



HAL
open science

Analyse du comportement des poissons dans les bassins de la passe à fentes verticales de Vichy pour deux configurations de bassins

Cornu Vincent, Laurent David, Philippe Baran

► To cite this version:

Cornu Vincent, Laurent David, Philippe Baran. Analyse du comportement des poissons dans les bassins de la passe à fentes verticales de Vichy pour deux configurations de bassins. Onema; Institut Pprime. 2012. hal-04493024

HAL Id: hal-04493024

<https://ofb.hal.science/hal-04493024>

Submitted on 6 Mar 2024

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

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

Public Domain

Convention Onema n° 782574

Analyse du comportement des poissons dans les bassins de la passe à fentes verticales de Vichy pour deux configurations de bassins.



Auteur(s) Organisme(s) : Cornu Vincent, David Laurent (Institut P'), Baran Philippe (ONEMA).

Mois Année : Février 2012



Les auteurs

Prénom et nom : Cornu Vincent

Fonction ou mission : Ingénieur d'étude

Email : vincent.cornu@univ-poitiers.fr

Adresse : Institut P', CNRS- Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346, 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, 86962 Futuroscope Cedex.

Prénom et nom : Laurent David

Fonction ou mission : Professeur

Email : laurent.david@univ-poitiers.fr

Adresse : Institut P', CNRS- Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346, 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, 86962 Futuroscope Cedex.

Prénom et nom : Philippe Baran

Fonction ou mission : Ingénieur

Email : philippe.baran@onema.fr

Adresse : Pôle d'Ecohydraulique - IMFT, allée du professeur Camille Soula, 31400 Toulouse

Droits d'usage :	<i>Accès restreint</i>
Couverture géographique :	Nationale
Niveau géographique	
Niveau de lecture	professionnels, experts
Nature de la ressource:	

**Analyse du comportement des poissons dans les bassins de la passe à fentes
verticales de Vichy pour deux configurations de bassins.**

Vincent CORNU, Laurent DAVID, Philippe BARAN.

Sommaire

Résumé.....	5
Synthèse opérationnelle.....	6
Remerciements.....	8
Liste des figures et tableaux.....	9
I Contexte et objectifs.....	11
II Matériel et méthode.....	12
II.1 Présentation de la passe de Vichy.....	12
II.2 Protocole expérimental.....	13
II.2.1 Période d'observation.....	13
II.2.2 Configurations testées.....	13
II.2.3 Suivis biologiques.....	14
II.2.3.1 Suivis par enregistrement vidéo.....	14
II.2.3.2 Suivi par marquage TIRIS.....	18
II.2.3.3 Analyses statistiques.....	22
III Résultats.....	23
III.1 Conditions environnementales.....	23
III.2 Suivi par enregistrement vidéo.....	23
III.2.1 Espèces observées.....	24
III.2.2 Analyses des franchissements de bassins.....	24
III.2.2.1 Mouvements entre bassins.....	24
III.2.2.2 Scénarios de franchissement des bassins.....	25
III.2.3 Zones utilisées par les poissons dans les bassins et la fente en montaison.....	26
III.2.3.1 Première zone de stabulation lors de la montaison.....	26
III.2.3.2 Zones utilisées avant le passage de la fente amont.....	26
III.2.3.3 Zone préférentielle lors du passage dans la fente amont.....	27
III.2.4 Zones utilisées par les poissons dans les bassins et la fente en dévalaison.....	28
III.2.4.1 Zones utilisées après le passage de la fente amont.....	28
III.2.4.2 Zone préférentielle lors du passage dans la fente amont.....	28
III.2.5 Analyse des temps de séjours dans les bassins.....	29
III.2.5.1 Résultats généraux.....	29
III.2.5.2 Cas des poissons ayant franchi le bassin en montaison (scénario AB).....	30
III.2.5.3 Cas des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison (AD).....	32
III.2.5.4 Cas des poissons dévalant (CD).....	33
III.2.6 Conclusions des suivis vidéo.....	35
III.3 Suivi par marquage TIRIS.....	35
III.3.1 Déroulement des opérations.....	35
III.3.2 Déroulement du marquage.....	36
III.3.3 Efficacité du système de détection.....	37
III.3.4 Comportement des poissons après lâcher.....	37

III.3.5	Analyse du temps de séjour dans les bassins	38
III.3.5.1	Comparaison des temps de séjours dans les bassins de suivi.....	38
III.3.5.2	Temps de transit entre les bassins 9 et 3.....	39
III.3.6	Conclusions sur le suivi des poissons marqués.....	40
III.4	Comparaison avec les résultats obtenus dans la maquette.....	40
III.4.1	Comportement général dans les bassins.....	40
III.4.2	Première zone de passage après franchissement en montaison de la fente aval 41	
III.4.3	Dernière zone utilisée avant franchissement du bassin en montaison.....	42
III.4.4	Temps de séjour	42
III.4.4.1	Cas de poissons ayant franchi le bassin (scénario AB).....	42
III.4.4.2	Cas des poissons n'ayant pas franchi le bassin (scénario AD)	43
III.4.4.3	Comparaison entre les poissons qui ont franchi le bassin et ceux qui ne l'ont pas franchi en montaison (scénarios AB/AD)	44
III.4.4.4	Cas des poissons ayant franchi le bassin en dévalant (scénario CD)	44
IV	Discussion.....	46
IV.1	Bilan.....	46
IV.1.1	Suivi vidéo.....	46
IV.1.2	Suivi TIRIS	46
IV.1.3	Comparaison d'échelles	47
IV.2	Perspectives	47
Annexes	49

Résumé

Depuis 2004, l'Institut PPRIME de Poitiers travaille en collaboration avec l'ONEMA à la caractérisation des écoulements dans les passes à fentes verticales à partir d'expérimentations sur des modèles réduits à différentes échelles. L'utilisation de différentes techniques de métrologie a permis de relier la structure des écoulements et la turbulence à la géométrie des bassins. Ces travaux ont abouti à proposer la mise en place de cylindres dans les bassins de manière à mieux contrôler l'écoulement et à modifier les turbulences.

Une série de tests portant sur le comportement de poissons au sein des bassins du modèle réduit (échelle 1:4) du laboratoire de Poitiers a permis de comprendre le cheminement des poissons dans les bassins et de mettre en évidence l'effet de la mise en place de 3 cylindres en triangle sur le franchissement des poissons. Ce changement de géométrie du bassin a apporté un gain sur l'efficacité en montaison des poissons (+16% en moyenne) en modifiant à la fois le patron d'utilisation de certaines zones du bassin, les trajectoires des poissons au sein des bassins et le temps de séjour des poissons dans les bassins. La validation des observations faites sur le modèle réduit en étudiant le comportement de poissons dans une passe à l'échelle 1 est maintenant nécessaire.

Des observations ont donc été réalisées dans la passe de Vichy, sur l'Allier, afin d'appréhender un éventuel effet d'échelle. Deux types de suivi ont été menés : suivi vidéo du comportement des poissons dans un bassin de la passe muni ou non de cylindres et suivi par marquage TIRIS du temps de séjour de poissons dans deux bassins successifs de la passe (dont un équipé de cylindres).

L'étude conclue a des similitudes entre les résultats obtenus sur la maquette du laboratoire et la passe de Vichy : première zone utilisée par les poissons dès l'accès au bassin semblable, augmentation du temps de séjour lorsque des cylindres sont placés dans les bassins. Toutefois une différence géométrique entre les bassins de la maquette et ceux de Vichy (seuil de fond) parasite les observations et empêche de conclure sur la zone la plus favorable au franchissement. Un effet d'échelle a été détecté : les poissons passent plus dans temps dans les bassins de la passe de Vichy que dans la maquette.

L'étude a aussi permis d'améliorer les connaissances sur le comportement des poissons dans les bassins d'une passe *in situ*. Le processus de montaison est complexe avec des successions de phases de montaisons, stabulations et dévalaisons. Des comportements particuliers ont été rencontrés : déplacement en bancs, utilisation des bassins comme habitat. Des différences de comportements en fonction de l'espèce ont été observées. Une estimation du temps de franchissement de l'ouvrage a été réalisée, il est très dépendant de l'espèce : environ 10 minutes pour le saumon et 1h45 pour des chevesnes et barbeaux d'environ 20 cm.

Mots clés (thématique et géographique)

Passe à fentes verticales, comportement, hydrodynamique, continuité écologique, Allier, Vichy, saumons, hotus, barbeaux, suivi vidéo, TIRIS.

Synthèse opérationnelle

Les passes à fentes verticales constituent des dispositifs bien adaptés à un nombre important d'espèces dans une gamme de taille relativement large. Pour autant les conditions hydrauliques (vitesse, turbulence) régnant dans les bassins et dans les fentes peuvent être sévères vis-à-vis des capacités de nage des poissons de petite taille. Les objectifs de rétablissement de la continuité écologique attachés à la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau, réclament des adaptations des dispositifs pour assurer un franchissement plus performant des espèces de petites tailles ou des juvéniles.

L'Institut PPRIME étudie depuis 2004 les écoulements qui se produisent dans les passes à fentes verticales en réalisant des séries de mesures sur des maquettes à différentes échelles (1:4 et 1:20). Les écoulements à l'intérieur des bassins sont étroitement liés à la géométrie des bassins et aux caractéristiques des cloisons (largeur de fente, largeur des bassins, pente). Ils présentent une assez forte instationnarité tant spatiale que temporelle. Les travaux réalisés par le laboratoire ont montré que la mise en place de cylindres dans les bassins permettait de mieux contrôler les écoulements et de modifier l'activité turbulente.

Depuis 2006, plusieurs séries de tests ont été menées sur la maquette à l'échelle 1:4 avec différentes espèces de poissons. Le comportement des poissons au sein des bassins a été mieux compris : utilisation de certaines zones calmes du bassin (stabulation), progression discontinue, probabilité de l'accès au bassin supérieur dépendante de la zone utilisée. Les poissons utilisent l'instabilité temporelle et spatiale de l'écoulement. La mise en place de cylindres dans les bassins modifie de manière significative le comportement des poissons. En particulier, la mise en place de trois cylindres en triangle dans des bassins de faible largeur apporte un gain de 16% sur l'efficacité totale en montaison. Ce gain est à mettre en relation avec une modification du patron d'utilisation des zones de stabulation (zone favorable au franchissement plus utilisée), une modification des trajectoires des poissons au sein des bassins (retour dans la zone favorable au franchissement en cas d'échec lors de la tentative de franchissement de la fente), une augmentation du temps de séjour des poissons dans le bassin (le poisson « choisit » le moment le plus opportun pour le franchissement de la fente). Mais la question de la pertinence des observations faites à l'échelle 1:4 vis-à-vis de la réalité demeure.

La passe du pont barrage de Vichy a été choisie pour réaliser plusieurs séries d'observations afin d'appréhender un éventuel effet d'échelle sur le comportement des poissons. Cette passe a l'avantage d'être munie d'un observatoire qui permet de visualiser le comportement des poissons dans les bassins supérieurs de l'ouvrage. Deux types de suivis ont été réalisés : suivi du comportement par vidéo et suivi par marquage TIRIS. Le but était d'améliorer la connaissance sur le comportement des poissons à l'intérieur des ouvrages de franchissement et de le comparer avec celui adopté par les poissons dans la maquette du laboratoire.

Les conditions climatiques particulièrement favorables du printemps 2011 ont permis, via le dispositif d'enregistrement vidéo, de suivre plus de 900 franchissements de fentes réalisés par des poissons de plus de 30 cm pour 10 espèces différentes. Les déplacements de 106 poissons (chevesnes et barbeaux) de taille inférieure à 30 cm marqués à l'aide de transpondeur TIRIS ont été suivis à travers 2 bassins successifs (dont un équipé de cylindres).

1) Comme cela avait été observé à l'échelle 1:4, **la montaison à travers un ouvrage de franchissement à l'échelle 1 est aussi un processus complexe et discontinu**. Elle se traduit par des phases de montaisons, de dévalaisons et d'arrêts.

2) **Les poissons utilisent des zones particulières du bassin durant leur progression**. Ces zones présentent des conditions propices à la stabulation (faible vitesse, faibles fluctuations). Les conditions de transparence de l'eau dans la passe de Vichy n'ont permis d'observer que l'utilisation de deux zones (situées à proximité immédiate de la fente amont) communes avec les observations réalisées sur la maquette. Une particularité

géométrique de la passe (seuil de fond dans les fentes) crée une zone de stabulation supplémentaire sur le fond du bassin, à proximité de la fente amont. Cette zone biaise la comparaison avec le modèle réduit.

3) **Les poissons en montaison franchissent la fente en utilisant en majorité la partie inférieure de la fente.** Cette observation n'avait pas été réalisée sur la maquette, le suivi vidéo étant réalisé par le fond du bassin. La mise en place de cylindres n'a pas d'influence sur la zone de passage dans la fente.

4) **Dès leur entrée dans le bassin, les poissons se dirigent quasiment exclusivement dans une zone située dans le coin amont du bassin en aval du petit déflecteur, à proximité de la fente amont.** Cette zone présente des caractéristiques qui sont peu défavorable à la stabulation du poisson. Cette observation a été réalisée à toutes les échelles, la mise en place de cylindres dans les bassins n'a pas d'influence sur la première zone utilisée par les poissons en montaison. **Cette zone est la plus favorable au franchissement du bassin pour les tests effectués sur la maquette, ainsi que dans la passe de Vichy.** La présence du seuil de fond dans la fente à Vichy entraîne un biais qui empêche la comparaison entre les deux échelles, la zone inférieure étant elle aussi très utilisée par les poissons avant de franchir la fente.

5) **Le temps de séjour des poissons dans les bassins d'une passe à poisson est très variable à la fois entre les espèces et à l'intérieur d'une même espèce.** Il dépend du mouvement réalisé par l'individu entre les bassins. Les suivis vidéo et TIRIS mettent en évidence un effet d'échelle sur le temps passé par les poissons dans les bassins. **Les poissons passent plus de temps dans la passe de Vichy que dans le modèle réduit.** 50% des individus observés toutes espèces et tous scénarios confondus passent moins de 78 secondes dans le bassin. Le temps de séjour peut toutefois dépasser 10 minutes pour 10% des poissons. Cette observation peut être liée au rapport entre la taille moyenne des poissons et la taille des bassins de l'ordre de 6 à 7 pour la maquette et de l'ordre de 10 à 15 pour la passe à l'échelle 1, ou liée à la configuration particulière de la passe de Vichy. **La mise en place de cylindres dans les bassins augmente le temps de séjour des poissons pour tous les scénarios considérés (montaison, non franchissement du bassin, dévalaison) pour les deux échelles étudiées.**

6) Les observations réalisées à Vichy n'ont pas permis de valider la différence de durée d'occupation du bassin entre les poissons qui franchissent un bassin et les poissons qui ne franchissent pas un bassin en montaison.

7) **Les poissons dévalant passent peu de temps dans les bassins pour les deux échelles considérées.** La mise en place de cylindres dans les bassins n'influe pas sur le temps de séjour des individus dévalant.

8) Les temps de transit des poissons marqués (TIRIS) entre les bassins 9 et 3 de la passe de Vichy démontrent que les temps de séjours obtenus lors du suivi vidéo sont cohérents. Une estimation du temps mis par les poissons pour franchir l'intégralité de l'ouvrage de Vichy a été réalisée en se basant sur les temps médians de franchissement des bassins. Ainsi, **les saumons mettraient environ 10 minutes pour franchir les 22 bassins de l'ouvrage, les hotus environ 40 minutes et les barbeaux et chevesnes d'une taille de 20 cm environ 1h45.**

Les observations réalisées sur la passe de Vichy constituent une approche innovante en matière d'étude du comportement de franchissement des poissons. Très peu de suivis ont en effet été réalisés en laboratoire et surtout *in situ*. Elles confirment les observations en chenal expérimental à savoir un patron comportemental de franchissement très marqué avec l'utilisation de zones très spécifiques dans les bassins facilitant la progression des poissons.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes ayant apporté leur concours à ce travail notamment :

- l'équipe de l'Institut P prime pour leur disponibilité, conseils et pour la confection et la mise en place des cylindres dans les bassins,

- la Mairie de Vichy pour nous avoir permis d'effectuer l'étude dans ses locaux et d'avoir mis à disposition des moyens humains et technique nécessaire au bon déroulement de l'étude. Nous remercions tout particulièrement M. Palumbo pour sa disponibilité ainsi que le service technique pour les services rendus.

