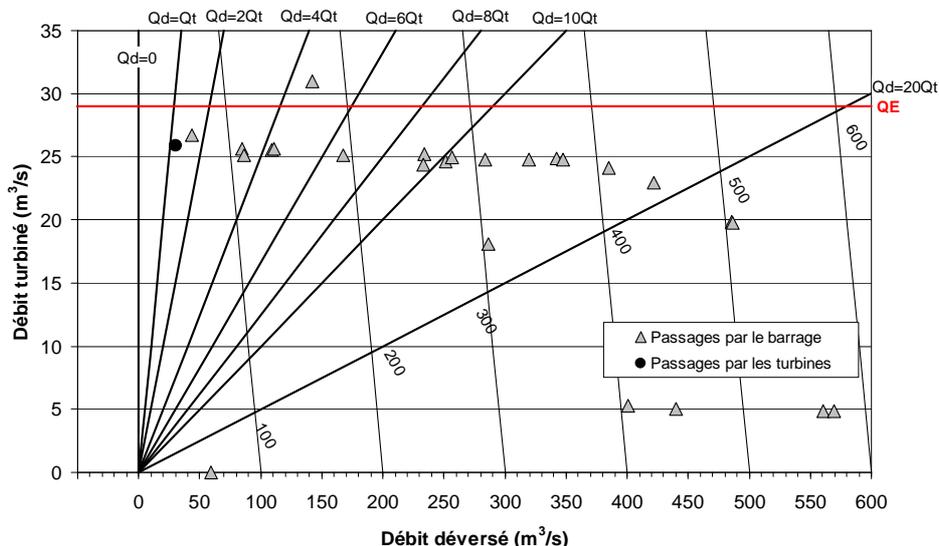


Figure 4.40 : Voie de franchissement de Puyoo suivant le fonctionnement de l'ouvrage

Tableau 4.9 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 26 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de Puyoo (pk -7.8)

Code anguille	Date & Heure 1 ^{ère} réception Puyoo	Date & Heure Passage Puyoo	Voie de passage	Débit du Gave à Puyoo (m ³ /s)	Débit déversé (Qdev, m ³ /s)	Débit turbiné (Qturb, m ³ /s)	Qdev/Qturb lors passage	Nb Inc. sur site	Durée de blocage (hh:mm)	Durée de présence sur site	% Durée sur site lors blocage	Nb Inc. z.PUG	Durée z.PUG	Nb Inc. z.PUT	Durée z.PUT	Nb Inc. z.PUE	Durée z.PUE	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48611_0	14/01/2010 23:00	14/01/2010 23:03	barrage	413	385	24	16.0	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	00:13
48611_1	14/01/2010 21:16	14/01/2010 21:23	barrage	348	319	25	12.9	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:07	0	00:00	0	00:00	1	00:15
48611_3	16/01/2010 02:14	16/01/2010 02:30	barrage	197	168	25	6.7	1	00:16	00:16	100.0%	1	00:16	0	00:00	0	00:00	1	00:14
48611_4	14/01/2010 01:42	14/01/2010 01:53	barrage	115	86	25	3.4	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:11	0	00:00	0	00:00	1	00:17
48611_5	14/01/2010 18:33	14/01/2010 18:38	barrage	262	234	25	9.3	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:13
48611_11	22/01/2010 08:33	22/01/2010 09:08	barrage	114	85	26	3.3	1	00:35	00:35	100.0%	1	00:35	0	00:00	0	00:00	1	00:28
48611_15	15/01/2010 11:57	15/01/2010 12:07	barrage	409	401	5	75.9	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:10	0	00:00	0	00:00	1	00:09
48611_20	15/01/2010 15:06	15/01/2010 15:18	barrage	308	286	18	15.8	1	00:12	00:12	100.0%	1	00:12	0	00:00	0	00:00	1	00:19
48611_26	15/01/2010 16:33	15/01/2010 16:55	barrage	279	251	25	10.2	1	00:22	00:22	100.0%	1	00:22	0	00:00	0	00:00	1	00:35
48671_0	14/01/2010 19:41	14/01/2010 19:46	barrage	285	257	25	10.3	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:17
48671_1	15/01/2010 18:06	15/01/2010 18:19	barrage	261	233	24	9.6	1	00:13	00:13	100.0%	1	00:13	0	00:00	0	00:00	1	00:15
48671_2	14/01/2010 23:38	14/01/2010 23:56	barrage	448	422	23	18.4	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:18	0	00:00	0	00:00	1	00:48
48671_4	14/01/2010 22:02	14/01/2010 22:07	barrage	376	347	25	14.0	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:23
48671_5	18/01/2010 04:08	18/01/2010 04:25	barrage	140	111	26	4.3	1	00:17	00:17	100.0%	1	00:17	0	00:00	0	00:00	1	00:25
48671_6	14/01/2010 20:19	14/01/2010 20:30	barrage	312	284	25	11.5	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:11	0	00:00	0	00:00	1	00:17
48671_8	15/01/2010 07:56	15/01/2010 08:00	barrage	569	561	5	116.4	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	0	00:00	1	00:11
48671_9	15/01/2010 01:26	15/01/2010 01:33	barrage	510	487	20	24.7	1	00:07	00:07	100.0%	1	00:07	0	00:00	0	00:00	1	00:13
48671_11	14/01/2010 21:54	14/01/2010 21:59	barrage	370	342	25	13.8	1	00:05	00:05	100.0%	1	00:05	0	00:00	0	00:00	1	00:13
48671_15	15/01/2010 11:10	15/01/2010 11:24	barrage	449	440	5	87.9	1	00:14	00:14	100.0%	1	00:14	0	00:00	0	00:00	1	00:25
48671_16	16/01/2010 16:19	16/01/2010 16:34	barrage	138	109	26	4.3	1	00:15	00:15	100.0%	1	00:15	0	00:00	0	00:00	1	00:26
48671_20	15/01/2010 01:28	15/01/2010 01:31	barrage	509	485	20	24.5	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	1	00:12
48671_23	15/01/2010 07:13	15/01/2010 07:17	barrage	578	569	5	117.5	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	0	00:00	0	00:00	1	00:10
48741_4	02/03/2010 23:16	03/03/2010 18:45	barrage	62	59	0	58.8	3	19:29	00:22	1.9%	3	00:22	0	00:00	0	00:00	1	00:25
48741_5	21/03/2010 19:32	21/03/2010 19:52	barrage	74	43	27	1.6	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:20	0	00:00	0	00:00	1	00:55
48741_9	07/05/2010 06:11	07/05/2010 06:36	barrage	177	142	31	4.6	1	00:25	00:25	100.0%	1	00:25	0	00:00	0	00:00	1	00:17
Moyenne (n=25, passés barrage)				308.0	284.2	20.3	27.0	1.1	00:58	00:12	96.1%	1.1	00:12	0.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:20
Médiane (n=25, passés barrage)				307.7	283.7	24.8	12.9	1.0	00:11	00:11	100.0%	1.0	00:11	0.0	00:00	0.0	00:00	1.0	00:17
48741_1	13/04/2010 21:22	14/04/2010 01:49	turbine	60	30	26	1.2	1	04:27	04:27	100.0%	1	00:16	3	04:11	0	00:00	1	398:31

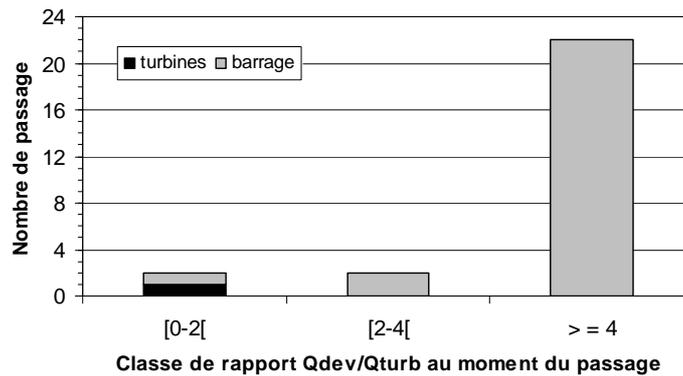


Figure 4.41 : Nombre de passages par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

4.3.5.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

- Nombre d'incursions sur site⁹ avant franchissement (Figure 4.42) :

Parmi les 25 anguilles passées par le barrage, 24 (96%) ont dévalé dès leur première incursion au droit de l'ouvrage ($Q_d=43-569 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d/Q_t=1.6-118$) ; la 25^{ème} a effectué 3 incursions avant de passer en aval sur un débit parmi les plus faibles ($Q \text{ Gave}=62 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_d=59 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_t=0 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.43) :

Les franchissements ont eu lieu entre 3 min et 35 min (médiane : 11 min) après l'arrivée chez les 24 anguilles ayant dévalé à la première incursion, et 19h 29min après la première arrivée sur site pour l'autre anguille. Entre chaque incursion, celle-ci s'est repliée à plus de 500 m en amont du barrage (au total 98% du temps).

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.44, Figure 4.45) :

Pour les anguilles qui n'ont effectué aucun repli avant la dévalaison, le temps de présence sur site, en zone PUG exclusivement, équivaut à leur temps de transit (médiane : 11 min). La 25^{ème} anguille a stationné 22 min sur le site (en PUG exclusivement) avant de dévaler. Toutes les dévalaisons par le barrage sont intervenues moins de 35 min après l'entrée (ou dernière entrée) de l'anguille sur site, et dans 72% (18/25) des cas, elles ont eu lieu de nuit ou au crépuscule (16% de jour, 12% à l'aube).

4.3.5.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

- Nombre d'incursions sur site avant franchissement (Figure 4.42) :

La seule anguille passée par les turbines a dévalé dès sa première incursion au droit de l'ouvrage. Le passage a été réalisé à faible débit du Gave ($60 \text{ m}^3/\text{s}$), dans un rapport Q_d/Q_t de 1.2 ($Q_d=30 \text{ m}^3/\text{s}$ vs. $Q_t=26 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Temps de transit sur site avant franchissement (Figure 4.43) :

L'anguille a donc dévalé directement (sans repli), en 4h 27min après son arrivée sur site.

- Temps de présence sur site et changements de zones (Figure 4.44, Figure 4.45) :

Arrivée sur site par la zone barrage PUG, l'anguille a stationné ensuite quasi exclusivement (4h 11min, soit 94% du temps) dans le champ d'antenne PUT du canal d'amenée de l'usine, restant dans cette large zone tout en effectuant un aller-retour entre le plan de grilles des turbines en rive gauche et l'entrée de l'exutoire de dévalaison en rive droite du canal d'amenée. A terme, elle a traversé le plan de grilles et dévalé par les turbines. Cette dévalaison a eu lieu de nuit.

⁹ Le 'site' correspond à l'ensemble des 3 zones de réception amont individualisées au droit de l'ouvrage (PUG : zone générale amont/aval barrage, PUT : zone canal d'amenée de l'usine incluant aussi l'amont immédiat du plan de grilles des turbines, EXU : zone centrale du canal de l'exutoire de dévalaison) qui, dans la configuration de Puyoo, couvrent la totalité des ~500 m en amont de l'aménagement (Figure 3.9).

4.3.5.4. Comportement des anguilles n'ayant pas franchi

Les 26 anguilles qui se sont présentées au droit de l'aménagement de Puyoo l'ont toutes dévalé.

4.3.5.5. Comportement des anguilles après passage

Concernant le devenir immédiat des 26 anguilles en aval de Puyoo, celles passées par le barrage ont toutes quitté le site rapidement (médiane : 17 min, maximum : 55 min, n=25). Par contre, celle passée par les turbines est très probablement morte ; sa marque a été enregistrée en continu dans le canal de fuite de l'usine durant 17 jours jusqu'à l'arrêt (87.3 j post-marquage).

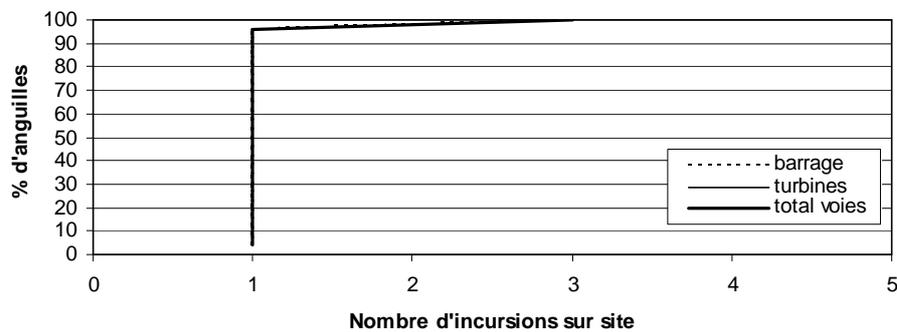


Figure 4.42 : Nombre d'incursions sur site avant le franchissement de Puyoo

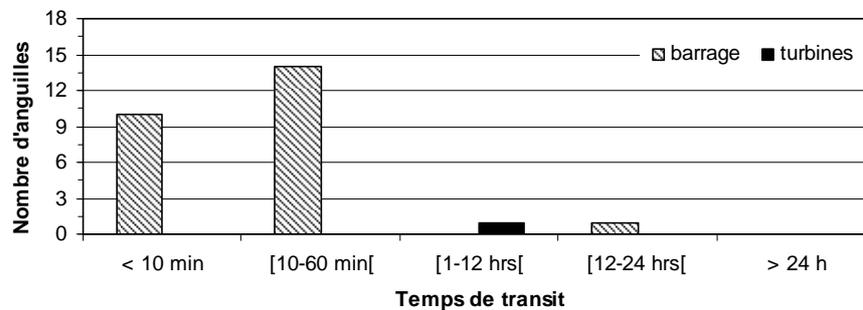


Figure 4.43 : Temps de transit avant le franchissement de Puyoo

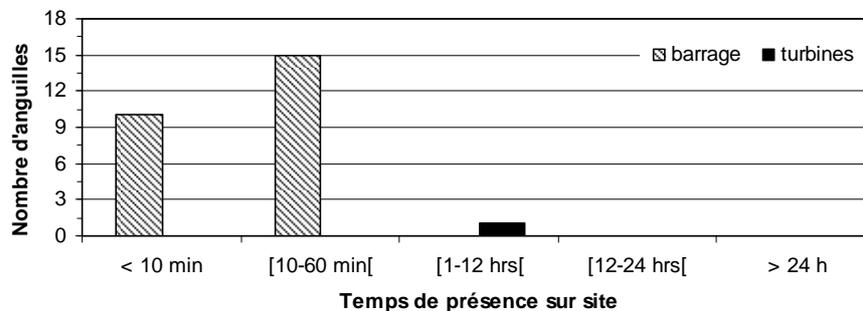


Figure 4.44 : Temps de présence sur site avant le franchissement de Puyoo

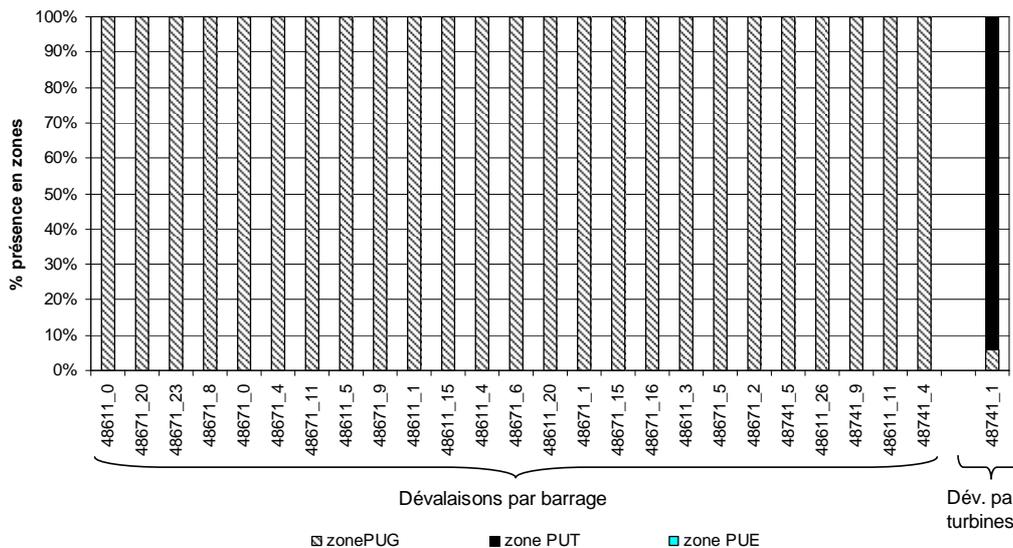


Figure 4.45 : Répartition spécifique des temps de présence des 26 anguilles dans les zones de réception amont avant leur franchissement de Puyoo

4.3.5.6. Conclusions sur les franchissements de Puyoo

La voie de passage au niveau de cet ouvrage est à la fois influencée par les conditions hydrologiques du Gave et par le fonctionnement associé de l'usine (faiblesse du débit d'équipement) (cf. Figure 4.40). Sur les 26 franchissements, 25 (96%) ont été effectués par le barrage et ce, dans une large gamme de déversements ($Q_d=43-569 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les retards induits par l'ouvrage semblent dépendre des débits (Figure 4.46). Les anguilles arrivant à bas débit ($Q \text{ Gave}=60-115 \text{ m}^3/\text{s}$; médiane : $85 \text{ m}^3/\text{s}$, $n=5$) tendent à franchir moins rapidement (retard médian 35 min ; IQR ~4h) que celles passées à plus fort débit (retard médian 10 min ; IQR 10 min).

Enfin, les dévalaisons se sont produites moins de 30 min après l'arrivée à l'ouvrage dans 92% (24/26) des cas et de nuit ou au crépuscule dans 73% (19/26) des cas.

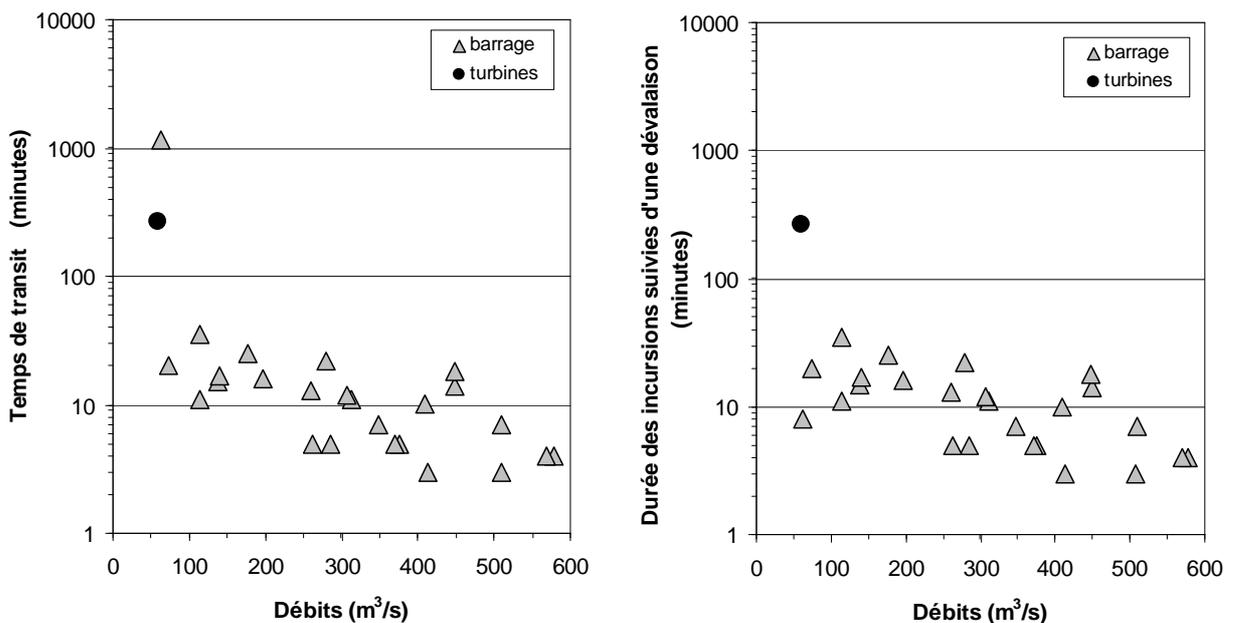


Figure 4.46 : Variabilité des temps de transit et de dévalaison suivant les débits du gave au moment des passages à Puyoo par le barrage

4.4. Analyse sur les ouvrages cumulés

4.4.1. Taux de sortie du secteur d'étude

Le taux de sortie du secteur d'étude représente le nombre total d'anguilles franchissant le dernier obstacle aval de la zone d'étude (Puyoo) ramené au nombre total de poissons atteignant le premier obstacle situé en aval de leur point de déversement. Ainsi, pour cette campagne, nous avons calculé 2 taux de sortie de la zone d'étude, correspondant au secteur Artix – Puyoo pour les lots d'anguilles relâchés à Jurançon, et Biron – Puyoo pour ceux relâchés à Gouze.

Toutefois, l'ouvrage d'Artix n'a pas été équipé cette année de stations fixes de radiopistage. Seuls les suivis manuels quasi quotidiens en aval de l'ouvrage ont permis de confirmer le franchissement d'Artix par 14 anguilles, de cerner assez finement leur date de passage mais évidemment sans précision sur la voie empruntée (même si les débits enregistrés lors des plages horaires supposées des passages et les vitesses de progression dans le bief aval jusqu'au second obstacle peuvent déjà nous aider). De plus, les suivis manuels sur le secteur en amont ont permis de confirmer la présence à plusieurs reprises à 100 m du barrage d'Artix de 2 autres anguilles qui n'ont pas franchi mais qui ont pu réaliser quelques incursions à l'amont immédiat de l'obstacle (couvert précédemment par un champ d'antenne dans la limite amont de ~90-100 m). Un second taux de sortie pour le tronçon Artix – Puyoo a alors été calculé, en se basant pour Artix sur les 16 arrivées supposées à l'ouvrage et non plus par défaut sur les seuls 14 franchissements, ce qui paraît plus légitime étant donné le taux d'échec de passage constaté à Artix les années précédentes (2% à 5% ; Bau *et al.*, 2008, 2010a).

