HAL
open science

Anguille et ouvrages : migration de dévalaison. Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages hydroélectriques sur le Gave de Pau

F. Bau, Jérôme Lafitte, Philippe Baran, M. Larinier, F. Travade, Eduardo Henrique de Oliveira

To cite this version:

F. Bau, Jérôme Lafitte, Philippe Baran, M. Larinier, F. Travade, et al.. Anguille et ouvrages : migration de dévalaison. Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages hydroélectriques sur le Gave de Pau. [Rapport Technique] irstea. 2011, pp.91. hal-02596839

HAL Id: hal-02596839

https://hal.inrae.fr/hal-02596839

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.

Partenariat *2009-2010*
Programme R&D Anguille et Ouvrages
Action n°6

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

F. BAU, J. LAFITTE, 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°7 : Tests de barrières comportementales à infrasons sur le Gave de Pau
Tester l'aptitude d'un dispositif de répulsion à infrasons à limiter le passage des anguilles dans les turbines en les détournant vers un exutoire contournant l'usine.

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

François Travade
Ingénieur - Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement de la branche R&D d'EDF
francois.travade@edf.fr
Département LNHE, 6 Quai Watier, B.P. 49, 78401 Chatou Cedex, France

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 :

Partenaires : *François Travade, EDF R&D, francois.travade@edf.fr*
Marc Zylberblat, chargé de mission environnement à la CNR, M.Zylberblat@cnr.tm.fr
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 :
Couverture géographique :
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

www.ademe.fr

www.france-hydro-electricite.fr

www.edf.fr

www.shem.fr

www.cnr.tm.fr

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°7 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), la Compagnie nationale du Rhône (CNR) et Electricité de France (EDF).

- La maîtrise d'œuvre a été réalisée :
  - par la société Profish Technology pour l'installation, la mise en service et la maintenance ponctuelle de leurs barrières à infrasons sur les deux sites expérimentaux,
  - conjointement par l'ONEMA et EDF R&D, avec l'appui du bureau d'étude ECOGEA en 2008-2009, pour le suivi quotidien de maintenance de ces dispositifs Profish Technology et pour le suivi technique de l'étude : tests d'efficacité par radiopistage.

- EDF R&D (LNHE), l'ONEMA DR5 et le Pôle Ecohydraulique (ONEMA/IMFT/Cemagref) ont assuré la mise à disposition du matériel de radiotélémétrie 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 conjointement avec le fournisseur Profish Technology à remercier le producteur hydro-électricien TOPWATT pour la mise à disposition et le libre accès à leur centrale de Biron-Castétis et plus particulièrement Monsieur Ollier et, sur site, Monsieur Jean-Claude Cazenave, pour leur accueil et leur aide autour du dispositif Profish tout au long des deux ans d'étude.

- Nos remerciements s'adressent également à EDF GEH Adour et Gaves pour la mise à disposition et le libre accès à leur centrale de Baigts de Béarn, et plus particulièrement à l'ensemble du personnel de l'usine pour leur accueil et l'intérêt porté à cette étude tout au long de l'expérimentation.

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

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

Sommaire

Sommaire **5**
Synthèse pour l'action opérationnelle **6**
1. Contexte et but de l'étude **11**
2. Organisation des études des deux barrières à infrasons **11**
3. La barrière à infrasons **12**
4. Sites d'étude : centrales de Baigts et de Biron sur le Gave de Pau **13**
4.1. Choix des sites 13
4.2. Centrale hydroélectrique de Baigts 14
4.3. Centrale hydroélectrique de Biron 16
5. Test préliminaire d'un répulseur à infrasons à l'usine EDF de Baigts : risque de vibration de la structure de la prise d'eau **18**
6. Installation et mise en service de la barrière à infrasons à l'usine de Baigts **19**
7. Installation et mise en service de la barrière à infrasons à l'usine de Biron **22**
7.1. Etude 2008-2009 22
7.2. Etude 2009-2010 24
8. Suivi et maintenance des deux barrières à infrasons **24**
9. Tests d'efficacité des deux barrières à infrasons par radiotélémétrie **24**
9.1. Matériel et Méthodes 25
9.1.1. Caractéristiques des anguilles utilisées *25*
9.1.2. Marquage, transport et lâcher des anguilles radiomarquées *25*
9.1.3. Suivi et enregistrement des déplacements des anguilles radio-marquées *26*
9.1.4. Mesures et variations des facteurs environnementaux *30*
9.2. Résultats du test d'efficacité à l'usine de Baigts 34
9.2.1. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance *34*
9.2.2. Fonctionnalité biologique de la barrière *34*
9.3. Résultats des tests d'efficacité à l'usine de Biron 44
9.3.1. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance en 2008-2009 ..... *44*
9.3.2. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance en 2009-2010 ..... *44*
9.3.3. Fonctionnalité biologique de la barrière en 2008-2009 ..... *47*
9.3.4. Fonctionnalité biologique de la barrière en 2009-2010 ..... *58*
10. Analyse de l'efficacité des deux barrières à infrasons par comparaison aux résultats des années précédentes **69**
10.1. Analyse de l'efficacité à l'usine de Baigts 69
10.2. Analyse de l'efficacité à l'usine de Biron 71
11. Conclusions **75**
12. Références **75**
13. Annexes **77**

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau

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

Synthèse pour l'action opérationnelle

1. Contexte : Afin de restaurer le stock d'anguille européenne qui a diminué de façon drastique, l'Union européenne a pris des mesures de protection au travers du règlement CE N°1100/2007 du 18 septembre 2007 « établissant des mesures pour la reconstitution du stock d'anguille européenne ». Dans ce cadre, le Comité National Anguille, créé sous l'égide du MEEDDAT et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, a entériné la mise en œuvre d'un programme de Recherche et de Développement qui a pour objectif d'étudier et de comprendre le comportement des anguilles et 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). Le programme de R&D défini dans cet accord comporte 15 actions en 2008 et 18 en 2009 relatives au franchissement des obstacles par les anguilles tant à la montée qu'à la descente.

2. Objectifs : L'une de ces actions (action n°7) consiste à tester l'aptitude d'un dispositif de répulsion à infrasons à limiter le passage des anguilles dans les turbines en les détournant vers un exutoire contournant l'usine. Ce dispositif de répulsion à infrasons, proposé par la compagnie belge Profish Technology, a été testé, en 2008-2009, sur deux centrales hydroélectriques du Gave de Pau : Baigts (EDF) et Biron (Société Topwatt). Les deux sites ont été choisis pour leur complémentarité :

- implantation derrière un plan de grilles à 3 cm d'espacement inter-barreaux à Baigts pour examiner si la barrière à infrasons peut compléter l'effet partiel de répulsion de la grille,

- implantation en entrée de canal d'amenée à Biron pour examiner la capacité de la barrière à infrasons à repousser les anguilles vers un exutoire situé au barrage. Le test a été reconduit en 2009-2010 uniquement au droit de la centrale de Biron.

3. Conditions d'étude : Une investigation préliminaire effectuée, en 2008, à l'usine de Baigts par un bureau d'étude spécialisé a montré que les infrasons étaient susceptibles d'engendrer, par résonance, des vibrations des structures de prise d'eau. A Baigts, ces vibrations apparaissent pour des fréquences de plus de 14 Hz. Le dispositif, constitué de 3 répulseurs à infrasons, a alors été maintenu en fonctionnement dans la gamme 10-12 Hz tout au long de l'étude 2008-2009. A Biron, le problème ne s'est pas posé car le dispositif à 5 (2008-2009) ou 8 (2009-2010) répulseurs a été installé à une distance importante de la structure de la prise d'eau ; les répulseurs ont fonctionné entre 10-12 Hz et 14-16 Hz au cours des deux tests.

- <u>en 2008-2009</u> : Les débits du Gave de novembre à avril (28 à 822 m^3/s ; médiane 70.5 m^3/s) sont restés proches de la moyenne de référence (74.5 m^3/s) sur la période 1960-2008, sauf en novembre et février où l'hydrologie a été plus soutenue (coefficient d'hydraulicité : 1.29, 1.26). Trois coups d'eau significatifs ont eu lieu fin novembre, fin janvier (420-450 m^3/s), et mi-février (>800 m^3/s proche de la crue quinquennale). A Baigts, le débit d'équipement de la centrale a été dépassé durant 31% du temps. A Biron, le débit d'équipement a été dépassé durant 20% du temps. Les autres paramètres (température, conductivité, turbidité de l'eau…) enregistrés à Baigts sont restés voisins respectivement de 8.9°C, 297 µS/cm et 0.010 g/L en médiane sur la période d'étude, excepté pendant les trois principales crues où la turbidité a augmenté à plus de 1 g/L et la conductivité chuté jusqu'à moins de 200 µS/cm.

• en 2009-2010 : Les débits du Gave de décembre à mai (33.5 à 585 m^3/s ; médiane 68 m^3/s) ont été proches de la moyenne de référence sur la période 1960-2009, sauf de février à avril où l'hydrologie a été plus faible (coefficient d'hydraulicité : 0.77, 0.69, 0.59). Deux coups d'eau significatifs dépassant 4 fois le module (585 m^3/s, 344 m^3/s) ont eu lieu respectivement mi-janvier et début mai. Le débit d'équipement de la centrale de Biron a été dépassé durant 15% du temps. Les paramètres (température, conductivité, turbidité de l'eau) enregistrés à Baigts sont restés voisins respectivement de 9.1℃, 257 µS/cm et 5.3 FNU en médiane sur la période d'étude, excepté pendant les deux principales crues où la turbidité a augmenté à plus de 700 FNU et la conductivité chuté jusqu'à 180 µS/cm.

4. Méthodologie : Les barrières à infrasons sur les deux sites ont fait l'objet d'un test de fonctionnalité et d'un test d'efficacité biologique durant une (Baigts) à deux (Biron) années consécutives (d'octobre 2008 à avril 2009 et de décembre 2009 à mai 2010). Ces tests ont fait appel à la technique de télémétrie (radiopistage) qui consiste à suivre les déplacements d'anguilles équipées d'émetteurs radio miniaturisés et de transpondeurs.

En l'absence de capacité de pêche suffisante sur le Gave de Pau, les anguilles argentées utilisées pour les tests proviennent de la Loire aval (et du courant landais du Vieux Boucau en 2008-2009). Après stabulation en pisciculture (AAPPMA du Gave d'Oloron) en 2008-2009 ou dans des cuves en circuit ouvert à Baigts en 2009-2010, 150 anguilles toutes au stade argenté (indice oculaire médian : 9.36, facteur de condition médian : 0.18) et dans un état sanitaire satisfaisant ont été marquées par chirurgie sous anesthésie chimique.

• en 2008-2009 : 75 anguilles (Lt : 59.7-82.4 cm ; poids : 415-967 g) ont été marquées et suivies. Deux lots de 25 individus chacun ont été relâchés fin novembre et mi décembre à Jurançon (42 km en amont de Biron, 52.5 km en amont de Baigts), et le 3ème lot début février 2009, en partie (n=15) à Gouze (7.9 km en amont de Biron, 18.4 km en amont de Baigts) et en partie (n=10) à Orthez (7.5 km en amont de Baigts).

• en 2009-2010 : 75 anguilles (Lt : 59.5-98.5 cm ; poids : 369-1881 g) ont été marquées et suivies. Deux 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 mi décembre et début janvier. Le 3ème lot a été relâché début février à Jurançon (n=5) et à Gouze (n=20).

Les anguilles marquées ont été (quasi) quotidiennement radiopistées à l'aide de récepteurs mobiles (repérages manuels) et de stations fixes permettant de retracer en continu le parcours des différentes anguilles à l'amont des centrales. L'enjeu du suivi portant sur le passage au travers des 2 barrières à infrasons Profish, une attention très particulière a été portée afin de couvrir au mieux ces dispositifs en termes d'observations de passages. Aussi, en 2008-2009, les centrales de Baigts et de Biron ont-elles été équipées d'antennes de réception reliées respectivement à 15 et 7 stations d'enregistrement automatique, dont 3 stations sur chaque site reliées précisément aux zones amont, centrale et aval du dispositif à infrasons et se chevauchant entre elles pour une couverture de réception complète de ce dispositif. Les 3 mêmes zones de couverture de la barrière sonore ont été maintenues à Biron en 2009-2010. Comme ces zones de réception ont été identiques d'une année sur l'autre, les résultats sur le comportement des anguilles à l'approche de la barrière (à 5 ou 8 répulseurs) sont comparables entre années. De plus, suite aux constatations par Profish de zones de ″trouées″ dans leur dispositif à infrasons en partie amont du répulseur amont, en zone mitoyenne entre leurs 2 premiers répulseurs amont et en partie aval du répulseur aval (Sony *et al.*, 2009), 3 stations d'enregistrement supplémentaires couvrant spécifiquement ces ″trouées ont été placées à Biron en janvier 2010 (soit 10 au total).

Méthodologie pour l'analyse de l'efficacité du dispositif : l'évaluation de l'efficacité du dispositif a reposé sur :

• L'efficacité « potentielle » des barrières sonores sur les anguilles dévalantes ne peut être réellement évaluée qu'en comparant les résultats avec ceux des autres années dans des configurations sans barrière à infrasons. Elle doit se traduire par une hausse significative du taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs (barrage, clapet, exutoire), c'est-à-dire par une nette réduction du taux de passage par les turbines, pour des conditions hydrologiques (et rapports Qd/Qt) similaires.

• Pour Baigts, une comparaison a été faite entre les 28 passages de 2008-2009 et les 167 réalisés en l'absence de répulseurs [5 ans : 2004/05-2007/08, Travade *et al.* (2009) ; 2009/10, Bau *et al.* (2011)].

Pour Biron, une comparaison a été menée entre les 32 passages de 2008-2009, les 46 de 2009-2010 et les 54 réalisés de 2006 à 2008 en l'absence de répulseurs (Subra *et al.*, 2008 ; Bau *et al.*, 2008). Deux analyses ont été effectuées :

- L'une repose sur l'utilisation d'un modèle statistique de prédiction des probabilités de passages des anguilles par les évacuateurs en fonction de l'hydrologie afin d'analyser si la présence de répulseurs réduit ou non le passage par les turbines pour des conditions de débits donnés.

- L'autre repose sur la construction d'un modèle statistique intégrant comme facteur explicatif en plus du débit et de la taille des anguilles la présence ou non de répulseurs.

5. Résultats sur le fonctionnement des 2 dispositifs :

- Aucun problème n'a eu lieu au cours des études sur les systèmes de fixation des barrières.

- Que ce soit à Baigts ou à Biron lors des deux ans de test, les barrières à infrasons n'ont pas été opérationnelles de façon autonome. Il y a eu de nombreux arrêts du dispositif liés majoritairement à des défauts de surtension ou de pression, ce qui a nécessité environ 20 interventions sur Baigts et 30 puis 15 sur Biron lors des 2 années. Malgré les contraintes occasionnées, les passages d'anguilles marquées ont pu être enregistrés au droit des centrales en situation de dispositifs sonores complètement opérationnels (à une exception près sur Baigts et à deux exceptions près sur Biron en 2009-2010).

6. Résultats sur l'efficacité biologique du dispositif placé à Baigts :

- Sur les 30 anguilles marquées arrivées au droit de Baigts en 2008-2009, 28 (93%) ont franchi l'ouvrage, dont 23 (82%) par le barrage ou le clapet RD, 3 (11%) par l'exutoire de dévalaison en rive droite côté clapet et 2 (7%) par les turbines, donc après passage au travers de la barrière à infrasons.

- Parmi les 23 passages d'anguilles par le barrage/clapet RD, pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore, 20 ont été réalisés à fort débit (médiane 557 m^3/s), de façon directe (1 incursion au droit de l'ouvrage), de courte durée (< 1h dans 95% des cas) et de nuit (60% des cas) ; les 3 autres passages sont intervenus à plus faible débit (96-128 m^3/s) après plusieurs longues incursions nocturnes.

  - dans 15 cas sur 23, il n'y a eu aucune approche vers le dispositif à infrasons (donc passages exclus de l'analyse sur l'efficacité du dispositif),

  - dans les 8 cas restants, les anguilles ont approché, au moins une fois et même très brièvement, la barrière sonore : 7 ont approché une seule fois (5 longeant tout le dispositif, 2 allant directement en zone aval BAGc proche du clapet) ; la 8ème s'est présentée à 8 reprises en zones médiane BAGb et aval BAGc. Aucune traversée aller-retour de la barrière "grilles-répulseurs" n'a été constatée.

- Les 3 passages d'anguilles par l'exutoire de dévalaison, situé en rive droite à l'extrémité aval du plan des pré-grilles à proximité du clapet, ont été réalisés de nuit à des débits de 57, 74 et 225 m^3/s. Aux faibles débits, les anguilles ont exploré plus ou moins longtemps les 3 zones de la barrière sonore, avec un stationnement préférentiel en BAGc proche de l'entrée de l'exutoire. Aucune traversée aller-retour de la barrière "grilles-répulseurs" n'a été constatée.

- Les 2 passages d'anguilles par les turbines ont eu lieu de nuit à débit faible à modéré (Qd/Qt=0.2 et 2.2), de façon directe et brève (< 1h) avec une seule approche de la barrière "grilles-répulseurs" suivie d'une traversée rapide par BAGb ou BAGc. Il n'y a eu aucune hésitation devant le dispositif.

- En matière d'efficacité, la 1ère démarche modélisant les probabilités de passages montre que l'effet "débit" et l'effet "grilles" apparaissent fortement déterminants dans l'échappement par les évacuateurs de crue, et qu'il n'y a pas d'effet "répulseurs" significatif (p=0.314). La seconde démarche reposant sur l'utilisation d'un modèle construit avec les années précédentes montre une très forte concordance entre la voie de passage prédite par le modèle et celle réellement observée, concordance bonne dans 24 cas sur 28 (86%). Dans les cas divergents, 2 anguilles ont dévalé par les turbines alors que leur probabilité d'échappement par les évacuateurs de crue prédite par le modèle était plus importante et les 2 autres sont passées par le barrage, mais avec, pour les débits rencontrés, quasiment autant de probabilité selon le modèle de dévaler par les turbines que de dévaler par les évacuateurs même en l'absence de répulseurs.

La barrière à infrasons à Baigts n'a donc pas eu d'effet répulsif sur les anguilles.

7. Résultats sur l'efficacité biologique du dispositif placé à Biron en 2008-2009 :

• Sur les 35 anguilles marquées arrivées au droit de Biron, 32 (91%) ont dévalé, dont 18 (56%) par le barrage ou le clapet RD et 14 (44%) par les turbines, donc après passage au travers de la barrière à infrasons.

• Parmi les 18 passages d'anguilles par le barrage/clapet RD, pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore, 17 ont été réalisés à fort débit (médiane 458 m^3/s), de façon directe (1 incursion au droit de l'ouvrage), de courte durée (< 1h dans 72% des cas) et de nuit (83% des cas) ; le 18ème s'est produit à faible débit après de longues prospections diurnes.

- dans 13 cas sur 18, il n'y a eu aucune approche vers le dispositif à infrasons (donc passages exclus de l'analyse sur l'efficacité du dispositif),

- dans les 5 cas restants, les anguilles ont approché, au moins une fois et même très brièvement, la barrière sonore : 4 d'entre elles n'ont pas traversé (débit 195 à 521 m^3/s) et une anguille a franchi à 2 reprises le dispositif (débit 96-101 m^3/s).

• Les 14 passages d'anguilles par les turbines ont été réalisés à des débits allant de 35 à 220 m^3/s.

- dans 12 cas sur 14, il n'y a eu qu'une seule approche de la barrière sonore, avec une traversée via la zone aval BIDc (8 cas), la zone médiane BIDb (2 cas) ou la zone amont BIDa (2 cas). Ces dévalaisons ont été de courte durée (< 1h) et nocturnes dans 92% des cas.

- dans les 2 cas restants, les anguilles ont approché à plusieurs reprises de la barrière sonore, exclusivement en parties amont BIDa et centrale BIDb, avec une traversée en BIDa pour l'une et en BIDa/b pour l'autre. Ces dévalaisons, réalisées aux plus faibles débits entrants (35-61 m^3/s), ont été plus longues (1h et 6.5j) et nocturne pour l'une, diurne pour l'autre. Ce comportement prospectif devant l'ouvrage à faible débit a déjà été observé les années précédentes.

• A deux exceptions près, les anguilles venues aux répulseurs ont transité rapidement (1 à 6 min au niveau de la barrière sonore) malgré des débits déversés non négligeables représentant de 16% à 100% du débit turbiné déversé dans le by-pass. Il apparaît donc clairement que les zones autour des répulseurs sont des zones de passage rapide et non pas des zones de stationnement des anguilles.

8. Résultats sur l'efficacité biologique du dispositif placé à Biron en 2009-2010 :

• Sur les 53 anguilles marquées arrivées au droit de Biron, 48 (91%) ont dévalé, dont 15 (31%) par le barrage ou le clapet RD, 2 (4%) par la rivière de contournement et 31 (65%) par les turbines, donc après passage au travers de la barrière à infrasons.

• Parmi les 15 passages d'anguilles par le barrage/clapet RD, pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore, 12 ont été réalisés à fort débit (médiane 336 m^3/s), de façon directe (1 incursion au droit de l'ouvrage), de courte durée (< 30 min dans 92% des cas) et de nuit (83% des cas) ; les 3 autres se sont produits à plus faible débit (Qd/Qt médian 0.7) après de nombreuses (médiane 29) et longues (médiane 9 j) présentations en grande partie diurnes.

- dans 6 cas sur 15, il n'y a eu aucune approche vers le dispositif à infrasons (donc passages exclus de l'analyse sur l'efficacité du dispositif),

- dans les 9 cas restants, les anguilles ont approché au moins une fois la barrière sonore : 7 d'entre elles ont très brièvement (1 à 6 min) transité par une ou plusieurs zones du dispositif à infrasons avant de dévaler sur des surverses au barrage modérées à fortes (débit 261 m^3/s et Qd/Qt=1.3 en valeurs médianes) ; les 2 autres individus ont exploré à plusieurs reprises et plus longuement (7h, 5 j) la barrière sonore avant de dévaler par le clapet (débit 47-50 m^3/s ; Qd/Qt=0.5-0.6).

• Lors des 2 passages d'anguilles par la rivière de contournement, il n'y a eu aucune approche vers le dispositif à infrasons (donc passages exclus de l'analyse sur l'efficacité du dispositif).

• Les 31 passages d'anguilles par les turbines ont été réalisés à des débits allant de 35 à 505 m^3/s.

- dans 28 cas sur 31, il n'y a eu qu'une seule approche de la barrière sonore, avec une traversée via la zone aval BIDc (15 cas), la zone médiane BIDb (12 cas) ou la zone amont BIDa (1 cas). L'approche unique suivie de la traversée de la barrière sonore a eu lieu dès la première et seule incursion au droit de l'ouvrage dans 19 cas (dévalaisons nocturnes de courte durée [< 1h]) ou a eu

lieu à l'issue de plusieurs (2 à 21) incursions sur site dans les 9 cas restants (dévalaisons nocturnes de plus longue durée [> 48h] dans 56% des cas).

- dans les 3 cas restants, les anguilles ont approché à plusieurs reprises de la barrière sonore, en parties amont BIDa et centrale BIDb, avant une traversée très rapide en BIDb pour l'une et en BIDc pour les 2 autres. Ces dévalaisons globalement plus longues (32 min, 23h et 15 j) se sont produites pour des débits de 55, 56 et 92 m^3/s en moyenne sur la période de dévalaison. Ce comportement prospectif devant l'ouvrage à faible débit a déjà été observé les années précédentes.

• Sur l'ensemble des 40 anguilles venues au moins une fois vers les répulseurs avant de dévaler par les turbines ou le clapet RD, 35 (88%) n'ont passé que de 1 à 6 min au niveau de la barrière sonore. Comme en 2008-2009, il apparaît encore clairement cette année que les zones autour des répulseurs ne sont pas des zones de stationnement des anguilles. C'était le cas également en l'absence des répulseurs (Bau *et al.*, 2008).

• En matière d'efficacité, la 1ère démarche modélisant les probabilités de passages montre que l'effet "débit" est fortement déterminant dans l'échappement par les évacuateurs de crue, mais en revanche, qu'il n'y a pas d'effet "répulseurs" significatif sur les 2 ans (p=0.179) et quelle que soit l'année, aussi bien en 2008-2009 avec une barrière à infrasons à 5 machines (p=0.201) qu'en 2009-2010 avec une barrière à infrasons à 8 machines (p=0.308). La seconde démarche de modélisation montre une très forte concordance entre voie de passage prédite et voie observée, concordance bonne dans 29 cas sur 32 (91%) en 2008-2009 et dans 36 cas sur 46 (78%) en 2009-2010. Dans les cas divergents,

- 3 anguilles ont dévalé par les évacuateurs alors que leur probabilité d'échappement par cette voie était faible, mais il semble difficile de conclure à une action de la barrière à infrasons pour au moins une d'entre elles qui n'a pas approché des répulseurs avant de dévaler,

- 3 anguilles ont dévalé par les turbines alors que leur probabilité d'échappement par les évacuateurs était plus importante,

- 2 anguilles ont dévalé par le barrage avec quasiment autant de probabilité selon le modèle pour les 2 voies (barrage/turbines),

- 1 anguille a dévalé sans approche de la zone des répulseurs,

- 2 anguilles ont dévalé par le clapet en conditions de faibles débits mais lors d'un arrêt d'une des turbines,

- 2 anguilles ont dévalé par le clapet en conditions de faibles débits mais en ayant passé 7h et surtout 123h à proximité des répulseurs, ce qui ne semble pas conforme à un effet répulsif du dispositif.

Comme pour Baigts, la présence des répulseurs sonores à Biron ne permet par de réduire le passage des anguilles dans les turbines quelles que soient les conditions de débit de la rivière.

10. Conclusions :

S'agissant du fonctionnement des dispositifs, les barrières à infrasons n'ont pas été opérationnelles de façon autonome (entre 15 et 30 interventions par an selon le site). De ce seul point de vue, il y a donc eu trop de problèmes de fonctionnalité pour pouvoir préconiser à l'exploitant l'utilisation pérenne des barrières à infrasons dans leur design actuel sur des sites de centrales hydroélectriques de même configuration que ceux testés au cours des deux ans. De plus, ces dispositifs, en l'état, ne peuvent être contrôlés au titre d'une conformité à un objectif de continuité piscicole.

S'agissant de l'efficacité biologique des dispositifs, que ce soit dans la configuration d'un site standard bien représentatif comme Biron ou dans celle d'un site plus atypique tel que Baigts, les barrières à infrasons n'ont pas eu d'effets significatifs sur les voies de franchissement des anguilles.

En conclusion, au vu des problèmes de fonctionnalité rencontrés et de l'absence d'efficacité avérée du dispositif sur les deux sites au cours des deux années, ce type de dispositif ne constitue pas en l'état une mesure correctrice susceptible d'atténuer les impacts des ouvrages hydroélectriques sur la dévalaison de l'anguille en limitant leur entraînement dans les turbines.

Anguille et Ouvrages : migration de dévalaison – Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau

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

1. Contexte et but de l'étude

Afin de restaurer le stock d'anguille européenne qui a diminué de façon drastique, l'Union Européenne a pris des mesures de protection au travers du règlement CE n° 1100/2007 du 18 septembre 2007 « établissant des mesures pour la reconstitution du stock d'anguille européenne ». Dans ce cadre, le Comité National Anguille, créé sous l'égide du MEEDDAT et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, a entériné la mise en œuvre d'un programme de Recherche et de Développement qui a pour objectif d'étudier et de comprendre le comportement des anguilles et 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). Le programme de R&D défini dans cet accord comporte 15 actions en 2008-2009 et 18 en 2009-2010 relatives au franchissement des obstacles par les anguilles tant à la montée qu'à la descente.

L'une de ces actions consiste à tester l'aptitude d'un dispositif de répulsion à infrasons à limiter le passage des anguilles dans les turbines en les détournant vers un exutoire contournant l'usine.

Le dispositif de répulsion à infrasons, proposé par la compagnie belge Profish Technology, a été testé en 2008-2009 sur deux centrales hydroélectriques du Gave de Pau : Baigts (EDF) et Biron (Société Topwatt) et en 2009-2010, uniquement sur Biron. Les tests d'efficacité s'appuient sur le suivi comportemental d'anguilles argentées en phase de dévalaison, suivis réalisés par la technique de télémétrie (radiopistage) qui consiste à suivre les déplacements de poissons équipés d'émetteurs radio miniaturisés. La mise en œuvre des tests est effectuée dans le cadre d'un Partenariat ONEMA – CNR – EDF.

Après présentation des résultats du test préliminaire mené à Baigts en 2008-2009 sur les risques de vibrations engendrées par le dispositif de répulsion sonore sur les structures de prise d'eau (§ 5) puis de la mise en place de ces dispositifs sur les usines de Baigts (§ 6) et de Biron (§ 7), le présent rapport détaillera les résultats des tests d'efficacité (fonctionnement, fonctionnalité biologique) des barrières sonores à Baigts (§ 9.2) et à Biron au cours des deux années (§ 9.3) avant d'en présenter une analyse comparative (§ 10) par rapport aux suivis télémétriques précédents (Subra *et al.*, 2008 ; Bau *et al.*, 2008, 2010, 2011). L'ensemble fera l'objet d'une synthèse en préambule.

2. Organisation des études des deux barrières à infrasons

La mise en œuvre des études *in situ* a fait intervenir plusieurs acteurs :

- la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a mis à disposition via location avec option d'achat les deux barrières sonores et financé leur installation sur les deux sites,
- l'installation *in situ* a été effectuée par le fournisseur : société Profish Technology,
- EDF et Topwatt ont mis à disposition les sites de Baigts (EDF) et Biron (Topwatt),
- les tests d'efficacité par radiopistage durant les deux années ont été réalisés conjointement par l'ONEMA et EDF R&D, avec l'appui du bureau d'étude ECOGEA en 2008-2009.

Cette organisation a nécessité, pour sa mise en œuvre pratique, plusieurs Conventions de Partenariat :

- Convention tripartite ONEMA – CNR – TOPWATT pour définir les modalités sur deux ans des expérimentations de Biron,
- Convention tripartite ONEMA – CNR – EDF pour définir les modalités de l'expérimentation de Baigts,
- Convention bipartite ONEMA – EDF R&D, pour définir les modalités sur deux ans des opérations de radiopistage sur les deux sites,
- Commande de prestation à ECOGEA par EDF R&D en 2008-2009.

3. La barrière à infrasons

La barrière à infrasons est un dispositif encore expérimental développé par la société Profish Technology à partir des études de Knudsen et Sand du laboratoire de zoologie d'Oslo [1, 2] montrant l'effet répulsif sur le saumon et sur l'anguille de sons à très basse fréquence (10 Hz). La barrière est constituée de plusieurs répulseurs immergés générant des infrasons (1 à 16 Hz) au moyen de mouvements de va-et-vient de deux pistons opposés. Ces mouvements créent un déplacement d'eau perceptible par le poisson jusqu'à une distance de 8 à 12 mètres. Chaque répulseur (Photo 1) est composé d'un cylindre étanche comportant deux pistons mécaniques reliés à une membrane déformable. Il est relié à deux armoires de commande (Photo 2) capables de piloter plusieurs répulseurs, assurant pour l'une la régulation de fréquence et l'autre la régulation de pression à l'intérieur du répulseur.

L'effet répulsif des infrasons pour d'autres espèces que le saumon et l'anguille a été mis en évidence par Sonny [3] lors d'expérimentations effectuées dans le lac Borrevan en Norvège et à la centrale nucléaire de Tihange sur la Meuse belge. Les détections de poissons par échosondeur (Figure 3.1) montrent une désertification de la zone d'action du répulseur sonore par l'ensemble des poissons présents dans la zone qui sont essentiellement des Cyprinidés.

Photo 1 : Emetteur à infrasons Profish Technology

Photo 2 : Armoires de commande des émetteurs à infrasons. A gauche : générateur de fréquence. A droite : régulateur de pression d'air dans les émetteurs

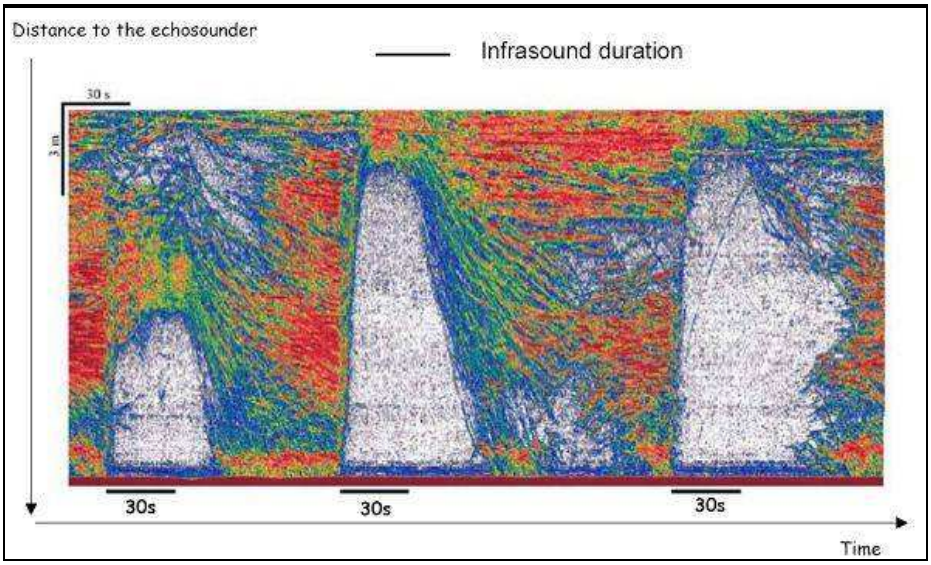


Figure 3.1 : Echogramme montrant la désertification par les poissons (plages claires) dans la zone d'action d'un répulseur à infrasons. Tests effectués dans le lac Borrevan en Norvège. *Emprunté à Damien Sonny [4]*

Une barrière à infrasons comprenant 6 répulseurs a été installée, en septembre 2008, à l'entrée de la prise d'eau de la centrale nucléaire de Tihange sur la Meuse (Electrabel Suez) dans le but de minimiser les entraînements de poissons dans le circuit de refroidissement de la centrale (débit maximal pompé de 50 m^3/s). A la demande des Autorités belges, une validation de l'efficacité du dispositif doit être effectuée dans les 5 ans à venir.

4. Sites d'étude : centrales de Baigts et de Biron sur le Gave de Pau

4.1. Choix des sites

Compte tenu de la spécificité des « barrières comportementales » aux caractéristiques des sites d'utilisation, bien mise en évidence dans la littérature sur le sujet, il a été décidé au niveau du groupe « ouvrages » du Comité National Anguille de lancer les études de validation de la barrière à infrasons simultanément sur deux sites hydroélectriques. Compte tenu des études engagées sur le Gave de Pau depuis plusieurs années et de la poursuite d'actions de radiopistage sur la période 2008-2010, deux centrales du Gave de Pau ont été choisies : la centrale de Baigts appartenant à EDF et la centrale de Biron appartenant à la Société Topwatt. Les barrières à infrasons sur ces deux sites ont des objectifs complémentaires :

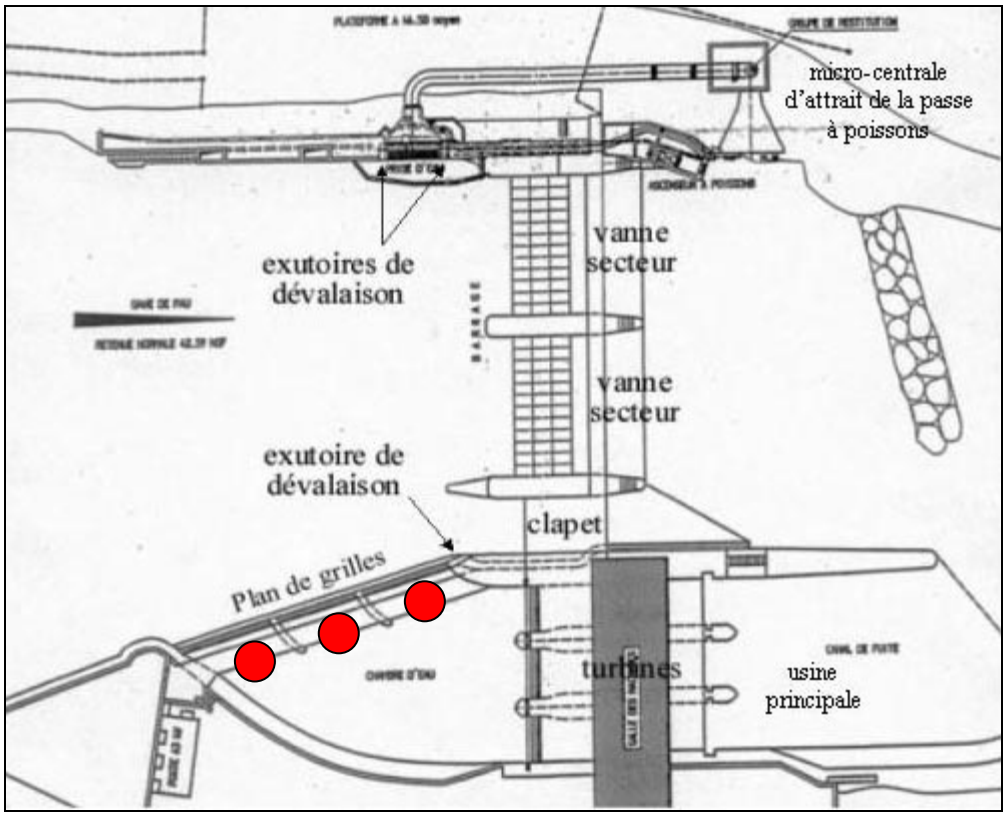
- centrale de Baigts : implantation de la barrière à infrasons derrière les grilles de prise d'eau de façon à déterminer l'aptitude de la barrière à empêcher les anguilles de passer au travers de la grille. Les études précédentes conduites depuis 2004 sur ce site ont en effet montré que la grille de prise d'eau ne produit pas d'effet répulsif sur les anguilles et qu'elles passent très rapidement au travers si leur taille le permet. Par contre, lorsque les anguilles sont de grande taille et ne peuvent pas passer au travers de la grille, elles attendent en amont de l'aménagement et passent lors de l'ouverture des vannes de crue. Sur ce site, l'objectif est donc d'examiner l'aptitude de la barrière à infrasons à bloquer les anguilles en amont de l'aménagement de la même manière que le ferait une grille fine agissant comme une « barrière physique ». Le dispositif à infrasons installé sur le site de Baigts n'a été testé que durant la première année d'expérimentation (campagne 2008-2009).

- centrale de Biron : implantation de la barrière à infrasons à l'entrée du canal d'amenée de l'usine de façon à déterminer l'aptitude du dispositif à détourner les anguilles du canal d'amenée (débit turbiné maximal de 110 m^3/s) et à les diriger vers un exutoire pratiqué au barrage à proximité immédiate de l'entrée du canal d'amenée : clapet de surface alimenté en continu à 15 m^3/s. Contrairement à Baigts, le dispositif à infrasons installé à Biron a fait l'objet de deux campagnes de tests (2008-2009 et 2009-2010).

4.2. Centrale hydroélectrique de Baigts

L'aménagement hydroélectrique de Baigts (Figure 4.1) est situé sur le Gave de Pau à soixante-douze kilomètres de l'Océan Atlantique (Figure 4.2). Il se compose, en rive gauche, d'un barrage d'une longueur de 57 m et d'une micro-centrale servant de débit d'attrait à l'ascenseur à poissons et en rive droite, de l'usine hydroélectrique principale. Le plan de grille situé à l'amont de la chambre d'eau de l'usine principale est pourvu d'un exutoire de dévalaison de surface (2.2 m^3/s) efficace pour les juvéniles de saumon (à environ 90%) et peu efficace (environ 20%) pour les anguilles argentées. Les principales caractéristiques de l'aménagement sont rapportées dans le Tableau 4.1 et sur la Figure 4.1.

La barrière à infrasons proposée et dimensionnée par Profish Technology est constituée sur ce site de 3 répulseurs (Figure 4.1) implantés dans la chambre d'eau à 3-4 mètres en aval du plan de pré-grilles et à mi-profondeur (4.5 m).



: Répulseur à infrasons

Figure 4.1 : Aménagement hydroélectrique de Baigts et localisation des 3 répulseurs à infrasons

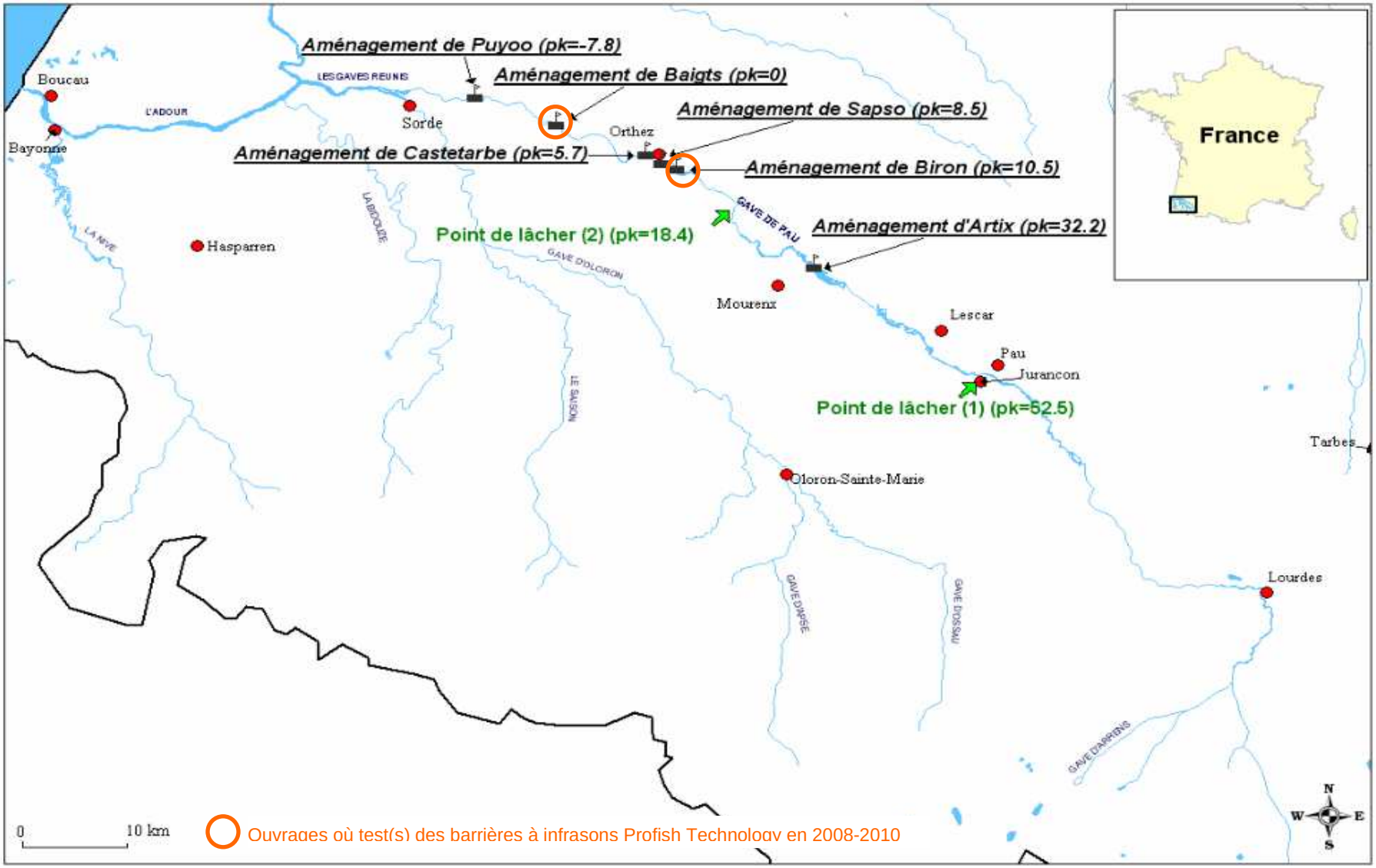


Figure 4.2 : Carte du Gave de Pau avec localisation des ouvrages hydroélectriques surveillés lors des campagnes de radiopistage 2008-2010

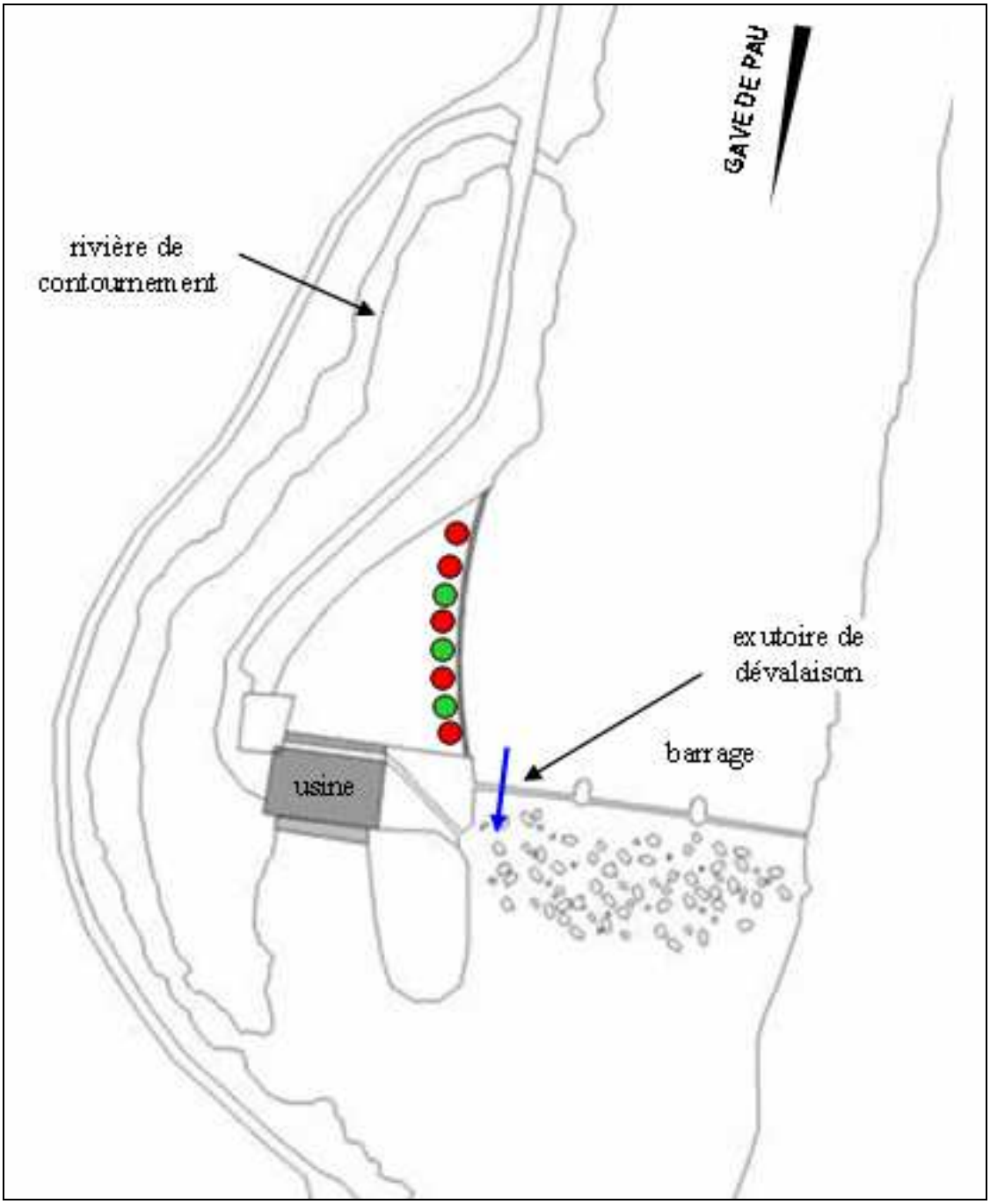
Tableau 4.1 : Principales caractéristiques des aménagements hydroélectriques de Baigts et de Biron

Obstacle	Baigts (EDF)	Biron (Société Topwatt)
Chute nette	9.6 m	3.6 m
Longueur du canal de fuite	52 m	25 m
Débit d'équipement	90 + 10 m^3/s	110 m^3/s
Situation usine(s)	Usine : RD ; Microcentrale : RG	Usine : RD
Equipement usine(s)	Usine : 3 turbines Kaplan verticales de 30 m^3/s (vit. de rotation : 214 tr/min ; 4 pales; ∅ roue : 2.35 m) Microcentrale : 1 turbine Kaplan verticale de 10 m^3/s (vit. de rotation : 333 tr/min ; 4 pales; ∅ roue : 1.45 m)	2 turbines Kaplan verticales de 55 m^3/s (vit. de rotation : 89 tr/min ; 4 pales ; ∅ roue : 3.7 m)
Plan de grille et espacement (e)	RD : plan de grille amont chambre d'eau de 40.15 m de longueur sur 5 m de hauteur et e = 3 cm RG : plan de grille de 7.4 m sur 4.6 m et e = 2 cm	e = 8 cm
Ouvrages évacuateurs	Barrage de 57 m (2 vannes bateaux + 1 vanne de chasse/clapet)	Barrage mobile de 80 m (3 clapets)
Dispositifs de franchissement	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	Rivière artificielle de 255 m Pas d'exutoire de dévalaison

4.3. Centrale hydroélectrique de Biron

L'aménagement de Biron est situé à 10.5 km en amont de Baigts (Figure 4.2). Il se compose d'un barrage de 80 m de longueur en rive gauche et d'une usine en rive droite alimentée par un court canal d'amenée de 25 m de longueur et 65 m de largeur. Il n'y a pas d'exutoire de dévalaison à l'usine. Les principales caractéristiques de l'ouvrage sont rapportées dans le Tableau 4.1 et sur la Figure 4.3.