- le service départemental de l'ONEMA de l'Allier ainsi qu'à la délégation régionale Auvergne Limousin pour leur disponibilité, leur réactivité et leur aide à la capture des poissons nécessaires au marquage,

- l'équipe du pôle éco-hydraulique pour leurs conseils et leur aide lors du montage du système de détection et particulièrement Alain Alric pour ses nombreux allers/retours entre Toulouse et Vichy afin d'assurer le transport des poissons des lieux de capture à Vichy et que pour son aide précieuse lors du suivi.

- le personnel de LOGRAMI sur l'Allier pour avoir mis à disposition leur données thermiques, leurs installations et de nous avoir permis d'utiliser leur dispositif de détection TIRIS et en particulier Timothé Parouty pour son accueil chaleureux.

- le personnel du CNSS pour les nombreux échanges que nous avons eu durant les longues journées d'observation.

Liste des figures et tableaux

Figures :

Figure 1 : Photographie et plan de la partie supérieure de la passe à poisson.	12
Figure 2 : L'observatoire des poissons migrateur et au fond sur la gauche la fenêtre de comptage.....	12
Figure 3 : Détermination visuelle du type d'écoulement se produisant dans les bassins de la passe de Vichy.	13
Figure 4 : Bassin équipé de trois cylindres disposés en triangle.	14
Figure 5 : Captures d'écran lors de vidéos dans la configuration sans cylindre (à gauche, un barbeau) et avec cylindres (à droite, 2 brèmes et un saumon).....	14
Figure 6 : Définition des différents mouvements de base.	16
Figure 7 : Codification utilisée lors du passage d'un poisson dans une fente du bassin.....	17
Figure 8 : Position des deux principales zones de stabulation des poissons dans le bassin, ici dans la configuration avec 3 cylindres en triangle.	17
Figure 9: Principe de fonctionnement du système TIRIS.	19
Figure 10 : Les deux types de transpondeurs couramment utilisés.	19
Figure 11 : Photographie du dispositif opératoire.....	20
Figure 12: Planche photographique des différentes étapes du marquage: incision, mise en place du transpondeur, suture et désinfection.....	20
Figure 13 : Schéma de l'implantation des antennes de détection au sein des bassin de la passe de Vichy.	21
Figure 14 : Evolution des conditions climatiques durant les suivis.	23
Figure 15 : Proportions des espèces observées en fonction de la configuration.	24
Figure 16 : Proportions des mouvements entres bassins recensés en fonction de la configuration.	25
Figure 17 : Proportion des différents scénarios réalisés par les poissons en fonction de la configuration.	25
Figure 18 : Première zone de passage des poissons ayant franchi la fente aval en montaison.	26
Figure 19 : Provenance des poissons ayant franchi la fente amont en montaison en fonction de la configuration.	27
Figure 20 : Proportions de passage dans les deux partie de la colonne d'eau dans la fente en fonction de la configuration pour les poissons en montaison.	27
Figure 21 : Première zone de passage des poissons ayant franchi la fente amont en dévalaison.	28
Figure 22 : Proportions de passage dans les deux partie de la colonne d'eau dans la fente en fonction de la configuration pour les poissons en dévalaison.....	28
Figure 23 : Temps de séjour des poissons dans le second bassin de la passe de Vichy en fonction de la configuration.	29
Figure 24 : Temps de séjour des différentes espèces de poissons rencontrés dans le second bassin de la passe de Vichy toutes configurations confondues.....	30
Figure 25 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario AB en fonction de la configuration.	31
Figure 26 : Temps de séjour des différentes espèces de poissons rencontrées ayant réalisé le scénario AB toutes configurations confondues.	31
Figure 27: Temps de séjour pour les brèmes, hotus et saumons qui ont franchi le bassin en montaison.....	32
Figure 28 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario AD en fonction de la configuration.....	33
Figure 29 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario CD en fonction de la configuration.....	34

Figure 30: Temps de séjour des saumons ayant réalisé le scénario CD en fonction de la configuration.	34
Figure 31 : Proportion des espèces utilisées pour le marquage.....	36
Figure 32 : Temps de séjour des poissons marqués dans les bassins tous scénarios confondus. A gauche, en fonction de l'espèce ; à droite en fonction de la configuration.	38
Figure 33: Temps de séjour des poissons qui ont franchi les bassins en montaison pour les deux configurations considérées et les deux espèces testées.	39
Figure 34 : Comparaison de la première zone de passage des poissons pour les expérimentations considérées.	41
Figure 35 : Comparaison de la dernière zone de passage des poissons pour les expérimentations considérées.	42
Figure 36 : Comparaison des temps de séjours des poissons ayant franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.	43
Figure 37 : Comparaison des temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.	44
Figure 38 : Comparaison des temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.	45

Tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques des poissons marqués par espèce.....	36
--	----

I Contexte et objectifs

L'Institut PPRIME de Poitiers travaille depuis 2004 à l'amélioration de la connaissance des écoulements se produisant dans les passes à fentes verticales grâce à des mesures réalisées sur des modèles réduits. L'étude des turbulences et de la variabilité de l'écoulement a abouti à la mise en place de cylindres dans les bassins de manière à contrôler l'écoulement et modifier les turbulences

L'étude du comportement des poissons au sein de la maquette à l'échelle 1:4 (PAP ¼) de l'université de Poitiers a permis de comprendre le cheminement des poissons à travers un bassin de la passe.

Les observations montrent que dès leur entrée dans le bassin la quasi-totalité des poissons se dirigent vers une zone de recirculation située à proximité du petit déflecteur. Une fois dans cette zone la majorité des poissons franchit le bassin. De plus une proportion de poissons effectue une pause dans leur progression dans des zones précises du bassin. L'étude démontre que le cheminement des poissons est un processus complexe mêlant des phases de montaison, de dévalaison, d'attente, de recherche de nourriture, de défense d'un territoire... Enfin la mise en place de trois cylindres en triangle pour le chevesne dans la configuration en petite largeur modifie le comportement des poissons (écoulement de Type 2 selon **WANG et al, 2010**) : amélioration de l'efficacité en montaison (+16,8%), augmentation du temps de séjour, modification des trajectoires à travers le bassin...

Il est maintenant nécessaire de vérifier si les observations faites sur le modèle réduit reflètent ce qui se produit réellement dans une passe à l'échelle 1. Pour cela l'observation du cheminement des poissons dans une passe munie d'un observatoire (passe du pont barrage de Vichy) a été réalisée. En effet au sein de cette passe à poisson atypique ont été mise en place des vitres qui permettent de suivre l'évolution des poissons dans la partie supérieure de la passe.

II Matériel et méthode

II.1 Présentation de la passe de Vichy

La passe à poisson est implantée sur le pont barrage de Vichy localisé sur l'Allier à 653km de l'estuaire de la Loire. C'est une passe à bassins à fentes verticales munie d'un seuil de fond, implantée en rive droite de l'Allier (Figure 1). Le propriétaire est la ville de Vichy.

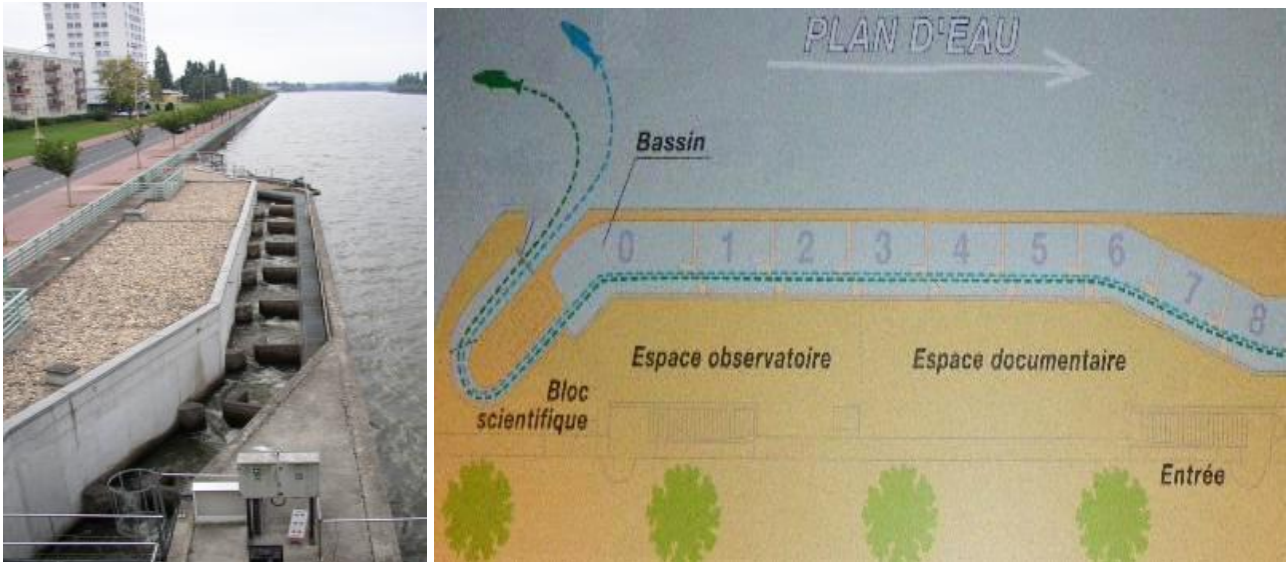


Figure 1 : Photographie et plan de la partie supérieure de la passe à poisson.

Elle a été construite en 1996 et est munie d'un « observatoire des poissons migrateurs » (Figure 2), géré par le Conservatoire National du Saumon Sauvage, qui permet aux visiteurs de voir passer les espèces fréquentant la rivière. Elle est également dotée d'une station de comptage qui permet de suivre et de comptabiliser les poissons migrateurs fréquentant l'Allier. Cette station de comptage est gérée par l'association LOire GRANDs Migrateurs.

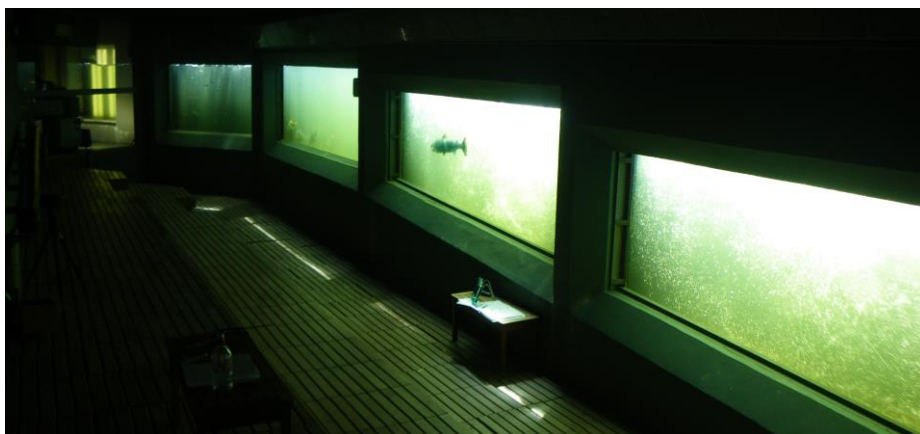


Figure 2 : L'observatoire des poissons migrateur et au fond sur la gauche la fenêtre de comptage.

La passe est équipée d'une sonde de suivi de la température, avec un pas d'enregistrement d'une heure, installée par LOGRAMI. Le débit journalier de l'Allier à Saint-Yorre est consultable en ligne via le site de la banque hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>).

II.2 Protocole expérimental

II.2.1 Période d'observation

Les suivis ont été réalisés durant le printemps. Durant cette période, les espèces migratrices amphihalines (saumon, alose, lamproie) et holobiotiques (brème, barbeau, hotu, chevesne, ablette..) fréquentent activement la passe à poisson. Pour ces dernières, le printemps constitue la période de pré-reproduction. Les poissons effectuent une migration afin de trouver des zones de frayère.

II.2.2 Configurations testées

D'après la typologie établie par **WANG et al. (2010)** sur la base des caractéristiques géométriques de la passe (largeur de fente : b , largeur de bassin : B , longueur de bassin : L et pente : s), les écoulements dans les bassins de la passe de Vichy sont de type 2 (ratio $B/b=6$ avec une pente de 10%), ce que confirme les observations visuelles de l'écoulement de surface (Figure 3).



Figure 3 : Détermination visuelle du type d'écoulement se produisant dans les bassins de la passe de Vichy.

Les analyses ont porté sur la comparaison de 2 configurations alternées dans le temps dans un même bassin :

- absence de cylindre,
- 3 cylindres positionnés en triangle.

Le choix de cette dernière configuration repose sur les résultats des tests biologiques effectués en laboratoire pour le même régime d'écoulement sur une passe à l'échelle 1:4. Les gains d'efficacité étaient les plus significatifs dans cette configuration par rapport à une situation sans cylindre (**CORNU et al, 2012**).

Trois cylindres disposés en triangle ont donc été mis en place dans le bassin le plus aval de l'observatoire (Figure 4). Les cylindres sont constitués d'un socle en acier inoxydable sur lequel est emboîté un tube de PVC de 18 cm de diamètre. Ils sont entièrement démontables. Les dimensions du bassin ainsi que les coordonnées des cylindres sont données en Annexe A.



Figure 4 : Bassin équipé de trois cylindres disposés en triangle.

La particularité de cette passe est de posséder un seuil de fond dans chacune des fentes des cloisons. Lors des observations effectuées sur la PAP ¼ les bassins de la maquette n'étaient pas munis de seuils de fond. Des comportements particuliers liés à la présence de ce seuil sont susceptibles de biaiser la comparaison entre les deux échelles.

Deux types de suivis ont été réalisés. Le premier est basé sur l'observation visuelle des poissons dans le bassin. Ce suivi est particulièrement adapté aux poissons de plus de 30 cm. Le second est basé sur la détection de poissons de taille inférieure à 30 cm, marqués à l'aide de transpondeurs TIRIS, lors de leur entrée (ou sortie) des bassins équipés d'antennes de détection.

II.2.3 Suivis biologiques

II.2.3.1 Suivis par enregistrement vidéo

Le déplacement des poissons au sein du bassin 2 de la passe (équipé ou non de cylindres, cf. Figure 1) a été suivi par l'intermédiaire d'une caméra Sony HDR-HC9E.

Le bassin 2 a été filmé dans son intégralité ainsi qu'une partie du bassin supérieur (bassin 1) afin de pouvoir déterminer avec précision les moments d'entrée et de sortie des poissons (Figure 5).



Figure 5 : Captures d'écran lors de vidéos dans la configuration sans cylindre (à gauche, un barbeau) et avec cylindres (à droite, 2 brèmes et un saumon).

Le mode d'enregistrement choisi est Long Play avec des cassettes mini DV de 60 minutes (le mode Long Play permet d'assurer 90 minutes d'enregistrement). Des vidéos successives sont réalisées.

Des vidéos complémentaires filmées avec un appareil photo numérique ont été enregistrées lorsqu'un comportement particulier des poissons au sein du bassin a été observé.

Afin de faciliter le dépouillement des séquences vidéo, un chronomètre déclenché en même temps que l'enregistrement a permis de noter le moment où certaines observations sont faites. Les observations suivantes ont été consignées:

- temps d'entrée approximatif du poisson,
- espèce,
- caractéristiques morphologiques des poissons (individualisation),
- première zone d'entrée,
- temps de sortie approximatif,
- zone principale de stabulation,
- comportement particulier,
- scénario réalisé.