Finalement, nous avons calculé trois taux de sortie de la zone d'étude correspondant aux anguilles transitant sur les différents secteurs identifiés :

- **Artix – Puyoo :**
 - ou { **43%** : 6 anguilles franchissant Puyoo parmi les 14 franchissant Artix (chiffre réel, optimal)
 - 38%** : 6 anguilles franchissant Puyoo parmi les 16 atteignant Artix (chiffre estimé, réaliste)
- **Biron – Puyoo :**
 - 42%** : 20 anguilles franchissant Puyoo parmi les 48 atteignant Biron.

Le taux de sortie du tronçon Artix-Puyoo, correspondant au franchissement de 6 ouvrages, reste faible mais comparable à celui obtenu en 2007-2008 (33%) et 2008-2009 (32%) (Bau *et al.*, 2008, 2010a). Par contre, le taux de sortie du tronçon Biron-Puyoo, correspondant au franchissement de 5 ouvrages, est nettement plus faible que celui obtenu en 2008-2009 (60%). Les « pertes » correspondent à des anguilles qui ont arrêté leur dévalaison en amont de Puyoo pour différentes raisons : dommage voire mortalité après franchissement d'un ou plusieurs obstacles, arrêt de migration momentané ou définitif, prédation... (cf. chap. 4.6).

Il est important de préciser qu'en l'absence (quelle que soit l'année) de suivis systématiques en aval du secteur d'étude, le taux de sortie donné ne peut pas prendre en compte le devenir ultime des anguilles en aval de Puyoo, sur le dernier secteur sans obstacle menant à la mer. **Il ne s'agit donc pas en toute rigueur d'un taux d'échappement réel, mais plutôt d'un taux de sortie hors des limites de la zone d'étude qui peut représenter le taux d'échappement maximum potentiellement atteint en fin d'axe.**

Le taux de sortie n'est qu'une approche globale, qui reste peu comparable d'un tronçon à l'autre et d'une année à l'autre si l'on ne tient pas compte des conditions hydrologiques notamment après le lâcher des anguilles. **Il faut en effet impérativement tenir compte de l'hydrologie immédiatement après le déversement qui conditionne aussi bien la reprise de la dévalaison que l'enchaînement des franchissements d'obstacles.** Les anguilles des lots 1 et 3 ont connu 6-8 jours après leur lâcher des événements hydrologiques d'amplitude modérée (cf. Figure 4.3), tandis que celles du lot 2 ont connu 8 jours après le lâcher une crue de 600 m³/s. Aussi, 52% du lot 2 a-t-il réussi à dévaler jusqu'en aval de Puyoo contre seulement 36% du lot 1 et 16% du lot 3 (malgré la forte proportion de lâchers à Gouze dans ce dernier lot).

L'hydrologie lors du déversement conditionne aussi la voie de passage aux ouvrages. Cette année où les périodes de forts débits ont été plus rares, **il y a eu nettement moins de dévalaisons effectuées en évitant toutes les turbines : 23% (6/26) au maximum** contre 69% (18/26) l'an dernier ; 4 de ces 6 dévalaisons ont été réalisées par des anguilles du lot 2. **Les forts débits faciliteront à la fois la dévalaison mais aussi le franchissement des ouvrages par le barrage.**

4.4.2. Taux de franchissement

Les taux de franchissement des obstacles (i.e., nombre d'anguilles ayant franchi l'obstacle/nombre d'anguilles s'étant présentées au moins une fois à l'obstacle) sont relativement élevés, de 100% à Baigts et Puyoo à 85% (35 sur 41) à Castetarbe (Figure 4.47). A Artix, le taux est estimé à 88% (14 sur 16). En revanche, les taux de transfert entre les obstacles (nombre d'anguilles s'étant présentées à l'ouvrage/nombre d'anguilles sur le secteur) ont été très variables, de 59% entre le point de lâcher à Jurançon et Artix (estimation) à 96% entre Biron et Sapso.

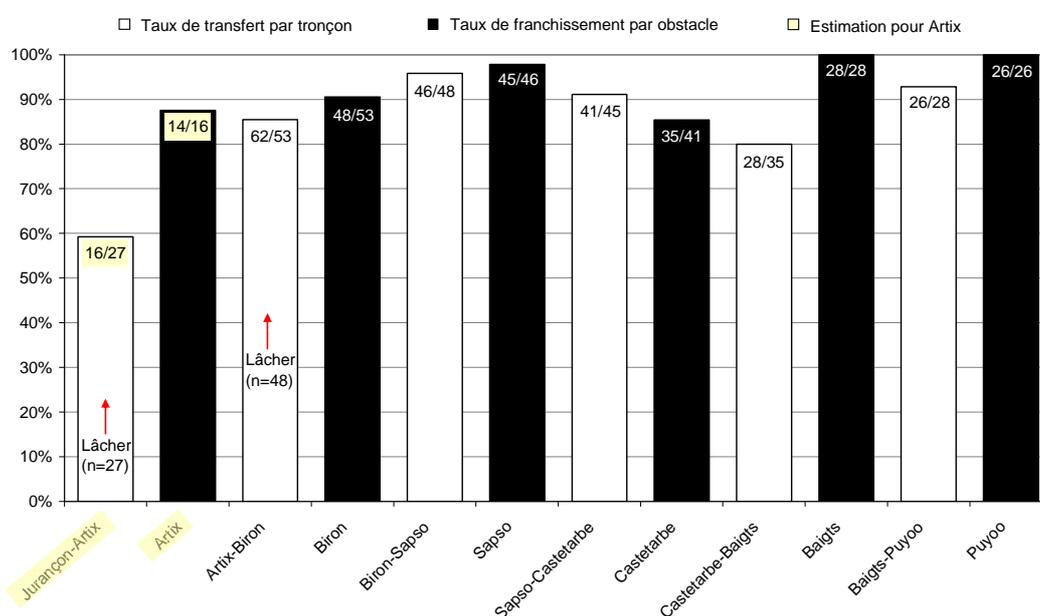


Figure 4.47 : Taux de franchissement des obstacles et taux de transfert dans les tronçons

4.4.3. Voies de franchissement aux différents ouvrages

La répartition des passages des anguilles entre les voies de franchissement possibles aux ouvrages est différente d'un site à l'autre (Tableau 4.10). A Biron, les franchissements se sont produits en majorité (65%) par les turbines alors qu'aux autres ouvrages aval, les passages par le barrage (ou le clapet) sont prépondérants, allant de 53% à Sapso à 96% à Puyoo.

Tableau 4.10 : Voies de franchissement des six ouvrages

Voies	Artix**	Biron	Sapso	Castetarbe	Baigts	Puyoo
Barrage	8 (57%)***	15 (31%)	24 (53%)	31 (89%)	23 (82%)	25 (96%)
Turbines	?	31 (65%)	21 (47%)	3 (9%)	5 (18%)	1 (4%)
Exutoire	?	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Autres*	?	2 (4%)	0 (0%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)
Total	14	48	45	35	28	26

* Autres voies empruntées : rivière de contournement (Biron), passe à bassins pour la montaison (Castetarbe)

** Ouvrage non équipé de stations télémétriques, donc voie de passage non enregistrée

*** Voie de passage supposée étant donné les débits rencontrés et les vitesses de dévalaison dans le bief aval

Ces résultats sont comparables à ceux des 3 précédentes années pour Castetarbe, Baigts et Puyoo (respectivement 72-92%, 62-82% et 91-100% par le barrage) (Bau *et al.*, 2008, 2010a ; Travade *et al.*, 2009). Par contre, ils diffèrent pour Biron et Sapso où la proportion de passages par les turbines a été plus importante cette année (respectivement 65% versus 44-59% et 47% versus 30%). Enfin, pour Artix, où les passages par le barrage sont souvent minoritaires (24-31%, Bau *et al.*, 2008, 2010a ; voire 10%, Subra *et al.*, 2008), il est très probable qu'au moins 8 des 14 franchissements (57%) se soient produits par le barrage, tous entre le 14 et le 15/01/2010 (crue).

Les anguilles n'ont pas utilisé cette année les exutoires de dévalaison dimensionnés pour le saumon pour franchir les obstacles (contre 3% à Castetarbe, 11-18% à Baigts, 8-14% à Artix au cours des 2 dernières années), mais l'exutoire de Baigts en rive droite était fermé durant la crue de la mi-janvier (et aucun moyen de surveillance pour celui d'Artix). En revanche, 2 anguilles ont emprunté la rivière de contournement à Biron et une autre, la passe à bassins pour la montaison à Castetarbe.

4.4.4. Heures de franchissement

Le caractère nocturne du franchissement des ouvrages hydroélectriques par l'anguille a été montré pour chacun des aménagements dans le chapitre précédent. Cela se retrouve bien évidemment ici en considérant les 182 franchissements effectués sur l'ensemble des 5¹⁰ ouvrages. Ils se déroulent donc essentiellement la nuit, avec 85% (155/182) d'entre eux réalisés entre 17h00 et 9h00 (Figure 4.48). Un nombre important (90/182, soit 49%) est enregistré en première partie de nuit (18h00 à minuit).

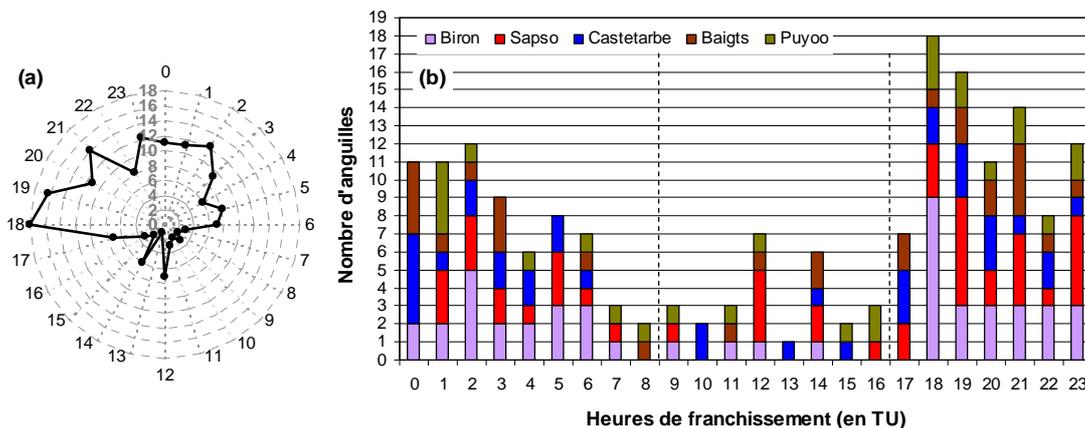


Figure 4.48 : Horaires de franchissement des ouvrages cumulés (a) ou individuels (b)

Si les franchissements sont majoritairement nocturnes quel que soit l'ouvrage (92% des cas à Biron, 82% à Sapso, 86% à Castetarbe et Baigts et 77% à Puyoo), il existe néanmoins une certaine disparité entre sites liée en partie au décalage dans le temps des pics de passages, décalage qui correspond au temps nécessaire aux anguilles qui dévalent en crue pour parcourir les distances entre sites. Ainsi, des pics de passages ont été observés vers 18h00 à Biron (19%), 19h00 à Sapso (13%), vers minuit à Castetarbe et Baigts (14%) et vers 01h00 à Puyoo (15%).

4.4.5. Bilan des durées totales de migration

La durée totale de migration, pour chacune des 26 anguilles ayant franchi Puyoo (dernier obstacle de la zone d'étude), est variable selon les individus (de 7.2 à 93.6 jours) et surtout selon les conditions hydrologiques rencontrées par les anguilles immédiatement après leur déversement (Figure 4.49). Les anguilles du lot 1 n'ayant pas rencontré une forte hydrologie immédiatement après leur lâcher ont mis respectivement 27.1 et 26.4 jours pour 50% d'entre elles pour parcourir Jurançon-Puyoo (60.3 km) et Gouze-Puyoo (26.2 km). Celles du lot 3 qui n'ont pas connu également de forte hydrologie après le lâcher ont mis plus de 58 jours pour 50% d'entre elles pour parcourir Gouze-Puyoo. En revanche, les anguilles du lot 2 ayant été soumises rapidement à une forte crue ont mis 7.6 et 7.4 jours pour 50% d'entre elles pour franchir respectivement les 60.3 km et les 26.2 km du secteur d'étude.

¹⁰ L'ouvrage d'Artix n'est pas pris en compte, les dates et heures de passages à ce niveau n'étant pas connues avec précision.

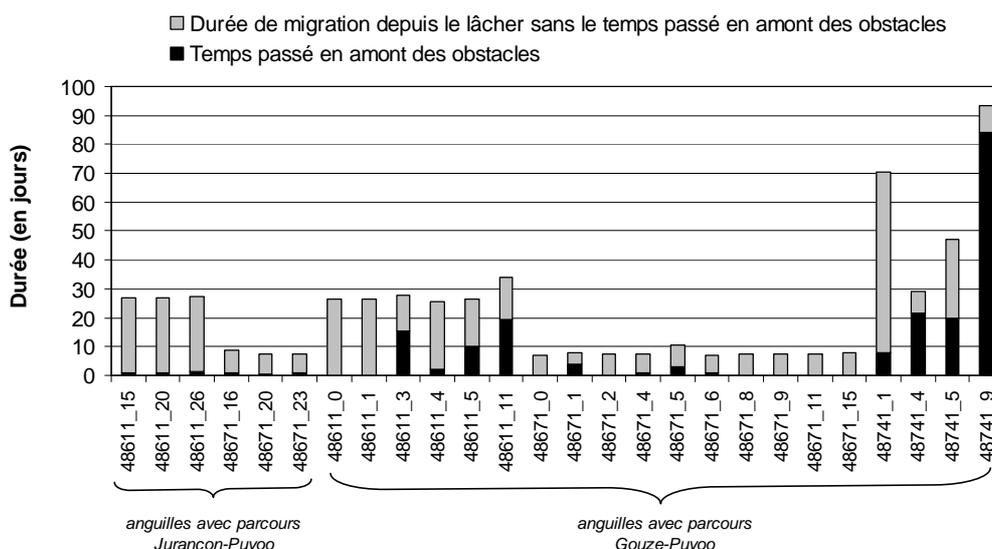


Figure 4.49 : Durée totale de migration des anguilles ayant franchi les différents obstacles situés en aval de leur point de lâcher

4.4.6. Temps passés à l'amont des ouvrages

Les temps passés par les anguilles à l'amont des ouvrages¹¹ avant leur franchissement ont différé selon l'aménagement (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 37.1$, ddl=4, $p < 0.001$ pour les 5 ouvrages équipés). En règle générale, ils sont restés de courtes durées, soit 6 min (Sapso, Castetarbe, Baigts), 11 min (Puyoo) et 21 min (Biron) pour 50% des individus (Figure 4.50). Le temps donné pour Artix (>22h pour 50% des individus) est largement surestimé puisqu'il s'agit, du fait d'un ouvrage non équipé, d'une fenêtre de temps entre la dernière localisation manuelle en amont et la première localisation manuelle en aval de l'ouvrage, ces localisations pouvant être dans les deux cas parfois éloignées d'Artix.

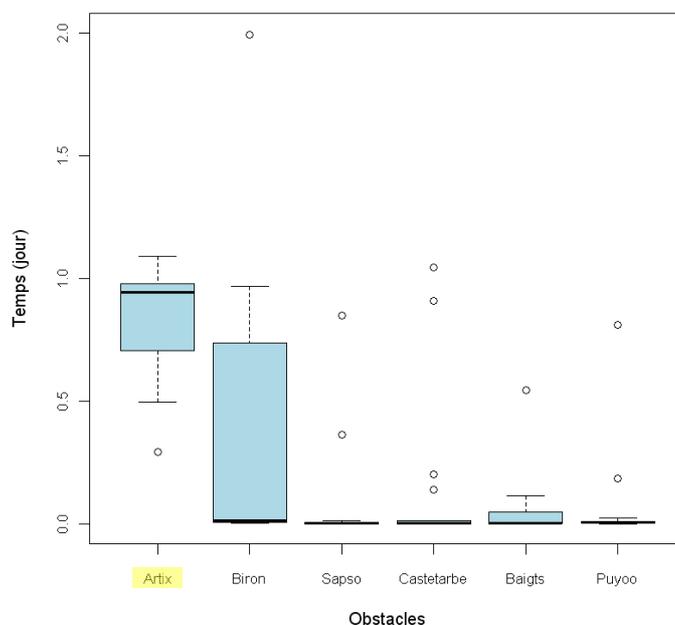


Figure 4.50 : Box plots des temps passés à l'amont des ouvrages

¹¹ Il s'agit du temps total passé par une anguille en amont de l'ouvrage, de sa première incursion sur site détectée par l'une des antennes (le plus souvent l'antenne de la zone générale amont) jusqu'au franchissement. Dans le cas d'un franchissement après plusieurs incursions, ce temps total (ou temps de blocage) intègre le temps, entre chaque incursion, passé par l'anguille en situation de replis et d'attente dans ou en limite de retenue.

Toutefois, ces valeurs recouvrent une forte disparité, à la fois entre individus sur un obstacle donné (cf. Figure 4.50) et pour un même individu entre obstacles. Il est très important de distinguer, pour chaque ouvrage, les anguilles franchissant lors de leur 1^{ère} incursion, qui sont majoritaires, de celles franchissant après plusieurs incursions. Il faut également souligner que beaucoup d'anguilles arrêtent momentanément leur migration de manière plus ou moins prolongée dans des zones souvent situées en amont des ouvrages et placées sous l'influence du ralentissement des écoulements provoqué par le barrage. Elles peuvent séjourner relativement longtemps dans ces zones sans être détectées par les antennes positionnées en amont du site et sans effectuer d'incursion à l'ouvrage¹².

4.4.7. Estimation de la vitesse de dévalaison

Comme pour la campagne précédente, tous les individus n'ont pas été relâchés cette année au même endroit : les remises à l'eau des 3 lots ont été fractionnées en 2 lieux différents : Jurançon et Gouze. Pour éviter le biais dans l'estimation de la dynamique de dévalaison lié au temps de stabulation et de récupération physiologique nécessaire dans le cours d'eau occasionné par les phases de transport, de manipulation et de lâcher des individus marqués, les progressions sur les tronçons Jurançon-Artix et Gouze-Biron n'ont pas été intégrées au calcul des vitesses de dévalaison. D'ailleurs, les vitesses moyennes très faibles sur les 2 tronçons [respectivement $0.07^{13} \pm 0.01$ km/h (n=14), 0.04 ± 0.004 km/h (n=38)] par rapport aux vitesses moyennes enregistrées sur les autres secteurs entre ouvrages chez des anguilles toutes plus ou moins en dynamique de dévalaison témoignent bien de l'effet retardataire même momentané de la phase de lâcher sur la reprise de la migration.

Ainsi, seuls les enregistrements précis des dates de franchissement des ouvrages ont été considérés¹⁴ et ont permis d'estimer la vitesse de dévalaison des anguilles sur les 5 tronçons (Figure 4.51). En prenant en compte l'ensemble des anguilles qui parcourent la totalité du tronçon (avec ou sans arrêt de migration), on obtient des vitesses de dévalaison variables (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 14.1$, ddl=4, $p < 0.01$) quel que soit le tronçon considéré. Ces vitesses sont comprises entre 0.1 et 1.6 km/h (médiane : 0.5 km/h, n=3) sur le tronçon 1 "Artix-Biron", entre 0.004 et 10 km/h (médiane : 2.9 km/h, n=45) sur le tronçon 2 "Biron-Sapso", entre 0.004 et 7.6 km/h (médiane : 2.5 km/h, n=35) sur le tronçon 3 "Sapso-Castetarbe", entre 0.003 et 6.8 km/h (médiane : 2.8 km/h, n=28) sur le tronçon 4 "Castetarbe-Baigts" et entre 0.04 et 10.2 km/h (médiane : 6.3 km/h, n=26) sur le tronçon 5 "Baigts-Puyoo".

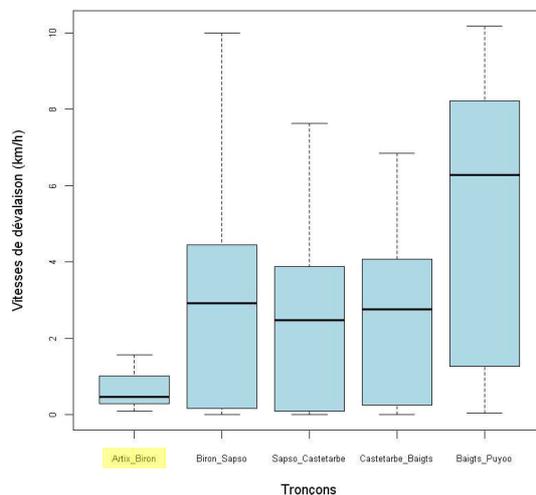


Figure 4.51 : Box plots des vitesses de dévalaison par tronçon

¹² Le temps (éventuellement) passé par une anguille dans ou en limite de retenue avant sa première détection sur le site n'est pas quantifiable (hors champ d'antenne) et n'est donc pas inclus dans le temps assé en amont de l'ouvrage. En revanche, les temps de replis en retenue (éventuellement) effectués après sont quantifiables par défaut (= temps entre fin première incursion et début nouvelle incursion sur site) et donc intégrés au temps total (cf. note 11).

¹³ Les vitesses de dévalaison entre Jurançon et Artix sont également faibles car sous estimées du fait de l'ouvrage non équipé : les vitesses sont alors calculées à partir d'une durée de dévalaison surestimée car basée sur la première localisation manuelle en aval d'Artix et non pas sur un enregistrement de passage à l'ouvrage.