Lors de la première campagne de tests (2008-2009), la barrière à infrasons proposée et dimensionnée par Profish Technology était constituée de 5 répulseurs équidistants implantés, à 1.5 m de profondeur, à l'entrée du canal d'amenée le long de la drome flottante existante (Figure 4.3). En octobre 2009, le dispositif a été redimensionné par Profish Technology et renforcé avec l'installation de trois répulseurs supplémentaires insérés entre les précédents (Figure 4.3), et portant à 8 le nombre total de machines suivies lors de la seconde année de tests. Le débit réservé de 15 m^3/s, délivré en temps normal sur la largeur totale du barrage (3 vannes de 25 m de largeur), a été concentré sur la vanne rive droite la plus proche de l'entrée du canal d'amenée de l'usine de façon à servir d'exutoire de dévalaison pour les anguilles qui seraient déflectées par la barrière à infrasons.



: Répulseur commun entre 2008-2009 et 2009-2010

: Répulseur spécifique à 2009-2010

Figure 4.3 : Aménagement hydroélectrique de Biron et localisation des répulseurs à infrasons au cours des deux années d'expérimentations

5. Test préliminaire d'un répulseur à infrasons à l'usine EDF de Baigts : risque de vibration de la structure de la prise d'eau

Malgré sa faible puissance (1.5 kW), le répulseur à infrasons peut induire des vibrations des structures béton par mise en résonance si leur fréquence propre est voisine de celle du répulseur. A ce titre, comme cela avait été le cas pour la centrale nucléaire de Tihange, il a été demandé par EDF à Profish Technology de procéder à des essais préliminaires de façon à déterminer la gamme de fréquence des appareils (gamme 8 à 16 Hz) ne présentant pas de risques pour les structures de la prise d'eau. Ces essais ont été réalisés uniquement à Baigts où la barrière sonore devait être installée directement sur la structure supportant les grilles de prise d'eau. A Biron, l'installation en entrée du canal d'amenée à 25 m de la structure de la prise d'eau ne nécessitait pas ce test.

Ces tests ont été réalisés le 22 mai 2008, sur commande de Profish Technology, par la société 01 dB-Metravib, filiale d'Areva, spécialisée dans ce type de mesures. Pour ce faire, Profish Technology et EDF R&D ont installé sur la passerelle de la prise d'eau de Baigts un répulseur sonore au même emplacement (zone centrale) et avec le même type d'accrochage que celui prévu pour la barrière définitive (Photos 3 et 4). Les mesures de vibration de la passerelle par 01 dB-Metravib ont été réalisées à l'aide de 7 accéléromètres fixés sur la passerelle [5] en faisant varier la fréquence du répulseur sonore entre 10 Hz et 14.5 Hz par pas de 0.5 Hz. Une série de mesures a également été effectuée avec le répulseur à l'arrêt.

Photo 3 : Répulseur à infrasons utilisé lors des tests de vibration à la centrale de Baigts le 22 mai 2008

Photo 4 : Mise en place du répulseur à infrasons dans la chambre d'eau de la centrale de Baigts le 22 mai 2008

A l'issue de ces mesures, les conclusions de 01 dB-Metravib sont les suivantes :

- Le système d'émission d'infrasons n'a aucun impact sur la passerelle pour les fréquences d'excitation comprises entre 10 et 11 Hz, puisque les vitesses vibratoires, de l'ordre de 0.2 mm/s sont équivalentes à celles du barrage en fonctionnement nominal seul,
- A partir de 11.5 Hz jusqu'à 13.5 Hz de fréquence d'excitation du système Profish, les vitesses vibratoires sont plus élevées (du double au triple), mais restent inférieures à 1 mm/s,
- A 14 Hz et à 14.5 Hz de fréquence d'excitation du système Profish, les vitesses vibratoires vont jusqu'à 1.25 mm/s,
- A partir de 15 Hz de fréquence d'excitation du système Profish, les vitesses vibratoires sont nettement plus élevées, de 2.5 à 5.0 mm/s, et mettent en mouvement (résonance) la passerelle,

- En l'absence de spécification concernant le seuil maximal de la vitesse vibratoire autorisée en fonction de la fréquence (gabarit), nous ne pouvons nous engager sur la bonne tenue du béton dans le temps. Seul un avis d'expert en Génie Civil, sur consultation des résultats, serait habilité sur le sujet.

Ces résultats de mesure ont été envoyés pour avis à Eric Bourdarot du service Génie Civil du CIH qui a apporté les réponses suivantes à l'Exploitant de l'usine de Baigts par mail du 2 octobre 2008 :

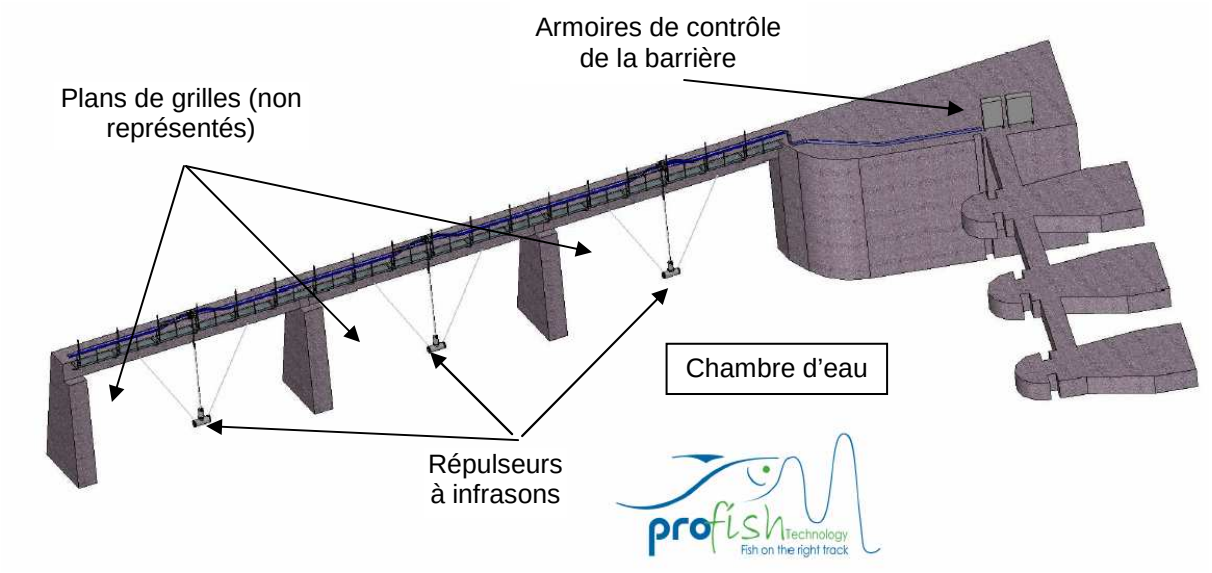
- Les essais mettent en évidence des effets sur la réponse vibratoire de l'ouvrage à partir de 11 Hz. Il apparaît donc justifié de se limiter à la plage de fréquences 10-11 Hz s'il n'y a pas de nécessité d'aller au-delà. Il faut en effet prendre en considération le fait que 3 émetteurs IS seront mis en place sur l'ouvrage. Une nouvelle campagne de mesures avec trois appareils peut seule permettre de mesurer cet impact,
- Peu de références existent concernant l'impact des vibrations à long terme sur un ouvrage. Pour les vibrations à l'occasion de tirs à proximité d'un ouvrage, un critère de vitesse particulaire maximale de 10 mm/s est souvent adopté, mais il s'agit d'une sollicitation de courte durée. La sollicitation devant s'appliquer à l'ouvrage sur plusieurs mois et étant donc susceptible d'entraîner des phénomènes de fatigue, cela justifie que des seuils beaucoup plus faibles soient adoptés,
- Après observation des effets répulsifs sur les différents types de poissons, et si cet effet répulsif n'apparaissait pas suffisant dans cette gamme de fréquence, un essai de majoration des fréquences de vibration pourrait être envisagé pendant une période limitée (1 ou 2 jours par exemple), sans dépasser cependant 14 Hz,
- Au préalable à la mise en place de ces émetteurs, il apparaît nécessaire de consulter le correspondant barrage de l'ouvrage, afin de disposer d'un état initial des ouvrages avant l'essai et être en mesure d'établir des évolutions éventuelles. Une attention devra être portée préférentiellement à la passerelle, tout en restant attentif à l'impact sur les autres ouvrages,
- Le correspondant barrage devrait être présent lors des premiers essais sur l'ouvrage afin d'évaluer l'impact qualitatif sur la structure et refaire une visite au bout d'une semaine d'essai,
- Outre ces visites, les visites régulières effectuées par l'exploitant devraient permettre de déceler tout phénomène anormal.

Il convient de noter que ces tests préliminaires de détermination des gammes de fréquences « non perturbantes » sont spécifiques à l'usine de Baigts et ne peuvent être extrapolées à d'autres sites qui devront faire l'objet d'investigations similaires avant toute implantation de barrière à infrasons.

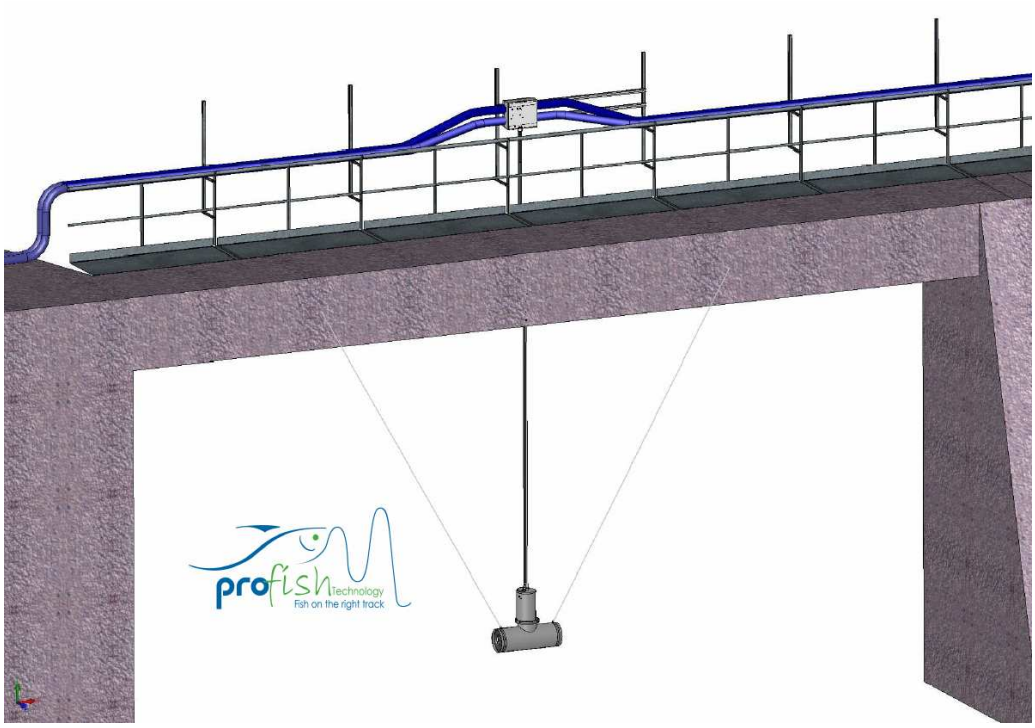
6. Installation et mise en service de la barrière à infrasons à l'usine de Baigts

L'installation de la barrière à infrasons à l'usine de Baigts a été effectuée par la société Profish Technology et ses sous-traitants du 13 au 15 octobre 2008.

La barrière comporte 3 répulseurs à infrasons situés dans la chambre d'eau de l'usine à 3-4 m à l'aval du plan de grilles de la prise d'eau (Figures 4.1 et 6.1, Photos 5 à 8). Les répulseurs, espacés d'une dizaine de mètres, sont suspendus à la passerelle de manœuvre du dégrilleur à mi-profondeur de la chambre d'eau (4.5 m). Ils ont été implantés à l'aide d'une grue manœuvrant à partir de la cour amont de l'usine (Photo 5). Les deux armoires de contrôle de la barrière ont été implantées sur la plate-forme de l'usine dans la partie aval du plan de grilles (Figure 6.1).



A



B

Figure 6.1 : Implantation de la barrière à infrasons à l'usine de Baigts. A : Positionnement des trois répulseurs sonores. B : Détail d'implantation d'un répulseur à infrasons. *Source : Profish Technology*

Photo 5 : Mise à l'eau des répulseurs à infrasons dans la chambre d'eau de l'usine de Baigts

Photo 6 : Accrochage des répulseurs à infrasons à la passerelle de prise d'eau de l'usine de Baigts

Photo 7 : Vue générale de la passerelle de prise d'eau de la centrale de Baigts après installation des trois répulseurs à infrasons

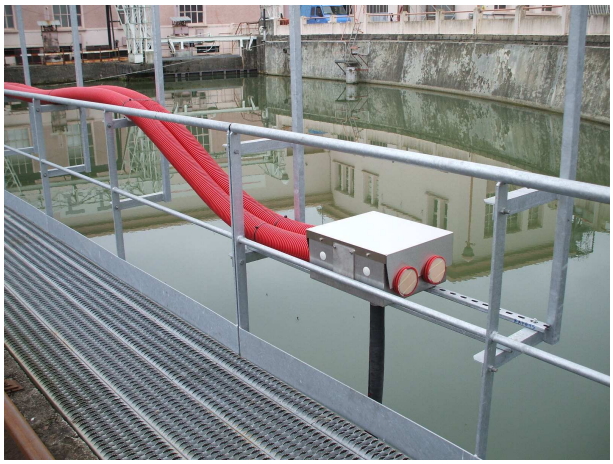


Photo 8 : Détail du boîtier d'alimentation électrique et d'alimentation en air d'un répulseur à infrasons

Suite aux préconisations de EDF CIH vis à vis de la vibration de la passerelle (cf. § 5), l'ingénieur génie-civil CIH responsable du suivi de Baigts a effectué le 15/10/2008 une expertise de vibration de la passerelle avec les trois répulseurs en fonctionnement. Après constat d'absence de vibrations perceptibles de la passerelle dans la gamme de fréquence 10, 11 et 12 Hz, la barrière a été mise en service le 20/10/2008 avec une fréquence modulée dans la gamme 10 – 12 Hz. Ce mode de fonctionnement est resté inchangé pendant la totalité de la période de test de la barrière (20/10/2008 au 10/04/2009).

7. Installation et mise en service de la barrière à infrasons à l'usine de Biron

7.1. Etude 2008-2009

L'installation de la barrière à infrasons à l'usine de Biron a été effectuée par la société Profish Technology et ses sous-traitants du 16 au 18 octobre 2008.

La barrière comporte 5 répulseurs à infrasons situés à l'entrée du canal d'amenée de l'usine (Figures 4.3 et 7.1, Photos 9 et 10). Les répulseurs, espacés d'une douzaine de mètres, sont suspendus à des flotteurs ancrés sur la drome flottante existante à environ 1.5 m sous la surface (soit à 4 m environ au dessus du fond du canal) et non pas, comme à Baigts à mi-profondeur, de façon à minimiser les risques de dommages par les corps flottants entraînés dans le canal d'amenée. Les deux armoires de contrôle de la barrière ont été implantées sur la plate-forme de l'usine dans la partie aval du plan de grilles (Figure 7.1).

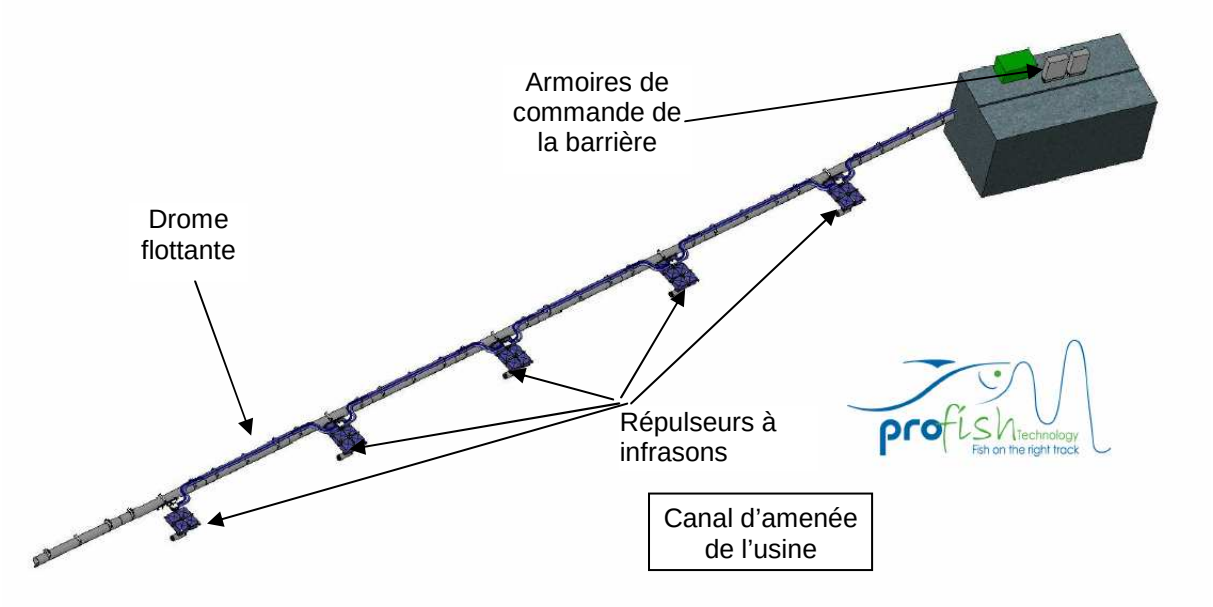
Lors de la mise en service de l'installation le 20/10/08, la barrière a été réglée sur la même fréquence sonore que celle de l'usine de Baigts, mais pour tenter d'en optimiser l'efficacité, la fréquence a été changée au cours de l'expérimentation (Tableau 7.1).

Tableau 7.1 : Mode de fonctionnement de la barrière sonore de Biron lors de l'étude 2008-2009

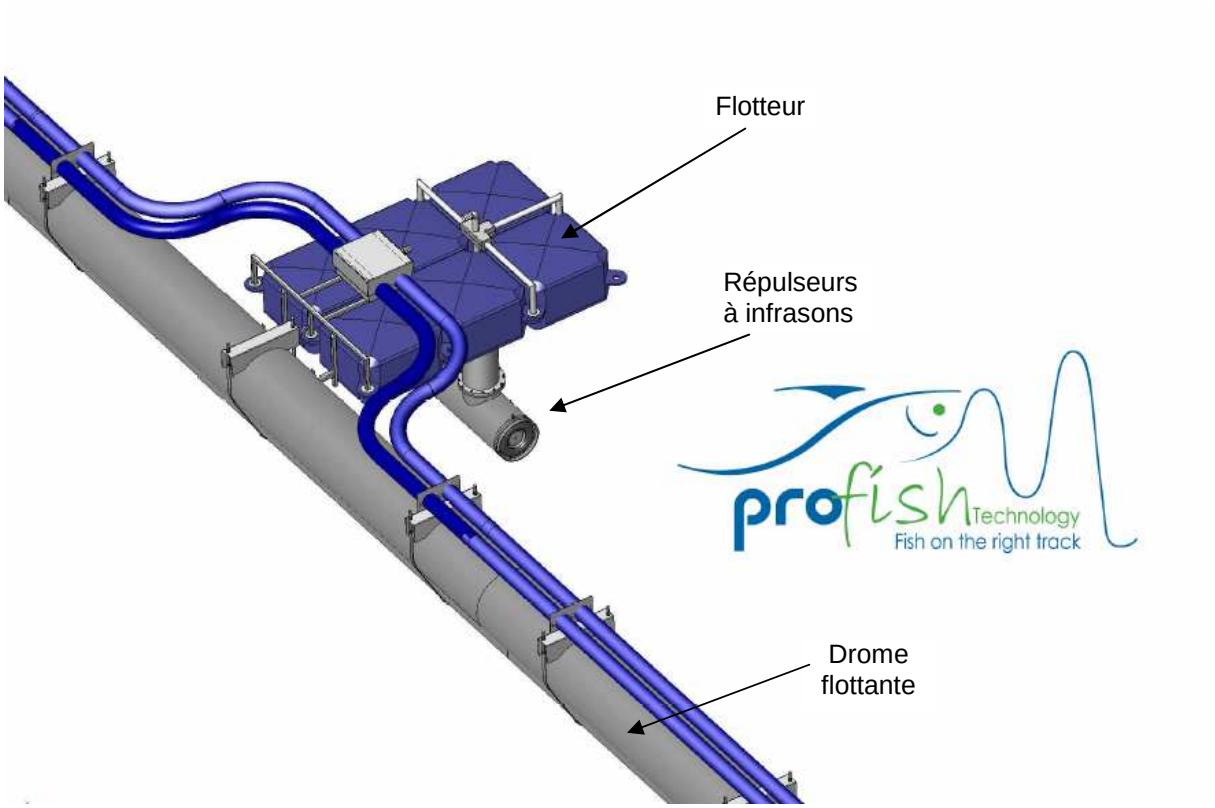
Date	Fréquence sonore (signal modulé)
20/10/2008 au 12/12/2008	10 – 12 Hz
12/12/2008 au 05/02/2009	12 – 15 Hz
05/02/2009 au 10/04/2009	14 – 16 Hz

Photo 9 : Montage de la barrière à infrasons de l'usine de Biron

Photo 10 : Barrière à infrasons installée à l'entrée du canal d'amenée de l'usine de Biron. Les 5 répulseurs sont suspendus à des flotteurs fixés à la drome flottante



A



B

Figure 7.1 : Implantation de la barrière à infrasons à l'usine de Biron. A : Positionnement des 5 répulseurs sonores. B : Détail d'implantation d'un répulseur à infrasons. *Source : Profish Technology*

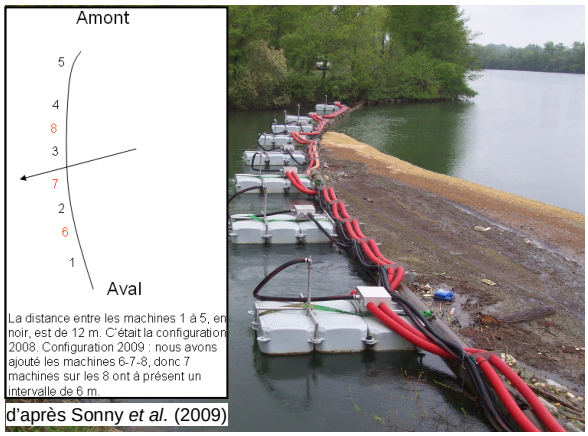
7.2. Etude 2009-2010

Les résultats biologiques, que nous avons acquis par radiopistage en 2008-2009 sur le site de Biron, ont amené la société Profish Technology à modifier, pour la nouvelle session, la configuration initiale de leur dispositif, en ajoutant les 3 générateurs précédemment placés à Baigts afin d'augmenter la puissance du signal au maximum des capacités. En configuration 2009-2010, la barrière à infrasons de Biron comporte alors 8 répulseurs (Figure 4.3, Photos 11 et 12), espacés de 6 m et suspendus à des flotteurs ancrés sur la drome à environ 1.5 m de profondeur.

Des mesures acoustiques de la barrière à infrasons dans les deux configurations 2008 et 2009 (et à deux fréquences : 12.5 Hz et 15 Hz) ont été réalisées par Profish Technology en partenariat avec l'I.R.E.Q. (Hydro-Québec) au moment de la réinstallation de la barrière à Biron à la mi-octobre 2009. Les résultats de ces mesures acoustiques ont fait l'objet d'une note (Sonny *et al*., 2009), reçue en cours d'étude (janvier 2010) et reportée en Annexe 1 du présent rapport. D'après leurs conclusions, le système réglé en 15 Hz dans la configuration 2009-2010 atteindrait un niveau de puissance 4 fois supérieur à celui qui existait en 15 Hz dans la configuration 2008-2009, et 3 fois supérieur au seuil de réaction (réponse de fuite) déjà observé pour l'anguille argentée (Sand *et al.*, 2000).

En 2009-2010, le nouveau dispositif à 8 répulseurs est donc resté réglé sur une fréquence modulée oscillant entre 12 et 14 Hz durant la totalité de l'expérimentation.

Photo 11 : Barrière à infrasons de l'usine de Biron en configuration 2009-2010



d'après Sonny *et al.* (2009)

Photo 12 : Vue des 8 répulseurs à infrasons fixés sur la drome flottante

8. Suivi et maintenance des deux barrières à infrasons

Durant les deux campagnes de tests, le suivi et la maintenance des barrières ont été réalisés ponctuellement par Profish et quotidiennement par les personnels de l'ONEMA en charge du radiopistage des anguilles, qui ont été amenés à réaliser plusieurs interventions de maintenance consistant le plus souvent à une remise en service des dispositifs.

Un système d'alerte par messagerie téléphonique signalant les arrêts des dispositifs à infrasons a permis d'effectuer ce suivi. Ce système s'est avéré parfaitement efficace la première année. Il n'a été cependant opérationnel qu'à partir de la mi-janvier 2010 lors de la seconde année d'expérimentation.

9. Tests d'efficacité des deux barrières à infrasons par radiotélémétrie

Les barrières à infrasons installées sur le Gave de Pau ont fait l'objet d'un test de fonctionnalité et d'un test d'efficacité biologique durant deux années consécutives (d'octobre 2008 à avril 2009 et de décembre 2009 à mai 2010). Ces tests ont fait appel à la technique de télémétrie (radiopistage) qui consiste à suivre les déplacements d'anguilles équipées d'émetteurs radio miniaturisés.

9.1. Matériel et Méthodes

9.1.1. Caractéristiques des anguilles utilisées

Le matériel biologique ne pouvant être prélevé directement sur les bassins du Gave de Pau ou de l'Adour en l'absence de capacité de pêche suffisante, les anguilles argentées utilisées pour les tests proviennent essentiellement de la Loire dans sa partie aval. L'échantillon a été complété par des individus capturés sur le courant du Vieux Boucau (Soustons, Landes) pour l'étude 2008-2009. La recherche d'agents pathogènes effectuée, durant leur mise en quarantaine, par le laboratoire départemental des services vétérinaires des Landes n'a révélé aucune affection virologique grave de type NHI ou SHV. De fait, les anguilles ont été maintenues en stabulation jusqu'au marquage à la pisciculture d'Osserain (AAPPMA du Gave d'Oloron) en 2008-2009, et dans des cuves installées à l'usine de Baigts et alimentées par l'eau du Gave de Pau l'année suivante. Des traitements anti-stress et antiparasitaires externes préventifs « classiques », à savoir des balnéations à 3-5‰ de sel marin pur durant 20-30 min tous les 2-3 jours, ont été réalisés durant les stabulations.

- Etude 2008-2009 : 75 anguilles ont été marquées et suivies (Annexe 2) : 66 provenant de la Loire, d'un poids moyen de 678 g (415-967 g) et d'une longueur totale moyenne de 72.8 cm (60.2-80.6 cm) et 9 provenant des Landes, d'un poids moyen de 655 g (440-928 g) et d'une longueur totale moyenne de 70.8 cm (59.7-82.4 cm). Quelle que soit leur provenance, toutes étaient des anguilles dévalantes, avec une valeur d'indice oculaire (IO) de 10.21 en moyenne (médiane : 10.01 ; 1er et 3ème quartiles : 8.76 et 11.57, n=75), soit supérieure aux valeurs-limites de 5.6 (Fontaine, 1994) à 6.5 (Pankhurst, 1982) caractéristiques d'anguilles ayant entamé leur métamorphose d'avalaison (argenture). Toutes présentaient également un embonpoint comparable à celui d'anguilles du même stade (argenté) échantillonnées sur d'autres cours d'eau [7, 9], avec une valeur de facteur de condition K de 0.18 en moyenne (médiane : 0.17 ; 1er et 3ème quartiles : 0.16 et 0.19, n=75) (cf. Annexe 2).

- Etude 2009-2010 : 75 anguilles, provenant exclusivement de la Loire, ont été radiopistées (Annexe 3). Elles présentaient un poids moyen de 806 g (369-1881 g) et une longueur totale moyenne de 75.7 cm (59.5-98.5 cm). Toutes pouvaient être considérées comme dévalantes, car en cours d'argenture (IO>6.5), avec un indice oculaire moyen de 9.08 (médiane : 8.7 ; 1er et 3ème quartiles : 7.79 et 9.88, n=75) et un facteur de condition moyen de 0.18 (médiane : 0.18 ; 1er et 3ème quartiles : 0.16 et 0.19, n=75) (cf. Annexe 3).

9.1.2. Marquage, transport et lâcher des anguilles radiomarquées

Après anesthésie, les anguilles ont été marquées par implantation dans la cavité abdominale d'un émetteur radio codé ATS® modèle F1820 (∅ x L=12 x 43 mm, poids dans l'air : 8 g (0,9 à 1,9% du poids corporel)) et d'un transpondeur miniature PIT tag (∅ x L=3 x 30 mm) (cf. Annexe 4). Après injection préventive d'un antibiotique, les anguilles radiomarquées ont été maintenues en stabulation (sous le même régime de balnéations que lors de leur quarantaine) durant 3 jours en moyenne avant d'être relâchées. La localisation géographique des différents points de lâchers au cours des 2 années est spécifiée en Annexe 5.

- Etude 2008-2009 : Afin d'acquérir le maximum de résultats sur le franchissement des ouvrages et d'obtenir un comportement de dévalaison le plus naturel possible, deux lots de 25 anguilles chacun ont été relâchés à Jurançon (42.0 km en amont de Biron, 52.5 km en amont de Baigts), l'un le 28 novembre et l'autre le 24 décembre 2008. Pour préciser le comportement au droit de ces deux ouvrages-tests, un 3ème lot de 25 anguilles a été relâché, le 9 février 2009, en partie (n=15) à Gouze (7.9 km en amont de Biron, 18.4 km en amont de Baigts) et en partie (n=10) à Orthez (7.5 km en amont de Baigts).

- Etude 2009-2010 : Deux lots de 25 anguilles 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. De la même manière que précédemment et pour maximiser le nombre de présentations d'anguilles au droit de l'usine de Biron avant la fin de la période de dévalaison, un 3ème lot de 25 anguilles a été majoritairement relâché dans la partie aval du secteur d'étude. Ainsi, 20 anguilles ont été relâchées à Gouze et 5 seulement à Jurançon, respectivement les 2 et 3 février 2010.

Durant les deux années d'expérimentations, les anguilles ont été transportées en voiture jusqu'aux points de lâcher dans des containers d'eau (de pisciculture ou du Gave selon l'année) légèrement salée à moins de 3‰. La durée de transport était d'1h 30min maximum pour Jurançon et de moins d'1 h pour Gouze ou Orthez. Toutes ont été relâchées progressivement, en 1 h 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.

9.1.3. Suivi et enregistrement des déplacements des anguilles radio-marquées

Sur les secteurs entre aménagements, les anguilles ont été (quasi) quotidiennement radiopistées, en voiture pour une macro localisation (jusqu'à 800 m maximum) par antenne fouet, ainsi qu'à pied pour une localisation plus précise par boucles aérienne et immergée. Au niveau des aménagements, les ouvrages de Biron et de Baigts, dotés des répulseurs Profish à tester, ont été équipés de plusieurs dispositifs d'enregistrement automatique permettant le suivi en continu des déplacements des poissons radiomarqués dans les différentes zones de réception des antennes reliées à ces dispositifs d'enregistrement (cf. Tableau 9.1 ; Figures 9.1 à 9.3).

Tableau 9.1 : Descriptif des dispositifs d'enregistrement automatique placés à Biron et à Baigts au cours des deux années d'expérimentations

		Type de dispositif de réception et enregistrement automatique	Dénomination de la station	Type d'antenne associée	Zone de réception définie (cf. aussi Figures 9.1 à 9.3)
		Biron :			
2009-2010	2008-2009	station radio ATS® R4500C	BIG	antenne boucle	large zone amont & aval barrage
		station radio ATS® R4500C	BIT1	antenne boucle	amont immédiat grilles chambre d'eau & large zone sortie turbines
		station radio ATS® R4500C	BIT2	antenne immergée 2 brins	petite zone de confirmation sortie turbines
		station radio ATS® R4500C	BIP	antenne immergée 1 brin	petite zone centrale dans rivière de contournement
		station radio ATS® R4500C	BIDa	antenne immergée 3 brins	zone partie amont de la drome
		station radio ATS® R4500C	BIDb	antenne immergée 3 brins	zone partie centrale de la drome
		station radio ATS® R4500C	BIDc	antenne immergée 3 brins	zone partie aval de la drome
		station radio ATS® R4500C	BIDa1	antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou amont de la drome
		station radio ATS® R4500C	BIDa2	antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou amont de la drome (sous BIDa1)
		station radio ATS® R4500C	BIDc1	antenne immergée 1 brin	petite zone dans trou aval de la drome
		Baigts :			
		station radio ATS® R4520C	BAR	antenne boucle	large zone dans retenue & amont barrage
		station radio ATS® R4500C	BAB	antenne boucle	amont immédiat barrage & large zone aval barrage
		station radio ATS® R4520C	BAGa	antenne immergée 3 brins	zone partie amont du plan des pré-grilles
		station radio ATS® R4520C	BAGb	antenne immergée 4 brins	zone partie centrale du plan des pré-grilles
		station radio ATS® R4520C	BAGc	antenne immergée 3 brins	zone partie aval du plan des pré-grilles
		station radio ATS® R4500C	BAC	antenne immergée 3 brins	zone amont immédiat grilles dans chambre d'eau
		station radio ATS® R4500C	BAT	antenne boucle	large zone sortie turbines
		station radio ATS® R4500C	BAD	antenne immergée 1 brin	petite zone dans canal du dégrilleur RG**
		station radio ATS® R4500C	BAM	antenne immergée 1 brin	petite zone dans puits prise d'eau amont microcentrale RG
		station TIRIS*	05	fenêtre Tiris	passage rapide dans exutoire de dévalaison RD
		station TIRIS	06	fenêtre Tiris	passage rapide dans exutoire de dévalaison RD
		station TIRIS	07	fenêtre Tiris	passage rapide dans canal du dégrilleur RD
		station TIRIS	08	fenêtre Tiris	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG
		station TIRIS	09	fenêtre Tiris	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG
		station TIRIS	10	fenêtre Tiris	passage rapide dans exutoire de dévalaison RG

* TIRIS pour Texas Instrument Registration and Identification System

** Zone de réception réelle définie par l'antenne BAD plus large (aussi bien en amont/aval rive gauche) lorsque le brin est exondé (cf. Fig. 9.1)

Durant les deux sessions expérimentales, l'enjeu du suivi portant sur les passages d'anguilles au travers des barrières à infrasons Profish, une attention très particulière a été portée sur les deux sites à la mise en place de plusieurs dispositifs d'enregistrement performants afin de couvrir au mieux la totalité des répulseurs en termes d'observations de passages et de permettre par la suite une analyse fine du comportement des anguilles à l'approche et au niveau des barrières sonores.

De plus, sur les deux sites, les tests de calibration et de validation effectués à plusieurs reprises au cours de chaque année d'expérimentation ont permis de vérifier la fiabilité et la stabilité des dispositifs de réception dans le temps et d'assurer l'homogénéité des données de déplacements d'anguilles marquées ainsi obtenues.

9.1.3.1. Descriptif des dispositifs d'enregistrement mis en place à l'usine de Baigts

Au niveau des répulseurs à tester à Baigts (Figure 9.1), ont été placées 3 antennes immergées, de 3 à 4 brins de réception chacune, délimitant 3 zones de réception (Baigts Grille amont [BAGa], centrale [BAGb], aval [BAGc]). Les gains de réception des antennes quasi identiques entre eux[1] ont déterminé 3 zones de réception de taille comparable : BAGa couvrant le répulseur 1, BAGb couvrant le répulseur 2 et BAGc centrée sur le répulseur 3, et se chevauchant entre elles pour une couverture de réception complète du dispositif Profish. Les limites de réception de chacune des zones ainsi définies étaient d'environ 5 m de large de part et d'autre du plan des pré-grilles et de près des ¾ de la colonne d'eau (environ 5-6 m) en termes de profondeur.

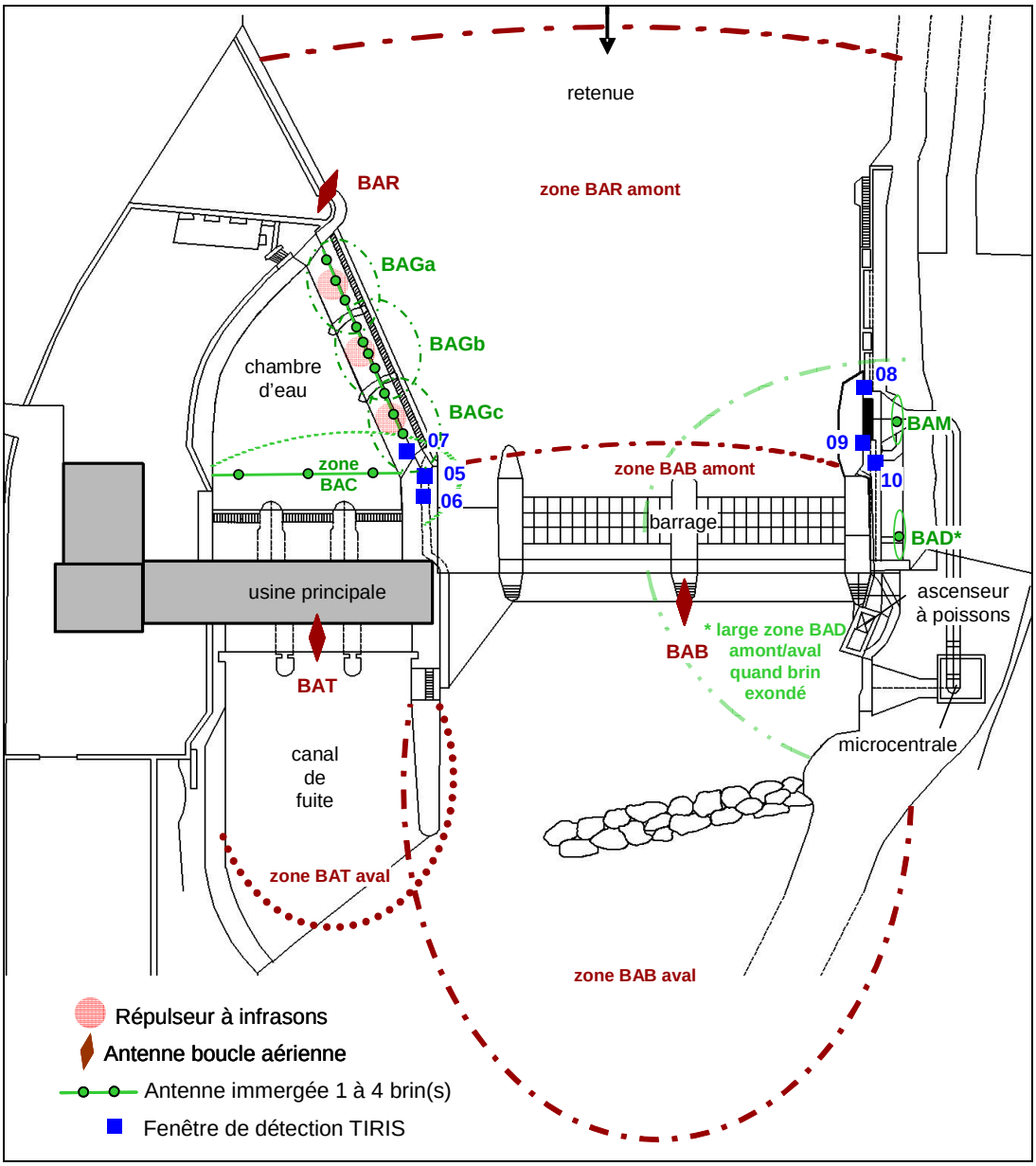


Figure 9.1 : Localisation des antennes et des zones de réception des émetteurs radio-individualisées au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Baigts en 2008-2009

[1] Le gain de l'antenne centrale à 4 brins était légèrement supérieur aux deux autres pour contrebalancer la perte en ligne du signal due au raccord supplémentaire.

9.1.3.2. Descriptif des dispositifs d'enregistrement mis en place à l'usine de Biron

- Etude 2008-2009 : Au niveau des 5 répulseurs de Biron (Figure 9.2), ont été placées 3 antennes immergées, de 3 brins de réception chacune, définissant précisément 3 zones de réception distinctes (Biron Drome amont [BIDa], centrale [BIDb] et aval [BIDc]). Les gains de réception des antennes, identiques entre eux, ont déterminé 3 zones de réception de taille comparable : BIDa couvrant les répulseurs 1 et 2[2], BIDb couvrant les répulseurs 3 et 4 et BIDc centrée sur les répulseurs 4 et 5, et se chevauchant entre elles pour une couverture de réception complète du dispositif Profish. Les limites de réception de chacune des zones ainsi définies étaient de 4-5 m de large de part et d'autre de la drome et de la totalité de la colonne d'eau (environ 5 m) en termes de profondeur.

