



10 avenue de Toulouse 31860 Pins-Justaret

Tél./Fax : 05.62.20.98.24

<http://ecogea.pagespro-orange.fr>

**Evaluation de l'efficacité
du dispositif de dévalaison au niveau
de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières
(Dordogne) pour les smolts de saumon atlantique.**

-

Résultats des tests du printemps 2011.



Vue de l'usine hydroélectrique de Tuilières avec le masque de dévalaison

Rédacteurs : T.Lagarrigue
J.M.Menessier
A.Frey

JUIN 2012



**Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison au niveau de
l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières (Dordogne) pour
les smolts de Saumon atlantique.**

Résultats des tests du printemps 2011.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier ici :

- l'ensemble du personnel EDF de l'usine de Tuilières, en particulier le chef d'usine Jean-Michel Quadjovie, pour avoir contribué au bon déroulement de l'étude,

- l'Association MI.GA.DO. (Migrateurs GARonne DOrdogne) et son personnel, pour nous avoir procuré les données thermiques ainsi que pour la fourniture et la stabulation en pisciculture de smolts de qualité,

- le Cemagref (Irstea) de Bordeaux pour nous avoir prêté 4 postes 4500s afin d'essayer d'optimiser notre installation et le pôle écohydraulique de l'ONEMA pour avoir rassemblé et vérifié le bon état de fonctionnement de ce matériel.

SOMMAIRE :

1.	INTRODUCTION	1
2.	OBJECTIF DE L'ETUDE	1
3.	PRESENTATION DU SITE D'ETUDE	2
3.1.	La Dordogne	2
3.2.	L'aménagement hydroélectrique de Tuilières.....	3
3.3.	Caractéristiques du dispositif de dévalaison	5
4.	MATERIEL ET METHODE	7
4.1.	La période d'étude.....	7
4.2.	Les conditions environnementales au cours de la période d'étude	7
4.2.1.	Débits, températures et transparence de l'eau.....	7
4.2.2.	Fonctionnement de l'usine.....	7
4.3.	Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémetrie	8
4.3.1.	Le principe	8
4.3.2.	Le matériel biologique.....	8
4.3.3.	Le matériel utilisé.....	9
4.3.3.1.	Emetteurs.....	9
4.3.3.2.	Récepteurs-Enregistreurs	10
4.3.4.	Zones de détection	10
4.3.5.	Suivi mobile	14
4.3.6.	Modalités de marquage, de transport et de lâcher	14
5.	RESULTATS	15
5.1.	Conditions environnementales au cours de la période d'étude	15
5.1.1.	Débits, températures et transparence de l'eau.....	15
5.1.2.	Fonctionnement de l'usine.....	18
5.2.	Efficacité du dispositif de dévalaison.....	20
5.3.	Comportement des poissons au niveau du site d'étude	21
5.3.1.	Délais d'arrivée sur site	21
5.3.2.	Délais de franchissement de l'aménagement.....	23
5.3.3.	Délais entre le lâcher et le franchissement de l'aménagement	24
5.3.4.	Comportements et déplacements à l'approche du dispositif de dévalaison	25
5.3.4.1.	Comportements et trajectoires-types	29
5.3.4.2.	Zones de franchissement sous le masque.....	37
5.3.4.3.	Comportement au niveau des exutoires de dévalaison	40
5.3.4.4.	Effet de l'éclairage des exutoires	42
5.3.4.5.	Problèmes de colmatage des exutoires	43
5.3.5.	Franchissement de l'ouvrage.....	43
5.3.5.1.	Horaires des passages	43
5.3.5.2.	Voies de passage et fonctionnement de l'usine	44
5.3.5.3.	Influence des débits sur les voies de passage	46
5.4.	Devenir des poissons à l'aval de l'aménagement	48
5.5.	Synthèse des résultats de 2010 et 2011	49
5.5.1.	Influence des débits sur les voies de passage	50
5.5.2.	Voie de passage et fonctionnement de l'usine	52
5.5.3.	Effet « guidage » du masque.....	52
6.	DISCUSSION	55
6.1.	Rappels des principaux résultats.....	55
6.2.	Perspectives pour le suivi 2012.....	57
7.	CONCLUSIONS	59
8.	BIBLIOGRAPHIE.....	60
	ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** : Carte du bassin hydrographique de la Dordogne
- Figure 2** : Schéma représentatif de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières
- Figure 3** : Principe du radiopistage en milieu aquatique. (BARAS et CHERRY, 1992)
- Figure 4** : Plan des différentes zones d'enregistrement sur le site de Tuilières
- Figure 5** : Schéma de l'antenne multibrin TUC1 (4,5 et 6) et de l'antenne multibrin TUC2 (1,2 et 3)
- Figure 6** : Détail des différentes zones de réception proche de l'exutoire principal
- Figure 7** : Débit moyen mensuel de la Dordogne à Lamonzie Saint Martin (chronique 1958-2009)
- Figure 8** : Débit moyen journalier de la Dordogne à Tuilières durant les périodes d'étude 2009 à 2011
- Figure 9** : Température moyenne journalière de l'eau de la Dordogne sur la période d'étude 2011
- Figure 10** : Evolution de la transparence de l'eau au cours de la période d'étude 2011
- Figure 11a** : Nombre de groupes en fonctionnement à l'usine de Tuilières tout au long de la période de lâcher
- Figure 11b** : Débit moyen horaire turbiné à l'usine de Tuilières tout au long de la période d'étude
- Figure 12** : Schéma bilan du devenir des 66 smolts radiomarqués lâchés en amont de Tuilières
- Figure 13** : Voies de passage empruntées par les smolts radiomarqués au niveau de l'aménagement de Tuilières
- Figure 14** : Temps passé par les smolts radiomarqués entre le point de lâcher et l'usine de Tuilières
- Figure 15a** : Temps moyen d'arrivée sur site des smolts radiomarqués en fonction du débit de la Dordogne
- Figure 15b** : Temps moyen d'arrivée sur site des smolts radiomarqués en fonction de la période de lâcher
- Figure 16** : Influence de la rive de lâcher sur le franchissement des smolts radiomarqués
- Figure 17** : Temps passé par les smolts radiomarqués entre le point de lâcher et le franchissement de l'usine de Tuilières pour les lâchers de jour et pour les lâchers de nuit
- Figure 18** : Temps de présence des smolts radiomarqués dans la retenue de Tuilières avant le franchissement de l'ouvrage (2011 en noir)
- Figure 19a** : Durée moyenne de présence dans la retenue en fonction de la voie de franchissement
- Figure 19b** : Durée moyenne de présence dans la retenue en fonction du débit de la Dordogne
- Figure 20a** : Probabilités de passage, d'une zone de réception individualisée à une autre, sur le site de Tuilières, lors de la première détection
- Figure 20b** : Probabilités de passage, d'une zone de détection individualisée à une autre dans la retenue de Tuilières
- Figure 20c** : Probabilités de passage, d'une zone de détection à une autre dans la chambre d'eau de Tuilières
- Figure 21** : Trajectoire-type de passages par le clapet (exutoire principal) sans aucune détection au niveau du masque
- Figure 22a** : Trajectoire-type de passages par le clapet (exutoire principal) après une première détection sur le masque amont (schéma B) ou le masque aval (schéma C)
- Figure 22b** : Trajectoire-type de passages par le clapet (exutoire principal) après une première détection dans la zone clapet avant un retour le long de la travée aval (schéma D)
- Figure 23** : Trajectoire particulière d'un passage par le clapet après de nombreux aller-retour le long du masque
- Figure 24** : Trajectoire-type de passages par les exutoires secondaires
- Figure 25** : Trajectoire-type de passages par les turbines avec franchissement du masque par la travée centrale (TUM2-TUM3)
- Figure 26** : Trajectoire-type de passages par les turbines avec franchissement du masque par la travée aval (TUM4-TUM5)
- Figure 27** : Trajectoire particulière d'un poisson étant passé les turbines après le passage du masque par la travée aval en amont du « boomerang »
- Figure 28** : Zone de franchissement du masque par les smolts radiomarqués
- Figure 29** : Franchissement des smolts radiomarqués au niveau de Tuilières par tranche horaire en fonction du type de lâcher
- Figure 30** : Franchissement de l'ouvrage de Tuilières en fonction des différentes configurations d'usine
- Figure 31** : Débit de la Dordogne et débit turbiné à Tuilières, classé pour la période de suivi 2011
- Figure 32** : Répartition du débit turbiné lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières des smolts radiomarqués
- Figure 33** : Débit de franchissement à Tuilières classé en fonction de la voie de passage pendant la période de lâcher 2011

Figure 34 : Nombre de groupes en service classé lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières par les smolts radiomarqués

Figure 35 : Voies de franchissement de l'aménagement lors des études 2010 et 2011

Figure 36 : Répartition du débit turbiné lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières par les smolts radiomarqués

Figure 37 : Franchissement des smolts radiomarqués par tranche de débit (2010 et 2011)

Figure 38 : Répartition des passages clapet/exutoires secondaires par classe de débit turbiné pour les études 2010 et 2011

Figure 39 : Franchissements de l'ouvrage de Tuilières en fonction des différentes configurations d'usine 2010 et 2011

Figure 40 : Importance du fonctionnement des groupes 1 et 2 dans le fonctionnement global de l'usine de Tuilières

Figure 41 : débit turbiné en fonction des différentes typologies de franchissement des smolts radiomarqués

Figure 42 : Pourcentage cumulé de smolts en fonction du nombre de groupes et de la typologie de franchissement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques des smolts radiomarqués

Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés

Tableau 3 : Descriptif des stations d'enregistrement

Tableau 4 : Coefficient d'hydraulicité des mois d'étude

Tableau 5 : Temps de fonctionnement des diverses configurations en fonction du nombre de groupes en service à l'usine de Tuilières

Tableau 6 : Détails des franchissements du masque de dévalaison

Tableau 7 : Comportement des smolts radiomarqués « passés clapet » dans la zone de l'exutoire principal

Tableau 8 : Comportement des smolts radiomarqués « passés exutoires secondaires »

Tableau 9 : Observations de smolts les soirs de lâchers

Tableau 10 : Nombre d'heures de fonctionnement de chaque configuration au cours de l'étude

Tableau 11 : Récapitulatif des suivis des 3 smolts radiomarqués s'étant présentés au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Bergerac

Tableau 12 : Nombre de passages exutoires et turbines en fonction des différentes configurations d'usine

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue amont du barrage de Tuilières depuis la rive gauche

Photo 2 : Vue amont de l'usine hydroélectrique de Tuilières depuis la rive gauche

Photo 3 : Ascenseur à poissons et passe à anguilles de Tuilières

Photo 4 : Vue générale du masque depuis la rive gauche

Photo 5 : Vue globale du masque lors des travaux

Photo 6 : Vue globale du masque avec la zone du boomerang depuis le barrage

Photo 7 : Barreaux carrés des exutoires secondaires

Photo 8 : Clapet 1, exutoire principal de dévalaison

Photo 9 : Dégrillage des exutoires secondaires par les pompes

Photo 10 : Smolt de la pisciculture de Castels

Photo 11 : Emetteur utilisé pour le marquage des smolts avec son tube pousseur

Photo 12 : Exemples de couples récepteur/enregistreur utilisés pour la détection des smolts

Photo 13 : Vue des antennes multibrins (TUC1 et TUC2) de la chambre d'eau de Tuilières

Photo 14 : Antenne brins de l'exutoire principal située dans la rainure du batardeau

Photo 15 : Antenne brins d'un exutoire secondaire recouverte de renoncules

Photo 16 : Différentes étapes de marquage de smolts : introduction de l'émetteur ; mise en place à l'aide du « tube pousseur » ; smolt marqué avec l'antenne ressortant par l'opercule

Photos 17 et 18 : Colmatage des exutoires secondaires les 31 mars et 10 juin 2010

Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison au niveau de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières (Dordogne) pour les smolts de Saumon atlantique.

Résultats des tests du printemps 2011.

1. INTRODUCTION

Ces dernières années, on assiste à une prise de conscience, au niveau européen et en France, de la richesse que constituent les différentes populations de migrateurs amphihalins. Cet intérêt est en adéquation avec les objectifs que se fixent l'Europe et l'Etat français via la Directive Cadre européenne sur l'Eau (directive 2000/60/CE), à savoir l'atteinte du « bon état écologique » des eaux à l'horizon 2015. Dans un même temps, la loi n°2005-781, qui fixe les orientations de la politique énergétique, a pour objectif de faire produire à la France, d'ici 2010, 21 % de sa consommation intérieure sous forme d'énergie renouvelable (dont l'hydroélectricité fait partie dans les textes).

La France possède un potentiel de façade maritime important, permettant d'accueillir de nombreuses espèces migratrices qui y ont historiquement trouvé les conditions favorables à leur développement. Ainsi, le système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne est le dernier bassin européen à abriter les huit espèces de poissons migrateurs amphihalins : l'anguille, le saumon atlantique, la truite de mer, l'esturgeon européen, les lamproies marine et fluviatile, la grande alose et l'alose feinte.

Sur la Dordogne, les premiers barrages construits à la fin du XIX^{ème} siècle ont entraîné notamment la disparition du saumon et un plan de réintroduction du saumon a été lancé sur la Dordogne en 1975 par le Ministère de l'Environnement. Ce plan s'est notamment soldé, à partir de 1985, par une politique de grands travaux pour rétablir la libre circulation vers l'amont et permettre aux grands migrateurs anadromes d'accéder à nouveau aux zones de reproduction. Ainsi, les passes à poissons de Bergerac (1985) et de Mauzac (1987) furent construites puis l'ascenseur de Tuilières en 1989. Cependant, cet effort entrepris pour améliorer la montaison doit absolument s'accompagner de mesures destinées à favoriser la dévalaison des juvéniles (des adultes chez l'anguille).

Suite au renouvellement de la concession de Tuilières par arrêté préfectoral du 15 avril 2002, il a été inclus dans le cahier des charges (article 18) l'étude et la réalisation d'un dispositif mixte de dévalaison pour les poissons migrateurs, adapté aux smolts et aux anguilles. Au-delà des aspects réglementaires, la mise en place d'un dispositif de dévalaison à Tuilières en fait un site expérimental, en raison de la taille du site (débit turbiné de 400 m³/s) et de l'état des connaissances sur les dispositifs de dévalaison pour l'anguille. Dans ce contexte, un Comité d'Experts piloté par la DRIRE a été mis en place à partir de 2003. Celui-ci s'est depuis réuni à plusieurs reprises. Lors de la réunion du 18 juillet 2007, parmi les différentes solutions proposées, le Préfet de la Dordogne a tranché pour la mise en place à Tuilières :

- D'un masque guideau de surface pour la dévalaison des smolts, pouvant évoluer vers un dispositif mixte à grilles fines, mis en service chaque année du 15 mars au 15 juin,
- Des arrêts ciblés de turbinage pour la dévalaison des anguilles, du 1^{er} septembre au 31 décembre, de 18 h à 6 h.

2. OBJECTIF DE L'ETUDE

Ce dispositif de dévalaison a fait l'objet de plusieurs séries de tests sur un modèle physique par le LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement) d'EDF : il consiste en un masque de surface d'environ 120 m de long, disposé à l'amont de la prise d'eau actuelle et incliné par rapport à l'écoulement naturel de façon à guider les poissons vers un exutoire principal (clapet 1) ou vers deux exutoires secondaires de surface situés dans le masque. L'écoulement vers les groupes s'effectue sous le masque.

Ce dispositif devait faire l'objet d'une évaluation d'efficacité pendant au moins deux années consécutives. Cette évaluation doit permettre de s'assurer du bon fonctionnement du masque de surface. Dans le cas où son efficacité serait jugée insuffisante, il évoluerait en dispositif mixte avec grilles fines protégeant l'écoulement vers les turbines.

La présente étude constitue la troisième année consécutive de suivi du dispositif installé à Tuilières. Elle vise à appréhender, par la technique de radiotélémétrie, l'efficacité de ce nouveau dispositif de dévalaison en condition réelle d'exploitation. En effet, lors de la première campagne d'étude en 2009, l'usine était en cours de redémarrage et seuls deux groupes fonctionnaient durant les nuits. Malgré ces conditions particulières, non représentatives du fonctionnement normal de l'aménagement, des résultats intéressants ont été obtenus sur le comportement des smolts à l'approche de cet ouvrage (ECOGEA, 2009). Les tests réalisés en 2010 ont permis de donner une première approche de l'efficacité du masque en conditions normales d'exploitation (ECOGEA, 2010).

3. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

3.1. La Dordogne

Le système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne, situé dans la partie Sud-Ouest de la France, comprend deux axes principaux, la Garonne et la Dordogne, qui se rejoignent au Bec d'Ambés pour former l'estuaire de la Gironde.

La Dordogne prend sa source sur les pentes Ouest des Monts Dorés dans le Massif Central. Après 475 km et avoir drainé 24 500 km² (figure 1), elle rejoint l'estuaire de la Gironde et l'océan Atlantique. Elle est caractérisée par un régime hydrologique de type pluvial avec de hautes eaux liées aux pluies du printemps et de la fin de l'automne. Le module inter-annuel au niveau de l'usine de Tuilières est de 280 m³/s. La Dordogne reçoit la plus grande partie de ses affluents en rive droite et notamment la Vézère, qui représente 30 % de la surface totale du bassin versant, a une trentaine de kilomètres en amont de l'usine de Tuilières.

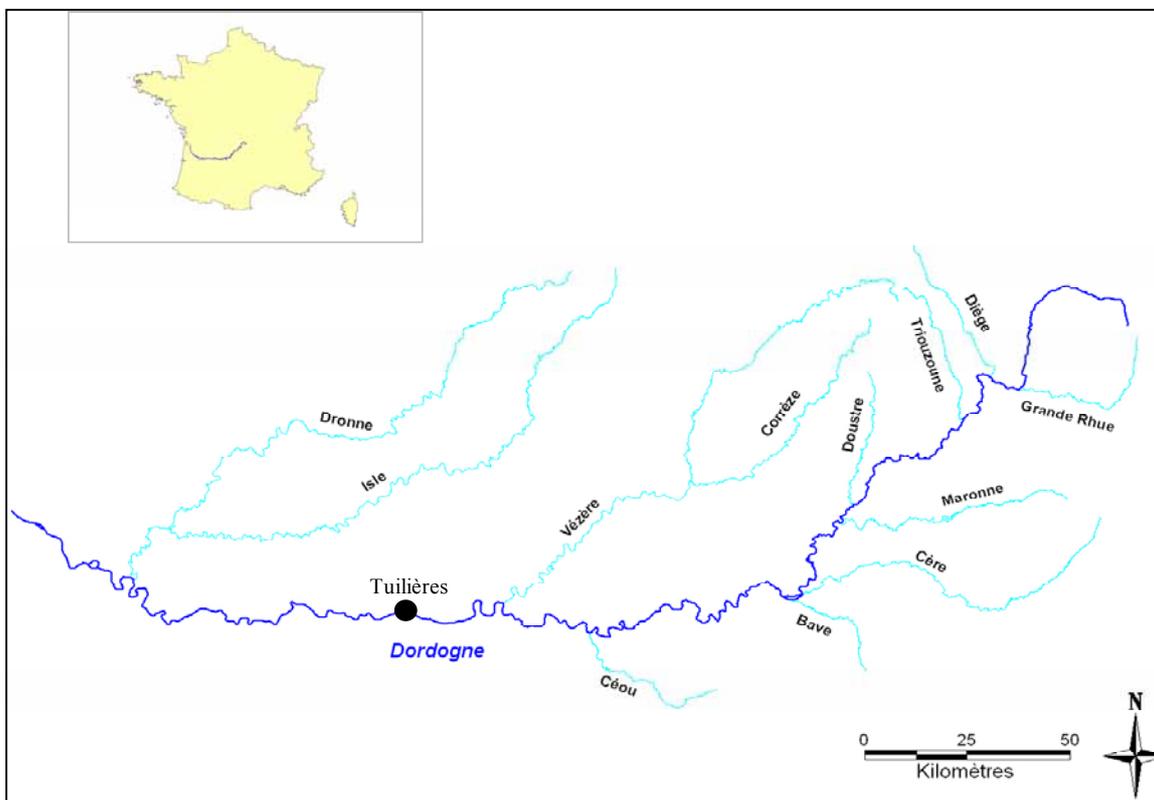


Figure 1 : carte du bassin hydrographique de la Dordogne

3.2. L'aménagement hydroélectrique de Tuilières

L'aménagement hydroélectrique de Tuilières est situé sur la Dordogne, à environ 200 km de l'estuaire. L'aménagement proprement dit, se compose en rive gauche d'un barrage mobile d'une longueur de 105 m. L'usine hydroélectrique est située en rive droite et fonctionne au fil de l'eau. Le barrage est composé de 8 pertuis avec 8 vannes Stoney de 10m de large (excepté la première côté rive droite, qui mesure 7 m) et 13.90 m de haut (*photo 1*), évacuant le débit par le fond. Les 4 vannes côté rive droite sont également équipées en surface de clapets de déversement. Le premier clapet rive droite correspond à l'exutoire principal de dévalaison et peut délivrer un débit de 22m³/s, les 3 suivants 16m³/s.

La retenue créée par le barrage a une superficie d'environ 75 ha et mesure 7 km de long, pour un volume dépassant les 5 millions de m³.

L'usine est équipée de huit groupes Kaplan. Leur débit unitaire théorique est de 52 m³/s, soit 416 m³/s de débit turbinable (environ 1.5 fois le module), sous une chute nette maximale de 12.40 m. Toutefois, d'après l'exploitant, les groupes seraient bridés à 80% et ne débiteraient au maximum qu'environ 35 m³/s pour les groupes 1 à 3 et 40 m³/s pour les autres, soit environ 305 m³/s de débit maximum turbiné par l'aménagement.

L'usine possède une puissance installée de 37 MW. Les prises d'eau des huit groupes sont protégées par un plan de grille de 60 m de long et de 7.7 m de haut. L'espacement des barreaux est de 70 mm.



Photo 1 : Vue amont du barrage de Tuilières depuis la rive gauche

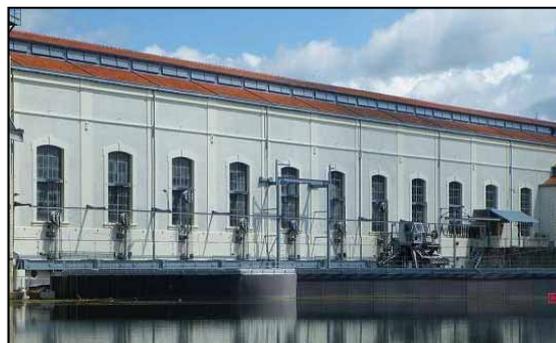


Photo 2 : Vue amont de l'usine hydroélectrique de Tuilières depuis la rive gauche

A l'origine, le barrage était équipé d'une passe à ralentisseurs en rive gauche. Jugée inefficace, un ascenseur à poissons a été installé en 1989, en rive droite de l'usine (*figure 2 et photo 3*). Cet ascenseur est couplé à une passe à bassins souterraine de 60 m. La prise d'eau de cette passe se trouve dans la chambre d'eau, à 40 m environ en amont des grilles de l'usine. Ce dispositif est alimenté par un débit variant de 1 à 1,5 m³/s. L'ascenseur est équipé d'un débit d'attrait de 4 m³/s. L'ancienne passe rive gauche a été transformée en passe à anguilles en 1999, et a été rénovée à l'occasion de la reconstruction du barrage. C'est lors de cette reconstruction que le nouveau système de dévalaison (masque guideau de surface) a été installé en amont de la prise d'eau.



Photo 3 : Ascenseur à poissons et passe à anguilles de Tuilières

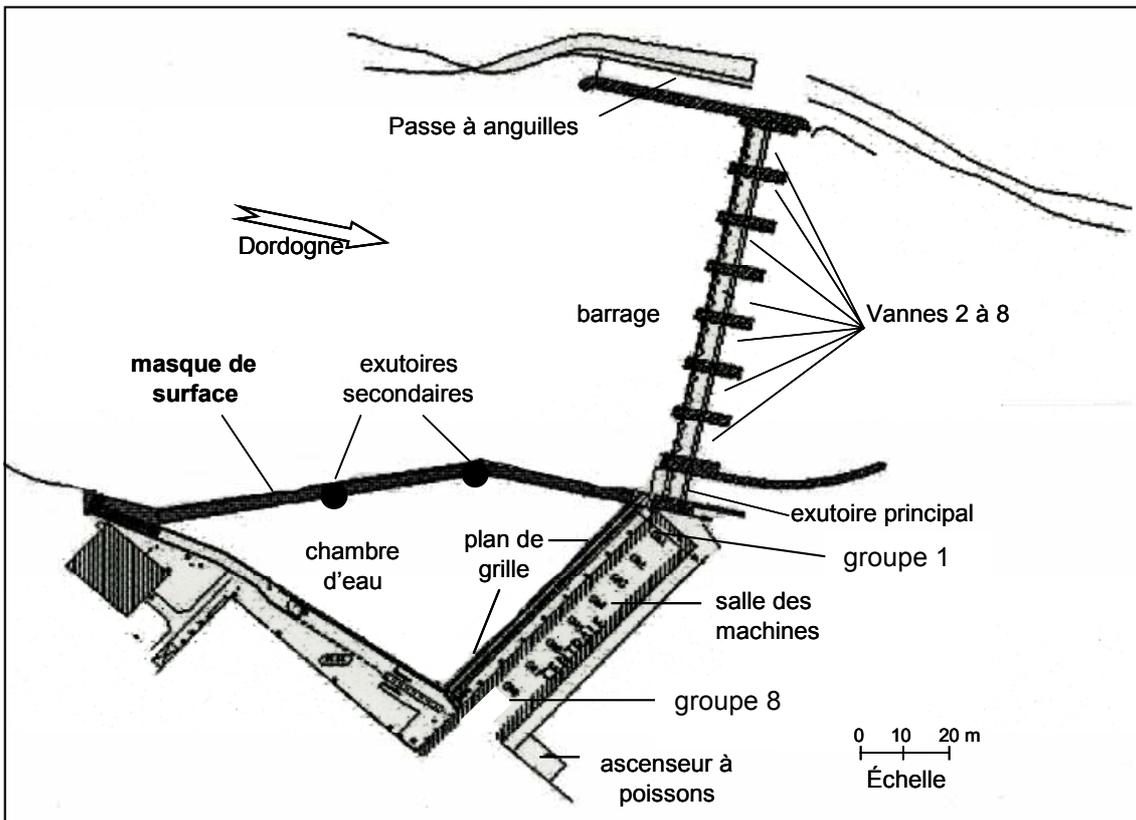


Figure 2 : Schéma représentatif de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières

3.3. Caractéristiques du dispositif de dévalaison

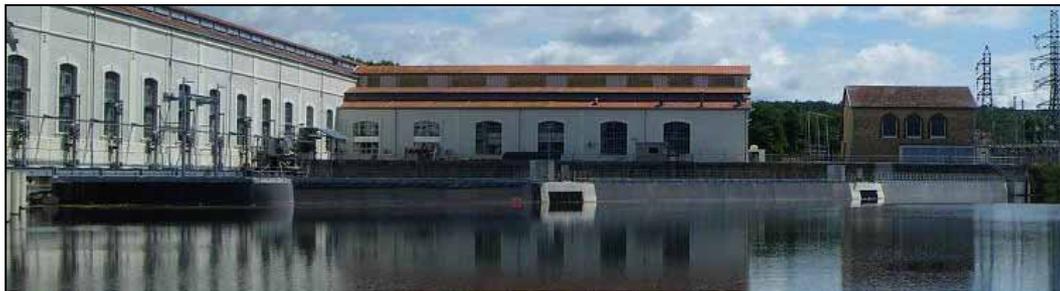


Photo 4: Vue générale du masque depuis la rive gauche

Le nouveau dispositif de dévalaison consiste en un masque de surface incliné par rapport à l'écoulement, ce qui assure une composante tangentielle des vitesses de courant permettant le guidage des poissons vers un exutoire de surface principal (clapet 1) ou vers deux exutoires de surface intermédiaires situés dans le masque (*photos 4, 5 et 6*). L'exutoire secondaire 1 correspondant à l'exutoire situé à l'amont du masque et l'exutoire secondaire 2 à celui situé à l'aval du masque.

Ce masque est constitué de plaques métalliques plongeant à 4,05 m de profondeur, ce qui ménage une ouverture de 3,60 m pour le passage de l'écoulement vers les groupes. Les plaques sont inclinées de 17° par rapport à la verticale. Le masque est divisé en trois travées d'environ 40 m chacune. La travée la plus amont possède une inclinaison plus importante par rapport à la rive que les deux autres. Sur la travée la plus aval, on trouve, une partie profilée en « S », appelée « boomerang », permettant de dégager suffisamment la prise d'eau des groupes 1 et 2 (*photo 5 et 6*). Chaque travée est séparée par une tourelle enfermant un puits dont la prise d'eau correspond aux exutoires secondaires. Ces exutoires ont été modifiés suite aux observations de colmatage important lors des campagnes de 2009 et 2010. Ils mesurent toujours 3,5 m de large pour 2,5 m de hauteur mais ils sont désormais équipés de barreaux carrés (*photo 7*) de 1,8 cm de d'épaisseur, espacés de 12,7 cm. Cette configuration semble moins répulsive pour les poissons qu'avec les barreaux ronds. Pour ce qui est du colmatage, deux pompes ont été installées entre la vanne et les barreaux. Des buses ont été installées afin de mieux répartir le jet des pompes notamment sur les bords des grilles ; zones le plus souvent colmatées. Ces pompes permettent de repousser une partie des débris au large lorsque la vanne est fermée (*photo 9*) et, lors de conditions hydrologiques comme celles rencontrées cette année (très faibles débits), le système semble efficace. Le débit alimentant chaque exutoire secondaire est de 2.5 m³/s. Ces puits sont prolongés par deux conduites qui se rejoignent sur le fond pour former un « pisciduc » se déversant à l'aval de l'usine, juste en aval de l'ascenseur à poisson. L'extrémité aval du masque débouche au niveau de l'exutoire de dévalaison principal (clapet 1) qui peut évacuer 21 m³/s (*photo 8*).

Ce dispositif remplit accessoirement un rôle plus classique de drome en empêchant une partie des corps flottants de pénétrer dans la chambre d'eau et de colmater les prises d'eau des turbines. Ces corps flottant sont donc également guidés vers l'exutoire principal.

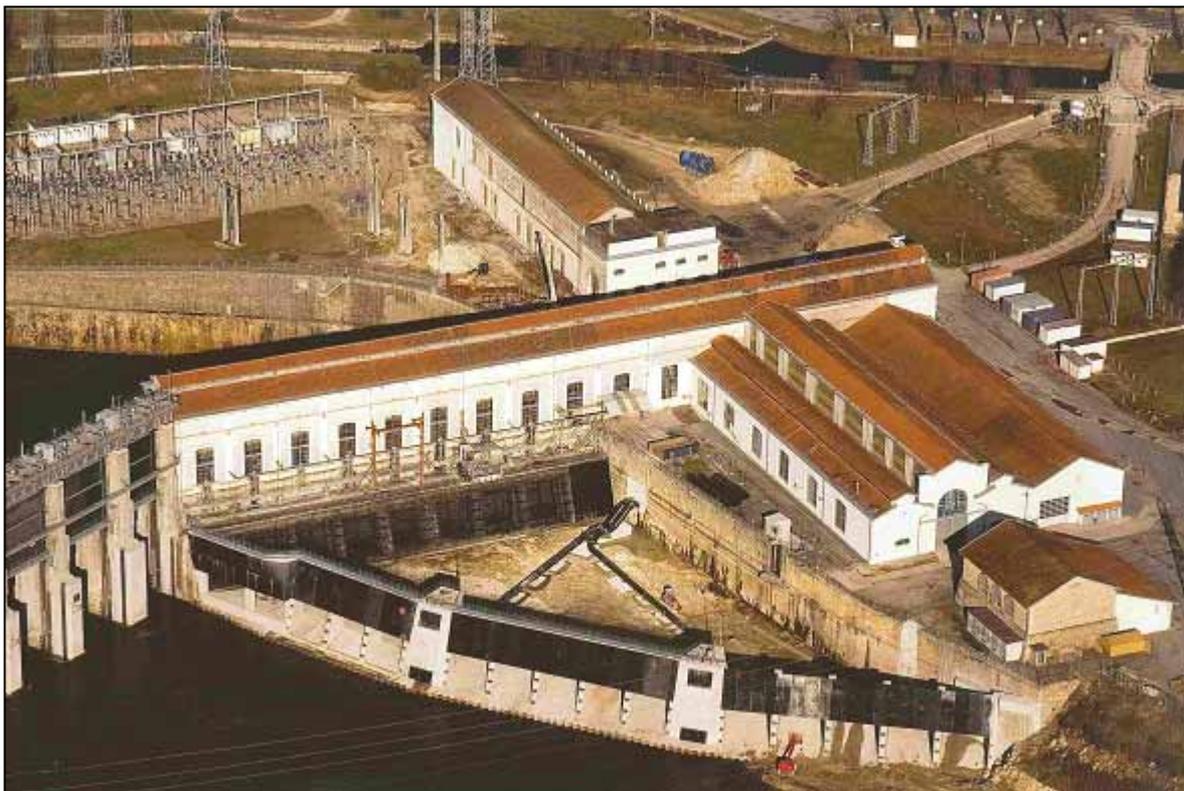


Photo 5 : Vue globale de l'usine et du masque lors des travaux



Photo 6 : Vue globale du masque avec la zone du boomerang depuis le barrage



Photo 7 : Barreaux carrés des exutoires secondaires



Photo 8 : Clapet 1, exutoire principal de dévalaison



Photo 9 : Dégrillage des exutoires secondaires par les pompes

4. MATERIEL ET METHODE

4.1. La période d'étude

L'étude s'est déroulée du 14 mars au 31 mai 2011. L'installation du site et les essais concernant le fonctionnement général du matériel de radiotélémetrie, ainsi que la calibration des antennes, se sont déroulés du 14 au 22 mars 2011. Les premiers lâchers de smolts ont eu lieu les 23 et 24 mars 2011 afin de s'assurer du bon fonctionnement du matériel, de la qualité de réception des émetteurs, de la calibration des antennes et du comportement des smolts. Ce premier essai a permis d'affiner les réglages afin d'éliminer un maximum de parasites.