¹⁴ Néanmoins, pour 3 anguilles, la vitesse de dévalaison entre Artix et Biron a pu être considérée, car calculée avec assez de précision étant donné la bonne estimation de la fenêtre de passage à Artix (localisations manuelles à 3.0-4.9 km en aval d'Artix rapidement (<24h pour deux d'entre elles) après le dernier repérage en amont).

Cette variabilité des vitesses entre tronçons est bien sûr liée en premier lieu au nombre d'anguilles par tronçon ayant vraisemblablement marqué un arrêt : la proportion d'anguilles ayant ralenti ou stoppé momentanément leur dévalaison apparaît plus importante sur les tronçons 1, 3 et 4 (33%, 26%, 18%), d'où une vitesse moyenne de moins de 2.6 km/h dans les 3 cas, que sur les tronçons 2 et 5 (13%, 8%) parcourus à une vitesse moyenne supérieure à 3-5 km/h (Figure 4.52). Même en ne s'attachant qu'aux anguilles qui ont apparemment dévalé sans s'arrêter (anguilles qualifiées "d'actives"), on constate encore une certaine variabilité entre les tronçons (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 11.99$, ddl=4, p=0.017). Les vitesses de migration sont différentes selon la topographie du tronçon de rivière considéré. En effet, les vitesses moyennes estimées entre les ouvrages de Baigts et Puyoo (tronçon 5 : 7.8 km), Sapso et Castetarbe (tronçon 3 : 2.8 km) ou Biron et Sapso (tronçon 2 : 2 km) sont, chez les anguilles "actives", en général plus élevées (respectivement 5.7, 3.5 et 3.6 km/h) que celles mesurées entre Artix et Biron (tronçon 1 : 21.7 km) ou Castetarbe et Baigts (tronçon 4 : 5.7 km) (1.02 et 3.1 km/h), en raison de la longueur des retenues à franchir en amont de Biron et en amont de Baigts.

D'autre part, quel que soit le tronçon considéré, on constate que les vitesses de dévalaison chez les anguilles "actives" augmentent avec le débit (Figure 4.52) : les vitesses peuvent varier du simple au double lorsque le débit passe de 100 à 300 m³/s environ.

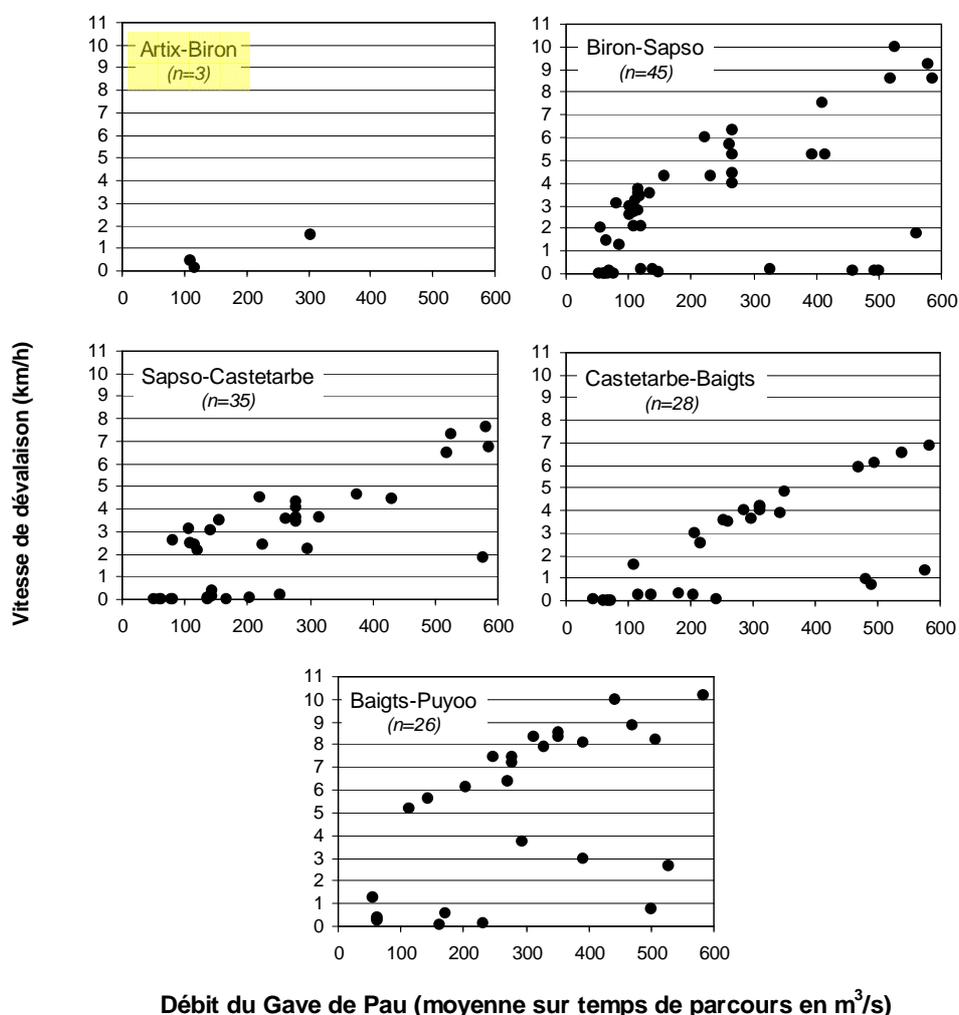


Figure 4.52 : Vitesse de dévalaison par tronçon en fonction du débit du Gave de Pau

4.5. Rôle des facteurs environnementaux et anthropiques

Comme lors des précédentes campagnes, la dévalaison des 75 anguilles a été fortement influencée par les paramètres environnementaux, essentiellement le débit, mais également par les facteurs anthropiques (configuration de l'ouvrage et configuration des grilles...).

4.5.1. Influence des débits sur l'activité migratoire

L'activité migratoire des anguilles dans le cours d'eau et leur activité de franchissement des ouvrages sont fortement influencées par les débits de la rivière. Sur les 182 franchissements réalisés au total sur les 5¹⁵ ouvrages équipés, 154 (85%) se sont produits lors des 18 événements hydrologiques (épisodes de crue ou de hautes eaux ; cf. Tableau 4.2), soit lors de débits supérieurs au module (>82 m³/s) qui n'existent pourtant que durant 33% du temps d'étude ($\chi^2 = 1249.5$, ddl=4, $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$) (Figure 4.53).

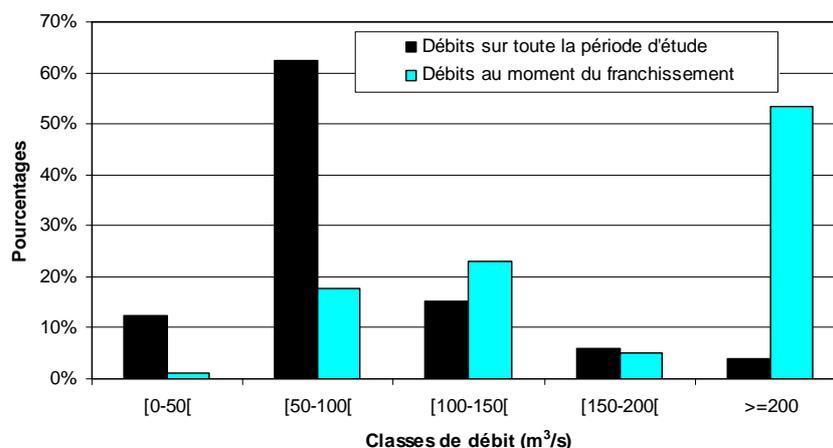


Figure 4.53 : Incidence du débit du Gave sur l'activité de franchissement des ouvrages par l'anguille

Seuls 15% des franchissements (28/182) ont donc eu lieu hors événements hydrologiques particuliers (40-81 m³/s ; moyenne 62 m³/s) représentant pourtant plus de 67% du temps d'étude. Ces passages hors épisodes hydrologiques particuliers ont surtout concerné Biron (46%) et Sapso (25%) et, dans une moindre mesure, Baigts (11%), Puyoo (11%) et Castetarbe (7%) (Figure 4.54). Bien que les dates et heures de passages à Artix ne soient pas connues avec exactitude *mais à moins de 24h près dans 93% (13/14) des cas*, on a pu reporter le jour estimé du franchissement en Figure 4.54 et constater que pour Artix aussi, seuls 14% des passages ont eu lieu hors épisodes hydrologiques particuliers, à débits inférieurs au module.

Ces résultats confirment le comportement migratoire de l'anguille en dévalaison, comportement déjà observé lors des précédentes campagnes, et que l'on peut décomposer en :

- une activité migratoire plus intense lors des augmentations de débit,
- une activité moindre et surtout beaucoup plus fractionnée dans le temps et dans l'espace lorsque les débits sont stables et plutôt faibles à modérés.

En effet, lors de débits modérés, certaines anguilles ont réalisé des déplacements, mais généralement de faible amplitude (dévalaisons progressives par étapes). Les temps de transit en période de faibles débits sont relativement longs. Non seulement les déplacements entre obstacles se font par étapes, mais les quelques franchissements d'ouvrages sont peu rapides. Ainsi, l'enchaînement des passages apparaît discontinu, se faisant par "à-coups". De plus, les passages par les turbines sont fréquents.

Lors des débits importants, les anguilles ont effectué des déplacements entre aménagements et des passages aux ouvrages nettement plus nombreux, de plus grande ampleur et plus rapides. Les temps de transit en période de forts débits sont beaucoup plus courts, la plupart des anguilles progressant directement, sans arrêt, sur les tronçons entre ouvrages et enchaînant les passages par les barrages à quasiment chaque obstacle.

¹⁵L'ouvrage d'Artix n'est pas pris en compte, les dates et heures de passages à ce niveau n'étant pas connues avec précision.

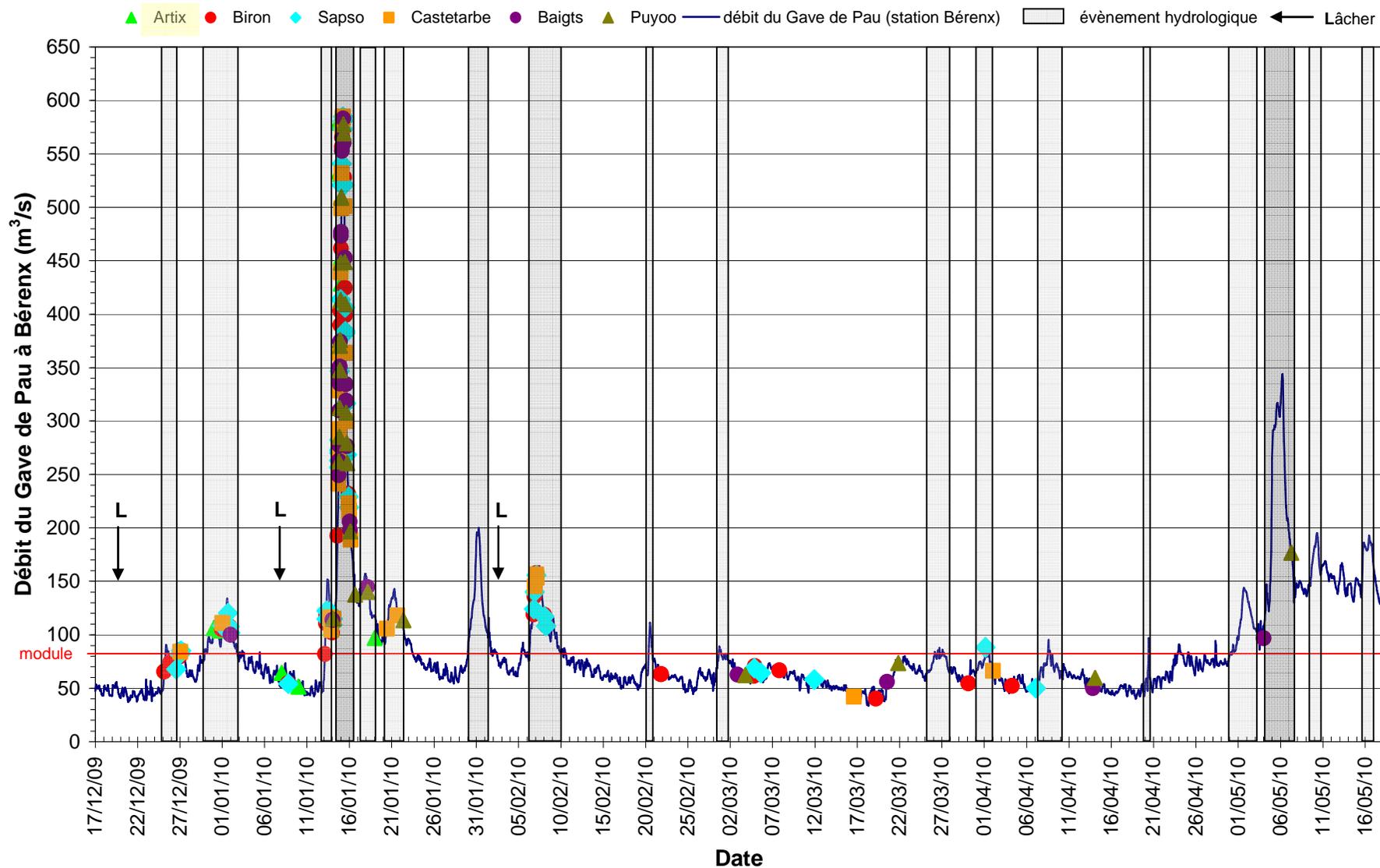


Figure 4.54 : Franchissements des six aménagements hydroélectriques (toutes voies de passage) en fonction du débit du Gave de Pau avec pour Artix, les jours de franchissement estimés (moyennes de dates entre la dernière localisation manuelle en amont et la première en aval de l'ouvrage)

Si l'on analyse les pourcentages de franchissement cumulés par obstacle en fonction du rapport débit de la rivière au moment du passage ramené au module, on constate que les franchissements de Biron et de Sapso ont été plus souvent effectués à des rapports de débits plus faibles que pour les autres ouvrages (Figure 4.54, Figure 4.55). En effet, 25% des passages à Biron et 20% des passages à Sapso se sont produits pour des débits du Gave inférieurs ou égaux au module contre seulement 14.6% à Artix, 13.5% à Baigts, 12.4% à Puyoo et 8.6% à Castetarbe.

Selon l'ouvrage, 50% des franchissements ont eu lieu pour des débits de l'ordre de 1.5 (Biron, Sapso), 2.6 (Castetarbe), 3.4 (Puyoo), 3.6 (Baigts) à 4.5 (Artix) fois le module du cours d'eau, et 75% des passages ont eu lieu pour des rapports de 3.2 (Sapso), 3.5 (Biron), 3.9 (Castetarbe), 4.4 (Baigts), 4.8 (Puyoo) à 6.1 (Artix) fois le module du cours d'eau.

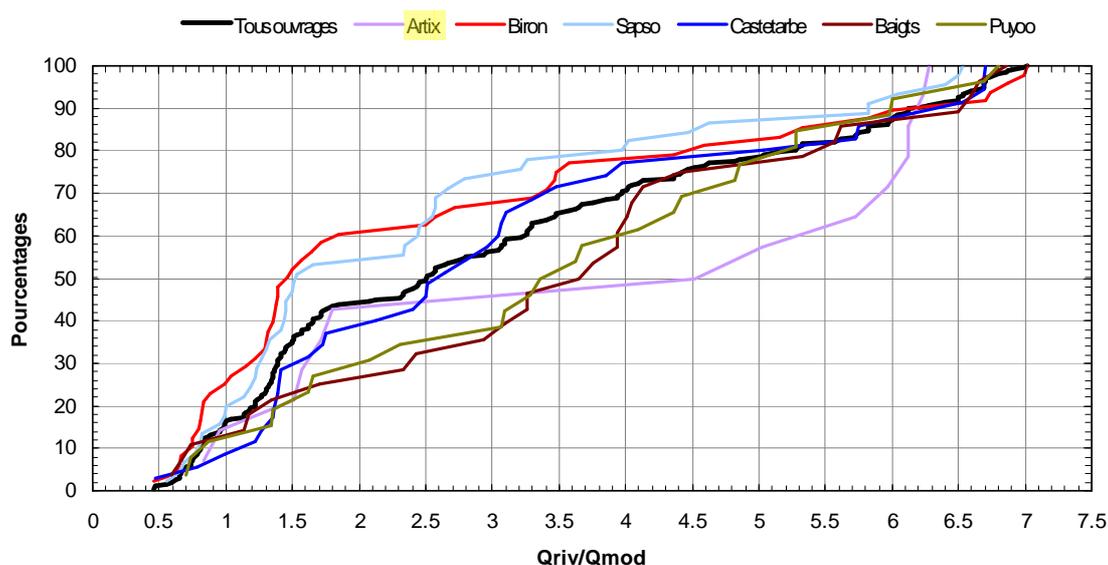


Figure 4.55 : Pourcentages de franchissement cumulés par aménagement en fonction du débit du Gave enregistré au droit de l'ouvrage (rapporté au module)
(en se basant pour Artix sur les jours de franchissement estimés)

4.5.2. Facteurs expliquant le choix des voies de passage par les anguilles

4.5.2.1. Rôle du débit total de la rivière

L'hydrologie du Gave influence la voie de passage des anguilles au droit des ouvrages (Figure 4.56). En effet, lors des 18 événements hydrologiques particuliers ($84\text{-}585\text{ m}^3/\text{s}$; moyenne $289\text{ m}^3/\text{s}$), 71% (110/154) des passages ont eu lieu par les barrages (plus d'autres voies [2%] comme rivière de contournement ou passe à bassins), alors que 61% (17/28) des franchissements réalisés hors coups d'eau ($40\text{-}81\text{ m}^3/\text{s}$; moyenne $62\text{ m}^3/\text{s}$) ont eu lieu par les turbines.

Parmi les 80 passages aux ouvrages équipés réalisés à des débits du Gave inférieurs à $150\text{ m}^3/\text{s}$, les franchissements par les turbines sont prépondérants (47, soit 59%), tandis que les passages par les évacuateurs (barrage, clapet et autres voies) deviennent majoritaires (88/102, soit 86%) parmi ceux effectués à partir de $150\text{-}200\text{ m}^3/\text{s}$ (Figure 4.57). Les entraînements par turbines à moins de $150\text{ m}^3/\text{s}$ représentent 77% de tous les passages par cette voie, et les franchissements par évacuateurs à plus de $150\text{ m}^3/\text{s}$ représentent eux 73% de l'ensemble des passages par cette voie. On note toutefois des différences entre ouvrages. Si les passages par les évacuateurs à Biron et Sapso ne prédominent qu'à partir de $150\text{-}200\text{ m}^3/\text{s}$, ils sont majoritaires dès $50\text{ m}^3/\text{s}$ à Castetarbe, Baigts et Puyoo.