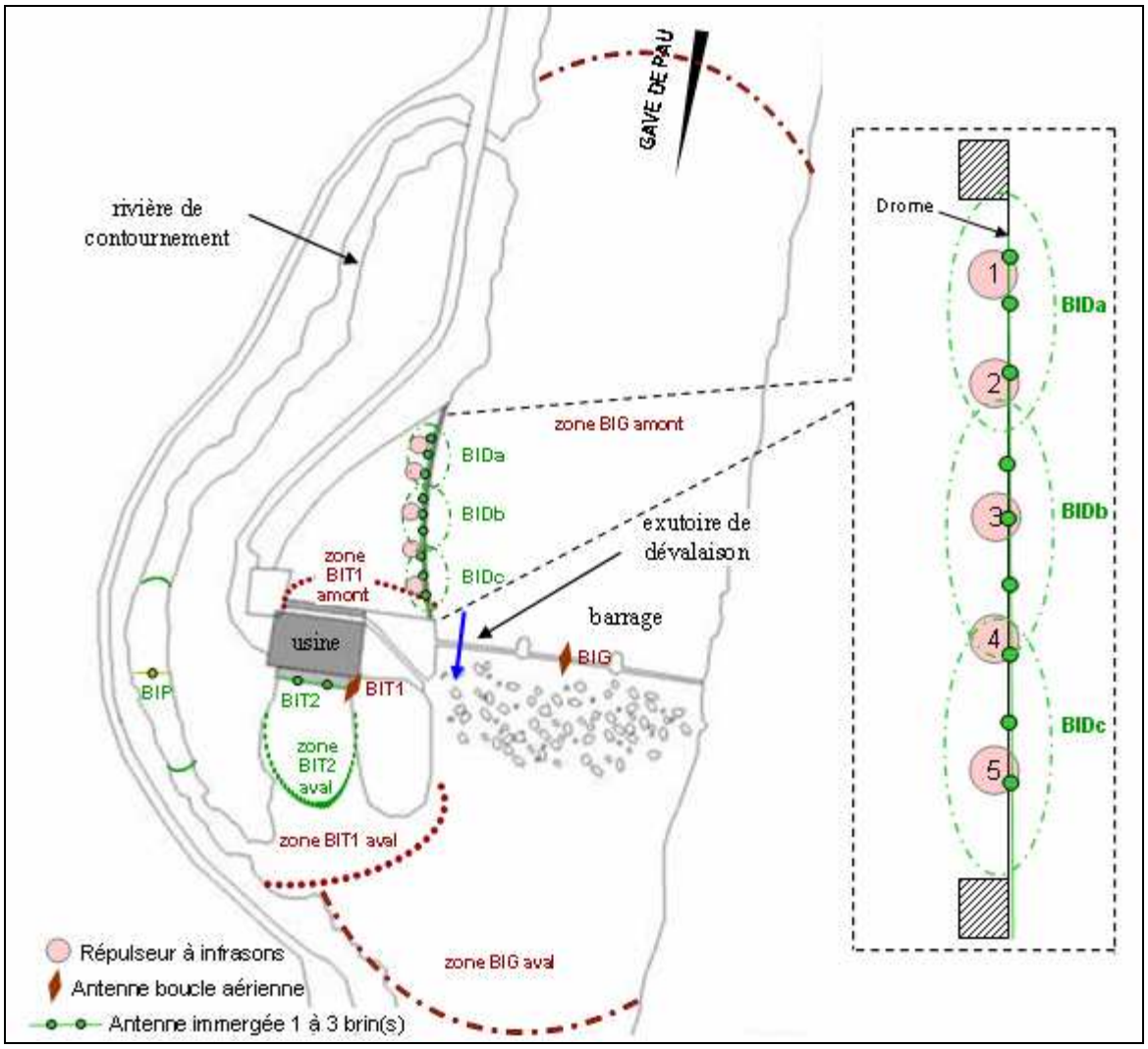


Figure 9.2 : Localisation des antennes et des zones de réception des émetteurs radio-individualisées au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Biron en 2008-2009

- Etude 2009-2010 : La barrière sonore a été renforcée par Profish (8 répulseurs au total), mais le dispositif d'enregistrement n'a pas été modifié dans un premier temps (Figure 9.3), puisque les zones de réception des 3 antennes multi brins placées dès 2008 se chevauchent et permettent déjà une couverture de réception complète de l'ensemble de la barrière sonore. Ainsi, les 3 zones de réception

[2] A noter que notre numérotation des répulseurs (de machine 1 la plus en amont à machine 5 la plus en aval) est inversée par rapport à celle attribuée par Profish (Sony *et al.*, 2009) ; mais les correspondances des pannes sur les machines indiquées dans les Tableaux 9.6 et 9.7 ont bien été modifiées en conséquence.

radio-individualisées (BIDa, BIDb et BIDc) restent strictement identiques en termes de taille, avec une même couverture en BIDa des répulseurs 1 et 2, une même couverture en BIDb cette fois-ci des répulseurs 3 ainsi que 6 et 7[3], et une même couverture en BIDc cette fois-ci des répulseurs 4 et 5 ainsi que 8. **Comme les zones de réception sont identiques d'une année sur l'autre, les résultats obtenus sur le comportement des anguilles à l'approche du dispositif à infrasons sont aussi comparables entre années.**

En octobre 2009, Profish en partenariat avec l'I.R.E.Q. (Hydro-Québec) ont réalisé des mesures acoustiques de la barrière à infrasons de Biron dans les deux configurations (5 ou 8 générateurs en fonctionnement à 12.5-15 Hz). Leurs premières conclusions, qui nous sont parvenues à la mi-janvier 2010 (Sony *et al.*, 2009), révèlent 3 zones de "trouées", c'est-à-dire des zones de moindre pression sonore et donc de moindre accélération des particules d'eau (<1 cm/s^2, le seuil de fuite pour l'anguille argentée d'après Sand *et al.*, 2000). Ces trouées sont situées en partie amont de la machine 1 (3 premiers mètres de la drome), en zone mitoyenne entre la machine 1 et 2, et en partie aval de la machine 5 (3 derniers mètres de la drome). Bien que notre dispositif de détection initial couvre la totalité de la barrière sonore, un plus haut degré de précision dans la localisation des poissons a été apporté fin janvier 2010 en installant 3 stations d'enregistrement supplémentaires reliées à 3 antennes immergées mono brin (BIDa1, BIDa2 et BIDc1) couvrant spécifiquement les 3 zones de "trouées" de la barrière sonore (cf. zoom Figure 9.3).

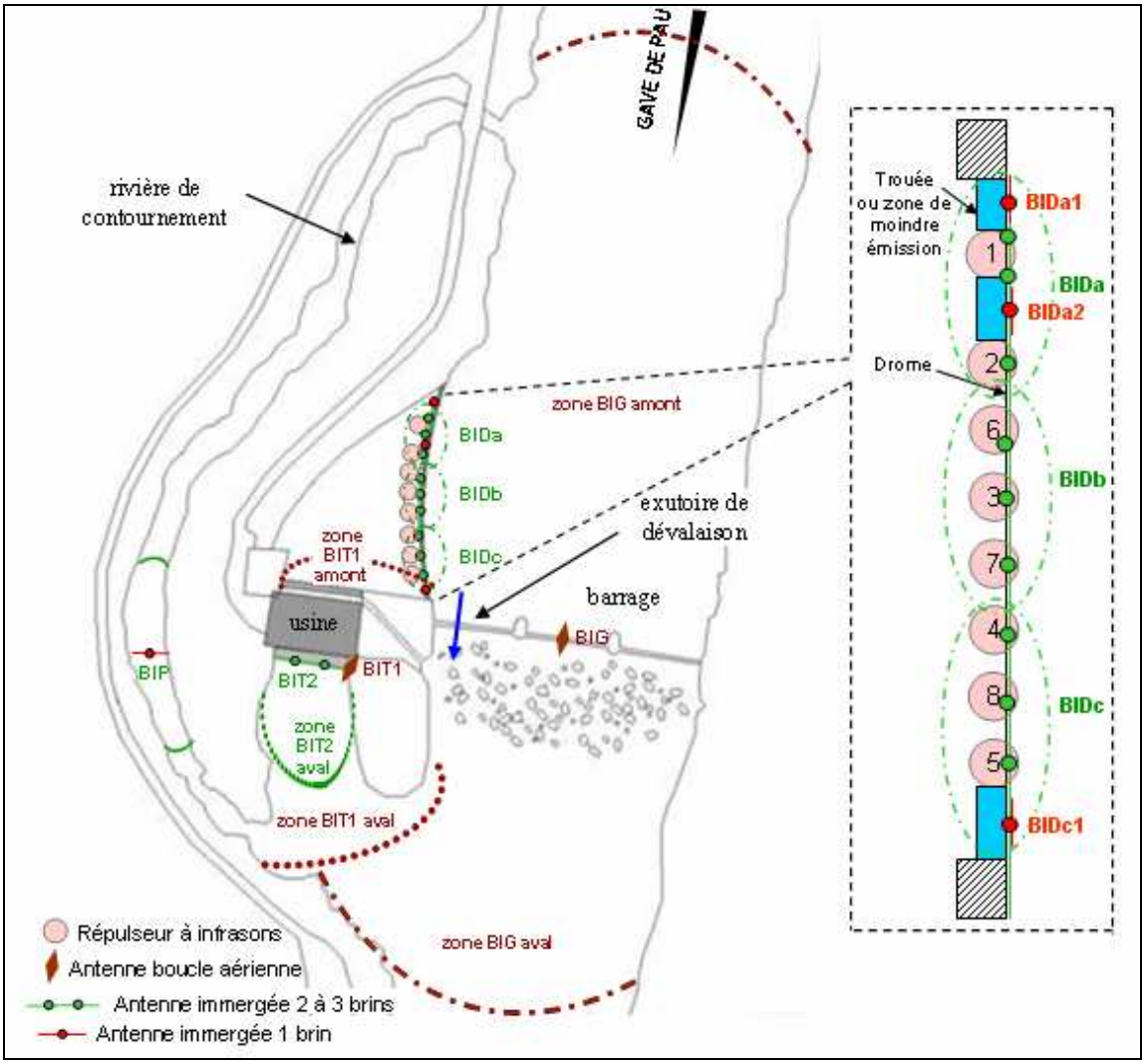


Figure 9.3 : Localisation des antennes et des zones de réception des émetteurs radio-individualisées au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Biron en 2009-2010

[3] Idem, numérotation inversée (cf. note 2)

9.1.4. *Traitement statistique des données et analyse de l'efficacité de la barrière sonore*

L'efficacité de la barrière à infrasons doit se traduire par une réduction significative du taux de passage par les turbines (c'est-à-dire une hausse nette du taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs de crue : vannes, clapet et/ou exutoires) par rapport aux autres années, *et ceci dans des conditions hydrologiques similaires*. Pour qualifier cette réduction potentielle, 2 démarches statistiques ont été conduites sur les deux sites :

- une modélisation statistique sur la base des Modèles Linéaires Généralisés (GLM) permettant de calculer une probabilité de franchissement par une voie de passage donnée (turbines, évacuateurs) à partir de différents facteurs indépendants que sont le rapport du débit total de la rivière sur le débit turbiné, la taille des anguilles (pour Baigts uniquement) et la présence ou non de répulseurs sonores. La procédure statistique permet de sélectionner ou non un facteur en fonction de son effet et d'y associer une probabilité. Dans le cadre de notre étude, la sélection de la variable présence/absence de répulseurs constitue l'étape de validation d'un éventuel effet.
- un calcul de la probabilité d'échappement (passage par les évacuateurs) pour toutes les anguilles ayant franchi les deux aménagements en présence de répulseurs sonores sur la base d'un modèle construit à partir de toutes les observations effectuées sans les répulseurs et utilisant, selon les sites, le rapport du débit total de la rivière sur le débit turbiné et la taille des anguilles (à Baigts seulement). La concordance des probabilités de franchir par les évacuateurs avec les observations sur les voies de passage constitue le critère d'analyse de l'efficacité biologique du dispositif.

9.1.5. *Mesures et variations des facteurs environnementaux*

Les modalités d'acquisition des débits du Gave de Pau à Bérenx et des débits instantanés (totaux, turbinés, déversés) au droit des centrales de Baigts et de Biron ne diffèrent pas de celles décrites pour 2007-2008 (cf. Bau *et al.*, 2008).

9.1.5.1. Débits en 2008-2009

Concernant l'hydrologie du Gave de Pau de novembre 2008 à avril 2009, les débits horaires à la station de Bérenx ont varié d'un minimum de 28 m^3/s (le 08/01 à 02:00) à un maximum de 822 m^3/s (le 12/02 à 03:00), pour une valeur médiane sur la période de 70.5 m^3/s proche de la valeur de référence pour cette station sur la période 1960-2008, soit 74.5 m^3/s. Les coefficients d'hydraulicité mensuels sont variables, avec une hydrologie mensuelle plus soutenue en novembre et février (1.29 et 1.26 ; cf. Tableau 9.2).

En terme de crues, le Gave a connu plusieurs coups d'eau supérieurs à 100 m^3/s, notamment en novembre/mi-décembre et fin janvier/mi-février, avec plus particulièrement deux épisodes significatifs (450 m^3/s le 24/11 et 420 m^3/s le 24/01 lors de la tempête) et une crue à plus de 800 m^3/s en débit de pointe le 12/02. Cet épisode correspond à un évènement proche de la crue quinquennale[4].

Tableau 9.2 : Coefficients d'hydraulicité du Gave de Pau à la station de Bérenx en 2008-2009

Période	**Q mensuel moyen (m^3/s)**												
	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	**Année**
Référence 1960-2008	115	71	46	43	62	78	98	95	95	89	107	127	**86**
Etude 2008-2009	175	75	36	27	32	101	83	99	120	70	117	232	**97**
Coeff. d'hydraulicité	*1.52*	*1.06*	*0.78*	*0.63*	*0.52*	*1.29*	*0.85*	*1.04*	*1.26*	*0.79*	*1.09*	*1.83*	***1.14***

[4] Les crues du Gave de Pau sont importantes, avec des QIX2 et *QIX5* valant respectivement 640 et *830 m³/s* en moyenne et des QIX10, QIX20 & QIX50 de 960, 1100 & 1200 m³/s (données de la station de Bérenx calculées sur 87 ans ; source Banque hydro).

- A la centrale de Baigts, le débit du Gave a varié de 28 à 822 m^3/s (moyenne : 93 m^3/s, médiane : 71 m^3/s) et le débit turbiné de 0 à 88 m^3/s (moyenne et médiane : 50 m^3/s). Environ 18% des valeurs de débit turbiné ont été inférieures à 30 m^3/s et 8% supérieures à 80 m^3/s. Le débit d'équipement de l'usine a été dépassé durant 31% du temps. Le débit déversé a varié de 0 à 806 m^3/s (moyenne : 26 m^3/s, médiane : 0 m^3/s) (Figure 9.4).

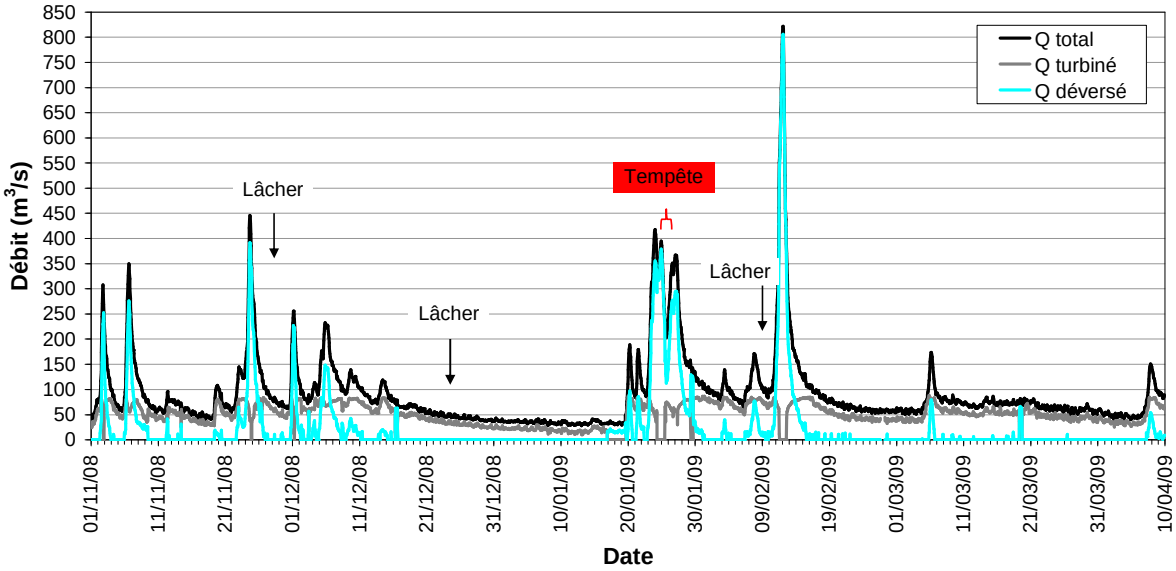


Figure 9.4 : Evolution des débits horaires (totaux, turbinés, déversés) à la centrale de Baigts au cours de l'étude 2008-2009

- A la centrale de Biron, le débit du Gave a varié de 23 à 786 m^3/s (moyenne : 89 m^3/s, médiane : 69 m^3/s) et le débit turbiné de 0 à 110 m^3/s (moyenne : 53 m^3/s, médiane : 48 m^3/s). Environ 53% des valeurs de débit turbiné ont été inférieures à 50 m^3/s et 14% supérieures à 100 m^3/s. Le débit d'équipement de l'usine a été dépassé durant 20% du temps. Le débit déversé a varié de 15 m^3/s (débit réservé) à 741 m^3/s (moyenne : 30 m^3/s, médiane : 15 m^3/s) (Figure 9.5).

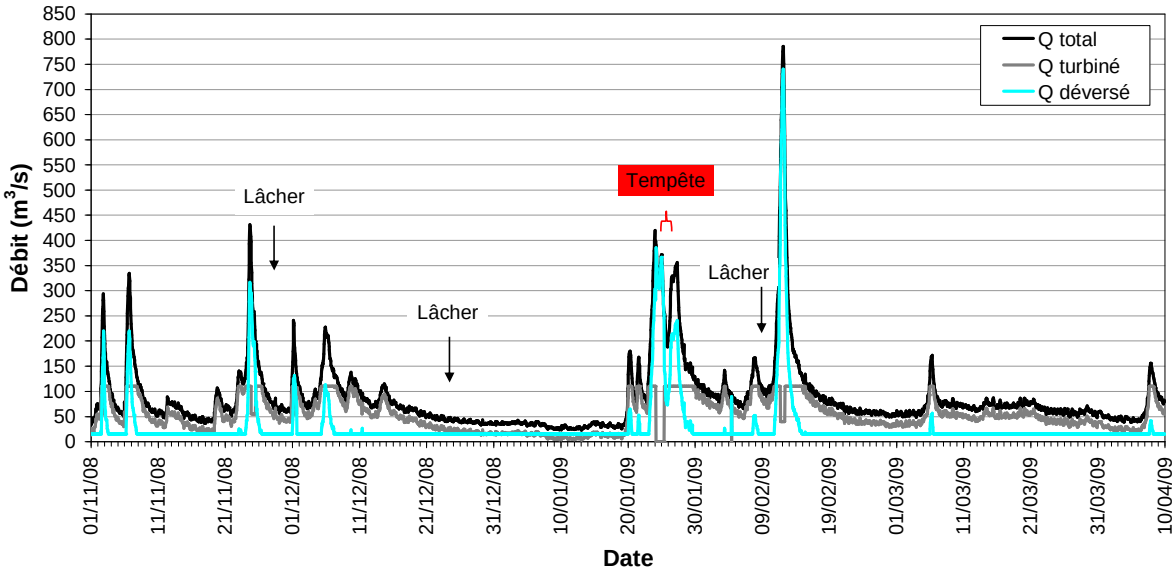


Figure 9.5 : Evolution des débits horaires (totaux, turbinés, déversés) à la centrale de Biron au cours de l'étude 2008-2009

9.1.5.2. Débits en 2009-2010

De décembre 2009 à mai 2010, les débits horaires du Gave de Pau à la station de Bérenx ont varié de 33.5 m^3/s (le 18/03 à 08:00) à 585 m^3/s (le 15/01 à 06:00), avec une valeur moyenne de 84 m^3/s et une valeur médiane de 68 m^3/s. Les débits moyens mensuels ont été sensiblement inférieurs aux moyennes de référence de février à avril 2010 (coefficients d'hydraulicité : 0.77, 0.69 et 0.59 ; cf. Tableau 9.3). Durant le reste de l'étude, l'hydrologie mensuelle est restée proche des valeurs de référence pour cette station sur la période 1960-2009.

Le Gave de Pau a connu de nombreux coups d'eau (18 au total) durant lesquels le débit a dépassé la valeur du module (81.9 m^3/s). Ces événements hydrologiques ont principalement été observés de mi-janvier à février et d'avril à mai 2010, avec plus particulièrement deux épisodes significatifs où le débit du Gave a dépassé au moins 4 fois le module (585 m^3/s en débit de pointe le 15/01/2010 et 344 m^3/s le 06/05/2010). A la différence de 2008-2009, ces valeurs de débits maximales restent néanmoins en-deçà des valeurs de crues biennales (< 640 m^3/s [610-670 m^3/s à 95%]).

Tableau 9.3 : Coefficients d'hydraulicité du Gave de Pau à la station de Bérenx en 2009-2010

Période	**Q mensuel moyen (m^3/s)**												
	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	**Année**
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***

- A la centrale de Biron, le débit du Gave a varié de 30 à 527 m^3/s (moyenne : 76 m^3/s, médiane : 61 m^3/s) et le débit turbiné de 0 à 110 m^3/s (moyenne : 51 m^3/s, médiane : 41 m^3/s). Le débit d'équipement de l'usine (110 m^3/s) a été dépassé durant environ 15% du temps. Enfin, le débit déversé a varié de 15 m^3/s (débit réservé) à 412 m^3/s (moyenne : 20 m^3/s, médiane : 15 m^3/s) (Figure 9.6).

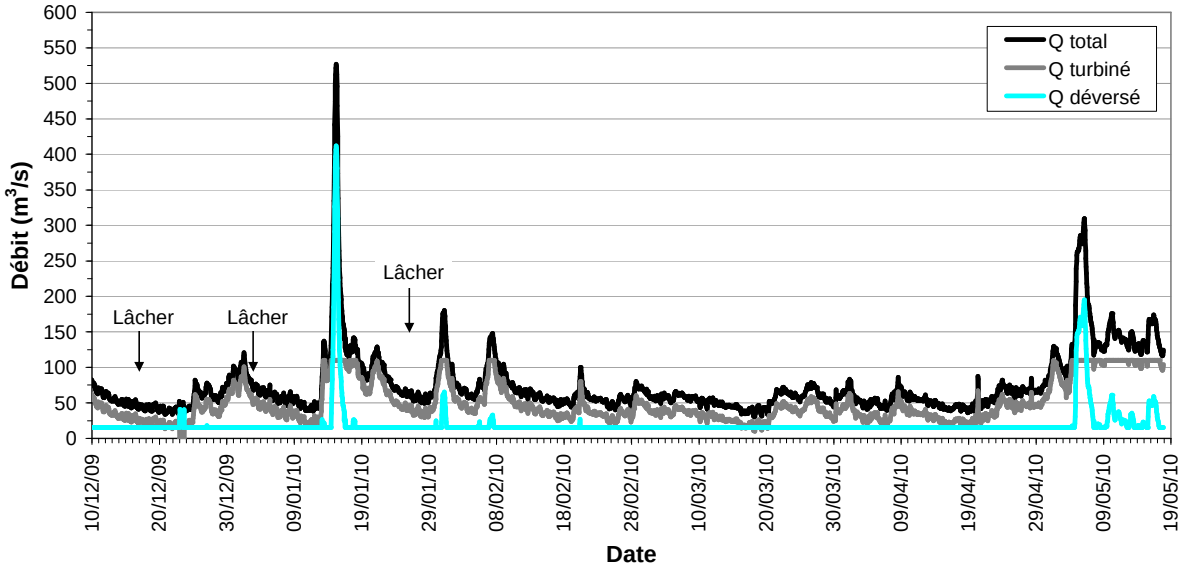


Figure 9.6 : Evolution des débits horaires (totaux, turbinés, déversés) à la centrale de Biron au cours de l'étude 2009-2010

9.1.5.3. Autres facteurs environnementaux

Les valeurs horaires de la température de l'eau du Gave de Pau (mesurée par une sonde CT420T), de la conductivité (conductimètre WTW 340i) et de la turbidité (turbidimètre H-Lange) ont été relevées au droit de l'usine de Baigts, strictement au même endroit lors des deux sessions d'expérimentations.

- Etude 2008-2009 : De novembre 2008 à mi-avril 2009, la température de l'eau a varié de 3.8℃ à 13.3℃ (médiane : 8.9℃), la conductivité de 156 à 331 µS/cm (médiane : 297 µS/cm) et la turbidité de 0.002 à 1.773 g/L (médiane : 0.010 g/L). Des chutes de conductivité à moins de 200 µS/cm et des hausses de turbidité à plus de 1 g/L ont été mesurées lors des trois principaux épisodes de crue.

- Etude 2009-2010 : De décembre 2009 à mi-mai 2010, la température de l'eau a varié de 4℃ à 15.6℃ (médiane : 9.1℃), la conductivité de 176 à 308 µS/cm (médiane : 257 µS/cm) et la turbidité de 1.7 à 740 FNU (médiane : 5.3 FNU). Des chutes de conductivité avoisinant 180 µS/cm et des hausses de turbidité à plus de 700 FNU ont été mesurées lors des deux principaux épisodes de crue.

9.2. Résultats du test d'efficacité à l'usine de Baigts

9.2.1. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance

De la fin de l'installation du dispositif Profish à la mi-octobre 2008 jusqu'à sa mise en arrêt à la mi-avril 2009, **19 interventions** ont été effectuées, dont 3 (16%) par l'équipe Profish et 16 (84%, plus une en commun) par l'équipe ONEMA-ECOGEA en charge du suivi par radiopistage (Tableau 9.4 ; Figure 9.7).

Bien que les 3 machines constituant la barrière à infrasons de Baigts aient été installées en deçà du plan des pré-grilles de la chambre d'eau (cf. Photo 6 et Figure 6.1A) pour une protection maximale contre les embâcles et les fortes variations de niveau d'eau ou re-circulations, le système de fixation a dû être rapidement amélioré, l'exploitant (en l'occurrence EDF) ayant constaté, moins de 15 jours après la mise en place du dispositif, un jeu important dans l'attache des tuyaux des répulseurs aux garde-corps de la passerelle, entraînant des vibrations jugées de trop forte amplitude pour la pérennité de l'installation. Après plusieurs interventions de l'équipe ONEMA-ECOGEA, Profish a définitivement remédié au problème un mois plus tard. **Aucun autre dommage ne s'est produit au cours de l'étude sur le système de fixation de la barrière sonore.**

Concernant les répulseurs, il s'est produit dès leur installation un problème d'interférence électrique sur le fonctionnement de certains types d'antennes (fenêtres Tiris) communément utilisées en télémétrie (et couramment employées sur Baigts depuis quelques années) pour l'enregistrement des passages particulièrement rapides d'individus marqués par Pit-tag dans des zones de faible étendue (exutoire de dévalaison, goulotte de dégrilleur, etc.). La mise en marche de la barrière sonore à Baigts a immédiatement compromis l'utilisation de ces antennes, de sorte que les équipes ONEMA-ECOGEA et d'EDF R&D ont dû très rapidement mettre en œuvre une solution alternative pour correctement surveiller toute la zone d'étude. Le 19/11, un mois après l'installation du dispositif à infrasons, l'équipe Profish a réglé ce problème d'interférence en installant des filtres dans les armoires de contrôle des répulseurs ; simultanément, les fenêtres Tiris ont été réinstallées par l'équipe ONEMA-ECOGEA et calibrées avec la barrière opérationnelle sans souci particulier. A partir de fin novembre et jusqu'à fin janvier, l'équipe ONEMA-ECOGEA en place est intervenue à 11 reprises pour relancer le dispositif Profish après des arrêts essentiellement liés à des problèmes de pression au niveau de la machine 3 (la plus en aval), un réglage fin de la pression, et correct pour l'ensemble des machines du dispositif, s'avérant très difficile à maintenir dans le temps. A noter que deux arrêts successifs se sont produits le dimanche 14/12 à quelques heures d'intervalle (cf. Tableau 9.4), et que durant le second arrêt de fonctionnement de la barrière sonore, une anguille radiomarquée s'est présentée au droit de l'ouvrage et a dévalé Baigts par les turbines. Début février, l'équipe Profish, déjà présente à cette époque pour des interventions sur Biron, a dû vérifier la viabilité des membranes des 3 machines installées à Baigts mais n'a pas procédé à leur changement, dans la mesure où les répulseurs ont toujours été maintenus en fonction dans la gamme de fréquences de 10-12 Hz sélectionnée à l'issue du test préliminaire (cf. § 5). Par la suite, il n'y a plus eu d'autres interventions des deux équipes jusqu'en fin d'expérimentation.

A noter que malgré des arrêts du dispositif à tester généralement moins fréquents à Baigts qu'à Biron, un passage d'anguille (sur 30 arrivées) n'a pu être évalué en situation de dispositif opérationnel.

9.2.2. Fonctionnalité biologique de la barrière

9.2.2.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Trente anguilles radiomarquées ont atteint l'aménagement de Baigts. Il s'agit de :

- 10 des 12 anguilles (soit 83%) relâchées à Jurançon et ayant franchi l'aménagement de Castetarbe à 5.7 km en amont de Baigts,
- 20 des 21 anguilles (soit 95%) du lot 3 relâchées soit à Gouze (18.4 km en amont de Baigts) soit à Orthez (7.5 km en amont de Baigts) et ayant franchi l'aménagement de Castetarbe.

Les principaux résultats obtenus sur le comportement de ces 30 anguilles sont consignés dans le Tableau 9.5 :

Tableau 9.4 : Récapitulatif et détails des 19 interventions effectuées sur le dispositif de répulsion Profish installé au niveau de l'usine de Baigts en 2008-2009

Date	Date & Heure d'arrêt du dispositif Profish	Date & Heure de remise en route du dispositif Profish	Délai d'intervention	Diagnostic panne(s) et résumé de l'intervention	Intervenants
15/10/08	–	–	–	fin de l'installation des 3 machines du dispositif de répulsion et de l'armoire électrique	Profish
17/10/08	17/10/2008 15:00	17/10/2008 16:30	01:30	pblm d'interférences des répulseurs sur les fenêtres Tiris --> test des 6 Tiris avec ou sans répulseurs en fonction	ONEMA-ECOGEA, EDF R&D
28/10/08	28/10/2008 18:00	28/10/2008 19:00	01:00	pblm d'attache des tuyaux des répulseurs au garde-corps : battements de forte amplitude --> premiers essais de fixation	exploitant + ONEMA-ECOGEA
29/10/08	29/10/2008 18:00	29/10/2008 19:00	01:00	pblm d'attache des tuyaux des répulseurs au garde corps --> mise en place de mousses de protection autour des tuyaux	ONEMA-ECOGEA
03/11/08	03/11/2008 17:00	03/11/2008 18:30	01:30	pblm d'attache des tuyaux --> mise en place de cordes de fixation autour des tuyaux des machines 2 et 3	ONEMA-ECOGEA
19/11/08	19/11/2008 14:00	19/11/2008 19:00	05:00	pblm d'interférences des répulseurs sur Tiris --> installation de filtres sur armoires de contrôle des répulseurs + anneaux pour maintenir tuyaux + tests Tiris	Profish, ONEMA-ECOGEA
30/11/08	30/11/2008 23:00	01/12/2008 10:00	11:00	arrêt machine 3 : pblm pression --> réglage pression du dispositif et remise en route	ONEMA-ECOGEA
06/12/08	06/12/2008 14:05	06/12/2008 18:00	03:55	arrêt machine 3 : pblm pression --> réglage pression du dispositif et remise en route	ONEMA-ECOGEA
08/12/08	08/12/2008 16:45	08/12/2008 17:00	00:15	réglage de pression du dispositif et remise en route	ONEMA-ECOGEA
09/12/08	09/12/2008 10:54	09/12/2008 16:30	05:36	arrêt machine 3 : pblm pression --> réglage pression du dispositif (sur ½ heure) et remise en route	ONEMA-ECOGEA
14/12/08	14/12/2008 12:30	14/12/2008 15:30	03:00	arrêt machine 3 : pblm pression --> réglage pression du dispositif et remise en route	ONEMA-ECOGEA
14/12/08	14/12/2008 18:30	15/12/2008 09:30	15:00	arrêt machine 3 : pblm pression --> réglage pression du dispositif (0.43 au lieu de 0.46) et remise en route	ONEMA-ECOGEA
16/12/08	16/12/2008 15:55	16/12/2008 19:00	03:05	arrêt des 3 machines --> réglage pression (à 0.425 au lieu de 0.405) et remise en route	ONEMA-ECOGEA
21/01/09	21/01/2009 09:53	21/01/2009 10:11	00:18	arrêt machine 3 : erreur N°12 sur variateur liée à pressi on --> réglage pression + purge du compresseur et remise en route	ONEMA-ECOGEA
24/01/09	24/01/2009 04:00	24/01/2009 18:00	14:00	arrêt du dispositif : car coupure générale de courant en raison de la tempête --> remise en route du dispositif	ONEMA-ECOGEA
25/01/09	25/01/2009 15:05	25/01/2009 17:41	02:36	arrêt machine 3 : difficulté à régler pression --> isolation machine 3 et remise en route du dispositif	ONEMA-ECOGEA
26/01/09	25/01/2009 17:41	26/01/2009 18:00	24:19	remise en route de la machine 3 suite à sa précédente isolation	ONEMA-ECOGEA
06/02/09	?	?	?	intervention sur membranes des répulseurs (changement ?)	Profish
09/04/09	09/04/2009 09:30	–	–	mise à l'arrêt du dispositif de répulsion	ONEMA-ECOGEA

passage d'une anguille (48471_20) dans la soirée durant ce second arrêt répulseurs du week-end

Nbre total d'interventions sur le dispositif : n=19, dont 16 pour cause de panne(s) ; Nbre d'interventions par l'équipe Profish : n=3 ; Nbre d'interventions par l'équipe ONEMA-ECOGEA : n=17 (dont 1 en commun avec Profish)

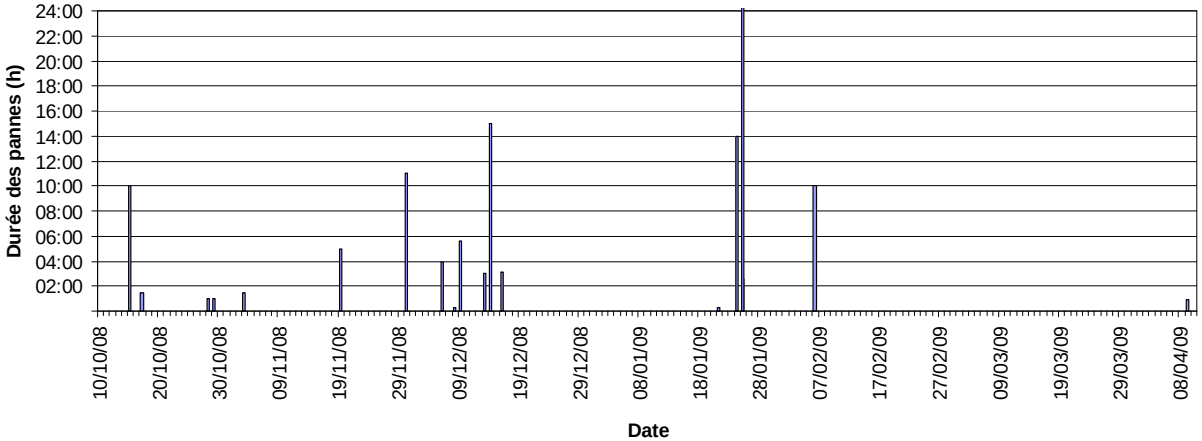


Figure 9.7 : Fréquence et durée des arrêts du dispositif de répulsion Profish à Baigts au cours de l'étude 2008-2009

Tableau 9.5 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 30 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de l'usine de Baigts en 2008-2009

Code anguille	Date & Heure 1ère 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. Zone BAR	Durée Zone BAR	Nb Inc. Zone BAGa	Durée Zone BAGa	Nb Inc. Zone BAGb	Durée Zone BAGb	Nb Inc. Zone BAGc	Durée Zone BAGc	Total Inc. barrière	Total Durée barrière	Zone traversée	Nb Inc. Zone BAC	Durée Zone BAC	Nb Inc. Zone BAD	Durée Zone BAD	Nb Inc. Zone EXU	Durée Zone EXU	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48561_24	15/02/2009 20:40	16/02/2009 19:26	barrage	96	10	69	0.1	1	22:46	22:46	100.0%	25	06:36	0	00:00	2	00:03	6	00:23	8	00:26	–	0	00:00	16	15:44	0	00:00	1	01:09
48561_2	10/02/2009 20:08	10/02/2009 20:39	barrage	157	59	82	0.7	1	00:31	00:31	100.0%	2	00:26	1	00:01	1	< 00:01	1	00:03	1	00:04	–	0	00:00	1	00:01	0	00:00	1	00:07
48561_15	10/02/2009 22:51	10/02/2009 23:03	clapet	178	83	79	1.1	1	00:12	00:12	100.0%	1	00:09	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:02	1	00:03	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:06
48561_1	11/02/2009 00:02	11/02/2009 00:52	clapet	210	118	76	1.6	1	00:50	00:50	100.0%	1	00:46	1	00:03	1	< 00:01	1	00:01	1	00:04	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:06
48471_8	30/01/2009 00:40	11/02/2009 02:18	barrage	224	134	74	1.8	9	289:38	34:00	11.7%	9	34:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:11
48561_0	11/02/2009 03:33	11/02/2009 04:11	clapet	256	169	71	2.4	1	00:38	00:38	100.0%	1	00:36	1	00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:02	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48561_12	11/02/2009 09:38	11/02/2009 09:54	barrage	365	287	62	4.6	1	00:16	00:16	100.0%	1	00:16	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48471_21	24/01/2009 05:29	24/01/2009 06:11	barrage	374	300	58	5.2	1	00:42	00:42	100.0%	1	00:42	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48561_8	11/02/2009 10:19	11/02/2009 10:36	barrage	413	335	62	5.4	1	00:17	00:17	100.0%	1	00:17	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48201_9	23/01/2009 23:21	23/01/2009 23:29	barrage	416	349	51	6.8	1	00:08	00:08	100.0%	1	00:08	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48561_14	11/02/2009 13:21	11/02/2009 13:30	barrage	557	535	6	94.3	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:09	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48561_6	11/02/2009 13:25	11/02/2009 13:36	clapet	557	535	6	94.3	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:11	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:01
48561_22	12/02/2009 08:18	12/02/2009 08:24	barrage	556	540	0	540.0	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	0	00:00	1	00:06
48561_9	12/02/2009 07:57	12/02/2009 08:00	barrage	587	571	0	571.0	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:05
48471_14	11/02/2009 15:46	11/02/2009 15:56	barrage	604	588	0	588.0	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	0	00:00	1	00:11
48561_5	11/02/2009 16:12	11/02/2009 16:37	barrage	618	602	0	601.5	1	00:25	00:25	100.0%	1	00:25	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:01
48201_14	26/01/2009 18:34	11/02/2009 19:40	barrage	684	668	0	667.5	8	385:06	29:29	7.7%	8	29:29	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48561_3	11/02/2009 20:19	11/02/2009 20:23	clapet	712	696	0	696.0	1	00:04	00:04	100.0%	1	00:04	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	1	< 00:01	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:01
48471_9	11/02/2009 21:22	11/02/2009 21:31	barrage	744	728	0	727.5	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:09	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:02
48561_11	11/02/2009 01:14	12/02/2009 04:16	clapet	771	755	0	754.5	2	27:02	00:08	0.5%	2	00:08	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:03
48561_16	11/02/2009 22:22	11/02/2009 22:26	barrage	773	757	0	757.0	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	00:03
48561_18	11/02/2009 22:23	11/02/2009 22:32	barrage	773	757	0	757.0	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:09	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	0	00:00	0	00:00	1	00:04
48561_17	12/02/2009 03:53	12/02/2009 03:57	barrage	793	777	0	777.0	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	00:01
Moyenne (n=23, passés barrage)				**496.3**	**450.1**	**30.2**	**332.8**	**1.7**	**31:43**	**03:58**	**87.8%**	**2.8**	**03:15**	**0.2**	**00:00**	**0.3**	**00:00**	**0.6**	**00:01**	**0.7**	**00:01**		**0.0**	**00:00**	**0.7**	**00:41**	**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:06**
Médiane (n=23, passés barrage)				**557.0**	**535.3**	**5.7**	**94.3**	**1.0**	**00:12**	**00:11**	**100.0%**	**1.0**	**00:10**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**		**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:03**
48471_20	14/12/2008 17:53	14/12/2008 18:39	turbine	114	15	82	0.2	1	00:46	00:46	100.0%	1	00:43	0	00:00	1	00:01	0	00:00	1	00:01	BAGb	1	00:02	0	00:00	0	00:00	3	10:30
48471_18	05/12/2008 21:47	05/12/2008 22:03	turbine	232	148	68	2.2	1	00:16	00:16	100.0%	1	00:12	0	00:00	0	00:00	1	00:01	1	00:01	BAGc	1	00:03	0	00:00	0	00:00	2	32:59
Moyenne & Médiane (n=2, passés turbine)				**172.8**	**81.8**	**75.0**	**1.2**	**1.0**	**00:31**	**00:31**	**100.0%**	**1.0**	**00:27**	**0.0**	**00:00**	**0.5**	**00:00**	**0.5**	**00:00**	**1.0**	**00:01**		**1.0**	**00:02**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**2.5**	**21:44**
48561_7.5	14/02/2009 14:24	25/02/2009 04:42	exutoire	57	0	41	0.0	14	254:18	181:58	71.6%	40	169:07	1	00:02	1	00:02	19	06:07	19	06:11	–	0	00:00	11	06:40	1	00:00:39	3	14:33
48561_21	19/02/2009 02:13	21/02/2009 00:36	exutoire	74	0	51	0.0	8	46:23	05:36	12.1%	8	05:23	1	< 00:01	1	< 00:01	1	00:11	1	00:11	–	0	00:00	0	00:00	1	00:00:34	1	00:09
48471_16	06/12/2008 00:35	06/12/2008 01:04	exutoire	225	141	68	2.1	1	00:29	00:29	100.0%	1	00:27	0	00:00	0	00:00	1	00:01	1	00:01	–	0	00:00	0	00:00	1	00:00:09	1	00:02
Moyenne (n=3, passés exutoire RD)				**118.6**	**47.2**	**53.1**	**0.7**	**7.7**	**100:24**	**62:41**	**61.2%**	**16.3**	**58:19**	**0.7**	**00:01**	**0.7**	**00:01**	**7.0**	**02:06**	**7.0**	**02:07**		**0.0**	**00:00**	**3.7**	**02:13**	**1.0**	**00:00:27**	**1.7**	**04:54**
Médiane (n=3, passés exutoire RD)				**73.6**	**0.0**	**51.3**	**0.0**	**8.0**	**46:23**	**05:36**	**71.6%**	**8.0**	**05:23**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:11**	**1.0**	**00:11**		**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:00:34**	**1.0**	**00:09**
48471_7.5	*11/02/2009 23:07*	*20/03/2009 22:36**	–					*43*	*887:29*	*514:27*	*58.0%*	*44*	*510:09*	*1*	*00:05*	*1*	*04:01*	*1*	*00:12*	*3*	*04:18*	–	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	–
48561_4	*15/02/2009 04:29*	*03/05/2009 23:18**	–					*154*	*1866:49*	*683:14*	*36.6%*	*154*	*683:14*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	–

** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, les anguilles 48471_7.5 & 48561_4 n'ayant pas dévalé (toujours repliées dans la retenue à plus de 300 m en amont de l'ouvrage le 21/03/2009 et le 03/05/2009 respectivement)*

- **2 d'entre elles** n'ont pas, à terme, dévalé. La première est restée bloquée par l'ouvrage au moins durant 37 jours après son arrivée dans la zone générale amont (zone retenue ou BAR), jusqu'entre le 20 et le 23 mars (date d'arrêt de son émetteur). Elle s'était présentée une fois dans chacune des 3 zones définies au niveau de la barrière sonore de Baigts, à savoir les zones amont BAGa, centrale BAGb et aval BAGc, pour une durée globale de 4h 18min représentant 0.8% de son temps passé à l'amont immédiat de Baigts (cf. Tableau 9.5). La 2ème anguille est demeurée bloquée par l'ouvrage au moins durant 78 jours après l'arrivée ; elle a effectué de nombreuses incursions en zone BAR mais sans jamais s'approcher du dispositif Profish. L'anguille était encore sur site au moment du démontage des antennes radio le 3 mai. Ainsi, dans les deux cas, les passages à Baigts étant incertains, ces 2 anguilles ont été exclues des traitements des données.
- **les 28 autres** ont franchi l'aménagement de Baigts, soit un taux de 93% (28/30). Les passages à l'aval ont eu lieu :
    - par le barrage ou le clapet dans 82% (23/28) des cas,
    - par les turbines, donc après passage au travers de la barrière à infrasons, dans 7% (2/28) des cas,
    - par l'exutoire de dévalaison en rive droite côté clapet dans 11% (3/28) des cas.

Les voies de passage sont fortement liées aux conditions hydrologiques et au fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé au barrage [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 9.8 et Figure 9.9) :

- en l'absence de déversement au barrage (soit Qd=0 m^3/s et Qt=41 à 51 m^3/s), 2 passages à l'aval ont été effectués, tous deux par l'exutoire de dévalaison,
- en situation de surverses au barrage relativement faibles (10 à 169 m^3/s) et de débits turbinés importants (68 à 82 m^3/s) proches de 90 m^3/s le débit d'équipement de l'usine (soit dans des conditions de rapport Qd/Qt de 0.1 à 2.4 maximum), 9 passages se sont produits, dont 1 par l'exutoire de dévalaison, 2 par les turbines et 6 par le barrage ou clapet. A noter, parmi les passages par les turbines, que celui effectué dans les conditions de débit déjà les plus « favorables » à ce choix de voie (soit Qd=15 m^3/s, Qt=82 m^3/s et Qd/Qt=0.2) s'est, en outre, produit rapidement (9 min) après un arrêt de fonctionnement du dispositif à infrasons Profish.
- enfin, lors de déversements plus importants (287 à 777 m^3/s), atteignant au minimum 4.6 fois le débit turbiné, 17 passages en aval ont eu lieu, tous par le barrage ou le clapet. Dans 13 des 17 cas (soit 76%), l'usine ne turbinait pas ou quasiment pas.