Le printemps 2011 a offert au sein de la passe à poisson des conditions de transparence de l'eau tout à fait favorable aux observations puisque de nombreux individus ont pu être suivis sur 30 à 50% de la largeur du bassin. Ce sont plutôt les bulles générées par la pénétration du jet dans le bassin qui ont constitué une frontière à l'observation.

II.2.3.1.a Déroulement des opérations

Une première visite permettant une prise de contact avec les différents acteurs (Ville de Vichy, CNSS, LOGRAMI, ONEMA SD03, ONEMA DR6) a eu lieu les 13 et 14 avril afin de présenter l'étude et d'effectuer les premiers test vidéos.

Suite à cette visite la ville de Vichy nous a autorisé à tourner les séquences vidéo et a mis à disposition un local et du matériel de bureaux. Il nous a été indiqué qu'une vidange de la passe était effectuée tous les vendredi matin afin de nettoyer les vitres de l'observatoire.

Nous avons été informé par le CNSS que le piégeage de saumons était en cours jusqu'à atteindre l'objectif de 50 captures. Le piégeage a lieu durant les journées du mardi, mercredi et jeudi. Il est susceptible de provoquer la réalisation d'allers-retours, notamment pour les saumons, dans les bassins supérieurs de la passe. De plus un agent du CNSS est présent sur site du samedi au jeudi, de 14h30 à 18h pour l'ouverture de l'observatoire au public du 1^{er} avril au 15 août.

LOGRAMI a mis à notre disposition les données thermiques enregistrées par la sonde de température placée dans la passe.

Dans un premier temps, nous avons choisi d'effectuer l'enregistrement tout au long de la journée. L'observatoire des poissons migrateurs étant ouvert au public de 14h30 à 18h, les séquences enregistrées durant l'ouverture étaient difficiles à dépouiller à cause des nombreux passages de visiteurs devant la caméra. Au départ, les enregistrements ont été réalisés le matin de 7h à 13h et l'après midi de 18h à 21h mais la luminosité étant trop faible en fin d'après midi nous sommes finalement restreint aux enregistrements en matinée.

II.2.3.1.b Dépouillement et traitement des données

II.2.3.1.b.1 Codage et stockage des séquences

Un nom de code est donné à chaque enregistrement en suivant la règle :

DATE_HEURE_CONFIGURATION

Lors du dépouillement des bandes vidéo, seules les séquences avec passage de poissons sont sauvegardées. Chaque fichier vidéo est stocké dans un répertoire portant le nom de code de l'enregistrement. Le nom de chaque fichier est codé comme suit :

ESPECE_SCENARIO_DATE_HEURE D'ENTREE (hh:mm:ss)

Les séquences vidéo sont stockés sur le réseau et triées par configurations (hydee sur solaris : \ Vincent Cornu\Vidéos tests poissons\Vichy\Dépouillées).

II.2.3.1.b.2 Mouvements et scénarios de franchissement

Les déplacements sont caractérisés selon un codage utilisé lors des expérimentations dans la PAP ¼ (**CHAMBON, 2008**) (Figure 6) :

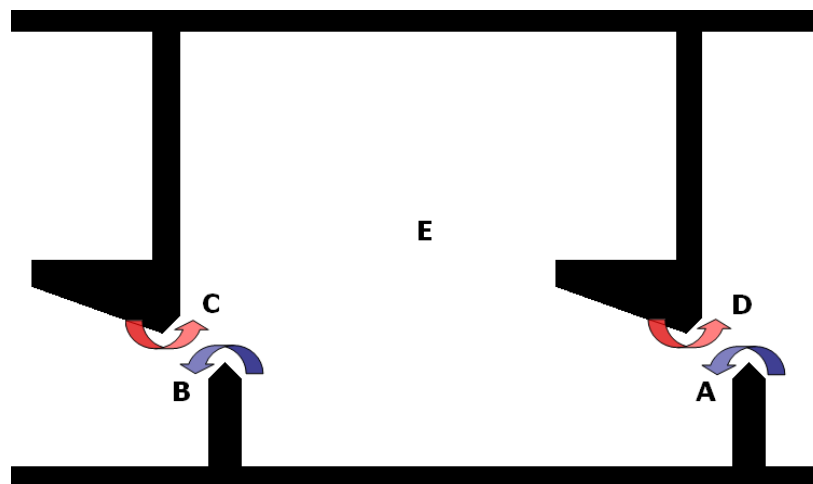


Figure 6 : Définition des différents mouvements de base.

Les mouvements de base représentent le passage d'un poisson d'un bassin à un autre par le franchissement d'une fente. Ils peuvent s'effectuer en montaison (A : franchissement de la fente aval, B : franchissement de la fente amont) et en dévalaison (C : franchissement de la fente amont, D : franchissement de la fente aval). L'enchaînement dans le temps de ces différents mouvements permet de définir différents scénarios :

- **AB** : le poisson franchi le bassin en montaison.
- **AD** : le poisson accède au bassin par la fente aval et dévale par cette même fente.
- **AE** : le poisson accède au bassin par la fente aval et reste dans celui-ci jusqu'à la fin de l'enregistrement.
- **CB** : le poisson accède au bassin 2 par la fente amont puis accède au bassin 2 par cette même fente.
- **CD** : le poisson franchi le bassin 2 en dévalaison.
- **CE** : le poisson accède au bassin 2 par la fente amont et y reste jusqu'à la fin de l'enregistrement.

La provenance du poisson avant chaque passage de fente ainsi que sa position dans la fente lors de son passage ont été recherché dans chaque séquence (Figure 7). En effet, un poisson qui franchi une fente peut provenir de la partie droite, du centre, du bas ou de la partie gauche de la fente. Les directions sont définies pour un poisson effectuant un passage de fente en montaison.



Figure 7 : Codification utilisée lors du passage d'un poisson dans une fente du bassin.

II.2.3.1.b.3 Mouvements et scénarios de stabulation dans les bassins

Les deux principales zones de stabulation des poissons dans le bassin correspondent aux deux recirculations générées par la pénétration du jet (Figure 8). La provenance du poisson avant le passage dans la fente permet de déterminer dans quelle zone il se situait avant de franchir la fente.

Ainsi un poisson provenant de la droite de la fente était positionné dans la zone 2 (Z2) du bassin, un poisson provenant de la gauche de la fente était positionné dans la zone 1 (Z1) du bassin et un poisson provenant du bas de la fente (INF) était positionné dans la zone de calme se situant juste à l'aval du seuil de fond.

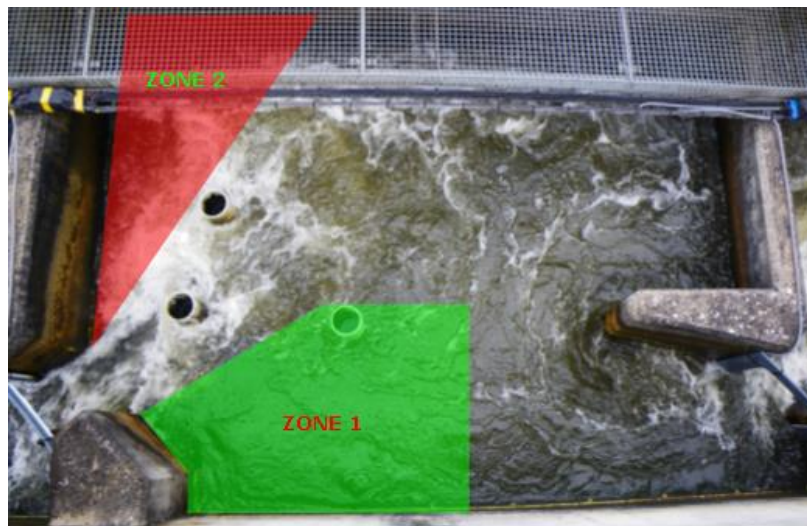


Figure 8 : Position des deux principales zones de stabulation des poissons dans le bassin, ici dans la configuration avec 3 cylindres en triangle.

Pour connaître la zone préférentielle de passage des poissons dans la fente, la fente a été découpée en deux zones de dimensions similaires (Figure 7) :

- la partie inférieure de la fente (INF) : du seuil de fond à la moitié de la hauteur d'eau dans la fente,
- la partie supérieure de la fente (SUP) : de la moitié de la hauteur d'eau dans la fente à la surface.

Les séquences vidéo permettent aussi de déterminer à quel moment un poisson pénètre et sort du bassin. La mesure du temps de séjour des poissons à l'intérieur du bassin a été effectuée. Afin de mesurer cette durée le chronométrage :

- d'entrée d'un poisson dans le bassin débute quand une partie du corps du poisson pénètre dans le bassin,
- de sortie d'un poisson fini quand la totalité du corps du poisson a quitté le bassin.

L'enregistrement est effectué à une fréquence de 25 images par secondes. Etant difficile de déterminer l'entrée ou la sortie d'un poisson à l'image près, la précision de la mesure est de trois images près soit à 2/24^{ème} de seconde Cette analyse exclue les poissons qui ont réalisé les scénarios AE et CE.

Enfin, la première zone de passage du poisson après son entrée dans le bassin a été déterminée.

Les observations consignées lors de l'enregistrement ont servi à compléter les données issues de la vidéo. Toutes ces observations ont été rapportées dans une fiche dépouillement vidéo donnée en Annexe B.

II.2.3.1.c Caractérisation du comportement

II.2.3.1.c.1 Proportions des différents scénarios réalisés

L'analyse des séquences vidéo permet d'identifier les proportions des différents scénarios réalisés par les poissons et d'aider ainsi à la compréhension du cheminement de ceux-ci à travers le bassin 2. Les proportions de poissons qui ont franchi le bassin, qui n'ont pas réussi à franchir ou qui ont dévalé pourront ainsi être comparées en fonction de la configuration testée.

II.2.3.1.c.2 Provenance des poissons avant passage dans la fente

Cette information permet de déterminer la zone la plus utilisée par les poissons avant le passage dans la fente amont en montaison. La comparaison entre les deux configurations permet de mettre en évidence un éventuel effet des cylindres sur la dernière zone occupée avant le passage de la fente.

II.2.3.1.c.3 Zone préférentielle lors du passage dans la fente

Les informations recueillies sur la façon de franchir la fente vont nous permettre de connaître la zone de la colonne d'eau préférentiellement utilisée par les poissons. Une comparaison entre les configurations mais aussi entre les scénarios est effectuée.

II.2.3.1.c.4 Première zone de passage

La 1^{ère} zone de passage dans le bassin est identifiée afin de caractériser le comportement des différentes espèces de poissons dès leur entrée dans le bassin.

II.2.3.1.c.5 Temps de séjour

Les temps de séjours des différentes espèces de poissons rencontrées sont comparés selon les différents scénarios effectués et la configuration.

II.2.3.2 Suivi par marquage TIRIS

II.2.3.2.a Principe

Le déplacement des poissons au sein des bassins a été suivi grâce au système TIRIS (PAUTRIC, 2003).

Ce système, développé par Texas Instrument, est basé sur une technique d'identification sans contact (Radio Frequency Identification). Il permet d'identifier une marque à distance, sans contact ou visibilité directe, grâce à l'utilisation d'ondes dans le domaine des

radiofréquences via une antenne de détection. Le système est composé de différents éléments (Figure 9) : un transpondeur portant un code d'identification unique qui est inséré dans le poisson, une antenne créant un champs magnétique assurant la détection du transpondeur, un boîtier accord permettant le réglage de l'antenne et un coffret de lecture/enregistrement. Les données enregistrées sont récupérées par l'intermédiaire d'un ordinateur portable.

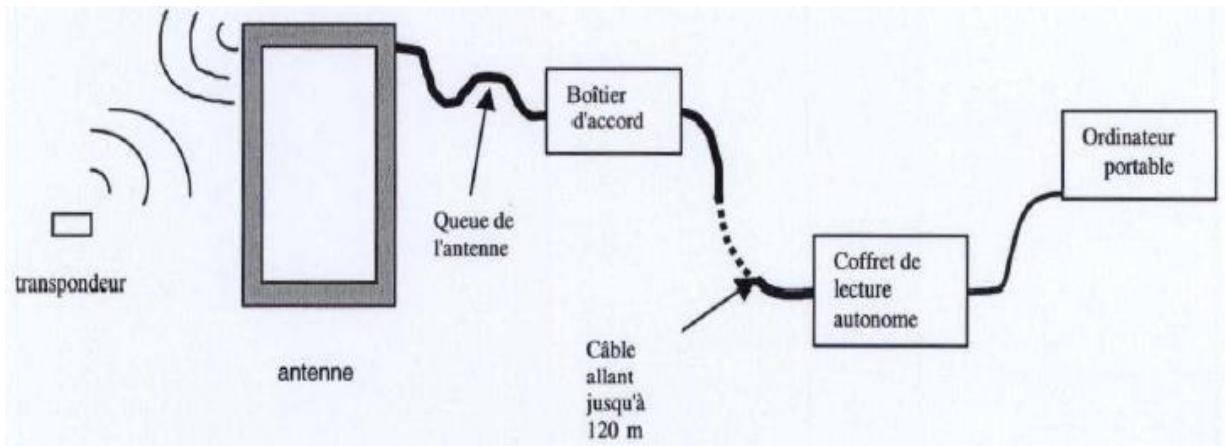


Figure 9: Principe de fonctionnement du système TIRIS.

II.2.3.2.b Mise en place des transpondeurs

Les transpondeurs utilisés sont des transpondeurs LF (Low Frequency), qui fonctionnent à 134 kHz, fréquence qui permet une bonne pénétration du signal à travers les matériaux non-conducteurs et les liquides. Les transpondeurs se présentent sous la forme de petites ampoules de verre cylindriques (diamètre voisin de 4 mm) et étanches. Il existe deux modèles de longueurs différentes : 23 mm et 32 mm (Figure 10).

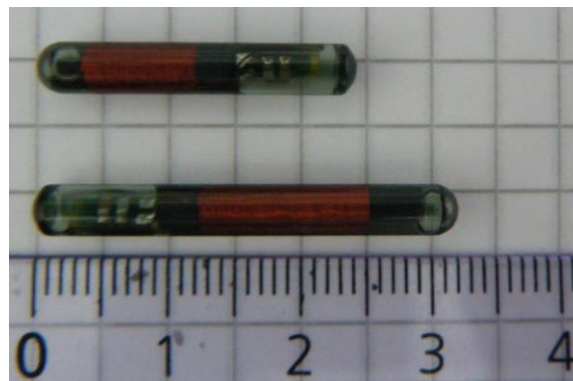


Figure 10 : Les deux types de transpondeurs couramment utilisés.

Chaque transpondeur contient un circuit intégré, un condensateur ainsi qu'une bobine constituant l'antenne. C'est un composant électronique passif, c'est à dire qu'il ne possède pas de batterie interne, ce qui lui donne une durée de vie extrêmement importante. Chaque transpondeur porte un code unique d'identification et peut être lu à des distances allant jusqu'à 1 mètre.

La mise en place des transpondeurs nécessite une opération de chirurgie sous anesthésie. Le matériel nécessaire à l'opération de marquage a été installé en extérieur en utilisant le bac de réception du piège à saumon laissé à disposition par LOGRAMI (Figure 11).



Figure 11 : Photographie du dispositif opératoire.

Les poissons sont anesthésiés individuellement dans un bain de balnéation. Une fois endormi, la biométrie du poisson est effectuée (longueur totale, poids). Le transpondeur est ensuite inséré dans la cavité péritonéale du poisson (Figure 12). Une incision de 4 mm de long est pratiquée sur la ligne ventrale à 15-20 mm de la gaine pelvienne, assez profonde pour percer le péritoine. Le transpondeur est délicatement inséré dans l'incision dans le sens de la longueur, suivant l'axe du poisson. Un point de suture est effectué au milieu de l'incision pour les poissons de petite taille. Pour prévenir les infections, l'incision est désinfectée grâce à l'application d'une solution de povidone iodée (Bétadine®).



Figure 12: Planche photographique des différentes étapes du marquage: incision, mise en place du transpondeur, suture et désinfection.

Les poissons sont ensuite placés dans une cage immergée le temps du réveil et de la récupération, avant d'être libérés.