Les premiers marquages et les premiers suivis de smolts radiomarqués au niveau de l'aménagement ont donc débuté le 23 mars et se sont poursuivis jusqu'au 06 mai 2011 (45 jours), **ce qui correspond à la moitié de la période principale de dévalaison des smolts de saumon atlantique** (HOAR, 1988 ; BŒUF, 1992) théoriquement prévue jusqu'au 15 juin. Cet arrêt prématuré des lâchers (un mois avant la fin prévue) est lié aux conditions hydrologiques / météorologiques qui ont engendré des débits extrêmement faibles pour la saison et provoqué des perturbations dans le fonctionnement de l'usine.

4.2. Les conditions environnementales au cours de la période d'étude

4.2.1. Débits, températures et transparence de l'eau

Les débits au niveau de la station hydrométrique de Bergerac n'étant plus disponibles depuis 2005, les données de débits de la Dordogne à l'aval de Bergerac proviennent de la station de Gardonne (station n°P5420010), puis de celle de Lamonzie Saint Martin (station n°P5320010) depuis 2008.

Les valeurs de débits entrant dans la retenue de Tuilières ont été obtenues grâce à un enregistreur mis à disposition par EDF, au pas de temps d'une minute, et téléchargées tous les jours depuis son coffret via sa carte mémoire. Cet enregistreur est situé au niveau de la pile de la vanne 1 en rive droite du barrage juste à côté des postes de radiotélémetrie.

Les températures ont été enregistrées au pas de temps horaire par une sonde thermique installée à l'usine de Tuilières par l'association Migrateur Garonne Dordogne (MI.GA.DO).

Les valeurs de la transparence de l'eau ont été mesurées quotidiennement à l'aide d'un disque de Secchi.

4.2.2. Fonctionnement de l'usine

Outre les débits entrants, la télé-exploitation EDF mise en place sur le site de Tuilières a permis de récupérer plusieurs variables caractérisant le fonctionnement de l'ouvrage étudié. Tout au long de la période d'étude, ont ainsi pu être téléchargés:

- la côte amont du plan d'eau, ainsi que la côte aval de l'ouvrage,
- le débit turbiné par les différents groupes de l'usine hydroélectrique,
- le débit déversé par l'exutoire de surface principal (clapet 1), ainsi que le débit évacué par les vannes de crue.

Les deux exutoires secondaires situés sur le masque ne sont pas équipés de capteurs, les débits entrant ne sont donc pas enregistrés et disponibles. Le débit de ces deux exutoires, évacué par le pisciduc, est estimé à 5 m³/s (2.5 m³/s par exutoire). A cela s'ajoutent les débits d'attrait de l'ascenseur à poissons et de la passe à bassins prolongeant l'ascenseur, soit respectivement 4 et 1 m³/s. Ces 10 m³/s alimentant les dispositifs de montaison et de dévalaison ne sont pas enregistrés par la télé-exploitation d'EDF.

4.3. Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémetrie

4.3.1. Le principe

Dans son principe général, la radiotélémetrie consiste à équiper un animal d'un émetteur radio et à suivre ses déplacements dans son milieu à l'aide de récepteurs, fixes ou mobiles, reliés à une antenne (figure 3).

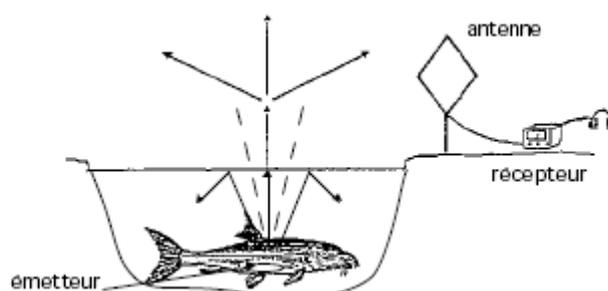


Figure 3 : Principe du radiopistage en milieu aquatique. (BARAS et CHERRY, 1992)

Le plus souvent, les limites de la télémetrie sont fixées par la technologie utilisée, c'est à dire la puissance et la portée des émetteurs ou encore leur durée de vie. Par ailleurs, le signal transmis par l'émetteur s'atténue plus rapidement dans l'eau que dans l'air et ce, d'autant plus qu'on est en profondeur, que la conductivité électrique de l'eau augmente et que la fréquence d'émission est élevée (WINTER, 1983).

Dans toutes les études de télémetrie, on suppose que les émetteurs n'interfèrent pas avec la survie, les performances ou le comportement des poissons (BARAS et LAGARDERE, 1995).

Le protocole utilisé à Tuilières consiste à lâcher en amont de l'usine, depuis le pont de Saint-Capraise de Lalinde (situé à environ 2 km en amont du barrage), des smolts porteurs d'émetteurs. Le suivi par repérage manuel et les enregistrements automatiques de leurs déplacements servent à étudier leur comportement à l'approche de l'aménagement, afin de déterminer la voie de passage utilisée lors du franchissement de l'ouvrage (exutoires, turbines, vannes de crue...).

4.3.2. Le matériel biologique

Des études antérieures ont montré que des poissons issus de pisciculture présentaient un comportement comparable à celui des poissons sauvages (TRAVADE *et al.*, 1994). Ainsi, 1000 smolts (*photo 10*) issus de la pisciculture MI.GA.DO de Castels (24) ont été utilisés pour l'étude, en raison de l'impossibilité de récupérer des smolts sauvages sur la Dordogne.



Photo 10 : smolt de la pisciculture de Castels

	taille (cm)	poids (g)	K
min	16,3	36	0,70
max	19,6	64	0,96
médiane	18,3	50	0,85

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques des smolts radiomarqués en 2011 (K : coefficient de condition)

4.3.3. Le matériel utilisé

4.3.3.1. *Emetteurs*

Les radio-émetteurs ATS® (Advanced Telemetry Systems) choisis en 2011 (*photo 11*) ont chacun une fréquence individualisée, émettant dans la gamme 48 MHz – 49 MHz. Le modèle utilisé est différent de celui utilisé en 2009. Les résultats des suivis précédents (2009 et 2010) ont montré que 94.5 % des poissons marqués franchissaient l'ouvrage durant les 24h qui suivent leur lâcher. Nous avons donc gardé le même modèle d'émetteurs que ceux utilisés en 2010, qui sont plus puissants que ceux utilisés en 2009, mais dont la durée de vie de la batterie est plus courte. Les caractéristiques de ces différents émetteurs sont données dans le tableau ci-dessous.



Photo 11 : Emetteur utilisé pour le marquage des smolts avec son tube pousseur

	Modèle	longueur (mm)	diamètre (mm)	poids dans l'air (g)	capacité batterie garantie
2009	F 1420	16	8	1,3	16j
	F 1430	17	9	1,7	26j
2010	F 1710	18	7	1,4	5j
2011	F 1710	18	7	1,4	5j

Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés

Pour la très grande majorité des smolts, le poids de ces émetteurs ne dépasse pas 2.5 % du poids total des poissons, comme préconisé par BARAS (2001).

4.3.3.2. Récepteurs-Enregistreurs



Photo 12 : Exemples de couples récepteur/enregistreur utilisés pour la détection des smolts

Des stations de réception fixes, composées d'un récepteur (modèle ATS 2100) couplé à un enregistreur numérique de 320 Ko de mémoire (modèle ATS D5040 Data Collection Computer), ont été installées sur différentes parties de l'aménagement de Tuilières (*photo 12*). Ces stations reliées à des antennes réceptrices, aériennes (antenne boucle) ou immergées (partie dénudée de 17 cm de longueur), permettent de surveiller en continu des zones de réception calibrées et de suivre ainsi précisément les déplacements des smolts radiomarqués.

La durée d'écoute d'une fréquence est réglable de 2 s à 16 min. Compte-tenu des vitesses de déplacements potentiellement rapides des smolts en dévalaison et du retour d'expérience sur d'autres sites (CHANSEAU, 1999 ; BAU, 2002), cette durée a été fixée à 4 s pour cette étude.

4.3.4. Zones de détection

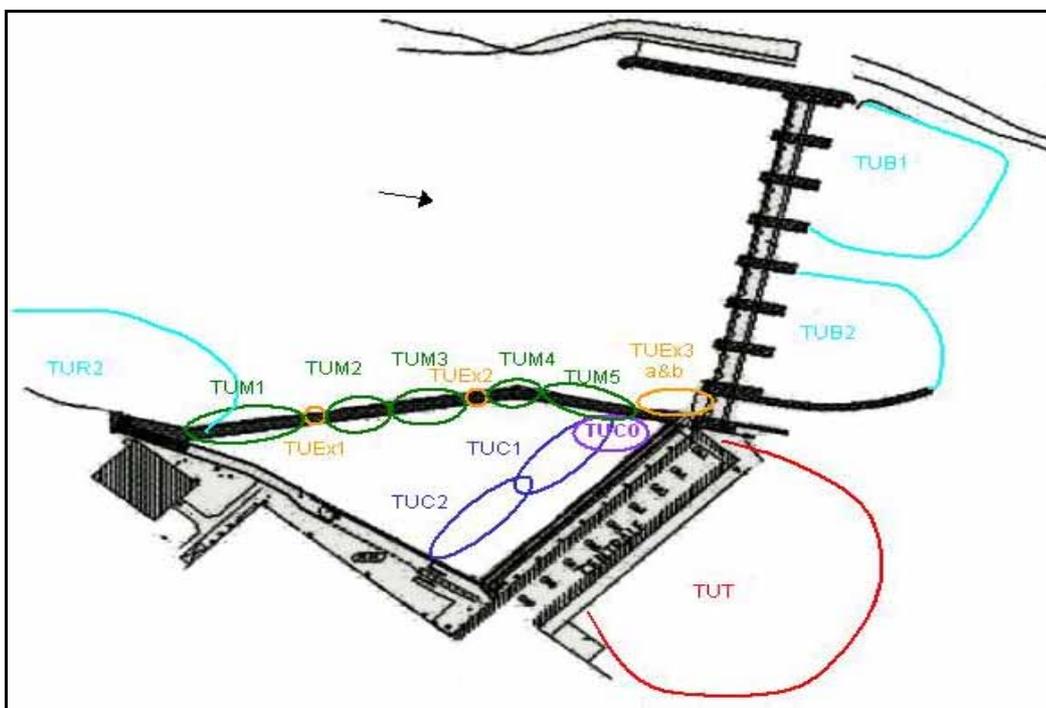


Figure 4 : plan des différentes zones d'enregistrement sur le site de Tuilières

Les différentes antennes installées sur le site ont permis de déterminer plusieurs zones précises de détection afin d'observer le comportement global des smolts radio-marqués au droit du site d'étude, de déterminer les voies de passage (turbines, exutoires, vannes de crue...), ainsi que les heures de franchissement (Figure 4).

Ainsi, une antenne boucle délimitant une zone générale Amont (TUR) a été installée pour permettre de détecter l'arrivée des smolts dans la retenue.

Le masque a entièrement été équipé d'antennes multibrins (TUM1, TUM2, TUM3, TUM4 et TUM5) afin d'observer le déplacement des smolts et les éventuelles zones de franchissement du masque. Les brins constituant ces antennes étaient initialement au nombre de 5 par travée mais, pour des raisons de parasites et de fiabilité de réception, l'antenne de la travée du milieu a été divisée en deux (TUM2 et TUM3). L'antenne aval a, quant à elle, été divisée en deux afin de déterminer le passage des smolts sous le masque par rapport à la zone du boomerang (TUM4 amont boomerang et TUM5 aval boomerang). Ces antennes sont constituées de câble radio coaxial RG 58 et le signal est reçu par l'extrémité immergée dénudée sur 17 cm. Elles sont immergées, côté chambre d'eau, à 4,5 m de profondeur par rapport à la RN, de façon à ce que la partie dénudée de l'antenne se situe au-dessous de la partie métallique du masque, afin d'éviter autant que possible les échos lorsque les poissons longent le masque contre la paroi métallique. De ce côté du masque, les brins sont relativement bien protégés des corps flottants, notamment des renoncules.

La chambre d'eau était initialement équipée de deux antennes multibrins (TUC1 et TUC2) pour examiner le comportement en amont du plan de grille de l'usine qui mesure 60 m de long. Pour cela, il a fallu tendre un câble en acier d'une rive à l'autre, à une dizaine de mètres en amont de ce plan de grille et à quelques mètres au-dessus de la surface de l'eau (photo 13 et figure 5). Le long de ce câble, plusieurs mousquetons soutiennent les deux cordes où sont fixées les 2 antennes 3 brins. Ce dispositif permet en outre de ramener facilement les 2 antennes vers la berge pour réaliser l'entretien courant (élimination de déchets et corps flottants) et/ou des opérations de maintenance.

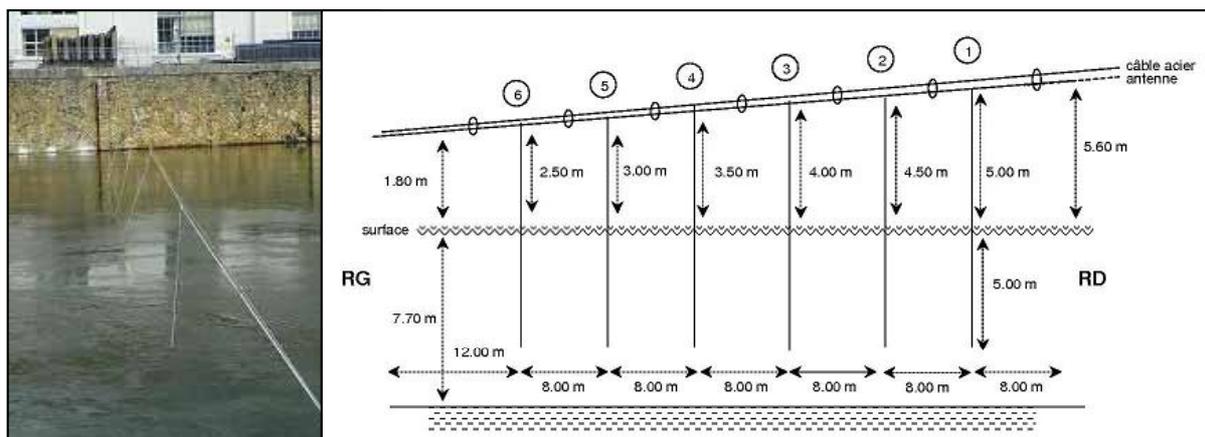


Photo 13 : Vue des antennes multibrins (TUC1 et TUC2) de la chambre d'eau de Tuilières ;

Figure 5 : Schéma de l'antenne multibrin TUC1 (4,5 et 6) et de l'antenne multibrin TUC2 (1,2 et 3)

Les 6 brins, espacés de 8 m, plongent à 5 m de profondeur par rapport à la RN lorsque les groupes ne fonctionnent pas (figure 5). Ils sont lestés (jusqu'à 9 kg pour les deux brins rive droite) pour éviter d'être trop attirés par le courant lors du fonctionnement des groupes. De cette façon, toute la colonne d'eau (7.70 m) est couverte par ces deux zones de réception qui s'étendent sur une quinzaine de mètres depuis le plan de grille et qui se recoupent entre les brins 3 et 4.

Suite aux observations des premiers lâchers de 2010, une nouvelle antenne constituée d'un seul brin (TUC0) a été installée dans la chambre d'eau. Elle est indépendante des deux autres (l'enregistreur est situé dans la cabane de la tourelle aval) et couvre une petite zone allant du bord du masque au niveau du « boomerang » au groupe 3 jusqu'au plan de grille. De cette façon, la zone de turbulence générée par ce « boomerang » et le fonctionnement des groupes 1 et 2 est couverte par cette zone de réception assurant ainsi l'enregistrement de données lors d'éventuels passages de smolts dans cette zone.



Photo 14 : Antenne brins de l'exutoire principal située dans la rainure du batardeau

L'exutoire principal est équipé de deux antennes simple brin (TUEx3a et TUEx3b). Le câble radio est fixé sur une corde de rappel lestée. Les deux brins dénudés sont situés entre 0,50 m et 1,00 m de profondeur par rapport à la RN. Le tout est placé dans la rainure du batardeau du clapet 1 (photo 14). Ceci permet de protéger les antennes des embâcles évacués par le clapet mais aussi de les maintenir verticales, de sorte qu'elles ne soient pas entraînées par la lame déversante du clapet.

Suite aux résultats obtenus en 2010 et notamment un nombre important de poissons qui se sont présentés dans la zone de réception du clapet et qui ont quand même franchi le masque essentiellement sous la travée aval, nous avons essayé, comme le montre la figure qui suit, de décomposer la zone de réception du clapet.

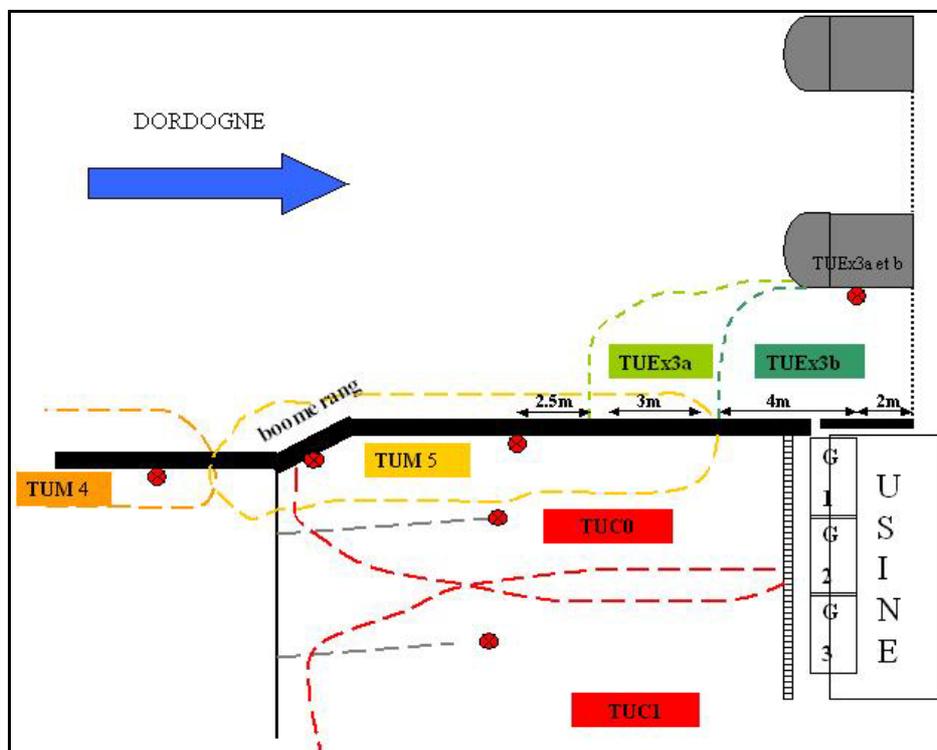


Figure 6 : Détail des différentes zones de réception proche de l'exutoire principal

La zone de réception de l'exutoire principal mesure environ 9 m pour l'antenne TUEX3a et 6 m pour l'antenne TUEX3b (Figure 6). Cette calibration est un compromis entre la taille de la zone désirée, la vitesse de déplacement des smolts à cet endroit et le nombre de poissons radiomarqués pouvant se présenter dans cette zone au même moment (potentiellement 3). De plus, ce jeu d'antennes dans cette zone (TUEX3, TUC0, TUM4 et TUM5) nous permet de déterminer avec plus de précisions les déplacements des smolts dans cette zone ainsi que les franchissements du masque (amont-aval boomerang avec ou non présentation dans les zones TUEX3a et/ou TUEX3b).



Photo 15 : Antenne brins d'un exutoire secondaire recouverte de renoncules

Chaque exutoire secondaire est également équipé d'une antenne double brins (TUEX1 et TUEX2) (photo 15). Une corde de rappel lestée, où est fixé le câble radio, est plongée dans le puits de l'exutoire. Les deux brins dénudés sont à 4,5 m et 5,9 m de profondeur par rapport à la RN.

Enfin, pour confirmer les passages par les turbines, une zone recouvrant la sortie des turbines a été établie (TUT1, TUT2 et TUB) grâce à des antennes boucle.

Le récapitulatif des différentes stations d'enregistrement mises en place sur le site de Tuilières se trouve dans le tableau ci-dessous.

NOM	LOCALISATION	TYPE	NOMBRE DE BRINS
TUR2	Amont masque rive droite	boucle aérienne	-
TUM1	Travée amont masque	brin immergé	5
TUM2	Travée centrale masque	brin immergé	3
TUM3	Travée centrale masque	brin immergé	2
TUM4	Travée aval masque	brin immergé	3
TUM5	Travée aval masque	brin immergé	2
TUEX1	Exutoire secondaire amont	brin immergé	2
TUEX2	Exutoire secondaire aval	brin immergé	2
TUEX3a	Exutoire principal	brin immergé	1
TUEX3b	Exutoire principal	brin immergé	1
TUC0	Chambre d'eau rive gauche (G1-G3)	brin immergé	1
TUC1	Chambre d'eau rive gauche	brin immergé	3
TUC2	Chambre d'eau rive droite	brin immergé	3
TUB1	Aval barrage rive gauche	boucle aérienne	-
TUB2	Aval barrage rive droite	boucle aérienne	-
TUT	Aval turbines	boucle aérienne	-

Tableau 3 : Descriptif des stations d'enregistrement

Une zone amont barrage rive gauche était initialement prévue. Les postes ATS 4500s prêtés cette année par le CEMAGREFF avaient pour but de mettre en place une zone réception englobant toute la retenue. La faible puissance des émetteurs ainsi que les nombreux parasites présents sur le site de Tuilières (les lignes haute tension, transformateurs, commandes du barrages...) n'ont pas permis d'élargir la zone de réception à la totalité de la retenue malgré les capacités de filtration plus importantes. Les données enregistrées par ce poste n'ont été utilisées que lorsqu'elles étaient sûres et confirmées par les suivis manuels. Il n'a pas toujours été possible de détecter l'arrivée sur site des poissons et donc de déterminer les temps de présence sur site avant le franchissement.

4.3.5. Suivi mobile

Pour chaque lâcher, réalisé à 2 kilomètres en amont du barrage (pont de St Capraise de Lalinde), un suivi manuel a été effectué à pieds jusqu'au barrage de Tuilières, afin d'accompagner la dévalaison des smolts et de confirmer les enregistrements obtenus par les stations de réception fixes.

4.3.6. Modalités de marquage, de transport et de lâcher

Le marquage

Toutes les opérations de marquage ont eu lieu à la pisciculture MI.GA.DO. de Castels.

Avant toute opération sur les poissons, ces derniers sont au préalable anesthésiés à l'aide d'huile essentielle de clou de girofle (90% d'eugénol). Les poissons sont plongés dans une solution comportant 1,5 ml d'eugénol à 10% pour 10 l d'eau.

Les smolts à marquer sont choisis selon des critères de bon état général et d'état de smoltification avancé, puis pesés (au g près) et mesurés (longueur totale, au mm près). Le marquage se fait par insertion stomacale. L'émetteur est introduit dans un « tube pousseur » en plastique souple. Ce tube permet de placer l'émetteur dans la bouche du smolt et de le pousser délicatement jusque dans l'estomac. Le tube est ensuite retiré et l'antenne est délicatement ressortie par un opercule (*photo 16*). D'après PEAKE (1997), ce mode de marquage est le seul qui n'altère pas les capacités de nage des smolts de saumon atlantique.

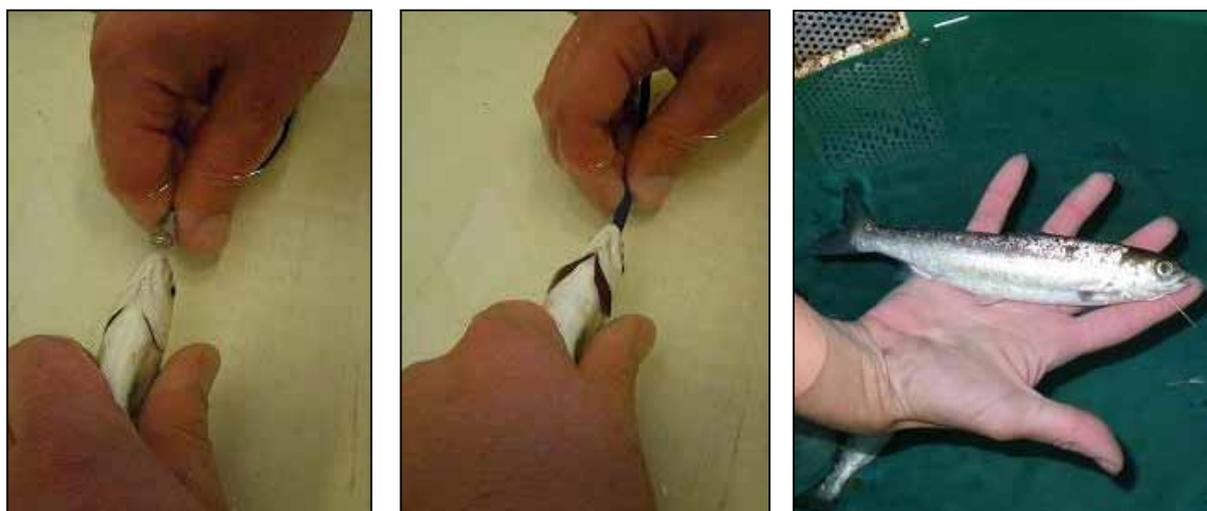


Photo 16 : Différentes étapes de marquage de smolts : introduction de l'émetteur ; mise en place à l'aide du « tube pousseur » ; smolt marqué avec l'antenne ressortant par l'opercule

Après le marquage, les poissons sont transférés dans un bac de réveil dont l'eau est renouvelée constamment et placés à l'obscurité pendant une quinzaine de minutes. Une fois que les poissons ont totalement récupéré, les smolts marqués sont placés avec des smolts non marqués dans des poches plastiques contenant environ 10 l d'eau et gonflées à l'oxygène (de 15 à 20 poissons par poche).

Transport et stabulation

Les poissons sont transportés en poches jusqu'à l'usine de Tuilières dans l'après-midi précédant le lâcher. Une fois sur site, les poches sont mises à tremper dans une cuve alimentée en permanence par une pompe immergée dans la Dordogne. Une fois que la température de l'eau des poches est identique à celle de la cuve, les eaux sont progressivement mélangées pour acclimater les smolts à l'eau de la Dordogne. Cela permet également de s'assurer que les poissons marqués n'ont pas régurgité leur émetteur durant le transport. Les poissons restent dans cette cuve jusqu'à l'heure du lâcher, le soir du marquage, à la nuit tombée.

Les lâchers

Les lâchers se sont déroulés depuis le pont de Saint Capraise de Lalinde, situé à environ 2 km en amont de l'ouvrage de Tuilières. Les poissons sont lâchés par lot de 30. Chacun des lots comprend 3 poissons marqués. Les smolts non marqués accompagnent les individus marqués afin de se rapprocher de leur comportement naturel de dévalaison en banc (SMITH, 1985 ; PITCHER, 1993). Afin de lâcher les poissons le plus délicatement possible, ces derniers sont descendus à l'aide de cordages, depuis le pont, dans une petite cuve fermée, contenant de l'eau de la Dordogne, et déversés une fois le niveau de la surface atteint. Afin de voir un éventuel « effet de rive » pour les déversements, ces derniers ont été effectués alternativement côté rive droite pour le lâcher n, au milieu pour le lâcher n+1 et côté rive gauche pour le lâcher n+2.

5. RESULTATS

5.1. Conditions environnementales au cours de la période d'étude

5.1.1. Débits, températures et transparence de l'eau

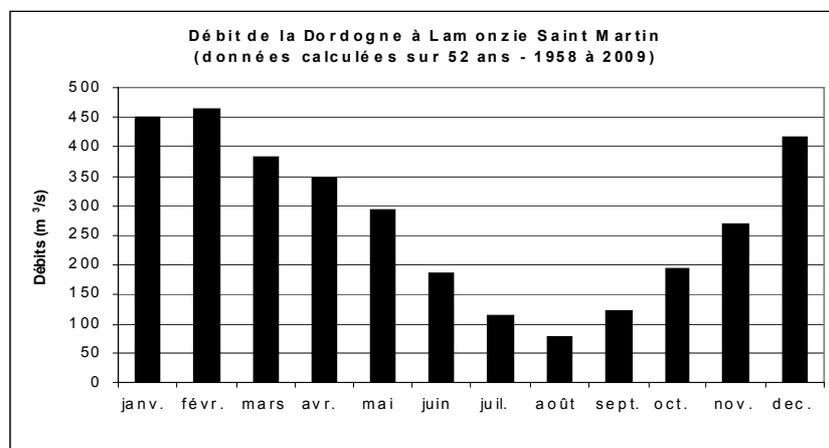


Figure 7 : Débit moyen mensuel de la Dordogne à Lamonzie Saint Martin (chronique 1958-2009)

Le régime hydrologique de la Dordogne à l'aval de Bergerac est marqué par de hautes eaux hivernales liées aux précipitations (essentiellement sous forme de pluie) et des étiages estivaux prononcés (figure 7).

Dordogne à Lamonzie Saint Martin			
Station n°P5320010 - Module = 275 m ³ /s			
Données calculées sur 52 ans (1958-2009)			
	Avril	Mai	Juin
Q moy.mensuel de référence (m³/s)	247	293	186
Q moy.mensuel de 2009 (m ³ /s)	284	301	111
Coefficient d'hydraulicité 2009	1,15	1,03	0,6
Q moy.mensuel de 2010 (m ³ /s)	314	161	386
Coefficient d'hydraulicité 2010	1,2	0,55	2,1
Q moy.mensuel de 2011 (m ³ /s)	96	96	-
Coefficient d'hydraulicité 2011	0,39	0,33	-

Tableau 4 : Coefficient d'hydraulicité des mois d'étude

L'hydraulicité pour le printemps 2011 a été particulièrement faible, que ce soit au mois d'avril ou au mois de mai (coefficient d'hydraulicité de 0.39 et 0.33). Le débit moyen mensuel est même inférieur à celui mesuré en 2003 aux mêmes mois (126 et 108 m³/s). Le débit de la Dordogne étant très faible, le fonctionnement de l'usine pendant le suivi a été très perturbé, rendant par moment l'installation du matériel de radiotélémetrie inefficace. A partir du début du mois de mai, un seul groupe était maintenu en marche au minimum et de façon manuelle, c'est à dire qu'à chaque variation du niveau d'eau, la régulation du plan d'eau se faisait par les autres clapets de surface, non équipés d'antennes.

Tout comme en 2010 (surtout les mois de mai et début juin), les tests de 2011 n'ont pu être réalisés qu'en conditions de faibles débits.