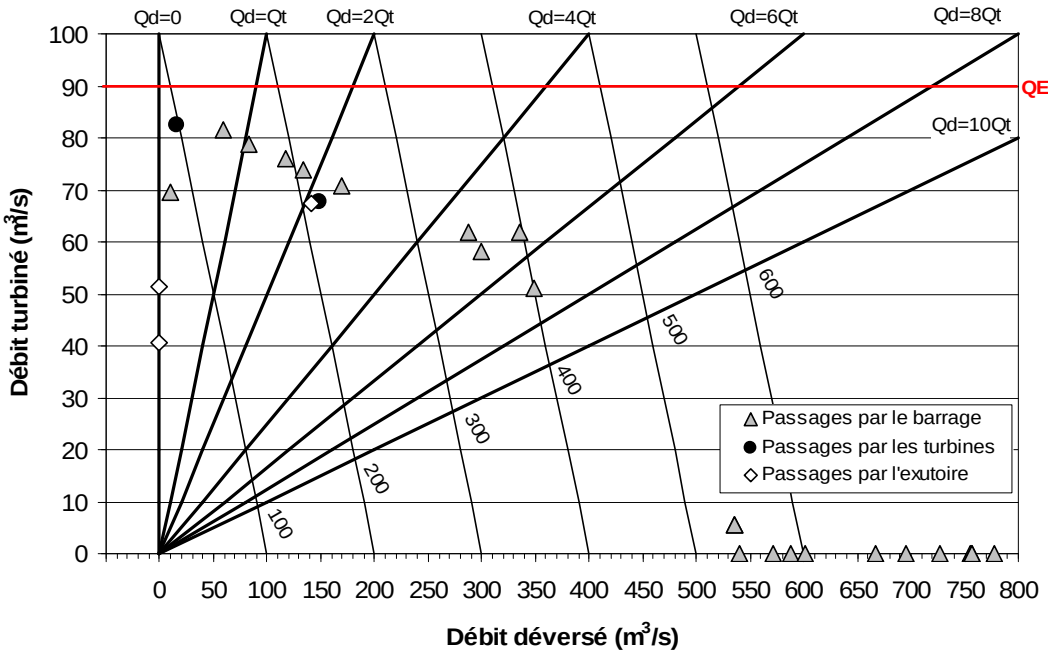


Figure 9.8 : Voie de franchissement de Baigts suivant le fonctionnement de l'ouvrage

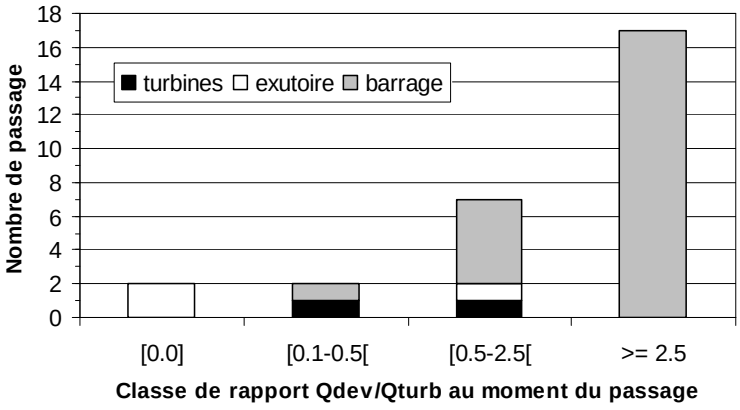


Figure 9.9 : Nombre de passages à Baigts par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

9.2.2.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

Sur les 23 anguilles qui ont dévalé par le barrage ou le clapet et qui peuvent potentiellement avoir été « influencées » par la barrière sonore, **15 (soit 65%) sont passées directement par le barrage**, en ne faisant qu'une seule ou plusieurs incursion(s) sur le site dans la zone générale retenue et amont barrage (BAR) mais, dans les deux cas, sans aucune approche vers le dispositif à infrasons Profish (trajectoire-type H, Figure 9.11). **Ces poissons ne peuvent donc pas être inclus dans une analyse sur l'efficacité du dispositif.**

Huit autres anguilles (soit 35%) se sont approchées même brièvement de la barrière sonore avant de dévaler par le barrage ou le clapet. Après leur arrivée sur site en BAR, toutes ont approché à 5 m au moins du dispositif à infrasons :

- 5 ont longé la totalité du plan des pré-grilles et du dispositif (trajectoire-type B, Figure 9.10), traversant rapidement les zones amont BAGa, centrale BAGb et aval BAGc (maximum en zone(s) : 3 min ; durée globale au niveau de l'ensemble du dispositif : de 1 à 4 min maximum, soit selon l'anguille, 5% à 25% de son temps total passé à l'amont) pour finalement passer par le clapet pour 4 d'entre elles ou par le barrage pour la 5ème qui est retournée à l'amont immédiat des vannes avant de dévaler. Généralement, la durée globale du transit a été courte, de 27 min en moyenne (de 4 à 50 min ; médiane : 31 min, n=5), les passages s'étant produits à surverses modérées (Qd=59-169 m^3/s) ou très importantes (Qd=696 m^3/s).
- 2, arrivées directement au droit de l'ouvrage sans incursions vers les parties amont et centrale de la barrière, ont été très brièvement (<1 min) enregistrées dans le champ du répulseur aval BAGc (trajectoire-type C, Figure 9.10) avant de dévaler par le clapet. Ces dévalaisons rapides (durée de présence sur site : 8-11 min) ont eu lieu lors de forts déversements au barrage (Qd=535-755 m^3/s).
- la dernière anguille, arrivée à plus faible débit (Q=96 m^3/s), est restée durant près de 23 h en exploration en amont de l'obstacle, s'approchant à 2 reprises du répulseur central BAGb (total 3 min) et à 6 reprises du répulseur aval BAGc à proximité du clapet (total 23 min), témoignant d'un comportement de prospection devant la barrière sonore (trajectoire-type F, Figure 9.11), mais aussi vers le milieu des vannes (total 6h 36min) et vers la rive gauche (total 15h 44min). Le temps passé par l'anguille dans les zones des répulseurs (total 26 min) représente 2% du temps global passé en amont de l'ouvrage (avec 29% en BAR ; 69% en BAD). L'anguille a finalement dévalé par le barrage plus de 39 min après sa dernière entrée dans le champ du répulseur BAGc.

En résumé, concernant les 23 passages d'anguilles à Baigts par le barrage ou le clapet, et pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore, la quasi-totalité (87% [20/23]) d'entre eux, réalisés très majoritairement à fort débit entrant (médiane : 557 m^3/s, 1er et 3ème quartiles : 338 et 641 m^3/s, n=20) ont été directs (1 seule incursion au droit de l'ouvrage, sans repli en retenue), de courte durée (moins d'1h pour 95% d'entre eux, dont 45% en moins de 10 min) et nocturnes (60% réalisés de nuit ou au crépuscule). Les 3 autres passages, tous nocturnes, sont

intervenus après plusieurs présentations sur le site réalisées à des débits plus faibles (~96-128 m^3/s en moyenne lors des blocages allant de 23h à 16 jours). Seules 8 de ces 23 anguilles passées par le barrage ou le clapet ont approché, au moins une fois et même très brièvement, la barrière sonore : 7 d'entre elles se sont approchées une seule fois (dont 5 en longeant la totalité du dispositif, les 2 autres allant directement vers le répulseur aval BAGc proche du clapet) et la 8ème anguille s'est présentée à 8 reprises dans les zones médiane BAGb et aval BAGc. Aucune traversée aller-retour du plan des pré-grilles et du dispositif Profish associé n'a été constatée avant ces 23 dévalaisons par barrage ou clapet.

9.2.2.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

Les 2 anguilles qui ont dévalé par les turbines n'ont approché qu'1 seule fois et dans seulement 1 des 3 zones des répulseurs (BAGb ou BAGc) avant de traverser la barrière à infrasons, de pénétrer dans la chambre d'eau et de franchir l'obstacle par les turbines (cf. Tableau 9.5). Aucune prospection ou mouvement d'hésitation devant le dispositif n'a donc été enregistré.

- La première anguille, arrivée au droit de l'ouvrage sans incursion vers la partie amont du plan des pré-grilles, a séjourné durant 43 min en zone générale amont (BAR) avant d'atteindre directement et de traverser rapidement (en 1 min) la barrière sonore en partie centrale BAGb (trajectoire-type A, Figure 9.10) puis de transiter en 2 min par la chambre d'eau et de dévaler par les turbines,
- la seconde anguille a franchi la barrière sonore encore plus directement, ne se présentant (et traversant) qu'en partie aval BAGc du dispositif (trajectoire-type E, Figure 9.10). Après une incursion de 12 min devant le barrage (zone BAR), elle a traversé rapidement (en 1 min) la barrière avant de transiter en 3 min par la chambre d'eau et de dévaler par les turbines.

Ces 2 passages se sont produits lors d'une surverse au barrage faible à modérée (15 et 148 m^3/s) et d'un turbinage important (82 et 68 m^3/s), soit dans un rapport Qd/Qt de respectivement 0.2 et 2.2. Le passage de la 1ère anguille, effectué en condition de fort attrait des turbines (Qd/Qt=0.2) est, en outre, intervenu 9 min après un arrêt de fonctionnement du dispositif à infrasons.

En résumé, bien que peu nombreux, les passages à Baigts par les turbines ont en commun leur caractère nocturne, leur courte durée (moins d'1h), avec 1 approche unique de la barrière sonore et une traversée rapide via la zone centrale BAGb ou aval BAGc. Dans les deux cas, il n'y a eu aucune entrée en zone amont BAGa, et quel que soit le débit (faible à modéré) au moment du passage, il n'y a eu aucune prospection ou mouvement d'hésitation devant le dispositif sonore Profish.

9.2.2.4. Comportement des anguilles passées par l'exutoire

Sur les 3 anguilles qui ont dévalé par l'exutoire de dévalaison situé en rive droite à l'extrémité aval du plan des pré-grilles, à proximité du clapet, **1 (soit 33%) est passée rapidement** avec une seule brève approche du dispositif à infrasons Profish (trajectoire-type D, Figure 9.10). Arrivée au droit de l'ouvrage lors d'un débit du Gave de 225 m^3/s (Qd=141 m^3/s et Qt=68 m^3/s ; rapport Qd/Qt de 2.1), l'anguille a stationné durant 27 min en zone générale amont BAR avant de rejoindre directement (sans incursions préalables en BAGa ou BAGb) la zone aval BAGc par où elle a rapidement (<1 min) transité avant de pénétrer dans l'exutoire.

Les 2 autres anguilles (soit 66%), arrivées au droit de l'aménagement dans des conditions de débits très faibles, **ont prospecté plus longuement** sur site et réalisé une à plusieurs approches (plus ou moins longues) dans les 3 zones de la barrière sonore avant d'emprunter l'exutoire de dévalaison (trajectoire-type G, Figure 9.11). Toutes deux se sont présentées à plusieurs reprises au droit de l'ouvrage (soit 8 et 14 fois entrecoupées de replis en retenue) pour un temps de blocage par l'ouvrage respectivement de plus de 46h et de 10.6 jours. Toutes deux ont donc également exploré plus ou moins longtemps le plan des pré-grilles :

- Lors de sa 8ème et dernière arrivée sur site, à faible débit (74 m^3/s ; Qd=0 m^3/s et Qt=51 m^3/s), la première anguille a longé le plan des pré-grilles, passant rapidement en BAGa et BAGb (en moins d'1 min dans les deux cas) puis stationnant en zone BAGc à proximité de l'entrée de l'exutoire (et du clapet qui ne déversait pas) durant 11 min avant d'entrer dans l'exutoire et d'être enregistrée par les fenêtres Tiris.

- La seconde anguille, présente sur site lors de débits encore plus faibles (57 m^3/s ; Qd=0 m^3/s et Qt=41 m^3/s), a prospecté encore plus longuement au droit de l'ouvrage, aussi bien vers la rive gauche (BAD : total 6h 40min) qu'en amont des vannes (BAR : total >169h) et que vers le dispositif à infrasons en rive droite (cf. Tableau 9.5). Elle a traversé les zones BAGa et BAGb (en 2 min dans les deux cas) et a surtout exploré la zone BAGc, à raison de 19 incursions pour un total de plus de 6h. La dernière entrée en BAGc avant de pénétrer dans l'exutoire a duré 6 min.

En résumé, les passages à Baigts par l'exutoire de dévalaison en rive droite ont tous été réalisés de nuit et dans des conditions de débits modérés à faibles. Dans ce dernier cas, les anguilles ont exploré plus ou moins longtemps les 3 zones de la barrière sonore, avec un stationnement plus long en BAGc la zone aval proche de l'entrée de l'exutoire.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)							
					BAR	BAGa	BAGb	BAGc	BAC	BAD	EXU	Aval
48471_20	82	15	turbine	A	00:43	00:00	00:01	00:00	00:02	00:00	00:00	10:30
48561_3	0	696	clapet	B	00:04	< 00:01	< 00:01	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:01
48561_15	79	83	clapet	B	00:09	< 00:01	< 00:01	00:02	00:00	00:00	00:00	00:06
48561_0	71	169	clapet	B	00:36	00:01	< 00:01	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_2	82	59	barrage	B	00:26	00:01	< 00:01	00:03	00:00	00:01	00:00	00:07
48561_1	76	118	clapet	B	00:46	00:03	< 00:01	00:01	00:00	00:00	00:00	00:06
48561_6	6	535	clapet	C	00:11	00:00	00:00	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:01
48561_11	0	755	clapet	C	00:08	00:00	00:00	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:03
48471_16	68	141	exutoire	D	00:27	00:00	00:00	00:01	00:00	00:00	00:00:09	00:02
48471_18	68	148	turbine	E	00:12	00:00	00:00	00:01	00:03	00:00	00:00	32:59

durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

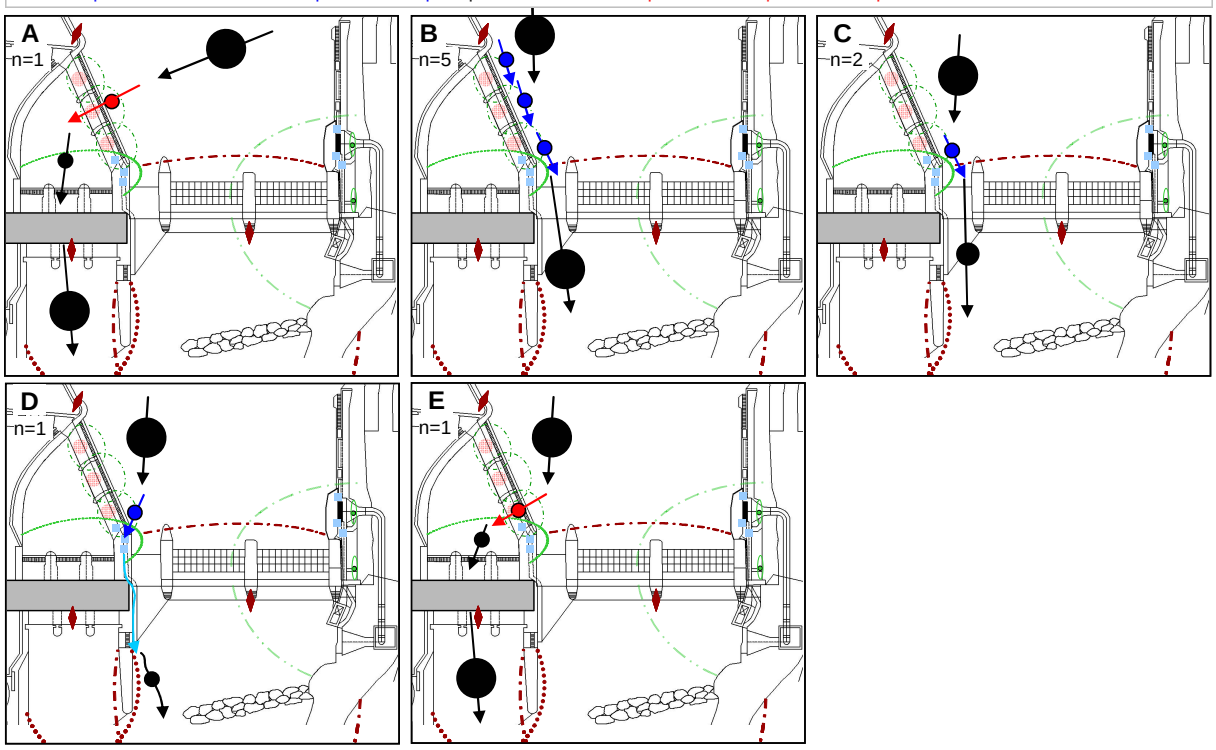


Figure 9.10 : Passages au travers du dispositif de répulsion de Baigts par la zone centrale BAGb (trajectoire-type A) ou par la zone aval BAGc (trajectoire-type E), et passages par les évacuateurs de crue (trajectoires-types B et C) ou par l'exutoire de dévalaison (trajectoire-type D) après incursion rapide dans le(s) champ(s) du dispositif. *Pour chaque trajectoire-type, l'effectif d'anguilles concernées (n) est indiqué ; les durées en zones à chaque étape de la trajectoire sont spécifiées (et en règle générale, graphiquement : ○ pour durée ≤ 4 min ; ◯ pour durée supérieure).* Cf. Figure 9.1 pour le détail des zones de réception définies à Baigts.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)							
					BAR	BAGa	BAGb	BAGc	BAC	BAD	EXU	Aval
48561_24	69	10	barrage	F	06:36	00:00	00:03	00:23	00:00	15:44	00:00	01:09
48561_7.5	41	0	exutoire	G	169:07	00:02	00:02	06:07	00:00	06:40	00:00:39	14:33
48561_21	51	0	exutoire	G	05:23	< 00:01	< 00:01	00:11	00:00	00:00	00:00:34	00:09
48471_8	74	134	barrage	H	34:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:11
48561_12	62	287	barrage	H	00:16	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:05
48471_21	58	300	barrage	H	00:42	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_8	62	335	barrage	H	00:17	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48201_9	51	349	barrage	H	00:08	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:05
48561_14	6	535	barrage	H	00:09	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_22	0	540	barrage	H	00:06	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:06
48561_9	0	571	barrage	H	00:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:05
48471_14	0	588	barrage	H	00:10	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:11
48561_5	0	602	barrage	H	00:25	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:01
48201_14	0	668	barrage	H	29:29	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48471_9	0	728	barrage	H	00:09	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_16	0	757	barrage	H	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48561_18	0	757	barrage	H	00:09	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:04
48561_17	0	777	barrage	H	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:01

durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

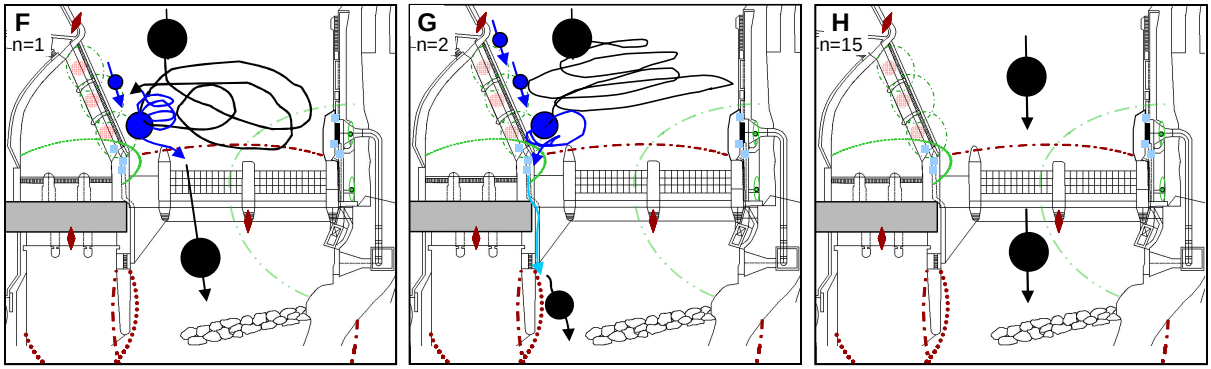


Figure 9.11 : Cas particuliers d'explorations à hauteur de la zone aval BAGc du dispositif de répulsion de Baigts avant passages par le barrage (trajectoire-type F) ou par l'exutoire (trajectoire-type G), et passages directs par le barrage sans présentation dans les champs du dispositif (trajectoire-type H). Cf. Figure 9.10 pour annotations.

9.2.2.5. Conclusions sur l'efficacité du dispositif à l'usine de Baigts

Après avoir exposé les résultats généraux sur le comportement des anguilles et les voies de passage empruntées à Baigts dans les conditions de débit rencontrées en 2008-2009, les résultats plus particulièrement relatifs à la présence de la barrière à infrasons Profish sont maintenant synthétisés.

9.2.2.5.1. Approche de la barrière et voie de passage

Dans la configuration plus atypique de Baigts, en récapitulant l'information sur les 28 franchissements effectués à l'ouvrage en présence du dispositif sonore, dans les conditions de débit de 2008-2009 (Figure 9.12), il y a eu :

- 15 franchissements directs [a] par les vannes ou clapet du barrage (soit 54%), <u>sans venue</u> ou enregistrement d'approche du dispositif à infrasons,

- 13 franchissements (soit 46%) [b] <u>avec au moins une venue</u> à la barrière sonore, dont :

  - 2 traversées de la barrière "grilles-répulseurs" [c] suivies d'un passage par les turbines (15%), qui ont été effectuées directement, sans hésitation, via les zones médiane BAGb et aval BAGc. Lors de ces traversées, le débit déversé était faible (15 m^3/s) à modéré (148 m^3/s) et le turbinage proche du maximum (68-82 m^3/s).

- 11 autres anguilles venues à la barrière “grilles-répulseurs” [d] mais ne l’ayant pas traversée (85%). Il y a eu 8 passages par les vannes ou clapet, précédés d’une ou plusieurs approches d’au moins une des trois zones du dispositif : 5 anguilles ont longé rapidement tout le dispositif, 2 sont arrivées directement en zone BAGc proche du clapet, et 1 a prospecté en BAGb et surtout en BAGc avant de dévaler. Ainsi, sur les 25 entrées au total dans les zones du dispositif, il y a eu 5 entrées en BAGa (20%), 7 en BAGb (28%) et 13 en BAGc (52%) avant un passage par les vannes ou le clapet. Dans la grande majorité des cas (75%), il y avait au moment du passage une nette surverse au barrage, avec un débit déversé de 83 m^3/s à 755 m^3/s (Figure 9.12 et Figure 9.13). Enfin, les 3 derniers passages après approche de la barrière “grilles-répulseurs” ont été effectués par l’exutoire, dont 2 réalisés après une exploration de la barrière plus ou moins longue selon le faible débit. Dans tous les cas, la zone préférentielle d’approche a été la zone aval BAGc la plus proche de l’entrée de l’exutoire : sur les 25 entrées au total dans les trois zones du dispositif, il y a eu 2 entrées en BAGa (8%) et BAGb (8%) et 21 en BAGc (84%) avant un passage par l’exutoire de dévalaison.

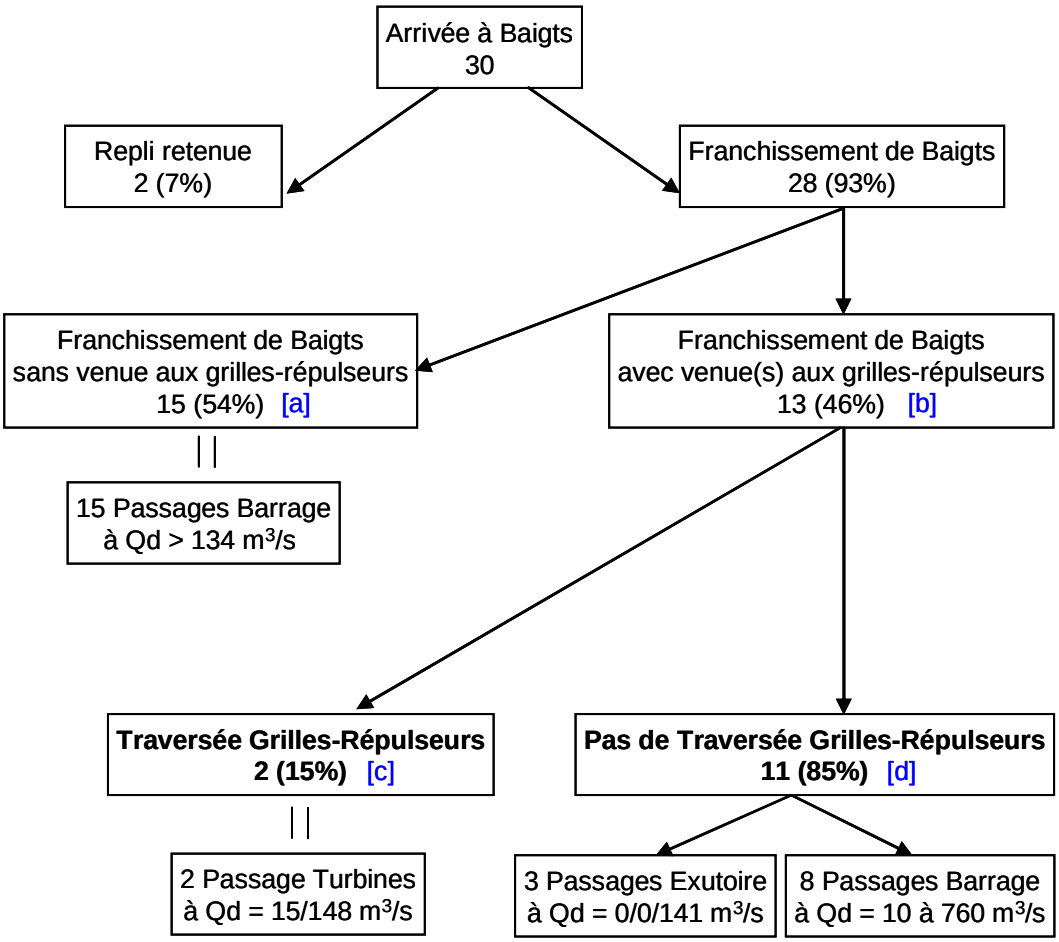


Figure 9.12 : Diagramme récapitulatif du franchissement de Baigts : approches et voies de passage en présence du dispositif de répulsion par infrasons Profish dans les conditions de débit de 2008-2009

Absence ou faible déversement au barrage

Voie	Qt	Qd	Traj	Durée	Qd/Qt
Exutoire	51	0	G	12<d<13	0.00
Exutoire	41	0	G	6h	0.00
Barr./Clap.	69	10	F	26	0.15
Turbines	82	15	A	1	0.18

Déversements au barrage ≥ 59 m³/s

Voie	Qt	Qd	Traj	Durée	Qd/Qt
Barr./Clap.	82	59	B	4<d<5	0.72
Barr./Clap.	79	83	B	3<d<4	1.06
Barr./Clap.	76	118	B	4<d<5	1.55
Exutoire	68	141	D	1	2.09
Turbines	68	148	E	1	2.19
Barr./Clap.	71	169	B	2<d<3	2.39
Barr./Clap.	6	535	C	<1	94.35
Barr./Clap.	0	696	B	1<d<2	–
Barr./Clap.	0	755	C	<1	–

Figure 9.13 : Trajectoires et durées globales passées dans la (les) zone(s) couvrant le dispositif “grilles-répulseurs” (en minutes sauf contre indication) suivant les voies de passage empruntées dans les conditions de débit de 2008-2009

En l’absence ou quasi absence de déversement (Qd maximum de 15 m^3/s, soit 18% au plus du débit turbiné), c’est-à-dire dans un contexte propice à un passage par les turbines, 3 des 4 anguilles n’ont pas traversé la barrière “grilles-répulseurs” mais ont longuement prospecté face à ce dispositif (entre 12 min et 6 h, cf. Figure 9.13) avant de dévaler par l’exutoire de dévalaison en RD ou par le barrage.

Des déplacements prospectifs semblables en amont du plan des pré-grilles ont été observés à très faible débit lors des précédentes années, certaines anguilles prospectant ou hésitant déjà face au plan des pré-grilles en dehors de toute autre barrière comportementale (Travade *et al.*, 2009).

Ainsi, pour évaluer l’efficacité « potentielle » de la barrière sonore, il paraît indispensable de comparer les résultats avec ceux des années précédentes dans des configurations sans barrière à infrasons (voir analyse § 10).

9.2.2.5.2. Observations comportementales

Concernant le blocage au droit du plan des pré-grilles en présence du dispositif de répulsion par infrasons Profish, il s’avère qu’à quelques rares exceptions près, le stationnement du poisson dans ses champs a été de courte durée. Seules 3 anguilles ont, à faible débit, prospecté longtemps devant le plan des pré-grilles avant d’être déviées des turbines. Les autres anguilles ont transité rapidement : 1 min pour traverser la barrière et entrer dans la chambre d’eau avant un passage par les turbines, 1 min pour longer la barrière et entrer dans l’exutoire en situation de déversement au barrage, et entre 3 et 5 min au maximum pour dévaler par le barrage ou le clapet. Pour des déversements plus importants, la durée globale passée par le poisson à proximité de la barrière “grilles-répulseurs” est encore plus réduite.

Enfin, on s’aperçoit que malgré le faible effectif de l’échantillon (n=28 franchissements), le nombre de trajectoires-type au droit de l’ouvrage (trajectoires A à H) reste élevé, traduisant ainsi une huitaine de comportements différents. Si certaines trajectoires dépendent des débits, d’autres, différant entre elles, se produisent dans des conditions de milieu assez similaires.

Cela dénote qu’à Baigts (comme à Biron), les anguilles peuvent ne pas réagir de la même manière dans un contexte environnemental donné.

9.3. Résultats des tests d'efficacité à l'usine de Biron

9.3.1. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance en 2008-2009

De la fin de l'installation du dispositif de répulsion Profish à la mi-octobre 2008 jusqu'à sa mise en arrêt à la mi-avril 2009, **29 interventions** ont été effectuées, dont 7 (24%) par l'équipe Profish et 22 (76%) par l'équipe ONEMA-ECOGEA en charge du suivi par radiopistage (Tableau 9.6 ; Figure 9.14).

A l'exception de quelques nettoyages d'embâcles (en bateau) au droit de la drome, le système d'implantation des 5 machines du dispositif sur des flotteurs conçu par Profish (cf. Photo 10 et Figure 7.1B) s'est avéré particulièrement performant, même en condition de très fort débit. **Aucun dommage ne s'est produit au cours de l'étude sur la fixation de la barrière sonore.**

S'agissant des répulseurs proprement dits, le premier disfonctionnement s'est produit 17 jours après la fin de l'installation du dispositif, en raison d'une fuite de pression sur l'une des cinq machines occasionnant une surchauffe du compresseur. Momentanément secouru par l'exploitant et l'équipe ONEMA-ECOGEA en place, le dispositif a été réparé par Profish 15 jours plus tard. Environ 1 mois après l'intervention de Profish, une seconde panne causée par la déchirure de la membrane d'une des 5 machines a nécessité de nouvelles interventions de l'équipe ONEMA-ECOGEA puis de Profish à deux reprises le 23/12 et le 30/12 ; durant ces 10 jours, seules 4 des 5 machines étaient opérationnelles. Entre le 12/01 et le 29/01, l'équipe ONEMA-ECOGEA est intervenue à 7 reprises pour relancer le fonctionnement du dispositif à la suite d'arrêts généralement liés à des problèmes de surtension sur toutes (par alternance) les machines du dispositif. Début février, durant 2 à 3 jours, l'équipe Profish a procédé au changement des membranes des 5 machines installées sur Biron. Ce remplacement précoce, intervenant seulement 3.5 mois après la mise en route du système, a été rendu obligatoire par la faiblesse accrue des membranes fonctionnant depuis le 12/12 à une fréquence plus élevée (12-15 Hz) que celle initialement programmée (10-12 Hz ; cf. Tableau 7.1 et 9.6). Le 05/02, à l'issue de la mise en place des membranes neuves, Profish a augmenté, une nouvelle fois, la fréquence sonore de la barrière (14-16 Hz) afin d'en accroître l'efficacité. Entre le 08/02 et le 31/03, l'équipe ONEMA-ECOGEA est intervenue à 8 reprises pour relancer le fonctionnement général du dispositif à la suite d'arrêts, le plus souvent, des machines 1 (la plus en amont) et 4 (avant dernière aval) du dispositif. Les pannes n'étant pas vraiment bien identifiées (malgré la collaboration téléphonique entre l'équipe de radiopistage en place et Profish), à partir du 26/03, les machines 4 puis 1 ont été, tour à tour, isolées, de sorte que jusqu'à la fin de l'expérimentation le 09/04, seules 3 des 5 machines installées à Biron restaient opérationnelles.

A noter toutefois, qu'en dépit des contraintes occasionnées aux deux équipes par les nombreux arrêts du dispositif à tester, tous les enregistrements par les stations radio des déplacements d'anguilles marquées au droit de la centrale de Biron et de sa barrière sonore ont été effectués alors que celle-ci était complètement opérationnelle (i.e., les 5 machines en fonctionnement).

9.3.2. Fonctionnement de la barrière, suivi et maintenance en 2009-2010

Le système de fixation et de maintien sur la drome des 8 machines du dispositif Profish (cf. Photo 12 et Figure 7.1B) s'est avéré une nouvelle fois performant et opérationnel, même en condition de fort débit. **Aucun dommage ne s'est produit lors de cette seconde session de test sur la fixation de la barrière sonore.**

Concernant la fonctionnalité des répulseurs, **13 interventions** ont été effectuées durant la période de test (de l'installation des trois répulseurs supplémentaires à la mi-octobre 2009 jusqu'à l'arrêt définitif des machines le 30/04 ; cf. Tableau 9.7, Figure 9.15). Cinq de ces interventions ont été assurées par Profish et les huit autres par l'équipe ONEMA en charge du suivi. Contrairement à l'expérimentation précédente, l'équipe ONEMA n'est pas intervenue le week-end pour relancer le dispositif de répulsion à infrasons lorsque celui-ci tombait en panne.

Tableau 9.6 : Récapitulatif et détails des 29 interventions effectuées sur le dispositif de répulsion Profish installé au niveau de l'usine de Biron en 2008-2009

Date	Date & Heure d'arrêt du dispositif	Date & Heure de remise en route	Délai d'intervention	Diagnostic panne(s) et résumé de l'intervention	Intervenants
17/10/08	–	–	–	fin de l'installation des 5 machines du dispositif de répulsion et de l'armoire électrique	Profish
20/10/08	20/10/2008 15:00	20/10/2008 16:00	01:00	arrêt des 5 machines : réglage de la pression (alarme par sms pas encore active)	ONEMA-ECOGEA, EDF R&D
03/11/08	03/11/2008 10:30	03/11/2008 12:00	01:30	arrêt des 5 machines : pblm de compresseur (diagnostic effectué par l'équipe radiopistage mais pas d'intervention directe)	ONEMA-ECOGEA
05/11/08	05/11/2008 15:00	05/11/2008 18:00	03:00	démontage du compresseur car surchauffe en raison d'une fuite de pression sur une des machines	exploitant + ONEMA-ECOGEA
20/11/08	?	?	?	réarrangement des tuyaux d'arrivée de pression dans armoire de contrôle	Profish
12/12/08	–	12/12/2008 10:00	–	modification de la fréquence des répulseurs : passage de 10-12 Hz à 12-15 Hz	ONEMA-ECOGEA
20/12/08	20/12/2008 19:13	21/12/2008 14:40	19:27	arrêt machine 2 : entrée d'eau dans machine --> isolation machine 2 et remise en route du dispositif	ONEMA-ECOGEA
23/12/08	23/12/2008 08:00	23/12/2008 18:00	10:00	remplacement membrane machine 2 sectionnée par objet tranchant et purge compresseur	Profish
26/12/08	26/12/2008 01:31	26/12/2008 10:50	09:19	arrêt machine 2 : pblm suite à ancienne entrée d'eau --> isolation machine 2 et remise en route du dispositif	ONEMA-ECOGEA
30/12/08	29/12/2008 08:00	30/12/2008 15:00	31:00	changement de pièces sur machine 2 et remise en route	Profish
12/01/09	12/01/2009 14:30	12/01/2009 16:00	01:30	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
24/01/09	24/01/2009 04:00	24/01/2009 17:30	13:30	arrêt du dispositif : car coupure générale de courant en raison de la tempête --> remise en route du dispositif	ONEMA-ECOGEA
25/01/09	24/01/2009 22:07	25/01/2009 12:51	14:44	arrêt machines 1 et 4 : erreur N°35 sur variateurs liée a ux micro coupures de courant ou surtensions --> relance	ONEMA-ECOGEA
25/01/09	25/01/2009 14:47	25/01/2009 19:30	04:43	arrêt machines 1 et 4 : erreur N°35 sur variateurs liée a ux micro coupures de courant ou surtensions --> relance	ONEMA-ECOGEA
28/01/09	27/01/2009 21:51	28/01/2009 11:10	13:19	arrêt machines 2 et 5 : erreur N°35 sur variateurs liée a ux micro coupures de courant ou surtensions --> relance	ONEMA-ECOGEA
28/01/09	28/01/2009 13:40	28/01/2009 16:15	02:35	arrêt machine 3 : erreur N°35 sur variateurs liée aux mic ro coupures de courant ou surtensions --> relance	ONEMA-ECOGEA
29/01/09	29/01/2009 14:54	29/01/2009 17:15	02:21	arrêt machine 5 : erreur N°35 sur variateurs liée aux mic ro coupures de courant ou surtensions --> relance	ONEMA-ECOGEA
03/02/09	?	?	?	mesure du champ d'action des machines par accélérométrie	Profish
04/02/09	?	?	?	changement des membranes des répulseurs	Profish
05/02/09	?	?	–	modification de la fréquence des répulseurs : passage à 14-16 Hz	Profish
08/02/09	08/02/2009 04:21	08/02/2009 15:00	10:39	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
10/02/09	10/02/2009 00:07	10/02/2009 09:30	09:23	arrêt machine 4 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
15/02/09	15/02/2009 10:36	15/02/2009 14:30	03:54	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
16/02/09	16/02/2009 13:09	16/02/2009 14:00	00:51	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
17/02/09	17/02/2009 02:59	17/02/2009 13:00	10:01	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
06/03/09	06/03/2009 05:13	06/03/2009 11:00	05:47	arrêt machine x : pas de panne identifiée sur variateurs et relance directe	ONEMA-ECOGEA
26/03/09	26/03/2009 06:17	26/03/2009 10:25	04:08	arrêt machine 4 : pas de panne identifiée sur variateurs --> isolation machine 4 (cause surtension comme à Tihange ?)	ONEMA-ECOGEA
31/03/09	30/03/2009 21:44	31/03/2009 10:41	12:57	arrêt machine 1 : pas de panne identifiée sur variateurs --> isolation machine 1 (système à 3 machines opérationnelles)	ONEMA-ECOGEA
09/04/09	09/04/2009 09:30	–	–	mise à l'arrêt du dispositif de répulsion	ONEMA-ECOGEA

Nbre total d'interventions sur le dispositif : n=29, dont 25 pour cause de panne(s) ; Nbre d'interventions par l'équipe Profish : n=7 ; Nbre d'interventions par l'équipe ONEMA-ECOGEA : n=22

Tableau 9.7 : Récapitulatif et détails des 13 interventions effectuées sur le dispositif de répulsion Profish installé au niveau de l'usine de Biron en 2009-2010

Date	Date & Heure d'arrêt du dispositif	Date & Heure de remise en route	Délai d'intervention	Diagnostic panne(s) et résumé de l'intervention	Intervenants
Mi-octobre	–	–	–	installation de 3 répulseurs supplémentaires sur le dispositif existant (8 machines au total)	Profish
10/12/09	–	10/12/2009 17:00	03:00	problème sur l'électrovanne --> mise en route du dispositif (fréquence des répulseurs : 12-14 Hz)	ONEMA
17/12/09	?	?	?	réparation définitive de l'électrovanne (alarme par sms pas encore active)	Profish
23/12/09	23/12/2009 09:30	23/12/2009 09:40	00:10	arrêt du dispositif : coupure générale de courant --> remise en route	ONEMA
23/12/09	?	?	?	perte de pression --> fuite réparée (pas d'arrêt des machines)	Profish
04/01/10	01/01/2010 02:40	04/01/2010 16:26	85:46	arrêt machines 2, 5 et 6 : coupure générale de courant --> remise en route	ONEMA
11/01/10	–	–	–	mise en place du dispositif d'alarme par sms en cas d'arrêt des répulseurs	Profish
28/01/10	–	–	–	*installation de trois antennes immergées monobrin supplémentaires (BIDa1, BIDa2 et BIDc1)*	*ONEMA*
09/03/10	08/03/2010 13:27	09/03/2010 16:00	26:33	arrêt machines 5 et 7 : entrée d'eau dans au moins une des deux machines --> isolation répulseurs 5 et 7 et remise en route --> 6 machines opérationnelles	ONEMA
25/03/10	?	?	?	changement des membranes des répulseurs 5 et 7 --> 8 machines opérationnelles	Profish
12/04/10	10/04/2010 08:18	12/04/2010 08:20	48:02	arrêt machine 3 : coupure générale de courant --> remise en route	ONEMA
27/04/10	27/04/2010 01:51	–	–	perte de pression d'origine indéterminée	ONEMA
30/04/10	30/04/2010 16:00	–	–	mise à l'arrêt du dispositif de répulsion	ONEMA

passage d'anguilles alors que le dispositif à infrasons n'est pas complètement opérationnel

Nbre total d'interventions sur le dispositif : n=13, dont 9 pour cause de panne(s) ; Nbre d'interventions par l'équipe Profish : n=5 ; Nbre d'interventions par l'équipe ONEMA : n=8

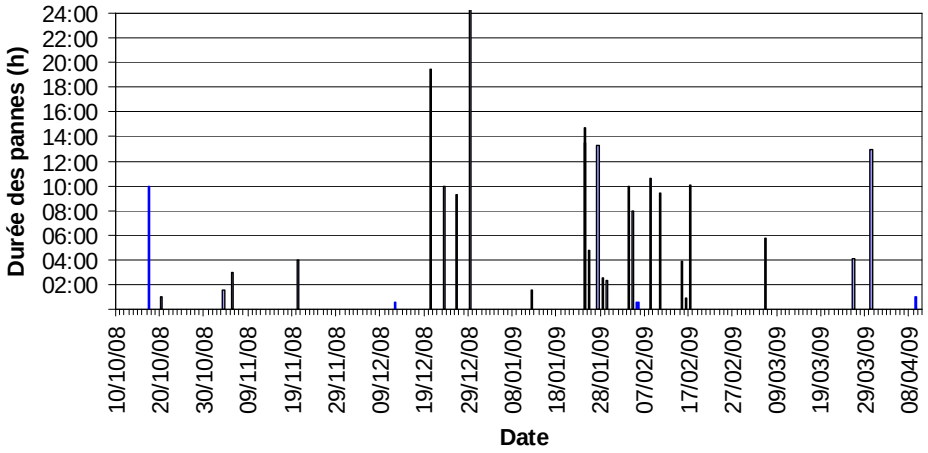


Figure 9.14 : Fréquence et durée des arrêts du dispositif de répulsion Profish à Biron au cours de l'étude 2008-2009

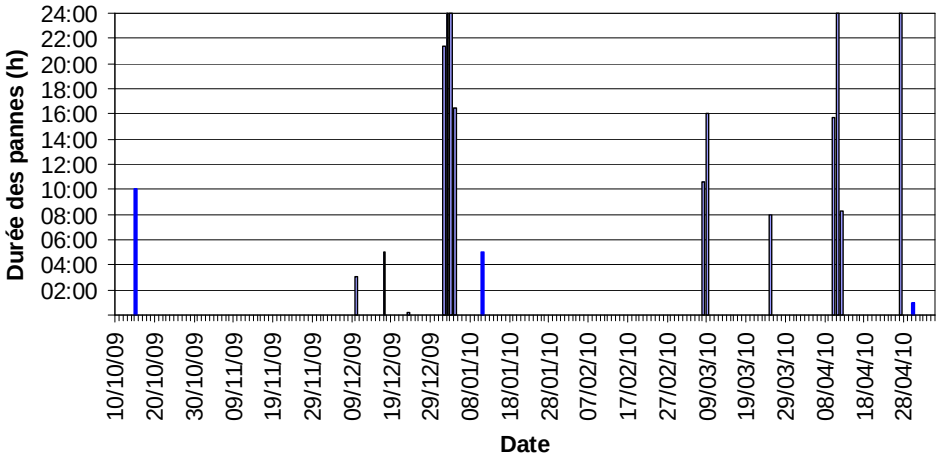


Figure 9.15 : Fréquence et durée des arrêts du dispositif de répulsion Profish à Biron au cours de l'étude 2009-2010

Le premier disfonctionnement du dispositif s'est produit le 10/12/2009, 9 jours avant le lâcher dans le Gave de Pau du premier lot d'anguilles marquées. Il s'agissait d'un problème sur l'électrovanne. L'équipe ONEMA initialement venue sur site pour mettre le dispositif en marche est intervenue et a réparé la panne avec l'aide du service d'assistance de Profish joint par téléphone. Quatre jours après le lâcher des anguilles et le début réel du suivi, un problème de perte de pression lié à une fuite sur le dispositif a été réparé dans la journée par un technicien local dépêché sur place par Profish. A noter que ce disfonctionnement n'a pas entraîné l'arrêt des machines. Un arrêt du dispositif à infrasons s'est cependant produit le 08/03, suite à des entrées d'eau dans les machines 5 et 7. L'équipe ONEMA a dans un premier temps isolé les deux répulseurs défaillants de sorte à maintenir le reste du dispositif opérationnel (6 répulseurs sur 8). Profish est intervenu ensuite le 25/03 pour solutionner définitivement le problème en procédant au changement des deux membranes abîmées. Une nouvelle panne (perte de pression ?) d'origine indéterminée est survenue le 27/04 provoquant la surchauffe du compresseur. Après plusieurs tentatives de remise en route, les répulseurs ont été arrêtés de manière définitive le 30/04/2010. Enfin, il est à souligner que suite à trois coupures de courant, certaines machines sont restées à l'arrêt durant des périodes plus ou moins longues (10 min à plus de 4 jours) pendant l'étude, nécessitant l'intervention de l'équipe ONEMA pour relancer le dispositif.

Même s'il est clair que le dispositif de répulsion Profish installé à Biron en 2009-2010 a été plus fiable que le précédant, il reste cependant perfectible, notamment concernant l'absence de secours ou de possibilité de relance automatique du système après une coupure électrique.

De fait, 4 anguilles radiomarquées sont passées par les turbines de Biron après avoir traversé la barrière sonore alors que celle-ci n'était pas complètement opérationnelle : les anguilles 48611_2, 8 et 24 durant la coupure de courant du 01/01 (3 machines en arrêt), et l'anguille 48741_2 le 19/03 (2 machines en arrêt depuis le 08/03) (cf. Tableau 9.7).

9.3.3. Fonctionnalité biologique de la barrière en 2008-2009

9.3.3.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Trente-cinq anguilles radiomarquées se sont présentées en amont de l'aménagement de Biron. Il s'agit :

- de 20 (soit 95%) des 21 anguilles relâchées à Jurançon et ayant franchi l'aménagement d'Artix à 21.7 km en amont,
- de la totalité des 15 anguilles relâchées à Gouze à 7.9 km en amont de Biron.

Les principaux résultats sur le comportement de ces 35 individus sont consignés dans le Tableau 9.8 :

- **3 d'entre elles** n'ont pas, à terme, dévalé. Elles ont fait l'objet d'une prédation par des cormorans environ 1.8, 10.1 et 11.7 jours après leur arrivée dans la grande zone générale BIG définie en amont du barrage. Aucune de ces 3 anguilles n'avait, avant leur prédation, approché la barrière sonore dans les limites de réception établies de 4-5 m. Les signaux des émetteurs ont été ensuite rapidement localisés sur des îlots du lac de Biron, zone dortoir privilégiée des nombreux cormorans de ce secteur du Gave de Pau.
- **les 32 autres** ont franchi l'aménagement de Biron, soit un taux de 91% (32/35). Les passages à l'aval ont eu lieu :
    - par le barrage ou le clapet dans 56% (18/32) des cas,
    - par les turbines, donc après passage au travers de la barrière à infrasons, dans 44% (14/32) des cas,
    - aucun par la rivière de contournement.