Les taux de rejet des transpondeurs et de mortalité des individus marqués sont quasiment nuls.

Les informations relatives au marquage sont consignées dans une fiche marquage (Annexe C).

II.2.3.2.c Système de détection et points de lâcher

Le bassin avec les cylindres et le bassin en aval immédiat ont été équipés d'antennes de détection TIRIS. Les 3 antennes ont été placées au niveau des 3 fentes constituant ce système de deux bassins. La passe de Vichy est, de plus, déjà équipée d'un système TIRIS installé par l'association LOGRAMI. Un système de 4 antennes permet de contrôler les passages des poissons marqués dans la passe (Figure 13).

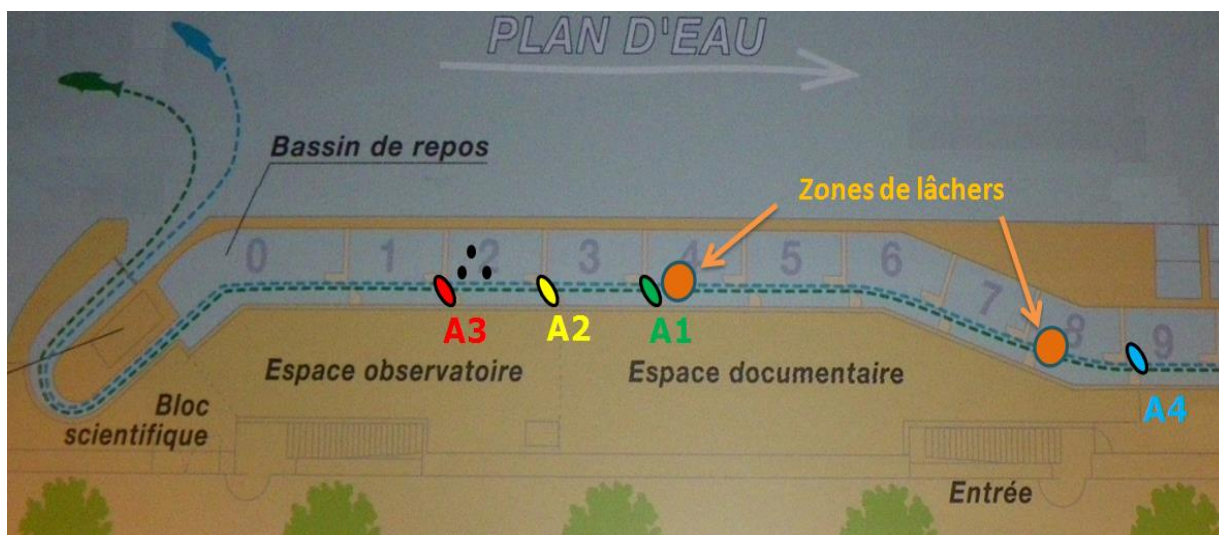


Figure 13 : Schéma de l'implantation des antennes de détection au sein des bassins de la passe de Vichy.

Le système d'antennes A1/A2 permet de mesurer le temps de séjour des poissons marqués dans un bassin sans cylindres (bassin 3). Le système d'antennes A2/A3 permet de mesurer le temps de séjour des poissons dans le bassin avec 3 cylindres disposés en triangle (bassin 2). L'antenne 4 permet d'évaluer la quantité de poissons dévalant.

Le réglage de la distance de détection des antennes est primordial. La détection des poissons dans la fente doit être assurée sans détecter leur présence dans une des zones de stabulation situées à proximité. Les antennes ont été placées à l'amont des fentes et la distance de détection a été limitée au maximum.

Les lâchers des poissons marqués sont effectués dans deux zones comprises à l'intérieur du système de détection. Les poissons sont lâchés dans la zone la plus calme du bassin : la zone 1 (c.f Figure 8). Une vérification de l'efficacité de la détection du système d'antennes sera effectuée.

II.2.3.2.d Déroulement des opérations

Une première visite permettant une prise de contact avec les différents acteurs (Ville de Vichy, CNSS, LOGRAMI, ONEMA SD03, ONEMA DR6) a eu lieu les 13 et 14 avril afin de présenter l'étude.

Suite à cette visite la ville de Vichy nous a autorisé à mettre en place les antennes et a mis à disposition un local ainsi que l'approvisionnement en électricité. Il nous a été indiqué qu'une vidange de la passe était effectuée tous les vendredi matin afin de nettoyer les vitres de l'observatoire.

LOGRAMI mettra à notre disposition les données enregistrées par le système placé dans la passe.

II.2.3.2.e Dépouillement et traitement des données

Les données récoltées par les coffrets de lecture/enregistrement sont relevées toutes les semaines. Les données brutes sont stockées sur le réseau (hydee sur solaris : \Vincent Cornu\Docs\Tests poissons\Vichy\Suivi TIRIS\Fichiers bruts).

L'ordre chronologique de détection des poissons par le système d'antennes permet de déterminer le scénario effectué par chaque poisson pour les deux bassins suivis. Etant donné que ce suivi n'est pas limité par le temps les scénarios AE et CE ne sont pas rencontrés.

Le temps de séjour dans les bassins est calculé en faisant la différence entre les heures de détection pour les différentes antennes.

Lorsque le poisson a été détecté plusieurs fois par une antenne lors de son passage il a été retenu :

- l'heure de la première détection pour les 3 antennes des bassins 2 et 3 (placées à l'amont de la fente)
- l'heure de la dernière détection pour l'antenne du bassin 8 (située à l'aval de la fente)

Lorsqu'un poisson a effectué plusieurs allers-retours entre les bassins, tous les temps de séjours qu'il a effectué dans les bassins ont été retenus.

D'autres informations temporelles complémentaires ont été traitées : temps de séjour entre le lâcher et la première détection, durée de transit entre les bassins 9 et 3 (montaison ou dévalaison).

Les fichiers de travail sont disponibles sur le réseau (hydee sur solaris : \Vincent Cornu\Docs\Tests poissons\Vichy\Suivi TIRIS)

II.2.3.3 Analyses statistiques

Des analyses de variances paramétriques et non paramétriques à un facteur (ANOVA, Test de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney) ont été réalisés selon que les données suivaient ou non une loi normale (test de Kolmogorov-Smirnov).

Des analyses de comparaisons de distributions observées (test du χ^2 et test de Fisher) ont aussi été utilisées selon les cas.

Les analyses ont été réalisées sous les logiciels STATGRAPHICS centurion XVI et R v2.13.1.

III Résultats

Les opérations de terrain se sont déroulées du 13 avril au 10 juin 2011 en deux phases :

- 13/04/11 au 19/05/11 : suivi par vidéo enregistrement,
- 05/05/11 au 10/06/11 : suivi par marquage TIRIS.

III.1 Conditions environnementales

Les conditions environnementales rencontrées lors des suivis ont variées tant au niveau des débits que de la température (Figure 14). Les données de la température de l'eau s'arrêtent le 31 mai suite à un problème de transfert de données entre la sonde et la navette de récupération.

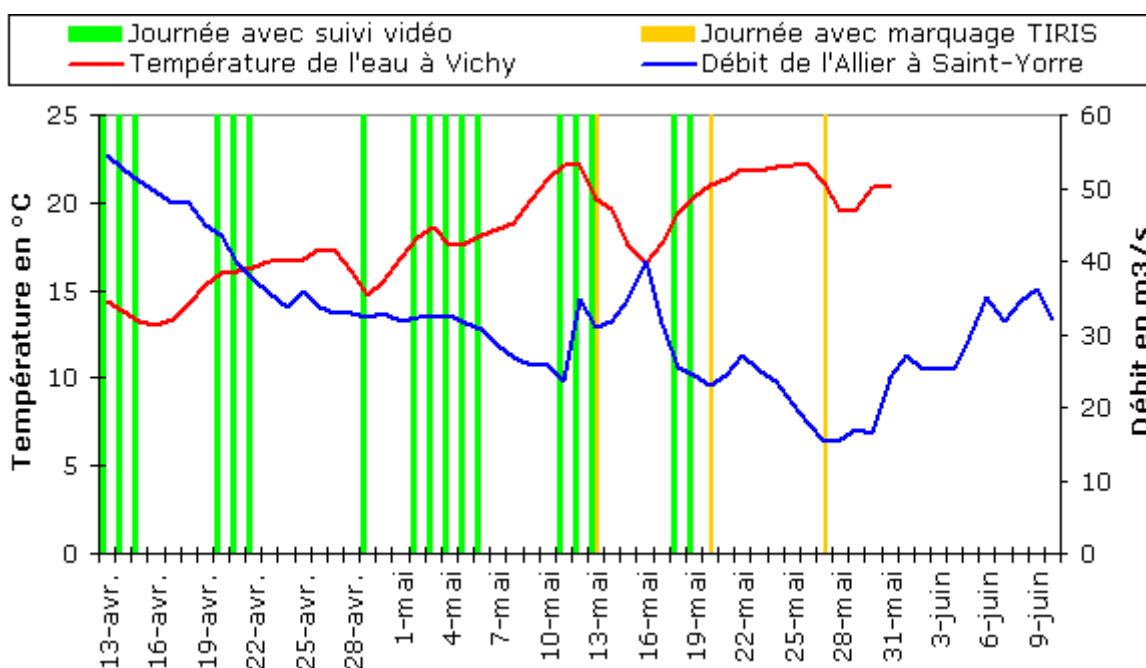


Figure 14 : Evolution des conditions climatiques durant les suivis.

La température moyenne journalière de l'eau a varié de 11,8°C le 1 avril à 22,2°C les 11 et 26 mai. Le débit moyen journalier a fluctué entre 15,4 m³/s le 27 mai et 123 m³/s le 1 avril.

Le débit de l'Allier n'a pas eu de variations susceptibles de modifier le débit de la passe (pas de grosse crue où le maintien de la côte du plan d'eau n'a pu être respecté), il a peu d'influence sur le comportement des poissons dans les bassins.

La température en revanche a globalement augmenté dans le cours d'eau comme dans la passe. Ce paramètre influence beaucoup les capacités de nage des poissons et peut donc intervenir sur les aptitudes au franchissement de la passe. Les valeurs moyennes observées lors des séquences de suivi vidéo ont varié de 13°C le 15 avril à 22,2°C les 11-12 mai.

III.2 Suivi par enregistrement vidéo

Au total, 58 vidéos ont été tournées représentant 87 heures d'enregistrement :

- 27 vidéos pour la configuration avec 3 cylindres en triangle,
- 20 pour la configuration sans cylindres
- 11 pour une configuration avec le socle métallique des cylindres.

Seules les vidéos des configurations sans et avec cylindres ont été dépouillées.

Les 58 vidéos ont permis d'effectuer 484 observations de poissons transitant à travers le bassin 2 de la passe. 296 observations (61,4%) ont été faites en configuration sans cylindre et 186 (38,6%) en configuration avec 3 cylindres. Une observation peut correspondre à la réalisation d'un scénario ou à la réalisation d'un mouvement si le poisson a été perdu de vue durant sa progression dans le bassin (cas rencontré lors du passage de bancs de hotus ou l'individualisation n'a pas été possible).

III.2.1 Espèces observées

Dix espèces de poissons ont fait l'objet du suivi vidéo (Figure 15) : saumon atlantique (*salmo salar* noté SAT), hotu (*Chondrostoma nasus* noté HOT), chevesne (*Leuciscus cephalus* noté CHE), silure (*Silurus glanis* noté SIL), brème commune (*Abramis brama* notée BRE), grande alose (*Alosa alosa* notée ALA), gardon (*Rutilus rutilus* noté GAR), carpe commune (*Cyprinus carpio* notée CCO), truite fario (*Salmo trutta fario* notée TRF) et barbeau fluviatile (*Barbus barbus* noté BAF). D'autres espèces étaient présentes en grand nombre dans les bassins de la passe (pour mémoire : ablette (*Alburnus alburnus*), spirilin (*Alburnoides bipunctatus*), perche (*Perca fluviatilis*)) mais leur taille était incompatible avec le suivi vidéo.

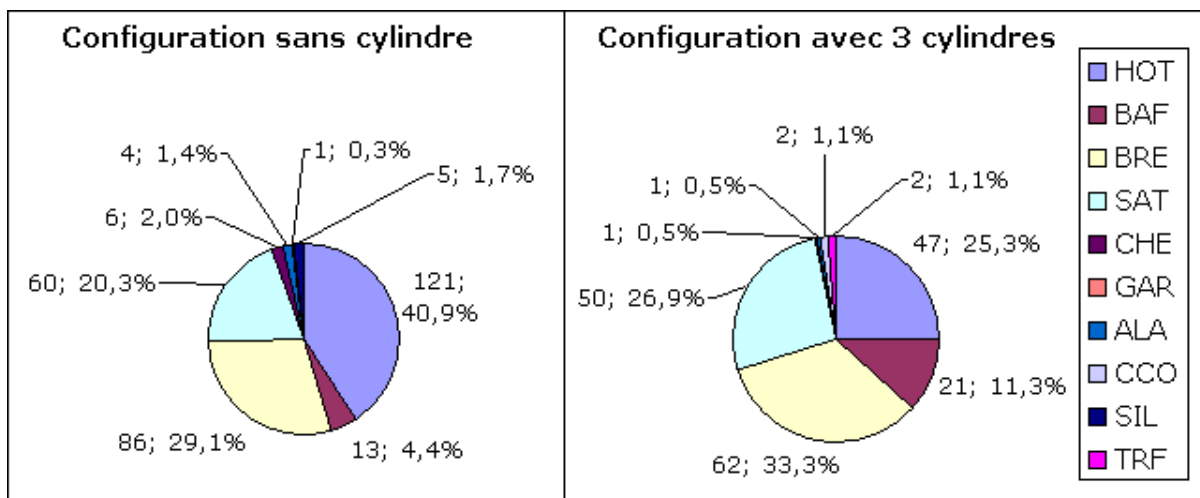


Figure 15 : Proportions des espèces observées en fonction de la configuration.

Trois espèces dominent largement les observations : HOT, BRE et SAT. Elles totalisent à elles seules plus de 85% des observations quelque soit la configuration considérée. Certaines espèces n'ont été observées que dans une seule configuration : GAR, CCO, TRF, SIL et CHE.

III.2.2 Analyses des franchissements de bassins

III.2.2.1 Mouvements entre bassins

Ce sont au total 903 mouvements entre bassins qui ont été consignés. Ces mouvements sont plus nombreux dans la configuration sans cylindre (61,2% du total) que dans la configuration avec trois cylindres.

Les franchissements de fente en montaison (A et B) sont dominants (Figure 16), ils totalisent à eux seuls plus de 78% des mouvements recensés pour la configuration sans cylindre et plus de 83% pour la configuration avec trois cylindres.

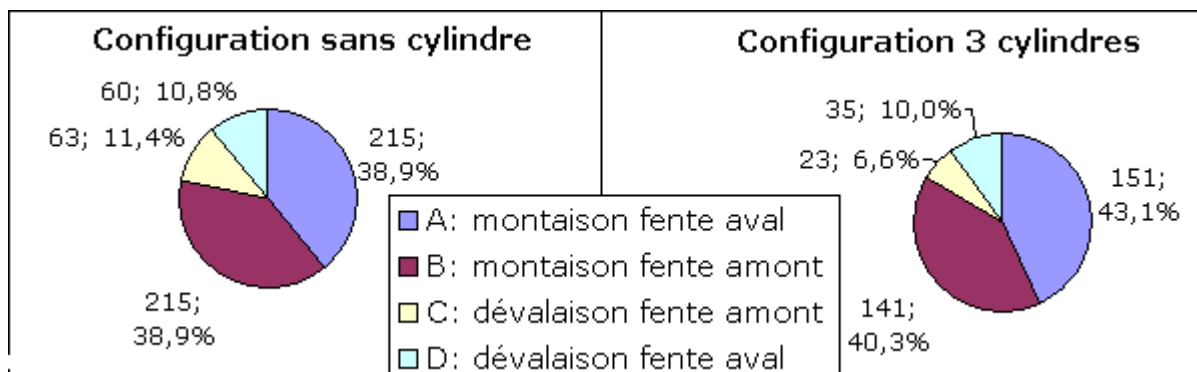


Figure 16 : Proportions des mouvements entre bassins recensés en fonction de la configuration.