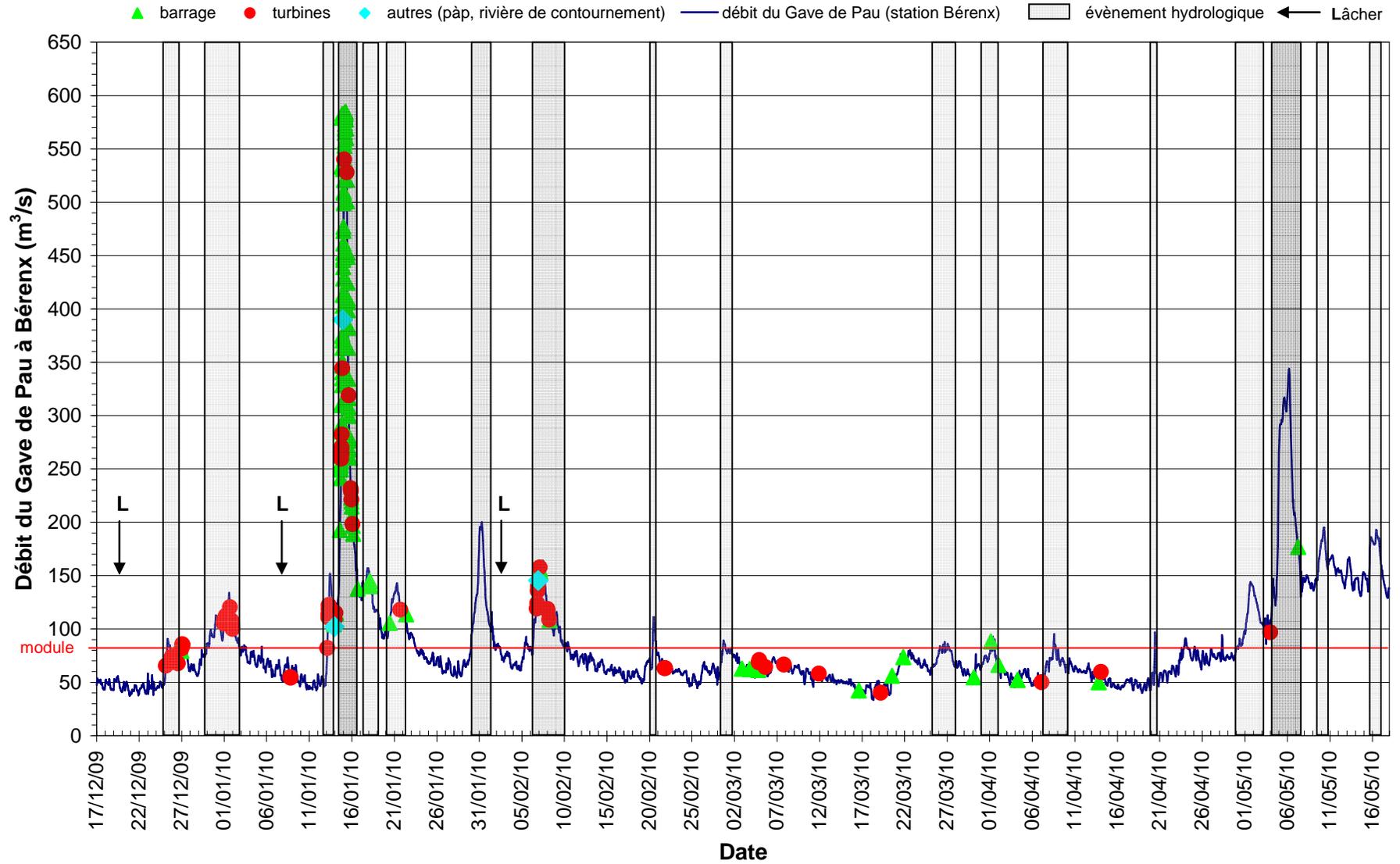


Figure 4.56 : Franchissements et voies de passage aux six aménagements hydroélectriques en fonction du débit du Gave de Pau
 (avec une prise en compte, pour Artix, de 8 franchissements sur 14 très vraisemblablement effectués par barrage au vu des débits de crue)

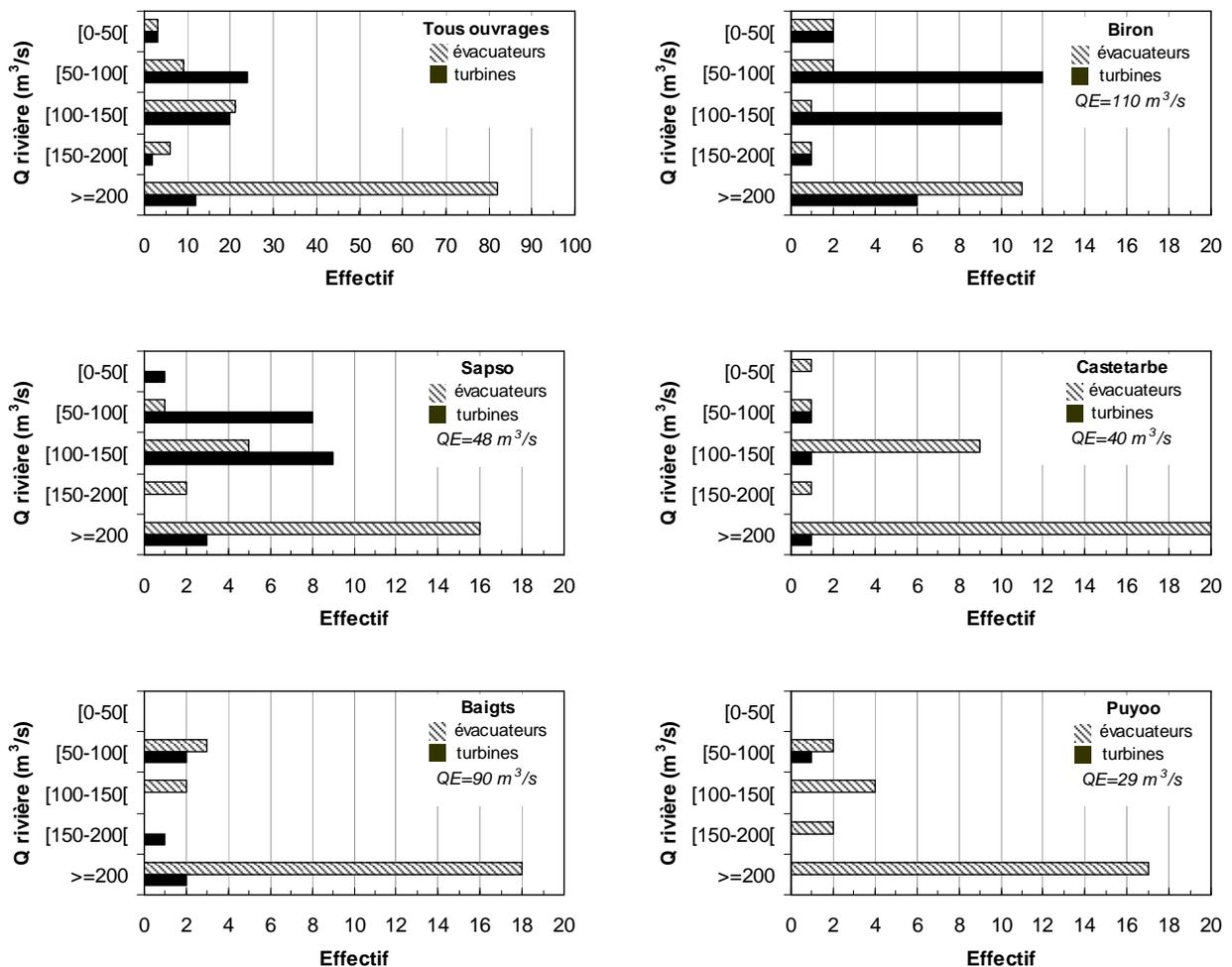


Figure 4.57 : Franchissements et voies de passage en fonction des débits du Gave au droit des 5 ouvrages équipés

4.5.2.2. Rôle du rapport débit déversé/débit turbiné

Pour tenir compte des spécificités de chaque ouvrage (notamment de leur débit d'équipement), il est indispensable de considérer non pas le débit total du Gave au droit de l'ouvrage mais le rapport entre le débit déversé au barrage et le débit turbiné à l'usine. Parmi les 48 passages au droit des 5 ouvrages équipés effectués en l'absence ou lors des plus faibles déversements (soit $0 \leq Q_{dev}/Q_{turb} < 1$), les franchissements par les turbines sont prépondérants (35, soit 73%), alors que les passages par les évacuateurs de crue (barrage, clapet et autres voies) deviennent majoritaires (108/134, soit 81%) parmi ceux réalisés à plus fortes surverses, c'est-à-dire à partir d'un rapport Q_{dev}/Q_{turb} égal ou supérieur à 1 (Figure 4.58). Les entraînements par les turbines à $Q_{dev}/Q_{turb} < 1$ représentent 57% de l'ensemble des passages par cette voie, et les franchissements par les évacuateurs à $Q_{dev}/Q_{turb} \geq 1$ représentent eux 89% de tous les passages par cette voie.

On note toutefois des différences entre ouvrages. A Biron et surtout à Sapso, les passages par les turbines sont encore relativement nombreux lors de fortes surverses (soit $1 \leq Q_{dev}/Q_{turb} < 2$) tandis qu'à l'inverse, pour les trois autres aménagements, et en particulier à Castetarbe, des passages par le barrage sont observés à très faible déversement (Figure 4.59).

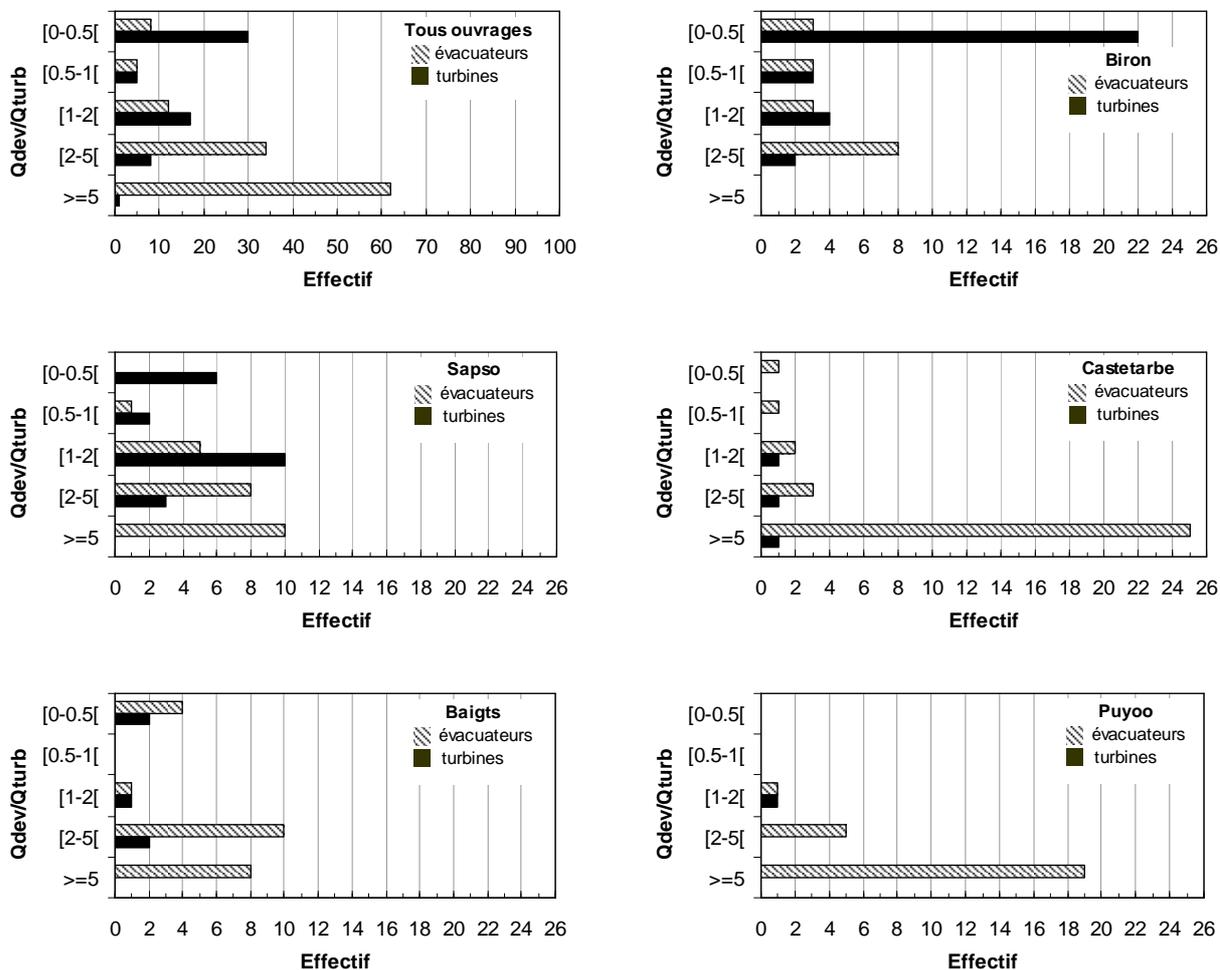


Figure 4.58 : Franchissements et voies de passage aux 5 ouvrages équipés en fonction du rapport débit déversé au barrage sur débit turbiné par l'usine

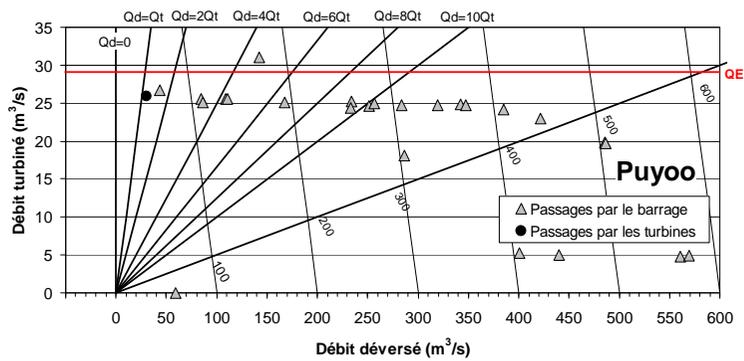
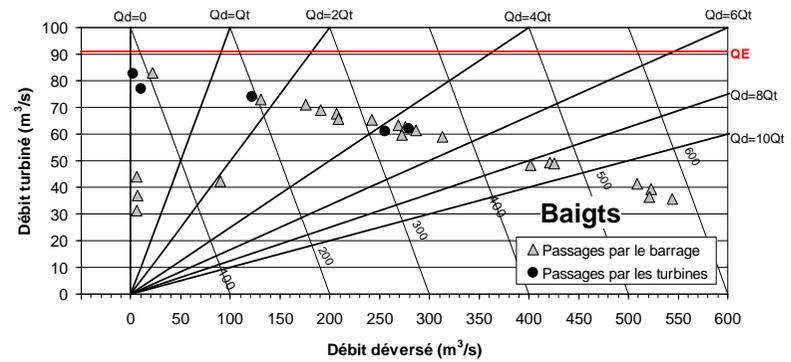
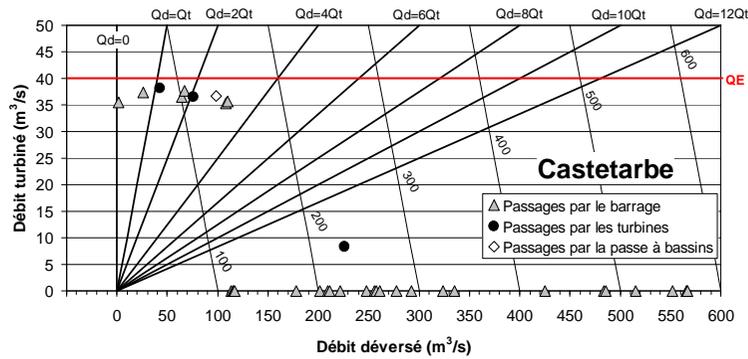
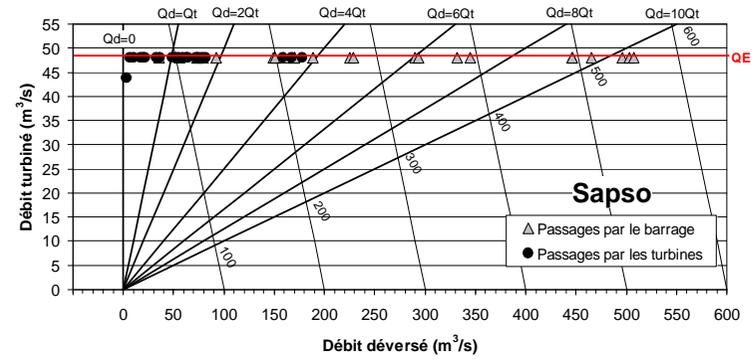
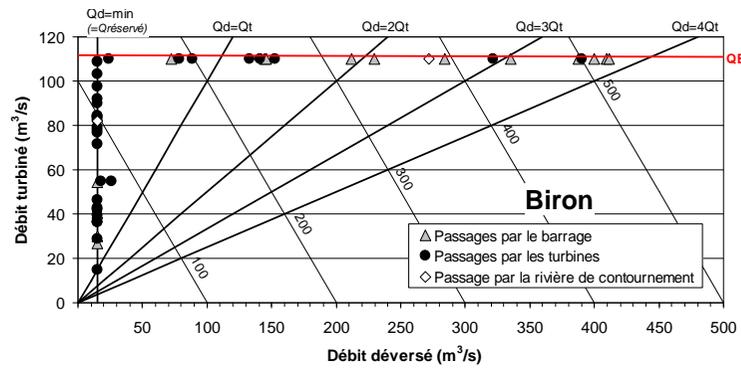


Figure 4.59 : Voies de franchissement suivant le fonctionnement des ouvrages

4.5.2.3. Incidence du débit d'équipement des installations

Le débit d'équipement des ouvrages a donc une importance capitale (Figure 4.60). Pour un débit du Gave donné, plus le débit d'équipement est important, plus les déversements sont faibles voire nuls, ce qui rend plus aléatoire le passage par les évacuateurs de crue. On constate ainsi que le taux de franchissement par les turbines est plus important à Biron, où le débit d'équipement est de 110 m³/s, qu'à Puyoo (débit d'équipement 29 m³/s) et à Castetarbe (débit d'équipement 40 m³/s).

Sur certains ouvrages, cette logique est moins respectée (cas de Sapso et surtout de Baigts).

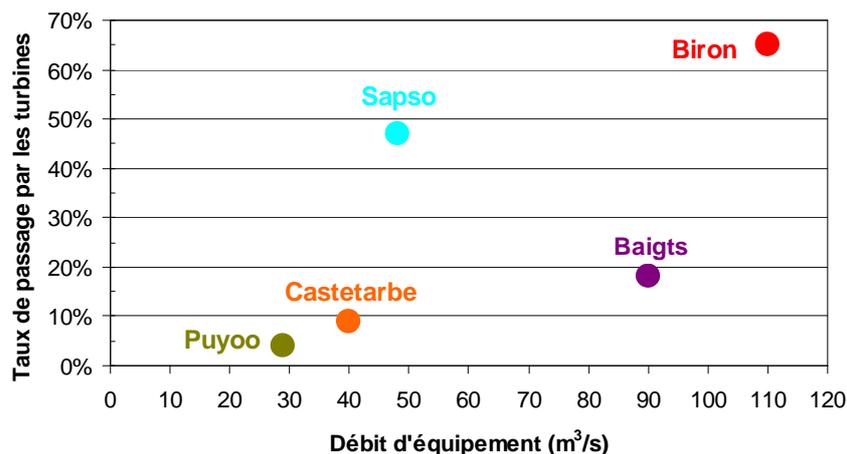


Figure 4.60 : Taux de passage par les turbines en fonction du débit d'équipement des ouvrages

4.5.2.4. Influence des conditions hydrologiques « disponibles » au droit de l'aménagement : le cas de Baigts

A Baigts, le taux de franchissement par les turbines est faible (18% cette année, 7%-27% entre 2007 et 2009) comparativement au débit d'équipement de l'usine (90 m³/s) pourtant proche de celui d'Artix (80 m³/s) où des taux de franchissement par les turbines de 61.5% et 62% avaient été constatés lors des précédents suivis¹⁶. Pour interpréter cette valeur, il faut tenir compte des conditions hydrologiques prévalant au moment où les anguilles radiomarquées se sont présentées à Baigts : la très grande majorité des anguilles (21/28, soit 75%) ont atteint l'usine de Baigts à des débits supérieurs à 2 fois le module du cours d'eau, soit des conditions très propices au passage par les déversoirs, quel que soit l'ouvrage [cas également à Puyoo (73%) et dans une moindre mesure à Castetarbe (63%)].

A l'inverse, pour Biron en particulier¹⁷, les anguilles ont rencontré plus fréquemment des débits faibles (inférieurs au module), beaucoup plus propices au franchissement par les turbines.

4.5.2.5. Influence de la configuration de l'ouvrage : le cas de Sapso

A l'inverse de Baigts, les franchissements par les turbines sont relativement élevés à l'usine de Sapso (47%, soit 2.6 fois plus qu'à Baigts pour un débit d'équipement quasi 2 fois moins important) et ce, malgré des conditions hydrologiques plutôt favorables à un passage par le barrage (18% seulement de débits de passage inférieurs au module donc a priori "favorables" à la voie turbines). Cette situation peut s'expliquer par la configuration particulière de l'ouvrage, avec un seuil très long (205 m) et incliné par rapport aux écoulements, générant un effet « d'entonnoir » vers le canal d'amenée de l'usine. Les anguilles entraînées vers ce canal y rencontrent des vitesses fortes qui limitent leur possibilité de s'échapper.

¹⁶ Pas d'enregistrement des voies de passage à Artix cette année du fait du non équipement de l'ouvrage.

¹⁷ Pour potentiellement 64% (48/75) de l'échantillon radiomarqué cette année, Biron constitue le premier obstacle à la migration à l'issue des lâchers à Gouze (8 km en amont) tous effectués à des débits inférieurs au module.

4.5.2.6. Influence de la configuration des grilles

Les espacements inter-barreaux des grilles de protection des turbines varient selon les usines, de 8 cm (Biron, Sapso) à 2.5 cm (Castetarbe), en passant par 5 cm (Artix) et 3 cm (Baigts, Puyoo). Ce facteur peut venir s'ajouter aux conditions hydrologiques générales, au débit d'équipement de l'usine, à la configuration de la prise d'eau, comme facteur explicatif dans le choix d'une voie de passage par les anguilles. Il faut à la fois tenir compte de l'espacement inter-barreaux mais aussi du positionnement de la grille par rapport aux écoulements et par rapport au canal d'amenée. Ainsi, le plan de grille¹⁸ de Baigts est très incliné par rapport à l'axe des écoulements alors que ceux d'Artix, Biron et Castetarbe sont pratiquement perpendiculaires (même s'ils sont décalés par rapport à l'axe de la rivière). A Sapso et Puyoo, les plans de grille se situent au bout de canaux d'amenée, avec des vitesses assez élevées à Sapso.

Les observations effectuées cette année permettent de conclure à un effet significatif du plan de grille de Baigts, avec seulement 1 anguille sur 5 (20%) qui le franchit après l'avoir prospecté (Tableau 4.11). Ces résultats confirment ceux obtenus lors des précédentes expérimentations sur le site (Travade *et al.*, 2009 ; Bau *et al.*, 2008, 2010a). A Castetarbe, les résultats attestent également de l'effet répulsif du plan de grille, avec 1 anguille sur 3 (33%) qui le franchit après l'avoir prospecté. En revanche, pour les ouvrages à plan de grille à large espacement de barreaux (Biron, Sapso) comme pour ceux dotés de plan de grille en fin de long canal d'amenée (Puyoo), les taux de franchissement au travers des grilles restent très élevés (97%-100%).

Tableau 4.11 : Franchissement des anguilles au travers des plans de grilles des différents ouvrages

	Nombre d'anguilles s'étant présentées au plan de grille	Nombre d'anguilles ayant franchi le plan de grille	Nombre d'anguilles ayant emprunté une autre voie après exploration du plan de grille
Biron	32	31 (97%)	0*
Sapso	21	21 (100%)	0
Castetarbe	9	3 (33%)	2**
Baigts	25	5 (20%)	20
Puyoo	1	1 (100%)	0

* 1 anguille restée 53 jours en amont du plan de grille de l'usine, dans la chambre d'eau, jusqu'à arrêt de l'émetteur

** 4 anguilles ayant stationné devant le plan de grille n'ont pas dévalé (2 prises par le dégrilleur, 2 repliées définitivement en amont)

4.5.3. Influence d'autres paramètres environnementaux

La plupart des paramètres mesurés au cours de l'étude étant fortement corrélés au débit (e.g. turbidité, conductivité) et l'effet de la luminosité (via l'éphéméride) ayant déjà été évoqué, seule l'incidence de la température de l'eau du Gave de Pau sur les franchissements des ouvrages par les anguilles a été recherchée.