Tableau 9.8 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 35 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de l'usine de Biron en 2008-2009

Code anguille	Date & Heure 1ère réception Biron	Date & Heure Passage Biron	Voie de passage	Débit du Gave à Biron (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. Zone BIG	Durée Zone BIG	Nb Inc. Zone BIDa	Durée Zone BIDa	Nb Inc. Zone BIDb	Durée Zone BIDb	Nb Inc. Zone BIDc	Durée Zone BIDc	Total Inc. barrière	Total Durée barrière	Zone traversée	Nb Inc. Zone BIT	Durée Zone BIT	Nb. dépl. à l'aval	Durée aval site
48561_0	09/02/2009 21:18	09/02/2009 23:22	clapet	98	15	78	0.2	1	02:04	02:04	100.0%	1	02:04	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:06
48561_13	10/02/2009 23:43	11/02/2009 00:29	clapet	195	80	110	0.7	1	00:46	00:46	100.0%	1	00:46	1	< 00:01	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	–	0	00:00	1	00:06
48471_16	05/12/2008 21:58	05/12/2008 22:09	clapet	228	113	110	1.0	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:11	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	–	0	00:00	1	00:04
48201_9	23/01/2009 21:39	23/01/2009 21:43	barrage	384	269	110	2.4	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	1	00:03
48471_17	24/01/2009 00:24	24/01/2009 00:39	clapet	409	295	110	2.7	1	00:15	00:15	100.0%	1	00:11	0	00:00	1	00:04	0	00:00	1	00:04	–	0	00:00	1	00:04
48561_18	11/02/2009 13:57	11/02/2009 14:00	barrage	458	343	110	3.1	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:04
48561_17	10/02/2009 20:06	11/02/2009 16:25	barrage	521	406	110	3.7	1	20:19	20:19	100.0%	2	20:16	0	00:00	1	00:03	0	00:00	1	00:03	–	0	00:00	1	00:02
48471_7.5	11/02/2009 18:08	11/02/2009 18:12	barrage	580	535	40	13.4	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	1	00:03
48471_9	11/02/2009 19:03	11/02/2009 19:05	barrage	607	562	40	14.1	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:04
48561_3	11/02/2009 18:51	11/02/2009 18:55	barrage	607	562	40	14.1	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	1	00:02
48561_21	11/02/2009 21:29	11/02/2009 21:33	barrage	685	640	40	16.0	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	1	00:02
48561_24	11/02/2009 18:21	11/02/2009 21:44	barrage	685	640	40	16.0	1	03:23	03:23	100.0%	1	03:23	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:03
48201_8	12/02/2009 00:15	12/02/2009 00:18	barrage	766	721	40	18.0	1	00:03	00:03	100.0%	1	00:03	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:04
48561_22	12/02/2009 02:24	12/02/2009 02:26	barrage	785	740	40	18.5	1	00:02	00:02	100.0%	1	00:02	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:02
48471_1	29/11/2008 05:57	04/02/2009 10:12	clapet	94	89	0	89.0	2	1612:15	1610:09	99.9%	7	106:05	1	50:14	3	29:20	3	165:23	7	244:57	BIDc/BIDb	1	1259:07	6	17:08
48201_14	24/01/2009 16:56	24/01/2009 17:16	barrage	317	312	0	312.0	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:20	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:05
48201_22	24/01/2009 05:47	24/01/2009 06:53	barrage	345	340	0	340.0	1	01:06	01:06	100.0%	1	01:06	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:05
48471_19	25/01/2009 02:09	25/01/2009 02:28	barrage	348	343	0	343.0	1	00:19	00:19	100.0%	1	00:19	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:04
Moyenne (n=18, passés barrage)				**450.7**	**389.2**	**56.6**	**67.1**	**1.1**	**91:11**	**91:04**	**100.0%**	**1.4**	**07:30**	**0.1**	**02:47**	**0.3**	**01:38**	**0.2**	**09:11**	**0.6**	**13:37**		**0.1**	**69:57**	**1.3**	**01:00**
Médiane (n=18, passés barrage)				**433.5**	**343.0**	**40.0**	**14.1**	**1.0**	**00:13**	**00:13**	**100.0%**	**1.0**	**00:11**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**		**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:04**
48471_21	07/12/2008 23:29	07/12/2008 23:39	turbine	111	15	91	0.2	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:07	0	00:00	0	00:00	1	00:01	1	00:01	BIDc	1	00:02	1	00:04
48561_23	12/02/2009 14:32	14/02/2009 20:44	turbine	134	19	110	0.2	2	54:12	37:46	69.7%	2	06:00	1	00:01	0	00:00	0	00:00	1	00:01	BIDa	1	31:45	1	00:10
48561_1	10/02/2009 02:08	10/02/2009 02:28	turbine	103	15	83	0.2	1	00:20	00:20	100.0%	1	00:17	0	00:00	1	< 00:01	1	00:01	1	00:01	BIDc	1	00:02	1	00:05
48561_2	09/02/2009 18:42	09/02/2009 19:00	turbine	90	15	70	0.2	1	00:18	00:18	100.0%	1	00:16	0	00:00	0	00:00	1	< 00:01	1	< 00:01	BIDc	1	00:02	1	00:08
48471_2	08/12/2008 23:59	09/12/2008 00:50	turbine	84	15	64	0.2	1	00:51	00:51	100.0%	1	00:15	1	00:02	0	00:00	0	00:00	1	00:02	BIDa	1	00:34	1	00:09
48471_26	06/12/2008 23:28	06/12/2008 23:43	turbine	143	28	110	0.3	1	00:15	00:15	100.0%	1	00:11	1	< 00:01	1	00:02	1	00:01	1	00:03	BIDb/c	1	00:01	1	00:13
48471_14	19/01/2009 21:16	19/01/2009 21:45	turbine	72	15	52	0.3	1	00:29	00:29	100.0%	1	00:22	1	00:04	1	00:01	0	00:00	1	00:05	BIDb	1	00:02	1	00:07
48471_4	29/11/2008 02:03	29/11/2008 02:27	turbine	67	15	47	0.3	1	00:24	00:24	100.0%	1	00:12	1	00:01	1	00:03	1	00:02	1	00:06	BIDc	1	00:06	1	00:49
48561_19	16/02/2009 00:34	22/02/2009 13:27	turbine	61	15	41	0.4	2	156:53	156:26	99.7%	35	117:46	18	22:09	24	15:40	0	00:00	42	37:49	BIDa/b	1	00:51	11	208:00
48561_20	13/02/2009 20:36	13/02/2009 20:46	turbine	168	53	110	0.5	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:08	1	00:01	1	< 00:01	0	00:00	1	00:01	BIDb	1	00:01	1	00:04
48471_18	05/12/2008 18:37	05/12/2008 18:48	turbine	213	98	110	0.9	1	00:11	00:11	100.0%	1	00:08	0	00:00	1	< 00:01	1	00:01	1	00:01	BIDc	1	00:02	1	00:09
48561_4	11/02/2009 01:42	11/02/2009 01:52	turbine	219	104	110	0.9	1	00:10	00:10	100.0%	1	00:08	0	00:00	1	< 00:01	1	00:01	1	00:01	BIDc	1	00:01	1	00:06
48471_20	05/12/2008 22:32	05/12/2008 22:45	turbine	220	105	110	1.0	1	00:13	00:13	100.0%	1	00:08	1	00:01	1	00:02	1	00:01	1	00:04	BIDc	1	00:01	1	00:04
48471_8	31/12/2008 20:45	31/12/2008 21:45	turbine	35	15	15	1.0	1	01:00	01:00	100.0%	2	00:46	1	00:04	1	00:01	0	00:00	2	00:05	BIDa	1	00:09	1	00:08
Moyenne (n=14, passés turbine)				**122.9**	**37.6**	**80.2**	**0.5**	**1.1**	**15:24**	**14:11**	**97.8%**	**3.6**	**09:03**	**1.9**	**01:36**	**2.4**	**01:08**	**0.6**	**00:00**	**4.0**	**02:44**		**1.0**	**02:24**	**1.7**	**15:01**
Médiane (n=14, passés turbine)				**107.0**	**15.0**	**87.0**	**0.3**	**1.0**	**00:19**	**00:19**	**100.0%**	**1.0**	**00:13**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:01**		**1.0**	**00:02**	**1.0**	**00:08**
48471_15	*20/02/2009 00:19*	*21/02/2009 20:38**	–					*13*	*44:19*	*20:20*	*45.9%*	*13*	*20:20*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	*0*	*00:00*	–	–
48471_23	*10/01/2009 16:05*	*22/01/2009 09:30**	–					*9*	*281:25*	*152:17*	*54.1%*	*9*	*152:17*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	*0*	*00:00*	–	–
48561_26	*14/02/2009 15:07*	*24/02/2009 17:18**	–					*19*	*242:11*	*63:51*	*26.4%*	*19*	*63:51*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	–	*0*	*00:00*	–	–

** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, les anguilles 48471_15 & 23 et 48561_26 n'ayant pas dévalé (prédation par cormoran en amont de l'ouvrage confirmée)*

Les voies de passage sont fortement liées aux conditions hydrologiques et au fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé au barrage [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 9.16 et Figure 9.17) :

- en l'absence de déversement au barrage plus important que le débit réservé (soit Qd=15 m^3/s au maximum et Qt=15 à 91 m^3/s), 10 passages à l'aval ont été effectués, dont 9 par les turbines et 1 par le clapet au niveau de la vanne rive droite côté usine,
- en situation de surverses relativement faibles au barrage et de débits turbinés maximum, égaux aux 110 m^3/s de débit d'équipement de l'usine (soit dans des conditions de rapport Qd/Qt≤1.0), 7 passages se sont produits, dont 5 par les turbines et 2 par le clapet. [Un 8ème passage a aussi eu lieu en condition de faible surverse au barrage (89 m^3/s), mais il s'est fait par le clapet RD alors que l'usine ne turbinait pas (i.e., Qd/Qt=89)].
- enfin, lors de déversements plus importants (269 à 740 m^3/s), atteignant au minimum 2.4 fois le débit turbiné, 14 passages en aval ont eu lieu, tous par le barrage dont 1 par le clapet RD.

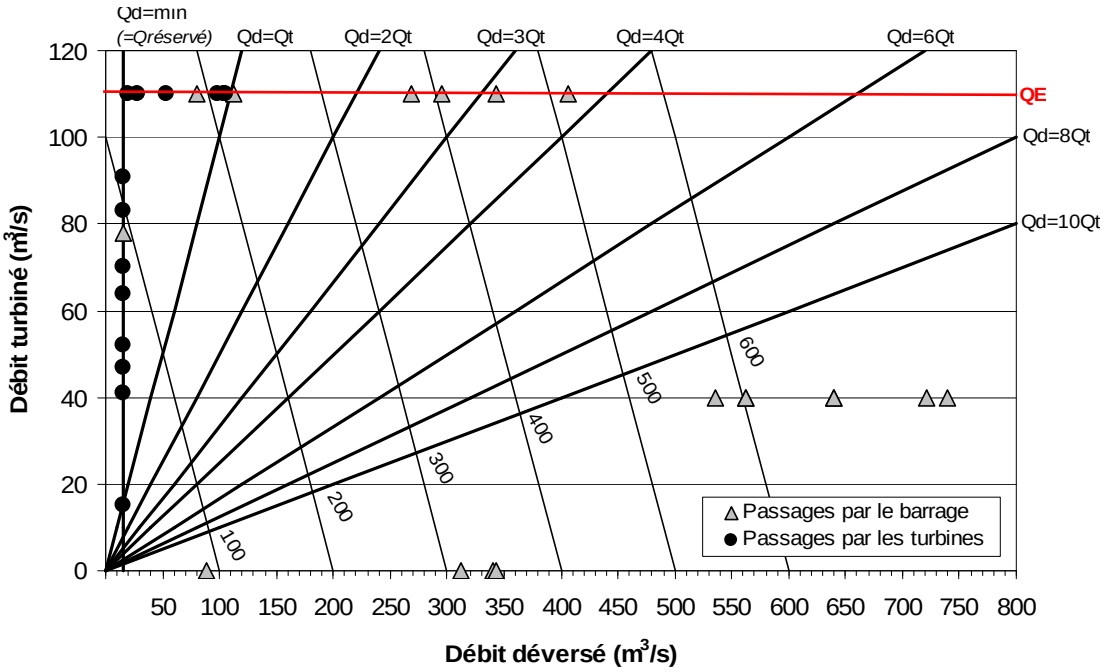


Figure 9.16 : Voie de franchissement de Biron en 2008-2009 suivant le fonctionnement de l'ouvrage

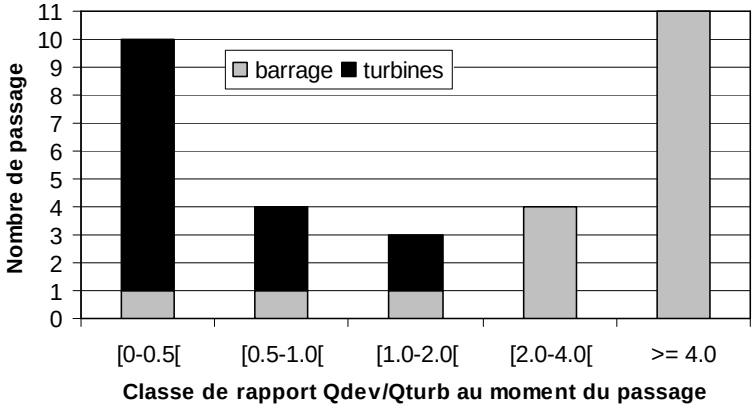


Figure 9.17 : Nombre de passages à Biron en 2008-2009 par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

9.3.3.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

Sur les 18 anguilles qui ont dévalé par le barrage ou le clapet et qui peuvent potentiellement avoir été « influencées » par la barrière sonore, **13 (soit 72%) sont passées directement par le barrage.** Elles n'ont réalisé qu'une seule incursion sur site dans la zone générale amont (BIG) et aucune approche vers le dispositif à infrasons Profish (trajectoire-type K, Figure 9.20). **Elles ne peuvent donc pas être incluses dans l'analyse sur l'efficacité du dispositif.**

Quatre autres anguilles se sont approchées même brièvement de la barrière sonore avant de dévaler par le barrage ou le clapet. Après leur arrivée sur site en BIG, toutes ont approché d'au moins 4-5 m le dispositif à infrasons, directement à hauteur de la zone amont de la drome BIDa (trajectoire-type C, Figure 9.18) ou médiane BIDb (trajectoire-type D, Figure 9.18) ou aval BIDc (trajectoire-type H, Figure 9.19). Ces 4 incursions en l'une ou l'autre des zones des répulseurs ont toutes été très brèves (4 min maximum), représentant selon l'individu de 0.2% à 27% de leur temps de présence en amont de l'ouvrage. Généralement, la durée globale du transit a été plus longue, de 5h 22min en moyenne (de 11 min à 20h 19min ; médiane : 30 min, n=4), les passages s'étant produits lors de surverses plus modérées (Qd/Qt=0.7-3.7) représentant de 1.1 à 5.4 fois le module.

Enfin, la 18ème anguille qui a dévalé Biron par le barrage a montré un comportement particulièrement atypique (trajectoire-type J, Figure 9.20). L'anguille s'est présentée à 2 reprises sur le site. Lors de sa 1ère arrivée, elle a stationné durant 2.1 jours au droit de l'ouvrage dont 99% du temps en zone amont de la barrière sonore (BIDa) avant de se replier à hauteur du méandre en amont de l'aménagement. Le débit du Gave était de 92 m^3/s en moyenne sur cette période (Qd=30 et Qt=54 m^3/s en moyenne). Lors de sa 2ème arrivée, elle a séjourné durant 9.3 jours au droit de l'ouvrage dont 74% du temps en exploration en zone aval de la barrière sonore avant de traverser à ce niveau (BIDc), d'entrer dans la chambre d'eau puis de pénétrer dans un renard sous le môle de l'usine. Le débit du Gave lors de ces 9.3 jours était de 117 m^3/s en moyenne, avec au moment du franchissement des répulseurs un débit déversé Qd de 15 m^3/s et un débit turbiné Qt de 81 m^3/s. Après 52.5 jours passés dans le renard, elle en est sortie et a retraversé en sens inverse la barrière sonore à hauteur de la zone centrale BIDb. Le fonctionnement de l'usine au moment de la sortie de la chambre d'eau était quasiment identique (Qd de 15 m^3/s et Qt de 72 m^3/s) à celui existant au moment de l'entrée. Après 3.2 jours supplémentaires devant l'ouvrage, dont 38% du temps en zone centrale des répulseurs BIDb, l'anguille 48471_1 a finalement dévalé en 4 min par le clapet à l'occasion d'un arrêt des turbines. La durée globale de son blocage par l'obstacle a été de 67.2 jours (cf. Tableau 9.8).

En résumé, concernant les 18 passages d'anguilles à Biron par le barrage ou le clapet, et pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore (cf. Figure 9.21), la quasi-totalité (94% [17/18]) d'entre eux, réalisés à fort débit entrant (médiane : 458 m^3/s, 1er et 3ème quartiles : 345 et 607 m^3/s, n=17) ont été directs (1 seule incursion au droit de l'ouvrage), de courte durée (moins d'1h pour 72% d'entre eux, dont 44% en moins de 10 min) et nocturnes (83% réalisés de nuit ou au crépuscule). Le 18ème passage, réalisé à des débits plus faibles (~90-95 m^3/s lors des deux arrivées à l'ouvrage ou lors de la dévalaison) est intervenu après de très longues prospections diurnes. Seules 5 de ces 18 anguilles passées par le barrage ou le clapet ont approché, au moins une fois et même très brièvement, la barrière sonore : 4 d'entre elles n'ont pas traversé (à ce moment-là, débit du Gave de 195, 228, 409 ou 521 m^3/s) et une anguille a franchi à 2 reprises le dispositif des répulseurs (débit à la 1ère traversée : 101 m^3/s et rapport Qd/Qt=0.19 ; à la 2nde traversée : 96 m^3/s et rapport Qd/Qt=0.20).

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)					
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	Aval
48561_23	110	19	turbine	A	06:00	00:01	00:00	00:00	31:45	00:10
48471_2	64	*15**	turbine	A	00:15	00:02	00:00	00:00	00:34	00:09
48561_20	110	53	turbine	B	00:08	00:01	< 00:01	00:00	00:01	00:04
48471_14	52	*15*	turbine	B	00:22	00:04	00:01	00:00	00:02	00:07
48561_13	110	80	clapet	C	00:46	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:06
48561_17	110	406	barrage	D	20:16	00:00	00:03	00:00	00:00	00:02
48471_17	110	295	clapet	D	00:11	00:00	00:04	00:00	00:00	00:04

**15* : débit correspondant exclusivement au débit réservé de 15 m^3/s passant par le clapet en RD
durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

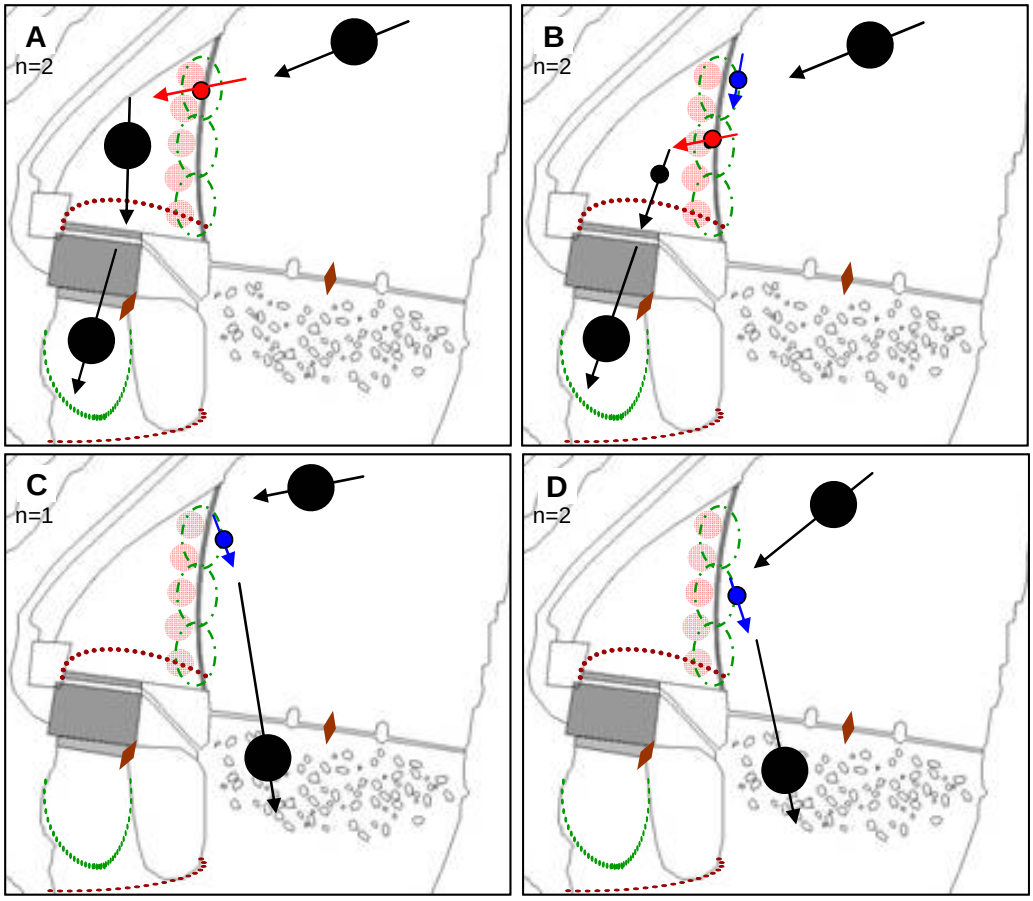


Figure 9.18 : Passages en 2008-2009 au travers du dispositif de répulsion de Biron par la zone amont BIDa (trajectoire-type A) ou par la zone centrale BIDb (trajectoire-type B), et passages par les évacuateurs de crue (clapet, barrage) après présentation dans le champ du dispositif en BIDa (trajectoire-type C) ou BIDb (trajectoire-type D). *Pour chaque trajectoire-type, l'effectif d'anguilles concernées (n) est indiqué ; les durées en zones à chaque étape de la trajectoire sont spécifiées (et en règle générale, graphiquement : ○ pour durée ≤ 4 min ; ◯ pour durée supérieure).* Cf. aussi Figure 9.2 pour le détail des zones de réception définies à Biron en 2008-2009.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)					
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	Aval
48471_26	110	28	turbine	E	00:11	< 00:01	00:02	00:01	00:01	00:13
48471_20	110	53	turbine	E	00:08	00:01	00:02	00:01	00:01	00:04
48471_4	47	*15**	turbine	E	00:12	00:01	00:03	00:02	00:06	00:49
48471_18	110	98	turbine	F	00:08	00:00	< 00:01	00:01	00:02	00:09
48561_1	83	*15*	turbine	F	00:17	00:00	< 00:01	00:01	00:02	00:05
48561_4	110	104	turbine	F	00:08	00:00	< 00:01	00:01	00:01	00:06
48561_2	70	*15*	turbine	G	00:16	00:00	00:00	< 00:01	00:02	00:08
48471_21	91	*15*	turbine	G	00:07	00:00	00:00	00:01	00:02	00:04
48471_16	110	113	clapet	H	00:11	00:00	00:00	< 00:01	00:00	00:04

**15* : débit correspondant exclusivement au débit réservé de 15 m^3/s passant par le clapet en RD
durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

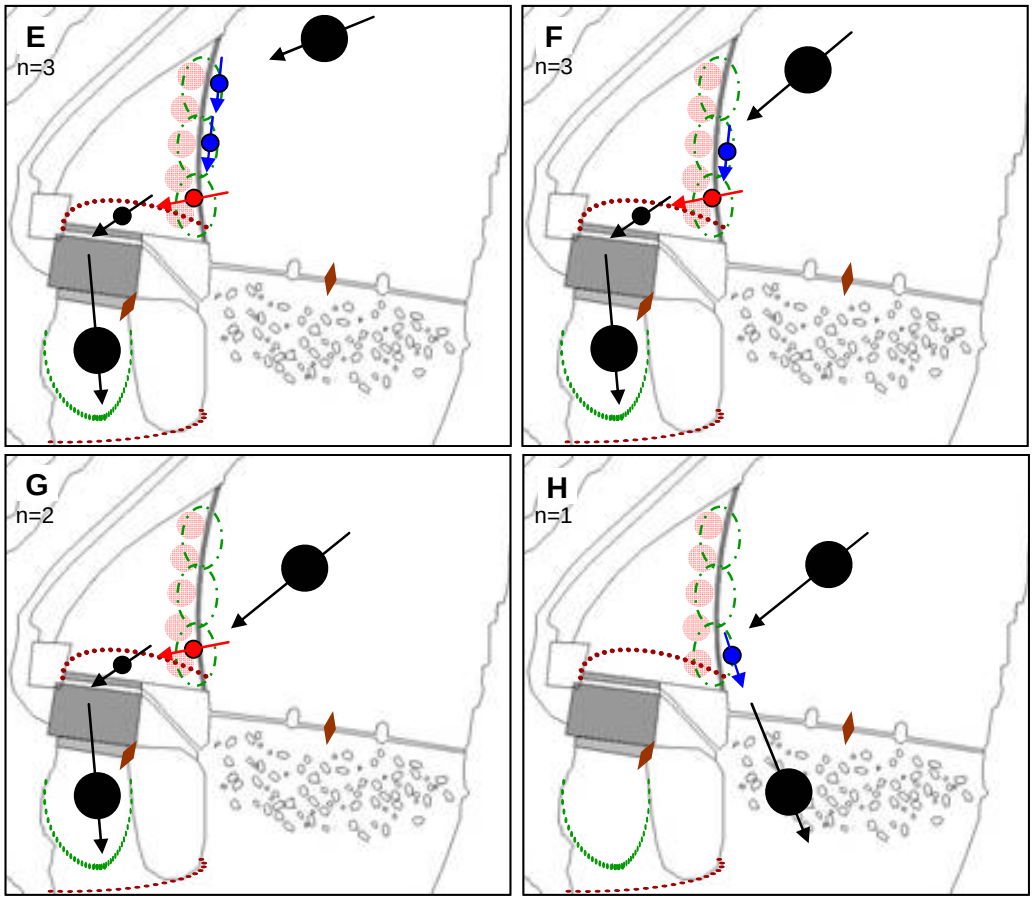


Figure 9.19 : Passages en 2008-2009 au travers du dispositif de répulsion de Biron par la zone aval BIDc après avoir longé plus ou moins la totalité du dispositif (trajectoires-types E à G), et passages par le clapet après présentation dans le champ du dispositif en BIDc (trajectoire-type H). Cf. Fig. 9.15 pour annotations.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)					
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	Aval
48471_8	15	*15*	turbine	I	00:46	00:04	00:01	00:00	00:09	00:08
48561_19	41	*15*	turbine	I	117:46	22:09	15:40	00:00	00:51	208:00
48471_1	0	89	clapet	J	106:05	50:14	29:20	165:23	1259:07	17:08
48561_0	78	*15*	clapet	K	02:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:06
48201_9	110	269	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48561_18	110	343	barrage	K	00:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:04
48471_7.5	40	535	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48471_9	40	562	barrage	K	00:02	00:00	00:00	00:00	00:00	00:04
48561_3	40	562	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_21	40	640	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48561_24	40	640	barrage	K	03:23	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48201_8	40	721	barrage	K	00:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:04
48561_22	40	740	barrage	K	00:02	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48201_14	0	312	barrage	K	00:20	00:00	00:00	00:00	00:00	00:05
48201_22	0	340	barrage	K	01:06	00:00	00:00	00:00	00:00	00:05
48471_19	0	343	barrage	K	00:19	00:00	00:00	00:00	00:00	00:04

*15 : débit correspondant exclusivement au débit réservé de 15 m^3/s passant par le clapet en RD
durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

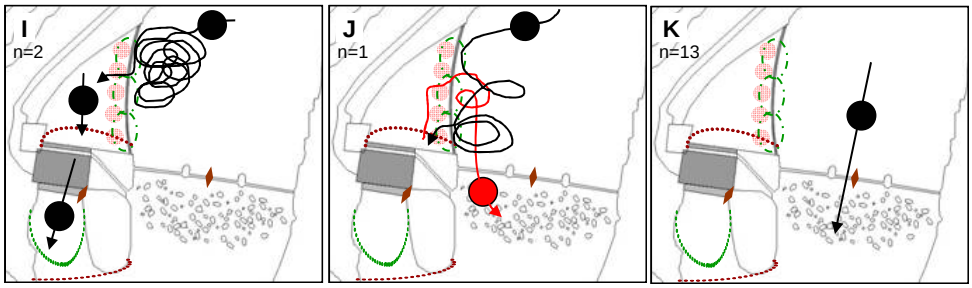


Figure 9.20 : Cas particuliers en 2008-2009 d'explorations au droit du dispositif de répulsion de Biron avant traversée (trajectoire-type I) ou traversée aller-retour (trajectoire-type J), et passages directs par le barrage sans présentation dans les champs du dispositif (trajectoire-type K). Cf. Fig. 9.15 pour annotations.

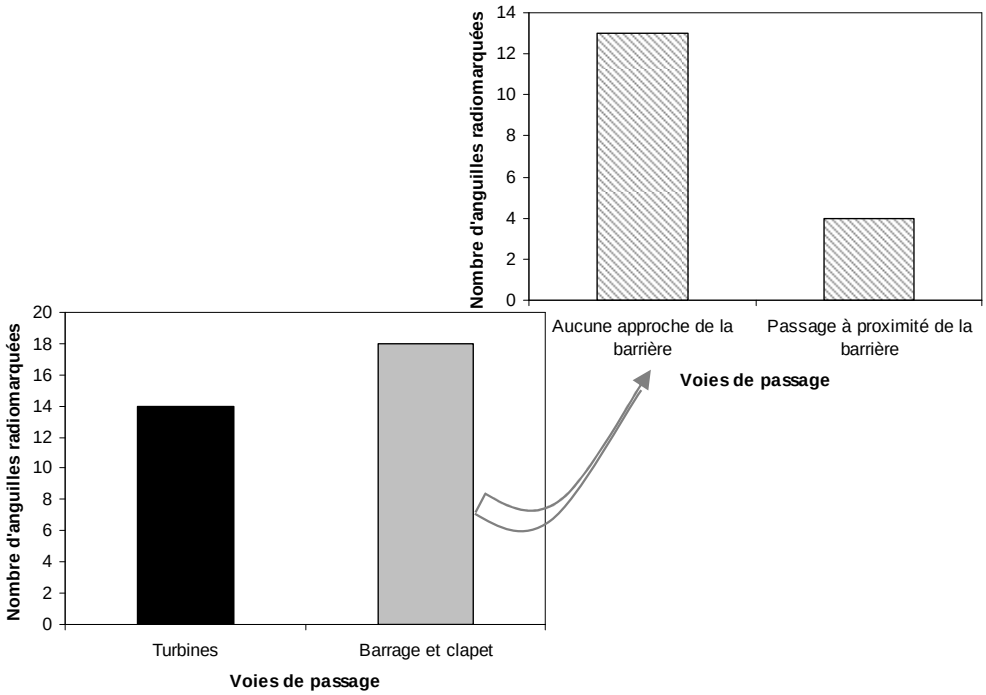


Figure 9.21 : Diagramme récapitulatif des voies de franchissement de Biron en présence de la barrière à infrasons en 2008-2009

9.3.3.3. Comportement des anguilles passées par les turbines

Pour les 14 anguilles qui ont dévalé par les turbines, les zones d'approches et de passage au travers de la barrière ont varié, en couvrant la totalité des 3 zones définies. **Sur ces 14 anguilles, 12 (soit 86%) ont approché, une seule fois,** au moins 1 des 3 zones des répulseurs (BIDa, BIDb ou BIDc) avant de traverser la barrière sonore, d'entrer dans la chambre d'eau et de franchir l'obstacle par les turbines (cf. Tableau 9.8).

- 2 anguilles ont traversé directement par la zone amont BIDa (trajectoire-type A, Figure 9.18) après leur arrivée en zone BIG au droit de l'ouvrage,
- 2 anguilles ont rapidement longé la partie amont du dispositif, passant en BIDa (4 min au maximum) avant de franchir la barrière en zone médiane BIDb (trajectoire-type B, Figure 9.18),
- 3 ont longé la totalité du dispositif, traversant rapidement les zones amont BIDa et centrale BIDb (maximum en zone(s) : 3 min) pour finalement franchir le champ des répulseurs en zone terminale aval BIDc (trajectoire-type E, Figure 9.19),
- 3 autres, arrivées au droit de l'ouvrage sans incursion vers la partie amont de la drome, ont directement atteint et traversé la zone centrale BIDb avant de franchir la barrière sonore en partie aval BIDc (trajectoire-type F, Figure 9.19),
- les 2 dernières ont franchi la barrière sonore encore plus directement, ne se présentant (et traversant) qu'en partie aval BIDc (trajectoire-type G, Figure 9.19) après une prospection plus ou moins longue devant le barrage (zone BIG).

A noter, que communément pour ces 12 anguilles, les incursions dans n'importe quelle zone définie au niveau du dispositif à infrasons ont été uniques et n'ont jamais duré plus de 4 min, de sorte que la durée globale au niveau de l'ensemble du dispositif (cf. « Total Durée barrière », Tableau 9.8) est toujours restée brève, variant selon l'anguille de 1 à 6 min (moyenne : 2 min ; médiane : 1 min).

- Parmi ces 12 anguilles, 11 n'ont réalisé qu'une seule incursion sur site, passant entre 7 et 22 min (moyenne : 12 min ; médiane : 11 min) dans la zone générale amont (BIG) avant de s'approcher et traverser le dispositif à infrasons Profish et de dévaler l'usine par les turbines après 4 min en moyenne (de 1 à 34 min ; médiane : 2 min) passées dans la chambre d'eau. Au final, le temps entre leur arrivée au droit de l'ouvrage et le passage dans les turbines a varié de 10 à 51 min (moyenne : 19 min ; médiane : 15 min), pour des débits allant de 67 à 220 m^3/s (moyenne : 135 m^3/s ; médiane : 110 m^3/s) dans des rapports Qd/Qt de 0.2 à 1.0 (moyenne : 0.4 ; médiane : 0.3). En particulier, pour 6 de ces 11 passages directs par turbines (soit 55% des cas), le débit déversé au barrage était réduit aux 15 m^3/s du débit réservé passant par le clapet.
- La 12ème anguille a effectué 2 incursions sur site en BIG, dont la première (de 42 min) sans approche de la barrière à infrasons. Sa seconde arrivée dans la zone amont BIG a duré 5h 17min avant de traverser le dispositif par BIDa et de dévaler l'usine par les turbines après près de 32 heures passées dans la chambre d'eau. Au final, son blocage par l'ouvrage aura duré environ 54h dont 16h en repli à plus de 400 m en amont du méandre et environ 38h sur site (avec 16% du temps en BIG, 1% à la barrière Profish et 83% du temps dans la chambre d'eau). Le débit du Gave était de134 m^3/s, dans un rapport Qd/Qt de 0.2.

Les 13ème et 14ème anguilles passées par les turbines de Biron ont approché les répulseurs plus d'une fois avant de les franchir, témoignant, dans une plus ou moins grande mesure, d'un comportement de prospection (trajectoire-type I, Figure 9.20) devant la barrière sonore avant de la traverser. Dans les 2 cas, ces entrées-sorties des champs des répulseurs ont eu lieu au niveau des parties amont BIDa et médiane BIDb du dispositif, aucune prospection ne s'étant produite à proximité du clapet et de la zone aval BIDc.

- La 13ème anguille s'est approchée à 2 reprises de la barrière, en premier lieu dans la zone médiane BIDb (1 min) et dans un second temps dans la zone amont BIDa (4 min) par où elle a traversé avant de passer par les turbines après 9 min dans la chambre d'eau. Le temps passé par l'anguille dans les zones des répulseurs (total 5 min) représente 8% du temps global passé en amont de l'ouvrage (avec 77% en BIG ; 15% en BIT).

- A chacune de ses deux incursions sur le site, la 14ème anguille a encore plus longuement prospecté au droit de l'ouvrage côté barrière sonore, avec au total 18 entrées en zone amont BIDa (total 22h 9min) et 24 entrées en BIDb (total 15h 40min). Le temps passé dans les zones des répulseurs (total ~ 38h) représente 24% du temps global passé en amont de l'ouvrage (avec 75% en BIG ; 1% en BIT). L'anguille a ensuite franchi la barrière à infrasons entre les machines 2 et 3 (en zone de chevauchement de réception entre BIDa et BIDb) puis a passé 51min dans la chambre d'eau avant de dévaler par les turbines.

Ces 13ème et 14ème passages par les turbines, longs et avec des explorations au droit des répulseurs, se sont produits pour les débits du Gave les plus faibles enregistrés lors des 32 franchissements de Biron, soit respectivement 35 et 61 m^3/s. Les débits turbinés à l'usine étaient de 15 et 41 m^3/s et les débits déversés réduits aux 15 m^3/s de débit réservé au clapet dans les deux cas.

En résumé, concernant les 14 passages à Biron par les turbines, 12 d'entre eux (86%), avec 1 seule approche de la barrière sonore, ont été réalisés à des débits entrants variant de 67 à 220 m^3/s, ce qui correspond à des rapports de Qd/Qt allant de 0.2 à 1.0. Dans la grande majorité des cas, les temps de transit ont été de courte durée (moins d'1h pour 92% d'entre eux) et nocturnes (92% réalisés de nuit et 8% au crépuscule). La barrière sonore a été traversée via la zone aval BIDc dans 67% des cas (8/12), via BIDb dans 17% des cas (2/12) et via BIDa dans les deux cas restants (17%).
Les deux autres, avec plusieurs approches de la barrière sonore, ont été réalisés aux plus faibles débits (35 et 61 m^3/s) et en l'absence de déversement autre que le débit réservé au clapet (15 m^3/s). Les temps de transit ont été plus longs (1h et 6.5j), avec un passage nocturne pour l'un et diurne (début d'après-midi) pour le plus long. La barrière sonore a été approchée exclusivement en parties amont BIDa et centrale BIDb, avec une traversée en BIDa pour l'un et en BIDa/b (i.e., comme indiqué précédemment, la zone de chevauchement des deux zones).

9.3.3.4. Conclusions sur l'efficacité du dispositif à l'usine de Biron en 2008-2009

Après avoir exposé les résultats généraux sur le comportement des anguilles et les voies de passage empruntées à Biron dans les conditions de débit rencontrées en 2008-2009, les résultats plus particulièrement relatifs à la présence de la barrière à infrasons Profish sont maintenant synthétisés.

9.3.3.4.1. Approche de la barrière et voie de passage

Dans la configuration standard de Biron, en récapitulant l'information sur les 32 franchissements effectués à l'ouvrage en présence du dispositif sonore à 5 répulseurs, dans les conditions de débit de 2008-2009 (Figure 9.22), il y a eu :

- 13 franchissements directs [a] par les clapets du barrage (soit 41%), sans venue ou enregistrement d'approche du dispositif à infrasons,
- 19 franchissements (soit 59%) [b] avec au moins une venue à la barrière sonore, dont :
    - 14 traversées de la barrière [c] suivies d'un passage par les turbines (57% en zone aval BIDc). Lors de ces traversées, le débit déversé était au minimum (15 m^3/s au clapet RD) dans 8 des 14 cas (57%) et compris entre 19 m^3/s et 104 m^3/s dans les 6 cas restants (Figure 9.22 et Figure 9.23).
    - 1 double traversée de la barrière [c] suivie d'une dévalaison par le clapet RD à la faveur d'un arrêt des turbines,
    - 4 franchissements par le barrage ou le clapet RD [d] après venue(s) aux répulseurs, lors de déversements au barrage de 80 m^3/s à 406 m^3/s (Figure 9.23). En comptant ces 4 approches du dispositif et les 2 traversées de la précédente anguille, il s'avère que la zone préférentielle d'approche de la barrière avant un passage par barrage/clapet a été la zone médiane BIDb dans 50% des cas (BIDc : 33% des cas).

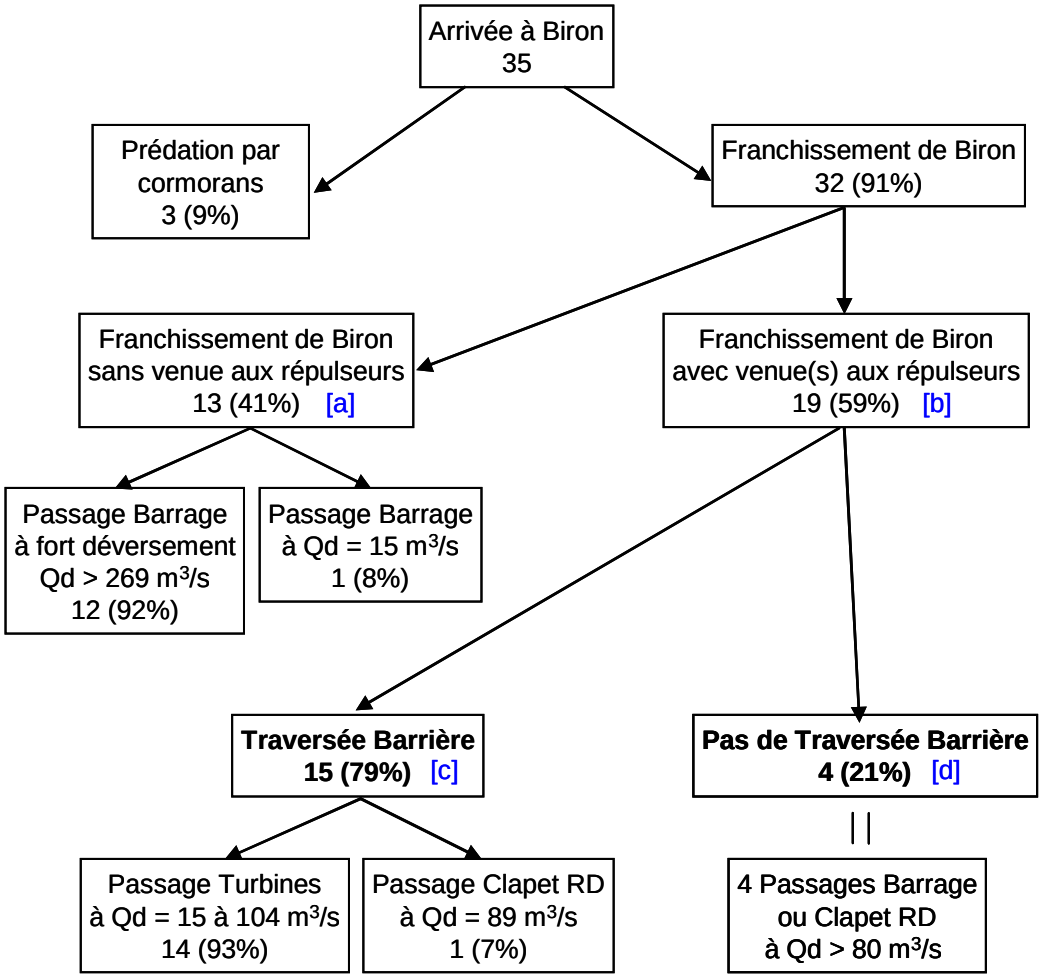


Figure 9.22 : Diagramme récapitulatif du franchissement de Biron : approches et voies de passage en présence du dispositif de répulsion par infrasons Profish dans les conditions de débit de 2008-2009

Sans déversement barrage (sauf Qd = 15 m³/s clapet RD)

Turbines (n = 8)			
Qt	Traj	Durée	Qd/Qt
15	I	5	1.00
41	I	38h	0.37
47	E	6	0.32
52	B	5	0.29
64	A	2	0.23
70	G	<1	0.21
83	F	1<d<2	0.18
91	G	1	0.16

Cas particulier / Clapet RD			
Qt	Traj	Durée	Qd/Qt
78	*K*	–	*0.19*

Autres conditions : déversements au barrage > 15 m³/s

Turbines (n = 6)				
Qt	Qd	Traj	Durée	Qd/Qt
110	19	A	1	0.17
110	53	B	1<d<2	0.48
110	28	E	3<d<4	0.25
110	53	E	4	0.48
110	98	F	1<d<2	0.89
110	104	F	1<d<2	0.95

Barrage / Clapet RD (n = 5)				
Qt	Qd	Traj	Durée	Qd/Qt
110	80	C	<1	0.73
110	113	H	<1	1.03
110	295	D	4	2.68
110	406	D	3	3.69
0	*89*	*J**	*245h*	–

** Double traversée barrière avant passage par clapet RD*

Figure 9.23 : Trajectoires et durées globales passées dans la (les) zone(s) couvrant le dispositif de répulsion par infrasons Profish (en minutes sauf contre indication) suivant les voies de passage empruntées dans les conditions de débit de 2008-2009

En l'absence de déversement au barrage autre que le débit réservé de 15 m^3/s concentré sur le clapet RD, il y a eu 8 traversées de la barrière, toutes suivies d'un franchissement par les turbines. De surcroît, pour des déversements au barrage pourtant non négligeables (Qd de 19 à 104 m^3/s), représentant de 17% jusqu'à 95% du débit turbiné déversé dans le by-pass, il y a encore eu 6 traversées de la barrière suivies d'un passage par les turbines, plus une double traversée de la barrière suivie d'un passage par le clapet RD à la faveur d'un arrêt des turbines. Pour les 4 anguilles qui n'ont pas traversé la barrière, l'échappement par le barrage ou le clapet RD s'est produit conjointement à des débits déversés encore plus importants (80 à 406 m^3/s), représentant de 73% jusqu'à 370% du débit turbiné déversé dans le by-pass. Ces forts débits déversés peuvent hypothéquer toute influence propre à la barrière sonore.

9.3.3.4.2. Observations comportementales

Concernant le blocage au droit de la drome en présence du dispositif de répulsion par infrasons, il s'avère qu'à quelques rares exceptions près, le stationnement du poisson dans les champs des répulseurs est de courte durée. Seules 2 anguilles (6%) ont, à faible débit, longuement prospecté à proximité de la drome soutenant les répulseurs (trajectoires I et J : 38 h et 245 h, Figure 9.23). Ce comportement prospectif devant l'ouvrage à faible débit a déjà été observé les années précédentes, de sorte qu'il serait trop hasardeux d'attribuer les allées et venues enregistrées cette année à un effet du ressenti des répulseurs. D'ailleurs, à terme, ces individus hésitants ont traversé au moins une fois voire deux fois la barrière à infrasons.