Il y a légèrement plus de mouvements ascendants dans la configuration avec trois cylindres : + 5,6%. Les mouvements de dévalaison ne sont pas négligeables, ils représentent respectivement 22,2% des passages de fente en configuration sans cylindres et 16,6% en configuration avec 3 cylindres.

III.2.2.2 Scénarios de franchissement des bassins

Au total, 421 scénarios de franchissement de bassin ont été observés (Figure 17) avec une majorité en configuration sans cylindre (61,0% du total).

C'est le franchissement complet du bassin en montaison (AB) qui a été le plus observé, et ce pour les deux configurations : plus de 71% des observations pour la configuration sans cylindres et plus de 77% pour la configuration avec cylindres.

La distribution des scénarios est légèrement différente pour les deux configurations considérées avec une fraction un peu plus importante de dévalaison de la fente aval dans la configuration à 3 cylindres que dans celle sans cylindre.

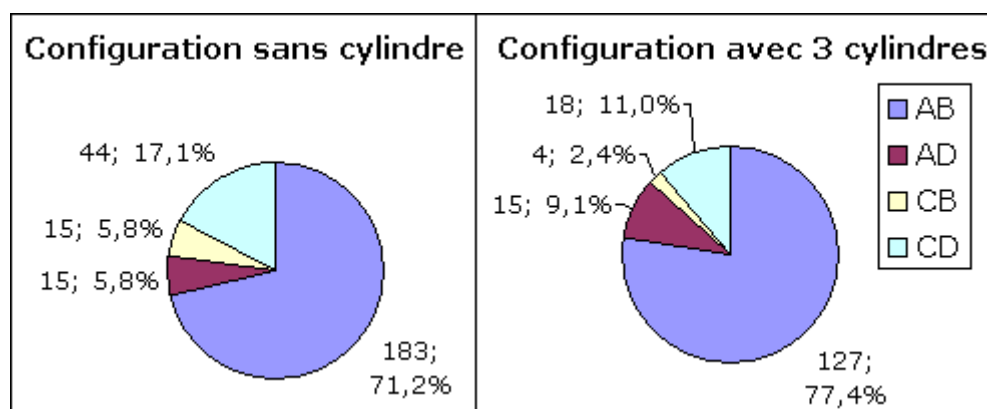


Figure 17 : Proportion des différents scénarios réalisés par les poissons en fonction de la configuration.

Il faut cependant rester prudent avec ces constats car il est impossible d'aborder la notion d'efficacité de franchissement, les individus n'ayant pas forcément été filmés durant toute leur progression dans la passe : certains individus ont pu effectuer des mouvements entre bassins sans qu'un scénario soit consigné (perte de l'individu), d'autres ont pu voir leur scénario de déplacement consigné alors qu'ils étaient déjà présent dans les bassins

supérieurs avant le début de l'enregistrement (CD et CB concernant des individus dont la montée, AB, n'a pas été prise en compte).

III.2.3 Zones utilisées par les poissons dans les bassins et la fente en montaison

III.2.3.1 Première zone de stabulation lors de la montaison

Après avoir franchis la fente aval en montaison, plus de 82% des poissons se sont rendus directement en zone 1 dans la configuration avec trois cylindres et plus de 89% dans la configuration sans cylindres (Figure 18).

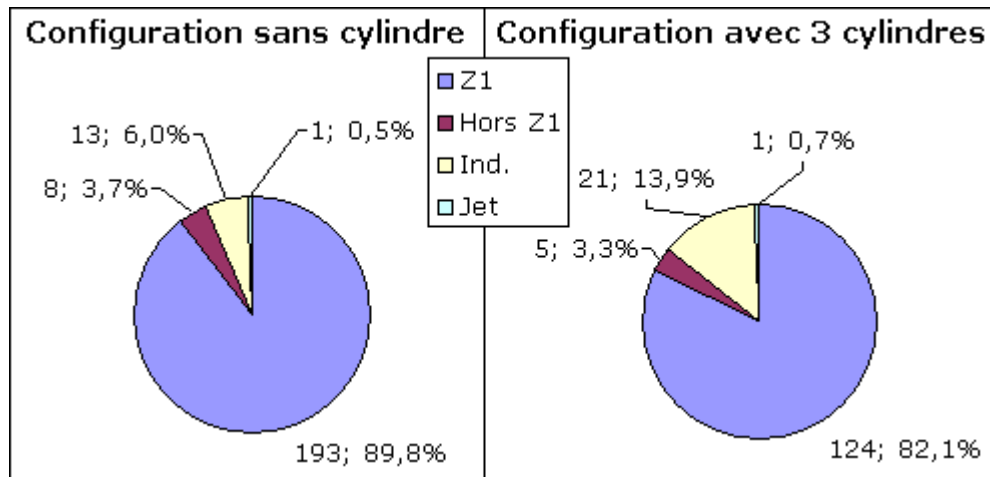


Figure 18 : Première zone de passage des poissons ayant franchi la fente aval en montaison.

La proportion des destinations indéterminées ne permet pas de conclure quant à un éventuel effet des cylindres sur la première destination des poissons.

L'individu qui est resté dans le jet pour les deux configurations a en fait réalisé le scénario AD, il a été éjecté du bassin juste après avoir franchi la fente.

Certains individus percutent le petit déflecteur après avoir pénétré dans la zone 1. Ceci peut être lié à leur vitesse élevée (nécessaire au franchissement de la fente) lors de leur entrée dans cette zone.

Lors de leur entrée dans le bassin les poissons cherchent à quitter le jet principal : ils vont majoritairement dans une zone « calme du bassin » : la zone 1.

III.2.3.2 Zones utilisées avant le passage de la fente amont.

La majorité des poissons qui ont franchi la fente amont en montaison provenait de la zone 1 du bassin ceci pour la configuration sans cylindre (49,5%) et de la zone inférieure de la fente (située derrière le seuil de fond) pour la configuration avec 3 cylindres (35,1%) (Figure 19).

La proportion d'indéterminé (IND : 21,4% en configuration avec cylindres) ne permet pas de conclure quand à une zone plus favorable à la montaison en configuration avec cylindres.

La mise en place de cylindres semble modifier la provenance des poissons avec une utilisation plus marquée de la zone inférieure de la fente et une utilisation moindre de la zone 1.

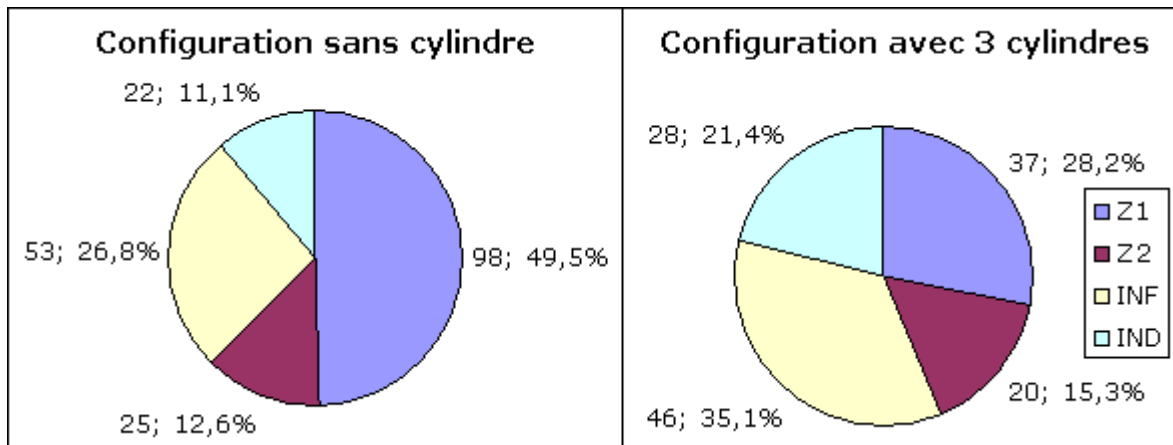


Figure 19 : Provenance des poissons ayant franchi la fente amont en montaison en fonction de la configuration.

Les zones les plus favorables au franchissement en montaison du bassin sont la zone 1 et la zone inférieure (à proximité immédiate du seuil de fond).

III.2.3.3 Zone préférentielle lors du passage dans la fente amont

Les poissons sont observés sur toute la colonne d'eau lors du franchissement de la fente (Figure 20).

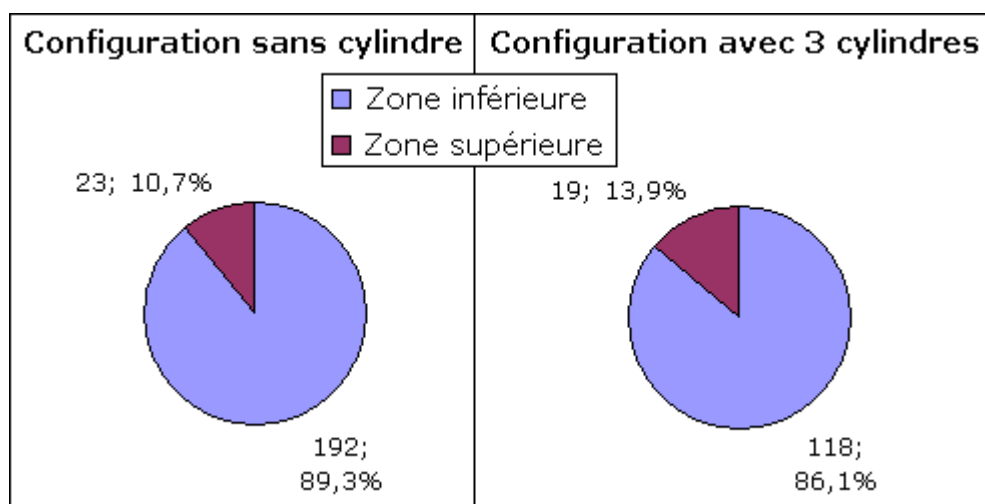


Figure 20 : Proportions de passage dans les deux parties de la colonne d'eau dans la fente en fonction de la configuration pour les poissons en montaison.

Toutefois, la majorité d'entre eux utilise la partie inférieure quelque soit la configuration : 89,3% dans la configuration sans cylindre et 86,1% dans la configuration avec trois cylindres. Il n'y a pas de différences entre les deux configurations (χ^2 , $p=0,47$).

En montaison, les poissons utilisent préférentiellement la partie inférieure de la colonne d'eau dans la fente. La mise en place de cylindres dans les bassins ne modifie pas le positionnement vertical des poissons en montaison.

III.2.4 Zones utilisées par les poissons dans les bassins et la fente en dévalaison

III.2.4.1 Zones utilisées après le passage de la fente amont

Les proportions d'utilisation de la zone fréquentée par les poissons qui ont franchi la fente amont en dévalaison (mouvement C) sont données par la Figure 21.

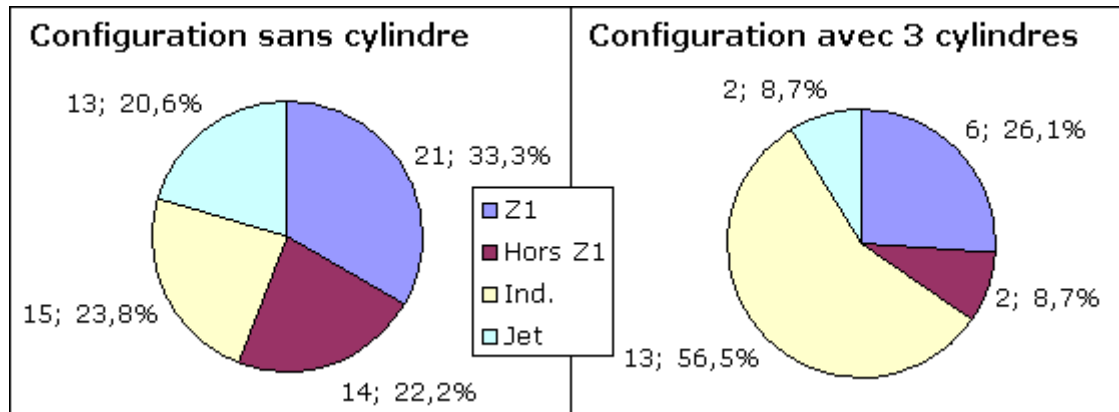


Figure 21 : Première zone de passage des poissons ayant franchi la fente amont en dévalaison.

La proportion de destinations indéterminées étant forte, respectivement 23,8% pour la configuration sans cylindre et 56,5% pour la configuration avec 3 cylindres, il est délicat de conclure quand à une zone privilégiée par les poissons lors de leur entrée dans le bassin. De même la comparaison entre les deux configurations n'est pas pertinente.

La zone 1 semble toutefois ne pas être majoritairement utilisée dans les deux configurations. Une proportion non négligeable de poisson, de 8,7% pour la configuration avec cylindres à 20,6% pour la configuration sans cylindre, dévale le bassin en se faisant emporter par le jet.

III.2.4.2 Zone préférentielle lors du passage dans la fente amont

Les poissons dévalant utilisent toute la colonne d'eau (Figure 22). Il n'y a pas de préférence marquée entre les deux parties de la colonne d'eau : 55,0% des poissons dévalent en utilisant la partie inférieure de la fente dans la configuration sans cylindre et 60,6% dans la configuration avec trois cylindres. Il n'y a pas non de différences entre les deux configurations (χ^2 , $p=0,76$).

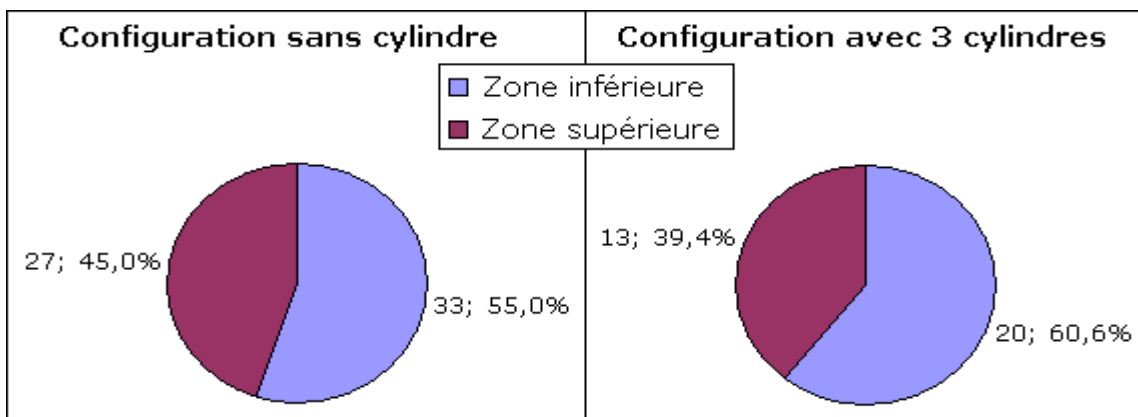


Figure 22 : Proportions de passage dans les deux parties de la colonne d'eau dans la fente en fonction de la configuration pour les poissons en dévalaison.

En dévalaison les poissons utilisent toute la colonne d'eau sans préférendum vertical marqué. La mise en place de cylindres ne modifie pas l'utilisation de la colonne d'eau.

III.2.5 Analyse des temps de séjours dans les bassins

III.2.5.1 Résultats généraux

III.2.5.1.a Effet configuration

Il y a une très grande variabilité des temps de séjours pour chaque configuration (Figure 23). Les valeurs extrêmes sont nombreuses et les moyennes sont peu significatives. Le temps de séjour varie de 1,6 s à plus de 34 min pour la configuration sans cylindre et de 0,8 s à plus de 36 min pour la configuration avec 3 cylindres.