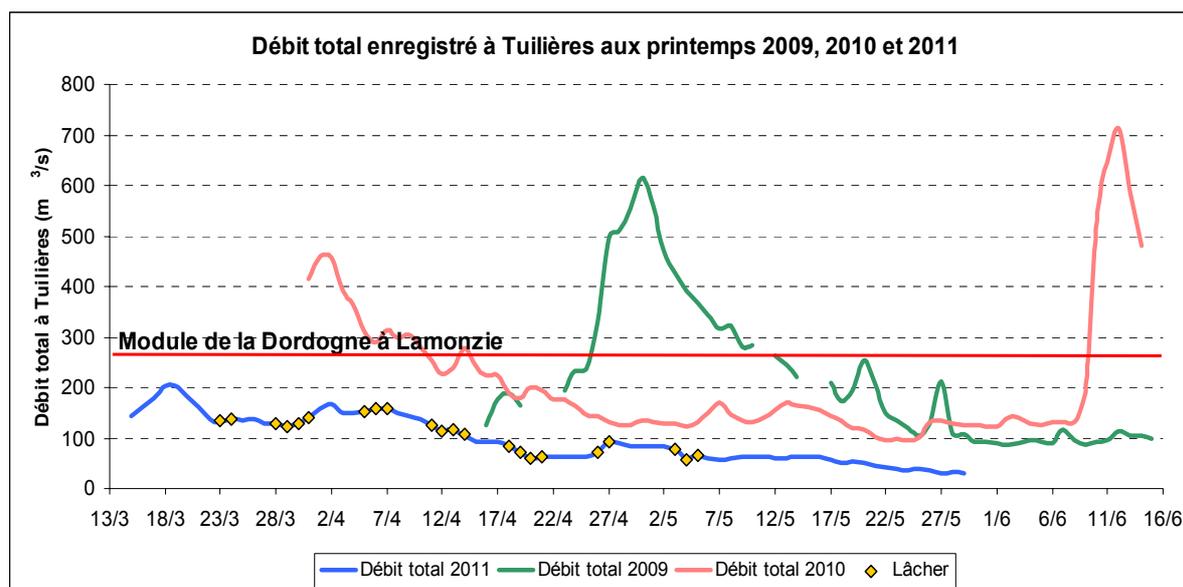


Figure 8 : Débit moyen journalier de la Dordogne à Tuilières durant les périodes d'étude 2009-2010 et 2011

La Dordogne n'a connu aucun épisode pluvieux durant la période d'étude 2011 (figure 8). Les premiers lâchers ont pu être réalisés avec des débits de l'ordre de 150 m³/s. La baisse des débits a commencé début avril et s'est poursuivie lentement jusqu'au début du mois de mai. Après cette date, les débits étaient trop faibles pour que l'usine puisse fonctionner de manière constante (déclenchement régulier du groupe en marche, régulation du plan d'eau par les autres clapets non équipés d'antennes de radiotélémetrie,...). C'est pourquoi, le dernier lâcher a eu lieu dans la journée du jeudi 5 mai 2011.

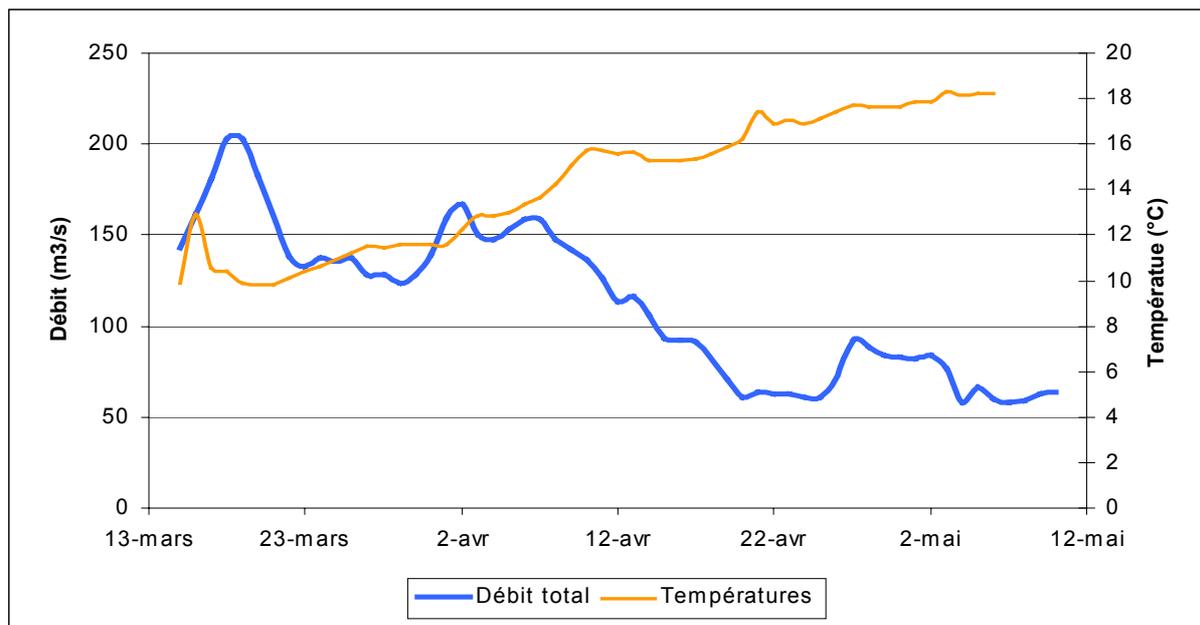


Figure 9 : Température moyenne journalière de l'eau de la Dordogne sur la période de lâcher 2011

La température de l'eau de la Dordogne a varié de 9.8°C à 18°C au cours de la période de lâcher (figure 9). D'après des tests réalisés par le Conservatoire National du Saumon Atlantique sur des smolts de pisciculture de souche Allier, l'activité migratoire des smolts serait réduite de 25% pour une température de 17°C et stoppée au dessus de 20°C.

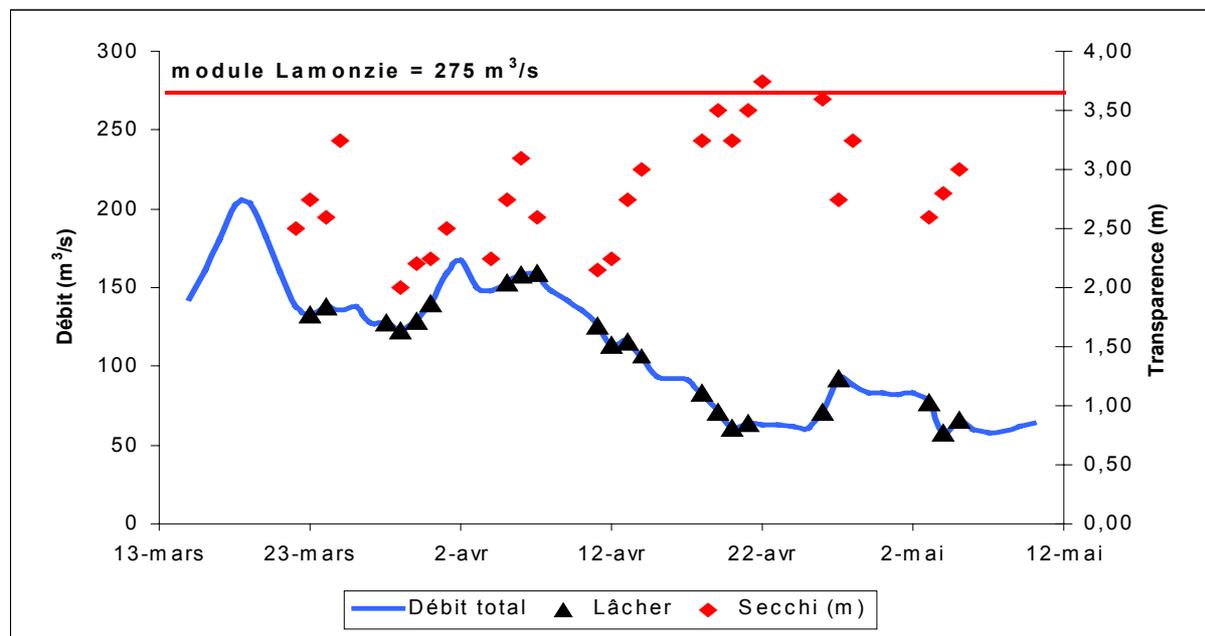


Figure 10 : Evolution de la transparence de l'eau au cours de la période d'étude 2011

La transparence de l'eau, mesurée à l'aide d'un disque de Secchi, a varié de 2 m à 3.75 m. Classiquement, les plus faibles valeurs de transparence correspondent à des périodes d'un débit plus élevé (figure 10). Ces mesures sont en adéquation avec la faible hydraulicité de la Dordogne durant la période d'étude.

5.1.2. Fonctionnement de l'usine

La cote NGF amont de la retenue de Tuilières a varié de 31.13 m (le 14/04 à 11h48) à 31.29 m (le 06/05 à 21h31).

L'usine de Tuilières a fonctionné normalement pendant la période de dévalaison même si certains groupes ont été arrêtés pour des raisons de maintenance. Toutefois, cela n'a pas eu d'influence sur l'étude compte tenu des faibles débits rencontrés dès le début des lâchers (pas de surverse lors de débit inférieur à la capacité de production de l'usine).

En concertation avec le groupement de l'usine de Tuilières, une alternance des groupes en fonctionnement a pu être mis en place dès le début de l'étude pour tester les différentes configurations possibles. Par contre, la faible hydraulicité et l'indisponibilité des groupes 1 et 7 en cours d'étude, ont rendu impossible le test de certaines configurations de fonctionnement de l'usine.

	nombre de groupes en marche							
	1	2	3	4	5	6	7	8
nb d'heure	63	447	75	307	164	0	0	0
%	6,0%	42,3%	7,1%	29,1%	15,5%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 5 : Temps de fonctionnement des diverses configurations en fonction du nombre de groupes en service à l'usine de Tuilières

Ainsi durant le suivi, l'usine a présenté la majorité du temps une configuration avec deux groupes en marche (*tableau 5 et figure 11a*), ces 2 groupes ne turbinant pas à pleine puissance (les groupes étant bridés, d'après l'exploitant, à un maximum de 40 m³/s). Cette configuration à deux groupes a débuté à partir du 14 avril jusqu'à la fin des lâchers. L'alternance de fonctionnement des groupes a fait que les tests ont pu être réalisés essentiellement avec les groupes 2 et 3 puis les groupes 6 et 8.

Hors avarie temporaire de l'usine, le débit horaire moyen turbiné à l'usine (*figure 11b*) a varié de 12 m³/s (le 05/05 à 09h00) à 162 m³/s (le 05/04 à 13h00) contre 49 à 303 m³/s en 2010.

En 2010, l'usine a fonctionné en majorité avec 4 groupes (37%) puis avec 3, 5, 6 et 8 groupes entre 14.5 et 16.5% du temps.

La configuration d'usine avec seulement 2 groupes n'a représenté que 0.4% du temps en 2010 contre 42.3% cette année.

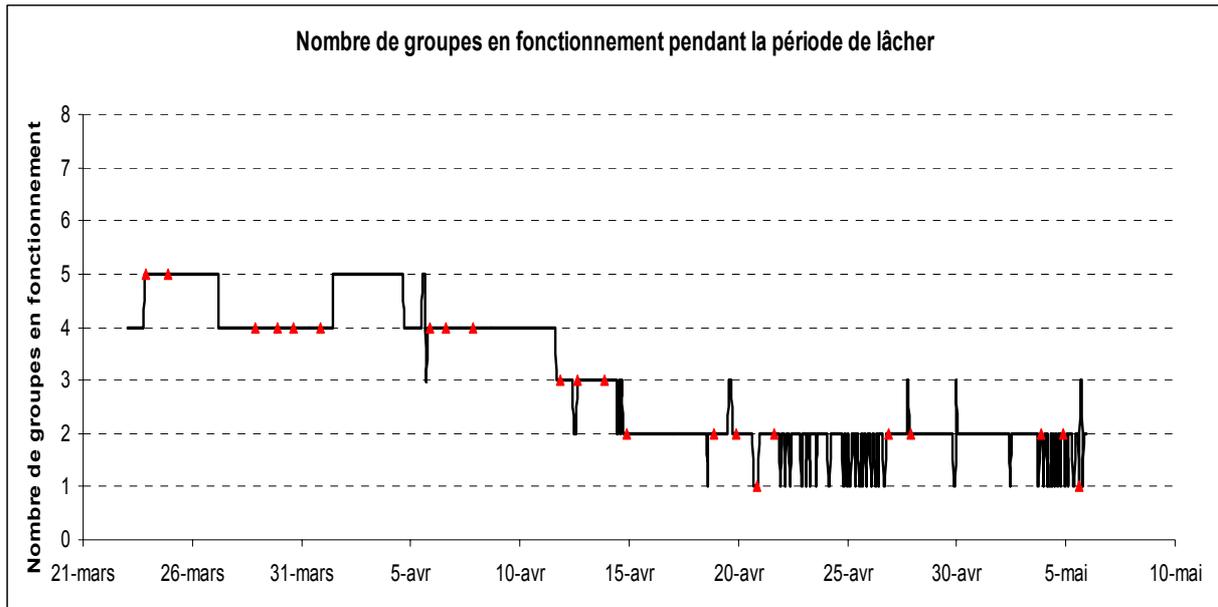


Figure 11a : Nombre de groupes en fonctionnement à l'usine de Tuilières tout au long de la période de lâcher

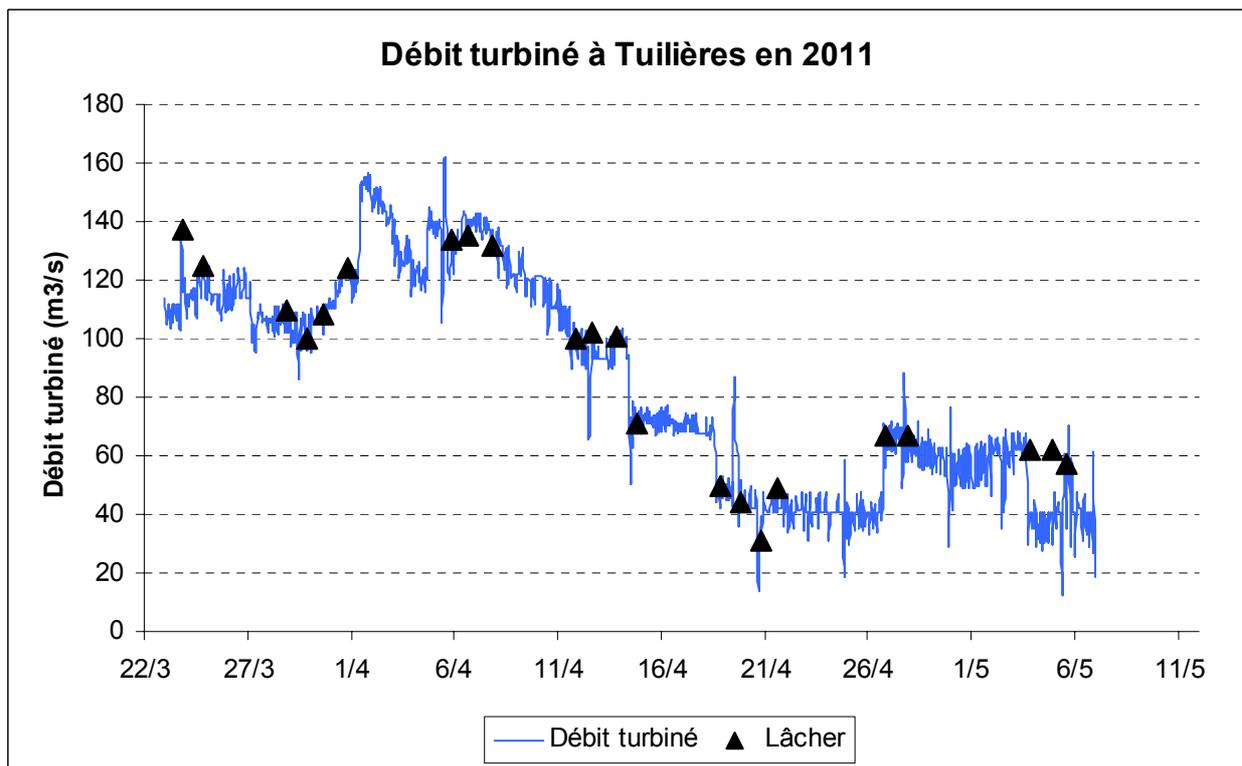


Figure 11b : Débit moyen horaire turbiné à l'usine de Tuilières tout au long de la période de lâcher

5.2. Efficacité du dispositif de dévalaison

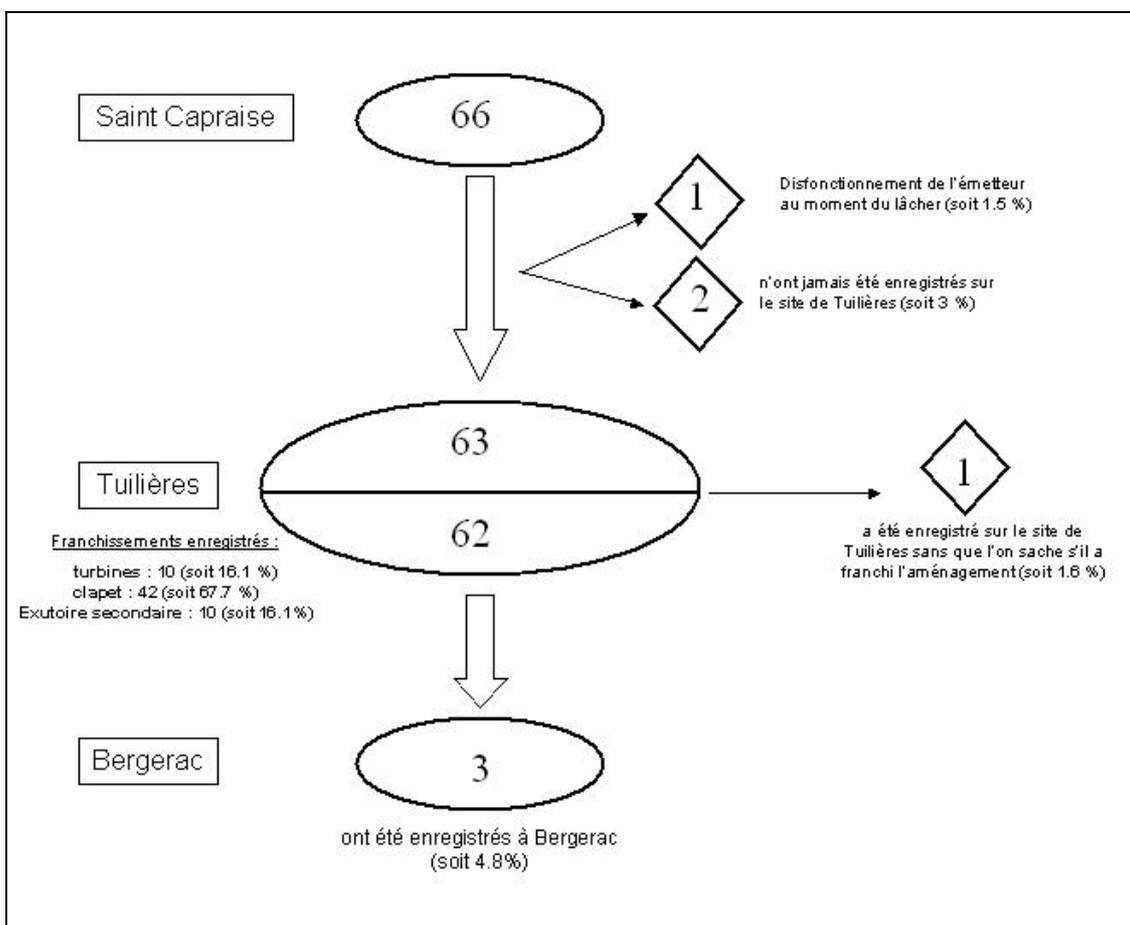


Figure 12 : Schéma bilan du devenir des 66 smolts radiomarqués lâchés en amont de Tuilières.

Au cours de l'étude, 66 smolts ont été marqués à l'aide d'émetteurs radio (77 en 2010). Ils ont tous été lâchés au niveau du pont de Saint Capraise de Lalinde, soit à environ 2 km en amont de l'ouvrage. Trois d'entre eux (4,5 %) n'ont jamais été enregistrés au niveau du site d'étude (figure 12) et un a été enregistré sur le site sans que l'on sache s'il a franchi l'aménagement ou non. Les suivis manuels réguliers sur le linéaire d'étude, ainsi qu'à l'amont du point de lâcher, n'ont pas permis de les retrouver.

Lorsque les poissons ne franchissaient pas rapidement l'ouvrage, la proximité des lâchers, rendue nécessaire par l'étroitesse de la fenêtre de migration de l'espèce et la nécessité de lâcher un nombre significatif d'individus, a entraîné une gestion des enregistrements au détriment des plus vieilles fréquences. En effet, pour ne pas perdre d'informations, on ne peut pas mettre plus de trois fréquences par enregistreur. La quantité de matériel de réception disponible ne permettant pas un doublement des installations (antennes et stations de réception), il a donc été choisi d'éliminer les fréquences les plus anciennes au profit des fréquences les plus récentes.

Ne pouvant affirmer avec certitude le devenir de ces quatre poissons (panne d'émetteur, prédation, franchissement non détecté en profondeur par les vannes de crue ...), ils ont été écartés des résultats et des traitements de données. Ainsi, sur les 66 smolts radiomarqués déversés à l'amont du barrage de Tuilières, 62 soit 94 % (66/77 soit 86% en 2010) ont franchi l'aménagement en étant formellement détectés. Sur ces 62 smolts, seuls 3 ont été détectés au niveau de l'ouvrage de Bergerac.

Au total, ce sont donc 62 poissons qui ont été enregistrés par les récepteurs radio lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières et qui seront pris en compte dans le traitement des données.

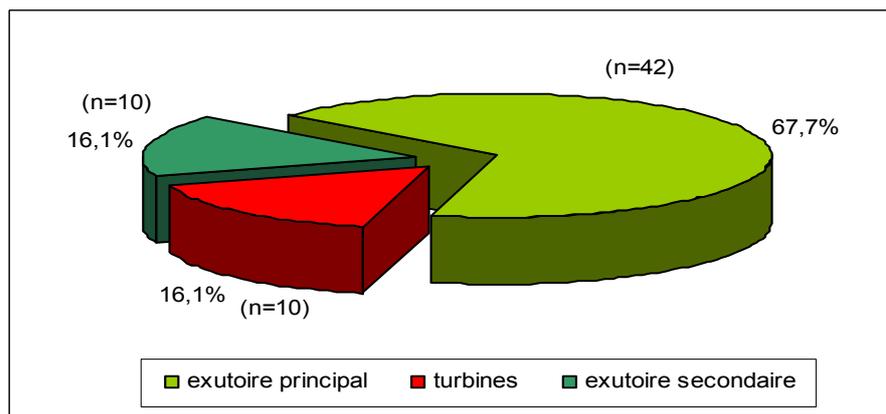


Figure 13 : Voies de passage empruntées par les smolts radiomarqués au niveau de l'aménagement de Tuilières

Parmi les 62 franchissements avérés, 10 (16.1 %) l'ont été par les turbines, 42 (67.7 %) par l'exutoire principal et 10 (16.1 %) par les exutoires secondaires (5 par l'exutoire aval et 5 par l'exutoire amont) (figure 13). Pour rappel, en 2010, 33 poissons étaient passés par les turbines (50%), 29 par le clapet et 4 par les exutoires secondaires.

5.3. Comportement des poissons au niveau du site d'étude

Un récapitulatif de l'ensemble des résultats importants est présenté dans les tableaux de synthèse en annexe.

5.3.1. Délais d'arrivée sur site

Le délai d'arrivée sur site correspond au temps mis par les smolts radiomarqués pour effectuer le trajet entre St Capraise de Lalinde et l'usine de Tuilières au niveau du masque (antenne générale amont ou lors du suivi manuel).

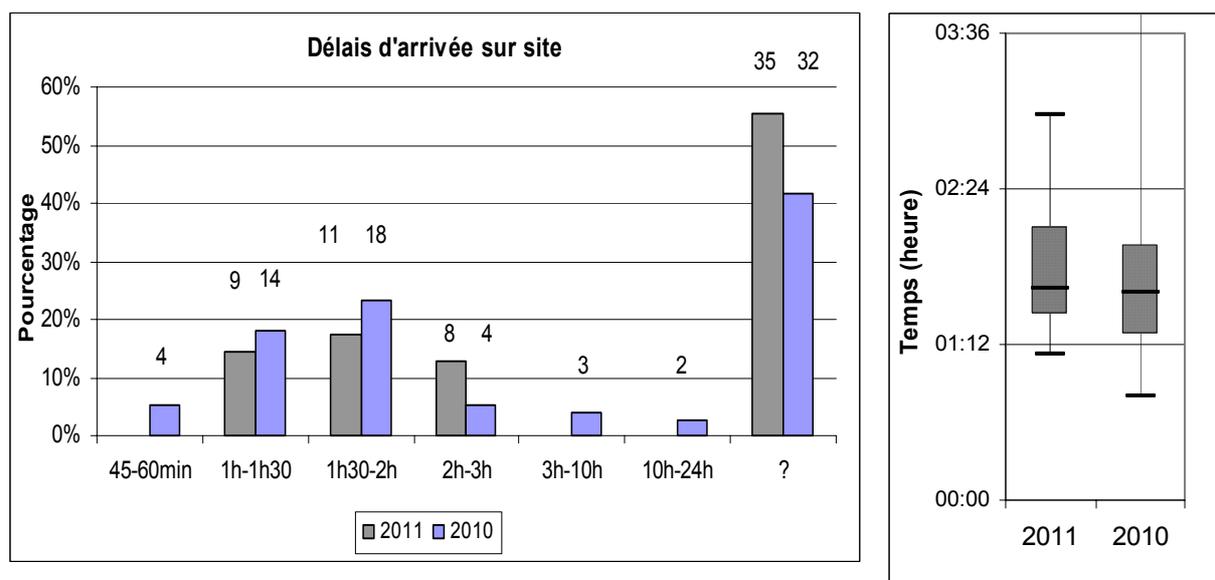


Figure 14 : Temps passé par les smolts radiomarqués entre le point de lâcher et l'usine de Tuilières

Sur les 63 smolts déversés ayant été détectés au niveau de l'ouvrage de Tuilières, seuls 28 ont permis de calculer un temps d'arrivée à l'usine (figure 14). Les 35 autres poissons n'ont pu être détectés par notre antenne générale amont¹ et sont arrivés sur site après la fin du suivi manuel soit environ 3 heures après le lâcher.

Ces délais d'arrivée sur site varient de 1h07 min pour le plus rapide à un maximum de près de 3 h (durée médiane : 1h37 ; 1^{er} quartile : 1h26 ; 3^{ème} quartile : 2h06). Même avec des conditions de débit bien différentes en 2010, les délais d'arrivée n'ont que très peu varié (durée médiane : 1h36 ; 1^{er} quartile : 1h17 ; 3^{ème} quartile : 1h58 en 2010).

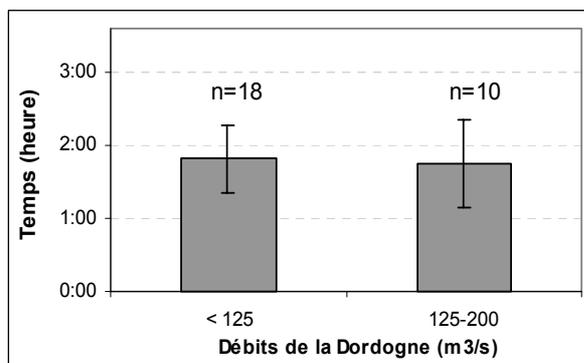


Figure 15a : Temps moyen d'arrivée sur site des smolts radiomarqués en fonction du débit de la Dordogne

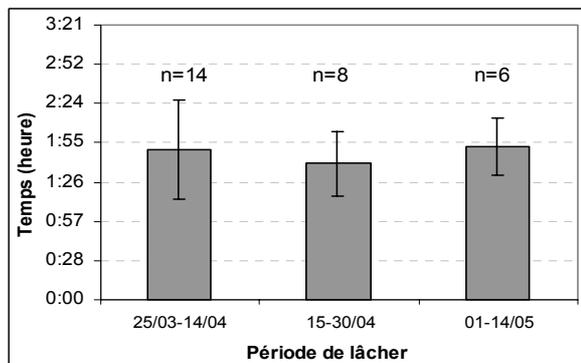


Figure 15b : Temps moyen d'arrivée sur site des smolts radiomarqués en fonction de la période de lâcher

Compte tenu de l'hydrologie très particulière de cette année, le délai moyen d'arrivée sur site est sensiblement le même quelque soit la classe de débit considérée (figure 15a).

Si l'on regarde le délai moyen d'arrivée sur site en fonction de la période de lâcher (figure 15b), on observe très peu de différence. Durant la période testée, les smolts qui ont pu être suivis jusqu'à l'usine ont dévalé sensiblement au même rythme alors que le débit n'a cessé de diminuer (de 150 m³/s à moins de 20 m³/s turbinés).

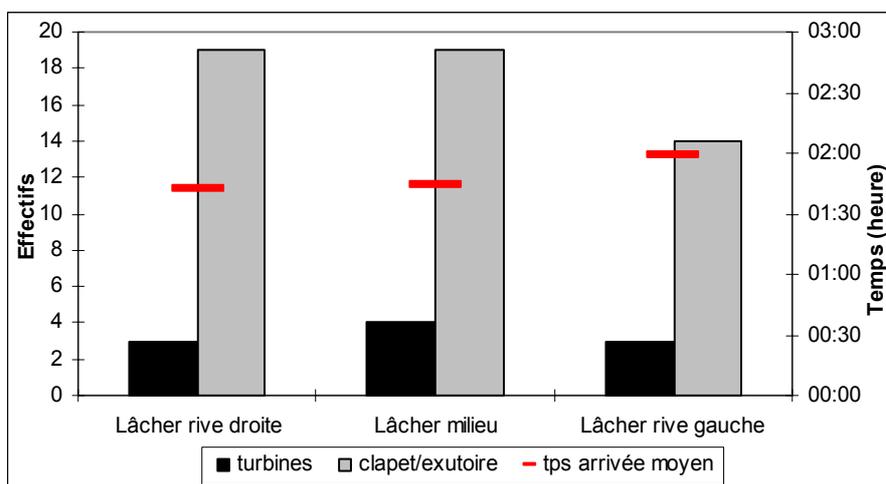


Figure 16 : Influence de la rive de lâcher sur le franchissement des smolts radiomarqués

Les lâchers de smolts sont effectués à partir du pont de Saint Capraise de Lalinde, en alternant les lâchers rive droite / milieu / rive gauche. Sur les 22 lâchers, 8 ont eu lieu depuis la rive droite et le milieu et 6 depuis la rive gauche.

¹ Les antennes boucle générales amont, sensées détecter l'arrivée des individus dans la retenue de Tuilières à proximité du barrage, sont très parasitées. Aussi, le gain des postes associés à ces antennes ne peut être réglé trop fort et la totalité de la largeur de la retenue n'est pas couverte. Il n'est donc pas toujours possible de détecter l'arrivée sur site des poissons et donc de déterminer les délais d'arrivée et les temps de présence sur site avant le franchissement.

Il ne semble pas exister de relation nette entre la zone de franchissement de l'aménagement et la rive de lâcher (*figure 16*). Les délais d'arrivée ne semblent pas non plus influencés par la rive de lâcher. Le délai moyen d'arrivée sur site est assez homogène suivant la zone de lâcher : il est compris entre 1h43 pour la rive droite et 1h59 pour la rive gauche (entre 2h07 et 2h42 en 2010).

5.3.2. Délais de franchissement de l'aménagement

Le délai de franchissement correspond au temps entre l'heure de la première détection du poisson, soit lors du suivi manuel soit par l'antenne retenue générale amont (TUR2)², et l'heure enregistrée sur les postes lors du franchissement. Compte tenu des difficultés de réception de l'antenne générale amont et de la durée du suivi manuel, seuls 27 des 62 smolts qui ont franchi l'aménagement ont été détectés à leur arrivée sur le site de Tuilières.

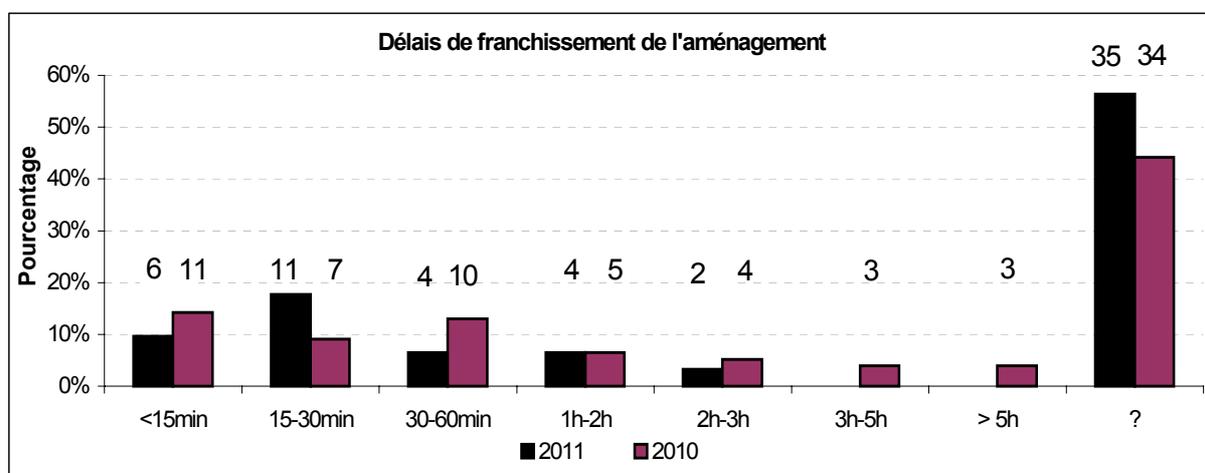


Figure 18 : Temps de présence des smolts radiomarqués dans la retenue de Tuilières avant le franchissement de l'ouvrage (les nombres indiquent le nombre d'individus)

Sur les 62 poissons radiomarqués lâchés cette année et qui ont franchi l'aménagement, 27 (43 en 2010) ont permis de déterminer des durées de présence sur site. Elles se répartissent de 3min48s à 02h 38 min 05s (durée médiane : 24min41s ; 1^{er} quartile : 16min05s ; 3^{ème} quartile : 50min44s). On soulignera qu'une fois à proximité du barrage, 78% (21/27) des smolts sont restés moins d'une heure dans la retenue de Tuilières et parmi eux, 81% (17/21) moins de 30 minutes (*figure 18*).