Durant la totalité de la période d'étude, du 01/12/2009 jusqu'au 19/05/2010, les températures du cours d'eau ont varié de 4.0 à 15.6°C (valeurs horaires). Les franchissements d'ouvrages se sont produits dans une gamme thermique plus restreinte allant de 4.3 à 12.5°C. Si les très basses températures (<5.5°C) semblent assez rédhibitoires pour l'activité des anguilles, celles-ci ont effectué 10% des franchissements dès 6-7°C (classes 5.5-7.5°C ; cf. Figure 4.61). Mais surtout, une très large majorité des passages (80%) a eu lieu dans la gamme des 7.5-9.5°C, rencontrée durant moins de 28.5% du temps au cours de l'étude lors de la présence des anguilles radiomarkées dans le gave (Figure 4.61). L'incidence thermique est significative ($\chi^2 = 372.3$, ddl=12, $p < 2.2 \times 10^{-16}$).

¹⁸ Il s'agit du plan de grille en amont de la chambre d'eau, autrement nommé plan de pré-grilles.

Comme lors des précédentes campagnes, il apparaît également qu'en condition de faible hydrologie, une brusque hausse de la température de 2°C en quel que jours pourrait avoir une incidence positive sur les mouvements de l'anguille, ce qui se traduit par les quelques passages enregistrés par exemple vers la mi mars (Figure 4.61).

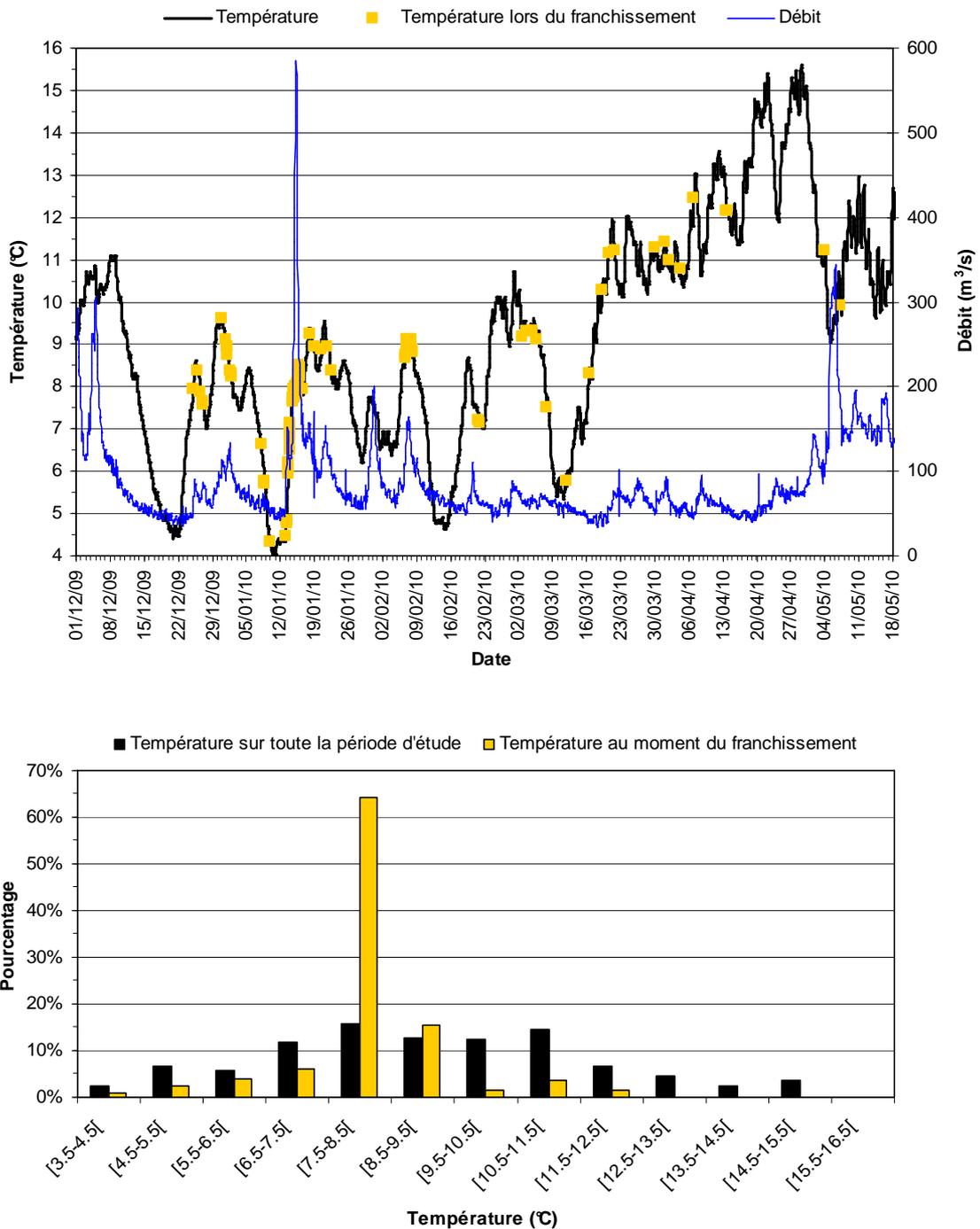


Figure 4.61 : Incidence de la température du cours d'eau sur l'activité de franchissement des ouvrages par l'anguille

4.6. Arrêt de migration, mortalité & prédation

Les anguilles peuvent arrêter leur migration de dévalaison, soit totalement, soit momentanément et la reprendre plus tard au cours d'une autre saison (Frost, 1950 ; Tesch, 1977 ; Vollestad *et al.*, 1986 ; Feunteun *et al.*, 2000). Ces arrêts peuvent évidemment être liés à la mort des individus. Celle-ci peut être principalement occasionnée par :

- le passage des anguilles en dévalaison au niveau des centrales hydro-électriques pouvant engendrer des dommages (blessures voire des mortalités) suivis ou pas de prédation. Ces dommages peuvent varier selon les voies de passage empruntées : turbine ou autres voies (évacuateur de crue, dispositif de franchissement, système de dégrillage),
- la prédation (aviaire ou mammifère),
- le contact avec un ou des polluants,
- un problème sanitaire,
- des stress naturels et une fragilisation des individus liés aux phénomènes de dévalaison.

Lorsqu'une anguille reste très longtemps au même endroit, il est difficile de conclure à une mort du poisson ou à un arrêt momentané. En effet, la technique de radiopistage ne permet pas de déterminer avec certitude l'état des anguilles (morte/vivante). Même si les émetteurs sont dotés de l'option « mortalité » (une immobilité de 24 heures est détectée par un contacteur au mercure, qui déclenche un doublement du rythme d'émission), au regard du comportement de l'anguille (caractérisé par de longues périodes de totale inactivité), la présence de ce type de signal ne constitue pas une preuve absolue de mort. Il est donc souvent difficile de distinguer avec certitude un individu mort ou blessé d'un individu restant inactif jusqu'à la fin et après notre période d'étude. Toutefois, il est parfois possible de récupérer ou localiser certains émetteurs proches des berges, sur des surfaces exondées du cours d'eau ou dans une goulotte de dégrilleur. Nous concluons ainsi à la mortalité [l'implantation de l'émetteur par chirurgie occasionnant à priori un très faible taux de perte (Baras et Jeandrain, 1998)]. De même, la détection d'une remontée d'un émetteur vers l'amont du cours d'eau et sa localisation sur des zones dortoirs des oiseaux permet d'en déduire qu'il y a eu prédation et ainsi de confirmer la mort du poisson.

La méthode de radiopistage n'est également pas adaptée (en particulier pour l'anguille) pour estimer les causes de ces arrêts, notamment les dommages provoqués par le franchissement des ouvrages. En effet, il est difficile voire impossible de récupérer le corps de l'anguille dans le cours d'eau afin de l'étudier pour en conclure sur les causes de la mort. On peut se demander si une anguille blessée notamment lors du franchissement d'un ouvrage peut potentiellement mourir sur un site plus éloigné que le lieu où les blessures lui ont été infligées (mortalité différée).

Ainsi, il est possible qu'une anguille « immobile » et probablement morte ait subi des dommages corporels (passage par une turbine par exemple) immédiatement en amont, ou que des individus blessés voire morts peuvent éventuellement se déplacer ou être déplacés sur de longues distances. Comme nous l'avons constaté lors de la précédente campagne, des anguilles qu'elles soient vivantes, blessées ou déjà mortes peuvent faire l'objet de prédation.

Il convient donc de rester prudent dans l'interprétation des observations d'arrêt, de prédation, ou de mortalité avérée, compte tenu des nombreuses incertitudes tenant à la technique de suivi et des mortalités différées toujours possibles.

4.6.1. Arrêt de migration des anguilles n'ayant franchi aucun ouvrage.

Vingt-trois anguilles sur les 75 relâchées (soit 30.7%) n'ont franchi aucun obstacle. Ces immobilisations prolongées voire définitives ne peuvent être imputées au franchissement d'un ouvrage. Elles sont plus importantes que lors des campagnes précédentes 2006-2007 et 2007-2008 (respectivement 5/30 soit 16.7% et 3/42 soit 7.1%) mais légèrement moins élevées que lors de la campagne 2008-2009 (30/75 soit 40%). Treize anguilles se sont arrêtées entre Jurançon et Artix et 10 entre Gouze et Biron (Tableau 4.12).

Il est probable pour la plupart des cas que ces arrêts de migration soient définitifs. Sur le secteur Jurançon/Artix (Figure 4.62) :

- 3 sont mortes avérées (les émetteurs ont été récupérés ou localisés hors du lit du Gave de Pau),
- 10 sont très probablement mortes (pas ou très peu de mouvements durant des périodes assez étendues parfois jalonnées de divers évènements hydrologiques plus ou moins importants et qu'elles n'ont pas franchi Artix).

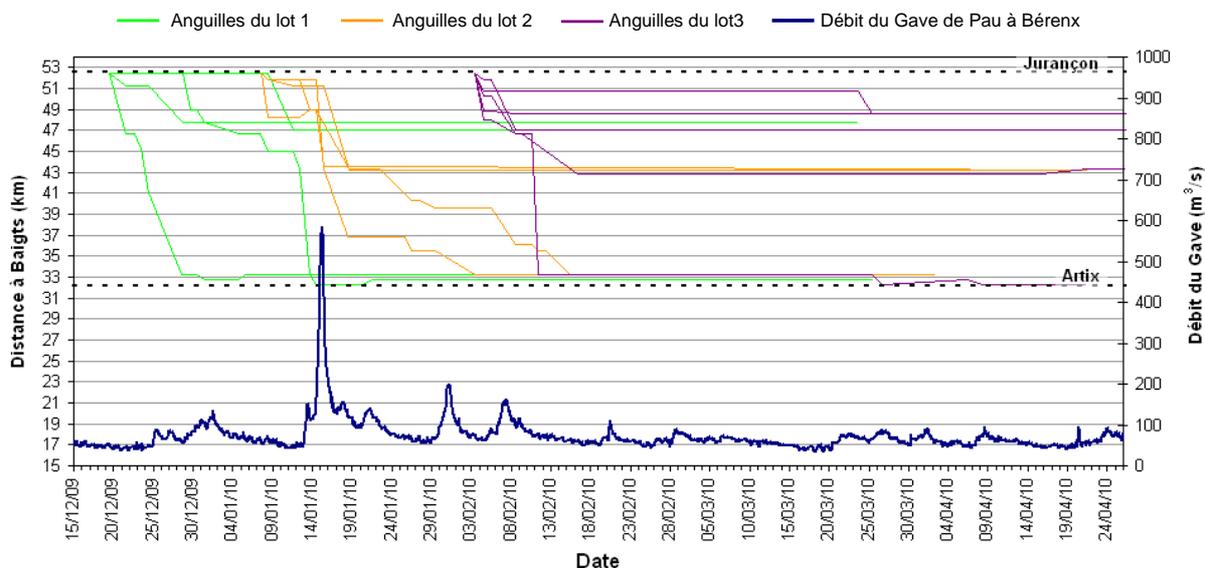


Figure 4.62 : Déplacements des 13 anguilles des lots 1, 2 & 3 n'ayant pas franchi Artix en fonction du débit du Gave de Pau

Sur le secteur Gouze/Biron (Figure 4.63) :

- 5 (toutes du lot 3) sont mortes avérées (prédation par des oiseaux),
- 5 sont très probablement mortes (pas ou très peu de mouvements durant des périodes assez étendues parfois jalonnées de divers évènements hydrologiques plus ou moins importants et qu'elles n'ont pas franchi Biron).

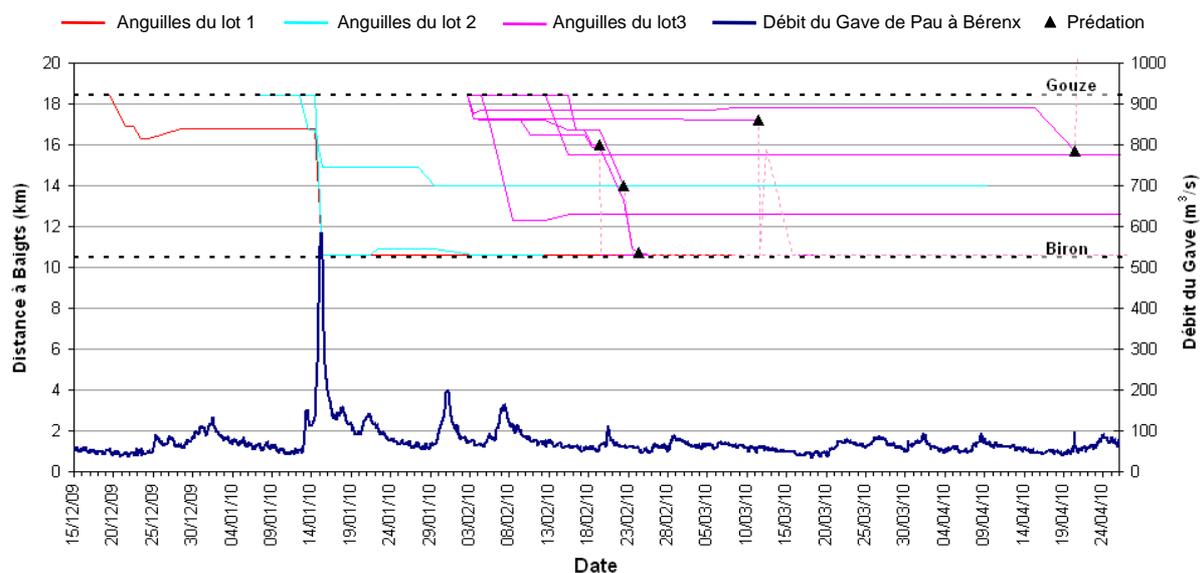


Figure 4.63 : Déplacements des 10 anguilles des lots 1, 2 & 3 n'ayant pas franchi Biron en fonction du débit du Gave de Pau.

- Facteurs pouvant expliquer ces arrêts de migration

Nous avons successivement analysé si les arrêts de migration sans franchissement d'obstacles étaient significativement différents en fonction :

- du lot de marquage et de l'expérimentateur,
- du lieu de lâcher,
- de la biométrie de l'anguille (taille/poids) ainsi que de sa situation en termes d'argenture (indice oculaire).

Les arrêts de migration sont différents selon le « lot » de marquage ($\chi^2 = 5.39$, ddl=2, p=0.0674). La proportion d'anguilles ne franchissant aucun ouvrage est plus importante dans le lot 3 (48%) que pour les deux autres lots (20% pour le lot 1 et 24% pour le lot 2) (Tableau 4.12). Cependant, dans ce lot, 5 des 7 anguilles relâchées à Gouze et n'ayant franchi aucun obstacle ont fait l'objet de prédation avant de franchir Biron, ce qui explique en partie la proportion aussi importante d'anguilles ne franchissant aucun obstacle pour ce lot. Néanmoins, la totalité des anguilles de ce lot relâchées à Jurançon n'ont franchi aucun ouvrage. En revanche, aucun effet de l'expérimentateur ayant marqué les anguilles n'a été mis en évidence ($\chi^2 = 0.26$, ddl=2, p=0.88). Les durées de stabulation entre le marquage et le lâcher divergent peu entre chaque lot. Ils sont moins importants que lors de la dernière campagne. On ne peut donc pas regarder l'influence de ce facteur.

Il existe également un effet du « lieu de lâcher » (χ^2 corr. Yates =4.85, ddl=1, Test exact de Fisher p=0.014) sur l'absence de franchissement. Le pourcentage d'anguilles relâchées à Jurançon et ne franchissant pas Artix (48.1%) est plus important que le pourcentage d'anguilles relâchées à Gouze (20.8%) et ne franchissant pas Biron (Tableau 4.12). Cet effet était encore plus marqué lors de la dernière campagne 2008-2009 où le pourcentage d'anguilles relâchées à Jurançon et ne franchissant pas Artix était de 58% (29/50) et le pourcentage d'anguille relâchées à Gouze et ne franchissant pas Biron était de 4% (1/25). La distance plus importante à parcourir avant de franchir un obstacle en étant lâchées à Jurançon (20.5 km) qu'en étant lâchées à Gouze (7.9 km) pourrait expliquer ce résultat.

Tableau 4.12 : Nombre et proportion d'anguilles, par lots et lieux de lâcher, n'ayant franchi aucun obstacle

Lieux de lâcher	Lot	Nb total d'anguilles relâchées	Nb total d'anguilles prédatées	Nb et % total d'anguilles n'ayant franchi aucun obstacle	Nb et % total d'anguilles non prédatées n'ayant franchi aucun obstacle
Jurançon (pk=52.5) En amont d'Artix	Lot 1	12	1	4/12(33.3%)	4/11 (36.3%)
	Lot 2	10	0	4/10 (40%)	4/10 (40%)
	Lot 3	5	0	5/5 (100%)	5/5 (100%)
	Total	27	1	13/27 (48.1%)	13/26 (50%)
Gouze (pk=-18.4) Entre Artix et Biron	Lot 1	13	2	1/13 (7.7%)	1/11 (9.1%)
	Lot 2	15	0	2/15 (13.3%)	2/15 (13.3%)
	Lot 3	20	6	7/20 (35%)	2/14 (14.3%)
	Total	48	8	10/48 (20.8%)	5/40 (12.5%)
Jurançon et Gouze	Lot 1	25	3	5/25 (20%)	5/22 (22.7%)
	Lot 2	25	0	6/25 (24%)	6/25 (24%)
	Lot 3	25	6	12/25 (48%)	7/19 (36.8%)
	Total	75	9	23/75 (30.7%)	18/66 (27.3%)

L'analyse d'une relation entre le fait de franchir ou pas un ouvrage et différents facteurs pouvant influencer ces arrêts (facteurs biométriques, ...) a permis de mettre en évidence :

- **un effet de la taille et du poids des anguilles** (Mann-Whitney, p<0.05) et cela que l'on considère ou non les anguilles qui ont fait l'objet de prédation. Les anguilles ne franchissant aucun ouvrage (prédatées et non prédatées) sont souvent plus petites (médiane : 68.5 cm, moyenne : 69.1 cm, min : 59.5 cm, max : 96 cm ; médiane : 545 g, moyenne : 603 g, min :

369 g, max : 1881 g) que les anguilles franchissant au moins un ouvrage (médiane : 78.5 cm, moyenne : 78.6 cm, min : 62.5 cm, max : 98.5 cm ; médiane : 883 g, moyenne : 896 g, min : 401 g, max : 1830 g). Cette tendance, qui n'avait pas été constatée lors des précédentes campagnes, est observée quel que soit le lot ou le lieu de lâcher considéré. Concernant les anguilles qui ne franchissent aucun obstacle, il n'y a pas de différence de taille entre les anguilles qui font l'objet de prédation et celles qui n'en font pas l'objet (Mann-Whitney, $p > 0.05$). En revanche, le facteur de condition K ne semble pas influencer le fait que les anguilles franchissent au moins un obstacle.

- **un effet de l'indice oculaire** : IO (degrés d'argenture de l'anguille) (Mann-Whitney, $p < 0.05$) et cela que l'on considère ou non les anguilles qui ont fait l'objet de prédation. Les anguilles ne franchissant aucun ouvrage (prédatées et non prédatées) ont des indices oculaires moins élevés (médiane et moyenne : 8.3 ; min : 6.6 ; max : 11.1) que les anguilles franchissant au moins un ouvrage (médiane : 9 ; moyenne : 9.4 ; min : 6.7, max : 17.2). Cette tendance n'avait pas été constatée lors des précédentes campagnes. Concernant les anguilles qui ne franchissent aucun obstacle, on constate que les anguilles qui font l'objet de prédation ont un d'indice oculaire plus important que celles qui n'en font pas l'objet (Mann-Whitney, $p < 0.05$).

- **Distances parcourues par les anguilles**

Les 13 anguilles non prédatées n'ayant pas franchi Artix ont parcouru au moins 3 km avec une distance moyenne totale de 11.5 km (médiane : 9.2 km, min : 3.9 km, max : 20.2 km) :

- 8 anguilles (2 du lot 1, 2 du lot 2 et 4 du lot 3) se sont immobilisées en moyenne 15.7 jours après leur déversement (min : 5.1 j, max : 51.2 j) en ayant parcouru au total entre 3 et 19 km (zone intermédiaire) (Figure 4.64).
- 5 anguilles (2 du lot 1, 2 du lot 2 et 1 du lot 3) ont parcouru entre 19 et 20.2 km en 35.9 jours en moyenne (min : 17 j, max : 63.8 j) (Figure 4.64). L'artificialisation des écoulements provoquée par la retenue d'Artix pourrait donc être à l'origine de l'accumulation des anguilles dans cette zone. De plus, les anguilles localisées pour certaines dans les nombreux bras et digitations constituant cette zone, ressentent probablement moins le signal hydrologique qui les motivent habituellement à se déplacer. La retenue d'Artix étant un site très fréquenté par de nombreux oiseaux piscivores (zone Natura 2000), les anguilles s'immobilisant dans cette zone peuvent potentiellement se faire prédater sans pour autant être déplacées sur un autre site.