Cette variabilité peut être expliquée par l'adoption par les poissons de trois comportements distincts :

- le poisson ne marque pas d'arrêt dans le bassin durant sa progression,
- le poisson fait une pause dans le bassin durant sa progression,
- le poisson stoppe temporairement sa progression, occupe un territoire et/ou se met à la recherche de nourriture.

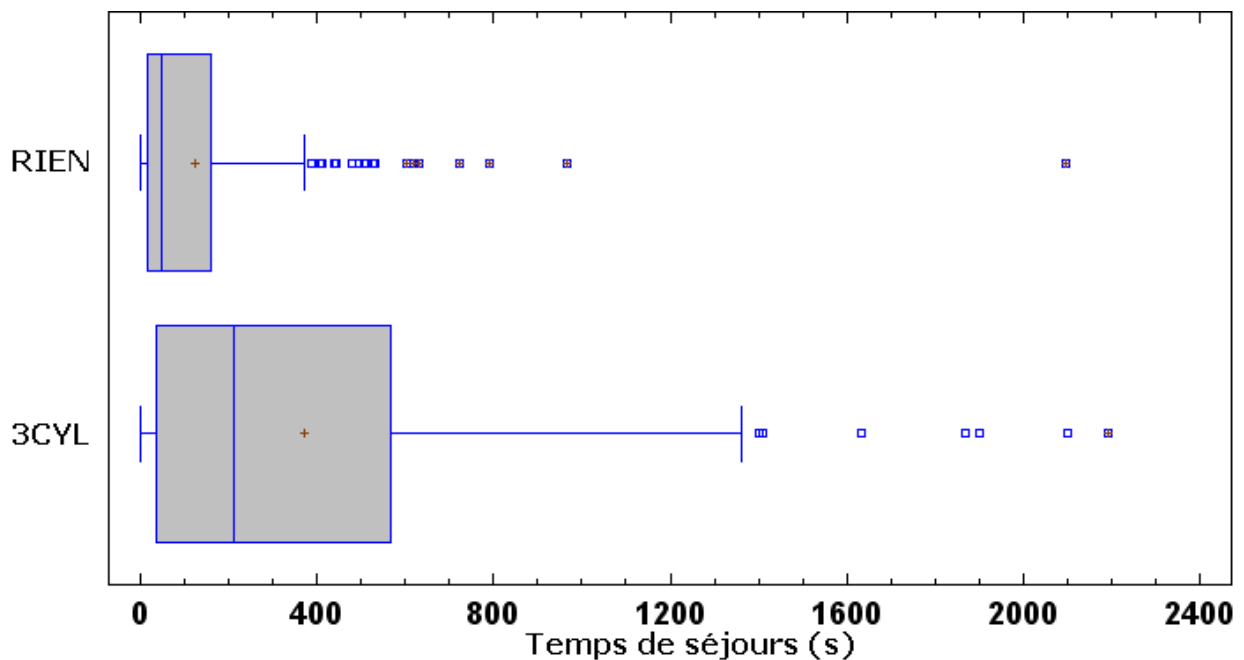


Figure 23 : Temps de séjour des poissons dans le second bassin de la passe de Vichy en fonction de la configuration.

Il y a des différences significatives entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les médianes des temps de séjours varient de 50s dans la configuration sans cylindre à 3 min 33 s dans celle à 3 cylindres.

Les temps de séjours des poissons de la configuration avec 3 cylindres en triangle sont plus importants que ceux de la configuration sans cylindre.

III.2.5.1.b Variabilité entre espèces

Il y a une très grande variabilité des temps de séjours à la fois entre les différentes espèces rencontrées et à l'intérieur d'une même espèce (Figure 24). Les valeurs extrêmes varient de moins de 1s pour la brème à plus de 36 min pour le saumon.

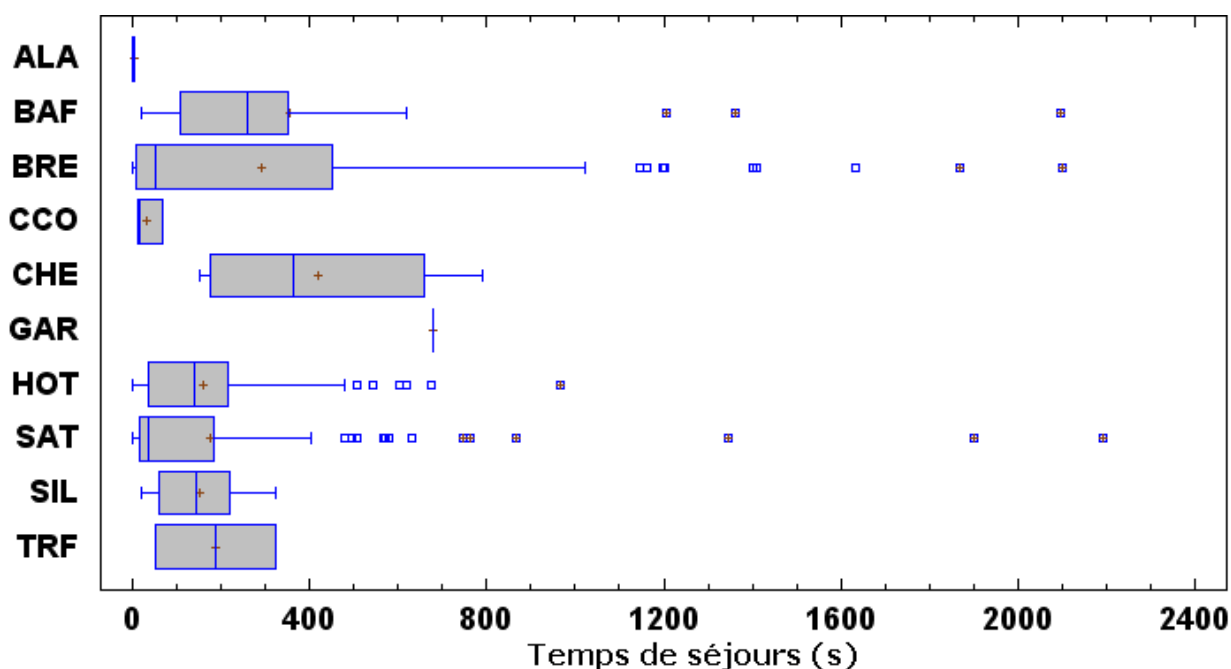


Figure 24 : Temps de séjour des différentes espèces de poissons rencontrés dans le second bassin de la passe de Vichy toutes configurations confondues.

Il y a des différences significatives entre les temps de séjour des différentes espèces (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$). L'aloise passe peu de temps dans le bassin. Lors de leurs passages elles restent toujours en nage active. A l'inverse, barbeaux, brèmes, hotus et saumons ont pu séjourner plusieurs minutes dans le bassin. Lorsque les poissons effectuent une pause dans le bassin (nage statique), leur activité respiratoire est forte.

Les différentes espèces de poissons n'adoptent pas le même comportement lors de leur passage dans les bassins, ce qui est mis en évidence ici par une différence dans les temps de séjours.

III.2.5.2 Cas des poissons ayant franchi le bassin en montaison (scénario AB)

L'analyse est basée sur les temps de séjours de 310 individus.

III.2.5.2.a Effet configuration :

Les temps de séjours des poissons ayant franchi le bassin en montaison sont très hétérogènes (Figure 25). Ils varient de 3,2 s à plus de 16min pour la configuration sans cylindre et de 3,2 s à plus de 31 min pour la configuration avec 3 cylindres.

Il y a des différences significatives entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les temps de séjours des poissons dans la configuration avec 3 cylindres en triangle (médiane à 4 min 13 s) sont plus importants que ceux de la configuration sans cylindre (médiane à 1 min 7 s).

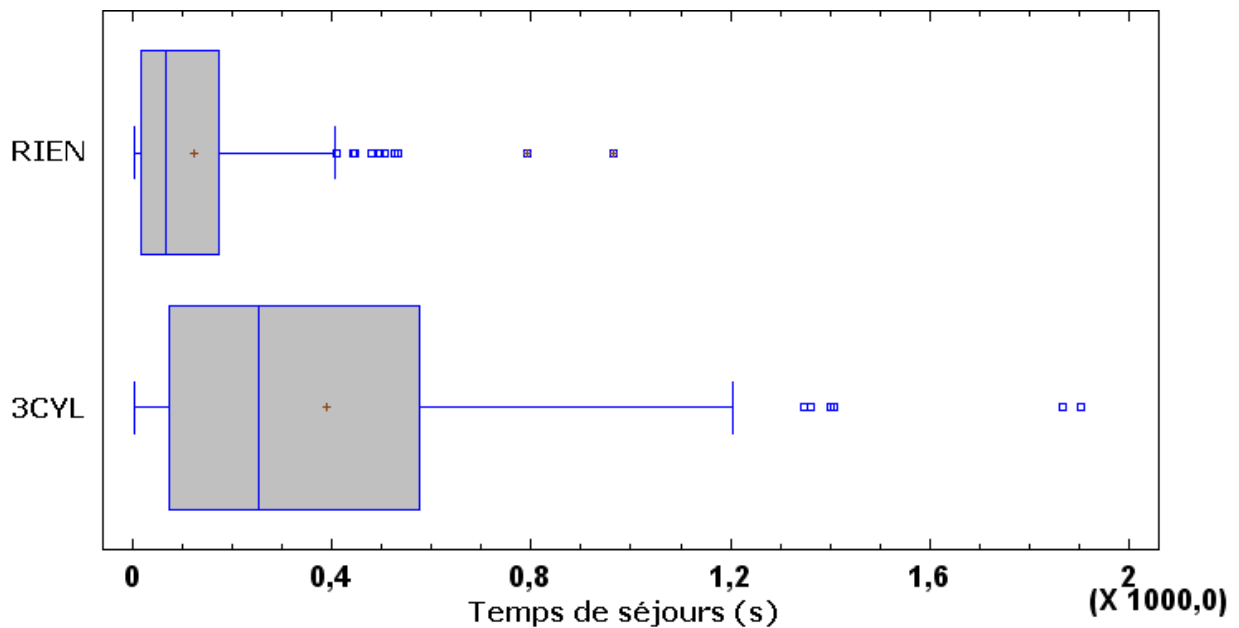


Figure 25 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario AB en fonction de la configuration.

La mise en place de cylindres augmente le temps de séjour dans les bassins des poissons qui l'ont franchi en montaison.

III.2.5.2.b Effet espèce :

Les temps de séjours sont très hétérogènes à la fois entre les différentes espèces rencontrées et à l'intérieur d'une même espèce (Figure 26). Ils varient de 3,2 s pour l'aloise à plus de 31 min pour le saumon atlantique.

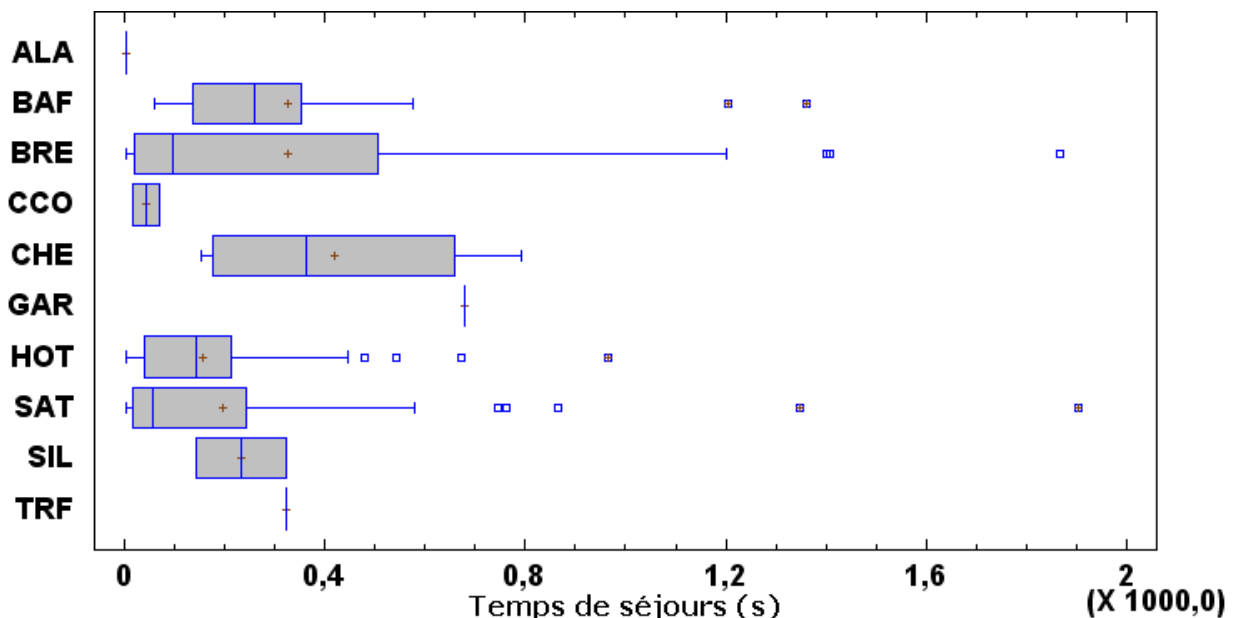


Figure 26 : Temps de séjour des différentes espèces de poissons rencontrées ayant réalisé le scénario AB toutes configurations confondues.

L'analyse statistique confirme que les différences de temps de séjour sont significatives entre les espèces (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$).

III.2.5.2.c Effet configuration par espèce

Nous avons sélectionné les espèces rencontrées le plus fréquemment dans les bassins de la passe, à savoir la brème (91 individus), le hotu (110 individus) et le saumon (71 individus) afin de comparer leurs temps de séjour entre les 2 configurations.

Pour les 3 espèces, les temps de séjours sont très hétérogènes (Figure 27). Pour la configuration sans cylindre, ils oscillent entre 6 s et plus de 8 min pour la brème (médiane à 53 s), 4,8 s et plus de 16 min pour le hotu (médiane à 1 min 36 s) et 3,8 s et plus de 8 min pour le saumon (médiane à 24 s). Dans la configuration à 3 cylindres, les valeurs varient de 5,1 s à plus de 31 min pour la brème (médiane à 10 min 39 s), de 12 s à plus de 11 min pour le hotu (médiane à 3 min 25 s) et de 5,2 s à plus de 31 min pour le saumon (médiane à 2 min 47 s).

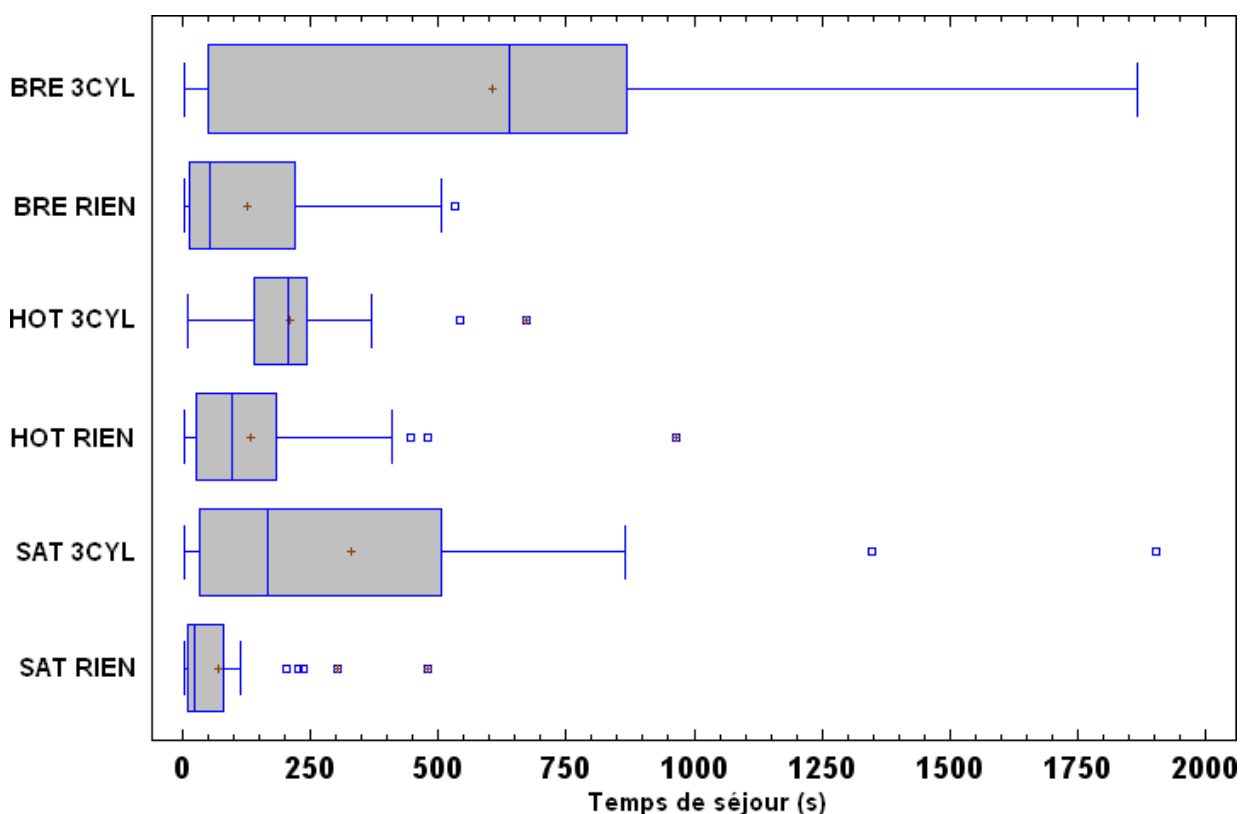


Figure 27: Temps de séjour pour les brèmes, hotus et saumons qui ont franchi le bassin en montaison.