² Les antennes boucle générales amont, sensées détecter l'arrivée des individus dans la retenue de Tuilières à proximité du barrage, sont très parasitées. Aussi, le gain des postes associés à ces antennes ne peut être réglé trop fort et la totalité de la largeur de la retenue n'est pas couverte. Il n'est donc pas toujours possible de détecter l'arrivée sur site des poissons et donc de déterminer les délais d'arrivée et les temps de présence sur site avant le franchissement.

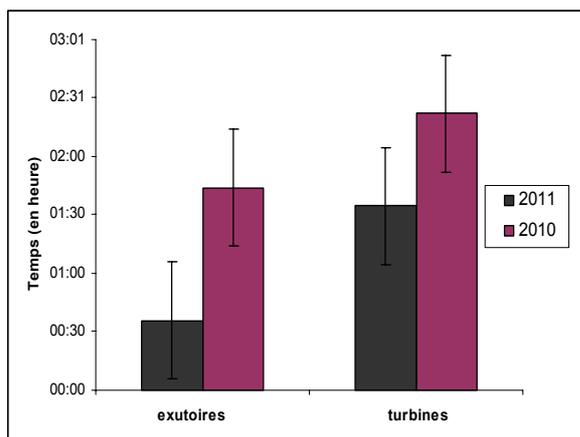


Figure 19a : Durée moyenne de présence dans la retenue en fonction de la voie de franchissement

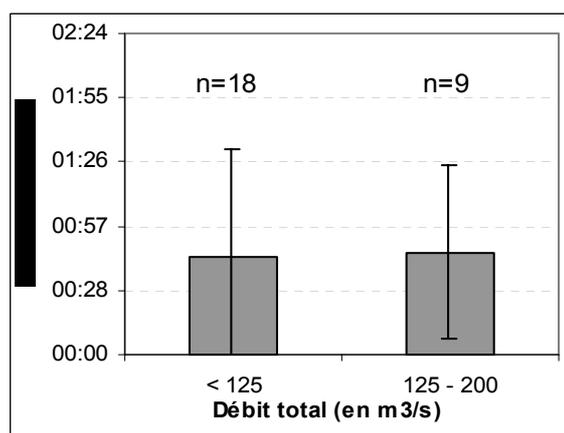


Figure 19b : Durée moyenne de présence dans la retenue en fonction du débit de la Dordogne

Le temps de présence dans la retenue est nettement inférieur (facteur 3) pour les smolts radiomarqués ayant franchi l'aménagement par les exutoires que pour ceux l'ayant franchi par les turbines (figure 19a). Cependant, ces résultats doivent être pondérés par le faible nombre de passage de smolts radiomarqués par les turbines pour lesquels l'heure d'arrivée sur site est connue (4 poissons).

En 2010, les smolts sont restés en moyenne plus longtemps dans la retenue qu'ils soient passés par les exutoires (x 3) ou par les turbines (x 1.5) alors que les débits étaient plus importants (x 3 au mois d'avril).

Lors de la période d'étude, excepté quelques rares pannes ponctuelles, la totalité du débit entrant a été turbiné. La très faible hydrologie de cette année ne nous permet pas de montrer une éventuelle influence du débit sur le temps de présence des smolts radiomarqués dans la retenue (figure 19b).

L'ensemble des 62 smolts enregistrés comme ayant franchi l'ouvrage en 2011 l'ont fait après une incursion unique dans la retenue. Aucun poisson n'a stagné dans la retenue avant de retourner vers l'amont et effectuer une tentative de dévalaison ultérieure.

5.3.3. Délais entre le lâcher et le franchissement de l'aménagement

Le temps de transfert des smolts correspond au temps entre le lâcher à Saint Capraise de Lalinde et l'enregistrement du franchissement de l'aménagement de Tuilières. Contrairement aux délais d'arrivée et de franchissement qui ne concernent qu'un nombre restreint d'individus (que ceux détectés en audio ou par l'antenne générale amont), ici tous les poissons sont pris en compte.

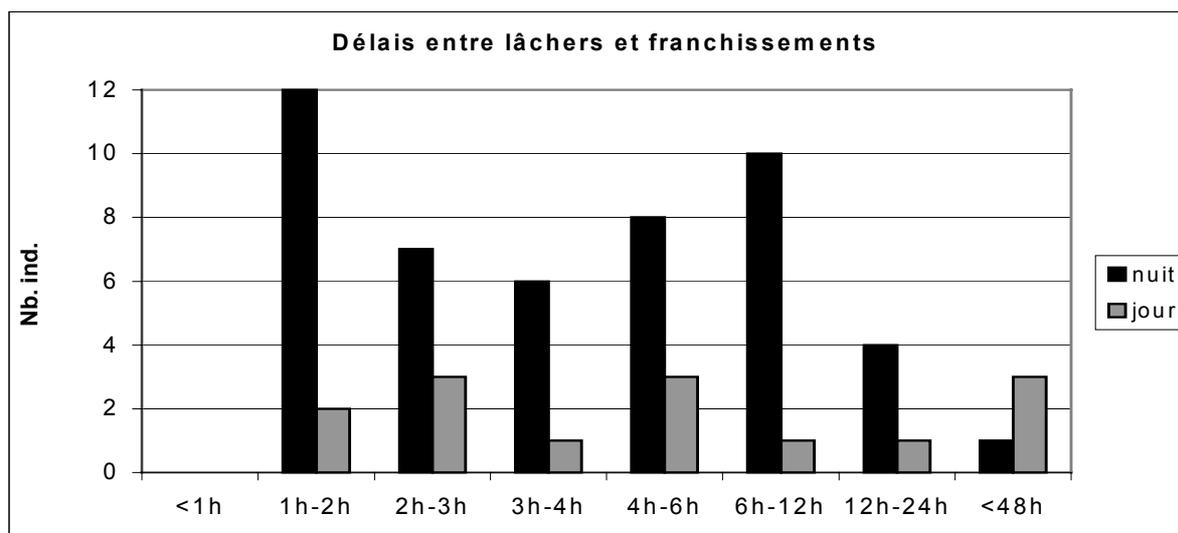


Figure 17 : Temps passé par les smolts radiomarqués entre le point de lâcher et le franchissement de l'usine de Tuilières pour les lâchers de jour et pour les lâchers de nuit

Sur les 66 smolts déversés, 62 ont été enregistrés comme franchissant l'aménagement de Tuilières. Cette année, 5 lâchers de jour (vers 15h) ont été réalisés, soit 15 poissons et 14 franchissements avérés et 17 lâchers de nuit pour 48 franchissements avérés sur 51 poissons lâchés.

Le temps de transfert entre le point de lâcher et le franchissement de l'aménagement varie de 1heure 23 minutes à 1 jour et 2 heures pour les lâchers de nuit (figure 17). Pour les poissons lâchés dans la journée, le temps de transfert a varié de 1heure 33 minutes à 1 jour et 8 heures. On peut noter que parmi les 4 poissons qui ont mis plus de 24 heures entre le point de lâcher et l'usine de Tuilières, 3 ont été lâchés durant la journée. En 2010, ces délais avaient varié de 57 minutes à 3 jours et 6 heures.

Lors des lâchers nocturnes, près de 40% des smolts radiomarqués (19/49) ont mis moins de 3 heures pour parcourir les 2 kilomètres depuis le point de lâcher et franchir l'ouvrage (cela correspond environ au temps de suivi manuel qui est généralement réalisé entre 21h30 et 00h30) et **près de 90% (43/48) ont mis moins de 12 heures pour franchir l'aménagement** (soit avant 9h30 le lendemain du lâcher). En 2010, les résultats obtenus étaient pratiquement les mêmes : 41% (27/66) des smolts lâchés de nuit avaient franchi l'aménagement en moins de 3h et 90% (59/66) en moins de 12h.

Lors des lâchers diurnes, 36% des smolts radiomarqués (5/14) ont mis moins de 3 heures pour effectuer le parcours. Par contre, **79% de ces smolts ont mis moins de 18 heures pour franchir l'aménagement** (soit avant 9h30 le lendemain matin - 90% lors des lâchers nocturnes).

5.3.4. Comportements et déplacements à l'approche du dispositif de dévalaison

Sur les 66 smolts radiomarqués lâchés, 4 (6.1%) n'ont pas été détectés à proximité de l'ouvrage de Tuilières (panne d'émetteur, prédation, franchissement non détecté en profondeur par les vannes de crue...). Aussi, nous traiterons cette partie en nous basant sur les données des 62 poissons enregistrés comme franchissant l'aménagement de Tuilières.

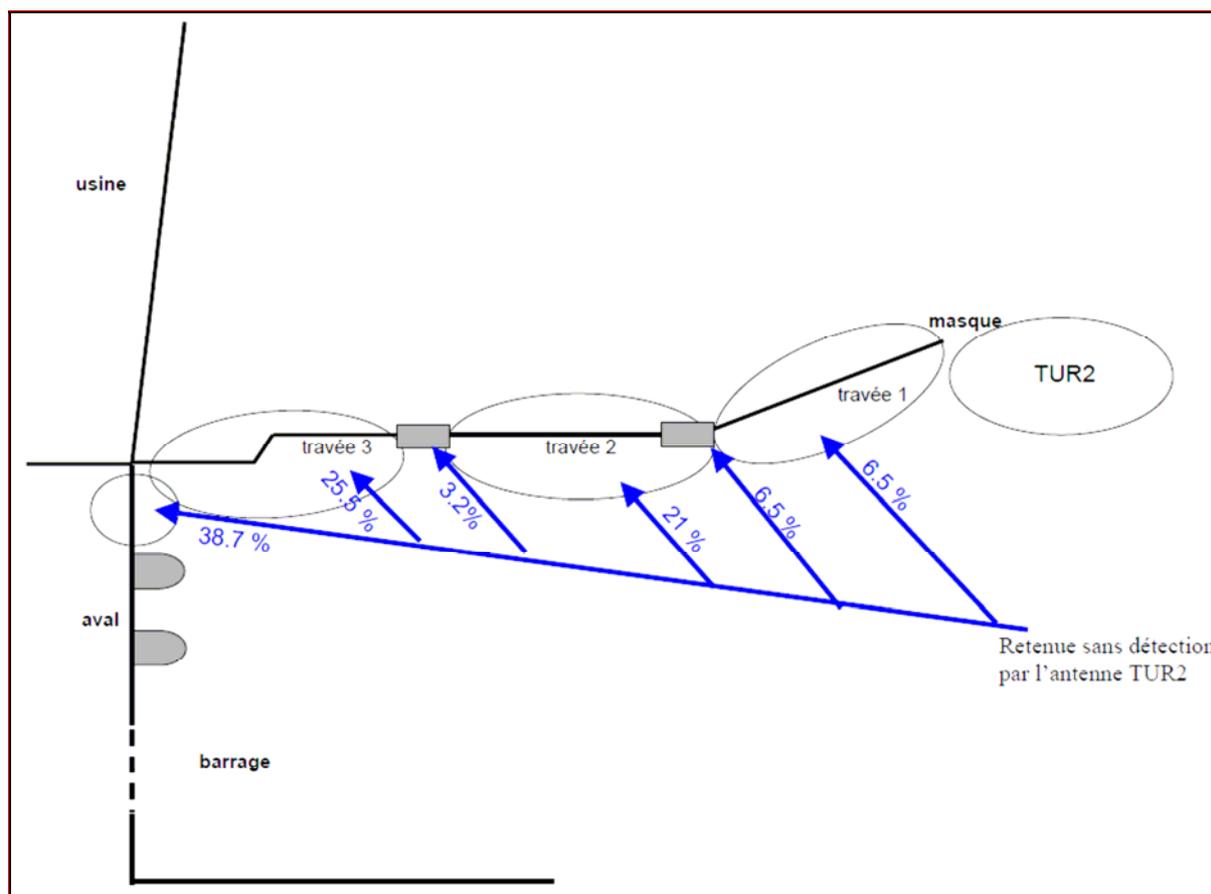


Figure 20a : Probabilités de passage*, d'une zone de réception individualisée à une autre, sur le site de Tuilières lors de la première détection

*Ici, les pourcentages représentent des probabilités d'incursions, c'est à dire qu'une valeur peut représenter le même smolt ayant réalisé plusieurs fois le même déplacement.

Lorsque les poissons radiomarqués arrivent sur le site, donc dans la retenue à proximité du barrage (figure 20a), 6.5% (11.3% en 2010) des premières détections se font au niveau de la travée 1 (c'est à dire la plus en amont), 21% au niveau de la travée 2 (28.2% en 2010), 25.5% au niveau de la travée 3 (16.9% en 2010) et 38.7% à l'exutoire principal (29.6% en 2010). Dans ce dernier cas, y compris pour les poissons suivi manuellement, il n'est pas toujours facile de distinguer les poissons qui sont arrivés par le milieu de la retenue ou par la rive gauche, ni ceux qui ont longé le masque hors de la zone de réception (soit à plus de 5 m environ au large du masque).

Cette année, la rive droite était équipée d'une antenne boucle (TUR2) mais son efficacité a été jugée insuffisante pour certifier le passage des poissons dans cette zone.

Contrairement à 2010, des poissons se sont présentés directement devant les exutoires secondaires : 4 (sur 5 passages) devant l'exutoire amont et 2 (sur 5 passages) devant l'exutoire aval.

En résumé, on retiendra que :

- L'arrivée sur site s'est faite majoritairement au niveau du clapet (38.7% des premières détections), puis au niveau des travées 2 et 3 (21 et 25.5% des détections) et dans une moindre mesure au niveau de la travée 1 et des exutoires secondaires (6.5, 6.5 et 3.2% des détections),
- L'antenne retenue ne donnant pas de bons résultats, il est impossible de savoir si les poissons non suivis à l'audio (35/63), ont tourné longtemps dans la retenue entre leur arrivée sur le site et leur franchissement.

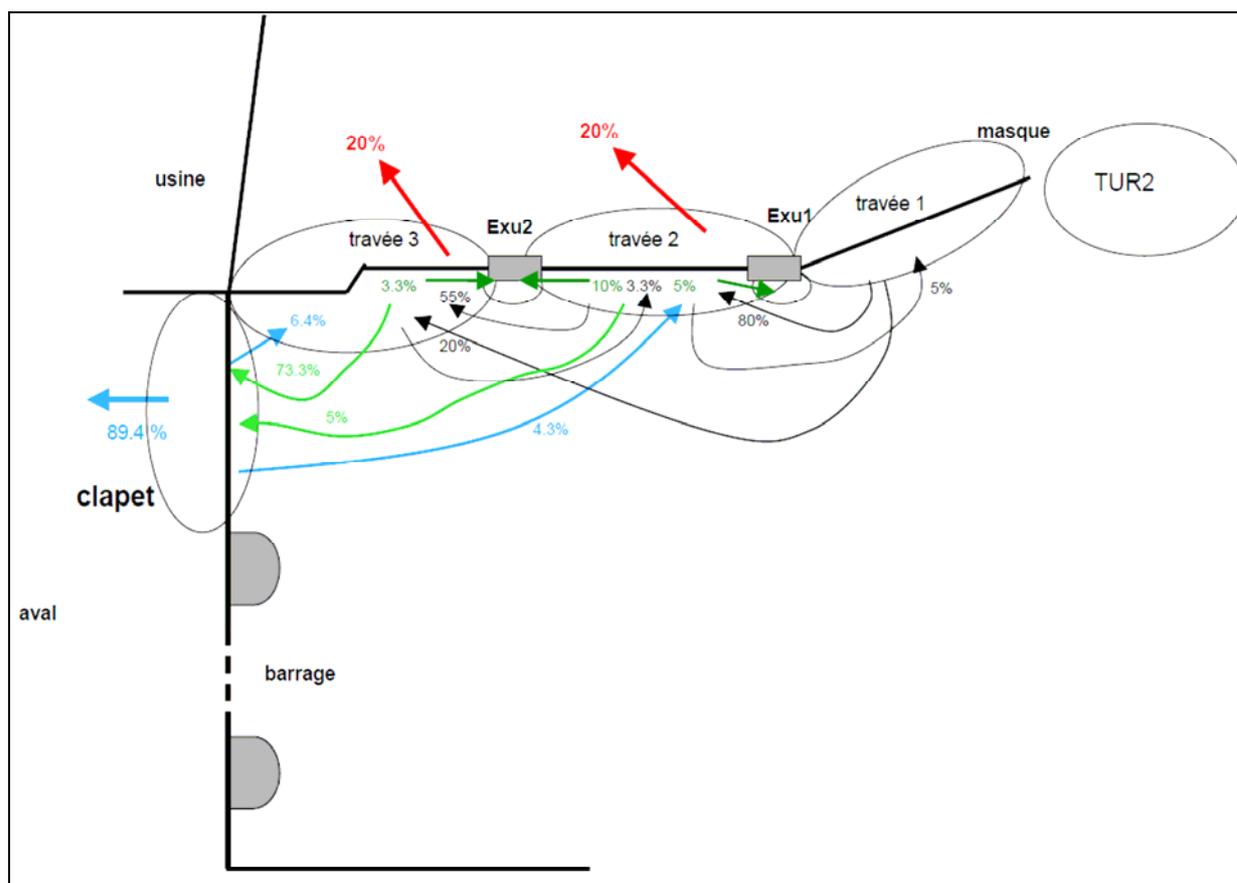


Figure 20b : Probabilités de passage*, d'une zone de détection individualisée à une autre dans la retenue de Tuilières

*Ici, les pourcentages représentent des probabilités d'incursions, c'est à dire qu'une valeur peut représenter le même smolt ayant réalisé plusieurs fois le même déplacement.

Une fois présents dans la zone de réception de la travée 1 (figure 20b), les poissons orientent préférentiellement leurs incursions vers la travée 2 (80%).

Cette année il n'y a eu aucun mouvement vers la chambre d'eau alors qu'ils représentaient 38.5% des incursions en 2010. Par contre, on peut noter cette année que 20% des mouvements à partir de cette travée 1 ont eu lieu vers la travée 3.

Lorsqu'un poisson radio-marqué est dans la zone de réception de la travée 2 (figure 20b), 55 % des enregistrements suivants se situent dans la zone de réception de la travée 3 (33.3% en 2010), et seulement 5% dans celle de l'exutoire principal (contre 30.6 % en 2010).

Si on compare 2010 et 2011, les proportions de déplacements vers la chambre d'eau à partir de la travée 2 sont équivalentes (22.3 % et 20 % en 2010 et 2011).

Durant cette campagne de suivi, 3 smolts radiomarqués sont allés vers les exutoires secondaires :

- 1 à l'amont (exutoire amont),
- 2 à l'aval (exutoire aval)

On peut noter qu'à partir de cette travée (travée centrale), 5 % des déplacements se sont faits en direction de la travée amont (soit 1 déplacement).

Depuis la travée 3 (figure 20b), la majorité des détections montre un déplacement vers l'exutoire principal (73.3% contre 43.6% en 2010). Viennent ensuite les déplacements vers la chambre d'eau, qui ne représentent plus que 20% ; contre 48.8% en 2010. 3.3% des détections sont dirigées vers la zone de réception de la travée 2 (5.1% en 2010) et 3.3% vers l'exutoire secondaire aval (2.6% en 2010).

Lors de cette campagne d'étude, **près de 90% des incursions enregistrées dans la zone de réception de l'antenne de l'exutoire principal (clapet 1) aboutissent à un franchissement de l'aménagement par ce clapet.** Les autres détections correspondent à des déplacements vers l'amont :

- 6.4% vers la travée 3
- 4.3% vers la travée 2.

En résumé, on retiendra que :

- Depuis la travée 1, 80% des incursions se font vers la travée 2 mais cette année **aucune des incursions ne se fait vers la chambre d'eau (franchissement du masque),**
- Depuis la travée 2, 55% des incursions se font vers la travée 3 mais **seulement 5% des incursions se font vers l'exutoire principal et 20% des incursions se font vers la chambre d'eau (franchissement du masque),**
- Depuis la travée 3, **près de 3 / 4 des incursions de cette année se font vers l'exutoire principal (43.6% en 2010) et plus de deux fois moins (20% contre 48.8% en 2010) des incursions vers la chambre d'eau (franchissement du masque),**
- **Près de 9 incursions sur 10 enregistrées dans la zone de réception de l'antenne de l'exutoire principal (clapet 1) aboutissent à un franchissement de l'aménagement par ce clapet.** Il semblerait que, **dans ces conditions environnementales assez exceptionnelles (débit faible de la Dordogne), l'attractivité de l'exutoire principal (qui s'exerce sur quelques mètres devant le clapet, plutôt à proximité de la surface) soit plutôt bonne.**

L'antenne de la chambre d'eau est divisée en trois, avec :

- en rive gauche TUC 0 qui délimite une zone allant du groupe 1 au groupe 3,
- au centre TUC 1 qui délimite une zone des groupes 2-3 aux groupes 5-6,
- en rive droite TUC 2 qui délimite une zone allant du groupe 5 au groupe 8.

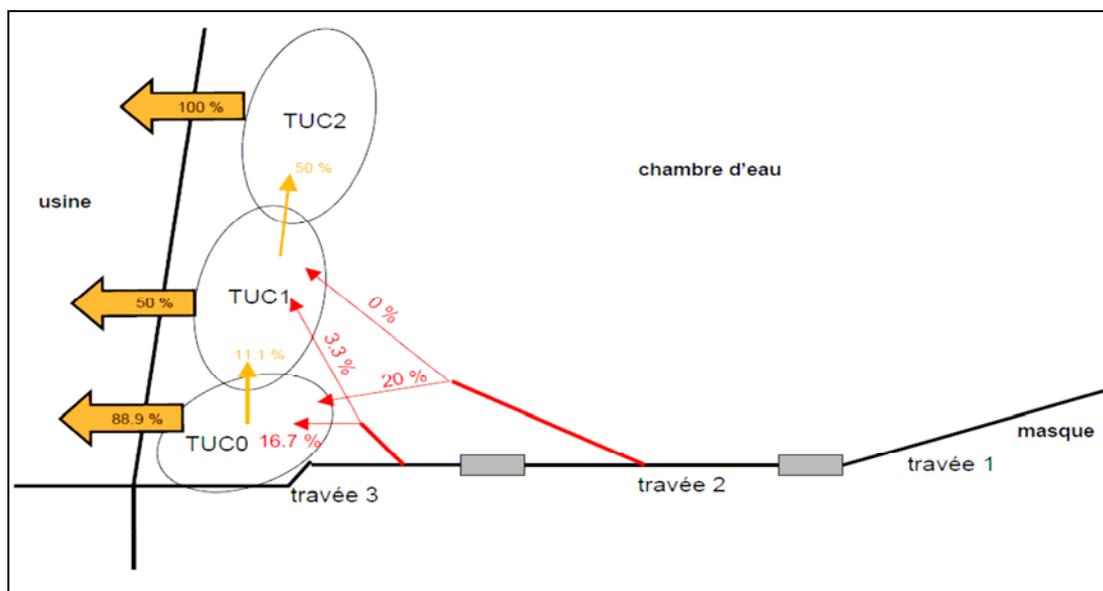


Figure 20c : Probabilités de passage*, d'une zone de détection à une autre dans la chambre d'eau de Tuilières

*Ici, les pourcentages représentent des probabilités d'incursions, c'est à dire qu'une valeur peut représenter le même smolt ayant réalisé plusieurs fois le même déplacement.

La figure 20c schématise les déplacements des smolts à l'intérieur de la chambre d'eau, ainsi que le franchissement de l'usine (grosses flèches). Ces flèches correspondent à la dernière zone d'enregistrement du poisson à l'intérieur de la chambre d'eau vers l'aval. Il est fort probable que, pour la majorité des poissons suivis, la dernière zone d'enregistrement corresponde à la zone de franchissement mais l'installation actuelle ne permet pas d'être plus précis.

Parmi les 10 poissons ayant franchi l'aménagement par les turbines, 2 (1 passage travée 2 et 1 travée 3) ont tourné dans la chambre d'eau entre une et 19 heures. Leur trajectoire à l'intérieur de la

chambre d'eau a été simplifiée au maximum afin d'être représentée sur cette figure (zone TUC d'arrivée et zone TUC de franchissement).

Pour les individus enregistrés au niveau de la travée 2, les 20% d'incursions vers la chambre d'eau se font toutes vers l'antenne TUC0. Les 20% d'incursion dans la chambre d'eau des poissons ayant franchi le masque au niveau de la travée 3 se décomposent en 16.7% vers TUC0 et 3.3% vers TUC1.

Cette zone « TUC » découpée en 3 antennes distinctes, permet également d'observer des déplacements de poissons le long du plan de grille. Ainsi, à partir de TUC0, 11.1% des incursions se font vers TUC1 et 88.9% vers l'aval (franchissement par les turbines). De TUC1, 50% des incursions se font vers TUC2 (1 déplacement), 50% vers l'aval (franchissement par les turbines). Cette année, 1 seul poisson a franchi l'aménagement après un dernier enregistrement par TUC2.

En résumé, on retiendra que :

- **Une fois le masque franchi vers la chambre d'eau, le passage par les turbines est systématique** (aucun individu entré dans la chambre d'eau n'a effectué le chemin inverse),
- Cette année, les individus franchissant le masque au niveau de la travée 2 se déplacent majoritairement vers la rive gauche de la chambre d'eau,
- Ceux qui franchissent au niveau de la travée 3 se dirigent, comme en 2010, préférentiellement vers la rive gauche de la chambre d'eau,
- Dans la chambre d'eau, **on n'observe pas de déplacement de la droite vers la gauche des individus (du groupe 8 vers le groupe 1) comme en 2010. De plus, il n'y a eu que très peu de déplacements le long du plan de grille**, sans que l'on puisse vraiment l'expliquer.

5.3.4.1. *Comportements et trajectoires-types*

Le cheminement des poissons, ainsi que les durées de réception pour chacune des zones présentées ici correspondent aux 62 smolts marqués dont les enregistrements sont certains.

Nous ne pouvons pas connaître la zone d'arrivée sur site de tous ces poissons à cause de l'antenne générale amont TUR2 (RD) qui est très parasitée. Les observations lors du suivi manuel ont permis de voir que la plupart des poissons marqués semblaient arriver sur le site par la rive droite (jusqu'au milieu) de la Dordogne, quel que soit le côté du lâcher au pont de St Capraise.

	eption (temps)			Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEX3	Shéma
48191	TUEX3a-b			Clapet	116	1 à 5	1	A
	00:06:05							
49561	TUEX3a-b			Clapet	127	1 à 4	1	A
	00:01:06							
49702	TUEX3a-b			Clapet	124	1 à 4	1	A
	00:01:18							
49183	TUEX3a			Clapet	138	3,5,6,8	1	A
	00:01:58							
49271	TUEX3a-b			Clapet	114	5,6,8	1	A
	00:00:18							
49581	TUEX3a-b			Clapet	97	5,6,8	1	A
	00:00:55							
49414	TUEX3a-b			Clapet	42	2,3	1	A
	00:00:13							
49771	TUEX3a-b			Clapet	52	2,3	1	A
	00:01:26							
48734	TUEX3a-b			Clapet	51	2,3	1	A
	00:01:45							
48881	TUEX3a-b			Clapet	41	2,3	1	A
	00:01:02							
48563	TUEX3a-b			Clapet	42	2,3	1	A
	00:00:32							
48704	TUEX3a-b			Clapet	41	2,3	1	A
	00:00:57							
49194	TUEX3a-b			Clapet	67	6,8	1	A
	00:00:39							
49351	TUEX3a-b			Clapet	55	6,8	1	A
	00:00:36							
49174	TUEX3a-b			Clapet	40	2,3	1	A
	00:00:14							
49230	TUEX3a-b			Clapet	41	2,3	1	A
	00:00:15							
49504	TUEX3a-b			Clapet	40	2,3	1	A
	00:00:04							
49520	TUEX3a			Clapet	40	2,3	1	A
	00:00:04							
49384	TUEX3a-b			Clapet	23	2	1	A
	00:01:02							
49730	TUEX3a-b			Clapet	71	2,3,4	1	A
	00:00:13							
49464	TUEX3a-b			Clapet	133	4,5,6,8	3*	A
	00:02:37							
49144	TUEX3a			Clapet	143	4,5,6,8	2**	A
	00:00:18							

* incursions de 39s, 1 min 44s et 14s séparées par 58 min 28s et 6 min 42s

** incursions de 4 et 13s séparées par 21min 40s

ATTENTION : les durées indiquées dans les tableaux suivants sont calculées en faisant la différence entre l'heure du dernier et du premier enregistrement pour chacune des zones. Elles ne correspondent pas forcément au temps passé réellement par les poissons dans chacune des zones. De plus, quand un poisson n'a été enregistré qu'une seule fois dans une zone, une durée de 00 :00 :04 a été notée, correspondant au temps de scann de la fréquence. En réalité cette durée est comprise entre 4s et 12s selon que les postes tournaient à 1 ou 3 fréquences.

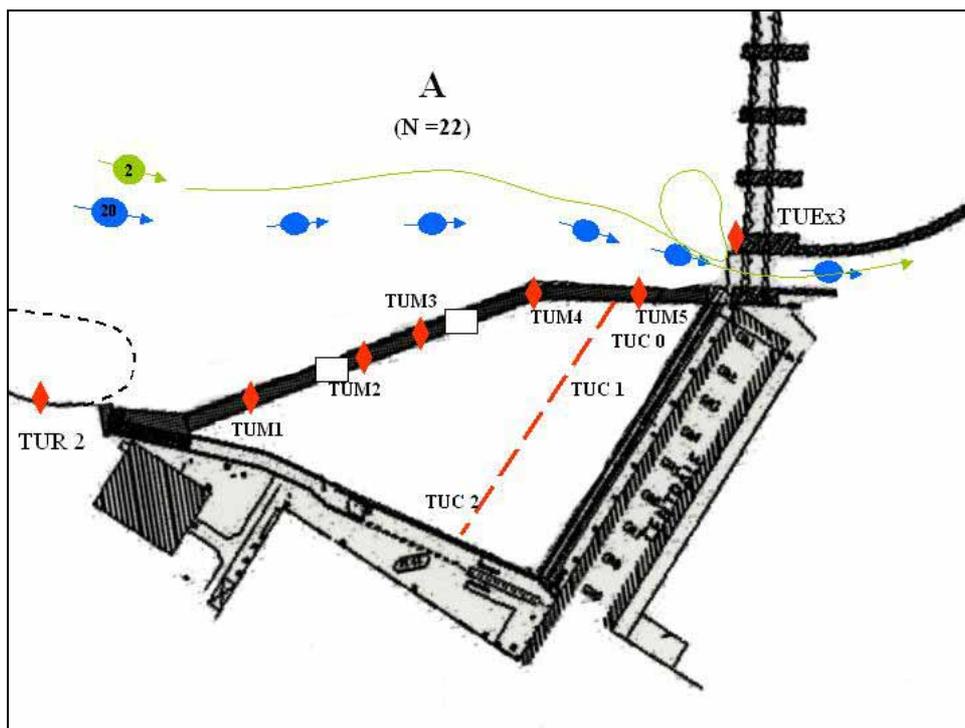


Figure 21 : Trajectoire-type de passages par le clapet (exutoire principal) sans aucune détection au niveau du masque

Parmi les 62 smolts ayant franchi l'aménagement de Tuilières dont les enregistrements sont certains, 22 sont passés par le clapet sans avoir été détectés au préalable par une autre antenne (figure 21). Parmi tous ces poissons, deux se sont présentés plusieurs fois dans la zone de réception de l'exutoire principal :

- le 49464 s'est présenté 3 fois dans la zone TUEx3a (cf figure 6 pour plus de détails sur cette zone de réception) : 39s et 1min 44s, avant d'être à nouveau enregistré pendant 14s par les antennes TUEx3a et b. Il faut noter qu'une heure sépare les 2 premières incursions et 6min 42s les 2 dernières,
- le 49144 a franchi le clapet au bout de la deuxième incursion séparée de près de 22 minutes de la première. Chaque incursion a été très brève puisque une seule antenne (TUEx3a) a détecté ce poisson pendant un et deux temps de scann.