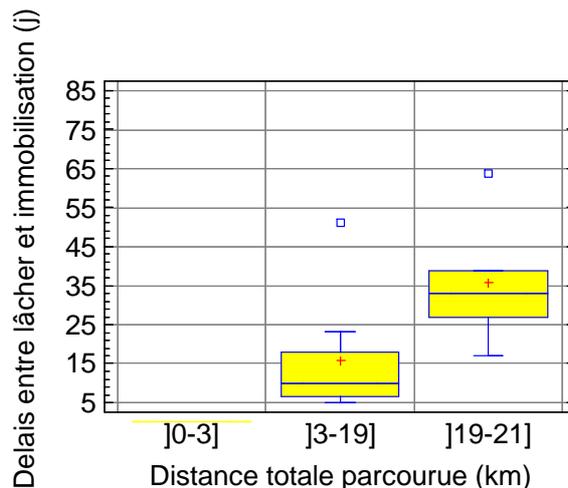


Figure 4.64 : Boîte à moustache des délais entre le lâcher et l'immobilisation définitive des 13 anguilles restées en amont d'Artix en fonction de 3 classes de distances totales parcourues

Les 5 anguilles non prédatées n'ayant pas franchi Biron ont parcouru au moins 2 km et une distance moyenne totale de 5.7 km (médiane : 5.8 km, min : 2.9 km, max : 7.8 km) :

- 3 anguilles (1 du lot 2 et 2 du lot 3) se sont immobilisées en moyenne 13.5 jours après leur déversement (min : 5.8 j, max : 22 j) en ayant parcouru au total entre 2 et 6 km (zone intermédiaire) (Figure 4.65).
- 2 anguilles (1 du lot 1 et 1 du lot 2) ont parcouru entre 6 et 8 km en 26.9 jours en moyenne (min : 26.8 j, max : 26.9 j) (Figure 4.65).

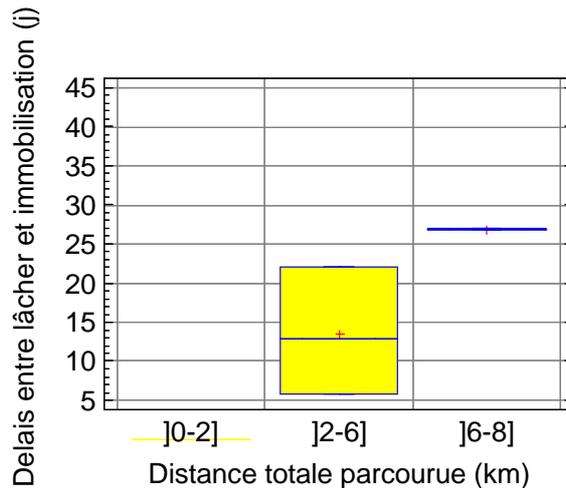


Figure 4.65 : Boîte à moustache des délais entre le lâcher et l'immobilisation définitive des 5 anguilles non prédatées restées en amont de Biron en fonction de 3 classes de distances totales parcourues

Ainsi, il ressort de cette analyse :

- qu'il n'y a pas d'arrêt massif d'anguilles mais des arrêts très échelonnés,
- que les déplacements s'effectuent par « bonds » successifs qui s'échelonnent dans le temps, avec des « bonds » de plus forte amplitude lors d'évènements hydrologiques importants
- que 50% des anguilles sont encore actives après 15 à 23 jours suivant leur lâcher,
- plus aucun déplacement après respectivement 33 et 39 jours après le lâcher des lots 1 et 2 et 77 jours après le lâcher du lot 3.

On ne repère donc pas d'évènements hydro-climatiques particuliers entraînant un arrêt brutal et massif des anguilles. Ce sont des arrêts progressifs tout au long du tronçon (cf. aussi Figure 4.66 à Figure 4.68).

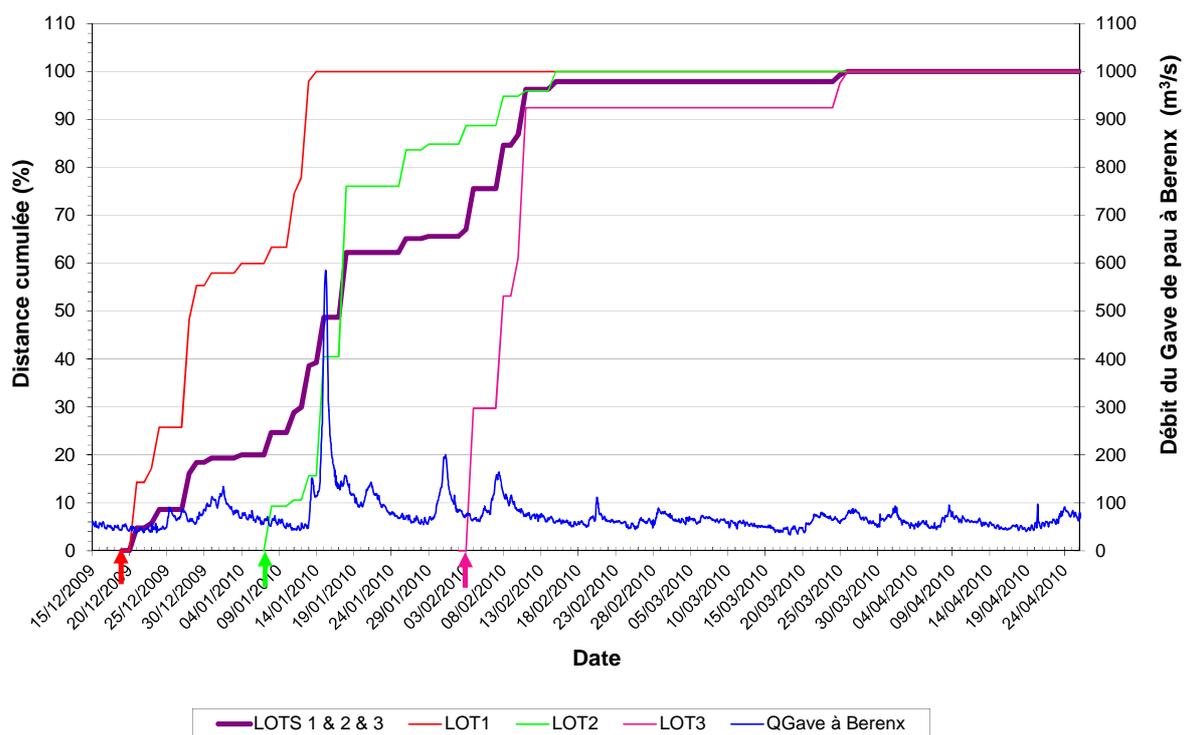


Figure 4.66 : Déplacements cumulés des 13 anguilles n'ayant pas franchi Artix en fonction du débit du Gave de Pau

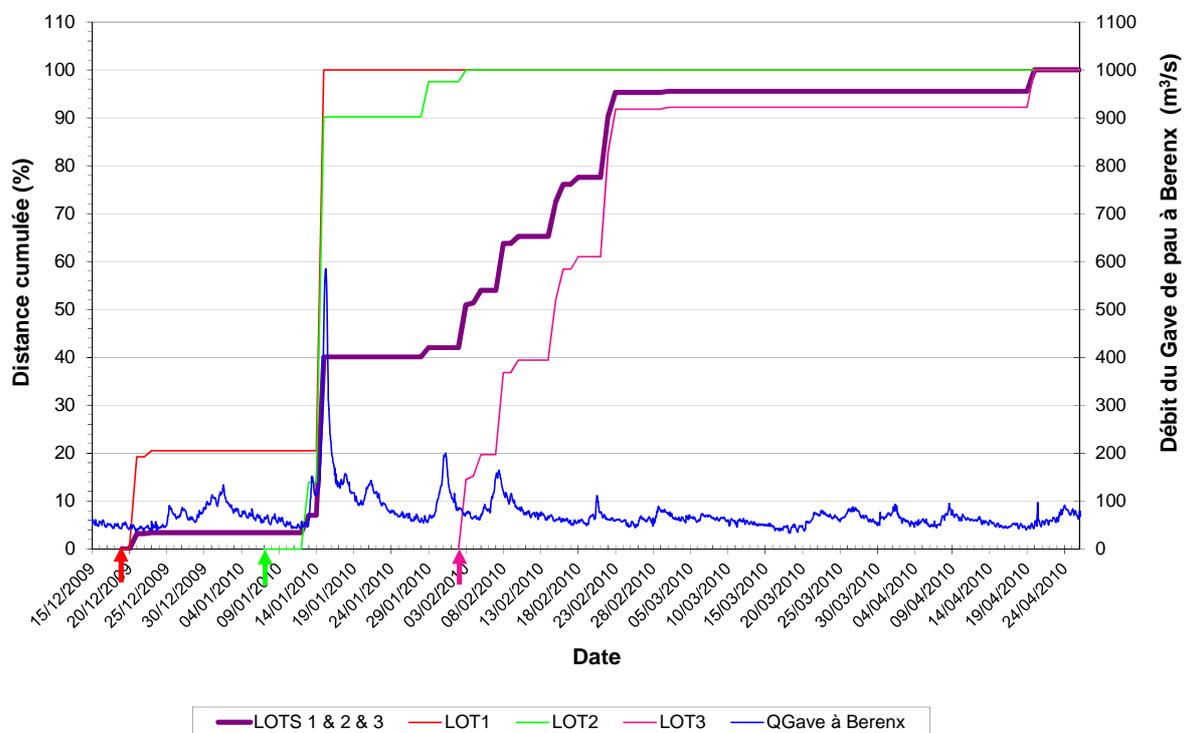


Figure 4.67 : Déplacements cumulés des 10 anguilles n'ayant pas franchi Biron en fonction du débit du Gave de Pau

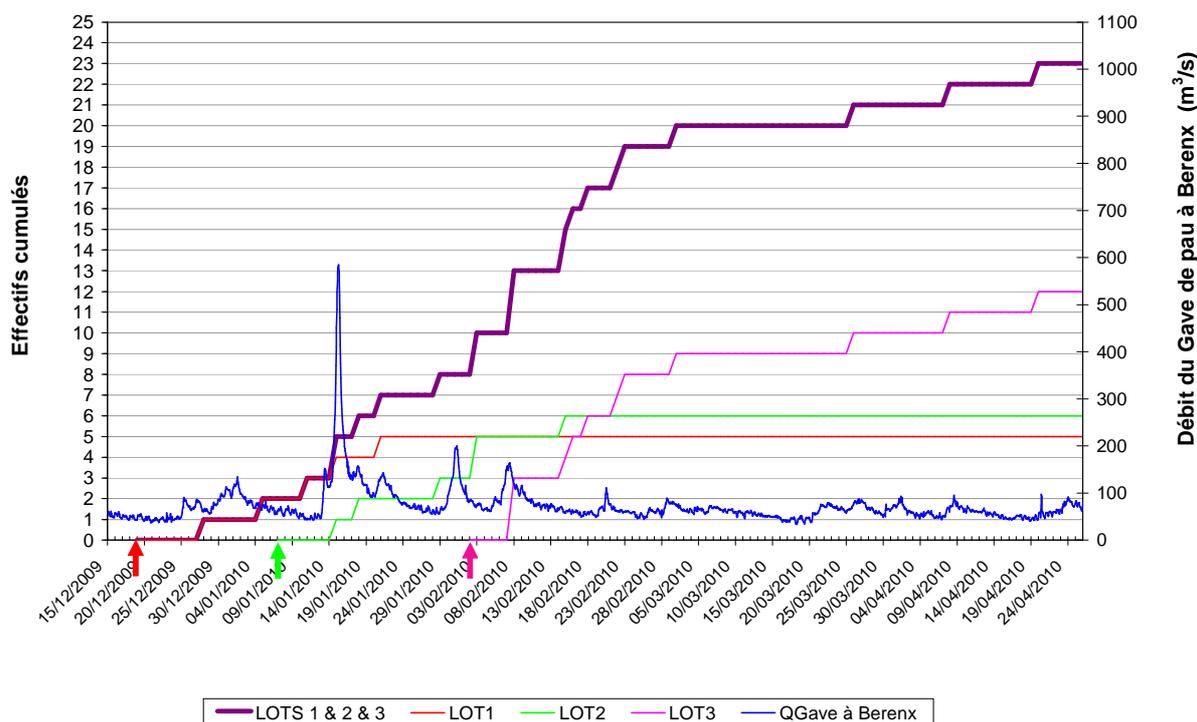


Figure 4.68 : Effectifs cumulés des 23 anguilles n'ayant pas franchi Artix et Biron en fonction du débit du Gave de Pau

Contrairement à la campagne précédente, le temps entre le déversement et le premier évènement hydrologique ainsi que l'amplitude de cet évènement n'explique pas la différence, entre lots, du nombre d'anguilles ne franchissant aucun obstacle. Les anguilles du lot 1 et du lot 2 ont subi des évènements hydrologiques de 1 à 2 fois le module 6 jours après leur lâcher tandis que les anguilles du lot 3, où la proportion d'anguilles ne franchissant aucun obstacle est la plus importante, n'ont attendu que 4 jours pour être soumises à une augmentation de débit de plus de 2 fois le module (Tableau 4.13). Cependant l'évènement hydrologique le plus important rencontré après le lâcher de chaque lot est plus important (plus de 7 fois le module) et plus rapide pour le lot 1 et 2 que pour le lot 3.

Tableau 4.13 : Influence du(des) premier(s) évènement(s) hydrologique(s) sur le nombre d'anguilles n'ayant franchi aucun obstacle

Lot	Lieux de lâcher	Nb et % total d'anguilles n'ayant franchi aucun obstacle	Nb et % total d'anguilles non prédatées n'ayant franchi aucun obstacle	Date de lâcher	Evènement hydrologique après lâcher				Durée entre lâcher et évènement hydrologique
						Date	Débit de pointe (m³/s)	Débit (nombre de module)	
Lot 1	Jurançon (pk=52.5)	4/12(33.3%)	4/11 (36.3%)	19/12/2009	le premier	25/12/2009	90.7	1.1	6 jrs
	Gouze (pK=-18.4)	1/13 (7.7%)	1/11 (9.1%)		le plus important	15/01/2010	585	7.3	27 jrs
	Jurançon et Gouze	5/25 (20%)	5/22 (22.7%)						
Lot 2	Jurançon (pk=52.5)	4/10 (40%)	4/10 (40%)	07/01/2010	le premier	13/01/2010	152	1.9	6 jrs
	Gouze (pK=-18.4)	2/15 (13.3%)	2/15 (13.3%)		le plus important	15/01/2010	585	7.3	8 jrs
	Jurançon et Gouze	6/25 (24%)	6/25 (24%)						
Lot 3	Jurançon (pk=52.5)	5/5 (100%)	5/5 (100%)	02/02/2010 et 03/02/2010	le premier	07/02/2010	164	2.05	4 - 5 jours
	Gouze (pK=-18.4)	7/20 (35%)	2/14 (14.3%)		le plus important	06/05/2010	344	4.3	93 - 94 jrs
	Jurançon et Gouze	12/25 (48%)	7/19 (36.8%)						

Même si aucun élément lié au protocole ou à la manipulation des poissons ne semble clairement expliquer les arrêts et les mortalités non liés à un ouvrage, on ne peut toutefois exclure totalement une relation de cause à effet entre ces stress et les arrêts définitifs de migration. Cependant tout a été mis en œuvre pour manipuler les poissons dans de bonnes conditions et minimiser les pertes. Un grand soin a été apporté tant dans les conditions de stabulation que de marquage pour limiter au maximum le stress pouvant affecter le comportement et la survie des poissons marqués et relâchés. De surcroît, lors du temps de stabulation post-marquage, aucune mortalité ou perte d'émetteur n'a été constaté.

D'une campagne à l'autre, les éléments et hypothèses mis en évidence pour expliquer ces arrêts définitifs sans franchissement au préalable d'un ouvrage divergent. Il n'y a aucun élément probant commun à chaque campagne. On a pu seulement constater :

- que ces arrêts concernaient principalement les anguilles lâchées à Jurançon comme lors de la précédente campagne (plus la distance avant de franchir le premier obstacle est importante plus il y a des chances qu'elles ne le franchissent jamais).
- et qu'il n'y a pas eu d'arrêt massif après une date donnée.

4.6.2. Arrêt de migration et mortalité des anguilles ayant franchi au moins un ouvrage

Comme lors des précédents suivis, des arrêts de migration momentanés ou définitifs après le franchissement d'au moins un ouvrage ont été constatés durant cette étude. Sur les 52 poissons ayant franchi au moins un obstacle, 26 (50%) ont arrêté leur dévalaison entre le secteur Artix-Puyoo et parmi les 26 ayant franchi Puyoo, 1 s'est définitivement immobilisé dans le canal de fuite à l'aval immédiat des turbines. Les « arrêts » par secteur des anguilles ayant franchi au moins un ouvrage sont en moyenne de 15% [29% entre Artix et Biron, 6% entre Biron et Sapso, 22% entre Sapso et Castetarbe, 20% entre Castetarbe et Baigts, 7% entre Baigts et Puyoo et de 4% en aval de Puyoo (Tableau 4.14)].

Tableau 4.14 : Estimation des arrêts de dévalaison entre chaque ouvrage

	Franchissement de l'aménagement	Anguilles n'ayant pas atteint l'aménagement suivant
Artix	14	4 (28.6%)
Biron	48	3 (6.25%)
Sapso	45	10 (22.2%)
Castetarbe	35	7 (20%)
Baigts	28	2 (7.1%)
Puyoo	26	1 (3.8%)

Sur ces 27 anguilles ayant stoppé leur dévalaison :

- 6 sont mortes avérées : 4 ont fait l'objet de prédation, 2 anguilles ont été récupérées dans la goulotte du dégrilleur de Castetarbe et leur émetteur a été récupéré,
- 1 était probablement vivante à la fin de l'expérimentation (en mouvement en amont immédiat des grilles de Castetarbe avant l'arrêt de son émetteur),
- 20 étaient probablement mortes (pas de mouvements suite à des évènements hydrologiques comme la crue du 15 janvier (585 m³/s), les coups d'eau du 31 janvier et du 07 février (200 et 164 m³/s); ou aucun mouvement détecté par nos localisations manuelles et stationnaires durant une longue période avant la fin de la période d'étude ou l'arrêt des émetteurs).

Il est à noter qu'il est tout particulièrement difficile de déterminer le devenir des anguilles du lot 3. Même si certaines anguilles n'ont pas bougé pendant un laps temps important jusqu'à la fin de l'étude, pour 6 d'entre elles le débit maximum rencontré avant la dernière localisation manuelle (26/04/2010) et durant leur période d'immobilisation a été de 97 m³/s. Ce débit n'est pas suffisant pour déterminer

avec certitude que les anguilles n'ont pas bougé parce qu'elles étaient mortes. Cependant les postes placés sur les ouvrages sont restés en fonction jusqu'au 17/05/2010 et suite à la crue du 06/05/2010 (344 m³/s), même si leurs émetteurs étaient toujours en fonction, ces anguilles n'ont pas été enregistrées et n'ont donc apparemment pas franchi d'obstacle supplémentaire.

- Voies de passage et arrêt de migration

Contrairement à la campagne 2008-2009, les arrêts de migration ne sont pas significativement plus élevés pour les anguilles ayant franchi au moins 1 des obstacles par une turbine (Tableau 4.15). Bien que le nombre d'anguilles arrêtant leur migration augmente avec l'accroissement du nombre de turbines franchies, on ne constate pas en fonction du nombre de turbines franchies de différence importante entre le nombre d'anguilles arrêtées ou pas (Tableau 4.16). Il est important de préciser que 19 des 25 anguilles non arrêtées (76%) ont franchi tous les ouvrages en moins de 4 jours, dont 14 en étant passé par au moins une turbine. La plupart de ces passages se sont concentrés autour de la crue majeure du 15/01/2010. La mortalité différée est peut-être sous-estimée car non observée, les anguilles même endommagées ayant pu s'immobiliser plus en aval de Puyoo (secteur non suivi).

Tableau 4.15 : Devenir des anguilles lâchées à Gouze (arrêt de migration/pas d'arrêt définitif de migration) en fonction des voies de passage

	Anguilles arrêtées	Anguilles non arrêtées
Nombre total d'anguilles ayant franchi au moins un des obstacles	19 (18 Artix-Puyoo +1 aval Puyoo)	19
Anguilles ayant franchi au moins un des obstacles par une turbine	16 (84.2%)	15 (78.9%)
Anguilles ayant franchi le ou les obstacles par d'autres voies que les turbines (évacuateur de crue, dispositif de franchissement, système de dégrillage)	3 (15.8%)	4 (21%)

Tableau 4.16 : Devenir des anguilles lâchées à Gouze (arrêt de migration/pas d'arrêt définitif de migration) ayant franchi au moins un ouvrage en fonction du nombre de passage par les usines

		Arrêt migration	Anguilles non arrêtées
Nombre de passage par les turbines	0	3	4
	1	7	6
	2	9	8
	3	0	1
	4	0	0
	5	0	0
	6	0	0

- Voies de passage et mortalité avérée

Concernant les 2 anguilles mortes avérées et récupérées dans le dégrilleur de Castetarbe, une présentait des abrasions ainsi qu'une entaille allant jusqu'au sectionnement de la colonne vertébrale, et l'autre avait les branchies qui lui sortaient par la bouche ainsi que des fractures de la colonne vertébrale sans entailles. Ces dommages peuvent résulter d'un contact avec un élément fixe ou mobile d'une turbine ou des forces de cisaillement dus aux gradients de vitesse dans une turbine. Ces deux anguilles montraient donc des lésions pouvant être caractéristiques de leur passage dans une turbine. Une a au moins franchi un des ouvrages par les turbines (celles de Biron), et l'autre a franchi Biron et Sapso par le barrage mais a pu franchir Artix par les turbines (ouvrage non suivi).