Les différences sont significatives (Mann-Whitney, $p < 0,05$) à la fois entre les deux configurations pour chacune des espèces et entre les 3 espèces pour chaque configuration (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$).

Quelque soit l'espèce de poisson, la mise en place de trois cylindres en triangle dans le second bassin de la passe de Vichy augmente d'une manière significative le temps de séjour des brèmes, hotus et saumons qui ont franchi le bassin. Quelque soit la configuration les 3 espèces ne séjournent pas pendant la même durée dans les bassins.

III.2.5.3 Cas des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison (AD)

L'analyse est basée sur les temps de séjours de 30 individus. Ayant peu de données pour les deux configurations, nous nous sommes intéressés uniquement à l'effet configuration toutes espèces confondues.

Les temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison sont très hétérogènes (Figure 28). Ils varient de 1,6 s à plus de 34 min pour la configuration sans cylindre et de 0,8 s à plus de 36 min pour la configuration avec trois cylindres.

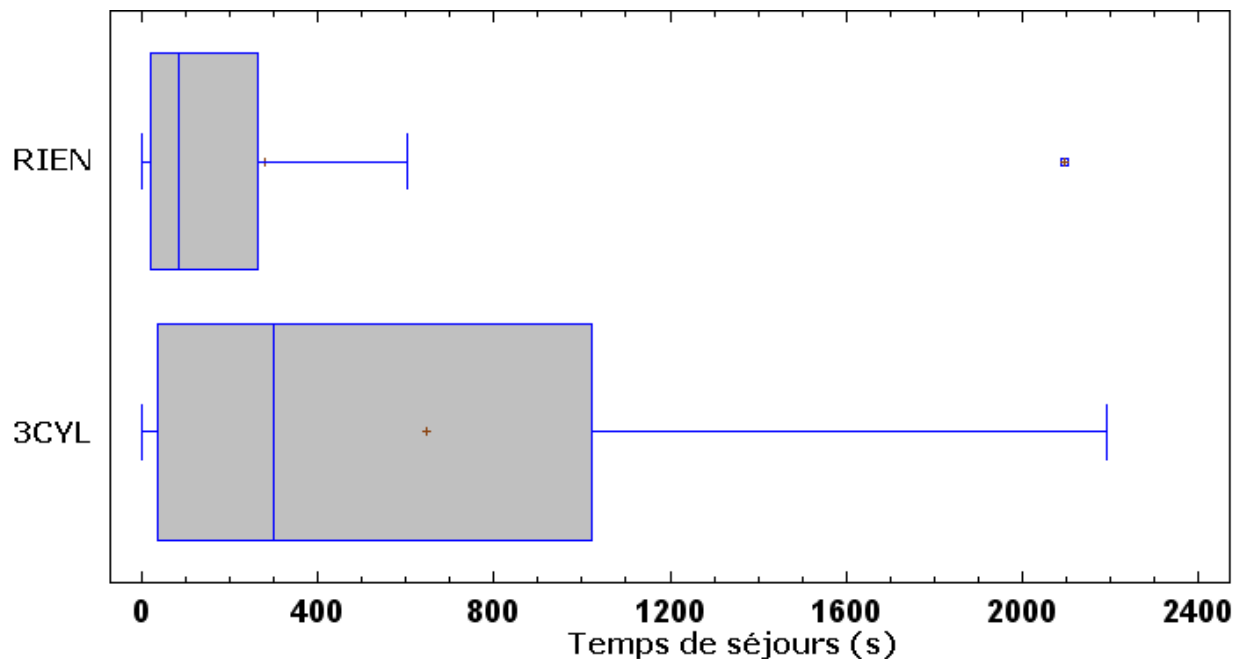


Figure 28 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario AD en fonction de la configuration.

Il n'y a pas de différences significatives entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p=0,17$). Les temps de séjours des poissons dans la configuration sans cylindres sont plus compacts : 50% des données sont comprises entre 19,5 s et 2 min 44 s contre 36 s et 17 min 3 s en configuration avec trois cylindres.

Le jeu de données étant faible et ne pouvant écarter un éventuel effet espèce, l'effet de la mise en place de cylindres sur le temps de séjour des poissons ne réussissant pas à franchir la fente amont n'a pas été mis en évidence.

III.2.5.4 Cas des poissons dévalant (CD)

L'analyse est basée sur les temps de séjours de 60 individus. Là encore, nous nous sommes intéressés à l'effet configuration toutes espèces confondues et à l'effet configuration pour le saumon, seule espèce avec un jeu de données suffisamment important pour effectuer des tests statistiques.

III.2.5.4.a Effet configuration toutes espèces:

Les temps de séjours en dévalaison sont plus compacts que pour les autres scénarios (Figure 29).

D'une manière générale les poissons qui dévalent restent peu de temps dans le bassin : 75% des poissons ont dévalé en moins de 50 s en configuration sans cylindre et en moins de 39 s en configuration avec trois cylindres.

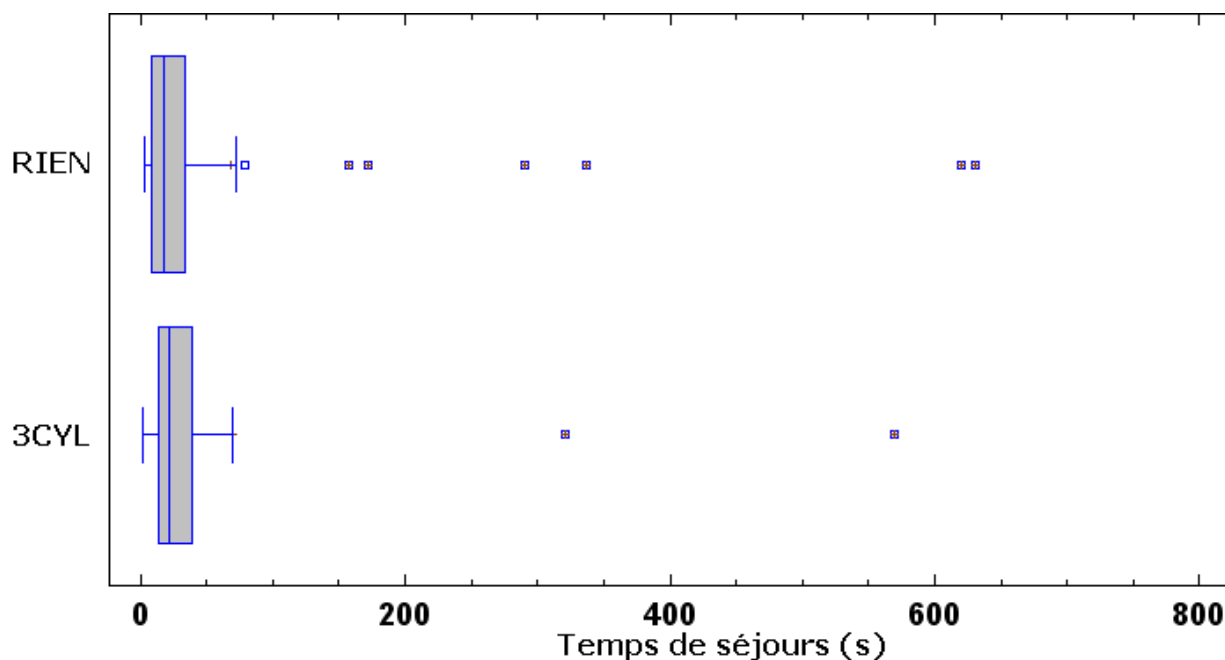


Figure 29 : Temps de séjour des poissons ayant réalisé le scénario CD en fonction de la configuration.

Il n'y a pas de différences significatives entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p=0,57$) concernant le temps de séjour en dévalaison.

III.2.5.4.b Effet configuration pour le saumon atlantique:

L'analyse est basée sur les temps de séjours de 24 individus.

La majorité des saumons (75%) a dévalé en moins de 1 min 10 s pour les deux configurations considérées (Figure 30).

Aucune différence significative des temps de séjours n'a été décelée entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p=0,93$).

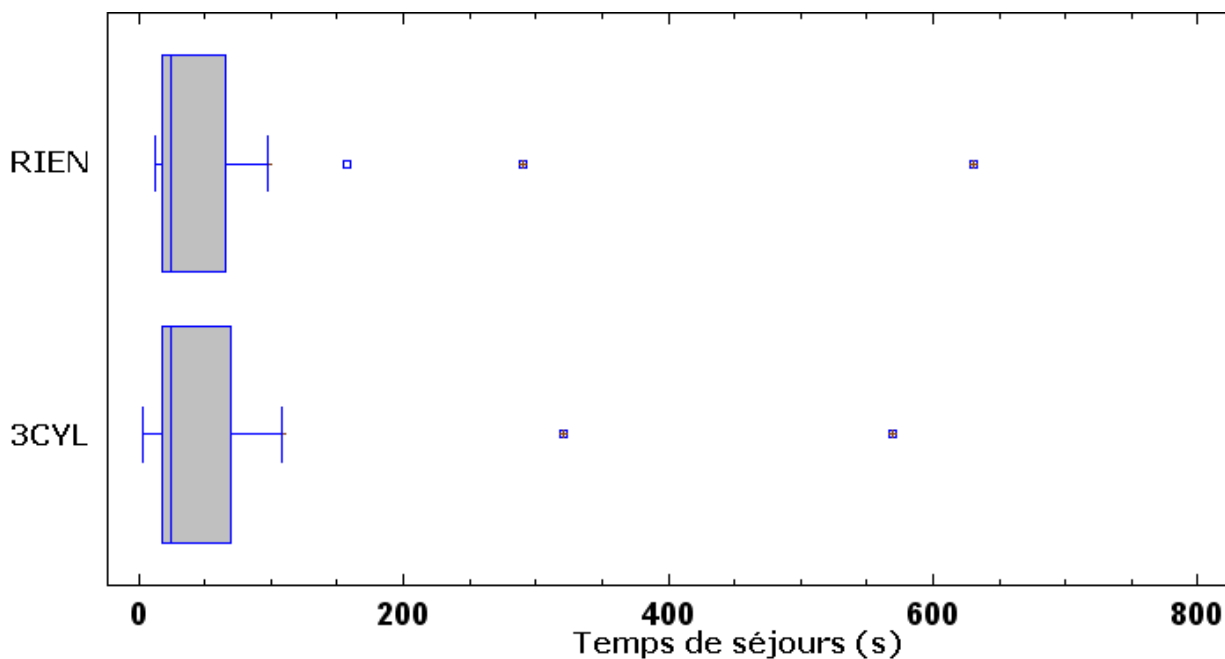


Figure 30: Temps de séjour des saumons ayant réalisé le scénario CD en fonction de la configuration.

Les poissons qui dévalent depuis le bassin amont passent très peu de temps dans le bassin d'observation. La mise en place de cylindres dans ce bassin ne semble pas influencer le temps de séjour.

III.2.6 Conclusions des suivis vidéo

Les suivis vidéo ont permis d'observer un nombre significatif de poissons appartenant à 10 espèces différentes. Les 903 mouvements entre bassins enregistrés montrent :

- un franchissement simultané des deux fentes encadrant le bassin d'observation pour plus de 70% des observations sans effet de la présence des 3 cylindres sur cette valeur,
- un patron de comportement de poissons assez caractéristique avec des franchissements plus importants dans la partie inférieure de la fente et une grande majorité de poissons qui après avoir franchi cette fente viennent s'installer dans une zone spécifique du bassin (située en partie droite de la passe en aval immédiat de la fente derrière le petit déflecteur). La présence des cylindres modifie très peu ce patron comportemental,
- des temps de séjours dans les bassins très variables à la fois pour une même espèce et entre espèce de poissons. 50% des individus observés toutes espèces et tous scénarios confondus passent moins de 1min 18 s dans le bassin. Le temps de séjour peut toutefois dépasser 10 min 13 s pour 10% des poissons. Globalement, quelque soit l'espèce de poisson, les temps de séjours dans le bassin sont plus élevés dans la configuration à 3 cylindres (de 50 s pour 50% des poissons en l'absence de cylindres à plus de 3 min 33 s en présence des 3 cylindres).

III.3 Suivi par marquage TIRIS

III.3.1 Déroulement des opérations

La mise en place du système de détection TIRIS s'est déroulée les 5 et 6 mai 2011. La présence de 4 agents a été nécessaire durant ces 2 journées. La première journée a été dédiée au câblage et à la confection des trois antennes du système (câble de 2,5 mm²). Les antennes ont été fixées sur un cadre en PVC afin de faciliter leur mise en place. L'installation et le réglage des antennes a eu lieu durant la vidange du 6 mai.

Le réglage de la distance de détection des antennes fût délicat. En effet de nombreux effets parasites ont eu pour effet de diminuer fortement la distance de détection (notamment présence de métal à proximité). Un réglage afin d'obtenir la distance de détection maximale possible in situ a été préconisé. Au final une distance de détection de 30 cm a été obtenue (avec les marques de 32 mm), distance minimale acceptable pour obtenir une détection fiable. L'utilisation des marques de 23 mm a été abandonnée car leur détection n'était pas assurée (distance de détection inférieure à 20 cm).

Durant la vidange du 6 mai les agents du SD03 de l'ONEMA ont procédé à un test de capture de poissons présents dans les bassins de la passe. Le test s'est avéré peu concluant, peu de poissons étant présent dans les bassins ce jour là. Il a donc été décidé de se procurer les poissons en procédant à des pêches électriques à l'aval immédiat du pont barrage de Vichy.

La première pêche de récupération des poissons s'est déroulée le 13 mai. S'étant restreint à l'utilisation des marques de 32 mm, les chevesnes, hotus et barbeaux (espèces très présentes à cette époque de l'année dans la passe) dans une gamme de taille allant de 15 à 30 cm ont été visés. Malheureusement la pêche effectuée à l'aval du pont barrage n'a

permis de récupérer que 4 poissons dans la gamme de taille recherchée et 1 de taille très supérieure (chevesne de 425 mm). Face à cet échec, les agents du SD03 ont décidé d'aller se procurer du poisson à proximité de la station d'épuration de Vichy. Au final, pour ce premier jour de pêche 21 poissons ont été marqués et libérés.