Fréq	Cheminement en zones de réception (temps)					Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEX3	Schéma
	TUM1	TUM4	TUEX3a-b							
49740	00:00:04	00:00:04	00:01:32			Clapet	93	5,6,8	1	B
49671	00:00:04	00:00:21	00:00:17	00:00:17	00:00:17	Clapet	98	5,6,8	1	B
49063	00:01:18	00:00:27				Clapet	114	1 à 4	1	B
48211	00:00:04	00:00:39	00:00:44	00:00:13		Clapet	106	4,5,6,8	1	B
49164	00:06:26	00:05:39	00:04:08	00:00:26	00:00:24	Clapet	71	6,8	1	C
49764	00:00:04	00:00:53				Clapet	42	2,3	1	C
48891	00:02:23	00:00:53				Clapet	67	5,8	1	C
49125	00:01:32	00:00:13	00:00:52			Clapet	109	1 à 4	1	C
49153	00:00:39	00:00:26	00:00:52			Clapet	108	5,6,8	1	C
48050	00:00:09	00:01:36	00:00:09			Clapet	54	2,3	1	C
49444	00:00:05	00:00:14				Clapet	89	5,8	1	C
49721	00:00:04	00:00:14				Clapet	102	1 à 4	1	C
49761	00:00:40	00:00:04				Clapet	144	4,5,6,8	1	C
49211	00:00:18	00:00:04				Clapet	132	4,5,6,8	1	C
49454	00:00:04	00:00:13				Clapet	132	4,5,6,8	1	C
48834	00:00:35	00:00:14				Clapet	98	5,6,8	1	C
49054	00:01:04	00:00:35				Clapet	126	1 à 4	1	C
48754	00:00:04	00:00:18	00:00:10			Clapet	43	2,3	2	D
48931	00:02:56	00:01:01	00:00:09			Clapet	42	2,3	2	D

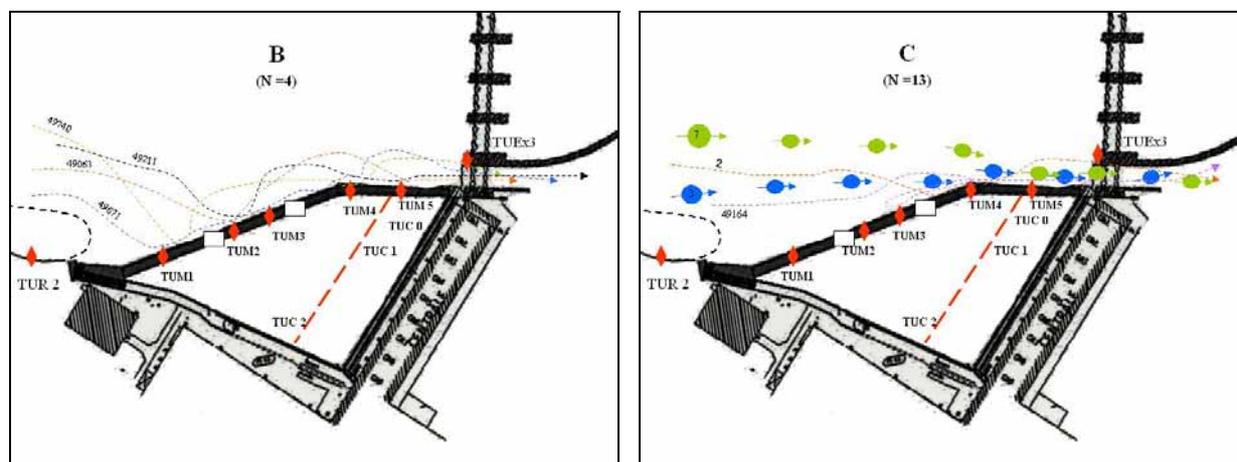


Figure 22a : Trajectoire-type de passages par le clapet après une première détection masque amont (schéma B) ou masque aval (schéma C)

Dix sept poissons sont passés par l'exutoire principal en étant détectés au moins une fois par une des antennes du masque.

Le schéma B montre que 4 d'entre eux ont été détectés une première fois sur la travée amont (TUM1) ou sur la partie amont de la travée centrale (TUM2) avant de franchir l'aménagement par l'exutoire principal. Ensuite leurs déplacements ne sont pas toujours enregistrés le long du masque à cause notamment, de la taille de la zone de réception des antennes et des conditions hydrologiques particulièrement faibles.

Les poissons représentés sur le schéma C ont été détectés pour la première fois sur la travée aval avant de franchir l'aménagement par l'exutoire principal.

Pour l'ensemble de ces poissons, il semblerait que le masque ait joué un rôle au moins partiel de guidage jusqu'à l'exutoire principal.

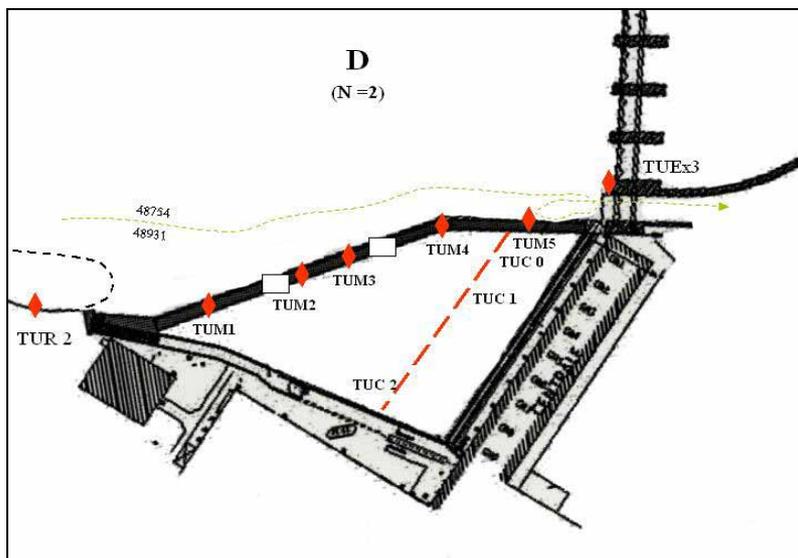


Figure 22b : Trajectoire-type de passages par le clapet après une première détection dans la zone clapet avant un retour le long de la travée aval (schéma D)

Deux poissons ont été détectés en premier lieu par l'antenne clapet (TUEx3a) avant de remonter le long de la travée aval (TUM5). Ces deux poissons ne sont pas restés plus d'une minute au niveau de TUM 5 avant de redescendre jusqu'au clapet et de le franchir.

Fréquence	Cheminement en zones de réception (temps)								Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEx3	Schéma
	TUM1	TUM2	TUM3	TUM4	TUM5	TUM4	TUEx3a-b	TUM2					
49591	00:00:26	00:01:29	00:01:06	00:07:50	00:01:07	00:05:45	01:05:20	00:00:32	Clapet	144	4,5,6,8	4	E
	TUM5-TUEx3a	TUM5	TUEx3a-b	TUM5	TUM4	TUM5	TUEx3a-b	00:00:39					

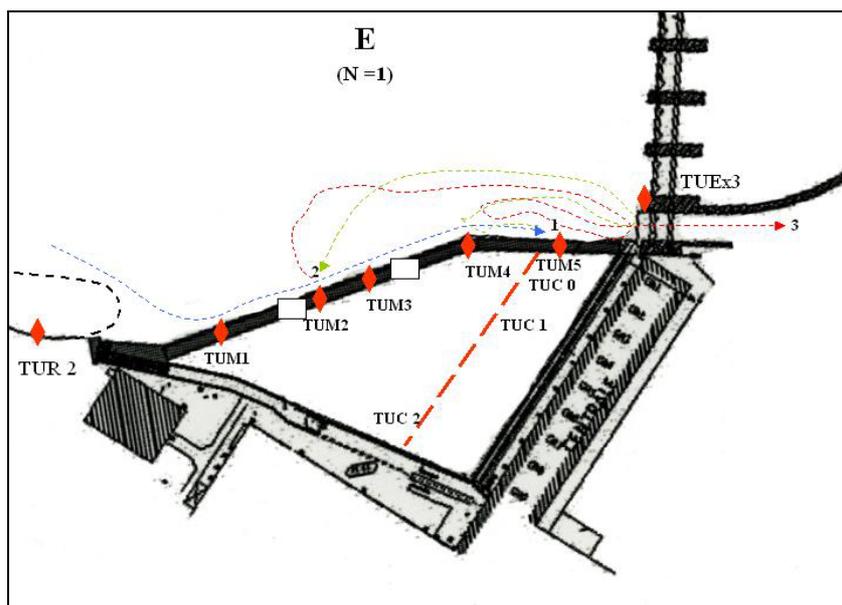


Figure 23 : Trajectoire particulière d'un passage par le clapet après de nombreux aller-retour le long du masque

Sur le schéma E représenté en figure 23, on observe que le poisson 49591 s'est présenté 4 fois dans la zone TUEx3 avant de franchir l'aménagement par le clapet. Entre toutes ces détections, il est remonté le long du masque jusqu'à la partie amont de la travée centrale (TUM2). Il est intéressant de noter que lors de sa première incursion dans la zone du clapet, il y est resté plus d'une heure avant de remonter jusqu'à TUM2.

Fréquence	Cheminement en zones de réception (temps)			Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEx3	Shéma
48151	TUM1	TUM2-TUEx1		Exu1	115	1 à 5	0	F
	00:00:26	00:02:51						
49621	TUEx1			Exu1	132	4,5,6,8	0	F
	00:00:26							
48951	TUEx1			Exu1	52	2,3	0	F
	00:00:04							
48911	TUEx1			Exu1	52	2,3	0	F
	00:00:26							
49632	TUEx1			Exu1	41	2,3	0	F
	00:00:18							
49434	TUM1	TUM2	TUEx2	Exu2	128	3,5,6,8	0	F
	00:01:32	00:00:04	00:00:40					
49361	TUEx2			Exu2	62	6,8	0	F
	00:00:13							
49571	TUEx2			Exu2	61	6,8	0	F
	00:01:46							
49536	TUM2	TUEx2		Exu2	41	2,3	0	F
	00:00:04	00:00:26						
49752	TUM5	TUEx2		Exu2	20	2	0	F
	00:00:04	00:00:09						

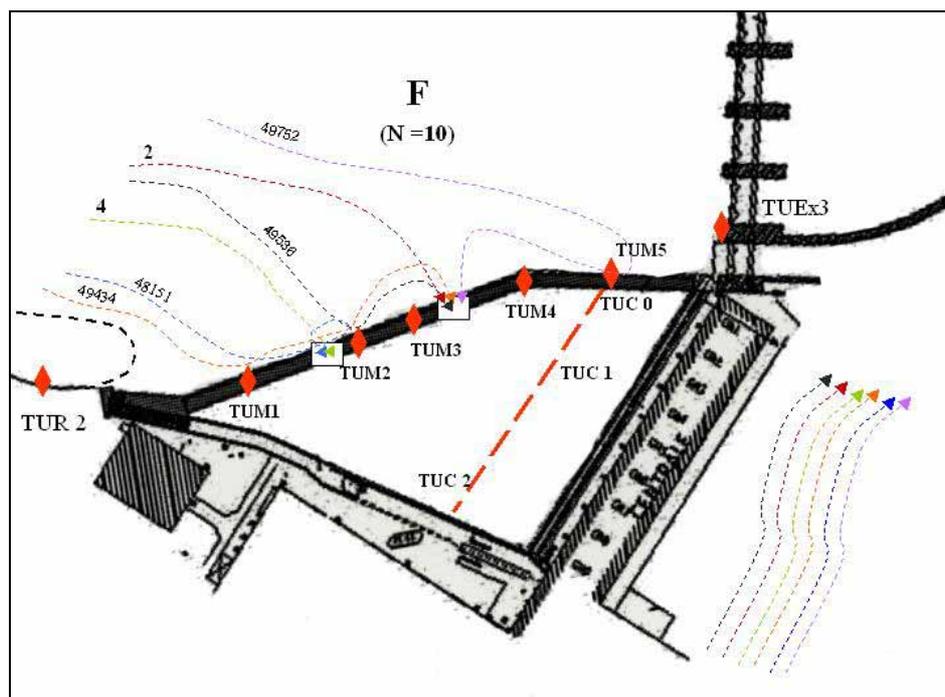


Figure 24 : Trajectoire-type de passages par les exutoires secondaires

Les 10 poissons représentés sur le schéma F (figure 24) ont franchi l'aménagement par les exutoires secondaires : 5 par l'exutoire amont (Exu 1) et 5 par l'exutoire aval (Exu 2).

Parmi les passages par l'exutoire secondaire amont (travée 1-2) :

- 4 n'ont pas été détectés par d'autres antennes,
- le dernier a été détecté dans un premier temps par l'antenne TUM1 (travée amont) puis par TUM2 mais à ce moment là, il avait déjà franchi la grille de l'exutoire.

Parmi les passages par l'exutoire secondaire aval (entre les travées 2 et 3) :

- 2 n'ont pas été détectés par d'autres antennes,
- le poisson 49434 a longé le masque amont (TUM1-TUM2) avant de passer par l'exutoire aval,
- le poisson 49536 n'a été détecté que par l'antenne TUM2 avant son passage par l'exutoire aval,
- le poisson 49752 a été détecté dans un premier temps par l'antenne TUM 5 (travée aval du masque) avant de remonter jusqu'à l'exutoire secondaire aval.

Observations visuelles devant les exutoires secondaires :

Les conditions hydrologiques particulières ont permis de réaliser un certain nombre d'observations. Sur les 10 poissons qui ont franchi les exutoires secondaires, 3 franchissements ont pu être confirmés visuellement.

Le poisson 49434 a d'abord été observé devant l'exutoire amont. Après être resté quelques secondes devant les barreaux, il est reparti avant d'être à nouveau observé devant l'exutoire aval.

Les poissons 49536 et 49752 ont été observés devant l'exutoire secondaire aval avant qu'ils ne le franchissent.

D'autres poissons radiomarqués (49063 et 48734) ont été observés devant les grilles des exutoires secondaires mais eux, sont passés par le clapet. Le premier a été vu devant l'exutoire aval et le second devant les deux exutoires puis au moment de son passage par le clapet.

Ces observations révèlent une certaine attractivité des exutoires secondaires. Cependant, le franchissement n'est pas systématique. Les poissons nagent la tête face au courant, à quelques centimètres des grilles (parfois même entre les barreaux), et si certains pénètrent complètement dans l'exutoire pour le franchir, d'autres ressortent de l'exutoire (répulsivité des grilles ou à l'approche de la chute dans le pisciduc ?), y compris avec des grilles non colmatées (le plus souvent en 2010). Une fois ressortis de l'exutoire, les poissons repartent en nage active le long du masque (cf § 5.3.4.3 p. 41-42).

Fréq	Cheminement en zones de réception (temps)							Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEx3	Schéma
	TUM2	TUM2-3	TUM3-4	TUC0-1	TUM4-5-TUC0	TUC0-1	TUM4-TUC0					
48671	00:00:40	00:01:19	00:00:30	00:00:26	00:02:38	00:02:57	00:00:53	Turbines	107	1 à 5	0	G
	00:01:57	00:00:04	00:00:52	00:31:40	00:01:16	00:04:32	00:21:08					
49712	00:00:13	00:01:45	00:04:09	TUM4-5-TUC0-1			00:04:02	Turbines	99	1 à 4	0	G
	TUM2	TUM2-3	TUM4									
49374	00:00:26	00:01:06	TUM4-TUC0	TUC1-2				Turbines	78	5,8	0	G
	TUM2	TUM2-3	TUM4-TUC0	TUC1-2								
49134	00:00:04	00:01:01	TUEx3a	TUM3	TUM4	TUM4-5-TUC0		Turbines	170	1 à 5	1	G
	TUM2	TUEx3a	TUM3	TUM4	TUM4-5-TUC0							

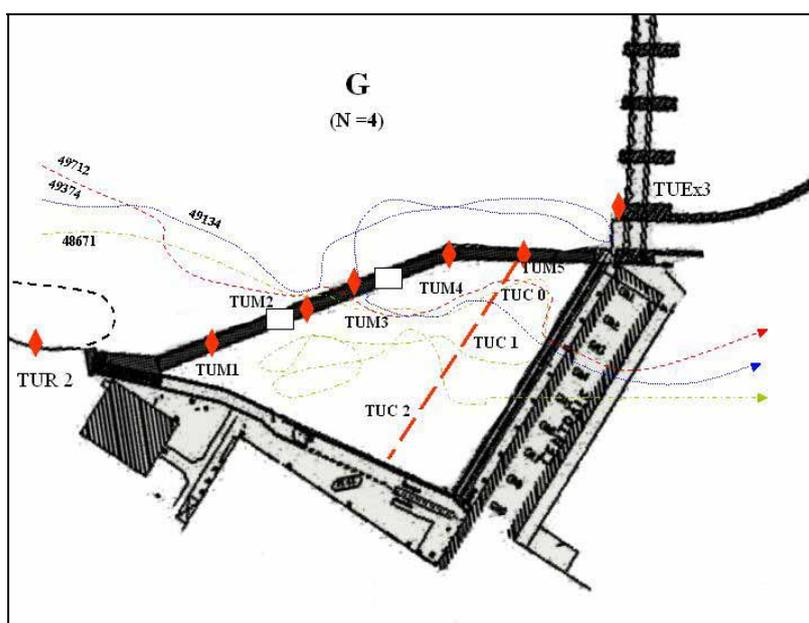


Figure 25 : Trajectoire-type de passages « turbines » avec franchissement du masque par la travée centrale.

Les quatre poissons représentés sur le schéma G (figure 25) ont franchi le masque au niveau de la travée centrale (TUM2 ou TUM3) après avoir été détectés par au moins une des autres antennes du masque. L'un d'entre eux (49134) a été détecté au préalable par l'une des antennes de l'exutoire principal.

Ces poissons ont ensuite franchi l'aménagement par les groupes situés plutôt en rive gauche (G1 à G3), sauf le poisson 49374 qui a été détecté pour la dernière fois par les antennes TUC1 et TUC2. Il serait donc passé plutôt vers les groupes 5 à 8.

Le poisson 49671 a tourné près d'une heure et demi dans la chambre d'eau (se faisant détecter par TUM1 tout en étant dans la chambre d'eau) avant de franchir l'aménagement par les turbines.

	de réception (temps)					Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEx3	Schéma
	TUM2	TUM4	TUC1							
49691	TUM2 00:04:08	TUM4 00:00:26	TUC1 00:00:16			Turbines	98	5,6,8	0	H
49601	TUM2 00:00:04	TUM5 00:01:32	TUC0-1 00:00:56			Turbines	68	6,8	0	H
49471	TUM2-3 00:00:14	TUM3 00:01:37	TUM4 00:00:26	TUM4-5-TUC0-1 00:00:36		Turbines	105	1 à 4	0	H
49340	TUM3 00:02:11	TUM4 00:01:32	TUM4-5-TUC0 00:09:02			Turbines	98	5,6,8	0	H
49114	TUM5 00:00:04	TUM4-5-TUC0 00:02:03				Turbines	95	1 à 4	0	H

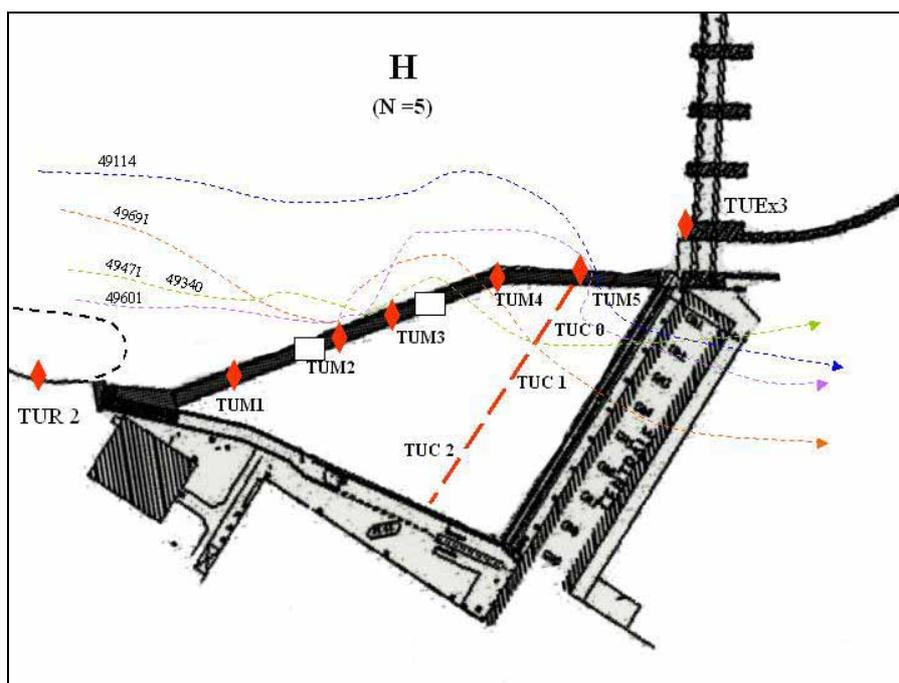


Figure 26 : Trajectoire-type de passages par les turbines avec franchissement du masque par la travée aval (TUM4 ou TUM5)

Parmi les cinq poissons qui ont franchi le masque au niveau de la travée aval (figure 26):

- 4 ont été détectés au préalable par une autre antenne du masque (tous sauf le 49114),
- 3 ont franchi le masque plutôt en amont du boomerang (TUM4) : 49691, 49471, 49340,
- 2 ont franchi le masque en aval du boomerang (TUM5) : 49601 et 49114,
- aucun ne s'est présenté dans la zone exutoire principal avant de franchir le masque en aval du boomerang (8 en 2010).

Fréq	Cheminement en zones de réception (temps)				Voie de passage	Débit turbiné	Groupes en fonctionnement	Nb incursions en TUEx3	Schéma
	TUM2	TUM3	TUM2	TUM4					
49511	00:02:11	00:00:30	00:00:27	00:04:22	Turbines	98	5,6,8	0	I
	intérieure chambre d'eau								
	19:09:57 (observation dans la chambre d'eau)								

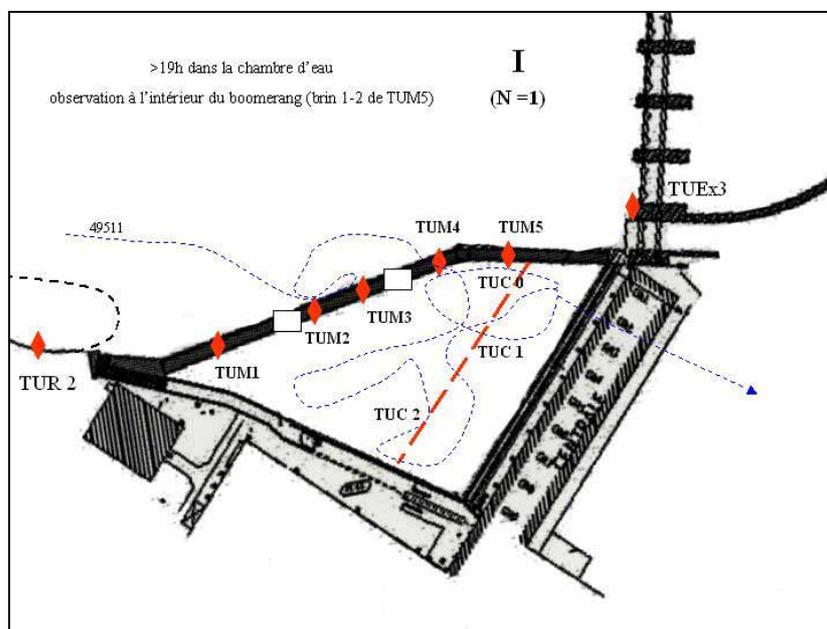


Figure 27 : Trajectoire particulière d'un poisson passé par les turbines après le passage du masque par la travée aval en amont du boomerang

Ce poisson est passé sous la travée aval du masque au niveau de l'antenne TUM4 après avoir été détecté par les antennes TUM2 et TUM3. Une fois le masque franchi, il a tourné pendant plus de 19 heures dans la chambre d'eau sans en ressortir. Ce poisson, lâché de jour, a été observé le lendemain après-midi dans le creux du boomerang, immobile. Il a exploré toute la chambre d'eau puisqu'il a été détecté par l'antenne brin de la travée amont.

5.3.4.2. Zones de franchissement sous le masque

Les antennes multibrins installées sur le masque ont permis de déterminer les passages depuis la retenue vers la chambre d'eau et de les individualiser par travée. L'antenne multibrin TUM1 ne correspond qu'à une seule zone de réception, il est donc impossible de préciser l'endroit exact du passage sous le masque au niveau de cette travée. Par contre, sur les deux autres travées, les antennes multibrins initialement installées ont été divisées en deux antennes (TUM2 et 3 pour la travée centrale, TUM4 et 5 pour la travée aval). Pour la travée aval, cela signifie qu'une antenne couvre la zone en amont du boomerang (TUM4) et une autre couvre la zone en aval du boomerang (TUM5). En plus de l'antenne chambre d'eau TUC0 située entre TUM5 et TUC1, il est possible de déterminer si le poisson a franchi la travée aval au niveau du boomerang, lorsqu'on observe une alternance de réception de signal sur les antennes TUM5-TUC0 après une force de signal importante en TUM5.

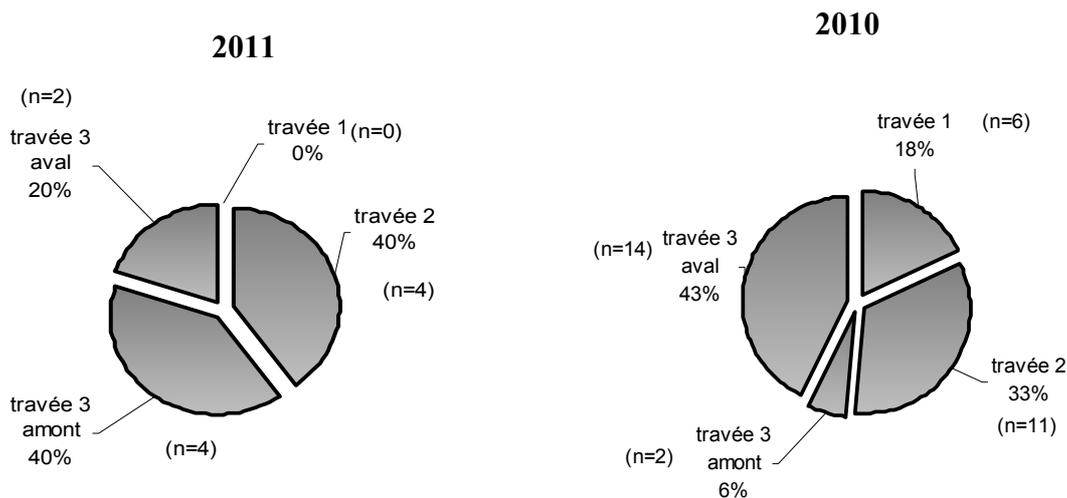


Figure 28 a et b : Zone de franchissement du masque par les smolts radiomarqués en 2011 et 2010.

Comme en 2010, toute zone de franchissement sous le masque (de TUM1 à TUM5) a pu être déterminée (en 2009, un seul franchissement n'avait pas été identifié).

En 2011, il n'y a pas eu de franchissement sous la travée 1 (en 2010, 18% des franchissements n=6), 40% (n=4) des franchissements ont été réalisés sous la travée 2 (en 2010, 33% - n=11), 40% (n=4) sous la travée 3 amont boomerang (en 2010, 6% - n=2) et 20% (n=2) sous la travée 3 aval boomerang (en 2010, 43% - n=14).

Compte-tenu des conditions de débits très différentes entre ces deux années de tests, beaucoup moins de poissons ont franchi le masque en 2011, et notamment aucun sous la travée amont contre 6 (18%) en 2010.

Fréq.	Travée d'arrivée	Travée de passage	Type de comportement	Capté dans zone exutoire principal ?	Q turbiné lors du passage sous masque	Temps entre arrivée et franchissement du masque	Groupes en fonctionnement
48671	2	2	G	non	115	00:00:40	1 à 5
49712	2	2	G	non	99	00:00:27	1 à 4
49471	2	3	H	non	105	00:02:29	1 à 4
49114	3	3*	H	non	95	00:00:04	1 à 4
49134	2	2	G	oui	170	00:00:32	1 à 5
49691	2	3	H	non	98	00:17:06	5,6,8
49340	2	3	H	non	98	00:03:42	5,6,8
49511	2	3	I	non	93	01:56:41	5,6,8
49374	2	2	G	non	78	00:00:39	5,8
49601	2	3*	H	non	68	00:31:09	6,8

3* : franchissement du masque à l'aval du boomerang.

(Oui) : smolt ayant fait de multiples allers-retours dans la retenue et le long du masque avant de le franchir.

Tableau 6 : Détails des franchissements du masque de dévalaison

Pour rappel, parmi les 62 poissons passés à l'aval de l'aménagement en 2011, 10 (16.1 %) l'ont franchi par les turbines. Ces 10 smolts sont donc passés sous le masque qui plonge à 4,07 m de profondeur par rapport à la RN : 4 poissons sont passés par la travée centrale, 4 par la travée aval en amont du boomerang et 2 par la travée aval mais en aval du boomerang (figure 28).

Sur les 10 smolts ayant franchi le masque, 1 seul a été détecté dans la zone de l'exutoire principal avant de passer sous le masque (11/33 soit 33% en 2010). Contrairement à l'année passée où seule une incursion sur deux dans la zone de détection de l'exutoire principal se soldait par le franchissement de cet exutoire, cette année c'est près de 90% des incursions en TUEX3 qui se sont soldées par le franchissement de cet exutoire. Les conditions hydrologiques de cette année y sont

sûrement pour beaucoup. Le débit turbiné à l'usine au moment du franchissement de l'aménagement n'a que très ponctuellement dépassé les 150 m³/s (1 franchissement à 169 m³/s) quelles que soient les voies de passage. En ce qui concerne les configurations d'usine lors des franchissements, 50% (5/10) d'entre eux ont eu lieu pour des configurations avec les groupes plutôt en rive gauche de la chambre d'eau en fonctionnement (G1 à G4 et G1 à G5) et 50% (5/10) pour des configurations avec les groupes plutôt en rive droite de la chambre d'eau en fonctionnement (G5G6G8, G5G8 et G6G8).

Les conditions hydrologiques particulières de cette année, avec notamment un débit turbiné ne dépassant que très ponctuellement les 150 m³/s, ne semblent pas avoir engendré les phénomènes hydrauliques observés en 2010, situés plutôt en profondeur et qui perturbaient l'attractivité de l'exutoire principal.

Effet de guidage du masque avant son franchissement :

Parmi les 10 smolts marqués ayant franchi Tuilières par les turbines, 5 (50%) ont franchi le masque en étant détectés uniquement au niveau de la travée de passage. Le temps de franchissement du masque peut être défini comme le temps entre la première détection au niveau du masque et le passage avéré sous le masque au niveau de l'antenne brin, souvent considéré comme le signal maximum reçu. Pour ces 10 poissons, le temps de franchissement du masque est compris entre 04 sec et 1h56min41sec (médiane 1min45sec contre 40sec en 2010). Ces temps sont vraiment très courts puisque 50% ont mis moins d'une minute (61.5% en 2010) et 70% moins de 6 minutes (*tableau 6*).

Le masque a eu un effet de guidage partiel pour 5 autres smolts, car ils ont franchi le masque par une travée différente de leur travée d'arrivée : ils sont tous arrivés par la travée centrale pour franchir le masque sous la travée aval, dont un en aval du boomerang. Ils ont mis respectivement 2min29s, 17min06sec, 3min42sec, 1h56min et 41sec et enfin 31min09sec entre leur première détection sur la travée d'arrivée et le franchissement du masque.