- Voies de passage et prédation

Au total, 9 anguilles sur les 75 (12%) ont été prédatées à priori principalement par des cormorans. Contrairement à la campagne précédente, la prédation est plus élevée sur les anguilles ne

franchissant aucun aménagement soit 21.7% (5/23) que sur les anguilles ayant franchi au moins un ouvrage : 7.7% (4/52). Les cinq anguilles qui ont fait l'objet de prédation sans franchir un seul ouvrage, ont été lâchées à Gouze. Les suivis manuels nous ont permis de remarquer qu'au moins deux de ces cinq anguilles ont fait l'objet de prédation lorsqu'elles étaient en déplacement par eau claire.

Les 4 anguilles ayant franchi au moins un ouvrage et ayant été prédatées sont toutes passées par une turbine (Tableau 4.17). Cette prédation est intervenue 9 jours au maximum après avoir franchi leur dernier obstacle.

Tableau 4.17 : Taux de prédation en fonction du franchissement des obstacles et des voies de passage

	Taux de prédation
Total	9/75 (12%)
Anguilles n'ayant pas franchi d'ouvrage	5/23 (21.7%)
Anguilles ayant franchi au moins un ouvrage	4/52 (7.7%)
Anguilles ayant franchi uniquement Artix*	0/4 (0%)
Anguilles ayant franchi au moins un ouvrage suivi** par une turbine	4/38 (10.5%)
Anguilles ayant franchi les ouvrages suivis** par d'autres voies	0/10 (0%)

* Artix non équipé lors de cette campagne - voies de passages non déterminées

** Les ouvrages équipés sont Biron, Sapsa, Castetarbe, Baigts, Puyoo

4.6.3. Conclusion

Des arrêts de migration ont été constatés notamment pour les anguilles n'ayant franchi aucun obstacle. Cependant les causes n'ont pu être déterminées.

Des arrêts ont été également constatés pour les anguilles ayant franchi au moins un obstacle mais aucun effet de la voie de passage n'a pu être mis en évidence lors de cette campagne. Toutefois, les anguilles peuvent subir des dommages au moment du franchissement d'un ouvrage, particulièrement lors d'un passage par les turbines, et parcourir ensuite de longues distances et parfois même franchir un autre aménagement hydroélectrique avant de mourir des suites de leurs blessures. Il est dans ce cas impossible de conclure quant à l'ouvrage à l'origine des dommages et par conséquent, difficile voire impossible de quantifier précisément la mortalité différée sur les individus blessés allant mourir à plusieurs kilomètres de distance du ou des aménagements franchis. Une telle sous-estimation des taux de mortalité directe ou indirecte a déjà été constatée dans d'autres études expérimentales sur l'anguille utilisant la radiotélémétrie (e.g., Winter *et al.*, 2006, 2007).

La prédation est élevée et a pu concerner à la fois des anguilles vivantes (en déplacement) et des anguilles déjà mortes ou blessées de petite taille.

5. Conclusions et perspectives

L'analyse de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau, initiée en 2006-2007 (Subra *et al.*, 2008) puis poursuivie de 2007 à 2009 (Bau *et al.*, 2008, 2010a) dans le cadre du programme R&D national "anguille et ouvrages" (action n°6), a été reconduite en 2009-2010. En effet, les précédents suivis télémétriques réalisés, chez d'autres espèces migratrices, sur tout ou partie d'un axe migratoire, par exemple sur le Gave de Pau (Chanseau & Larinier, 2000 ; Larinier *et al.*, 2005), l'Aulne (Croze, 2005), la Garonne (Croze *et al.*, 2004 ; Bau *et al.*, 2005), etc., ont mis en évidence la nécessité de conduire de telles études sur plusieurs années afin de mieux appréhender le comportement migratoire dans différentes conditions d'hydraulicité et sur un nombre suffisant d'individus. Cette étude constitue donc le quatrième volet du suivi par radiopistage de la dynamique de dévalaison de l'anguille argentée sur le secteur Jurançon-Puyoo. Elle a été couplée pour la seconde année consécutive avec l'action n°7 du programme R&D visant à tester un type de barrière comportementale répulsive particulier : un dispositif de répulsion à infrasons placé sur un à deux (Biron et Baigts en 2008-2009, uniquement Biron en 2009-2010) des six aménagements aval du Gave de Pau. Ces derniers tests ont fait l'objet de rapports annexes (Bau *et al.*, 2010b, 2011).

Au total, 75 anguilles ont été radiopistées sur ce tronçon du Gave de Pau de 60 km, équipé de six aménagements hydroélectriques qui ont tous fait l'objet d'un suivi (fixe et/ou manuel). **Il ressort comme conclusions que les voies de franchissement des anguilles, qui se répartissent entre le barrage et les turbines à l'usine, restent fortement influencées, comme lors des années précédentes, par :**

- **les conditions hydrologiques** (débits de la rivière, répartition des débits au niveau de l'aménagement, débit d'équipement des aménagements),
- **la configuration des aménagements** (e.g. présence et position d'une barrière physique [pré-grilles à faible espacement de barreaux] (Baigts) mais aussi les caractéristiques de la prise d'eau (longueur et inclinaison du barrage)).

Les lâchers des anguilles ont été effectués dans deux lieux différents et dans des conditions de débit variables pour figurer tous les aspects des conditions naturelles de dévalaison de l'anguille. **La variabilité comportementale observée entre lots ainsi qu'au sein d'un même lot rend par contre difficile la détermination précise des fenêtres d'activité migratoire et la prédiction des vagues de migration sur le cours d'eau, une prédiction pourtant nécessaire pour gérer au mieux, en faveur de l'anguille, l'exploitation des centrales hydroélectriques (e.g. arrêt des turbines) lors des pics de migration.**

L'ensemble des informations acquises au cours de 3 années d'étude doit faire l'objet d'une synthèse générale permettant d'établir des modèles de répartition des poissons au droit des ouvrages hydroélectriques susceptibles de constituer un outil important dans l'estimation des taux d'échappement des anguilles argentées à l'échelle d'axe de rivière.

6. Références

- Bach J.M., Chanseau M., Larinier M., 1996. Suivi par radiopistage de la migration anadrome des salmonidés amphihalins sur le Gave de Pau. Rapport GHAAPPE RA96.03, 46 p. + annexes.
- Baglinière J.L., Porcher J.P., 1994. Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. In : *Le saumon atlantique*. Gueguen J.C., Prouzet P. (Eds.). IFREMER Press, 101-122.
- Baras E., Cherry B., 1990. Seasonal activities of female *Barbus barbus* (L.) in the river Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*, 3 : 283-294.
- Baras E., Lagardère J. P., 1995. Fish telemetry in aquaculture : review and perspectives. *Aquacult. Int.* 3 : 77-102.
- Bau F., Breinig T., Jourdan H., Croze O., 2005. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech – Deuxième campagne (suivi 2003). Rapport GHAAPPE RA05.01, 102 p.
- Bau F., Moreau N., Croze O., Breinig T., Jourdan H., 2006. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech – Troisième campagne (suivi 2004). Rapport GHAAPPE RA06.03, 154 p.
- Bau F., Croze O., Delmouly L., Moreau N., Alesina R., 2007. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en aval et en amont de Golfech – Quatrième campagne (suivi 2005). Rapport GHAAPPE RA07.03, 108 p.
- 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 RA08.06, EDF R&D N°H-P76-2008-04291-FR, 78 p.
- Bau F., Gomes P., Frey A., Mennessier JM., Baran P., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2010a. Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Sapso, Castetarbe, Baigts et Puyoo (2008-2009). Rapport d'étape, 103 p.
- Bau F., Travade F., Baran P., Larinier M., De Oliveira E., Gomes P., 2010b. Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau. Rapport d'étape, 52 p.
- Bau F., Lafitte J., Travade F., Baran P., Larinier M., De Oliveira E., 2011. Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau. Rapport final, 88 p.
- Chanseau M., Larinier M., 2000. The impact of obstacles on the Pau River (France) on the upstream migration of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In : *Advances in Fish Telemetry*. Moore A., Russell I. (Eds). Lowestoft CEFAS, 257-264.
- Croze O., 2005. Radio-tracking : a useful tool for the Aulne Atlantic salmon rehabilitation program. In : *Aquatic Telemetry : Advances and Applications*. Spedicato M.T., Lembo G., Marmulla G. (Eds). Rome FAO/COISPA, 13-24.
- Croze O., Bau F., Breinig T., 2004. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech. Première campagne (suivi 2002). Rapport GHAAPPE RA04.06, 225 p.
- Dekker W., 2004. Slipping through our hands: population dynamics of the European eel. Thèse de doctorat, Université d'Amsterdam (Pays-Bas) : 186p.
- Dufour S., Marchelidon J., 1998. Caractérisation des futurs géniteurs dans la population d'anguilles sur la base de données produites par le RHP. Rapport final. Etude n°49. Convention d'étude CSP-Cemagref n°97 420.

- 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 D.A. (Ed). Bethesda, Maryland. American Fisheries Society Symposium 33, 343-356.
- Feunteun E., Acou A., Laffaille P., Legault A., 2000. The European Eel (*Anguilla anguilla*, L.): prediction of spawner escapement from continental population parameters, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 : 1627-1635.
- Fontaine Y.A., 1994. L'argenteur de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335 : 171-186.
- Frost W. E., 1950. The eel fisheries of the River Bann, Northern Ireland and observations on the age of the silver eels. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 16 : 358-383.
- Gerlier M., Roche P., 1998. A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia*, 371/372 : 283-293.
- Gosset C., Travade F., Durif C., Rives J., Elie P., 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications*, 21 : 1095-1105.
- Hammond S.D., Welsh S.A., 2009. Seasonal movements of large yellow American eels downstream of a hydroelectric dam, Shenandoah River, West Virginia. In : *Eels at the edge : science, status, and conservation concerns*. Casselman J.M., Cairns D.K. (Eds). Bethesda, Maryland. American Fisheries Society Symposium 58, 309-323.
- Jellyman D.J., Sykes J.R.E., 2003. Diel and seasonal movements of radio-tagged freshwater eels, *Anguilla* spp., in two New Zealand streams. *Environmental Biology of Fishes* 66 :143-154.
- LaBar G.W., Hernando Casal J.A., Fernandez Delgado C., 1987. Local movements and population size of European eels, *Anguilla anguilla*, in a small lake in south-western Spain. *Environmental Biology of Fishes* 19 : 111-117.
- Lamothe P.J., Gallagher M., Chivers D.P., Moring J.R., 2000. Homing and movement of yellow-phase American eels in freshwater ponds. *Environmental Biology of Fishes* 58 : 393-399.
- Larinier M., Chanseau M., Bau F., Croze O., 2005. The use of radiotelemetry for optimizing fish pass design. In : *Aquatic Telemetry : Advances and Applications*. Spedicato M.T., Lembo G., Marmulla G. (Eds). Rome FAO/COISPA, 53-60.
- Pankhurst N.W., 1982. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21 : 127-140.
- Priede I.G., 1980. An analysis of objectives in telemetry studies of fish in the natural environment. In : *A Handbook on biotelemetry and radiotracking*. 804 p. Amlaner C.J., MacDonald D.W. (Eds.) Pergamon Press. New-York : 105-117.
- 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). Rapport EDF R&D H-P76-2006-01319-FR & Rapport GHAAPPE RA-05-03, 85 p. + annexes.
- Subra S., Gomes P., Vighetti S., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 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 de Béarn (Gave de Pau – 64). Campagne 2005. Rapport EDF R&D H-P76-2006-03437-FR, 110 p. + annexes.
- Subra S., Gomes P., Bory Y., Clave D., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2008. Etude du franchissement par l'anguille argentée des ouvrages hydroélectriques du Gave de Pau. Suivi par radiopistage des rythmes de dévalaison et du franchissement des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo. Campagne expérimentale 2006. Rapport EDF R&D H-P76-2007-02606-FR, 115 p. + annexes.
- Tesch F.W., 1977. *The Eel. Biology and Management of Anguillid Eels*. Chapman & Hall, London. 434 p.

Travade F., Larinier M., Subra S., Gomes P., De Oliveira E., 2009. Franchissement des aménagements hydroélectriques par l'anguille argentée en dévalaison. Etude des voies de franchissement de l'usine hydroélectrique de Baigts-de-Béarn (64). Test d'exutoires de dévalaison et de grilles fines. Rapport EDF R&D N°H-P76-2009-02948-FR & Rapport GHA APPE RA09-05, 66 p.

Vollestad L.A., Jonsson B., Hvidsten N.A., Næsje T.F., Haraldstad O., Ruud-Hansen J., 1986. Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43 : 1909-1916.

Winter J. D., 1983. Underwater biotelemetry. In : *Fisheries Techniques*. Nielsen L.A., Johnsen J.D. (Eds). Bethesda, Maryland. American Fisheries Society : 371-395.

Winter H.V., Jansen H.M., Bruijs M.C.M., 2006. Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. Ecol. Freshwat. Fish., 15 : 221-228.

Winter H.V., Jansen H.M., Breukelaar A.W., 2007. Silver eel mortality during down-stream migration in the River Meuse from a population perspective. ICES J. Marine Sci., 64 : 1444-1449.

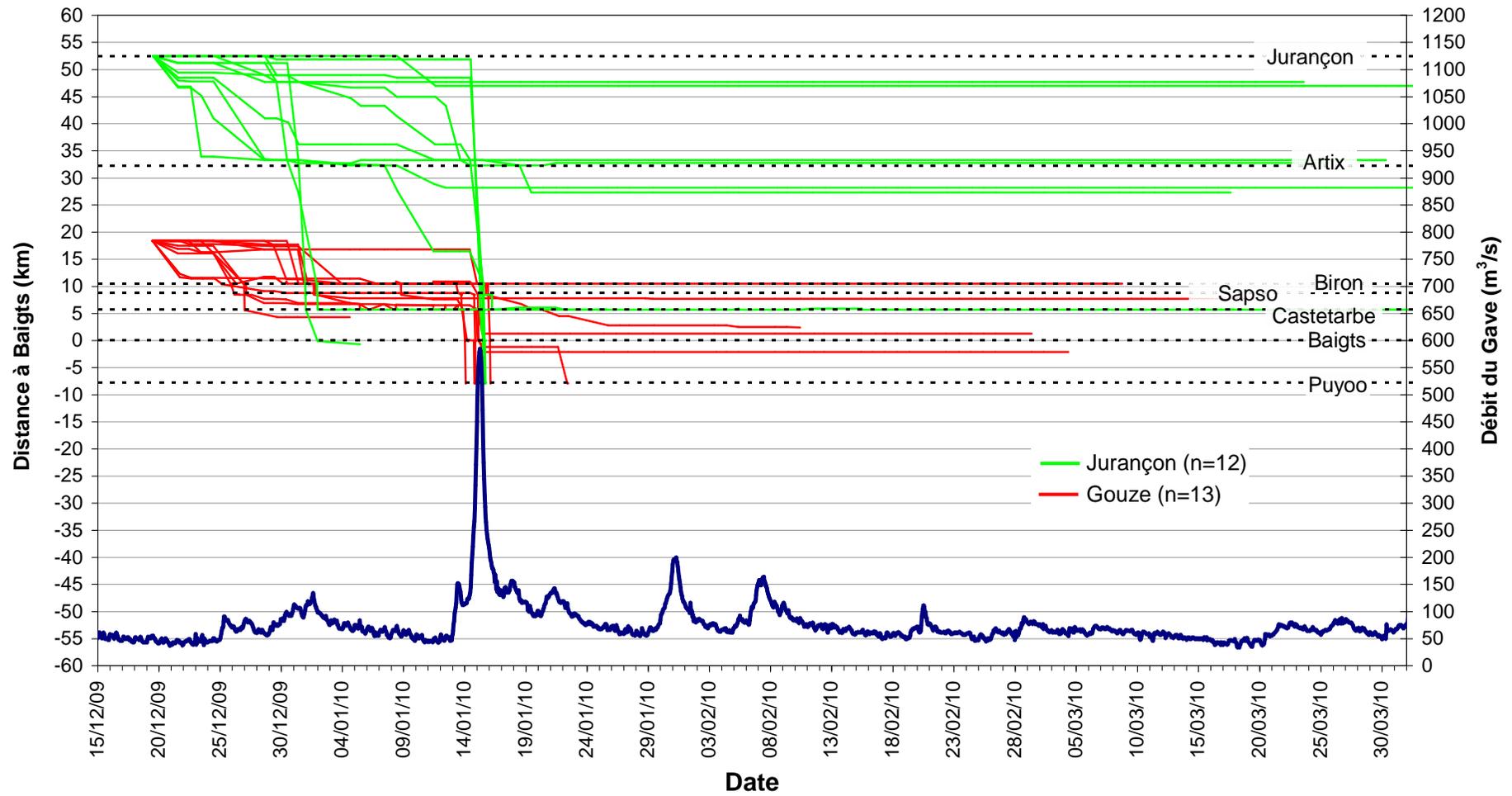
7. Annexes

Annexe 1 : Synthèse des caractéristiques morphologiques des anguilles suivies par radiopistage en 2009-2010.