Les autres anguilles venues aux répulseurs ont transité rapidement. Malgré des débits déversés non négligeables représentant de 16% à 100% du débit turbiné déversé dans le by-pass, les anguilles ont stationné entre 1 et 6 min au maximum au niveau de la barrière sonore avant de passer ensuite par les turbines. Pour des débits plus importants, la durée globale passée par le poisson dans les zones des répulseurs est encore plus réduite, avec un maximum de 4 min. Il apparaît donc clairement que les zones autour des répulseurs sont des zones de passage rapide, de transit et non pas des zones de stabulation des anguilles. C'était le cas également l'année précédente où même en l'absence des répulseurs, il n'y avait pas de stationnement des animaux dans le secteur de la drome (Bau *et al.*, 2008). Ces zones autour de la drome ne sont pas naturellement des zones de stationnement qui se situent normalement vers les berges.

Enfin, on s'aperçoit également que le nombre de trajectoires-type au droit de l'ouvrage (trajectoires A à K) est élevé, traduisant ainsi plus d'une dizaine de comportements différents. Certaines trajectoires dépendent des débits mais d'autres, bien que différant entre elles, se produisent dans des conditions de milieu assez similaires. Cela dénote que les anguilles peuvent ne pas réagir de la même manière dans un contexte environnemental donné, d'où la relative difficulté d'interprétation de l'efficacité du dispositif comportemental testé.

En 2008-2009, l'efficacité « potentielle » de la barrière sonore placée à Biron est au maximum de 21% (4 sur 19 anguilles venues au contact de la barrière). Toutefois, il est indispensable de comparer les résultats des deux ans de tests avec ceux des années précédentes dans des configurations sans barrière à infrasons **(voir analyse § 10)** pour déterminer si ces 4 passages en dehors des turbines résultent de l'effet de la barrière ou de l'échappement « naturel » par le barrage.

9.3.4. Fonctionnalité biologique de la barrière en 2009-2010

9.3.4.1. Généralités sur les conditions de franchissement

Cinquante-trois anguilles radiomarquées se sont présentées en amont de l'aménagement de Biron lors de la seconde session d'expérimentation. Il s'agit :

- de 11 (soit 41%) des 27 anguilles relâchées à Jurançon et ayant franchi l'aménagement d'Artix à 21.7 km en amont,
- de 42 (soit 88%) des 48 anguilles relâchées à Gouze à 7.9 km en amont de Biron.

Les principaux résultats sur le comportement de ces 53 individus sont consignés dans le Tableau 9.9 :

- **5 d'entre elles** n'ont pas à terme dévalé. Une a fait l'objet d'une prédation par des cormorans environ 15 h après son arrivée dans la zone générale BIG définie en amont de l'ouvrage. Les 4 autres anguilles 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 2 h et 4 h la partie amont (zone BIGa) de la barrière sonore dans les limites de réception établies de 4-5 m, avant de se replier en retenue (zone BIG) ; une 3ème a rapidement traversé en zone médiane (BIGb) de la barrière sonore pour stationner définitivement dans la chambre d'eau de l'usine (cf. Tableau 9.9).
- **les 48 autres** ont franchi l'aménagement de Biron, soit un taux 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, donc après passage au travers de la barrière à infrasons, dans 65% (31/48) des cas,
    - et par la rivière de contournement dans 4% (2/48) des cas.

Les voies de passage sont fortement liées aux conditions hydrologiques et au fonctionnement de l'ouvrage (pris en compte par le rapport entre débit déversé au barrage [Qd] et débit turbiné [Qt]) prévalant dans ces conditions (Figure 9.24 et Figure 9.25) :

- en l'absence de déversement au barrage plus important que le débit réservé (soit Qd=15 m^3/s au maximum et Qt=15 à 109 m^3/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 (Qt=15 à 55 m^3/s).
- en situation de surverses relativement faibles au barrage et de débits turbinés maximum, égaux aux 110 m^3/s de débit d'équipement de l'usine (soit dans des conditions de rapport Qd/Qt≤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 m^3/s) et alors qu'une des deux turbines était en arrêt (Qt=55 m^3/s ; Qd/Qt=0.5).
- enfin, lors de déversements plus importants (133 à 412 m^3/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.

Tableau 9.9 : Récapitulatif des résultats de passages obtenus pour les 53 anguilles radiomarquées s'étant présentées au niveau de l'usine de Biron en 2009-2010

Code anguille	Date & Heure 1ère réception Biron	Date & Heure Passage Biron	Voie de passage	Débit du Gave à Biron (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.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	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	103	0.1	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	0.2	1	00:09	00:09	100.0%	1	00:06	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	$BIDc_1$	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	00:09	100.0%	1	00:07	0	00:00	1	00:01	1	< 00:01	1	00:01	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:06
48741_8	21/02/2010 19:38	21/02/2010 20:10	turbine	56	15	36	0.4	1	00:32	00:32	100.0%	1	00:13	1	00:07	2	00:09	0	00:00	2	00:16	BIDb	1	00:03	0	00:00	5	09:45
48741_9	06/02/2010 20:24	06/02/2010 20:38	turbine	129	15	109	0.1	1	00:14	00:14	100.0%	1	00:08	0	00:00	1	00:04	1	< 00:01	1	00:04	$BIDc_1$	1	00:02	0	00:00	1	00:06
48741_12	21/02/2010 06:04	21/02/2010 18:29	turbine	57	15	37	0.4	4	12:25	10:05	81.2%	4	09:45	0	00:00	0	00:00	1	00:03	1	00:03	$BIDc_1$	1	00:17	0	00:00	1	149:52
48741_16	07/02/2010 20:57	04/03/2010 21:19	turbine	62	15	42	0.4	21	600:22	50:10	8.4%	21	50:06	0	00:00	1	00:02	1	00:01	1	00:03	BIDc	1	00:01	0	00:00	1	00:16
Moyenne (n=31, passés turbine)				**137.1**	**54.4**	**77.7**	**0.6**	**3.2**	**67:14**	**24:47**	**79.4%**	**3.3**	**11:49**	**0.7**	**00:01**	**1.0**	**00:03**	**0.5**	**00:00**	**1.1**	**00:04**		**1.0**	**13:19**	**0.0**	**00:00**	**1.1**	**06:08**
Médiane (n=31, passés turbine)				**103.6**	**15.0**	**83.6**	**0.3**	**1.0**	**00:31**	**00:26**	**100.0%**	**1.0**	**00:17**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:01**	**1.0**	**00:00**	**1.0**	**00:02**		**1.0**	**00:02**	**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:06**
48671_14	14/01/2010 20:51	14/01/2010 22:28	rivière	387	272	110	2.5	1	01:37	01:37	100.0%	1	01:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:37	2	13:02
48671_20	13/01/2010 22:37	13/01/2010 23:00	rivière	102	15	82	0.2	1	00:23	00:23	100.0%	1	00:22	0	00:00	0	00:00	0	00:00	0	00:00	–	0	00:00	1	00:01	1	00:07
Moyenne & Médiane (n=2, passés rivière de contournement)				**244.4**	**143.5**	**95.9**	**1.3**	**1.0**	**01:00**	**01:00**	**100.0%**	**1.0**	**00:41**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**	**0.0**	**00:00**		**0.0**	**00:00**	**1.0**	**00:19**	**1.5**	**06:34**
48611_13	*14/01/2010 23:38*	*08/03/2010 17:49**	*–*	*53*	*15*	*33*	*0.5*	*1*	*1266:11*	*1266:11*	*100.0%*	*2*	*00:17*	*1*	*00:01*	*1*	*00:01*	*0*	*00:00*	*2*	*00:02*	*BIDb*	*1*	*1265:52*	*0*	*00:00*	*–*	*–*
48671_12	*14/01/2010 20:50*	*14/02/2010 13:07**	*–*	*60*	*15*	*40*	*0.4*	*40*	*736:17*	*505:53*	*68.7%*	*45*	*501:47*	*5*	*04:06*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*5*	*04:06*	*–*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*–*
48671_22	*31/01/2010 01:26*	*14/04/2010 14:59**	*–*	*43*	*15*	*23*	*0.6*	*4*	*1765:33*	*1738:38*	*98.5%*	*5*	*1736:39*	*1*	*01:59*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*1*	*01:59*	*–*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*–*
48741_14	*05/02/2010 16:48*	*06/02/2010 07:34**	*–*	*87*	*15*	*67*	*0.2*	*1*	*14:46*	*14:46*	*100.0%*	*1*	*14:46*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*–*
48741_20	*22/02/2010 15:52*	*23/02/2010 06:48***	*–*	*54*	*15*	*34*	*0.4*	*1*	*14:56*	*14:56*	*100.0%*	*1*	*14:56*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*0*	*00:00*	*0*	*00:00*	*–*	*–*

** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, les anguilles 48611_13, 48671_12 & 22 et 48741_14 n'ayant pas dévalé (repli définitif jusqu'à arrêt de l'émetteur)*

*** Date & Heure de dernière réception sur site en amont de l'ouvrage, l'anguille 48741_20 n'ayant pas dévalé (prédation par cormoran en amont de l'ouvrage confirmée)*

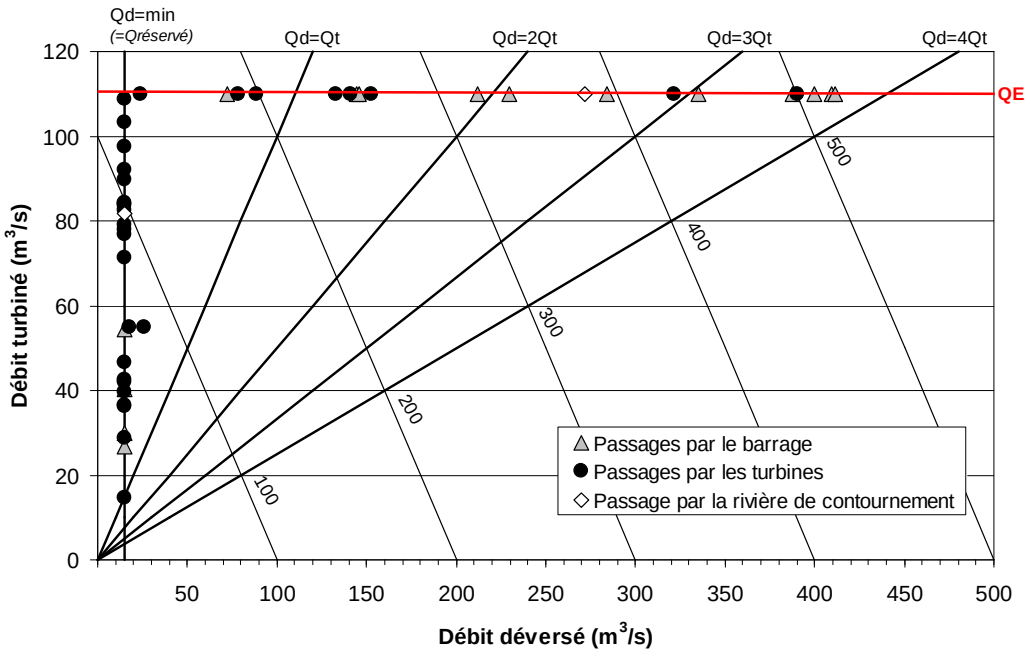


Figure 9.24 : Voie de franchissement de Biron en 2009-2010 suivant le fonctionnement de l'ouvrage

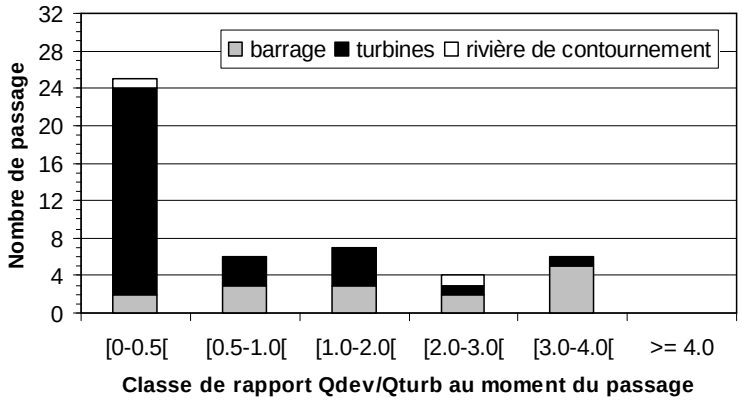


Figure 9.25 : Nombre de passages à Biron en 2009-2010 par voie de franchissement en fonction du rapport entre débit déversé et débit turbiné au moment du franchissement

9.3.4.2. Comportement des anguilles passées par le barrage

Sur les 15 anguilles qui ont dévalé par le barrage ou le clapet et qui peuvent potentiellement avoir été « influencées » par la barrière sonore, **6 (soit 40%) sont passées directement par le barrage.** Elles n'ont réalisé qu'une seule incursion sur site dans la zone générale amont (BIG) et aucune approche vers le dispositif à infrasons Profish (trajectoire-type K, Figure 9.28). **Elles ne peuvent donc pas être incluses dans l'analyse sur l'efficacité du dispositif.**

Sept autres anguilles se sont approchées même brièvement de la barrière sonore avant de dévaler par le barrage ou le clapet. Après leur arrivée sur site en BIG, toutes ont approché d'au moins 4-5 m le dispositif à infrasons. Pour 2 d'entre elles, il s'agit d'une approche transitoire rapide dans une seule zone du dispositif, en partie amont BIDa ou médiane BIDb (trajectoire-type D, Figure 9.26). Les 5 autres anguilles ont transité par plusieurs zones des répulseurs, longeant la totalité ou quasi totalité de la barrière (trajectoire-type H, Figure 9.27) avant de dévaler par le clapet. Chez toutes, les incursions en l'une ou l'autre des zones des répulseurs ont été très brèves (3 min maximum), pour un temps total au niveau du dispositif de 2 min en moyenne (1-6 min, n=7) représentant selon l'individu de moins de 5% à 27% de leur temps de présence en amont de l'ouvrage. Les dévalaisons, de courte durée au final (4-22 min ; moyenne : 11 min), se sont produites lors de surverses au barrage modérées à fortes (Qd/Qt=1.9 en moyenne ; 3.7 au maximum) représentant jusqu'à 5 fois le module.

Deux autres anguilles ont exploré plus longuement la barrière sonore avant de dévaler Biron par le clapet (trajectoire-type J, Figure 9.28). Elles se sont présentées à plusieurs reprises au droit des répulseurs et ont stationné particulièrement longtemps (7h et 5 jours, soit 73% et 31% de leur temps ; cf. Tableau 9.9) en zone aval BIDc à proximité du clapet. Les dévalaisons nettement plus longues (10h et 51 jours) ont eu lieu en périodes de faibles débits (47 à 59 m^3/s en moyenne) avec au moment des passages à l'aval, un débit déversé de 15 m^3/s et un débit turbiné de 27-30 m^3/s (une turbine à l'arrêt).

En résumé, concernant les 15 passages d'anguilles à Biron par le barrage ou le clapet, et pouvant constituer éventuellement des poissons « influencés » par la barrière sonore (cf. Figure 9.29), la quasi totalité (80% [12/15]) d'entre eux, réalisés à fort débit entrant (médiane : 336 m^3/s, 1er et 3ème quartiles : 213 et 505 m^3/s, n=12) ont été directs (1 seule incursion au droit de l'ouvrage), de courte durée (moins de 30 min pour 92% d'entre eux, dont 50% en moins de 10 min) et nocturnes (83% réalisés de nuit ou au crépuscule). Les 3 autres dévalaisons, débutées et/ou terminées à plus faible débit entrant (Qd/Qt médian de 0.7), sont intervenues après de nombreuses et longues prospections (temps de présence médian de 9 jours) en grande partie diurnes.

Neuf des 15 anguilles (60%) passées par le barrage ou le clapet ont approché, au moins une fois et même très brièvement, à 4-5 m de la barrière sonore.

9.3.4.3. Comportement des anguilles passées par la rivière de contournement

Les 2 anguilles, qui ont dévalé Biron en empruntant la rivière de contournement, n'ont réalisé qu'une seule incursion sur le site dans la zone générale amont (BIG), sans aucune approche vers le dispositif à infrasons Profish (trajectoire-type L, Figure 9.28 ; Tableau 9.9). **Elles ne peuvent donc pas être incluses dans l'analyse sur l'efficacité du dispositif.**

9.3.4.4. Comportement des anguilles passées par les turbines

Pour les 31 anguilles qui ont dévalé par les turbines, les zones d'approches et de passage au travers de la barrière ont varié, en couvrant la totalité des 3 zones définies. **Sur ces 31 anguilles, 28 (soit 90%) ont approché, une seule fois,** au moins 1 des 3 zones des répulseurs (BIDa, BIDb ou BIDc) avant de traverser la barrière sonore, d'entrer dans la chambre d'eau et de franchir l'obstacle par les turbines (cf. Tableau 9.9).

- 1 anguille a traversé directement par la zone amont BIDa (trajectoire-type A, Figure 9.26) après son arrivée en zone BIG au droit de l'ouvrage,
- 9 anguilles ont rapidement longé la partie amont du dispositif, passant en BIDa (4 min au maximum) avant de franchir la barrière sonore en zone médiane BIDb (trajectoire-type B, Figure 9.26),
- 5 ont longé la totalité du dispositif, traversant rapidement les zones amont BIDa et centrale BIDb (maximum en zone(s) : 3 min) pour finalement franchir le champ des répulseurs en zone terminale aval BIDc (trajectoire-type E, Figure 9.27),
- 8 autres, arrivées au droit de l'ouvrage sans incursion vers la partie amont de la drome, ont directement atteint et traversé la zone centrale BIDb (maximum en zone : 4 min) avant de franchir la barrière sonore en partie aval BIDc (trajectoire-type F, Figure 9.27),
- les 5 dernières ont franchi la barrière sonore encore plus directement, ne se présentant (et traversant) qu'en zone médiane BIDb pour 3 d'entre elles (trajectoire-type C, Figure 9.26) et qu'en zone aval BIDc pour les 2 autres (trajectoire-type G, Figure 9.27) après une prospection plus ou moins longue devant le barrage (zone BIG).

A noter, que communément pour ces 28 anguilles, les incursions dans n'importe quelle zone définie au niveau du dispositif à infrasons ont été uniques et n'ont jamais duré plus de 4 min, de sorte que la durée globale au niveau de l'ensemble du dispositif (cf. « Total Durée barrière », Tableau 9.9) est toujours restée brève, variant selon l'anguille de 1 à 5 min (moyenne et médiane : 2 min).

- Parmi ces 28 anguilles, 19 (68%) n'ont réalisé qu'une seule incursion sur site, passant entre 4 min et 4h (moyenne : 26 min ; médiane : 13 min) dans la zone générale amont (BIG) avant

de s'approcher et traverser rapidement le dispositif à infrasons (dans 5% des cas en BIDa, 47% en BIDb, 47% en BIDc), puis de dévaler l'usine par les turbines après 1 min en moyenne (1 à 4 min ; médiane : 1 min) passées dans la chambre d'eau. Au final, le temps entre leur arrivée au droit de l'ouvrage et le passage dans les turbines a varié de 6 min à 4h 21min (moyenne : 30 min ; médiane : 18 min), pour des débits allant de 63 à 437 m^3/s (moyenne : 139 m^3/s ; médiane : 104 m^3/s) dans des rapports Qd/Qt de 0.1 à 2.9 (moyenne : 0.5 ; médiane : 0.2). En particulier, pour 13 de ces 19 passages directs par les turbines (soit 68% des cas), le débit déversé au barrage était réduit aux 15 m^3/s du débit réservé passant par le clapet. De plus, dans 2 cas sur 19, l'une des deux turbines de l'usine était à l'arrêt.

- Les 9 autres anguilles ont effectué plusieurs incursions sur le site en zone amont BIG avant de s'approcher une unique fois du dispositif à infrasons, de le traverser rapidement (33% des cas en BIDb, 67% en BIDc) et de dévaler l'usine par les turbines. Selon l'individu, le nombre d'incursions en BIG a varié de 2 à 21 (moyenne : 8 ; médiane : 4) pour une durée de 12 min à 6 jours (moyenne : 27h 30min ; médiane : ~10h). Au final, ces dévalaisons ont donc duré plus longtemps, les anguilles restant bloquées par l'ouvrage entre 1h 24min et 25 jours (moyenne : 7.7 jours ; médiane : 3.9 jours). Entre 3.5% et 99% (moyenne : 65% ; médiane : 79.5%) du temps lors des blocages a été passé en repli(s) dans les profonds de la retenue en amont de Biron, et le temps restant (moyenne : 35% ; médiane : 20.5%) dans les zones de réception au droit de l'ouvrage, avec en moyenne 88% du temps en BIG, 10% dans la chambre d'eau et 2% au niveau de la barrière. Les débits durant ces longues périodes étaient faibles, variant d'un minimum de 35 m^3/s en moyenne sur une période de dévalaison donnée à un maximum de 135 m^3/s en moyenne sur une autre période (moyenne : 72 m^3/s ; médiane : 61 m^3/s, n=9). En particulier, pour 7 de ces 9 passages par les turbines (soit 78% des cas), le débit déversé au barrage au moment du passage était réduit aux 15 m^3/s du débit réservé passant par le clapet.

Les 3 autres anguilles passées par les turbines de Biron ont approché les répulseurs plus d'une fois avant de les franchir, témoignant, dans une plus ou moins grande mesure, d'un comportement de prospection (trajectoire-type I, Figure 9.28) devant la barrière sonore avant de la traverser. Dans les 3 cas, les prospections ont eu lieu en zones amont BIDa et médiane BIDb du dispositif, avant une traversée rapide de la barrière en BIDb pour l'une et en zone aval BIDc pour les 2 autres. Comme pour toutes les autres anguilles passées par les turbines, il n'y a pas eu de prospection de longue durée en zone aval BIDc (proximité clapet). De fait, il y a eu 1 à 3 présentations en BIDa pour une durée en zone de 4 à 7 min, 2 présentations en BIDb (dans les 3 cas) pour une durée en zone de 9 à 30 min et 1 présentation en BIDc (dans 2 cas) pour une durée en zone de 2 min maximum. Le temps passé au niveau de l'ensemble du dispositif (cf. « Total Durée barrière », Tableau 9.9) a donc été relativement plus long que pour les autres anguilles, soit de 16, 28 et 38 min selon l'individu. Cela a représenté jusqu'à 50% du temps global passé en amont de l'ouvrage (avec 41% en BIG ; 9% en BIT) pour l'une des 3 anguilles et, comparativement, des proportions beaucoup plus négligeables (0.2% et 2%) pour les 2 autres qui ont séjourné nettement plus longtemps sur le site (23h et 15 jours *vs* 32 min) en stationnant préférentiellement en zone BIG (98% du temps) pour l'une ou en zone BIT dans la chambre d'eau de l'usine (76% du temps) pour l'autre. Ces passages par turbine après explorations au droit des répulseurs se sont produits pour des débits du Gave de l'ordre de 55, 56 et 92 m^3/s en moyenne sur la période de dévalaison donnée. Dans 2 cas sur 3, le débit déversé au barrage au moment du passage était réduit aux 15 m^3/s du débit réservé passant par le clapet.

En résumé, parmi les 31 dévalaisons par les turbines, 28 (90%) ont été précédées d'1 seule approche de la barrière sonore ; elles ont eu lieu dans une large gamme de débits au moment du passage, allant de 35 à 505 m^3/s (moyenne : 141 m^3/s ; médiane : 104 m^3/s), ce qui correspond à des rapports Qd/Qt de 0.1 à 3.5 (moyenne : 0.6 ; médiane : 0.3). Les 3 autres, avec plusieurs approches de la barrière sonore, ont été réalisées à faible débit (0.4<Qd/Qt<0.8). Communément, dans 71% des cas (22/31), il n'y avait pas au moment de la dévalaison de surverse au barrage autre que le débit réservé (15 m^3/s) passant par le clapet RD, et dans 19% des cas (6/31), l'une des deux turbines de l'usine était arrêtée.

Par ailleurs, 97% des passages ont été nocturnes (74% réalisés de nuit et 23% au crépuscule).

La barrière sonore a été traversée en zone amont BIDa dans un seul cas (3%), en partie centrale BIDb dans 42% des cas (13/31) et en zone aval BIDc dans 55% des cas (17/31). Plus précisément, une traversée en partie aval était plutôt en limite amont de zone (soit en BIDb/c, zone de recoupement à hauteur de la machine 4). De plus, au moins 3 traversées en BIDc ont eu lieu à l'extrémité aval de la

zone, dans la "trouée" (cf. zoom Figure 9.3) surveillée depuis le 28/01/2010 par l'antenne BIDc1. Il est vraisemblable que 2 autres traversées en BIDc faites antérieurement (voir anguilles 48611_3 et 4 ; Tableau 9.9) aient aussi eu lieu dans cette zone de moindre pression sonore.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)						
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	BIP	Aval
48671_11	84	*15**	turbine	A	00:17	00:01	00:00	00:00	00:03	00:00	00:05
48741_5	40†	*15**	turbine	B	15:57	< 00:01	00:01	00:00	00:02	00:00	00:06
48671_15	98	*15**	turbine	B	00:13	00:01	00:01	00:00	00:01	00:00	00:07
48611_9	55†	*17*	turbine	B	04:16	00:01	00:01	00:00	00:03	00:00	00:59
48611_7.5	110	390	turbine	B	141:16	00:01	00:01	00:00	117:32	00:00	14:55
48611_14	79	*15**	turbine	B	00:15	00:01	00:01	00:00	00:01	00:00	00:06
48611_24	71	*15**	turbine	B	00:17	00:02	00:01	00:00	00:02	00:00	00:07
48611_6	47	*15**	turbine	B	00:24	00:02	00:01	00:00	00:04	00:00	00:36
48611_8	84	*15**	turbine	B	00:14	00:04	00:01	00:00	00:02	00:00	11:10
48671_3	55†	26	turbine	B	00:27	00:02	00:02	00:00	00:02	00:00	00:17
48611_5	103	*15**	turbine	C	00:46	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:06
48671_5	110	133	turbine	C	00:09	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:05
48611_0	110	153	turbine	C	00:09	00:00	00:01	00:00	< 00:01	00:00	00:05
48671_17	110	387	barrage	D	00:05	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:00	00:02
48671_2	110	145	clapet	D	00:11	00:00	< 00:01	00:00	00:00	00:00	00:06

†seule 1 des 2 turbines en fonctionnement ; *exclusivement le débit réservé de *15 m³/s* passant par le clapet en RD
durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

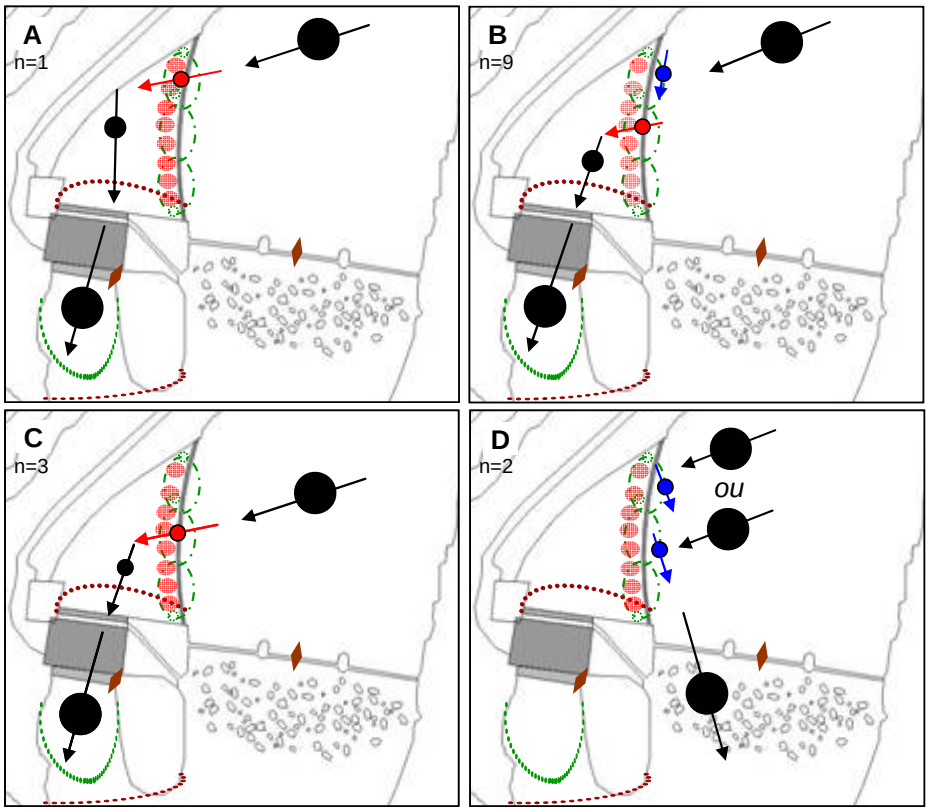


Figure 9.26 : Passages en 2009-2010 au travers du dispositif de répulsion de Biron par la zone amont BIDa (trajectoire-type A) ou par la zone centrale BIDb (trajectoires-types B et C), et passages par les évacuateurs de crue (clapet, barrage) après présentation rapide dans un champ du dispositif en BIDa ou BIDb (trajectoire-type D). *Pour chaque trajectoire-type, l'effectif d'anguilles concernées (n) est indiqué ; les durées en zones à chaque étape de la trajectoire sont spécifiées (et en règle générale, graphiquement : ○ pour durée ≤ 4 min ; ◯ pour durée supérieure).* Cf. aussi Figure 9.3 pour le détail des zones de réception définies à Biron en 2009-2010.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)						
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	BIP	Aval
48611_15	110	322	turbine	E	00:04	< 00:01	< 00:01	< 00:01	00:01	00:00	00:04
48671_16	110	78	turbine	E	00:07	00:01	00:01	< 00:01	00:01	00:00	00:04
48671_0	90	*15**	turbine	E	00:16	00:01	00:01	< 00:01	00:01	00:00	00:09
48611_1	43	*15**	turbine	E	00:30	00:03	00:01	00:01	00:03	00:00	00:05
48611_2	77	*15**	turbine	E	04:40	00:03	00:01	00:01	00:01	00:00	00:07
48741_4	110	24	turbine	F	00:06	00:00	00:01	< 00:01	00:02	00:00	00:04
48741_7.5	84	*15**	turbine	F	00:07	00:00	00:01	< 00:01	00:01	00:00	00:06
48741_6	78	*15**	turbine	F	00:11	00:00	00:01	< 00:01	00:01	00:00	00:07
48741_9	109	*15**	turbine	F	00:08	00:00	00:04	< 00:01	00:02	00:00	00:06
48671_6	83	*15**	turbine	F	00:13	00:00	00:04	< 00:01	00:01	00:00	00:06
48741_0	92	*15**	turbine	F	10:13	00:00	00:01	00:01	00:01	00:00	00:04
48741_16	42†	*15**	turbine	F	50:06	00:00	00:02	00:01	00:01	00:00	00:16
48741_2	15†	*15**	turbine	F	00:12	00:00	00:02	00:02	00:10	00:00	00:34
48671_4	110	141	turbine	G	14:13	00:00	00:00	00:01	00:01	00:00	00:05
48741_12	37	*15**	turbine	G	09:45	00:00	00:00	00:03	00:17	00:00	149:52
48671_23	110	412	clapet	H	00:03	< 00:01	< 00:01	< 00:01	00:00	00:00	00:03
48671_8	110	146	clapet	H	00:09	< 00:01	00:02	00:01	00:00	00:00	00:05
48741_1	40†	*15**	clapet	H	00:14	00:01	< 00:01	00:02	00:00	00:00	00:06
48611_12	54†	*15**	clapet	H	00:16	00:02	00:01	00:03	00:00	00:00	00:06
48671_9	110	284	clapet	H	00:06	00:00	00:01	< 00:01	00:00	00:00	00:04

†seule 1 des 2 turbines en fonctionnement ; *exclusivement le débit réservé de *15 m^3/s* passant par le clapet en RD
durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

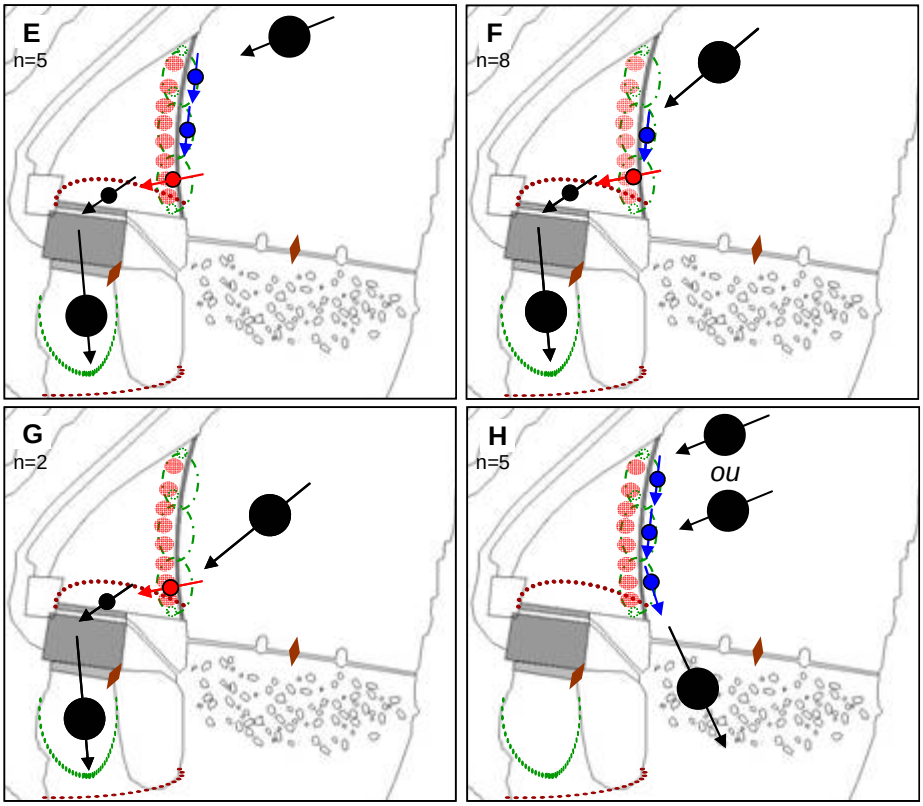


Figure 9.27 : Passages en 2009-2010 au travers du dispositif de répulsion de Biron par la zone aval BIDc (trajectoires-types E à G) ou passages par le clapet (trajectoire-type H) après avoir longé plus ou moins la totalité du dispositif. Cf. Fig. 9.23 pour annotations.

Code anguille	Débit turbiné	Débit déversé	Voie de passage	Type de trajectoire	Durée en zone de réception (en minutes)						
					BIG	BIDa	BIDb	BIDc	$BIT1_{amont}$	BIP	Aval
48741_8	36	*15**	turbine	I	00:13	00:07	00:09	00:00	00:03	00:00	09:45
48611_3	110	89	turbine	I	88:01	00:07	00:30	00:01	281:09	00:00	00:05
48611_4	29†	*15**	turbine	I	22:39	00:04	00:22	00:02	00:02	00:00	00:10
48741_11	27†	*15**	clapet	J	02:41	00:03	< 00:01	07:07	00:00	00:00	61:41
48741_19	30	*15**	clapet	J	277:38	00:00	02:42	120:18	00:00	00:00	43:36
48611_16	110	229	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:01
48611_20	110	409	barrage	K	00:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48611_26	110	212	barrage	K	00:06	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:08
48671_7.5	110	400	barrage	K	00:10	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:06
48671_1	110	335	barrage	K	13:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03
48611_11	110	72	barrage	K	216:31	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:14
48671_20	82	*15**	rivière	L	00:22	00:00	00:00	00:00	00:00	00:01	00:07
48671_14	110	272	rivière	L	01:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:37	13:02

†seule 1 des 2 turbines en fonctionnement ; *exclusivement le débit réservé de *15 m^3/s* passant par le clapet en RD

durée de présence dans la zone répulseur indiquée ; durée de traversée par la zone répulseur indiquée

Durée en zone BIP ; le temps total passé dans la rivière de contournement est de 25 min pour 48671_20 et 14h 22min pour 48671_14

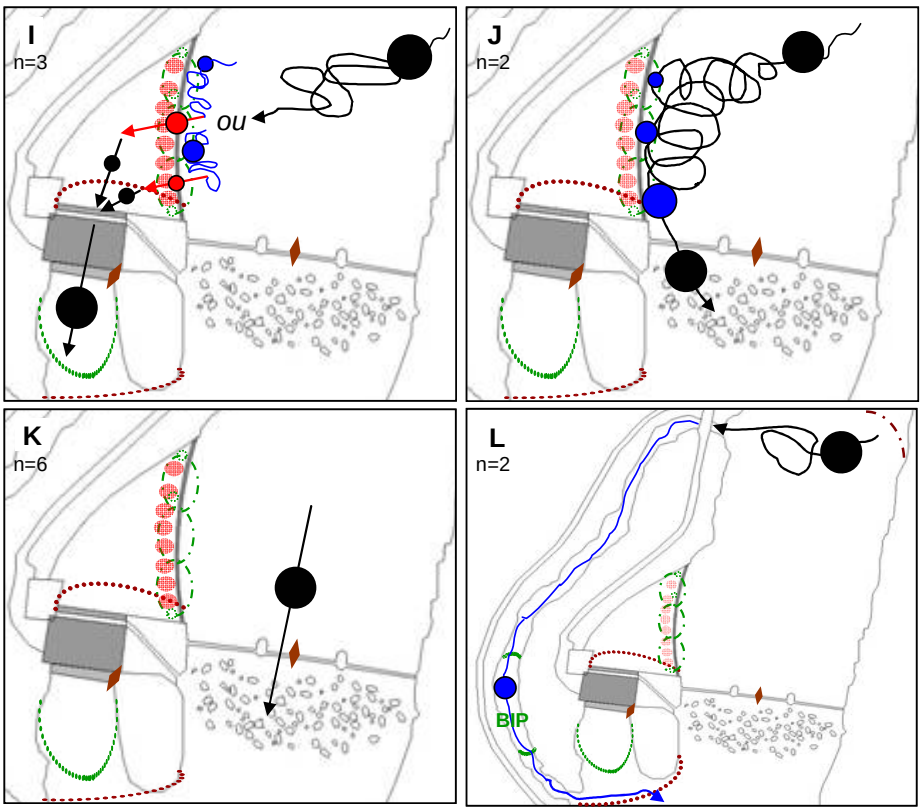


Figure 9.28 : Cas particuliers en 2009-2010 d'explorations au droit du dispositif de répulsion de Biron avant traversée de la barrière sonore (trajectoire-type I) ou passage par le clapet (trajectoire-type J), et passages directs par le barrage (trajectoire-type K) ou la rivière de contournement (trajectoire-type L) sans présentation dans les champs du dispositif. Cf. Fig. 9.23 pour annotations.

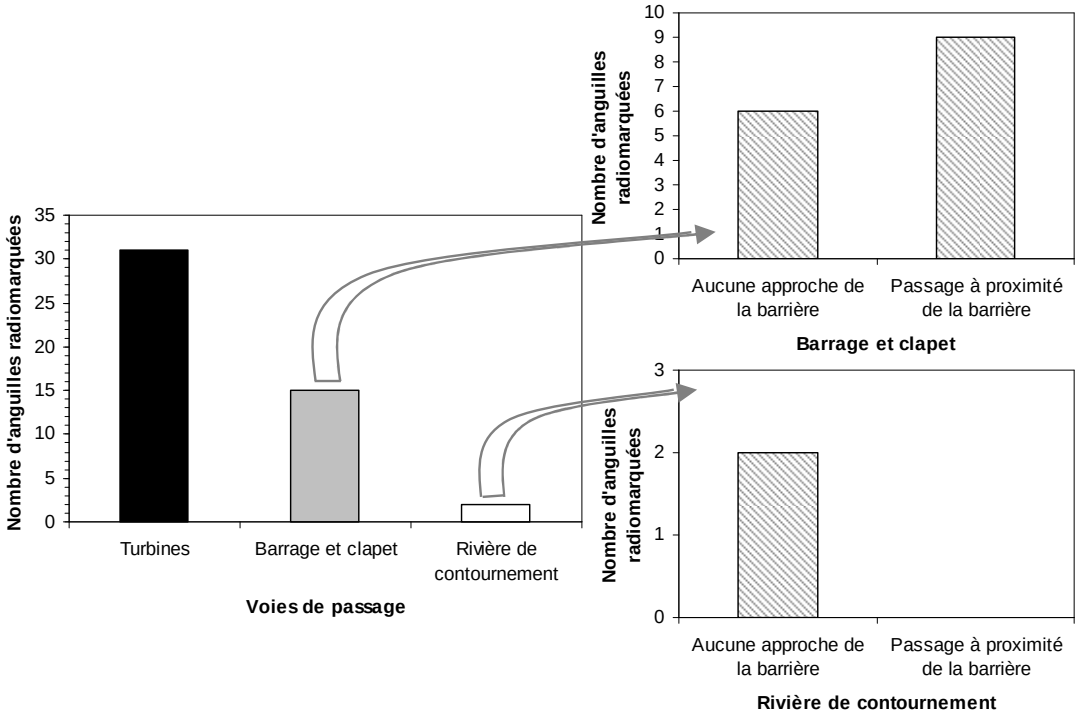


Figure 9.29 : Diagramme récapitulatif des voies de franchissement de Biron en présence de la barrière à infrasons en 2009-2010

9.3.4.5. Conclusions sur l'efficacité du dispositif à l'usine de Biron en 2009-2010

Après avoir exposé les résultats généraux sur le comportement des anguilles et les voies de passage empruntées à Biron dans les conditions de débit rencontrées en 2009-2010, les résultats plus particulièrement relatifs à la présence de la barrière à infrasons Profish sont maintenant synthétisés.

9.3.4.5.1. Approche de la barrière et voie de passage

Dans la configuration standard de Biron, en récapitulant l'information sur les 48 franchissements effectués à l'ouvrage en présence du dispositif sonore à 8 répulseurs, dans les conditions de débit de 2009-2010 (Figure 9.30), il y a eu :

- 8 franchissements directs (soit 17%) [a] <u>sans venue</u> ou enregistrement d'approche du dispositif à infrasons dont :

  - 5 passages directs par les clapets du barrage, dont 4 lors de déversements importants à ce niveau allant de 212 m^3/s à 409 m^3/s (rapport Qd/Qt=1.9 à 3.7), et 1 lors d'une plus faible surverse de 72 m^3/s (rapport Qd/Qt=0.7),
  - 2 passages directs par la rivière de contournement, dans des rapports de débit très différents (rapport Qd/Qt=0.2 et 2.5).

- 40 franchissements (soit 83%) [b] <u>avec au moins une venue</u> à la barrière sonore, dont :

  - 31 traversées de la barrière [c] suivies d'un passage par les turbines (55% en zone aval BIDc, 42% en zone centrale BIDb). Lors de ces traversées, le débit déversé était au minimum (15 m^3/s au clapet RD) dans 22 des 31 cas (71%), compris entre 24 m^3/s et 89 m^3/s (Qd/Qt=0.2 à 0.8) dans 4 cas et entre 133 m^3/s et 390 m^3/s (Qd/Qt=1.2 à 3.5) dans les 5 cas restants (Figure 9.30 et Figure 9.31).

- 9 franchissements par le barrage ou le clapet RD [d] après venue(s) aux répulseurs. Lors de ces approches de la barrière, le débit déversé était au minimum (15 m^3/s au clapet RD) dans 4 des 9 cas (44%) et compris entre 145 m^3/s et 412 m^3/s (Qd/Qt=1.3 à 3.7) dans les 5 cas restants. La zone préférentielle d'approche de la barrière a été la zone aval BIDc dans 44% des cas (BIDb : 33% des cas).

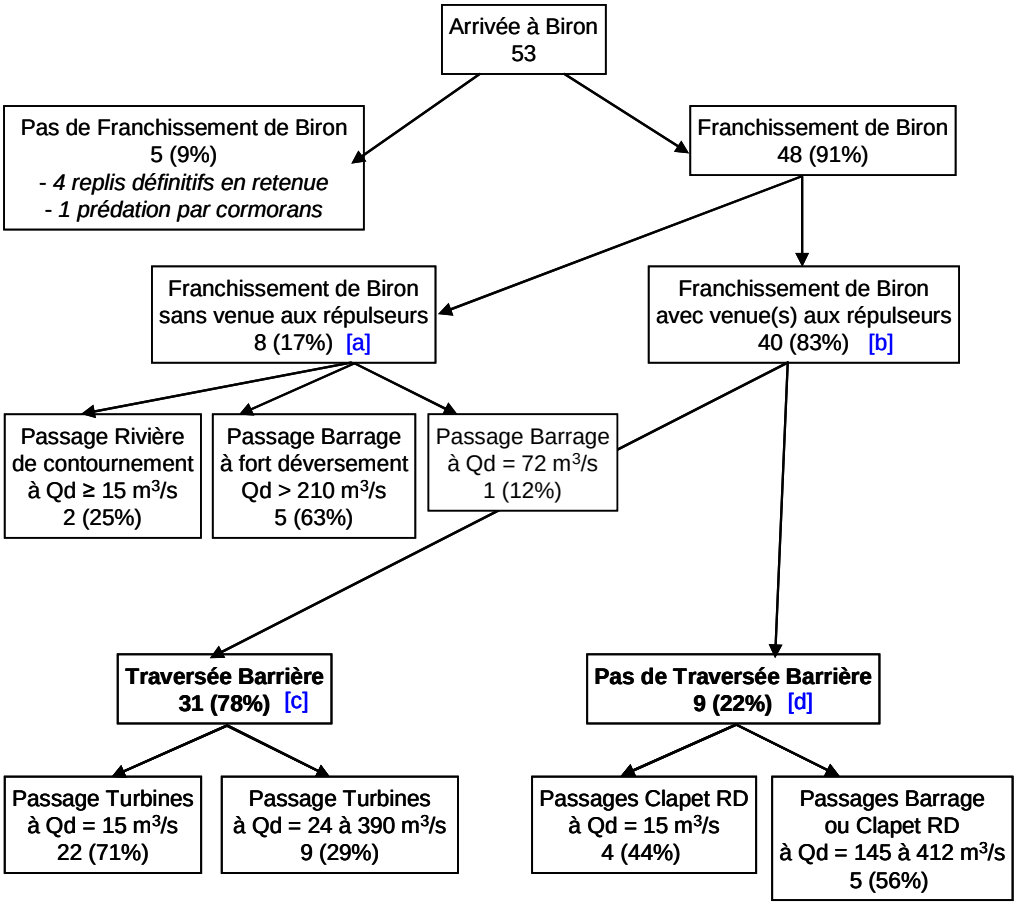


Figure 9.30 : Diagramme récapitulatif du franchissement de Biron : approches et voies de passage en présence du dispositif de répulsion par infrasons Profish dans les conditions de débit de 2009-2010

En l'absence de déversement au barrage autre que le débit réservé de 15 m^3/s concentré sur le clapet RD, il y a eu 22 traversées de la barrière, toutes suivies d'un franchissement par les turbines. Pour des déversements au barrage pourtant non négligeables (Qd=24 à 390 m^3/s), représentant de 21% jusqu'à 355% du débit turbiné déversé dans le by-pass, il y a encore eu 9 traversées de la barrière suivies d'un passage par les turbines. A noter que 6 des 31 traversées de la barrière ont eu lieu alors qu'une seule des deux turbines de l'usine était en fonctionnement.