Seul le smolt 49511 (schéma I) a accompli des allers-retours entre la retenue et les zones de réception du masque avant de franchir définitivement le masque et de prendre la direction des turbines. En effet, comme les années passées, **une fois passé sous le masque, aucun smolt n'est ressorti de la chambre d'eau afin de rejoindre la retenue côté Dordogne.**

En résumé, on retiendra que :

- Parmi les 62 poissons passés à l'aval du barrage, **10 (16.1 %) l'ont franchi par les turbines après leur passage sous le masque.**
- Un seul smolt sur 10 **a d'abord été détecté dans la zone de l'exutoire principal sans emprunter avant de franchir le masque à l'aval du boomerang et passer par les turbines (11/33 en 2010).**
- Les différents constats réalisés semblent montrer 1) que l'attractivité de l'exutoire principal semble plutôt bonne dans ces conditions (près de 90% des incursions enregistrées dans la zone de réception de l'antenne de l'exutoire principal aboutissent à un franchissement de l'aménagement par ce clapet contre 50.9% en 2010) et 2) que les phénomènes hydrauliques perturbant l'attractivité de l'exutoire principal observés l'année passée semblent moins présents cette année (débits turbinés plus faibles).
- Ces phénomènes hydrauliques, confirmés par nos observations in situ, **ne semblent donc pas être uniquement liés à la présence et à la forme du boomerang mais aussi au débit turbiné et probablement aux groupes en fonctionnement**, même si le peu de données cette année ne permet pas de conclure sur ce dernier point.
- Des études approfondies, menées actuellement sur le modèle réduit par le LNHE d'EDF, devraient permettre de comprendre l'origine des phénomènes hydrauliques le long et sous le masque, afin d'identifier d'éventuelles solutions techniques permettant d'améliorer l'attractivité de l'exutoire principal puisque nous avons vu qu'**une fois le masque franchi, le passage par les turbines est irrémédiable.**

5.3.4.3. Comportement au niveau des exutoires de dévalaison

- Poissons passés par l'exutoire principal (clapet)

L'exutoire principal (clapet 1) a été emprunté par 42 smolts radio-marqués durant l'étude (29 en 2010). L'analyse du comportement (§ 5.3.4) montre que 38.7% des poissons (24 sur 62) se sont présentés dans cette zone de réception sans avoir été détectés ailleurs au préalable (11.3% en 2010), donc apparemment sans effet marqué de guidage du masque et cela quelle que soit la rive de lâcher. On dénombre enfin 20 smolts sur 62, soit 32%, qui ont longé totalement ou en partie le masque avant de franchir l'exutoire principal (14% en 2010). Cette année, l'antenne TUR1 n'a pas fonctionné correctement alors que cette zone représentait, plus de 18% des premières incursions avant l'arrivée des smolts à l'exutoire principal en 2010. Cependant, le suivi audio ne nous a pas montré d'arrivée sur site par la rive gauche pour les smolts radiomarqués suivis chaque nuit.

Les durées cumulées de présence dans la zone de réception de l'exutoire principal (antenne TUEX3 – Tableau 7) sont en moyenne de 2min31s (médiane 46s) et varient de 4s à 1h06min46s. En 2010, le temps moyen était de 3min44s pour une durée variant de 4s à 31min09s. Cette année, il n'y a qu'un seul poisson (49591) qui est réellement resté longtemps devant l'exutoire principal sans le franchir. En 5 incursions, il est resté plus d'une heure dans la zone alors que le débit turbiné au moment de son passage par le clapet était de 143 m³/s. Tous les autres sont restés moins de 6 minutes et 66.6% d'entre eux moins d'une minute contre seulement 38% en 2010.

Cette année, **les durées de présence dans cette zone**, qui sont bien **moins variables qu'en 2010**, même si le nombre d'incursions varie toujours de 1 à 5, **témoignent d'une meilleure attractivité du clapet principal** par rapport à l'année passée. Les conditions hydrologiques rencontrées cette année, ainsi que les conditions d'exploitations en sont probablement responsables.

Fréquence	Franchissement		Passage	Nb incursion dans TUEX3	Durée cumulée dans TUEX3
	Date	Heure			
49591	6-avr	10:34:02	clapet	5	01:06:46
49464	6-avr	18:11:59	clapet	3	00:02:37
48931	21-avr	19:55:36	clapet	2	00:04:06
49144	6-avr	17:08:28	clapet	2	00:00:18
48754	18-avr	22:57:50	clapet	2	00:00:14
48191	24-mars	03:01:54	clapet	1	00:06:05
49054	31-mars	20:36:28	clapet	1	00:02:10
49183	5-avr	23:31:07	clapet	1	00:01:58
48734	20-avr	23:14:56	clapet	1	00:01:45
49740	12-avr	19:18:25	clapet	1	00:01:32
49702	1-avr	08:46:39	clapet	1	00:01:18
49771	20-avr	14:29:41	clapet	1	00:01:16
49561	1-avr	01:50:29	clapet	1	00:01:06
48211	24-mars	01:28:31	clapet	1	00:01:05
48881	21-avr	06:08:21	clapet	1	00:01:02
49384	05-mai	19:05:05	clapet	1	00:01:02
48704	22-avr	07:45:35	clapet	1	00:00:57
49581	14-avr	08:32:59	clapet	1	00:00:55
48834	13-avr	23:28:38	clapet	1	00:00:53
48891	15-avr	07:03:56	clapet	1	00:00:53
49764	04-mai	01:47:51	clapet	1	00:00:53
49125	30-mars	23:08:51	clapet	1	00:00:52
49153	12-avr	00:03:58	clapet	1	00:00:52
49194	28-avr	06:41:19	clapet	1	00:00:39
49351	28-avr	21:03:25	clapet	1	00:00:36
48563	21-avr	16:48:03	clapet	1	00:00:32
49063	30-mars	00:19:41	clapet	1	00:00:27
49164	27-avr	00:20:31	clapet	1	00:00:24
49271	12-avr	16:48:35	clapet	1	00:00:18
49671	13-avr	23:56:46	clapet	1	00:00:17
49230	05-mai	00:14:01	clapet	1	00:00:15
49174	03-mai	23:04:25	clapet	1	00:00:14
49721	29-mars	00:49:53	clapet	1	00:00:14
49444	15-avr	16:16:15	clapet	1	00:00:14
49454	7-avr	23:01:00	clapet	1	00:00:13
49414	20-avr	09:07:49	clapet	1	00:00:13
49730	05-mai	17:10:01	clapet	1	00:00:13
48050	19-avr	05:08:40	clapet	1	00:00:09
49761	6-avr	16:58:41	clapet	1	00:00:04
49211	7-avr	23:10:49	clapet	1	00:00:04
49504	04-mai	22:51:21	clapet	1	00:00:04
49520	06-mai	15:57:00	clapet	1	00:00:04

Tableau 7 : Comportement des smolts radiomarqués « passés clapet » dans la zone de l'exutoire principal

- Poissons passés par les exutoires secondaires

En ce qui concerne les exutoires secondaires, leur ouverture crée un courant assez important, perpendiculaire au courant tangentiel le long du masque. Les poissons observés sont arrivés le long du masque (jusqu'à 2 m au large), la tête vers l'amont. A l'approche du changement de direction du courant, les smolts semblent ralentir et marquer un temps d'arrêt. Une partie d'entre eux fuit en s'éloignant du masque tandis que les autres se placent face à ce courant perpendiculaire, tout en luttant pour ne se laisser entraîner que progressivement vers l'exutoire.

Cette année, 10 smolts ont été enregistrés comme franchissant l'aménagement par les exutoires secondaires : 5 à l'amont et 5 à l'aval (*trajectoires types en figure 24 et tableau 8*). Ces poissons sont restés quelques minutes dans les puits avant d'être captés et/ou confirmés à l'audio à l'aval. En 2010, le poisson 48111 était resté dans une zone de réception allant de la travée 2 au puits lui-même pendant 1h37min. L'exutoire secondaire aval semblait plus attractif que celui de l'amont, très probablement en liaison avec la faible capacité de guidage de la travée 1 du masque (amont) où les vitesses tangentielles sont faibles voire négatives (contre-courants) sur la moitié amont de cette travée suivant le débit turbiné. **Cette année, les résultats ne montrent pas de différence d'efficacité entre ces deux exutoires secondaires.**

Parmi ces 10 smolts ayant franchi l'aménagement par les exutoires secondaires, aucun n'a d'abord « séjourné » dans la zone de réception de l'antenne TUEX3 au niveau du clapet principal (3 sur 4 en 2010, de 2min12s à 12min16s).

Aucun poisson radiomarqué enregistré par nos antennes TUEX1 ou TUEX2 n'est ressorti de ces exutoires.

Fréquence	Franchissement		Passage	Nb incursion dans TUEX3
	Date	Heure		
48151	25 mars	00:56:00	exu 1	0
49434	05 avril	23:28:50	exu 2	0
49621	07 avril	22:52:12	exu 1	0
48951	18 avril	22:31:44	exu 1	0
48911	19 avril	22:59:48	exu 1	0
49632	21 avril	03:06:31	exu 1	0
49361	26 avril	23:05:31	exu 2	0
49571	27 avril	02:25:20	exu 2	0
49536	03 mai	23:16:06	exu 2	0
49752	04 mai	23:38:08	exu 2	0

Tableau 8 : Comportement des smolts radiomarqués « passés exutoires secondaires »

- Poissons venus près de l'exutoire principal mais franchissant l'aménagement par les turbines

Le poisson 49134 a « séjourné » dans la zone de réception TUEX3a (figure25, schéma G) pendant 1min01s avant de franchir l'aménagement par les turbines. Il est tout d'abord remonté au niveau de la travée centrale avant de franchir le masque sous la travée centrale. C'est le seul poisson sur les 10 qui s'est présenté devant le clapet avant de franchir par les turbines alors qu'en 2010, 8 poissons sur 33 (soit 28%) passés turbines avaient été enregistrés auparavant par l'antenne TUEX3.

Ces résultats montrent que **dans les conditions hydrologiques et d'exploitation testées cette année, l'attractivité du clapet a été supérieure par rapport à celle observée l'an dernier.**

- Observations de smolts les soirs de lâchers

En raison de la faible hydrologie et donc d'une turbidité modérée durant la plus grande partie de l'étude, de nombreuses observations ont pu être réalisées in situ (tableau en annexe 2).

Au niveau des exutoires secondaires : Malgré le remplacement des barreaux ronds des grilles des exutoires secondaires par des barreaux rectangulaires, un certain nombre de poissons semblent toujours repoussés à l'approche de ces nouveaux barreaux. En effet, plusieurs individus approchaient des barreaux et une fois à leur hauteur, s'en écartaient vivement tout en restant dans la zone de courant attractif et éclairée par le projecteur. Après plusieurs répétitions de cette manœuvre, soit les poissons franchissaient la grille, soit ils s'écartaient définitivement de l'exutoire. En outre, une partie des poissons observés ont franchi les barreaux aisément mais sans se laisser entraîner dans le puits de dévalaison. Ces derniers ont lutté contre le courant et ont réussi à ressortir de l'exutoire.

De nombreuses observations de poissons radiomarqués ont pu être faites devant les exutoires secondaires. Aucune différence de comportement n'a été observée par rapport aux poissons non marqués : la taille et le poids des émetteurs ainsi que l'antenne libre dans l'eau ne semblent pas affecter leurs capacités de nage. Les poissons 48911 et 49752 (tableau 9) ont été observés franchissant les exutoires amont et aval alors que les poissons 49434, 49063 et 49536 se sont présentés sans les franchir. Le poisson 48734 a, quant à lui, été observé devant les deux exutoires mais sans qu'il ne les franchisse.

A proximité des groupes 1 et 2, dans la chambre d'eau : Cette année, seulement deux smolts ont été observés dans la chambre d'eau devant les groupes 1 et 2.

5.3.4.4. Effet de l'éclairage des exutoires

Des lampes à vapeur de mercure équipent chaque exutoire du dispositif de dévalaison, deux lampes pour l'exutoire principal et une pour chaque exutoire secondaire. Ces lampes génèrent un halo de lumière mesurant 4 à 5 m de diamètre devant l'exutoire. Cet éclairage a fonctionné en continu durant chaque nuit de la période d'étude.

Etant donné qu'ils fonctionnent toutes les nuits et en continu, il est difficile de dire s'ils améliorent ou non l'attractivité des exutoires.

L'éclairage des exutoires a permis différentes observations visuelles nocturnes in situ. Ces dernières ont confirmé notamment un comportement de nage active, la tête tournée vers l'amont, pour l'incursion, suivie ou non du franchissement, au niveau de l'exutoire principal et des exutoires secondaires.

5.3.4.5. *Problèmes de colmatage des exutoires*

Les observations décrites ci-dessus ont été faites lorsque les exutoires secondaires étaient parfaitement fonctionnels. Suite aux importants problèmes de colmatage constatés en 2009, ils ont été équipés en 2010 d'un système de dégrillage hydraulique qui, après fermeture de la vanne de garde de l'exutoire, crée un jet d'eau puissant repoussant les débris flottants accumulés devant les grilles (jusqu'à 5 cycles de nettoyage par 24h, dont un la nuit).

Cette année, les conditions hydrologiques, l'augmentation du nombre de cycles quotidiens et la meilleure diffusion du jet à l'aide de nouvelles buses ont rendu ces exutoires beaucoup plus fonctionnels que les années précédentes, rendant les dégrillages manuels beaucoup moins fréquents cette année, seul un contrôle les soirs de lâcher étant effectué.



Photo 17 et 18 : Colmatage des exutoires secondaires les 31 mars et 10 juin 2010

Cependant, ce dispositif est tombé en panne à de nombreuses reprises durant le suivi, parfois même plusieurs fois dans la même journée. Il s'agissait d'un problème de motorisation de la vanne de garde lors de sa relève. Le système se mettait alors en défaut grâce à une protection qui fut enlevée par l'exploitant résolvant ainsi le problème. Par contre, sans cette protection, le moteur pourrait à terme être endommagé et le système serait alors hors d'usage pour un long moment.

5.3.5. Franchissement de l'ouvrage

5.3.5.1. *Horaires des passages*

Pour se rapprocher des conditions préférentielles de dévalaison nocturne des smolts (LARINIER et TRAVADE, 1999), les lâchers se sont déroulés à la tombée de la nuit, entre 20h52 et 21h35. Cette année, 5 lâchers ont eu lieu dans l'après-midi entre 14h27 et 15h15, afin de voir le comportement des smolts durant la journée. Les poissons ont mis, pour 93 % d'entre eux, moins de 2h30 pour rejoindre l'ouvrage de Tuilières depuis le pont de Saint Capraise de Lalinde situé à environ 2 km à l'amont (cf § 5.3.1).

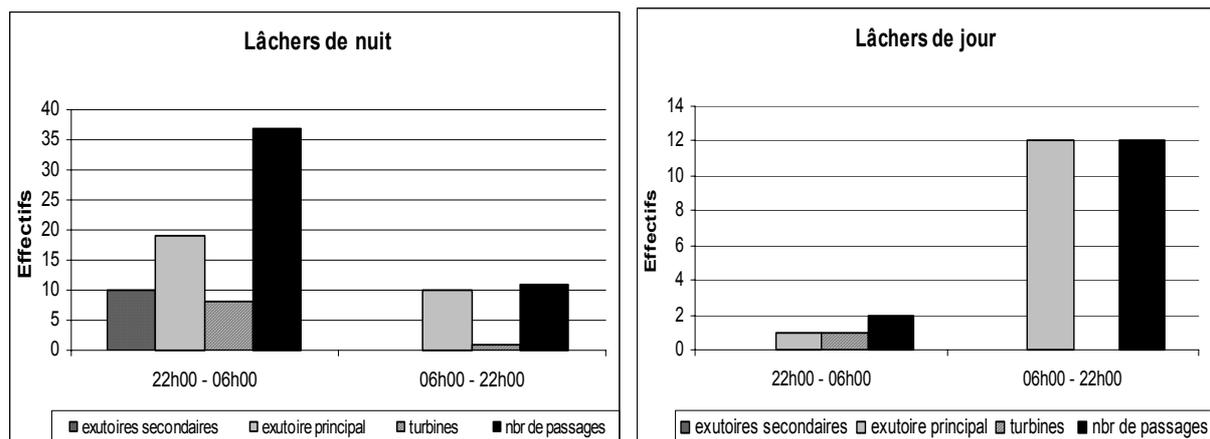


Figure 29 : Franchissement des smolts radiomarqués au niveau de Tuilières par tranche horaire en fonction du type de lâcher

Sur les 62 poissons dont le franchissement a été enregistré, 48 ont été lâchés de nuit et 14 de jour. Ainsi, lors des lâchers de nuit, ce sont 37 smolts, soit 75% (85 % en 2010), qui ont franchi l'aménagement durant la nuit (figure 30). Parmi eux, 36 (soit 97%) ont franchi le barrage de Tuilières (turbines et exutoires confondus) la nuit même de leur lâcher (96% en 2010). Seul 1 de ces poissons (49134) est passé de nuit mais le lendemain de son lâcher. Les 11 autres poissons lâchés de nuit ont donc franchi l'aménagement mais durant la journée qui a suivi leur lâcher.

Au total, 5 lâchers de jours ont été réalisés. La très grande majorité des poissons sont passés à Tuilières durant la journée (12 sur 14). Cependant, 2 d'entre eux, ont franchi l'aménagement de Tuilières durant la journée mais le lendemain de leur lâcher. A noter qu'aucune observation de smolts « sauvages » n'a été effectuée dans la retenue de Tuilières durant la journée.

5.3.5.2. Voies de passage et fonctionnement de l'usine

En 2009, l'usine de Tuilières était en redémarrage pendant le suivi et seulement deux groupes (4-7 ; 4-8 ; 7-8 principalement) fonctionnaient en automatique durant les nuits. En 2010, les groupes 7 et 8 ont été restaurés pendant la période de suivi (après le 3^{ème} lâcher), donc les configurations avec ces groupes n'ont pu être testées. Les débits rencontrés pendant la période d'étude n'auraient pas permis de voir fonctionner l'usine beaucoup plus longtemps avec tous les groupes. Par contre, les groupes 7 et 8 auraient permis de tester un éventuel effet rive droite / rive gauche des groupes lors des franchissements.

Cette année, les groupes 1 et 7 ont été indisponibles pendant une partie de l'étude. Compte tenu des faibles débits toutes les configurations n'auraient pas pu être testées, mais ces groupes auraient permis de compléter les tests débutés en 2010 sur l'éventuel effet rive droite / rive gauche des groupes lors des franchissements.

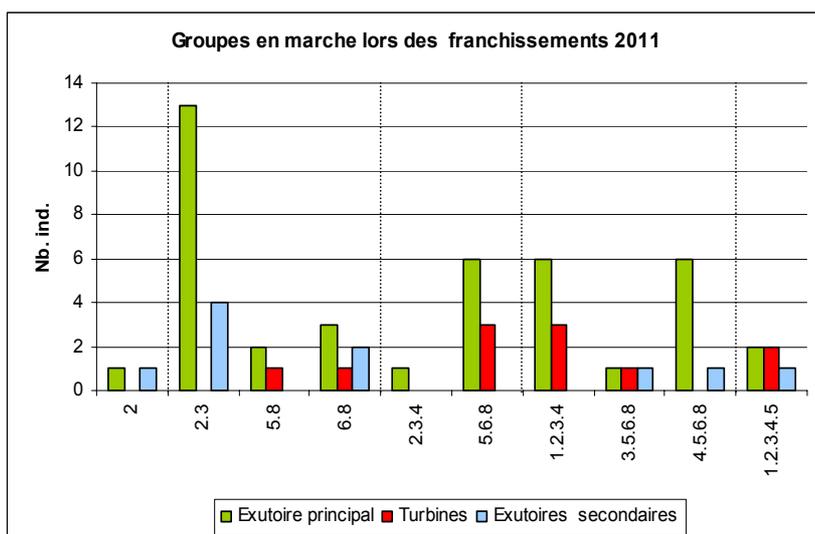


Figure 30 : Franchissements de l'ouvrage de Tuilières en fonction des différentes configurations d'usine

configuration de groupes	nombre d'heures	%
2	54	5,1%
3	1	0,1%
5	1	0,1%
8	4	0,4%
1,3	1	0,1%
1,8	1	0,1%
2,3	185	17,5%
5,8	93	8,8%
6,8	166	15,7%
1,3,8	1	0,1%
2,3,4	4	0,4%
3,4,5	1	0,1%
5,6,8	67	6,3%
1,2,3,4	145	13,7%
3,5,6,8	15	1,4%
4,5,6,8	147	13,9%
1,2,3,4,5	154	14,6%
1,2,3,5,8	6	0,6%
2,4,5,6,8	4	0,4%
arrêt	6	0,6%
TOTAL	1056	100,0%

Tableau 10 : Nombre d'heures de fonctionnement de chaque configuration au cours de l'étude

Lors de la période d'étude, l'usine a fonctionné plus de 35 % du temps avec deux groupes et 32% du temps avec 4 groupes (*tableau 10*). Cela correspond respectivement à une période allant du treizième lâcher (14 avril) au dernier (05 mai) puis du troisième lâcher (28 mars) au neuvième (07 avril), soit 17 lâchers avec ces deux configurations (sur un total de 22 lâchers). Durant ces périodes, 31 smolts radio-marqués sont passés par l'exutoire principal, 8 par les exutoires secondaires et 6 par les turbines (*figure 30*).

En 2011, pour un débit turbiné maximum de 169 m³/s (pour un module à Lamonzie de 280 m³/s), près de 84% des smolts ont emprunté les exutoires de dévalaison (72.5% pour des débits turbinés inférieurs à 150 m³/s en 2010).

Si l'on s'intéresse aux groupes en fonctionnement lors des franchissements, on s'aperçoit que 35% du temps l'usine fonctionnait avec 2 groupes et 5 configurations différentes (*tableau 10*). La plus fréquente d'entre elles est la configuration 2.3 où 17 poissons ont franchi l'usine : 13 (76.5%) par le clapet et 4 (23.5%) par les exutoires secondaires.

En 2010, les enregistrements des voies de passage sous le masque (cf § 4.3.3.2) ainsi que les observations lors de nos suivis (visuels, audio) nous laissaient penser que les groupes 1 et 2, situés les plus près du masque et à proximité du boomerang, pouvaient avoir une influence sur le franchissement du masque par les smolts radio-marqués. En effet, de forts courants turbulents sont rencontrés devant ces groupes, avec notamment par moments des ascendances marquées. Ainsi, il avait été demandé à l'exploitant d'intervir l'ordre de priorité des groupes chaque semaine, à savoir démarrer en premier lieu les groupes rive gauche une semaine et ceux rive droite la semaine suivante. Cette disposition a été reconduite en 2011.

Toutefois, compte-tenu des conditions de débits rencontrées cette année (inférieurs à 169m³/s turbinés) et avec les groupes 1 et 7 indisponibles en début d'étude, il a été difficile d'évaluer l'influence éventuelle des groupes 1 et/ou 2 sur le franchissement de l'aménagement par les smolts.

5.3.5.3. Influence des débits sur les voies de passage

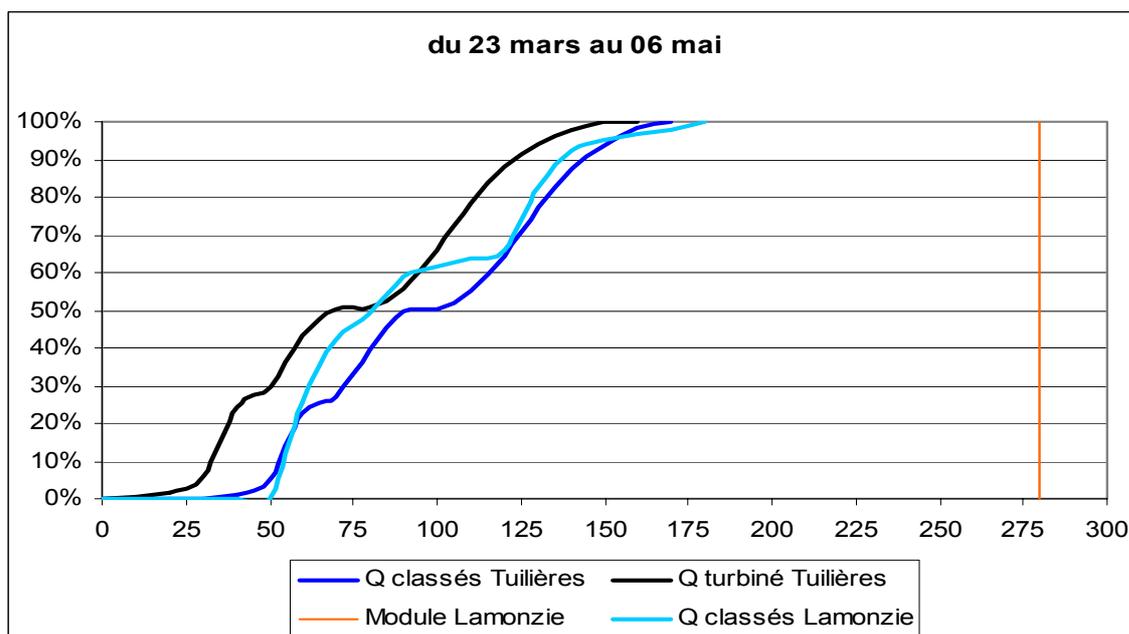


Figure 31 : Débits de la Dordogne et turbinés à Tuilières, classés pour la période de suivi 2011

Les données recueillies à Lamonzie, ainsi que les données enregistrées à Tuilières (figure 31), confirment la faible hydrologie du printemps 2011 puisque le débit total a été inférieur au module pendant toute la période de lâcher. On remarque aussi que près de 50% du temps, les débits turbinés ont été inférieurs à 75 m³/s (fonctionnement d'usine avec au maximum 3 groupes).

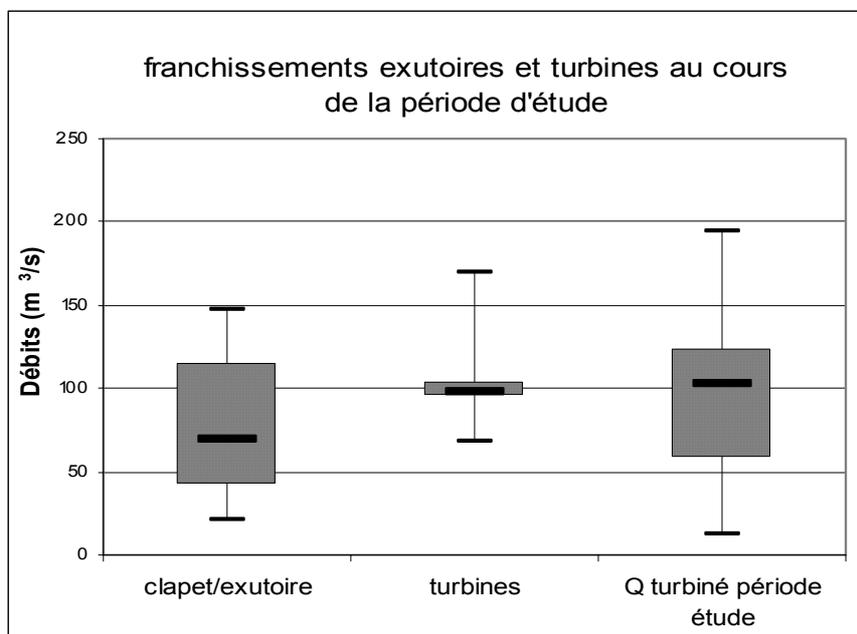


Figure 32 : Répartition du débit turbiné lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières des smolts radiomarqués

Cette année, la majorité des smolts (52/62 soit près de 84%) ont emprunté les différents exutoires pour quasiment toute la gamme de débits turbinés échantillonnée (entre 31 et 168 m³/s) alors que seuls 10 poissons sur les 62 franchissements avérés (soit 16%) sont passés par les turbines pour des débits turbinés compris entre 68 et 170 m³/s (figure 32). Il semblerait donc que la gamme de débit

turbiné rencontrée cette année soit favorable à des franchissements de l'aménagement de Tuilières préférentiellement par les différents exutoires (principal et secondaires confondus).

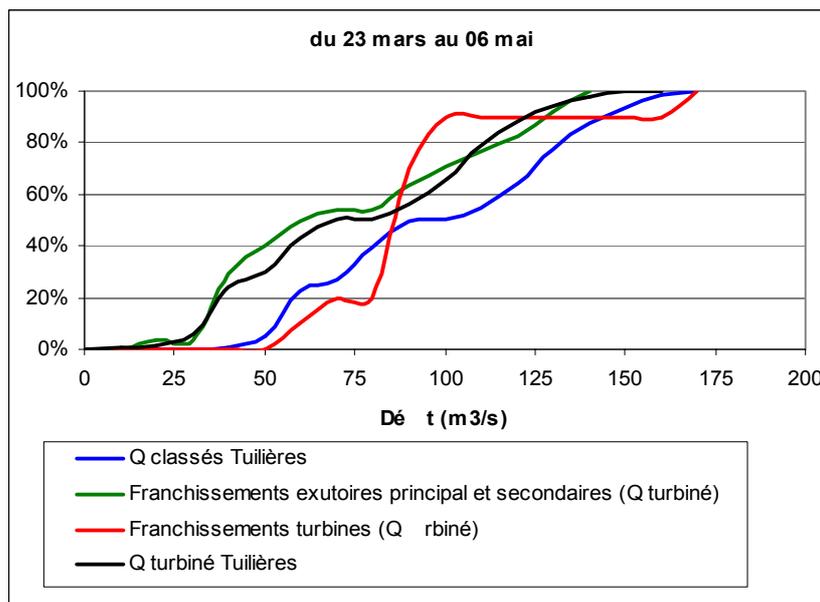


Figure 33 : Débit de franchissement à Tuilières classé en fonction de la voie de passage pendant la période de lâcher 2011

En 2010, 90% des franchissements par les exutoires de dévalaison (principal et secondaires) se sont produits pour des débits turbinés inférieurs à 150 m³/s et aucun pour des débits turbinés supérieurs à 180 m³/s.

En 2011, les conditions hydrologiques particulièrement faibles ont permis de confirmer une partie des résultats de 2010, à savoir que **pour des débits turbinés inférieurs à 150 m³/s, la grande majorité des smolts empruntent les exutoires de dévalaison** (figures 33 et 34).

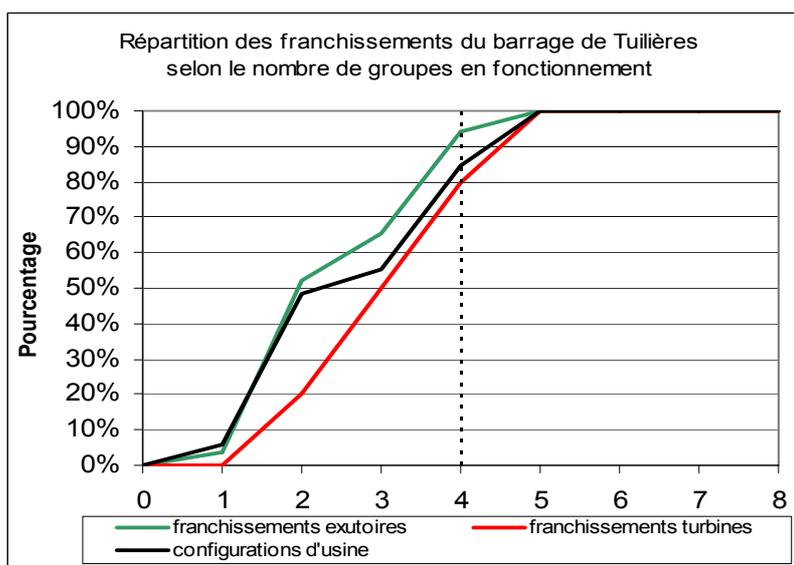


Figure 34 : Nombre de groupes en service classé lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières par les smolts radiomarqués

La figure 34 montre que 94% (49 sur 52) des passages par les exutoires ont eu lieu pour des configurations d'usine avec 1 à 4 groupes (91% en 2010). Les passages turbines se sont déroulés cette

année lorsque l'usine fonctionnait avec 2 à 5 groupes. Le manque de données pour un fonctionnement d'usine à plus de 4 groupes ne permet pas d'établir un lien entre le nombre de groupes en fonctionnement et le franchissement.

5.4. Devenir des poissons à l'aval de l'aménagement

Aucun dispositif particulier n'a été mis en place afin d'observer le devenir des smolts passés par les turbines. Plusieurs suivis manuels ont été effectués à l'aval de l'ouvrage et une station d'enregistrement a été installée au niveau du barrage-seuil de Bergerac, situé environ à 15 km en aval de l'usine de Tuilières. Cette année, un poste 4500s du CEMAGREF a été testé mais il n'a malheureusement pas donné les résultats espérés. Compte tenu des modifications de l'installation sur le masque de Tuilières, les postes à Bergerac n'ont pas pu être réinstallés comme en 2010. Cependant, quelques poissons ont pu être détectés par l'installation de Bergerac (*tableau 11*).

Smolts Fréq.(MHz)	Date et Heure Franchissement Tuilières	Débit Tuilières (données usine)	Zone Passage Tuilières	Date et Heure Réception Bergerac	Durée transit Tuilières-Bergerac	Débit Lamonzie (données banque Hydro)
49621	07/04/2011 22:52:12	153	EXU 1	08/04/2011 19:30:01	18:33:11	111
49454	07/04/2011 23:01:00	153	CLAPET	08/04/2011 07:30:01	08:30:01	120
49601	28/04/2011 00:22:20	95	TURBINES	audio seulement le 02/05 à 08:15		69

Tableau 11 : Récapitulatif des suivis des 3 smolts radiomarqués s'étant présentés au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Bergerac

Suite aux 62 franchissements de Tuilières, 3 poissons seulement ont été détectés au niveau du barrage de Bergerac (les autres ne sont pas forcément morts suite à leur passage à Tuilières, on peut juste dire qu'ils n'ont pas été détectés au niveau de Bergerac – cf difficultés de détection sur ce site expliquées dans le paragraphe précédent). Parmi ces 3 smolts, un avait franchi Tuilières par les turbines, un par l'exutoire principal et un par l'exutoire secondaire amont.