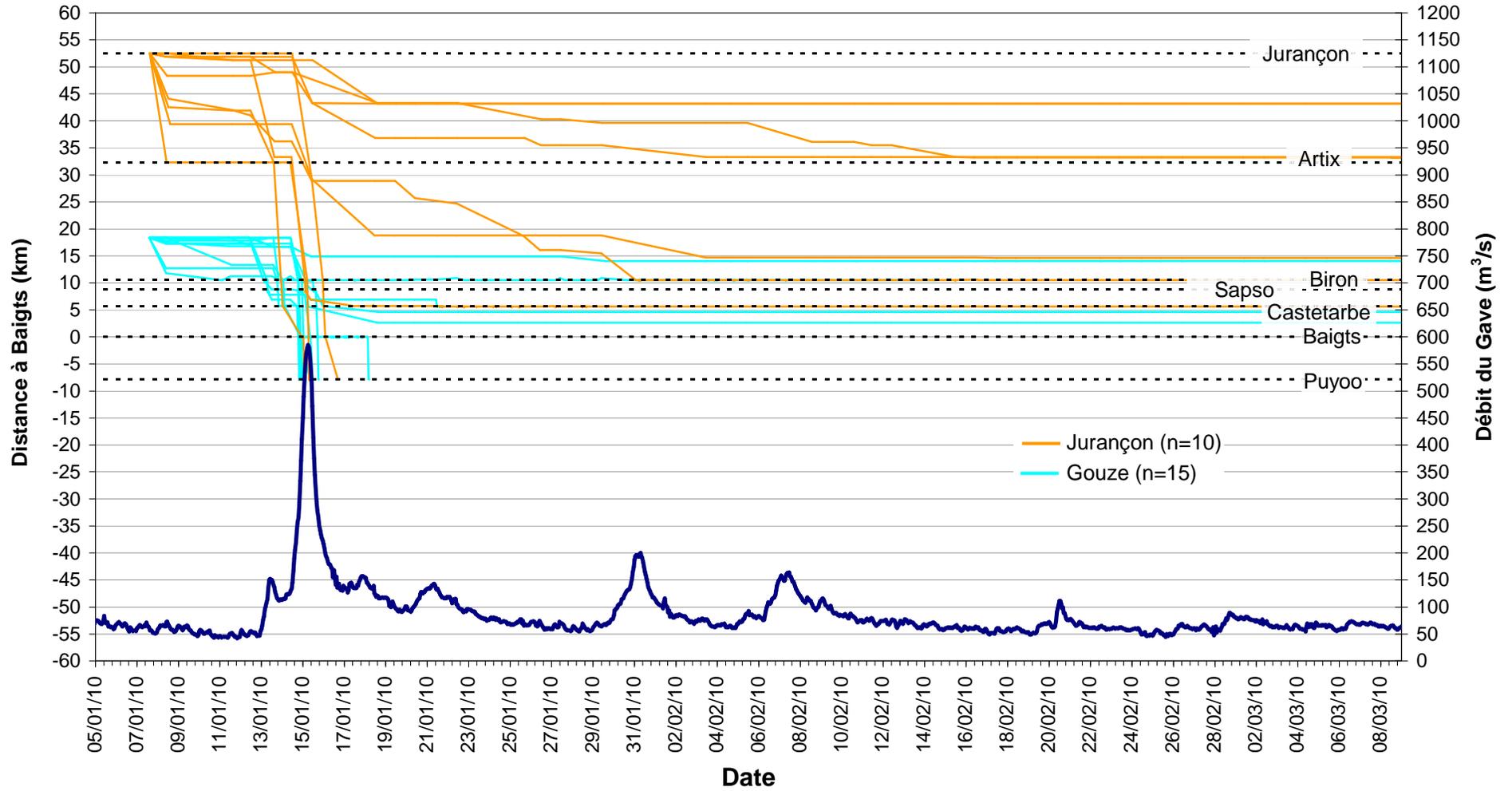
N° Lot	Fréquence	Code	Tiris	Date de marquage	P (g)	Lt (mm)	Facteur de condition (Fulton, 1911)	Diamètre œil (mm)			Diamètre de tête (mm)		Diamètre du corps (mm)		Etat	Date & Heure de lâcher (en TU)	Lieu de lâcher
								Dh	Dv	IO	horiz.	vertic.	horiz.	vertic.			
1	48611	0	7E9A5C3	17/12/2009	1100	868	0,17	11,80	9,37	10,14	33,00	32,33	33,54	43,89	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	1	7E9A5C4	17/12/2009	946	750	0,22	12,05	13,58	17,20	28,36	34,99	47,44	52,93	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	2	7E9A5C5	17/12/2009	715	732	0,18	8,46	7,94	7,21	27,53	27,01	28,05	37,71	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	3	7E9A5C6	17/12/2009	977	850	0,16	9,78	10,47	9,47	31,83	31,84	44,21	46,73	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	4	7E9A5C9	17/12/2009	1078	812	0,20	9,87	12,80	12,43	31,08	31,14	39,74	47,05	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	5	7E9A5AA	17/12/2009	963	802	0,19	12,30	11,30	13,64	29,90	28,75	41,05	45,68	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	6	7E9A5AB	17/12/2009	846	792	0,17	10,67	10,07	10,66	29,80	30,48	31,02	47,41	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	7,5	7E9A5AC	17/12/2009	853	810	0,16	11,23	9,43	10,35	28,02	26,43	38,43	43,73	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	8	7E9A5AD	17/12/2009	885	810	0,17	12,78	8,85	11,34	24,10	24,06	35,41	40,80	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	9	8ED3B31	17/12/2009	788	790	0,16	9,90	9,65	9,50	27,63	28,99	32,45	41,22	BE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	11	8ED3B29	17/12/2009	588	766	0,13	9,48	9,42	9,16	22,18	21,44	26,72	31,66	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	12	8ED3B30	17/12/2009	421	697	0,12	10,50	9,49	11,26	20,40	25,04	20,64	30,36	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	13	8ED3B2F	17/12/2009	538	686	0,17	8,03	8,09	7,44	22,70	21,54	27,10	36,50	TBE	19/12/2009 10:58	Gouze
1	48611	14	8ED3B2E	17/12/2009	619	720	0,17	9,41	8,39	8,64	23,26	24,54	29,96	30,45	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	15	8ED3B2D	17/12/2009	535	724	0,14	8,19	8,78	7,81	23,67	28,66	23,69	36,24	BE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	16	8ED3B2C	18/12/2009	720	765	0,16	9,41	8,37	8,11	24,64	22,70	28,60	36,85	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	17	8ED3B2B	18/12/2009	1008	822	0,18	9,91	9,68	9,17	30,92	32,57	40,31	45,81	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	18	8ED3B2A	18/12/2009	976	810	0,18	8,46	8,94	7,34	25,55	29,75	36,71	44,08	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	19	8ED3B37	18/12/2009	1212	934	0,15	10,33	10,72	9,32	34,14	37,34	38,84	44,45	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	20	8ED3B36	18/12/2009	890	766	0,20	8,25	8,38	7,09	27,40	28,48	36,13	40,66	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	21	8ED3B35	18/12/2009	549	655	0,20	7,14	7,67	6,58	21,52	23,73	28,10	30,00	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	22	8ED3B34	18/12/2009	545	715	0,15	8,01	8,10	7,13	23,34	24,87	27,14	29,79	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	23	8ED3B33	18/12/2009	629	685	0,20	7,92	8,18	7,43	27,89	26,27	31,12	36,97	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	24	8ED3B32	18/12/2009	607	708	0,17	9,30	10,01	10,34	21,90	24,85	28,38	34,17	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
1	48611	26	8ED3B38	18/12/2009	887	815	0,16	10,24	9,22	9,12	30,83	29,61	32,76	36,21	TBE	19/12/2009 12:05	Jurançon
2	48671	0	8ED3B39	05/01/2010	668	710	0,19	8,82	6,90	6,83	27,85	26,97	35,00	38,10	TBE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	1	8ED3B3A	05/01/2010	589	786	0,12	8,43	7,96	6,71	28,27	27,31	27,04	35,41	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	2	8ED3B3B	05/01/2010	689	763	0,16	8,88	8,37	7,66	33,65	33,10	40,46	34,40	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	3	8ED3B3C	05/01/2010	944	800	0,18	9,64	8,89	8,43	28,88	29,00	36,20	40,88	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	4	8ED3B3D	05/01/2010	942	773	0,20	9,28	8,62	8,14	29,67	29,51	32,42	40,01	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	5	8ED3B3E	05/01/2010	836	784	0,17	8,81	8,65	7,63	27,92	28,46	35,74	46,86	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	6	8ED3B40	05/01/2010	1161	826	0,21	10,14	9,10	8,80	30,01	29,88	40,09	49,28	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	7,5	8ED3B15	05/01/2010	640	711	0,18	9,80	8,62	9,37	23,69	24,17	32,81	36,55	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	8	8ED3B3F	06/01/2010	870	770	0,19	9,09	9,10	8,44	26,81	26,38	29,90	38,02	TBE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	9	8ED3B41	06/01/2010	955	784	0,20	8,59	8,47	7,29	29,70	30,60	34,16	40,67	TBE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	11	8ED3B42	06/01/2010	1008	782	0,21	9,03	9,40	8,53	29,92	30,09	39,29	43,15	TBE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	12	8ED3B43	06/01/2010	583	691	0,18	8,90	8,35	8,46	23,10	22,01	26,05	37,29	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	13	8ED3B44	06/01/2010	512	735	0,13	8,10	7,87	6,81	26,20	25,52	25,38	29,96	TBE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	14	8ED3B45	06/01/2010	880	815	0,16	10,58	9,04	9,27	28,29	31,75	33,85	42,25	ABE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	15	8ED3B47	06/01/2010	881	821	0,16	9,87	9,23	8,72	34,18	33,02	37,31	47,86	BE	07/01/2010 14:10	Gouze
2	48671	16	8ED3B48	06/01/2010	1078	817	0,20	9,95	9,21	8,82	30,55	35,22	40,71	44,51	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	17	8ED3B49	06/01/2010	816	746	0,20	9,92	9,53	9,96	28,95	26,99	32,09	39,89	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	18	8ED3B4A	06/01/2010	511	672	0,17	9,19	8,48	9,12	22,28	24,51	27,28	33,12	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	19	8ED3B4B	06/01/2010	501	710	0,14	8,99	8,48	8,44	22,81	25,01	24,68	30,88	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	20	8ED3B4C	06/01/2010	934	785	0,19	11,73	10,71	12,60	30,67	30,78	33,88	45,66	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	21	8ED3B4D	06/01/2010	535	695	0,16	9,18	8,77	9,10	25,32	25,04	24,79	30,81	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	22	8ED3B4E	06/01/2010	1036	849	0,17	12,65	11,78	13,80	30,41	33,41	31,98	37,68	TBE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	23	8ED3B4F	06/01/2010	904	785	0,19	9,29	8,82	8,20	25,85	29,45	37,05	42,29	TBE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	24	8ED3B51	06/01/2010	626	670	0,21	9,12	8,50	9,10	25,56	25,76	31,40	45,51	BE	07/01/2010 14:50	Jurançon
2	48671	26	8ED3B52	06/01/2010	620	702	0,18	8,22	8,01	7,37	23,15	21,92	25,98	31,84	TBE	07/01/2010 14:50	Jurançon
3	48741	0	8ED3B3C	01/02/2010	1830	985	0,19	12,34	11,69	11,51	36,00	36,74	47,72	62,91	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	1	8ED3B2C	01/02/2010	1387	919	0,18	11,76	11,30	11,36	32,66	31,15	39,06	50,96	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	2	8ED3B53	01/02/2010	715	725	0,19	9,37	8,76	8,90	28,52	29,21	30,37	38,13	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	3	8ED3B54	01/02/2010	513	650	0,19	8,56	10,63	11,12	21,91	25,40	33,21	37,23	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	4	8ED3B55	01/02/2010	1450	825	0,26	9,18	9,53	8,33	31,44	29,96	38,01	44,64	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	5	8ED3B56	01/02/2010	1505	890	0,21	10,07	9,35	8,32	31,52	34,20	42,45	48,06	TBE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	6	8ED3B57	01/02/2010	438	644	0,16	7,60	7,31	6,78	19,70	20,39	24,60	26,39	TBE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	7,5	8ED3B58	01/02/2010	615	761	0,14	9,90	9,60	9,81	27,66	27,76	33,17	37,08	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	8	8ED3B59	01/02/2010	1266	835	0,22	9,57	9,49	8,54	31,50	32,85	38,69	40,97	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	9	8ED3B5A	01/02/2010	652	715	0,18	10,26	9,76	11,01	24,76	28,26	30,05	36,81	TBE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	11	8ED3B5B	01/02/2010	1482	870	0,23	9,36	9,20	7,77	31,17	29,98	39,87	48,27	ABE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	12	8ED3B5C	01/02/2010	1231	867	0,19	11,04	10,22	10,24	30,07	31,79	39,69	53,12	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	13	8ED3B5D	01/02/2010	570	710	0,16	8,21	7,87	7,15	23,87	23,79	24,15	26,25	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	14	8ED3B5E	01/02/2010	558	675	0,18	9,17	7,77	8,35	22,11	24,88	26,03	32,71	TBE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	15	8ED3B5F	01/02/2010	666	702	0,19	9,73	9,17	9,99	27,00	26,32	33,30	40,15	BE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	16	8ED3B60	02/02/2010	401	625	0,16	8,24	7,56	7,84	20,31	20,57	26,73	28,48	TBE	02/02/2010 15:57	Gouze
3	48741	17	8ED														

Annexe 2 : Graphiques par lot des déplacements des anguilles en fonction du débit du Gave de Pau

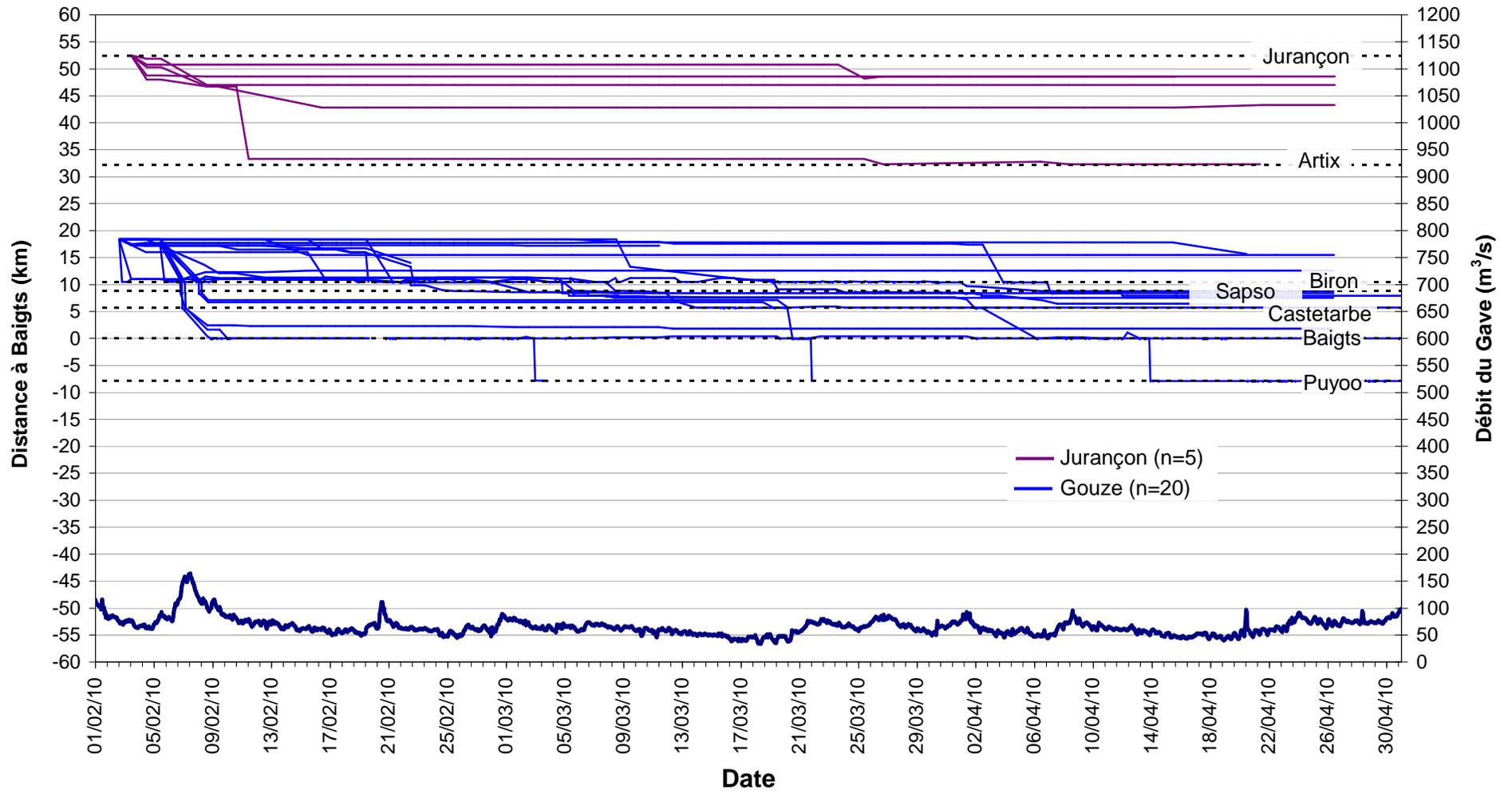
Lot 1



Lot 2



Lot 3



Annexe 3 : Enchaînements des passages d'ouvrages observés pour les lots 1, 2 et 3

Lot 1

Code anguille	Passage Biron		Passage Sapso		Passage Castetarbe		Passage Baigts		Passage Puyoo	
	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie
48611_0	14/01/2010 19:09	Turbine	14/01/2010 19:39	Turbine	14/01/2010 20:54	Barrage	14/01/2010 22:05	Barrage	14/01/2010 23:03	Barrage
48611_1	25/12/2009 03:10	Turbine	14/01/2010 18:05	Barrage	14/01/2010 18:52	Turbine	14/01/2010 20:27	Barrage	14/01/2010 21:23	Barrage
48611_2	01/01/2010 19:36	Turbine	01/01/2010 20:34	Turbine						
48611_3	15/01/2010 21:21	Turbine	15/01/2010 21:49	Turbine	15/01/2010 22:59	Barrage	16/01/2010 01:14	Barrage	16/01/2010 02:30	Barrage
48611_4	08/01/2010 18:33	Turbine	08/01/2010 19:33	Turbine	13/01/2010 20:51	Barrage	14/01/2010 00:23	Barrage	14/01/2010 01:53	Barrage
48611_5	13/01/2010 07:11	Turbine	13/01/2010 17:07	Barrage	13/01/2010 18:24	Barrage	14/01/2010 17:35	Barrage	14/01/2010 18:38	Barrage
48611_6	25/12/2009 20:18	Turbine	26/12/2009 12:56	Turbine	15/01/2010 01:15	Barrage				
48611_7.5	15/01/2010 02:34	Turbine	15/01/2010 17:45	Barrage	20/01/2010 10:46	Barrage				
48611_8	01/01/2010 04:41	Turbine	01/01/2010 16:31	Turbine						
48611_9	27/12/2009 01:39	Turbine	27/12/2009 03:16	Turbine	14/01/2010 21:48	Barrage	15/01/2010 03:50	Barrage		
48611_11	14/01/2010 14:11	Barrage	15/01/2010 01:51	Barrage	15/01/2010 02:14	Barrage	15/01/2010 03:06	Barrage	22/01/2010 09:08	Barrage
48611_12	26/12/2009 22:53	Clapet	26/12/2009 23:32	Turbine	27/12/2009 00:36	Turbine				
48611_13	08/03/2010 17:49*									
48611_14	31/12/2009 23:01	Turbine	31/12/2009 23:42	Turbine	01/01/2010 00:36	Barrage	01/01/2010 23:21	Turbine		
48611_15	15/01/2010 09:44	Turbine	15/01/2010 09:58	Barrage	15/01/2010 10:24	Barrage	15/01/2010 11:20	Barrage	15/01/2010 12:07	Barrage
48611_16	15/01/2010 11:49	Barrage	15/01/2010 12:12	Barrage						
48611_20	15/01/2010 05:43	Barrage	15/01/2010 05:57	Barrage	15/01/2010 06:22	Barrage	15/01/2010 14:19	Barrage	15/01/2010 15:18	Barrage
48611_24	01/01/2010 21:46	Turbine	01/01/2010 22:32	Turbine						
48611_26	15/01/2010 12:23	Barrage	15/01/2010 12:46	Barrage	15/01/2010 13:22	Barrage	15/01/2010 14:50	Turbine	15/01/2010 16:55	Barrage

Lot 2

Code anguille	Passage Biron		Passage Sapso		Passage Castetarbe		Passage Baigts		Passage Puyoo	
	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie
48671_0	13/01/2010 06:22	Turbine	13/01/2010 06:59	Barrage	14/01/2010 17:05	Barrage	14/01/2010 18:41	Barrage	14/01/2010 19:46	Barrage
48671_1	15/01/2010 00:16	Barrage	15/01/2010 14:55	Barrage	15/01/2010 15:41	Barrage	15/01/2010 17:06	Barrage	15/01/2010 18:19	Barrage
48671_2	14/01/2010 18:53	Clapet	14/01/2010 19:16	Barrage	14/01/2010 19:55	Barrage	14/01/2010 21:18	Turbine	14/01/2010 23:56	Barrage
48671_3	13/01/2010 02:57	Turbine	14/01/2010 21:22	Barrage						
48671_4	14/01/2010 18:43	Turbine	14/01/2010 19:10	Turbine	14/01/2010 19:51	Barrage	14/01/2010 21:12	Barrage	14/01/2010 22:07	Barrage
48671_5	14/01/2010 18:21	Turbine	14/01/2010 18:42	Barrage	14/01/2010 19:31	Barrage	18/01/2010 03:02	Barrage	18/01/2010 04:25	Barrage
48671_6	13/01/2010 18:23	Turbine	13/01/2010 18:55	Barrage	14/01/2010 17:50	Barrage	14/01/2010 19:27	Barrage	14/01/2010 20:30	Barrage
48671_7.5	15/01/2010 03:20	Barrage	15/01/2010 04:28	Barrage	15/01/2010 05:58	Barrage				
48671_8	14/01/2010 18:57	Clapet	14/01/2010 19:16	Barrage	14/01/2010 20:02	Barrage	14/01/2010 21:28	Barrage	15/01/2010 08:00	Barrage
48671_9	14/01/2010 22:48	Clapet	14/01/2010 23:04	Barrage	14/01/2010 23:42	Barrage	15/01/2010 00:40	Barrage	15/01/2010 01:33	Barrage
48671_11	14/01/2010 01:09	Turbine	14/01/2010 01:52	Turbine	14/01/2010 03:02	Barrage	14/01/2010 21:03	Barrage	14/01/2010 21:59	Barrage
48671_12	14/02/2010 13:07*									
48671_14	14/01/2010 22:28	Passé à Poissons	15/01/2010 12:49	Barrage	16/01/2010 04:11	Barrage				
48671_15	13/01/2010 06:49	Turbine	13/01/2010 07:23	Turbine	15/01/2010 04:06	Barrage	15/01/2010 08:28	Barrage	15/01/2010 11:24	Barrage
48671_16	15/01/2010 23:17	Turbine	15/01/2010 23:37	Barrage	16/01/2010 00:14	Barrage	16/01/2010 02:09	Turbine	16/01/2010 16:34	Barrage
48671_17	15/01/2010 02:23	Barrage	15/01/2010 02:35	Barrage	21/01/2010 17:01	Turbine				
48671_20	13/01/2010 23:00	Passé à Poissons	13/01/2010 23:40	Turbine	14/01/2010 00:48	Barrage	15/01/2010 00:34	Barrage	15/01/2010 01:31	Barrage
48671_22	14/04/2010 14:59*									
48671_23	15/01/2010 05:06	Clapet	15/01/2010 05:19	Barrage	15/01/2010 05:41	Barrage	15/01/2010 06:31	Barrage	15/01/2010 07:17	Barrage

Lot 3

Code anguille	Passage Biron		Passage Sapso		Passage Castetarbe		Passage Baigts		Passage Puyoo	
	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie	Date	Voie
48741_0	06/02/2010 18:17	Turbine	06/02/2010 19:15	Turbine	07/02/2010 02:27	Barrage				
48741_1	04/03/2010 18:50	Clapet	04/03/2010 20:13	Turbine	02/04/2010 00:55	Barrage	13/04/2010 19:42	Barrage	14/04/2010 01:49	Turbine
48741_2	19/03/2010 04:26	Turbine	01/04/2010 03:01	Barrage						
48741_4	07/02/2010 02:05	Turbine	07/02/2010 02:33	Barrage	07/02/2010 03:21	Barrage	02/03/2010 20:46	Barrage	03/03/2010 18:45	Barrage
48741_5	07/03/2010 19:11	Turbine	11/03/2010 21:55	Turbine	16/03/2010 14:27	Dégrilleur	20/03/2010 12:40	Barrage	21/03/2010 19:52	Barrage
48741_6	08/02/2010 05:10	Turbine	08/02/2010 05:54	Barrage						
48741_7.5	08/02/2010 00:41	Turbine	08/02/2010 01:16	Turbine						
48741_8	21/02/2010 20:10	Turbine								
48741_9	06/02/2010 20:38	Turbine	06/02/2010 21:12	Turbine	06/02/2010 22:07	Passé à Poissons	04/05/2010 00:07	Turbine	07/05/2010 06:36	Barrage
48741_11	04/04/2010 06:23	Clapet	07/04/2010 02:13	Turbine						
48741_12	21/02/2010 18:29	Turbine	05/03/2010 14:53	Turbine						
48741_14	06/02/2010 07:34*									
48741_16	04/03/2010 21:19	Turbine								
48741_19	30/03/2010 02:42	Clapet								
48741_20	23/02/2010 06:48*									

* Date & Heure de dernière réception sur site en amont de Biron des anguilles n'ayant pas dévalé