Concernant les 9 anguilles qui n'ont pas traversé la barrière, 4 d'entre elles ont dévalé par le clapet RD (dont 2 après de longues prospections à ce niveau) sur un déversement minimum (15 m^3/s) ; dans 3 des 4 cas, une seule des deux turbines de l'usine était en fonctionnement (faible débit turbiné : 27 à 54 m^3/s). Pour les 5 autres anguilles, l'échappement plus rapide par le clapet RD ou le barrage s'est produit conjointement à des débits déversés plus importants (145 à 412 m^3/s), représentant de 131% jusqu'à 374% du débit turbiné déversé dans le by-pass (Figure 9.31).

Sans déversement au barrage (sauf Qd = 15 m³/s par clapet RD)				
Voie	Qt	Traj	Durée	Qd/Qt
turbine	15†	F	4	1.0
clapet	27†	J	7h	0.6
turbine	29†	I	28	0.5
clapet	30	J	123h	0.5
turbine	36	I	16	0.4
turbine	37	G	3	0.4
turbine	40†	B	1	0.4
clapet	40†	H	3	0.4
turbine	42†	F	3	0.4
turbine	43	E	5	0.4
turbine	47	B	3	0.3
clapet	54†	H	6	0.3
turbine	55†	B	2	0.3
turbine	71	B	3	0.2
turbine	77	E	5	0.2
turbine	78	F	1	0.2
turbine	79	B	2	0.2
rivière	82	L	–	0.2
turbine	83	F	4	0.2
turbine	84	A	1	0.2
turbine	84	B	5	0.2
turbine	84	F	1	0.2
turbine	90	E	2	0.2
turbine	92	F	2	0.2
turbine	98	B	2	0.2
turbine	103	C	1	0.1
turbine	109	F	4	0.1

Autres conditions : déversements au barrage > 15 m³/s					
Voie	Qd	Qt	Traj	Durée	Qd/Qt
turbine	24	110	F	1	0.2
turbine	26	55†	B	4	0.5
barrage	72	110	K	–	0.7
turbine	78	110	E	2	0.7
turbine	89	110	I	38	0.8
turbine	133	110	C	1	1.2
turbine	141	110	G	1	1.3
clapet	145	110	D	< 1	1.3
clapet	146	110	H	3	1.3
turbine	153	110	C	1	1.4
barrage	212	110	K	–	1.9
barrage	229	110	K	–	2.1
rivière	272	110	L	–	2.5
clapet	284	110	H	1	2.6
turbine	322	110	E	1	2.9
barrage	335	110	K	–	3.0
barrage	387	110	D	< 1	3.5
turbine	390	110	B	2	3.5
barrage	400	110	K	–	3.6
barrage	409	110	K	–	3.7
clapet	412	110	H	1	3.7

†seule 1 des 2 turbines en fonctionnement
trajectoires K et L : sans approche de la barrière sonore

Figure 9.31 : Trajectoires et durées globales passées dans la (les) zone(s) couvrant le dispositif de répulsion par infrasons Profish (en minutes sauf contre indication) suivant les voies de passage empruntées dans les conditions de débit de 2009-2010

9.3.4.5.2. Observations comportementales

Concernant le blocage au droit de la drome en présence du dispositif de répulsion par infrasons doté de 8 machines, il s'avère qu'à quelques rares exceptions près, le stationnement du poisson dans les champs des répulseurs reste toujours de courte durée. Seules 5 anguilles (10%) ont à faible débit plus longuement prospecté à proximité de la drome soutenant les répulseurs (trajectoire I : 16 à 38 min et trajectoire J : 7 h et 123 h, Figure 9.31). Ce comportement prospectif devant l'ouvrage à faible débit a déjà été observé lors des précédentes années sans répulseurs, de sorte qu'il serait trop hasardeux d'attribuer les allées et venues enregistrées en 2009-2010 à un effet du ressenti des répulseurs. D'ailleurs, à terme, 3 des 5 individus hésitants ont traversé la barrière à infrasons. On peut même se poser la question à savoir si justement, quel que soit ensuite la voie de passage empruntée, ne serait-ce que de telles durées passées dans les champs des répulseurs (en particulier pour les 2 trajectoires J) ne sont pas déjà un signe du peu d'efficacité du dispositif.

Les autres anguilles venues aux répulseurs ont transité rapidement. Malgré des débits déversés non négligeables représentant de 14% à 355% du débit turbiné déversé dans le by-pass, les anguilles ont stationné entre 1 et 38 min au maximum (moyenne : 5 min ; médiane : 2 min) au niveau de la barrière sonore avant de passer ensuite par les turbines. Plus les débits sont importants, plus la durée globale passée par le poisson dans les zones des répulseurs est réduite. Il apparaît donc clairement que les zones autour des répulseurs sont des zones de passage rapide, de transit et non pas des zones de stabulation des anguilles. C'était le cas lors d'une précédente étude (Bau *et al.*, 2008) où même en l'absence des répulseurs, il n'y avait pas de stationnement des animaux dans le secteur de la drome.

Ces zones autour de la drome ne sont pas naturellement des zones de stationnement qui se situent normalement vers les berges.

Enfin, on s'aperçoit également que le nombre de trajectoires-type au droit de l'ouvrage (trajectoires A à L) est élevé, traduisant ainsi plus d'une dizaine de comportements différents. Certaines trajectoires dépendent des débits mais d'autres, bien que différant entre elles, se produisent dans des conditions de milieu assez similaires. Cela dénote que les anguilles peuvent ne pas réagir de la même manière dans un contexte environnemental donné, d'où la relative difficulté d'interprétation de l'efficacité du dispositif comportemental testé.

En 2009-2010, l'efficacité « potentielle » de la barrière sonore placée à Biron est au maximum de 10% (4 sur 40 anguilles venues au contact de la barrière). Toutefois, il est indispensable de comparer les résultats des deux ans de tests avec ceux des années précédentes dans des configurations sans barrière à infrasons **(voir analyse § 10)** pour déterminer si ces 4 passages en dehors des turbines résultent de l'effet de la barrière ou de l'échappement « naturel » par le barrage.

10. Analyse de l'efficacité des deux barrières à infrasons par comparaison aux résultats des années précédentes

10.1. Analyse de l'efficacité à l'usine de Baigts

Après avoir caractérisé le comportement des 28 anguilles au droit de l'ouvrage de Baigts et leur voie de passage en présence du dispositif à infrasons en 2008-2009, nous avons conduit une approche comparative avec les 167 autres passages réalisés à Baigts durant 5 années de suivis en l'absence de dispositif à infrasons à l'ouvrage, soit de 2004-2005 à 2007-2008 (n=139 ; cf. Travade *et al.*, 2009) et 2009-2010 (n=28 ; cf. Bau *et al.*, 2011). En effet, les proportions entre voies de passage (Tableau 10.1) sont à priori différentes (χ^2 corr. Yates = 7.883, ddl=1, test exact de Fisher p=0.002), mais seule cette comparaison peut nous permettre d'évaluer réellement une éventuelle efficacité de la barrière à infrasons vis-à-vis des anguilles dévalantes.

Tableau 10.1 : Récapitulatif des voies de passages observées à Baigts au cours des 6 années

Baigts	Echappement (passage évacuateur)	Non d'échappement (passage turbines)
sans barrière à infrasons (5 années)	107 (64%)	60 (36%)
avec barrière à infrasons (2008-2009)	26 (93%)	2 (7%)

Le modèle établi sur la base des 195 passages d'anguilles observés à l'usine de Baigts depuis le début des expérimentations (2004) montre clairement que l'effet "débit" et l'effet "grilles" sont fortement significatifs et déterminants dans le franchissement de Baigts mais qu'il n'y a pas d'effet "répulseurs" significatif (p=0.314) (Tableau 10.2 ; Figure 10.1).

Tableau 10.2 : Modèle de régression logistique du taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs à Baigts en fonction du débit, de la longueur (Lt) de l'anguille et de la présence de barrière à infrasons

Equation du modèle testé	Variables du modèle	Signification (test χ^2)		% déviance expliquée	AIC	Indice de Kappa	% passages bien classés	% passages évacuateurs bien classés	% passages turbines bien classés
		des effets	du modèle						
P(échappement) = exp (eta) / (1 + exp (eta)) où : **eta = -6.24+3.32Qdev/Qtotal+0.008Lt+0.82repulseurTRUE**	Qdev/Qtotal	< 0.001	< 0.001	32.6%	172.3	0.666	85.6%	90.2%	75.8%
	Lt	< 0.001							
	Présence répulseurs	0.314							

Quelle que soit la taille de l'anguille, plus l'hydrologie est soutenue, avec des déversements au barrage importants, plus la probabilité d'échappement par les évacuateurs de crue est grande et bien sûr, plus la probabilité d'entraînement par les turbines est réduite.

Ceci est d'autant plus vrai pour des anguilles de grande taille. En l'absence de déversement et en l'absence de répulseurs (cf. courbes noires, Figure 10.1), la probabilité d'échappement est de 40% pour une anguille de 700 mm et de 60% pour une anguille de 800 mm. Le modèle met donc en évidence l'effet de la longueur des individus sur la perméabilité des grilles. Pour des anguilles de taille 700-800 mm[5], la perméabilité des grilles, et donc l'entraînement par les turbines, sont déjà faibles quelles que soient les conditions de débit. Autrement dit, en l'absence d'autre barrière comportementale comme une barrière à infrasons, le seul effet répulsif du plan des pré-grilles apparaît déjà nettement pour certaines tailles d'anguilles.

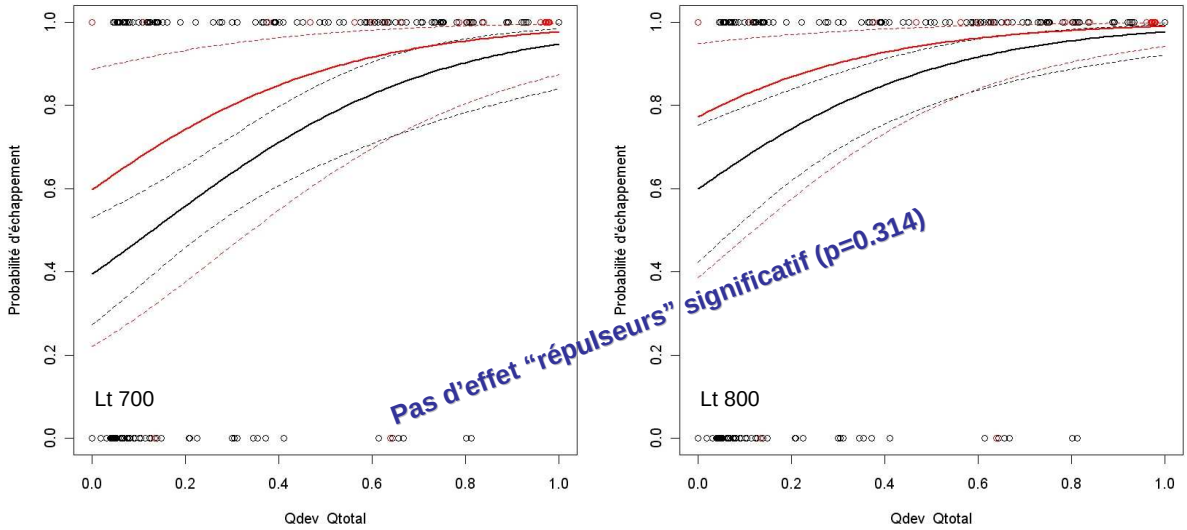


Figure 10.1 : Probabilités moyennes d'échappement par les ouvrages évacuateurs et intervalles de confiance à 95%, pour deux tailles d'anguilles parmi les mieux représentées (Lt 700 et 800 mm), en fonction du rapport débit déversé sur débit total du cours d'eau à Baigts durant 6 années de suivis : (5 ans sans répulseurs, 1 an avec répulseurs)

La seconde démarche statistique montre que, pour les 28 anguilles observées en présence des répulseurs, les probabilités de franchissement par les évacuateurs calculées sur la base du modèle établi avec les 167 passages en configuration sans répulseurs font que **la concordance entre la voie de passage ainsi prédite et celle réellement observée est bonne dans 24 cas sur 28 (86%).** La voie a donc divergé seulement pour 4 anguilles (Tableau 10.3). Deux ont dévalé par les turbines alors que leur probabilité d'échappement par les évacuateurs de crue prédite par le modèle était plus importante (p=0.604, p=0.928). A l'inverse, les 2 autres anguilles (cf. Tableau 10.4) sont passées par le barrage, mais même dans ces cas-là, il semble difficile de se prononcer aussi clairement sur un réel effet "répulseurs". En effet, pour les débits rencontrés, la voie prédite par le modèle était déjà aléatoire, avec quasiment autant de chances de dévaler par les turbines que de dévaler par les ouvrages évacuateurs de crue même en l'absence de répulseurs (p=0.473, p=0.499). Le test des écarts entre observations et prédictions n'est d'ailleurs pas significatif (Pearson $\chi^2 = 28$, ddl=27, p=0.411).

Tableau 10.3 : Concordance entre observations 2008-2009 et prédictions à partir du modèle initial calé sur 5 années sans répulseurs

Effectif prédit / Effectif observé	Non d'échappement (passage turbines)	Echappement (passage évacuateur)
Non d'échappement (passage turbines)	0	2
Echappement (passage évacuateur)	2	24

Effectif bien classé dans la voie (concordance observé/prédit) ; effectif mal classé dans la voie (divergence observé/prédit)

[5] La Lt moyenne des anguilles sur les 6 années de suivis est de 727 mm (n=195).

Tableau 10.4 : Récapitulatif des caractéristiques des 4 passages à Baigts en 2008-2009 déclassés par le modèle initial

Code anguille	Voie de passage	Probabilité d'échappement (modèle)	Débit total	Débit déversé	Débit turbiné	Nb turbines opérationnelles	Trajectoire-type	Nb zone(s) répulseurs visitées	Durée totale en zone(s) répulseurs
48471_20	turbines	p=0.604 (60%)	114	15	82	3 sur 3	A	1	00:01
48471_18	turbines	p=0.928 (93%)	232	148	68	3 sur 3	E	1	00:01
48561_21	évacuateur (exutoire)	p=0.499 (50%)	74	0	51	2 sur 3	G	3	00:11
48561_24	évacuateur (barrage)	p=0.473 (47%)	96	10	69	3 sur 3	F	2	00:26

En conclusion, pour des classes de débits et de tailles d'anguilles similaires, les taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs observés à Baigts en 2008-2009 restent, dans une très large majorité des cas (86%), conformes aux valeurs prévues par la modélisation de l'échappement calée sur les 5 autres années en l'absence du dispositif à infrasons. **Cela dénote qu'il existe bien un effet répulsif du plan des pré-grilles à Baigts, mais qu'il n'est pas significativement influencé par la présence de la barrière à infrasons.**

10.2. Analyse de l'efficacité à l'usine de Biron

Une démarche analytique comparable à celle menée à Baigts a été adoptée pour le site de Biron. Après avoir caractérisé le comportement des 78 anguilles au droit de l'ouvrage de Biron et leur voie de passage en présence du dispositif à infrasons en 2008-2009 (n=32) et 2009-2010 (n=46[6]), nous avons conduit une approche comparative avec les 54 autres passages réalisés à Biron durant 2 années de suivis en l'absence de dispositif à infrasons à l'ouvrage, soit en 2006-2007 (n=20[5] ; Subra *et al.*, 2008) et 2007-2008 (n=34 ; Bau *et al.*, 2008). En effet, même si à priori les proportions entre voies de passage (Tableau 10.5) sont différentes en 2008-2009 (χ^2 corr. Yates = 5.737, ddl=1, p=0.017) et non significativement différentes en 2009-2010 (χ^2 corr. Yates = 0.094, ddl=1, p=0.759) ou globalement (χ^2 corr. Yates = 2.317, ddl=1, p=0.128), seule cette comparaison peut nous permettre d'évaluer réellement une éventuelle efficacité de la barrière à infrasons vis-à-vis des anguilles dévalantes.

Tableau 10.5 : Récapitulatif des voies de passages observées à Biron au cours des 4 années

Biron	Echappement (passage évacuateur)	Non d'échappement (passage turbines)
sans barrière à infrasons (2 années)	15 (28%)	39 (72%)
avec barrière à infrasons (total 2 années)	33 (42%)	45 (58%)
avec barrière à infrasons (2008-2009)	*18 (56%)*	*14 (44%)*
avec barrière à infrasons (2009-2010)	*15 (33%)*	*31 (67%)*

Le modèle établi sur la base des 132 passages d'anguilles observés à l'usine de Biron depuis le début des expérimentations (2006) montre clairement que l'effet "débit" est fortement significatif et déterminant dans le franchissement, mais qu'il n'y a pas d'effet "répulseurs" significatif (p=0.179), et aussi bien en 2008-2009 avec une barrière à infrasons à 5 machines (p=0.201) qu'en 2009-2010 avec une barrière à infrasons à 8 machines (p=0.308) (Tableau 10.6 ; Figure 10.2).

[6] Les dévalaisons par la rivière de contournement ont été exclues de l'analyse dans les deux cas (n=2 et 1 respectivement)

Tableau 10.6 : Modèle de régression logistique du taux d'échappement par les ouvrages évacuateurs à Biron en fonction du débit et de la présence de barrière à infrasons

Equation du modèle testé	Variables du modèle	Signification (test χ^2)		% déviance expliquée	AIC	Indice de Kappa	% passages bien classés	% passages évacuateurs bien classés	% passages turbines bien classés
		des effets	du modèle						
P(échappement) = exp (eta) / (1 + exp (eta)) où : **eta = -4.825+8.262Qdev/Qtotal+0.692repulseurTRUE**	Qdev/Qtotal	< 0.001	< 0.001	42.2%	105.9	0.666	84.8%	75.0%	90.5%
	Présence répulseurs	0.179							

Ainsi, à Biron, en l'absence de déversement, la probabilité d'entraînement par les turbines est maximale, que ce soit en l'absence ou en présence de répulseurs (Figure 10.2). Plus l'hydrologie est soutenue, avec des déversements au barrage importants, plus la probabilité d'échappement par les évacuateurs est grande et bien sûr, plus la probabilité d'entraînement par les turbines est réduite, que ce soit en l'absence ou en présence de répulseurs.

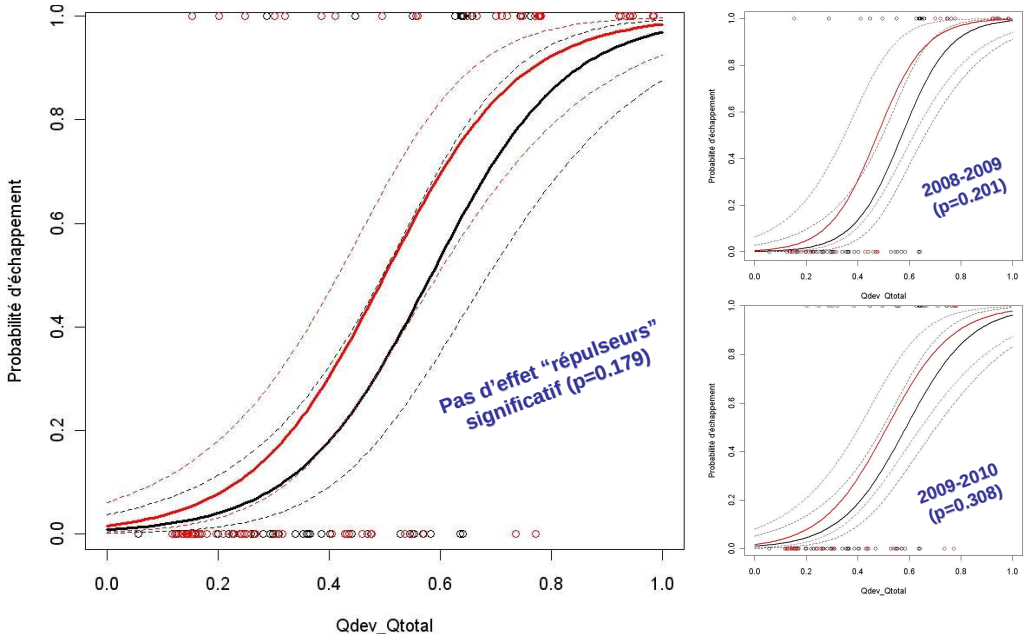


Figure 10.2 : Probabilités moyennes d'échappement par les ouvrages évacuateurs et intervalles de confiance à 95%, en fonction du rapport débit déversé sur débit total du cours d'eau à Biron durant 4 années de suivis : (▒ 2 ans sans répulseurs, ▒ 2 ans avec répulseurs)

La seconde démarche statistique montre que, pour les 78 anguilles observées en présence des répulseurs, les probabilités de franchissement par les évacuateurs calculées sur la base du modèle établi avec les 54 passages en configuration sans répulseurs :

- la concordance entre la voie de passage ainsi prédite par le modèle et celle réellement observée en 2008-2009 est bonne dans 29 cas sur 32 (91%). Le test d'écart entre observations et prédictions n'est d'ailleurs pas significatif (Pearson χ^2 = 32, ddl=29, test exact de Fisher p=0.320). La voie a donc divergé seulement pour 3 anguilles (Tableau 10.7). Toutes les 3 ont dévalé par les évacuateurs de crue alors que leur probabilité moyenne d'échappement par cette voie prédite par le modèle était très faible (p=0.008, p=0.135) à faible (p=0.298). L'une d'entre elles (anguille 48561_0 ; cf. Tableau 10.8) a bien dévalé par le clapet en situation d'hydrologie assez peu favorable, mais sans avoir approché des répulseurs. Les 2 autres ont dévalé par le clapet à débits un peu plus favorables et après avoir transité rapidement (≤1 min) par l'un des champs de détection couvrant les 4-5 m de part et d'autre de la barrière sonore : champ aval BIDc couvrant aussi en partie la voie clapet (anguille 48471_16) ou champ amont BIDa (anguille 48561_13). Dans ces deux cas aussi, il semble vraiment difficile de conclure à une action de la barrière à infrasons. On peut y voir un simple artéfact de détection de BIDc lors du passage par surverse au clapet de l'anguille 48471_16, et on peut aussi se poser la question pour l'anguille 48561_13 à savoir s'il s'agit d'une simple interception de détection sur une trajectoire « classique » vers le clapet malgré l'hydrologie assez peu favorable (cas anguille 48561_0) ou s'il s'agit d'un bref mais réel effet répulsif de la barrière à infrasons.

- la concordance entre la voie de passage ainsi prédite par le modèle et celle réellement observée en 2009-2010 est bonne dans 36 cas sur 46 (78%). Le test d'écart entre observations et prédictions reste non significatif (Pearson χ^2 = 46, ddl=45, test exact de Fisher p=0.431). La voie a ainsi divergé pour 10 anguilles (Tableau 10.9). Trois ont dévalé par les turbines alors que leur probabilité moyenne d'échappement par les évacuateurs de crue prédite par le modèle était plus importante (p=0.606, p=0.877, p=0.916). Deux présentaient des probabilités quasi similaires entre les 2 voies de passages (turbines/évacuateurs) (p=0.465, p=0.473). L'anguille 48611_11 a bien dévalé par le barrage en situation d'hydrologie assez peu favorable, mais sans avoir approché des répulseurs. Les anguilles 48741_11 et 48741_19 ont dévalé par le clapet à des débits peu favorables, mais après avoir exploré très longuement le dispositif. Dans ces deux cas aussi, il semble vraiment difficile de conclure à une action de la barrière à infrasons. En effet, l'importance du temps passé à proximité des répulseurs (7h, 123h) pose question sur l'efficacité de ceux-ci : un effet réel des répulseurs ne devrait-il pas se traduire par l'éloignement assez rapide d'une anguille entrée dans l'un de ses champs d'action ? En conséquence, il semblerait qu'à Biron, en 2009-2010, seulement 2 anguilles (48741_1, 48611_12) aient été "répulsées" et rapidement guidées vers le clapet. Cette faible durée d'exposition aux répulseurs se soldant par un passage par le clapet à faible débit pourrait traduire l'effet de la barrière à infrasons. Mais même ces deux derniers cas posent interrogation, puisqu'une des deux turbines de l'usine était arrêtée, et on peut alors se demander si ces déflexions vers le clapet résultent seulement du ressenti de l'effet sonore donc de l'action efficace de la barrière à infrasons ou s'il peut s'agir d'une simple trajectoire en lien avec l'arrêt et le manque « d'attrait » des turbines ou bien une combinaison des deux phénomènes.

Tableau 10.7 : Concordance entre observations 2008-2009 et prédictions à partir du modèle initial calé sur 2 années sans répulseurs

Effectif prédit / Effectif observé	Non d'échappement (passage turbines)	Echappement (passage évacuateur)
Non d'échappement (passage turbines)	14	0
Echappement (passage évacuateur)	3	15

Effectif bien classé dans la voie (concordance observé/prédit) ; effectif mal classé dans la voie (divergence observé/prédit)

Tableau 10.8 : Récapitulatif des caractéristiques des 3 passages à Biron en 2008-2009 déclassés par le modèle initial

Code anguille	Voie de passage	Probabilité d'échappement (modèle)	Débit total	Débit déversé	Débit turbiné	Nb turbines opérationnelles	Trajectoire-type	Nb zone(s) répulseurs visitées	Durée totale en zone(s) répulseurs
48561_0	évacuateur (clapet RD)	p=0.008 (1%)	98	15	78	2 sur 2	K	0	00:00
48561_13	évacuateur (clapet RD)	p=0.135 (14%)	195	80	110	2 sur 2	C	1	< 00:01
48471_16	évacuateur (clapet RD)	p=0.298 (30%)	228	113	110	2 sur 2	H	1	< 00:01

Tableau 10.9 : Concordance entre observations 2009-2010 et prédictions à partir du modèle initial calé sur 2 années sans répulseurs

Effectif prédit / Effectif observé	Non d'échappement (passage turbines)	Echappement (passage évacuateur)
Non d'échappement (passage turbines)	28	3
Echappement (passage évacuateur)	7	8

Effectif bien classé dans la voie (concordance observé/prédit) ; effectif mal classé dans la voie (divergence observé/prédit)

Tableau 10.10 : Récapitulatif des caractéristiques des 10 passages à Biron en 2009-2010 déclassés par le modèle initial

Code anguille	Voie de passage	Probabilité d'échappement (modèle)	Débit total	Débit déversé	Débit turbiné	Nb turbines opérationnelles	Trajectoire-type	Nb zone(s) répulseurs visitées	Durée totale en zone(s) répulseurs
48611_7.5	turbines	p=0.916 (92%)	505	390	110	2 sur 2	B	2	00:02
48611_15	turbines	p=0.877 (88%)	437	322	110	2 sur 2	E	3	00:01
48611_0	turbines	p=0.606 (61%)	268	153	110	2 sur 2	C	1	00:01
48671_2	évacuateur (clapet RD)	p=0.465 (47%)	260	145	110	2 sur 2	D	1	< 00:01
48671_8	évacuateur (clapet RD)	p=0.473 (47%)	261	146	110	2 sur 2	H	3	00:03
48611_11	évacuateur (barrage)	p=0.105 (10%)	187	72	110	2 sur 2	K	0	00:00
48741_11	évacuateur (clapet RD)	p=0.052 (5%)	47	15	27	1 sur 2	J	3	07:10
48741_19	évacuateur (clapet RD)	p=0.042 (4%)	50	15	30	2 sur 2	J	2	123:00
48741_1	évacuateur (clapet RD)	p=0.023 (2%)	60	15	40	1 sur 2	H	3	00:03
48611_12	évacuateur (clapet RD)	p=0.013 (1%)	74	15	54	1 sur 2	H	3	00:06

11. Conclusions

Les deux sites de Biron-Castétis (usine Topwatt) et de Baigts-de-Béarn (usine EDF) ont été choisis pour leur complémentarité : implantation en entrée de canal d'amenée à Biron pour examiner la capacité de la barrière à infrasons à repousser les anguilles vers un exutoire situé au barrage (configuration standard fréquente pour les centrales hydroélectriques de basse chute) et implantation derrière un plan de grilles à 3 cm d'espacement inter-barreaux à Baigts. Cette seconde configuration est plus atypique dans la mesure où les répulseurs sont donc placés derrière un plan de pré-grilles qui constitue déjà pour certaines tailles d'anguilles une barrière physique dont l'effet répulsif a été mesuré (Travade *et al.*, 2009).

Une investigation préliminaire effectuée à l'usine de Baigts par un bureau d'étude spécialisé (01 dB-Metravib) a montré que les infrasons étaient susceptibles d'engendrer, par résonance, des vibrations des structures de prise d'eau. A Baigts, ces vibrations apparaissent pour des fréquences supérieures à 14 Hz, ce qui a motivé un avis d'EDF CIH de rester dans une gamme de fréquences inférieures à 11-12 Hz. A Biron, le problème ne s'est pas posé puisque les répulseurs sont installés à une distance importante de la structure de la prise d'eau. Ces tests préliminaires de détermination des gammes de fréquences non perturbantes sont spécifiques à l'usine de Baigts et ne peuvent pas être extrapolées à d'autres sites qui devront faire l'objet **d'investigations similaires avant toute implantation de barrière à infrasons.**

S'agissant du fonctionnement des dispositifs, les barrières à infrasons n'ont pas été opérationnelles de façon autonome (entre 15 et 30 interventions par an selon le site). De ce seul point de vue, il y a donc eu trop de problèmes de fonctionnalité pour pouvoir préconiser à l'exploitant l'utilisation pérenne des barrières à infrasons dans leur design actuel sur des sites de centrales hydroélectriques de même configuration que ceux testés au cours des deux ans.

S'agissant de l'efficacité biologique des dispositifs, que ce soit dans la configuration d'un site standard bien représentatif comme Biron ou dans celle d'un site plus atypique tel que Baigts, les barrières à infrasons n'ont pas eu d'effets significatifs sur les voies de franchissement des anguilles.

- Sur le site de Baigts, la présence des répulseurs sonores ne modifie en rien les voies de passages empruntées par les anguilles qui sont fortement influencées par les conditions de débits et dans une moindre mesure par le plan de grilles.

- Sur le site de Biron, là encore, la barrière sonore ne modifie pas les voies de passages au droit de l'ouvrage qui restent contrôlées par les conditions hydrologiques.

L'utilisation de la technique de télémétrie a permis en outre d'observer de façon grossière le comportement des anguilles à l'approche de la barrière à infrasons. Sur le site de Biron, non influencé par les grilles de prise d'eau, on ne constate ni d'hésitations à franchir la barrière ni d'explorations de cette barrière, laissant à penser qu'elle ne provoque pas d'effet répulsif sur l'anguille argentée en migration active.

En conclusion, au vu des problèmes de fonctionnalité rencontrés et de l'absence d'efficacité avérée du dispositif sur les deux sites au cours des deux années, il n'est pas possible de recommander aux exploitants de centrales hydroélectriques de même configuration que celles où ont été conduits les tests l'utilisation des barrières à infrasons Profish Technology dans leur design actuel pour limiter l'entraînement d'anguilles argentées dans les turbines lors de leur migration de dévalaison.

12. Références

[1] – Knudsen F.R., Enger P.S., Sand O., 1994. Avoidance response to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Journal of Fish Biology, 45 : 227-233.

[2] – Sand O., Enger P.S., Karlsen H.E., Knudsen F.R., Kvernstuen T., 2000. Avoidance responses to infrasound in downstream migrating European silver eels, *Anguilla anguilla*. Environmental Biology of Fishes, 57 : 327-336.

[3] – Sonny D., 2009. La dévalaison des poissons dans la Meuse moyenne belge. Thèse de doctorat présentée le 4/04/2006. Cahiers d'éthologie, Vol. 22, fascicule 3-4. ISSN 0778-7103. 267 p.

[4] – Sonny D., 2007. Les avancées technologiques récentes en matière de protection des anguilles argentées sur les prises d'eau industrielles. Exposé « Journées Anguille », Château de Colonster. Université de Liège, 7 Novembre 2007.

[5] – Petat F., 2008. Mesures vibratoires sur la passerelle d'accès à la chambre d'eau. Centrale hydroélectrique de Baigts. Rapport 01dB-Metravib CDE14604/RAP/001/A établi à la demande de Profish Technology. 22 p.

[6] – Sonny D., Lafleur F., Beauchemin R. (2009). Mesures acoustiques de la barrière à infrasons installée à Biron : comparaison des configurations 2008 et 2009. 11 p. *voir en Annexe 1*.

[7] – Fontaine Y.A., 1994. L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335 : 171-186.

[8] – 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.

[9] – Durif C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*. Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse de doctorat en Ecologie aquatique, Université Toulouse III. 348 p.

[10] – 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.

[11] – Bau F., Gomes P., Frey A., Mennessier JM., Baran P., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2010. 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.

[12] – Bau F., Gomes P., Lafitte J., Baran P., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2011. 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, 100 p.

[13] – 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.

[14] – 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. 66 p.

13. Annexes

Annexe 1 : Note de Sonny *et al.* (2009) « Mesures acoustiques de la barrière à infrasons installée à Biron : comparaison des configurations 2008 et 2009 ».

Mesures acoustiques de la barrière à infrasons installée à Biron : comparaison des configurations 2008 et 2009.

Sonny, D.[†] ; Lafleur F.[*] ; Beauchemin, R.[*]
Novembre 2009

[†] Profish Technology Chemin des Pêcheurs 114, 5100 Jambes, Belgique
[*] Hydro-Québec – Institut de Recherche d'hydro Québec (I.R.E.Q.) – Unité Mécanique, Métallurgie et Hydroéolien. Boul. Lionel Boulet 1800, J3X 1S1 Varennes, Québec, Canada

Remarque préliminaire : Cette note représente une copropriété entre Profish et l'I.R.E.Q. et ne peut être diffusée en dehors des partenaires du projet de recherche sur l'anguille (commande CNR n°4200009931) sans autorisation des auteurs.

1. Introduction

Cette note présente les résultats de mesures acoustiques réalisées par Profish sur le site hydroélectrique de Biron Castetis, où une barrière à infrasons est à l'épreuve depuis octobre 2008 pour réduire le nombre d'anguilles passant par les turbines. Ces données ont été analysées, validées et mises en graphique par l'I.R.E.Q.

Les résultats biologiques acquis en 2008 sur le site de Biron ont montré qu'une proportion importante d'anguilles a franchi l'écran acoustique installé à l'amont de la prise d'eau. Sur la base de cette première session expérimentale, il semble que la configuration de la barrière à infrasons installée, identique à celle de la centrale de Tihange en Belgique, ne soit pas adéquate pour guider des anguilles argentées en dévalaison vers le débit d'exutoire réservé sur le clapet.

Il a dès lors été décidé de caractériser les paramètres acoustiques de la configuration installée en 2008, afin d'orienter des améliorations pour la session expérimentale de 2009.

Durant l'été 2009, Profish a réalisé des tests sur l'anguille en lac, dans le but d'essayer de mieux quantifier la réponse de fuite des anguilles à différents niveaux d'émission d'infrasons. Nous espérions pouvoir définir les seuils à atteindre sur le site de Biron pour espérer voir une réponse de fuite plus marquée. Malheureusement, cette expérience n'a pas ramené les données espérées, car le dispositif expérimental s'est révélé inapproprié (stress important des poissons maintenus en cage).

Il a donc été décidé d'ajouter à Biron les 3 générateurs installés à Baigts l'année passée, afin augmenter la puissance du signal au maximum de nos capacités.

Profish a entamé un partenariat de recherche avec l'I.R.E.Q. (Hydro-Québec) en juin 2009. Dans le cadre de ce partenariat, nous avons pu bénéficier de l'expertise de deux acousticiens (François Lafleur, chercheur, et Real Beauchemin, technicien expert) pour la caractérisation acoustique de notre signal. Des premières données ont été acquises en Belgique, et ensuite au Québec.

2. Protocole de mesure :

Les mesures acoustiques à Biron ont été réalisées avec un Hydrophone Brüel & Kjaer type BK 8105 couplé à un amplificateur de charge Brüel & Kjaer type 2635. Le signal a été enregistré à une fréquence d'acquisition de 1000 Hz sur l'ensemble de la période de mesure. Ce matériel de mesure a aimablement été mis à disposition par l'I.R.E.Q.

Deux types de mesures ont été réalisés : i) mesure dynamique par passage le long de la drôme, de l'amont vers l'aval ; ii) mesures ponctuelles sur point fixe.

Lors des mesures dynamiques, le point de départ de l'enregistrement se situait à environ 6 m à l'amont de la machine N°5. En faisant progresser le bateau à la main le long de la drôme à une vitesse constante, les mesures se terminaient contre le mur en béton de la berge à l'extrémité aval de la drome, à environ 6 m en aval de la machine N°1 (cf Figure 1). Chaque mesure a duré entre 90 et 130 secondes.

Figure 1 : schéma de l'installation et visualisation du protocole de mesures acoustiques.

Durant les passages, l'hydrophone était suspendu au bord extérieur du zodiac (le bord intérieur étant celui contre la drome) à une profondeur fixe de 2 m. Selon cette configuration, au droit d'un générateur (situé à une profondeur de 1.75 m), la distance entre le générateur et l'hydrophone était de 3.5 m.

Le niveau de pression sonore (en Pa) peut être utilisé pour estimer le niveau d'accélération des particules d'eau (en m/s^2). Cette estimation est valide pour une onde qui se propage en champ libre. L'utilisation de cette transformation doit être utilisée ici comme une approximation car les mesures sont effectuées en champ proche (distance égale environ 25%

de la longueur d'onde) avec la présence plus ou moins importante d'obstacles (autres machines, fond). Ces conditions peuvent causer une surestimation de l'évaluation de l'accélération des particules d'eau.

L'unité de mesure est le Pa. Pour transformer les mesures de pression en accélération, nous avons utilisé la formule suivante :

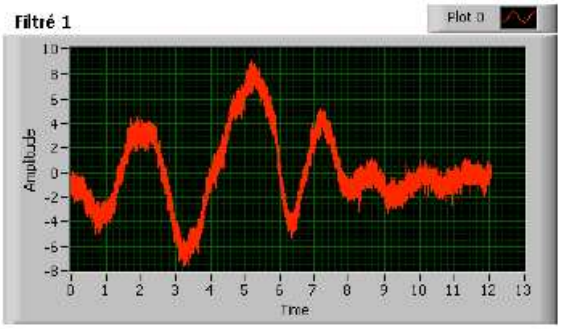
$A = (P \times \omega) / \varphi.c$
Avec :
$\omega = 2 \pi \times F$
$\varphi = 1000$
$c = 1435$ m/s

3. Résultats

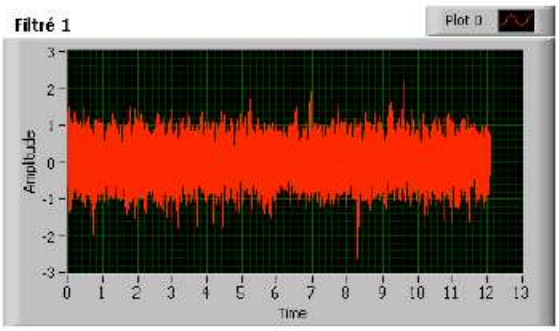
3.1. Mesure du blanc de la rivière

Préalablement aux mesures acoustiques, un blanc (bruit de fond) de la rivière a été enregistré à l'extrémité amont de la drôme.

La figure suivante illustre le bruit de fond de la rivière :



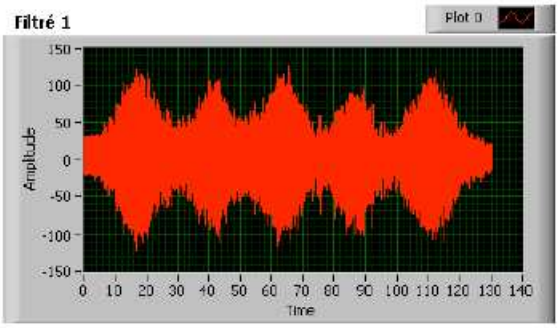
On remarque beaucoup de composante basse fréquence qui vienne nuire à l'analyse du signal. Un algorithme de filtration a été développé pour permettre l'analyse du signal provenant des machines sans l'influence. Cet algorithme sera appliqué à l'ensemble de l'analyse des signaux de machine.



Le bruit de fond de la rivière filtré avec un filtre passe haut de 5 Hz est de l'ordre de 1 Pa crête.

3.2. Passage configuration 2008 à 12.5 Hz

Le premier passage s'est effectué avec uniquement les machines 1 à 5 en fonctionnement, identique à la configuration de 2008. La fréquence de mesure était 12.5 Hz, soit le milieu du range 10-15 Hz utilisé en mode « sweep » l'année passée.



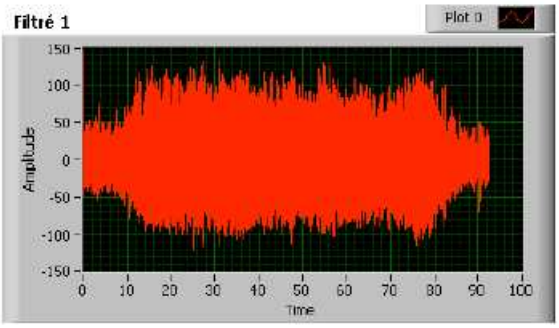
L'empreinte acoustique de chaque générateur est bien visible. Au droit d'une machine, la pression atteint un peu plus de 100 Pa, alors qu'elle redescend aux environs de 50 Pa entre deux générateurs. La barrière possède donc un niveau de son minimal 50 fois supérieur au bruit de fond de la rivière.
La conversion mathématique de ces données en accélération donne les valeurs suivantes :

100 Pa = 0.5 cm/s^2
50 Pa = 0.27 cm/s^2

A configuration identique (une machine tous les 12 m, F = 12.5 m), la même mesure à Tihange donne des valeurs de crête de 200 Pa et des valeurs intermédiaires d'environ 100 Pa, soit une puissance de signal deux fois plus importantes. La seule différence à Tihange est la profondeur des machines, qui est de 2.5 m au lieu de 1.75 m à Biron, ainsi que la profondeur du milieu qui est de 6 m contre 4 m à Biron. Il est néanmoins difficile à ce stade d'expliquer une différence si importante entre les deux barrières.

3.3. Passage configuration 2009 à 12.5 Hz

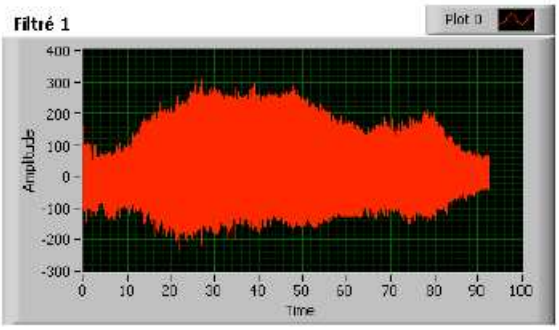
Le second passage s'est effectué avec les 8 machines en fonctionnement, soit la configuration 2009. La fréquence de mesure était 12.5 Hz par souci de comparaison.



Il devient difficile de distinguer l'empreinte acoustique de chaque machine, le signal semble fusionner sur toute la longueur de la prise d'eau autour d'une valeur d'environ 75 à 100 Pa, soit une accélération de 0.4 cm/s^2 à 0.5 cm/s^2.

3.4. Passage configuration 2009 à 15 Hz.

Le troisième passage s'est effectué avec les 8 machines fixées à 15 m, soit la puissance maximale de la barrière dans sa nouvelle configuration.

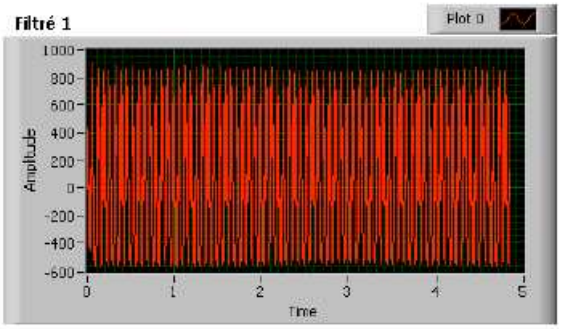


Dans cette mesure qui s'est fait plus lentement que la mesure précédente, on devine la diminution du signal entre la machine 5 et la machine 4, où 12 m d'intervalle subsiste. Ensuite on voit un signal plus important qui semble fusionner, puis une réduction progressive du signal au fur et à mesure que l'on arrive vers l'extrémité de la drôme.

La puissance au droit de la machine 5 est de l'ordre de 200 Pa, soit 1 cm/s^2, et redescend à environ 75 Pa à mi-distance avec la machine 4, ensuite cela remonte à environ 250 Pa (1.3 cm/s^2), puis on redescend progressivement à environ 150 Pa devant les 3 dernières machines (0.8 cm/s^2). Cette diminution de la puissance du signal pourrait être liée à la diminution progressive de la profondeur, qui entraîne une moins bonne capacité de propagation.
A noter, entre la machine 1 et le mur en béton, une diminution à 50 Pa (0.27 cm/s^2), soit un niveau de son qui a déjà été franchi l'année passée par les anguilles.

3.5. Mesure fixe à 2 m en aval de la machine 1, à 2 m de profondeur, 15 Hz.

Etant donné que la zone aval de la machine 1 semble être une zone où le signal diminue rapidement, une mesure fixe à 2 m en aval de la machine 1 a été réalisée, à 2 m de profondeur, pour observer le niveau de son lorsqu'on se rapproche du générateur à 15 Hz telle qu'une anguille pourrait le faire.