Le temps de transit de 2 de ces 3 poissons entre les deux aménagements a varié de 08h30min à 18h33min (*tableau 11*), soit une vitesse moyenne de déplacement des smolts s'échelonnant de 0.8 km.h⁻¹ pour le plus « lent » à 1.8 km.h⁻¹ pour le plus « rapide » (0.13 à 2 km.h⁻¹ en 2010). On ne connaît pas la durée du transit entre les 2 ouvrages pour le 3^{ème} smolt qui n'a été repéré qu'à l'audio sur Bergerac, et ce plus de 4 jours après son passage à Tuilières.

5.5. Synthèse des résultats de 2010 et 2011

La première année de suivi en 2009 a été particulière car elle a débutée en même temps que le redémarrage de l'usine de Tuilières, c'est-à-dire avec un nombre de groupes en fonctionnement limité. Il est donc difficile de prendre en compte les résultats des franchissements pour cette année là. Par contre, les deux dernières années, bien que très différentes en terme de régimes hydrologiques, permettent de comparer les résultats obtenus car l'usine fonctionnait normalement.

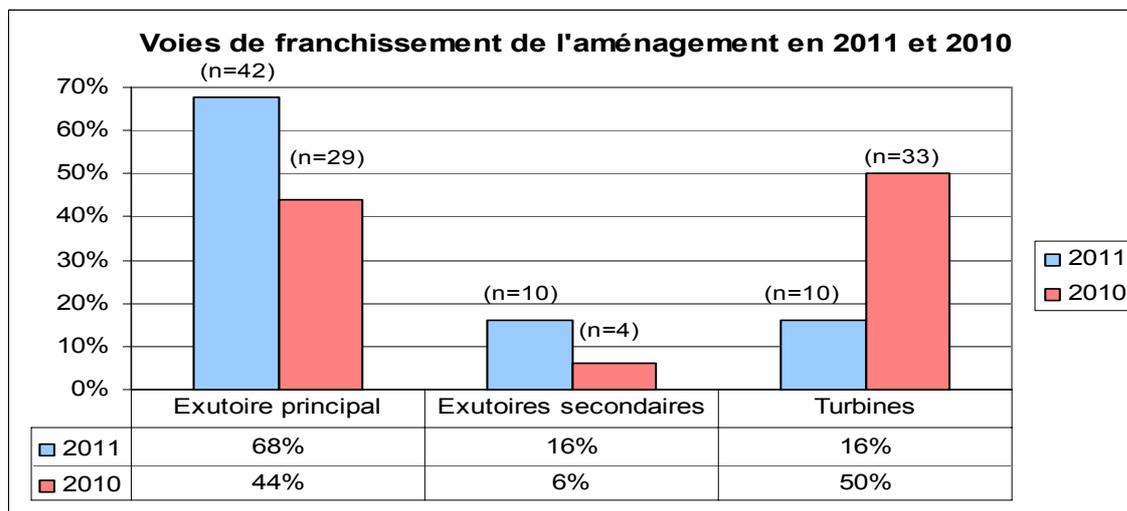


Figure 35 : Voies de franchissement de l'aménagement lors des études 2010 et 2011

En 2010 et 2011, les voies de franchissement de l'aménagement empruntées par les 128 smolts ont été très différentes (figure 35). Ainsi, ont été enregistrés 16 à 50% de passages par les turbines, de 6 à 16% par les exutoires secondaires et de 44 à 68% par l'exutoire principal. Cette importante variabilité dans les résultats (jusqu'à un facteur 3 pour les passages turbines) en fonction des années peut s'expliquer par les conditions de débits rencontrées lors de ces 2 années d'étude.

On peut noter également que sur ces deux années de tests, seulement 11% des smolts radiomarqués (14/128) ont emprunté les exutoires secondaires. L'attractivité de ces exutoires semble donc réduite, dans les conditions hydrologiques testées, même si un nombre important d'observations de smolts ont pu être effectuées à proximité de ces exutoires.

L'efficacité du masque ne paraît donc pas constante dans le temps et soumise aux conditions hydrologiques. Toutefois, ces résultats doivent encore être complétés, avec un échantillon significatif de smolts pour des débits turbinés supérieurs à 200 m³/s.

5.5.1. Influence des débits sur les voies de passage

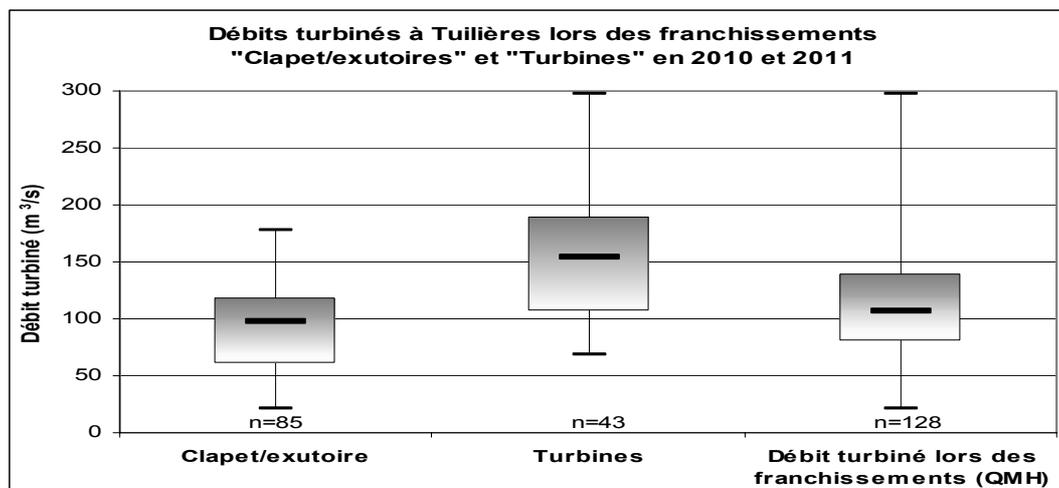


Figure 36: Répartition du débit turbiné lors du franchissement de l'aménagement de Tuilières par les smolts radiomarqués

Sur ces deux années de tests, 128 smolts radiomarqués ont franchi l'aménagement hydroélectrique de Tuilières en se faisant détecter par les antennes. Ils sont passés par les différents organes de l'aménagement pour des débits turbinés compris entre 21 et 297 m³/s (figure 36). Le module de la Dordogne à Tuilières est de 275 m³/s et seuls 3 poissons ont franchi l'aménagement pour des débits turbinés supérieurs à 200 m³/s. Ces deux années de test ont donc été effectuées dans un contexte de bas débits (globalement inférieurs au module).

Lors de ces tests, 2 smolts sur 3 ont emprunté les différents exutoires de dévalaison. A leurs passages, les débits turbinés étaient compris entre 21 et 178 m³/s. Pour 75% d'entre eux, l'usine turbinait moins de 118 m³/s, soit moins d'un tiers du débit maximum turbinable par l'usine.

Par contre, un tiers des smolts radiomarqués est passé par les turbines alors qu'elles turbinait entre 68 et 297 m³/s. 75% des passages turbines ont eu lieu pour des débits turbinés inférieurs à 200 m³/s alors que l'usine de Tuilières a une capacité maximale théorique d'environ 400 m³/s turbinés.

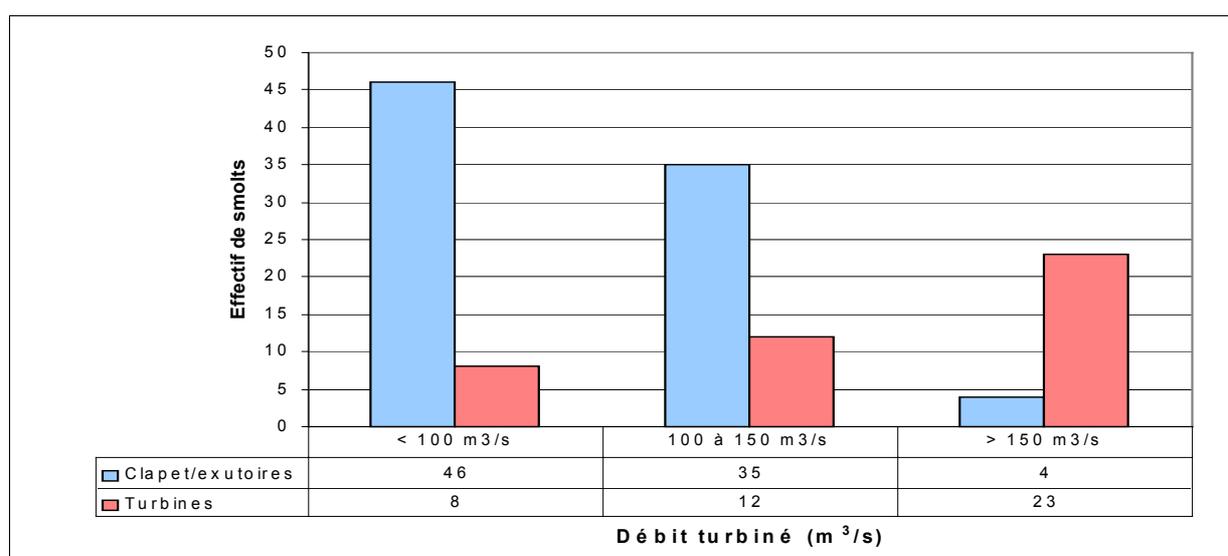


Figure 37 : Franchissement des smolts radiomarqués par tranche de débit (2010 et 2011)

Sur un total de 128 franchissements de smolts enregistrés lors des suivis 2010 et 2011 (85 franchissements « clapets/exutoires » et 43 franchissements « turbines »), on a :

- 54% (46/85) des passages « clapets/exutoires » se produisent pour des débits turbinés < 100 m³/s contre 19% (8/43) des passages « turbines »,
- Pour des débits turbinés compris entre 100 et 150 m³/s, ce sont 41% (35/85) des passages « clapets/exutoires » qui se produisent et 28% (12/43) des passages « turbines »,
- Enfin, pour des débits turbinés > 150 m³/s, ce sont seulement 5% (4/85) des passages « clapets/exutoires » qui se produisent contre plus de 53% (23/43) des passages « turbines ».

Ainsi, au fur et à mesure que le débit turbiné à Tuilières augmente, la proportion entre passages « clapet/exutoires » et passages « turbines » s'inverse et les passages « turbines » deviennent nettement plus nombreux. La figure suivante reflète bien ce phénomène.

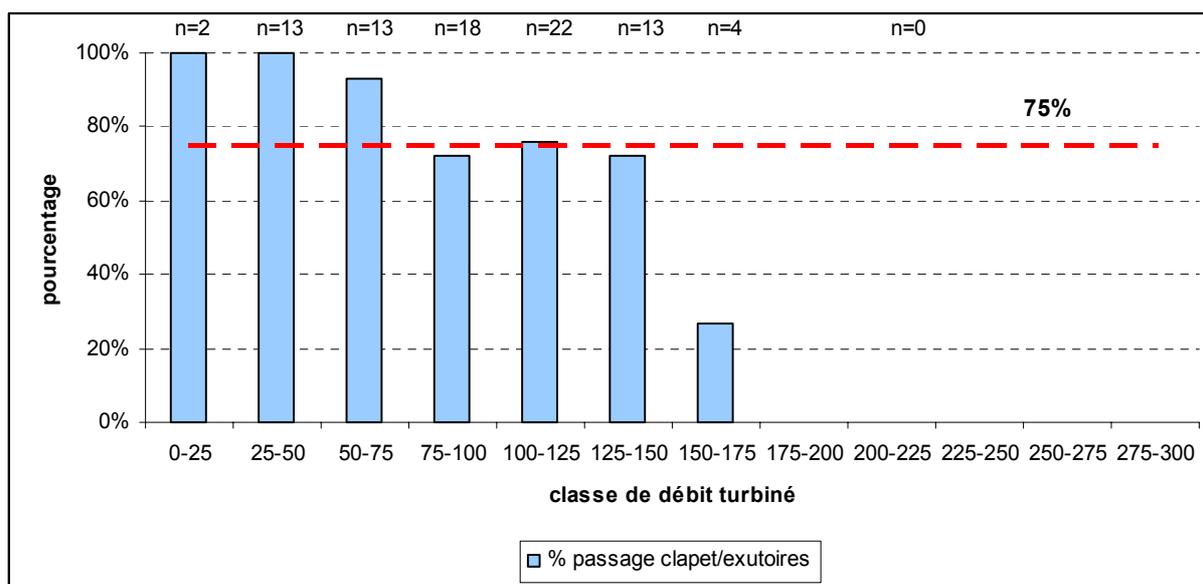


Figure 38 : Répartition des passages clapet/exutoires secondaires par classe de débit turbiné pour les études 2010 et 2011

La figure 38 ci-dessus représente le pourcentage de passages par les exutoires (clapet + exutoires secondaires) parmi les smolts présents sur site par classe de débit turbiné. Sur cette figure, on voit que jusqu'à 150 m³/s de débit turbiné, au minimum 75% des smolts radiomarqués présents sur site franchissent l'aménagement par les exutoires (ligne rouge). En revanche, au delà de 150 m³/s de débit turbiné, il y a moins de 27% des smolts présents sur site qui empruntent les exutoires.

Toutefois, cette tendance demande encore à être approfondie du fait du nombre encore insuffisant de smolts radiomarqués dans certaines classes de débit, notamment pour les débits turbinés supérieurs à 150-175 m³/s.

Lors de ces deux années d'étude, les débits ont été bien inférieurs aux débits habituellement rencontrés à cette période de l'année. Malgré tout, ces conditions hydrologiques ont permis de montrer que :

- *l'efficacité du masque était variable en fonction des conditions hydrologiques,*
- *2/3 des smolts radiomarqués ont emprunté les exutoires de dévalaison, dans les conditions hydrologiques testées,*
- *un nombre important de smolts sont passés devant ou à proximité des exutoires secondaires sans les franchir (répulsivité liée aux grilles, colmatage ponctuel ?),*
- *quand le débit turbiné augmente, la proportion de passages par les turbines augmente pour devenir majoritaire au delà de 150 m³/s de débit turbiné,*
- *le masque semble jouer son rôle en dessous de ce seuil de débit turbiné mais le manque de données à plus forts débits ne permet pas d'estimer son efficacité globale.*

5.5.2. Voie de passage et fonctionnement de l'usine

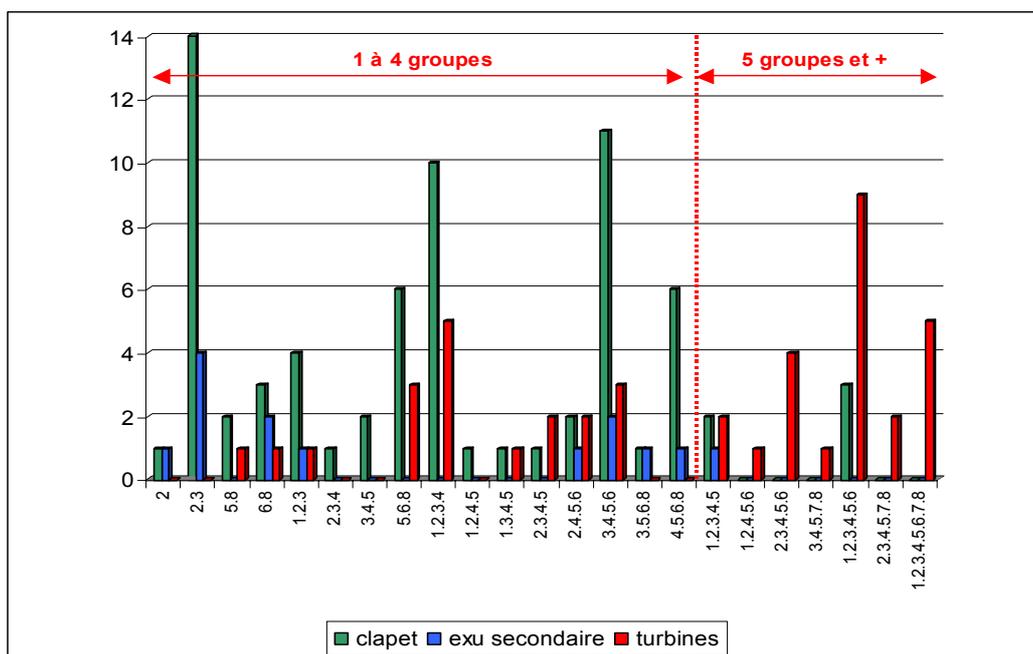


Figure 39 : Franchissements de l'ouvrage de Tuilières en fonction des différentes configurations d'usine 2010 et 2011

En s'intéressant au fonctionnement de l'usine lors du franchissement des smolts durant ces deux années de test, on s'aperçoit que 93% des passages par les exutoires (soit 79/85) se font lorsque l'usine fonctionne avec au maximum 4 groupes (figure 39). Par contre, quand l'usine fonctionne avec plus de 4 groupes, 80% des smolts empruntent les turbines (soit 24/30).

L'augmentation des débits turbinés, avec un nombre plus important de groupes en fonctionnement, semble amplifier les passages de smolts par les turbines. Une « limite » en-deçà de laquelle la majorité des smolts empruntent les exutoires semblerait se situer à 4 groupes en marche, soit un maximum de 140 à 160 m³/s de débit turbiné (selon les estimations fournies par l'exploitant avec des groupes bridés à 80%), ce qui rejoint les résultats du paragraphe précédent.

5.5.3. Effet « guidage » du masque

Une tentative de typologie des franchissements sur les années 2010 et 2011 a été réalisée à partir des données de radiotélémetrie (différentes zones de réception) et des débits turbinés. En synthétisant les enregistrements des différentes antennes, nous avons pu retracer les déplacements des smolts dans la retenue et les regrouper en 7 catégories en fonction de l'influence du masque et de la voie de franchissement.

- Les poissons passés « clapet direct »

Cette catégorie correspond aux 43 smolts qui ont franchi l'exutoire principal (clapet) sans se faire détecter au préalable par notre jeu d'antennes. Nous n'avons donc que très peu d'informations quant aux déplacements dans la retenue de ces 43 smolts mais ils correspondent aux débits les plus faibles (figure 41). On peut donc penser que ces smolts exploraient la retenue en nage active jusqu'à trouver le courant généré par l'ouverture du clapet. La radiotélémetrie montre ici ses limites, compte tenu des particularités du site (taille, parasites...) et des conditions hydrologiques.

- **Les poissons passés « clapet avec masque »**

Ces 28 smolts ont franchi l'exutoire principal (clapet) en étant détectés, au moins une fois, par l'une des antennes disposées sur les différentes travées du masque. La première détection a eu lieu sur la travée amont pour 4 d'entre eux, sur la travée centrale pour 5 smolts et 19 sur la travée aval. Pour cette catégorie, les débits turbinés sont légèrement supérieurs à la catégorie précédente mais inférieurs à 150m³/s (figure 41).

- **Les poissons passés « exutoires secondaires direct »**

Au total, 7 smolts ont emprunté les exutoires secondaires sans avoir été détectés par une autre antenne que celle placée dans les puits avant que le franchissement ne soit confirmé par nos antennes situées à l'aval de l'usine. Lors du franchissement des poissons représentés dans cette catégorie, les débits turbinés étaient parmi les plus faibles (figure 41).

- **Les poissons passés « exutoires secondaires avec masque »**

Cette catégorie de franchissement regroupe 6 smolts. Avant de franchir l'aménagement par un des exutoires secondaires, ces smolts ont été enregistrés par au moins une antenne du masque. Il faut noter que 2 de ces poissons ont pu être observés dans le halo éclairé des exutoires amont et aval. Ils se sont présentés devant les barreaux la tête face au courant et ont rejoint l'exutoire secondaire aval en étant enregistrés le long du masque.

- **Les poissons passés « turbines direct »**

Ces poissons, au nombre de 17, ont franchi le masque sous les différentes travées (6 sous la travée 1 ainsi que sous la travée 2, 1 sous la travée 3 amont boomerang et 4 sous la travée 3 en aval du boomerang) sans avoir été détectés au préalable le long de celui-ci (côté Dordogne). Dans ce cas de franchissement, le débit turbiné médian est légèrement supérieur à 150 m³/s (figure 41).

- **Les poissons passés « turbines avec masque »**

Cette catégorie est composée de 20 smolts qui ont été détectés au moins une fois le long du masque avant de le franchir et de passer par les turbines. Parmi eux, 4 smolts ont été enregistrés par l'antenne TUEX3a (figure 6, § 4.3.4 zones de détection p.12) avant de passer sous le masque en aval du boomerang. Les débits turbinés médians pour cette catégorie de poissons sont de l'ordre de 120 m³/s (figure 41).

- **Les poissons passés « turbines après TUEX3a »**

Cette catégorie de poisson est particulière car ces 6 poissons ont été détectés par l'antenne TUEX3 **sans avoir été détectés par l'une des antennes du masque au préalable** (figure 6, § 4.3.4 zones de détection p.12) avant de passer sous le masque à ce niveau (aval boomerang). Les débits turbinés pour cette catégorie sont les plus importants (débit turbiné médian d'environ 200 m³/s).

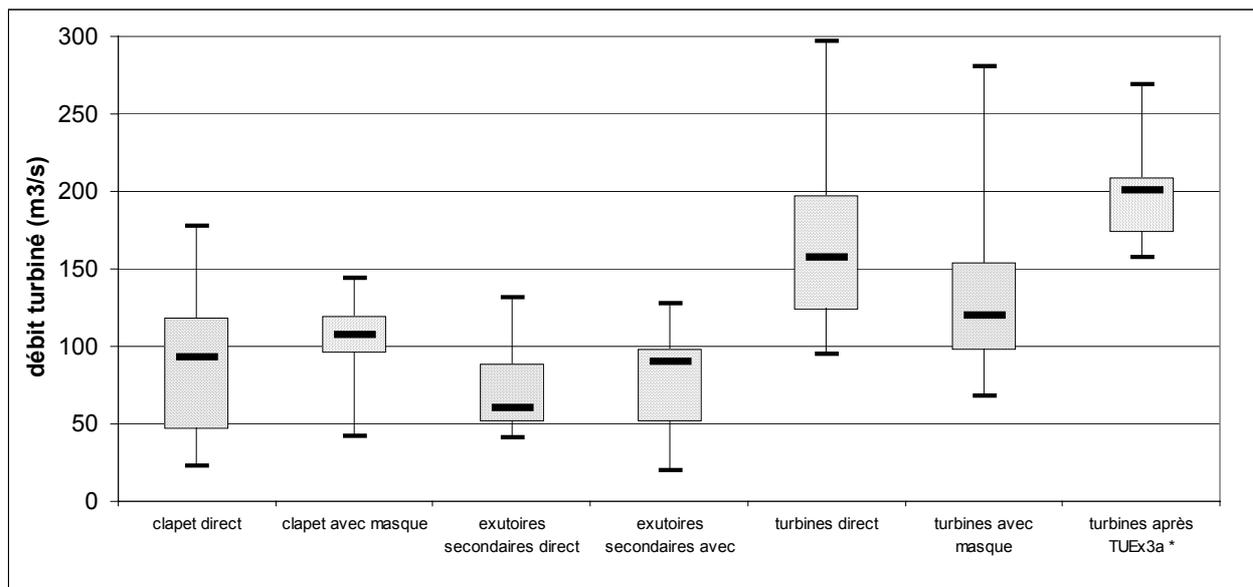


Figure 41 : débit turbiné en fonction des différentes typologies de franchissement des smolts radiomarqués

L'exploitation des données de débits turbinés lors du franchissement des smolts de ces différentes catégories en 2010 et 2011 (figure 41) permet de montrer que **l'effet de « guidage du masque » semble s'exercer autour des 100 m³/s de débit turbiné**, dans une fourchette allant de 50 à 150 m³/s environ. En revanche, **au-delà de 150 m³/s turbiné, l'effet de « guidage du masque » ne semble plus exister**, ou du moins, il n'est plus enregistré par notre dispositif.

6. DISCUSSION

6.1. Rappels des principaux résultats

Comportement général des smolts

Sur les 66 poissons radiomarqués, 62 soit 94% (86% en 2010) ont été enregistrés comme franchissant l'ouvrage de Tuilières : 10 par les turbines (16%), 42 par le clapet (68%) et 10 par les exutoires secondaires (16%). 2 smolts n'ont jamais atteint l'ouvrage, 1 smolt est arrivé sur le site sans que l'on sache s'il a franchi ou non l'aménagement et 1 émetteur n'a pas bien fonctionné dès le lâcher.

Les suivis manuels effectués chaque soir de lâcher ont permis de mettre en évidence des délais d'arrivée sur site très courts. En effet, 93% (soit 26/28 smolts) des poissons marqués ont mis moins de 2h30 pour parcourir les 2 kilomètres entre le point de lâcher (pont de St Capraise) et le barrage (87% en 2010). Ce résultat ne concerne que les poissons (28/63) qui sont arrivés sur site durant le suivi manuel les soirs de lâchers. Ces suivis duraient en moyenne 3h (21h30-00h30) et notre antenne générale amont n'a pas fonctionné convenablement. Du coup, pour les poissons arrivés plus tard dans la nuit, il n'a pas été possible de calculer leur temps d'arrivée sur site. Par contre, le lieu de déversement (rive droite, milieu ou rive gauche du pont) ne semble pas influencer ces temps d'arrivée.

L'« effet retenue » semble toujours assez peu marqué puisque 77% des poissons enregistrés sont restés moins de 1h18 en amont du barrage (67% l'an dernier), les temps les plus longs étant observés quand l'hydrologie était particulièrement faible. Les suivis manuels ont montré que les poissons tournaient un peu plus longtemps dans la retenue sans qu'il n'y ait vraiment de blocage, ni de retour vers l'amont.

Cette année, en plus des lâchers habituels de nuit, une fois par semaine des lâchers en pleine après-midi ont été réalisés. Lors des lâchers de nuit, les franchissements de l'ouvrage se font principalement la nuit (86%), et parmi eux, 97% ont lieu la nuit même du lâcher (résultats similaires en 2010). 12 poissons ont franchi l'ouvrage en journée. Lors des lâchers de jour (14 poissons), les franchissements de l'ouvrage se font principalement le jour (86%). Cependant, dans ce lot de poissons, 4 d'entre eux ont franchi l'aménagement entre 19h et 20h30 ce qui correspond au début de la tombée de la nuit (2 d'entre eux ont tourné 2h30 dans la retenue).

Zones d'arrivée et de franchissement du masque

Cette année, du fait d'un fonctionnement « quasi normal » de l'usine et des conditions hydrologiques, les enregistrements montrent des détections assez hétérogènes des poissons arrivant sur les différentes travées du masque. 6.5% des smolts sont arrivés sur la travée amont, 21% sur la travée 2 et 25.5% sur la travée 3 (11%, 28.2% et 16.9% en 2010). Toutefois, un poisson détecté pour la première fois au niveau de la travée 3 ne signifie pas obligatoirement une arrivée directe sur cette zone du masque depuis la retenue. Le poisson a pu longer le masque en dehors de la zone de détection mais toujours sous l'influence des courants tangentiels le long du masque.

Le positionnement des différentes antennes sur le masque et dans la chambre d'eau (en particulier l'antenne TUC0 et le nouveau découpage de la travée 3 en TUM4 et TUM5), ainsi que le suivi manuel ont permis de localiser les passages sous le masque de l'ensemble des 10 smolts qui l'ont franchi (comme en 2010). Durant l'étude, 4 smolts sont passés sous la travée 2 (11 en 2010), ce qui représente 40%. Quatre poissons ont franchi le masque sous la travée 3 en amont du boomerang, soit 40% (2/33 en 2010) et deux (20%) en aval du boomerang (14/33 en 2010). Cette année, aucun smolt n'est passé sous la travée amont.

Comme en 2009 et 2010, le passage sous le masque semble irréversible puisque aucun des 10 smolts qui l'a franchi n'a fait le chemin en sens inverse pour ressortir de la chambre d'eau.

Attractivité de l'exutoire principal

La zone d'influence de l'exutoire principal ne semble pas très étendue vers l'amont (quelques mètres tout au plus) pour un clapet qui délivre pourtant un débit approchant les 22 m³/s. En 2009, son attractivité semblait bonne dans les conditions testées (2 groupes seulement en fonctionnement durant les nuits de lâchers) puisque 81.5% des incursions dans la zone de l'exutoire principal se soldaient par une dévalaison par ce clapet. En 2010 par contre, avec des débits turbinés plus soutenus, seules 50.9% des incursions dans la zone de l'exutoire principal se soldaient par une dévalaison par ce clapet. En 2011, avec des débits turbinés à nouveau plus faibles, ce sont près de 90% des incursions dans la zone de l'exutoire principal qui se sont soldées par une dévalaison par ce clapet.

Cette année, un seul smolt s'est présenté à proximité immédiate (< 5 m) de l'exutoire principal (captés par l'antenne TUEX3b) avant de passer par les turbines, en franchissant le masque par la travée 2. En 2010, avec des débits plus importants, 11 smolts (sur 33 franchissements turbines) avaient été captés par l'antenne exutoire (TUEX3a) avant de franchir le masque en priorité par la travée 3 à l'aval boomerang (8/11), mais également par la travée 2 (3/11).

Le fonctionnement « quasi normal » de l'usine cette année et les débits turbinés globalement faibles, avec un nombre de groupes en marche peu important (48 % du temps avec 1 ou 2 groupes et 29% du temps avec 4 groupes) et des débits unitaires assez réduits (de 20 à 30 m³/s par groupe en moyenne), semblent engendrer une bonne efficacité de cet exutoire principal. En revanche, dès que le débit turbiné augmente, l'attractivité de l'exutoire principal semble diminuer sensiblement et les passages turbine deviennent majoritaires.

Les durées de présence des smolts dans la zone de détection du clapet principal, ainsi que le nombre d'incursions de smolts dans cette zone sans franchissement systématique, ont été beaucoup moins variables qu'en 2010. Un seul poisson a tourné plus d'une heure dans la zone de réception ; tous les autres sont, en 3 incursions maximum, restés moins de 7min dans la zone du clapet avant de le franchir. Ceci témoigne d'une bonne attractivité du clapet principal dans les conditions testées. Malgré tout, même lorsque les débits turbinés sont constants, on observe des écoulements non stabilisés et très changeants à proximité du clapet. Les groupes 1 et 2, situés à proximité de l'exutoire principal, génèrent des écoulements très perturbés avec des ascendances et de fortes turbulences où de nombreux smolts ont pu être observés après leur passage sous le masque (surtout en 2010). **Il semble donc exister des phénomènes hydrauliques, plutôt en profondeur et très fluctuants, qui perturbent l'attractivité de l'exutoire principal.** Ces phénomènes hydrauliques, liés notamment au turbinage des groupes, sont actuellement étudiés sur le modèle réduit au LNHE d'EDF pour d'une part, confirmer nos observations et d'autre part, tester la faisabilité d'éventuelles solutions techniques visant à améliorer l'attractivité de cet exutoire principal.

Attractivité des deux exutoires secondaires

Suite aux différentes observations de smolts en 2009 et aux problèmes récurrents de colmatage, des améliorations techniques ont été apportées avant le début des suivis 2010 : passage de barreaux ronds à des barreaux carrés et dégrillage automatique régulier des exutoires par des jets d'eau puissants générés par des pompes immergées dédiées. Cette année, les jets ont été mieux dirigés, les crépines des pompes vérifiées par des plongeurs et les cycles de dégrillage automatiques bien calés. Malgré cela, les exutoires secondaires situés dans le masque se sont avérés peu performants cette année encore. Ce sont au total seulement dix smolts radiomarqués qui ont emprunté ces exutoires secondaires (2 en 2009 et 4 en 2010). Cela semble peu face aux observations régulières sur site de smolts, radiomarqués ou non, tournant devant ces exutoires sans les emprunter. D'après nos observations, le faible colmatage ainsi que les barreaux carrés, semblent moins répulsifs puisque de nombreux poissons sont rentrés dans ces exutoires avant qu'une partie en ressorte immédiatement. Par contre, le courant généré par l'ouverture de ces exutoires, perpendiculaire au courant tangentiel le long du masque, semble perturber la dévalaison des smolts puisque leur arrivée dans la zone éclairée se fait généralement par l'aval. Enfin, le système de dégrillage par les pompes est plus performant, mais il subsiste, surtout sur l'amont et l'aval des grilles, des zones où le dégrillage manuel avant chaque lâcher est souvent nécessaire, bien que cette année d'étude ait été très particulière en terme d'hydrologie et le charriage de végétaux extrêmement faible par rapport à une année classique.

Influence du débit total turbiné sur l'efficacité générale du dispositif

Le caractère atypique du fonctionnement de l'usine au cours de l'étude 2009 avait rendu difficile l'interprétation des résultats et aucune efficacité du dispositif n'avait pu être avancée.

Cette année, **avec un fonctionnement d'usine quasi normal et avec des conditions hydrologiques pour les mois d'avril et mai inférieures à celles de 2003 (année à très faible hydrologie), ce sont 16% des smolts radiomarqués qui ont franchi l'aménagement de Tuilières par les turbines** sachant que ces débits ont été rencontrés **98% du temps sur la période d'étude** (très faible hydrologie au cours du printemps 2011)³.

Les résultats de ce suivi ainsi que ceux de 2010 semblent montrer que **l'efficacité du masque** (franchissement par les exutoires principal et secondaires) **est sensiblement différente selon le débit total turbiné, avec une « limite » qui se situerait aux environs de 150 m³/s de débit turbiné :**

- **Pour un débit turbiné inférieur à 150 m³/s, l'efficacité du dispositif de dévalaison de Tuilières semble bonne** puisqu'elle est de 85% (52 smolts sur 61) en 2011. Elle était de 72.5% (29 smolts sur 40) en 2010,
- Par contre, **pour un débit turbiné supérieur à 150 m³/s, l'efficacité du dispositif de dévalaison de Tuilières est faible** puisqu'elle chutait à 15.4% en 2010 (4 smolts sur 26). Cette année, 1 seul smolt à franchi l'usine pour un débit turbiné supérieur à 150m³/s, par les turbines.

Les résultats de radiotélémetrie de 2010 et 2011 tendent à montrer que l'efficacité générale du dispositif semble correcte pour un débit turbiné inférieur à 150 m³/s. Pour des débits turbinés supérieurs, l'efficacité générale du dispositif diminue sensiblement **mais nous disposons de trop peu de données de franchissements (27 smolts sur 128 franchissements soit 21% en 2 années d'étude) pour pouvoir chiffrer précisément l'efficacité dans ces conditions de débit turbiné.** Dans la mesure du possible, des lâchers supplémentaires en 2012, à plus forts débits et avec différentes configurations d'usine, devraient nous permettre d'évaluer correctement l'efficacité du dispositif de dévalaison sur une plage de débits plus large.

6.2. Perspectives pour le suivi 2012

Modèle physique

Le modèle physique est en cours d'amélioration, suite notamment aux mesures hydrauliques sur site réalisées en fin d'année 2010 et en début d'année 2011 par le LNHE d'EDF (bathymétrie, mesures de vitesses par ADCP sur profils en travers et le long du masque...). Ces données doivent être analysées et le modèle devrait être calé par rapport au site de Tuilières, notamment au niveau de la mise en eau du modèle, afin d'obtenir les mêmes vitesses dans la retenue et le long du masque, les mêmes zones de re-circulation... Une fois le modèle ajusté et conforme aux mesures réalisées sur site, les essais devraient permettre de proposer des solutions améliorant l'efficacité du masque à plus fort débit (> à 150 m³/s) : obturation partielle d'une ou plusieurs travées, réduction du masque sur la travée amont... Ces essais devraient se poursuivre jusqu'en novembre 2011 afin de prendre les décisions nécessaires suffisamment tôt pour pouvoir réaliser d'éventuelles modifications du masque courant 2012.

Le suivi de la dévalaison des smolts pour la saison 2012 devrait donc se faire dans les mêmes conditions physiques du masque qu'en 2011, en espérant que le comportement des smolts pourra être étudié à plus fort débit. Il aurait été intéressant notamment de faire des essais avec le deuxième clapet ouvert pour des débits turbinés supérieurs à 150 m³/s, même si les premiers tests effectués sur le modèle réduit ne semblaient pas montrer de réelle influence sur les vitesses tangentielles le long du masque dans ces conditions.

³ Pour rappel, le débit moyen mensuel de référence à Lamonzie, calculé à Lamonzie, est 347m³/s pour le mois d'avril et de 293 m³/s pour le mois de mai

Influence des groupes rive droite et rive gauche

Les résultats des études 2010 et 2011 semblent montrer une possible incidence du fonctionnement des groupes 1 et 2 sur les voies de franchissement des smolts à faible débit (3-4 groupes en fonctionnement). Cependant, les conditions hydrologiques de cette année ne nous ont pas permis de montrer un effet net des groupes 1 et 2 situés près du masque compte tenu du faible débit turbiné (<150 m³/s) et du nombre limité de franchissements par les turbines (10 sur 62). Afin d'approfondir ces constatations, il serait intéressant de continuer cette démarche de priorisation des groupes en 2012, en espérant que les groupes 1, 2, 7 et 8 soient disponibles durant la phase d'étude. De plus, si les débits turbinés sont soutenus (> 200m³/s), il serait intéressant de privilégier en priorité les configurations sans les groupes 1 et 2 car nous ne disposons d'aucune donnée pour le moment.

Amélioration de la précision de détection au niveau du masque et du système d'antenne

Comme en 2010, le suivi manuel s'est déroulé dans de bonnes conditions. L'utilisation d'émetteurs plus puissants qu'en 2009 (durée d'émission réduite à 5 jours) a permis cette année encore de diminuer les pertes de smolts dans la retenue.

Concernant l'installation du matériel de radiotélémetrie, l'antenne chambre d'eau TUC0, installée la saison dernière, limite considérablement les doutes sur les franchissements de certains poissons. Nous avons également souhaité déterminer plus finement le franchissement du masque par les smolts en 2011. Pour cela, nous avons divisé l'antenne multi-brins de la travée aval du masque en deux antennes : amont et aval boomerang grâce au matériel EDF R&D disponible. Dans cette configuration d'antennes, il resterait à notre disposition 2 ou 3 couples de postes qui n'ont pas été testés depuis plusieurs années. Nous pourrions les utiliser pour la travée amont (TUM1) où le dispositif évoluerait sans doute vers 2 antennes de 2 et 3 brins, comme cela est déjà le cas pour la travée 2 (TUM2 et TUM3). Cela voudrait dire aussi que nous ne disposerions plus de postes pour équiper Bergerac.

Quant aux 4 postes 4500s prêtés par le Cemagreff et le pôle hydro-écologie de l'ONEMA, ils n'ont pas donné satisfaction du fait de l'environnement du site (transformateurs électriques, lignes haute tension...) et du faible temps de scann des fréquences nécessaire pour étudier la dévalaison. Ils sont plutôt conçus pour faire des études de montaison où les poissons restent plus longtemps dans les zones de détection. Il ne faudra donc pas compter sur ces postes pour la saison prochaine. **Le nombre limité de postes et la volonté de déterminer au mieux le cheminement des smolts à l'approche du dispositif de dévalaison risquent de nous contraindre à ne pas équiper le site de Bergerac en 2012.**

Lâchers nocturnes mais aussi diurnes

Le protocole de lâcher de smolts a légèrement évolué en 2011. En effet, lors de la réunion du Comité Scientifique du 21 octobre 2010, il a été demandé d'intégrer, en plus des 2 ou 3 lâchers nocturnes hebdomadaire, un lâcher de smolts durant la journée. Ils ont eu lieu (5 au total) en début d'après-midi (14-15h), une fois que les smolts marqués s'étaient suffisamment acclimatés à l'eau de la Dordogne. Ce type de lâcher pourra être reconduit en 2012.

Organisation des lâchers

Cette année, une épidémie de furonculose a touché les smolts destinés à la radiotélémetrie (400 à 500 morts à la pisciculture de Castels). Afin d'éviter à nouveau des risques d'épidémie, surtout liés au stress lors de manipulations fréquentes (tous les jours cette année), il a été convenu avec le Groupement d'Usine de Tuilières et MIGADO de prévoir une zone à l'usine de Tuilières où l'on stockera quelques smolts. En fait, nous utiliserons un bac pour stabuler environ 150 à 200 poissons nécessaires aux lâchers d'une semaine complète. Ainsi, la manipulation des poissons sera bien moins importante à la pisciculture et les risques de stress réduits. De plus, cette solution offrira la possibilité de voir l'acclimatation des smolts à l'eau de la Dordogne sur une semaine et de pouvoir multiplier le nombre de lâchers (jour et/ou nuit) en fonction de la vitesse de dévalaison des poissons. Il sera ainsi possible **d'augmenter les répliqués dans des conditions peu ou pas testées depuis 2009 (débit turbiné >**

250 m³/s par exemple) grâce à la diminution du nombre de trajets jusqu'à la pisciculture. De plus, si les conditions hydrologiques de 2012 sont favorables (débit supérieur à 250 m³/s), **nous envisageons d'effectuer 2 lâchers par soir si le comportement des poissons le permet.**

Fiabilisation des débits enregistrés à Tuilières

Depuis le début des suivis (printemps 2009), il a été mis en évidence que les données de débit enregistrées par l'automate de Tuilières différaient sensiblement avec les données issues des stations hydrométriques de la Banque Hydro. Cette sous-estimation des débits enregistrés à Tuilières perturbe l'analyse des résultats issus de l'étude radiotélémétrie puisque les conditions de débit enregistrées à Tuilières lors du franchissement des smolts ne peuvent être directement comparées à celles issues de chroniques hydrologiques disponibles sur les stations de la Banque Hydro.

La DTG et une équipe d'EDF R&D travaillent sur cette problématique. Des mesures ADCP ont été effectuées à plusieurs débits et les résultats devraient être connus dans l'automne. Nous espérons donc disposer de données hydrologiques plus fiables pour le suivi 2012.

7. CONCLUSIONS

Ce suivi 2011 de l'efficacité du dispositif de dévalaison de Tuilières pour les smolts de saumon atlantique s'est déroulé dans des conditions quasi « normales » de turbinage à l'usine, ce qui n'avait pas été le cas en 2009 (usine en redémarrage). Cependant, les conditions hydrologiques n'ont pas permis de tester l'efficacité du masque pour des débits turbinés supérieurs à 150 m³/s.

Les résultats sur ces 2 dernières années montrent que l'efficacité du masque (franchissement par les exutoires principal et secondaires) est sensiblement différente selon le débit total turbiné, avec une « limite » qui se situerait aux environs de 150 m³/s. En effet, pour des débits turbinés inférieurs à 150 m³/s, l'efficacité du dispositif de dévalaison de Tuilières semble bonne puisqu'elle est de 80.2% (81 smolts sur 101). En revanche, pour des débits turbinés supérieurs à 150 m³/s, l'efficacité du dispositif de dévalaison de Tuilières est nettement insuffisante puisqu'elle chute à 14.8% (4 smolts sur 27).

Au vu des résultats de ces deux dernières années, il s'avère important de poursuivre le suivi en 2012 et d'acquérir des données pour des débits turbinés supérieurs à 150 m³/s, si les conditions hydrologiques le permettent. Cela permettra de progresser dans la compréhension des phénomènes hydrauliques et comportementaux qui poussent les smolts à franchir le masque, et ce de façon irréversible. Menées en parallèle, les études sur le modèle réduit au LNHE d'EDF devraient permettre d'identifier, si elles existent, les solutions techniques qui permettraient d'améliorer sensiblement l'efficacité du dispositif de dévalaison pour des débits turbinés importants, afin d'arriver à l'objectif d'efficacité globale du dispositif fixé à 75% par le Comité Scientifique Tuilières⁴.

⁴ Comité Scientifique Tuilières - Proposition d'indicateurs pour l'évaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison à l'aménagement de Tuilières.

8. BIBLIOGRAPHIE

- BAU F., CHANSEAU M. et LARINIER M., 2002.** Evaluation de l'efficacité d'une drome de dévalaison « FISHFREE » pour smolts de saumon atlantique au niveau de l'aménagement hydroélectrique de VIZENS (Gave de Pau – 65), Rapport GHAAPPE RA02.02.
- CHANSEAU M. et LARINIER M., 1999.** Etude du comportement du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Baigts (Gave de Pau) lors de sa migration anadrome. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 353-354, 239-262.
- BARAS E., 2001,** Manuel de Biotélémetrie Aquatique.
- BARAS E. and CHERRY B., 1990.** Seasonal activities of female *Barbus barbus* (L.) in the river Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*, **3**, 283-294.
- BARAS E. and LAGARDERE J.P., 1995.** Fish telemetry in aquaculture : review and perspectives. *Aquaculture International*, **3**, 77-102.
- BŒUF G., 1992.** Salmonid smolting : a pre-adaptation to the oceanic environment. Fish Ecophysiology, J.C. Rankin and J.B. Jensen eds, Chapman & Hall, Londres, sous presse.
- CICERO G.M. et LEBERT F., 2008.** Aménagement de Tuilières – Etude sur modèle d'un dispositif de dévalaison avec masque de surface évolutif – Optimisation des fonctionnements. Rapport EDF H-P74-2008-01400-FR, 41 p.
- E.CO.G.E.A., 2009.** Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison au niveau de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières (Dordogne) pour les smolts de saumon atlantique. Résultats des tests du printemps 2009. Rapport E.CO.G.E.A, 39p.
- E.CO.G.E.A., 2010.** Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison au niveau de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières (Dordogne) pour les smolts de saumon atlantique. Résultats des tests du printemps 2010. Rapport E.CO.G.E.A, 57p.
- HOAR W.S., 1988.** The physiology of smelting salmonids. Fish Physiol, W.S. Hoar and DJ Randall eds, vol XIB, Academic Press, New York, 275-343.
- LARINIER M. et TRAVADE F., 1999.** La dévalaison des migrateurs : problèmes et dispositifs. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 353-354, 181-210.
- PALLO S. et LARINIER M., 2002.** Définition d'une stratégie de réouverture de la Dordogne et de ses affluents à la dévalaison des salmonidés grands migrateurs. Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectriques lors de la migration de dévalaison. Rapport MI.GA.DO D2-02-RT / GHAAPPE RA.02.01., 25 p + annexes.
- PEAKE S., MCKINLEY R.S., SCRUTON D.A. and MOCCIA R., 1997.** Influence of transmitter attachment procedures on swimming performance of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 126, 707-714.
- PITCHER T.J., 1993.** Behaviour of Teleost Fishes. 2nd edition. Chapman and Hall, London, 715 p.
- SMITH R.J.F., 1985.** The control of fish migration. Zoophysiology vol. 17, Springer-Verlag, 243 p.
- TRAVADE F. et LARINIER M., 1992.** La migration de dévalaison : problèmes et dispositifs. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 326-327, 165-176
- TRAVADE F., LARINIER M., INGENDAHL D., BACH J.M., PUJO D. et BARRACOU D., 1996.** Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les juvéniles de saumon atlantique (année 1994). Usine hydroélectrique de Soeix (Gave d'Aspe-64). Rapport GHAAPPE 96.02, 34 p.
- WINTER J.D., 1983.** Underwater biotelemetry. *Fisheries techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, 371-395.

ANNEXES

Annexe 1: tableau bilan récapitulatif

Lot n°	Fréquence	Biométrie			Lâcher			Arrivée sur site		Durée lâcher-arrivée	Franchissement		Voie de passage	Débit total	Durée de présence en amont	Durée de présence dans la chambre d'eau
		Taille (cm)	Poids (g)	Coef. condition	Date	Heure	Rive	Date	Heure		Date	Heure				
1	48191	17,3	46	0,89	23/03/11	20:52	RD	?	?	?	24/03/11	03:01	clapet	136	?	?
	48211	19,2	62	0,88	23/03/11	20:52	RD	?	?	?	24/03/11	01:28	clapet	128	?	?
	48611	17,4	44	0,84	23/03/11	20:52	RD	?	?	?						
2	48081	-	-	-	24/03/11	21:20	milieu									
	48151	17,4	46	0,87	24/03/11	21:20	milieu	?	?	?	25/03/11	00:56	exu1	136	?	-
	48671	17,5	48	0,90	24/03/11	21:20	milieu	24/03/11	23:16	01:56	25/03/11	01:02	turbines	128	01:46:10	01:28:28
3	49712	17,7	50	0,90	28/03/11	21:14	RG	?	?	?	29/03/11	06:07	turbines	120	?	?
	49104	17,1	48	0,96	28/03/11	21:14	RG	?	?	?						
	49721	19	61	0,89	28/03/11	21:14	RG	29/03/11	00:12	02:58	29/03/11	00:49	clapet	124	00:37:53	-
4	49471	17,8	50	0,89	29/03/11	21:31	RD	30/03/11	00:25	02:54	30/03/11	02:18	turbines	127	01:53:08	00:01:02
	49063	17,9	50	0,87	29/03/11	21:31	RD	29/03/11	23:55	02:54	30/03/11	00:19	clapet	135	00:24:41	-
	49114	18,4	52	0,83	29/03/11	21:31	RD	29/03/11	23:09	01:08	30/03/11	01:03	turbines	116	01:54:40	00:02:09
5	49481	19,3	64	0,89	30/03/11	14:45	RD	30/03/11	16:02	01:17						
	49054	18,4	58	0,93	30/03/11	14:45	RD	?	?	?	31/03/11	20:36	clapet	147	?	-
	49125	17,5	48	0,90	30/03/11	14:45	RD	?	?	?	30/03/11	23:08	clapet	130	?	-
6	49134	16,3	36	0,83	31/03/11	21:15	milieu	?	?	?	01/04/11	23:14	turbines	192	?	00:01:44
	49561	17,3	44	0,85	31/03/11	21:15	milieu	?	?	?	01/04/11	01:50	clapet	148	?	-
	49702	18	48	0,82	31/03/11	21:15	milieu	?	?	?	01/04/11	08:46	clapet	146	?	-
7	49434	18,7	60	0,92	05/04/11	21:06	RG	05/04/11	23:15	02:09	05/04/11	23:28	exu2	150	00:13:50	-
	49591	18,4	54	0,87	05/04/11	21:06	RG	?	?	?	06/04/11	10:34	clapet	166	?	-
	49183	18,2	50	0,83	05/04/11	21:06	RG	05/04/11	22:37	01:31	05/04/11	23:31	clapet	160	00:54:07	-
8	49761	17,3	46	0,89	06/04/11	14:59	milieu	?	?	?	06/04/11	16:58	clapet	165	?	-
	49464	17,4	46	0,87	06/04/11	14:59	milieu	?	?	?	06/04/11	18:11	clapet	155	?	-
	49144	18,3	54	0,88	06/04/11	14:59	milieu	06/04/11	16:25	01:26	06/04/11	17:08	clapet	165	00:43:28	-
9	49211	19,1	58	0,83	07/04/11	21:24	RD	07/04/11	22:44	01:20	07/04/11	23:10	clapet	153	00:26:49	-
	49621	19,4	64	0,88	07/04/11	21:24	RD	07/04/11	22:44	01:20	07/04/11	22:52	exu1	153	00:08:12	-
	49454	19	58	0,85	07/04/11	21:24	RD	07/04/11	22:38	01:14	07/04/11	23:01	clapet	153	00:23:00	-
10	49153	18,7	56	0,86	11/04/11	21:18	milieu	?	?	?	12/04/11	00:03	clapet	130	?	-
	49691	16,4	36	0,82	11/04/11	21:18	milieu	?	?	?	12/04/11	02:23	turbines	120	?	00:01:56
	49340	18,2	42	0,70	11/04/11	21:18	milieu	?	?	?	12/04/11	01:48	turbines	120	?	00:21:45
11	49271	19,4	58	0,79	12/04/11	14:30	RG	?	?	?	12/04/11	16:48	clapet	114	?	-
	49740	17,9	52	0,91	12/04/11	14:30	RG	?	?	?	12/04/11	19:18	clapet	115	?	-
	49511	17,4	42	0,80	12/04/11	14:30	RG	?	?	?	13/04/11	23:00	turbines	119	?	19:09:57

Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison de l'aménagement EDF de Tuilières (Dordogne) pour les smolts.

Lot n°	Fréquence	Biométrie			Lâcher			Arrivée sur site		Durée lâcher-arrivée	Franchissement		Voie de passage	Débit total	Durée de présence en amont	Durée de présence dans la chambre d'eau
		Taille (cm)	Poids (g)	Coef. condition	Date	Heure	Rive	Date	Heure		Date	Heure				
12	48834	17,4	44	0,84	13/04/11	21:35	RG	13/04/11	23:16	01:41	13/04/11	23:28:38	clapet	120	00:12:38	-
	49581	17,7	48	0,87	13/04/11	21:35	RG	?	?	?	14/04/11	08:32:59	clapet	118	?	-
	49671	18,5	48	0,76	13/04/11	21:35	RG	13/04/11	23:30	01:55	13/04/11	23:56:46	clapet	120	00:26:46	-
13	49444	19,6	60	0,80	14/04/11	20:58	RD	?	?	?	15/04/11	16:16:15	clapet	89	?	-
	49374	18,5	56	0,88	14/04/11	20:58	RD	15/04/11	03:56	07:58	15/04/11	04:09:46	turbines	99	00:13:46	00:12:55
	48891	17,7	50	0,90	14/04/11	20:58	RD	?	?	?	15/04/11	07:03:56	clapet	89	?	-
14	48050	18,2	50	0,83	18/04/11	21:08	milieu	?	?	?	19/04/11	05:08:40	clapet	75	?	-
	48754	19,5	62	0,84	18/04/11	21:08	milieu	18/04/11	22:42	01:34	18/04/11	22:57:50	clapet	64	00:15:50	-
	48951	18,6	56	0,87	18/04/11	21:08	milieu	18/04/11	22:15	01:07	18/04/11	22:31:44	exu1	73	00:16:44	-
15	48911	19	58	0,85	19/04/11	21:19	RG	19/04/11	22:56	01:37	19/04/11	22:59:48	exu1	73	00:03:48	-
	49414	18,3	48	0,78	19/04/11	21:19	RG	?	?	?	20/04/11	09:07:49	clapet	63	?	-
	49771	18	48	0,82	19/04/11	21:19	RG	?	?	?	20/04/11	14:29:41	clapet	73	?	-
16	48734	18	50	0,86	20/04/11	21:25	RD	20/04/11	22:52	01:27	20/04/11	23:14:56	clapet	73	00:22:56	-
	48881	17,6	44	0,81	20/04/11	21:25	RD	?	?	?	21/04/11	06:08:21	clapet	62	?	-
	49632	17,5	46	0,86	20/04/11	21:25	RD	?	?	?	21/04/11	03:06:31	exu1	62	?	-
17	48563	18,4	50	0,80	21/04/11	15:15	RD	?	?	?	21/04/11	16:48:03	clapet	63	?	-
	48704	19,3	56	0,78	21/04/11	15:15	RD	?	?	?	22/04/11	07:45:35	clapet	63	?	-
	48931	18,7	52	0,80	21/04/11	15:15	RD	21/04/11	17:37	02:22	21/04/11	19:55:36	clapet	64	02:18:36	-
18	49164	18,3	48	0,78	26/04/11	21:19	milieu	26/04/11	22:45	01:26	27/04/11	00:20:31	clapet	98	01:35:31	-
	49361	18	51	0,87	26/04/11	21:19	milieu	26/04/11	22:58	01:39	26/04/11	23:05:31	exu2	88	00:07:31	-
	49571	18,8	49	0,74	26/04/11	21:19	milieu	?	?	?	27/04/11	02:25:20	exu2	88	?	-
19	49194	17,9	48	0,84	27/04/11	21:29	RG	?	?	?	28/04/11	06:41:19	clapet	93	?	-
	49351	18,4	50	0,80	27/04/11	21:29	RG	?	?	?	28/04/11	21:03:25	clapet	81	?	-
	49601	19,2	60	0,85	27/04/11	21:29	RG	27/04/11	23:35	02:06	28/04/11	00:22:20	turbines	95	00:47:20	00:11:09
20	49764	18,3	54	0,88	03/05/11	21:24	RD	?	?	?	04/05/11	01:47:51	clapet	63	?	-
	49174	19,1	54	0,77	03/05/11	21:24	RD	03/05/11	22:50	01:26	03/05/11	23:04:25	clapet	62	00:14:25	-
	49536	19,2	56	0,79	03/05/11	21:24	RD	03/05/11	22:55	01:31	03/05/11	23:16:06	exu2	62	00:21:06	-
21	49230	18	50	0,86	04/05/11	21:00	milieu	?	?	?	05/05/11	00:14:01	clapet	63	?	-
	49504	18,4	52	0,83	04/05/11	21:00	milieu	04/05/11	22:35	01:35	04/05/11	22:51:21	clapet	62	00:16:21	-
	49752	18,9	56	0,83	04/05/11	21:00	milieu	04/05/11	23:17	02:17	04/05/11	23:38:08	exu2	42	00:21:08	-
22	49520	19,2	60	0,85	05/05/11	14:27	milieu	?	?	?	06/05/11	15:57:23	clapet	61	?	-
	49384	18,3	52	0,85	05/05/11	14:27	milieu	05/05/11	16:25	01:58	05/05/11	19:05:05	clapet	45	02:38:05	-
	49730	19,1	58	0,83	05/05/11	14:27	milieu	05/05/11	16:45	02:28	05/05/11	17:10:01	clapet	92	00:25:01	-

Lot n°	Fréquence	Cheminement enregistré du poisson	Franchissement du masque	Voie de passage	Q vannes	Q clapet	Q G1	Q G2	Q G3	Q G4	Q G5	Q G6	Q G7	Q G8
1	48191	TUEx3a-b	-	clapet	0	21	27,77	20,51	21,34	21,83	23,6	0	0	0
	48211	TUM2-4-5 ;TUEx3a-b	-	clapet	0	21	20,2	20,43	20,36	21,74	23,14	0	0	0
	48611													
2	48081													
	48151	TUM1, TUM2-TUEx1	-	exu 1	0	21	27,79	22,33	22,25	21,65	19,9	0	0	0
	48671	TUM2, TUM3-4-5-TUC0-1-2	masque 2-3	turbines	0	21	20	22,5	22,5	21,5	20	0	0	0
3	49712	TUM2-3-4-5 , TUC0-1	masque 2-3	turbines	0	21	27,75	24,83	24,21	21,04	0,06	0,45	0,15	0,07
	49104													
	49721	TUM5 , TUex3a-b	-	clapet	0	22	27,64	24,84	24,2	24,43	0	0	0	0
4	49471	TUM2-3-4, TUC0-1	amont boomerang	turbines	0	22	27,71	22,8	21,84	31,6	0	0	0	0
	49063	TUM2-5,TUEx3a	-	clapet	0	21	27,6	32,31	21,88	31,48	0	0	0	0
	49114	TUM4-5,TUC0	aval boomerang	turbines	0	21	27,68	22,81	21,9	21,63	0	0	0	0
5	49481													
	49054	TUM5, TUEx3a-b	-	clapet	0	21	27,43	34,27	33,94	30,09	0	0	0	0
	49125	TUM4-5, TUEx3a-b	-	clapet	0	21	27,57	24,68	24,14	31,93	0	0	0	0
6	49134	TUEx3a, TUR2, TUM3-4-5, TUC0-1	masque 2-3	turbines	0	22	27,41	34,14	34,14	33,6	39,85	0	0	0
	49561	TUEx3a-b	-	clapet	0	21	27,55	34,22	33,98	31,25	0	0	0	0
	49702	TUEx3a-b	-	clapet	0	22	27,48	34,13	34,08	28,25	0	0	0	0
7	49434	TUM1-2, TUEx2	-	exu2	0	22	0	0	31,54	0	29,13	37,68	0	29,7
	49591	TUM1-2-3-4-5, TUEx3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	33,51	39,03	35,55	0	35,35
	49183	TUEx3a	-	clapet	0	22	0	0	31,44	0	39,09	37,7	0	29,77
8	49761	TUM5, TUEx3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	33,4	39,1	35,9	0	35,27
	49464	TUEx3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	33,48	28,89	35,41	0	35,28
	49144	TUEx3a	-	clapet	0	21	0	0	0	33,32	39,09	35,82	0	35,15
9	49211	TUM5, TUEx3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	33,16	27,97	35,73	0	35,14
	49621	TUEx1, TUT	-	exu 1	0	21	0	0	0	33,27	28,17	35,7	0	35,16
	49454	TUM5, TUEx3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	33,25	28,05	35,58	0	35,08
10	49153	TUM4-5, TUEx3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	0	29,7	38,3	0	39,71
	49691	TUM2-4, TUC1	amont boomerang	turbines	0	22	0	0	0	0	29,71	38,18	0	29,68
	49340	TUM3-4-5, TUC0-1	amont boomerang	turbines	0	22	0	0	0	0	29,73	38,26	0	29,58
11	49271	TUEx3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	0	27,69	37,12	0	27,68
	49740	TUM1-4, TUEx3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	0	27,7	37,21	0	27,78
	49511	TUM2-3-4-5 , TUC0-1-2	amont boomerang	turbines	0	21	0	0	0	0	29,25	38,94	0	29,25

Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison de l'aménagement EDF de Tuilières (Dordogne) pour les smolts.

Lot n°	Fréquence	Cheminement enregistré du poisson	Franchissement du masque	Voie de passage	Q vannes	Q clapet	Q G1	Q G2	Q G3	Q G4	Q G5	Q G6	Q G7	Q G8
12	48834	TUM5, TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	0	29,3	38,95	0	29,32
	49581	TUM5, TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	0	29,16	38,85	0	29,11
	49671	TUM1-2-3-4, TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	0	29,3	38,89	0	29,39
13	49444	TUM5, TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	0	0	0	36,77	0	0	30,44
	49374	TUM2-3, TUM4, TUC0-1	masque 2-3	turbines	0	21	0	0	0	0	37	0	0	40,47
	48891	TUM4, TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	0	0	0	36,86	0	0	30,4
14	48050	TUM4-5, TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	22,27	31,97	0	0	0	0	0
	48754	TUM5, TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	21,23	21,24	0	0	0	0	0
	48951	TUR2, TUEX1	-	exu1	0	21	0	21,19	30,88	0	0	0	0	0
15	48911	TUEX1	-	exu1	0	21	0	20,81	30,86	0	0	0	0	0
	49414	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,24	21,6	0	0	0	0	0
	49771	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	30,38	21,66	0	0	0	0	0
16	48734	TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	20,37	30,63	0	0	0	0	0
	48881	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,24	20,77	0	0	0	0	0
	49632	TUEX1, TUT	-	exu1	0	21	0	20,26	20,86	0	0	0	0	0
17	48563	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	21,2	20,6	0	0	0	0	0
	48704	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,73	20,68	0	0	0	0	0
	48931	TUM5, TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	21,1	20,6	0	0	0	0	0
18	49164	TUM3-4-5, TUEX3a-b	-	clapet	5	21	0	0	0	0	0	40,21	0	31,06
	49361	TUEX2	-	exu2	5	21	0	0	0	0	0	30,69	0	31,09
	49571	TUM4, TUEX2	-	exu2	5	22	0	0	0	0	0	30,21	0	31,27
19	49194	TUEX3a-b	-	clapet	5	21	0	0	0	0	0	38,19	0	29,01
	49351	TUEX3a-b	-	clapet	5	21	0	0	0	0	0	26,02	0	28,97
	49601	TUM2-5, TUC0-1	aval boomerang	turbines	5	22	0	0	0	0	0	38,7	0	28,96
20	49764	TUM4-TUEX3a	-	clapet	0	21	0	20,83	20,87	0	0	0	0	0
	49174	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,17	20,19	0	0	0	0	0
	49536	TUM2 ; TUEX2	-	exu2	0	21	0	20,26	20,34	0	0	0	0	0
21	49230	TUEX3a-b	-	clapet	0	22	0	20,34	20,3	0	0	0	0	0
	49504	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,2	20,24	0	0	0	0	0
	49752	TUM4-5 ; TUEX2	-	exu2	0	21	0	20,18	0	0	0	0	0	0
22	49520	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,1	20,1	0	0	0	0	0
	49384	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	23,3	0	0	0	0	0	0
	49730	TUEX3a-b	-	clapet	0	21	0	20,6	20,6	30	0	0	0	0

Annexe 2: tableau des observations de smolts les soirs de lâcher

DATE	EXUTOIRE AMONT		EXUTOIRE AVAL		DEVANT LES GROUPES 1-2	DEBIT TURBINE	CONFIGURATION USINE	OBSERVATIONS PARTICULIERES	REMARQUES	
	nb obs de smolts isolés	nb obs de franchissement exutoire*	nb obs de smolts isolés	nb obs de franchissement exutoire*						
24-mars			1	0		115	1 à 4	49063 devant l'exu aval	exu amont HS exu amont HS	
28-mars			2	1		102	1 à 4			
29-mars			4	0		103	1 à 4			
31-mars			1	0	1	127	1 à 4			
05-avr	1 (49434)	0	11	0		128	3-5-6-8			
07-avr	2	0	3	0		132	4-5-6-8			
11-avr	1	0				88	5-6-8			amont colmaté sur 10 cm
13-avr	1	0	1	0		98	5-6-8			amont colmaté sur 1m et aval 15 cm
14-avr	4	0				68	5-8			
19-avr	1 (48911)	1 (48911)				52	2-3			beaucoup de smolts observés devant les deux exutoires
20-avr	1 (48734)	0	1 (48734)	0		41	2-3			
26-avr	5	0			1	62	6-8			
27-avr	~5	0	~5	0		58	6-8			
03-mai	5	1	4	3		41	2-3	49536 obs lors du franchissement de l'exu aval		
04-mai	2	1	2	1 (49752)		41	2-3			

* N'ont pas été pris en compte les poissons étant ressortis de l'exutoire dans les 10 secondes après leur franchissement