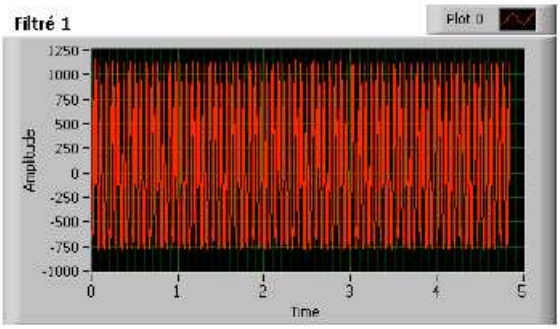


L'intensité du signal est régulière et de l'ordre de 800 Pa, soit 4.4 cm/s2. Cette valeur est 4 fois supérieure à celle observée à 3.5 m de la machine 5 (seconde machine qui n'a qu'une seule machine voisine) qui était de l'ordre de 200 Pa.

3.6. Mesure au droit de la machine 1, sur le fond sous la drome à 15 Hz.

Rem : Pour les mesures réalisées sur le fond, l'accélération calculée est probablement surestimée en raison d'une augmentation de la pression par la réflexion du fond. Cette augmentation de la pression (probablement physiquement perceptible par le poisson) n'engendre pas forcément une augmentation proportionnelle de l'accélération.

Le niveau de signal au niveau du fond, au droit d'une machine sous la drome, soit à environ 1.7 m de la machine, à 15 Hz, a été ensuite mesuré.

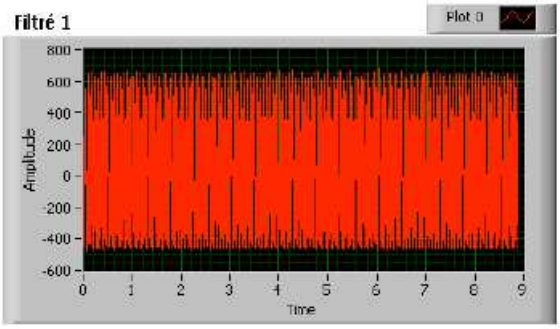


L'amplitude du signal est de l'ordre de 1000 Pa, soit 5.5 cm/s^2. Donc on peut conclure que le signal perçu sur le fond ne semble pas moins important que celui perçu en pleine eau à une distance équivalente.

3.7. Mesure à mi-distance machine 1 et 6, sur le fond à 15 Hz

Rem : Pour les mesures réalisées sur le fond, l'accélération calculée est probablement surestimée en raison d'une augmentation de la pression par la réflexion du fond. Cette augmentation de la pression (probablement physiquement perceptible par le poisson) n'engendre pas forcément une augmentation proportionnelle de l'accélération.

Une mesure entre les machines 1 et 6 à 15 Hz, espacées de 6 m, sur le fond, sous la drôme a ensuite été réalisée. Ce point correspond à la zone qui reçoit en théorie le signal le moins fort entre deux machines espacées de 6 m.

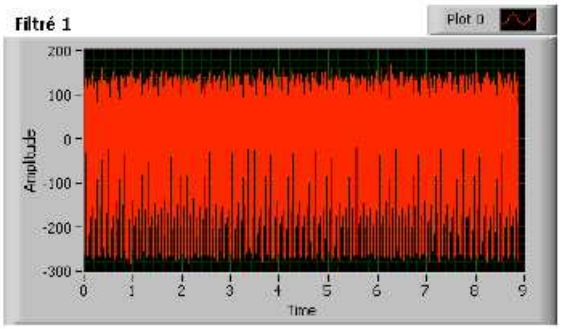


L'amplitude du signal est de l'ordre de 600 Pa, soit 3.28 cm/s^2.

3.8. Mesure à mi-distance machine 4 et 5 sur le fond à 15 Hz.

Rem : Pour les mesures réalisées sur le fond, l'accélération calculée est probablement surestimée en raison d'une augmentation de la pression par la réflexion du fond. Cette augmentation de la pression (probablement physiquement perceptible par le poisson) n'engendre pas forcément une augmentation proportionnelle de l'accélération.

Enfin, une mesure entre les machines 4 et 5 à 15 Hz, espacées de 12 m, sur le fond sous la drôme a été réalisée. Ce point correspond à la zone qui reçoit le signal le moins fort entre deux machines espacées de 12 m.



L'amplitude du signal mesuré est de l'ordre de 120 Pa, soit une accélération correspondante à 0.66 cm/s^2.

4. Premières conclusions

• Sand et al. (2000) ont observé une réponse des fuites des anguilles argentées soumises à une accélération de 1 cm/s^2 à 3 m du générateur à 11.8 Hz. Cette accélération de 1 cm/s^2 étant le seuil de réaction qui a été déterminé sur les smolts de saumon atlantique (Knudsen et al. 1992). Il semblerait que l'ordre de grandeur de ce seuil puisse être considéré comme une référence également pour l'anguille, mais il serait intéressant de le valider expérimentalement.

• En 2008, le niveau maximal de puissance observé à 3.5 m de distance au droit des générateurs était de 0.5 cm/s^2 à 12.5 Hz, et probablement de l'ordre de 1 cm/s^2 à 15 Hz. Cette valeur est deux fois moins importante que celle observée à Tihange pour une raison qui est encore inconnue à ce stade.

• Dans la configuration 2008, pour franchir la drôme, les anguilles devaient traverser une accélération de 0.66 cm/s^2, ce qui est inférieur à la valeur de 1 cm/s^2 qui correspond au seuil observé par Sand et al. 2000.

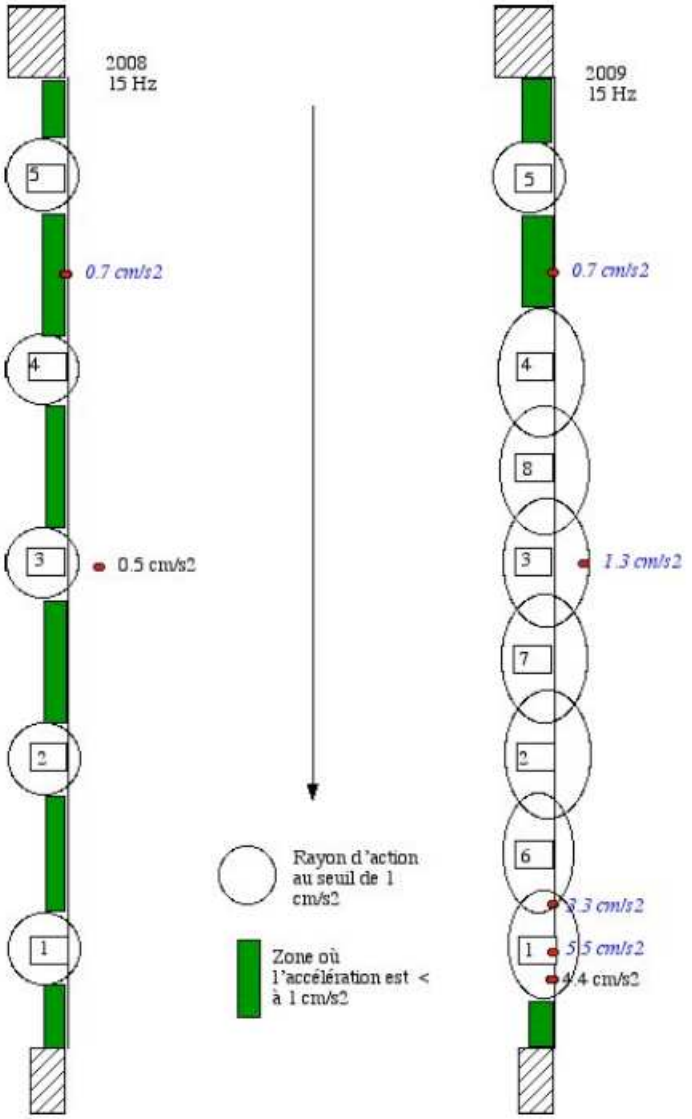
• Dans la nouvelle configuration 2009, pour franchir la zone de la drôme où les générateurs supplémentaires ont été installés, les anguilles doivent traverser une accélération minimale de 3 cm/s^2, soit une valeur trois fois plus élevée que le seuil observé par Sand et al. 2000, et 4.3 fois plus élevée que la valeur à franchir dans la configuration de 2008.

• Le signal semble se comporter de la même manière à proximité du fond qu'en pleine eau, et il n'y a pas de diminution de signal engendré par la réflexion ou de l'absorption par le fond.

• La nouvelle configuration semble créer une barrière avec un signal supérieur à 1 cm/s^2 tout le long de la drôme, à l'exception de 3 point précis :

La partie amont de la machine 5 (3 premiers mètres de la drôme)
La zone mitoyenne entre la machine 5 et la machine 4
La partie aval de la machine 1 (3 derniers mètres de la drôme)

En conséquence, nous recommandons, dans la mesure du possible, d'essayer d'avoir le plus haut degré de précision dans la localisation des poissons le long de la drome en général, et dans ces 3 zones en particulier.
Pour résumer la comparaison des valeurs, nous avons repris un schéma des accélérations mesurées à différents points pour la configuration 2008 et 2009 :



Les valeurs écrites en bleu italique sont surestimées car elles correspondent aux mesures réalisées sur le fond.

Bibliographie :

Knudsen, F.; Enger, P.S. & Sand, O. (1992). Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Biology* **40** : 523-534.

Sand, O.; Enger, P.S.; Karlsen, H.E.; Knudsen, F. & Kvernstuen, T. 2000. Avoidance responses to infrasound in downstream migrating European silver eels, *Anguilla anguilla*. *Environmental Biology of Fishes* **57** : 327-336.

Annexe 2 : Synthèse des caractéristiques biométriques des anguilles radiopistées en 2008-2009

N° Lot	Fréq.	Code	Tiris	Provenance	Marquage		Poids (g)	Longueur totale (mm)	Facteur de condition (Fulton, 1911)	Diamètre œil (mm)			Diamètre de tête (mm)				Diamètre du corps (mm)				Etat	Date & Heure de lâcher	Lieu de lâcher
					Date	Durée chirurgie				horiz. (largeur)	vertic. (hauteur)	Indice oculaire	horiz. (largeur)	Kh	vertic. (hauteur)	Kv	horiz. (largeur)	Kh	vertic. (hauteur)	Kv			
1	48471	0	7E9A44D	Loire	25/11/08	0:28	707	751	0.17	9.98	10.53	11.00	32.01	0.043	27.67	0.037	39.72	0.053	28.54	0.038	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	1	7E9A433	Loire	25/11/08	0:21	701	749	0.17	9.06	10.69	10.23	28.48	0.038	31.33	0.042	27.70	0.037	33.03	0.044	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	2	7E9A447	Loire	25/11/08	<0:38	876	754	0.20	9.59	9.36	9.35	32.79	0.043	31.26	0.041	43.07	0.057	33.42	0.044	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	3	7E9A471	Loire	25/11/08	0:40	706	782	0.15	8.90	10.44	9.39	25.76	0.033	26.82	0.034	35.08	0.045	29.50	0.038	ABE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	4	7E9A430	Loire	25/11/08	<0:46	770	752	0.18	9.62	10.25	10.31	25.97	0.035	27.04	0.036	39.22	0.052	35.30	0.047	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	5	7E9A42F	Loire	25/11/08	0:25	832	766	0.19	9.21	10.09	9.55	26.33	0.034	29.12	0.038	35.72	0.047	31.65	0.041	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	6	7E9A449	Loire	25/11/08	0:12	472	654	0.17	10.55	9.04	11.52	23.46	0.036	23.58	0.036	31.44	0.048	26.99	0.041	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	7.5	7E9A449	Loire	25/11/08	0:25	748	772	0.16	7.98	9.42	7.70	29.40	0.038	27.53	0.036	36.32	0.047	27.93	0.036	ABE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	8	7E9A431	Loire	25/11/08	0:14	618	724	0.16	7.90	11.09	9.78	28.82	0.040	29.22	0.040	34.66	0.048	27.72	0.038	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	9	7E9A448	Loire	26/11/08	0:22	748	703	0.22	9.43	9.22	9.71	23.55	0.033	22.38	0.032	35.35	0.050	25.19	0.036	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	11	7E9A44A	Loire	26/11/08	0:25	542	749	0.13	7.35	9.09	7.09	23.04	0.031	22.38	0.030	30.44	0.041	28.32	0.038	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	12	7E9A44B	Loire	26/11/08	0:15	967	726	0.25	7.52	8.26	6.73	28.30	0.039	23.72	0.033	33.42	0.046	32.58	0.045	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	13	7E9A446	Loire	26/11/08	0:19	595	652	0.21	10.52	10.96	13.89	28.85	0.044	24.84	0.038	34.15	0.052	29.61	0.045	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	14	7E9A445	Loire	26/11/08	0:20	797	732	0.20	8.61	7.41	6.88	25.66	0.035	21.93	0.030	44.08	0.060	31.57	0.043	ABE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	15	7E9A444	Loire	26/11/08	0:14	775	725	0.20	7.45	8.29	6.71	28.12	0.039	28.00	0.039	29.78	0.041	30.89	0.043	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	16	7E9A443	Loire	26/11/08	0:14	750	750	0.18	10.05	9.29	9.79	29.89	0.040	27.93	0.037	37.08	0.049	32.06	0.043	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	17	7E9A442	Loire	26/11/08	0:16	773	743	0.19	9.04	9.14	8.73	23.34	0.031	25.78	0.035	33.93	0.046	31.11	0.042	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	18	7E9A441	Loire	26/11/08	0:19	901	801	0.18	9.37	10.36	9.54	30.23	0.038	27.33	0.034	40.95	0.051	35.55	0.044	ABE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	19	7E9A440	Loire	26/11/08	0:19	807	769	0.18	11.54	10.35	12.23	28.24	0.037	31.68	0.041	41.37	0.054	34.65	0.045	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	20	7E9A43F	Loire	26/11/08	0:15	643	747	0.15	7.13	8.90	6.75	24.29	0.033	27.13	0.036	34.13	0.046	32.06	0.043	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	21	7E9A45D	Loire	26/11/08	0:12	946	754	0.22	7.94	9.01	7.48	28.66	0.038	30.16	0.040	44.42	0.059	36.33	0.048	TBE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	22	7E9A45C	Loire	26/11/08	0:17	512	664	0.17	7.63	8.76	7.94	25.30	0.038	25.54	0.038	33.15	0.050	25.42	0.038	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	23	7E9A45B	Loire	26/11/08	0:15	807	769	0.18	7.91	9.10	7.39	27.78	0.036	29.25	0.038	41.73	0.054	30.21	0.039	ABE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	24	7E9A45A	Loire	26/11/08	0:15	800	764	0.18	8.57	11.57	10.42	23.50	0.031	24.90	0.033	37.80	0.049	28.81	0.038	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
1	48471	26	7E9A459	Loire	26/11/08	0:16	717	749	0.17	10.68	9.48	10.65	26.52	0.035	24.63	0.033	35.12	0.047	30.58	0.041	BE	28/11/08 12:30	Jurançon
2	48201	6	7E9A5E7	Loire	16/12/08	0:12	648	697	0.19	7.03	7.23	5.73	24.12	0.035	26.80	0.038	27.38	0.039	37.17	0.053	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	7.5	7E9A5E6	Loire	16/12/08	0:14	415	602	0.19	7.38	7.27	7.00	22.52	0.037	27.51	0.046	25.37	0.042	32.34	0.054	ABE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	8	7E9A5E8	Loire	16/12/08	0:24	814	744	0.20	9.98	9.12	9.63	28.42	0.038	30.80	0.041	39.38	0.053	39.93	0.054	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	9	7E9A5E9	Loire	16/12/08	0:29	781	769	0.17	10.72	12.89	14.23	26.40	0.034	31.10	0.040	39.32	0.051	41.00	0.053	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	11	7E9A5EA	Loire	16/12/08	0:13	662	747	0.16	11.84	11.68	14.54	24.01	0.032	29.03	0.039	30.83	0.041	44.29	0.059	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	12	7E9A5EB	Loire	16/12/08	0:16	698	762	0.16	10.16	9.60	10.06	27.89	0.037	29.25	0.038	35.93	0.047	33.88	0.044	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	13	7E9A5EC	Loire	16/12/08	0:28	721	795	0.14	10.89	9.17	9.94	30.10	0.038	29.31	0.037	32.32	0.041	37.70	0.047	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	14	7E9A5ED	Loire	16/12/08	0:18	621	709	0.17	8.63	7.70	7.39	23.18	0.033	27.56	0.039	27.44	0.039	29.95	0.042	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	15	7E9A5EE	Loire	16/12/08	0:06	525	665	0.18	9.36	8.88	9.82	22.52	0.034	26.01	0.039	29.65	0.045	35.94	0.054	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	16	7E9A5EF	Loire	16/12/08	0:16	576	695	0.17	9.42	8.82	9.40	22.83	0.033	23.43	0.034	28.99	0.042	31.76	0.046	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	17	7E9A5FO	Loire	16/12/08	0:20	679	675	0.22	8.48	8.90	8.79	28.31	0.042	29.04	0.043	33.66	0.050	39.88	0.059	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	18	7E9A5F1	Loire	16/12/08	0:16	587	744	0.14	10.15	9.10	9.78	24.35	0.033	25.38	0.034	31.67	0.043	35.51	0.048	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	19	7E9A5F2	Loire	16/12/08	0:19	698	745	0.17	9.01	9.05	8.60	23.95	0.032	27.92	0.037	29.58	0.040	34.73	0.047	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	20	7E9A5F3	Loire	16/12/08	0:13	676	768	0.15	10.63	9.16	10.01	27.90	0.036	27.96	0.036	29.80	0.039	33.42	0.044	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	21	7E9A5D6	Loire	16/12/08	0:15	508	677	0.16	9.93	9.35	10.78	25.03	0.037	23.49	0.035	27.01	0.040	29.13	0.043	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	22	7E9A5D9	Loire	17/12/08	0:28	526	658	0.18	10.24	9.51	11.64	20.50	0.031	24.52	0.037	24.44	0.037	30.20	0.046	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	23	7E9A5D7	Loire	17/12/08	0:16	694	744	0.17	9.17	7.75	7.56	20.37	0.027	26.36	0.035	28.22	0.038	29.61	0.040	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	24	7E9A5D8	Loire	17/12/08	0:16	549	689	0.17	10.03	10.79	12.35	24.10	0.035	30.40	0.044	30.39	0.044	39.79	0.058	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	41	7E9A5DA	Loire	17/12/08	0:18	456	661	0.16	7.64	8.10	7.36	20.30	0.031	21.68	0.033	29.93	0.045	27.17	0.041	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	42	7E9A5DB	Loire	17/12/08	0:21	646	733	0.16	11.33	9.65	11.79	23.48	0.032	36.01	0.049	34.26	0.047	41.63	0.057	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	43	7E9A5DC	Loire	17/12/08	0:14	687	729	0.18	8.25	9.96	8.93	25.57	0.035	31.58	0.043	31.62	0.043	40.87	0.056	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	44	7E9A5DD	Loire	18/12/08	0:19	649	706	0.18	10.47	9.53	11.12	22.56	0.032	25.67	0.036	28.75	0.041	34.06	0.048	TBE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	45	7E9A5DE	Loire	18/12/08	0:11	517	730	0.13	11.92	9.17	11.96	23.49	0.032	27.95	0.038	30.19	0.041	26.29	0.036	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	46	7E9A5DF	Loire	18/12/08	0:19	676	741	0.17	8.08	9.70	8.38	31.67	0.043	37.09	0.050	24.83	0.034	27.16	0.037	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
2	48201	47	7E9A5E0	Loire	18/12/08	0:14	685	760	0.16	10.75	10.95	12.17	26.38	0.035	34.19	0.045	32.85	0.043	41.75	0.055	BE	24/12/08 12:15	Jurançon
3	48561	0	7E9A5E1	Landes	05/02/09	0:16	671	764	0.15	9.52	10.31	10.11	24.41	0.032	22.70	0.030	26.90	0.035	34.01	0.045	BE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	1	7E9A5E2	Landes	05/02/09	0:12	928	776	0.20	14.07	11.98	17.17	31.67	0.041	33.23	0.043	39.30	0.051	42.25	0.054	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	2	7E9A5E3	Landes	05/02/09	0:13	731	741	0.18	12.17	11.39	14.71	30.98	0.042	25.68	0.035	29.78	0.040	33.25	0.045	ABE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	3	7E9A5E4	Landes	05/02/09	0:18	573	691	0.17	9.65	9.20	10.10	27.10	0.039	27.37	0.040	27.00	0.039	29.65	0.043	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	4	7E9A5C7	Landes	05/02/09	0:13	449	597	0.21	10.13	10.36	13.81	25.13	0.042	27.22	0.046	26.65	0.045	33.07	0.055	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	5	7E9A5C8	Landes	05/02/09	0:14	468	628	0.19	10.06	9.54	12.01	25.15	0.040	23.41	0.037	24.63	0.039	30.28	0.048	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	6	7E9A5C9	Landes	05/02/09	0:16	440	642	0.17	8.75	10.20	10.98	21.17	0.033	18.81	0.029	24.37	0.038	28.10	0.044	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	7.5	7E9A5CA	Landes	05/02/09	0:16	903	824	0.16	9.81	11.38	10.70	29.41	0.036	28.64	0.035	32.69	0.040	35.88	0.044	ABE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	8	7E9A5CB	Landes	05/02/09	0:16	734	705	0.21	11.80	10.71	14.11	30.17	0.043	30.54	0.043	34.05	0.048	39.90	0.057	BE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	9	7E9A5CC	Loire	05/02/09	0:23	645	738	0.16	9.24	10.32	10.18	27.35	0.037	23.08	0.031	28.94	0.039	33.32	0.045	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	11	7E9A5CD	Loire	05/02/09	0:12	895	806	0.17	14.37	12.77	17.94	30.47	0.038	32.82	0.041	32.88	0.041	42.04	0.052	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	12	7E9A5CE	Loire	05/02/09	0:09	801	801	0.16	10.17	10.25	10.22	30.48	0.038	24.80	0.031	31.90	0.040	36.87	0.046	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	13	7E9A5CF	Loire	05/02/09	0:13	790	794	0.16	10.78	9.73	10.40	25.99	0.033	36.30	0.046	30.48	0.038	34.40	0.043	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	14	7E9A5D0	Loire	05/02/09	0:11	638	688	0.20	10.14	9.50	11.01	23.17	0.034	26.45	0.038	30.27	0.044	39.77	0.058	TBE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	15	7E9A5D2	Loire	05/02/09	0:10	607	730	0.16	11.35	10.67	13.04	30.81	0.042	31.62	0.043	33.93	0.046	37.33	0.051	BE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	16	7E9A5D1	Loire	05/02/09	0:14	555	632	0.22	9.26	8.21	9.48	19.81	0.031	21.73	0.034	28.71	0.045	33.24	0.053	BE	09/02/09 16:45	Orthez
3	48561	17	7E9A5D3	Loire	05/02/09	0:11	642	719	0.17	10.63	10.11	11.75	26.15	0.036	31.98	0.044	31.63	0.044	35.78	0.050	BE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	18	7E9A5D4	Loire	05/02/09	0:12	588	690	0.18	9.29	8.71	9.22	22.52	0.033	23.60	0.034	27.20	0.039	32.49	0.047	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	19	7E9A5D5	Loire	05/02/09	0:14	453	630	0.18	9.67	10.54	12.73	23.51	0.037	27.01	0.043	28.62	0.045	31.60	0.050	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	20	7E9A5B8	Loire	06/02/09	0:14	644	701	0.19	7.91	8.69	7.72	28.31	0.040	30.87	0.044	33.14	0.047	37.91	0.054	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	21	7E9A5B9	Loire	06/02/09	0:17	703	749	0.17	9.34	9.54	9.34	30.54	0.041	31.02	0.041	34.13	0.046	39.97	0.053	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	22	7E9A5BA	Loire	06/02/09	0:14	722	768	0.16	11.44	9.87	11.61	27.97	0.036	26.61	0.035	29.04	0.038	33.95	0.044	BE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	23	7E9A5BB	Loire	06/02/09	0:12	709	752	0.17	7.75	8.82	7.17	22.46	0.030	22.86	0.030	28.40	0.038	31.10	0.041	BE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	24	7E9A5BD	Loire	06/02/09	0:18	548	695	0.16	9.77	9.01	9.96	31.25	0.045	31.28	0.045	34.88	0.050	35.15	0.051	TBE	09/02/09 17:45	Gouze
3	48561	26	7E9A5BC	Loire	06/02/09	0:12	592	721	0.16	9.58	10.05	10.49	21.04	0.029	20.27	0.028	26.63	0.037	31.27	0.043	TBE	09/02/09 17:45	Gouze

Annexe 3 : Synthèse des caractéristiques biométriques des anguilles radiopistées en 2009-2010

N° Lot	Fréq.	Code	Tiris	Provenance	Marquage		Poids (g)	Longueur totale (mm)	Facteur de condition (Fulton, 1911)	Diamètre œil (mm)			Diamètre de tête (mm)				Diamètre du corps (mm)				Etat	Date & Heure de lâcher	Lieu de lâcher
					Date	Durée chirurgie				horiz. (largeur)	vertic. (hauteur)	Indice oculaire	horiz. (largeur)	Kh	vertic. (hauteur)	Kv	horiz. (largeur)	Kh	vertic. (hauteur)	Kv			
1	48611	0	7E9A5C3	Loire	17/12/09	00:17	1100	868	0.17	11.80	9.37	10.14	33.00	0.038	32.33	0.037	33.54	0.039	43.89	0.051	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	1	7E9A5C4	Loire	17/12/09	00:12	946	750	0.22	12.05	13.58	17.20	28.36	0.038	34.99	0.047	47.44	0.063	52.93	0.071	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	2	7E9A5C5	Loire	17/12/09	00:12	715	732	0.18	8.46	7.94	7.21	27.53	0.038	27.01	0.037	28.05	0.038	37.71	0.052	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	3	7E9A5C6	Loire	17/12/09	00:09	977	850	0.16	9.78	10.47	9.47	31.83	0.037	31.84	0.037	44.21	0.052	46.73	0.055	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	4	7E9A5C9	Loire	17/12/09	00:16	1078	812	0.20	9.87	12.80	12.43	31.08	0.038	31.14	0.038	39.74	0.049	47.05	0.058	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	5	7E9A5AA	Loire	17/12/09	00:15	963	802	0.19	12.30	11.30	13.64	29.90	0.037	28.75	0.036	41.05	0.051	45.68	0.057	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	6	7E9A5AB	Loire	17/12/09	00:14	846	792	0.17	10.67	10.07	10.66	29.80	0.038	30.48	0.038	31.02	0.039	47.41	0.060	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	7.5	7E9A5AC	Loire	17/12/09	00:13	853	810	0.16	11.23	9.43	10.35	28.02	0.035	26.43	0.033	38.43	0.047	43.73	0.054	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	8	7E9A5AD	Loire	17/12/09	00:12	885	810	0.17	12.78	8.85	11.34	24.10	0.030	24.06	0.030	35.41	0.044	40.80	0.050	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	9	8ED3B31	Loire	17/12/09	00:11	788	790	0.16	9.90	9.65	9.50	27.63	0.035	28.99	0.037	32.45	0.041	41.22	0.052	BE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	11	8ED3B29	Loire	17/12/09	00:10	588	766	0.13	9.48	9.42	9.16	22.18	0.029	21.44	0.028	26.72	0.035	31.66	0.041	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	12	8ED3B30	Loire	17/12/09	00:20	421	697	0.12	10.50	9.49	11.26	20.40	0.029	25.04	0.036	20.64	0.030	30.36	0.044	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	13	8ED3B2F	Loire	17/12/09	00:27	538	686	0.17	8.03	8.09	7.44	22.70	0.033	21.54	0.031	27.10	0.040	36.50	0.053	TBE	19/12/09 11:58	Gouze
1	48611	14	8ED3B2E	Loire	17/12/09	00:31	619	720	0.17	9.41	8.39	8.64	23.26	0.032	24.54	0.034	29.96	0.042	30.45	0.042	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	15	8ED3B2D	Loire	17/12/09	00:08	535	724	0.14	8.19	8.78	7.81	23.67	0.033	28.66	0.040	23.69	0.033	36.24	0.050	BE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	16	8ED3B2C	Loire	18/12/09	00:28	720	765	0.16	9.41	8.37	8.11	24.64	0.032	22.70	0.030	28.60	0.037	36.85	0.048	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	17	8ED3B2B	Loire	18/12/09	00:18	1008	822	0.18	9.91	9.68	9.17	30.92	0.038	32.57	0.040	40.31	0.049	45.81	0.056	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	18	8ED3B2A	Loire	18/12/09	00:33	976	810	0.18	8.46	8.94	7.34	25.55	0.032	29.75	0.037	36.71	0.045	44.08	0.054	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	19	8ED3B37	Loire	18/12/09	00:42	1212	934	0.15	10.33	10.72	9.32	34.14	0.037	37.34	0.040	38.84	0.042	44.45	0.048	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	20	8ED3B36	Loire	18/12/09	00:15	890	766	0.20	8.25	8.38	7.09	27.40	0.036	28.48	0.037	36.13	0.047	40.66	0.053	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	21	8ED3B35	Loire	18/12/09	00:10	549	655	0.20	7.14	7.67	6.58	21.52	0.033	23.73	0.036	28.10	0.043	30.00	0.046	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	22	8ED3B34	Loire	18/12/09	00:18	545	715	0.15	8.01	8.10	7.13	23.34	0.033	24.87	0.035	27.14	0.038	29.79	0.042	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	23	8ED3B33	Loire	18/12/09	00:33	629	685	0.20	7.92	8.18	7.43	27.89	0.041	26.27	0.038	31.12	0.045	36.97	0.054	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	24	8ED3B32	Loire	18/12/09	00:14	607	708	0.17	9.30	10.01	10.34	21.90	0.031	24.85	0.035	28.38	0.040	34.17	0.048	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
1	48611	26	8ED3B38	Loire	18/12/09	00:22	887	815	0.16	10.24	9.22	9.12	30.83	0.038	29.61	0.036	32.76	0.040	36.21	0.044	TBE	19/12/09 13:05	Jurançon
2	48671	0	8ED3B39	Loire	05/01/10	00:11	668	710	0.19	8.82	6.90	6.83	27.85	0.039	26.97	0.038	35.00	0.049	38.10	0.054	TBE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	1	8ED3B3A	Loire	05/01/10	00:12	589	786	0.12	8.43	7.96	6.71	28.27	0.036	27.31	0.035	27.04	0.034	35.41	0.045	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	2	8ED3B3B	Loire	05/01/10	00:12	689	763	0.16	8.88	8.37	7.66	33.65	0.044	33.10	0.043	40.46	0.053	34.40	0.045	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	3	8ED3B3C	Loire	05/01/10	00:14	944	800	0.18	9.64	8.89	8.43	28.88	0.036	29.00	0.036	36.20	0.045	40.88	0.051	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	4	8ED3B3D	Loire	05/01/10	00:13	942	773	0.20	9.28	8.62	8.14	29.67	0.038	29.51	0.038	32.42	0.042	40.01	0.052	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	5	8ED3B3E	Loire	05/01/10	00:12	836	784	0.17	8.81	8.65	7.63	27.92	0.036	28.46	0.036	35.74	0.046	46.86	0.060	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	6	8ED3B40	Loire	05/01/10	00:15	1161	826	0.21	10.14	9.10	8.80	30.01	0.036	29.88	0.036	40.09	0.049	49.28	0.060	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	7.5	8ED3B15	Loire	05/01/10	00:13	640	711	0.18	9.80	8.62	9.37	23.69	0.033	24.17	0.034	32.81	0.046	36.55	0.051	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	8	8ED3B3F	Loire	06/01/10	00:20	870	770	0.19	9.09	9.10	8.44	26.81	0.035	26.38	0.034	29.90	0.039	38.02	0.049	TBE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	9	8ED3B41	Loire	06/01/10	00:18	955	784	0.20	8.59	8.47	7.29	29.70	0.038	30.60	0.039	34.16	0.044	40.67	0.052	TBE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	11	8ED3B42	Loire	06/01/10	00:15	1008	782	0.21	9.03	9.40	8.53	29.92	0.038	30.09	0.038	39.29	0.050	43.15	0.055	TBE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	12	8ED3B43	Loire	06/01/10	00:12	583	691	0.18	8.90	8.35	8.46	23.10	0.033	22.01	0.032	26.05	0.038	37.29	0.054	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	13	8ED3B44	Loire	06/01/10	00:13	512	735	0.13	8.10	7.87	6.81	26.20	0.036	25.52	0.035	25.38	0.035	29.96	0.041	TBE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	14	8ED3B45	Loire	06/01/10	00:12	880	815	0.16	10.58	9.04	9.27	28.29	0.035	31.75	0.039	33.85	0.042	42.25	0.052	ABE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	15	8ED3B47	Loire	06/01/10	00:13	881	821	0.16	9.87	9.23	8.72	34.18	0.042	33.02	0.040	37.31	0.045	47.86	0.058	BE	07/01/10 15:10	Gouze
2	48671	16	8ED3B48	Loire	06/01/10	00:16	1078	817	0.20	9.95	9.21	8.82	30.55	0.037	35.22	0.043	40.71	0.050	44.51	0.054	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	17	8ED3B49	Loire	06/01/10	00:10	816	746	0.20	9.92	9.53	9.96	28.95	0.039	26.99	0.036	32.09	0.043	39.89	0.053	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	18	8ED3B4A	Loire	06/01/10	00:12	511	672	0.17	9.19	8.48	9.12	22.28	0.033	24.51	0.036	27.28	0.041	33.12	0.049	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	19	8ED3B4B	Loire	06/01/10	00:10	501	710	0.14	8.99	8.48	8.44	22.81	0.032	25.01	0.035	24.68	0.035	30.88	0.043	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	20	8ED3B4C	Loire	06/01/10	00:16	934	785	0.19	11.73	10.71	12.60	30.67	0.039	30.78	0.039	33.88	0.043	45.66	0.058	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	21	8ED3B4D	Loire	06/01/10	00:20	535	695	0.16	9.18	8.77	9.10	25.32	0.036	25.04	0.036	24.79	0.036	30.81	0.044	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	22	8ED3B4E	Loire	06/01/10	00:10	1036	849	0.17	12.65	11.78	13.80	30.41	0.036	33.41	0.039	31.98	0.038	37.68	0.044	TBE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	23	8ED3B4F	Loire	06/01/10	00:09	904	785	0.19	9.29	8.82	8.20	25.85	0.033	29.45	0.038	37.05	0.047	42.29	0.054	TBE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	24	8ED3B51	Loire	06/01/10	00:16	626	670	0.21	9.12	8.50	9.10	25.56	0.038	25.76	0.038	31.40	0.047	45.51	0.068	BE	07/01/10 15:50	Jurançon
2	48671	26	8ED3B52	Loire	06/01/10	00:09	620	702	0.18	8.22	8.01	7.37	23.15	0.033	21.92	0.031	25.98	0.037	31.84	0.045	TBE	07/01/10 15:50	Jurançon
3	48741	0	8ED3B3C	Loire	01/02/10	00:13	1830	985	0.19	12.34	11.69	11.51	36.00	0.037	36.74	0.037	47.72	0.048	62.91	0.064	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	1	8ED3B2C	Loire	01/02/10	00:09	1387	919	0.18	11.76	11.30	11.36	32.66	0.036	31.15	0.034	39.06	0.043	50.96	0.055	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	2	8ED3B53	Loire	01/02/10	00:07	715	725	0.19	9.37	8.76	8.90	28.52	0.039	29.21	0.040	30.37	0.042	38.13	0.053	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	3	8ED3B54	Loire	01/02/10	00:16	513	650	0.19	8.56	10.63	11.12	21.91	0.034	25.40	0.039	33.21	0.051	37.23	0.057	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	4	8ED3B55	Loire	01/02/10	00:12	1450	825	0.26	9.18	9.53	8.33	31.44	0.038	29.96	0.036	38.01	0.046	44.64	0.054	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	5	8ED3B56	Loire	01/02/10	00:10	1505	890	0.21	10.07	9.35	8.32	31.52	0.035	34.20	0.038	42.45	0.048	48.06	0.054	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	6	8ED3B57	Loire	01/02/10	00:11	438	644	0.16	7.60	7.31	6.78	19.70	0.031	20.39	0.032	24.60	0.038	26.39	0.041	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	7.5	8ED3B58	Loire	01/02/10	00:12	615	761	0.14	9.90	9.60	9.81	27.66	0.036	27.76	0.036	33.17	0.044	37.08	0.049	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	8	8ED3B59	Loire	01/02/10	00:11	1266	835	0.22	9.57	9.49	8.54	31.50	0.038	32.85	0.039	38.69	0.046	40.97	0.049	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	9	8ED3B5A	Loire	01/02/10	00:11	652	715	0.18	10.26	9.76	11.01	24.76	0.035	28.26	0.040	30.05	0.042	36.81	0.051	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	11	8ED3B5B	Loire	01/02/10	00:10	1482	870	0.23	9.36	9.20	7.77	31.17	0.036	29.98	0.034	39.87	0.046	48.27	0.055	ABE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	12	8ED3B5C	Loire	01/02/10	00:19	1231	867	0.19	11.04	10.22	10.24	30.07	0.035	31.79	0.037	39.69	0.046	53.12	0.061	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	13	8ED3B5D	Loire	01/02/10	00:16	570	710	0.16	8.21	7.87	7.15	23.87	0.034	23.79	0.034	24.15	0.034	26.25	0.037	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	14	8ED3B5E	Loire	01/02/10	00:13	558	675	0.18	9.17	7.77	8.35	22.11	0.033	24.88	0.037	26.03	0.039	32.71	0.048	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	15	8ED3B5F	Loire	01/02/10	00:09	666	702	0.19	9.73	9.17	9.99	27.00	0.038	26.32	0.037	33.30	0.047	40.15	0.057	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	16	8ED3B60	Loire	02/02/10	00:20	401	625	0.16	8.24	7.56	7.84	20.31	0.032	20.57	0.033	26.73	0.043	28.48	0.046	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	17	8ED3B61	Loire	02/02/10	00:17	413	610	0.18	8.71	8.57	9.61	21.28	0.035	22.10	0.036	25.64	0.042	30.94	0.051	TBE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	18	8ED3B62	Loire	02/02/10	00:09	468	630	0.19	8.43	8.05	8.46	22.15	0.035	23.19	0.037	25.82	0.041	28.11	0.045	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	19	8ED3B64	Loire	02/02/10	00:13	627	699	0.18	8.56	8.75	8.42	32.03	0.046	33.09	0.047	36.19	0.052	41.34	0.059	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	20	8ED3B65	Loire	02/02/10	00:12	574	721	0.15	9.01	7.88	7.77	23.50	0.033	24.30	0.034	28.55	0.040	32.71	0.045	BE	02/02/10 16:57	Gouze
3	48741	21	8ED3B66	Loire	02/02/10	00:08	420	595	0.20	7.85	8.39	8.70	21.91	0.037	23.14	0.039	23.30	0.039	30.36	0.051	BE	03/02/10 11:20	Jurançon
3	48741	22	8ED3B67	Loire	02/02/10	00:08	468	660	0.16	8.40	8.80	8.80	23.15	0.035	24.30	0.037	21.91	0.033	31.26	0.047	BE	03/02/10 11:20	Jurançon
3	48741	23	8ED3B68	Loire	02/02/10	00:09	1881	960	0.21	11.59	11.36	10.77	39.21	0.041	36.91	0.038	44.15	0.046	56.95	0.059	ABE	03/02/10 11:20	Jurançon
3	48741	24	8ED3B69	Loire	02/02/10	00:15	369	640	0.14	8.06	8.36	8.27	23.46	0.037	24.16	0.038	29.78	0.047	30.86	0.048	TBE	03/02/10 11:20	Jurançon
3	48741	26	8ED3B6A	Loire	02/02/10	00:20	391	605	0.18	7.73	7.72	7.75	25.07	0.041	27.63	0.046	29.46	0.049	36.42	0.060	BE	03/02/10 11:20	Jurançon

Annexe 4 : Détails du protocole de marquage appliqué aux anguilles radiopistées au cours des 2 ans

Les anguilles ont été anesthésiées avec un mélange à 10% d'huile essentielle de clou de girofle et d'éthanol à 70°, dans la proportion moyenne de 9.5 mL de solution anesthésiante à 10% pour 10 L d'eau (variation de 6 à 13 mL pour 10 L d'eau selon la température du bain et la taille des anguilles).

Les individus anesthésiés ont été marqués par implantation chirurgicale (Baras & Jeandrain, 1998) d'un transpondeur miniature PIT tag (∅ x L=3 x 30 mm) et d'un émetteur radio codé ATS® modèle F1820 (∅ x L=12 x 43 mm, poids dans l'air : 8 g, capacité batterie : 113 j). Ces marques ont été introduites dans la cavité abdominale grâce à une incision de 1.5 à 2 cm réalisée sur la face ventrale de l'anguille, au niveau de la partie postérieure de l'intestin (Photos 11 et 13). La sortie d'antenne a été effectuée, à l'aide d'une aiguille creuse, à 2 cm en arrière de l'incision (Photo 12). La plaie a été suturée à l'aide de fil semi résorbable et d'une aiguille courbe (Photo 14). Une piqûre de 0.5 mL de Shotapen® (antibiotique de type pénicilline retard à large spectre et longue action) a été pratiquée en fin de marquage. La durée globale de la procédure (de la phase d'endormissement à la phase de réveil) a été de 47 min en moyenne (dont 17 min en moyenne de chirurgie).

Les anguilles radiomarquées ont été maintenues en stabulation à la pisciculture d'Osserain (sous le même régime de balnéations que lors de leur quarantaine) durant 4.5 jours en moyenne (de 2 à 8 jours) avant d'être relâchées.

Photo 11 : Incision latéro-ventrale pour l'insertion de la marque

Photo 12 : Perforation latéro-ventrale par trocart pour la sortie d'antenne de la marque

Photo 13 : Insertion de la marque

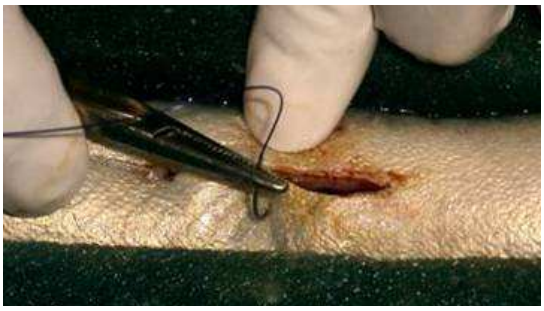
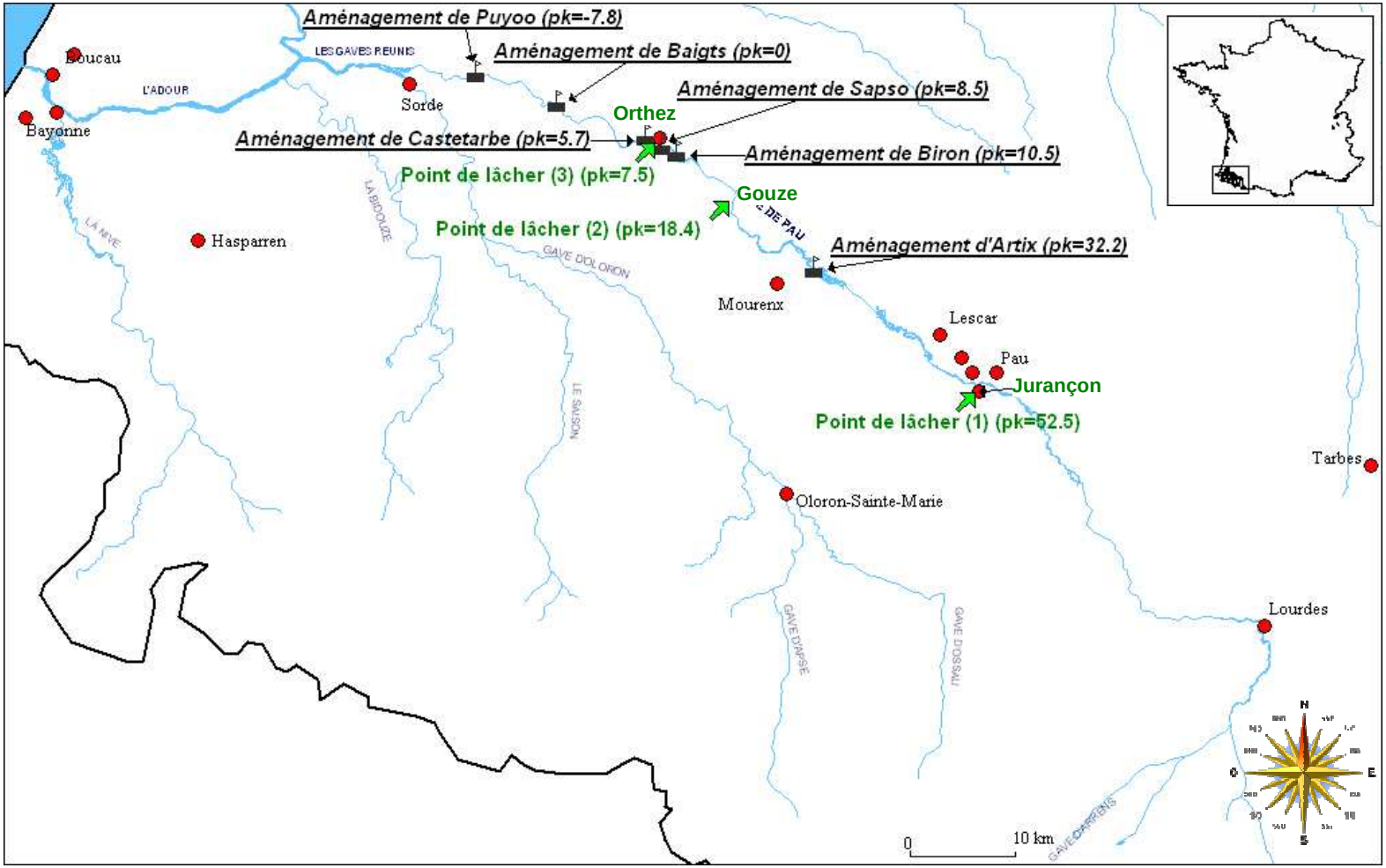


Photo 14 : Suture de l'incision

Référence citée

Baras E., Jeandrain D., 1998. Evaluation of surgery procedures for tagging eel *Anguilla anguilla* (L.) with telemetry transmitters. Hydrobiologia, 371/372 : 107-111.

Annexe 5 : Localisation sur le Gave de Pau des ouvrages hydroélectriques équipés pour le suivi et des sites de lâcher des anguilles radiopistées au cours des 2 ans



Note : les points kilométriques (pk) sont spécifiés par rapport à l'aménagement de Baigts pris comme origine