La stratégie a ensuite été de récupérer des poissons lors des pêches réseaux de l'ONEMA, d'assurer le transport et la stabulation des poissons jusqu'à la passe. 3 pêches ont eu lieu, la première le 19 mai sur le Litroux (récupération de 35 poissons) et les deux suivantes le 26 mai sur l'Aumance et le Briandre (récupération de 50 individus).

Les premiers résultats concernant les poissons détectés laissaient penser qu'ils étaient mal détectés en dévalaison. En effet les observations faites sur poissons dévalant depuis l'observatoire montrent qu'ils passent avec une vitesse élevée dans la fente avec, souvent, une orientation du corps qui diminue la distance de détection. Les observations effectuées sur les poissons en montaison ne laissent pas de doute sur l'efficacité du dispositif : les poissons passent lentement et leur corps est orienté de façon idéale pour la détection. L'antenne de LOGRAMI (câble de 2,5 mm²) a été remplacée par une antenne utilisant un câble de 6 mm² assurant une distance de détection plus grande (30 cm en 2,5 mm² ; 50 cm en 6 mm²). Le changement d'antenne a eu lieu le 27 mai.

Le démontage du système de détection s'est déroulé le 10 juin, soit 2 semaines après le dernier lâcher de poissons marqués. Il a nécessité la présence de 2 agents sur la journée.

III.3.2 Déroulement du marquage

Au total, 106 poissons ont été équipés de transpondeurs avec une majorité de chevesne (83%) (Figure 31).

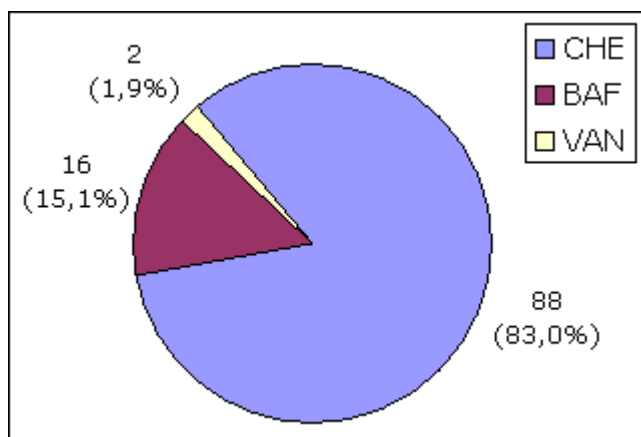


Figure 31 : Proportion des espèces utilisées pour le marquage.

Les 2 vandoises ont été récupérées par accident (confusion avec les chevesnes lors des pêches). Il n'a malheureusement pas été possible de récupérer de hotus, espèce pourtant très présente dans la passe à cette période de l'année.

Le Tableau 1 résume la biométrie par espèce des individus marqués :

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques des poissons marqués par espèce.

	Chevesne		Barbeau		Vandoise	
	Lt (mm)	Poids (g)	Lt (mm)	Poids (g)	Lt (mm)	Poids (g)
Moyenne	228	146	196	74	198	82
Médiane	218	112	193	70	198	82
Ecart type	44	117	22	30	19	24
Min	164	43	169	43	176	55
Max	425	948	249	148	219	108

Si le chevesne de 425 mm est exclu (marqué lors de la première pêche par crainte de ne pouvoir se procurer assez d'individus), la taille des poissons marqués oscille entre 164 mm et 315 mm. La taille moyenne des individus oscille entre 196 mm pour les barbeaux et 228 mm pour les chevesnes. Il y a une différence significative entre la taille des chevesnes et des barbeaux (ANOVA, $F=7,86$, $p<0,05$), les chevesnes étant plus grand que les barbeaux.

Le marquage a été réalisé sur des lots de 5-6 individus en mélangeant les espèces. Ce choix est justifié par les observations réalisées dans les bassins depuis l'observatoire. Il y a rarement plus de 10 individus des espèces concernées au sein d'un même bassin en même temps et le déplacement des poissons ne suit pas de règle précise (parfois seuls, parfois en petit bancs uni-spécifiques, parfois en petits bancs pluri-spécifiques).

La manipulation des poissons pour effectuer la biométrie et le marquage a duré environ 2,5 minutes par individu (hors anesthésie). Une fois l'opération réalisée les poissons sont placés dans des viviers de réveil.

21 lots ont été réalisés. Chaque lot a eu un temps minimum de récupération de 25 minutes après le marquage (moyenne : 1h12; min : 0h25; max : 2h36) pour assurer un réveil complet des poissons. Après le temps de récupération les poissons étaient actifs, certains effectuant des sauts pour tenter de s'échapper des viviers, deux poissons ont même réussi à s'échapper du vivier pendant leur transport jusqu'au point de lâcher (lot 13). Les lots ont tous été lâchés dans la zone 1 des bassins. 2 lots ont été lâchés dans le bassin en amont immédiat de l'antenne de LOGRAMI (bassin 8), les autres lots ont été lâchés dans le bassin 4 (cf. Figure 13). Le point de lâcher à proximité de l'antenne de LOGRAMI a été abandonné car l'antenne étant placée à l'aval de la fente elle détecte les poissons dans la zone 1 en quasi-continu. Ceci parasite la détection d'autres poissons, le système ne pouvant détecter deux marques à la fois.

III.3.3 Efficacité du système de détection

L'efficacité du système de détection est évaluée en comparant le nombre de poissons détectés par rapport au nombre de poissons lâchés. Au total se sont 104 poissons qui ont été lâchés et 78 qui ont été détectés, soit une efficacité de détection de 75%.

L'antenne de LOGRAMI ayant été remplacée pendant les manipulations, il y a deux périodes de détection avec des efficacités différentes. Durant la première période (13 au 27 mai), 56 poissons ont été lâchés et 35 détectés soit une efficacité de détection de 62,5%. Après le 27 mai, 48 poissons ont été lâchés et 43 ont été détectés soit une efficacité de détection de 89,6%. Ce gain de 27,1% lié à l'amélioration de la détection de l'antenne aval confirme que ce sont bien les poissons en dévalaison que le système avait du mal à repérer.

III.3.4 Comportement des poissons après lâcher

Suite à leur lâché, les poissons ont adopté des comportements très variables :

- dévalaison : au bout de quelques secondes jusqu'à plus de 12,5 heures après lâché,
- montaison : au bout de 14 minutes jusqu'à plus de 65 heures après lâché,
- dévalaison puis montaison : la montaison peut se produire dans la nuit suivant la dévalaison jusqu'à 8 jours après dévalaison,
- successions de montaisons et dévalaisons : à eu lieu sur plusieurs jours.

Sur les 78 poissons détectés durant la période de l'expérimentation :

- 40 ont dévalé sans jamais revenir, soit 51,3% de l'effectif,
- 22 sont montés directement, soit 28,2% de l'effectif,
- 16 ont dévalé puis sont remontés, soit 20,5% de l'effectif.

Les analyses portent donc sur le comportement de 38 individus.

Certains individus sont détectés par la même antenne à quelques secondes d'intervalle. Cela correspond vraisemblablement à la mise en place d'un comportement grégaire lors du franchissement des bassins. Ce comportement a été détecté aussi bien pour le chevesne que pour le barbeau et concerne des individus d'une même espèce. Ce ne sont pas forcément des individus issus d'un même lot qui ont adopté ce comportement.

Après le démontage du système de détection l'antenne de LOGRAMI a continué à fonctionner. Des enregistrements de poissons ont été consignés par le dispositif TIRIS. En tout, jusqu'au 12/10/2011, 5 individus ont été détectés. Certains ont été détectés sur une longue période, laissant penser qu'ils utilisent la passe comme un habitat à part entière.

A l'issue de l'ensemble des éléments rassemblés nous ne traiterons que des données concernant les temps de séjours des deux espèces dans les bassins. Les difficultés de détection ne permettent pas de traiter d'indices de franchissement.

III.3.5 Analyse du temps de séjour dans les bassins

Les poissons n'ayant pas toujours été détectés par toutes les antennes du système placé sur les deux bassins suivis, un tri des données récoltées a été effectué. Nous n'avons gardé que les temps de séjours des poissons détectés par les trois antennes. Au final, nous disposons donc de 33 couples de données, 31 concernant des poissons en montaison et 2 concernant des poissons en dévalaison. Les temps de séjours des poissons qui ont effectué plusieurs allers-retours ont été retenus. Aucune donnée concernant les vandoises n'a été retenues.

III.3.5.1 Comparaison des temps de séjours dans les bassins de suivi

III.3.5.1.a Analyse tous scénarios de franchissement confondus

Il y a une très grande variabilité des temps de séjours pour chaque configuration et au sein des 2 espèces étudiés (Figure 32).

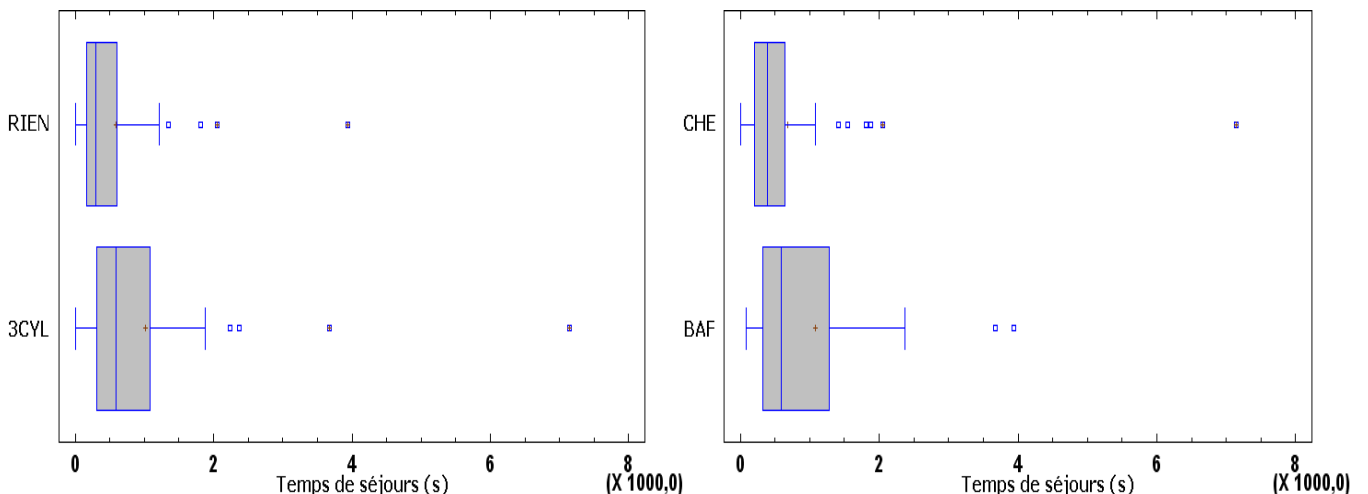


Figure 32 : Temps de séjour des poissons marqués dans les bassins tous scénarios confondus. A gauche, en fonction de l'espèce ; à droite en fonction de la configuration.

Quelque soit l'espèce considéré, **les temps de séjours de la configuration avec trois cylindres en triangle sont significativement plus importants que ceux de la configuration sans cylindre** (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Ils varient de 8s à plus de 1h05 pour la configuration sans cylindre et de 7 s à plus de 1h59 pour la configuration avec trois cylindres. 50% des poissons passent 4 min 59 s dans le bassin sans cylindre et presque le double de temps soit 9 min 49 s dans le bassin avec 3 cylindres.

Les différences sont presque significatives entre les temps de séjours des différentes espèces (Mann-Whitney, $p=0,073$). Les barbeaux ont tendance à rester plus de temps dans les bassins que les chevesnes.

III.3.5.1.b Poissons franchissant le bassin d'observation en montaison (AB)

Les temps de séjours des poissons ayant franchi le bassin en montaison sont très hétérogènes (Figure 33). Ils varient de 8 s à plus de 1h05 pour la configuration sans cylindre et de 7 s à plus de 1h59 pour la configuration avec trois cylindres.

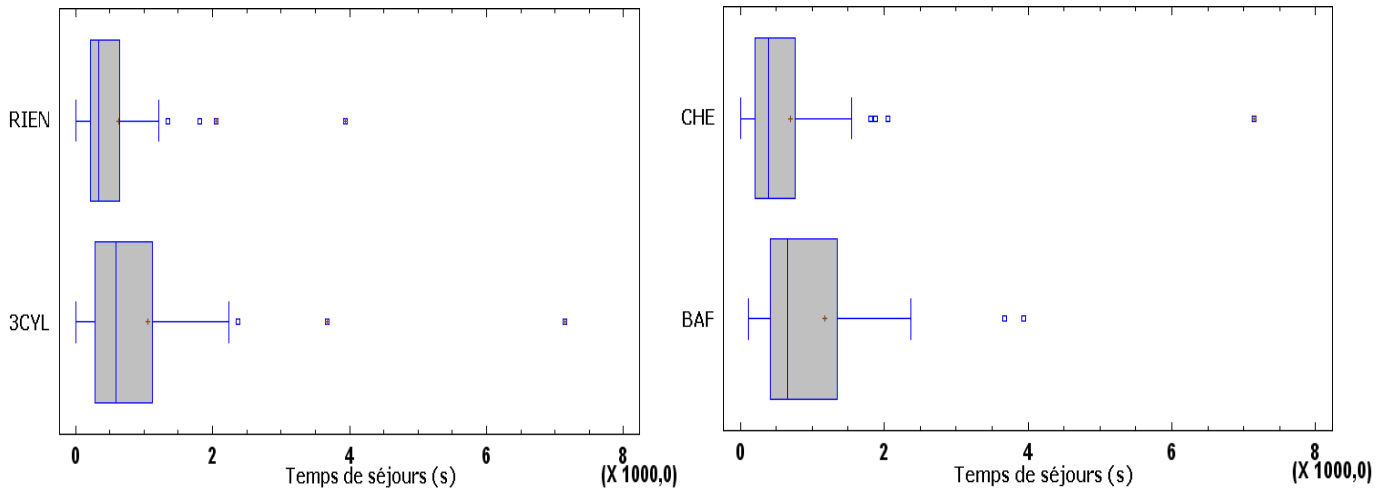


Figure 33: Temps de séjour des poissons qui ont franchi les bassins en montaison pour les deux configurations considérées et les deux espèces testées.

Quelques soit l'espèce considérée, les différences sont presque significatives entre les deux configurations (Mann-Whitney, $p=0,063$). Les temps de séjours des poissons dans la configuration avec trois cylindres en triangle semblent plus importants que ceux de la configuration sans cylindre. 50% des poissons passent 5 min 33 s dans le bassin sans cylindre et presque le double de temps soit 9 min 49 s dans le bassin avec 3 cylindres.

Les barbeaux restent significativement plus de temps dans les bassins que les chevesnes (Mann-Whitney, $p<0,05$). Ceci peut être expliqué par une différence de comportement dans les bassins, les barbeaux se stabilisant près du fond et les chevesnes naviguant plutôt en pleine eau ou par une différence des tailles des poissons marqués, les barbeaux étant plus petits ils ont plus de difficultés à évoluer à travers les bassins et mettent donc plus de temps à franchir.

III.3.5.1.c Poissons franchissant le bassin d'observation en dévalaison (CD)

Seulement deux individus ont été détectés en dévalaison. Ils ont passés entre 12 s et 1 min 20 s dans le bassin sans cylindre et entre 6 min 29 s et 10 min 1s dans le bassin avec trois cylindres.

III.3.5.2 Temps de transit entre les bassins 9 et 3

III.3.5.2.a Montaison :

22 trajets allant des bassins B9 à B3 ont été réalisés par 21 individus. Les temps de transit pour franchir les 5 bassins varient entre 6 min 33 s et plus de 1h36. Le temps de séjour médian par bassin est de 4 min 46 s. La médiane du temps de séjour des poissons franchissant le bassin 3 étant de 5 min 33 s, nous obtenons des résultats cohérents à l'échelle de la passe.

Si l'on extrapole ces résultats à l'ensemble de la passe, cela signifie que des barbeaux et des chevesnes de 20 cm mettent environ 1heure 45 min pour franchir la totalité des 22 bassins de la passe de Vichy.

III.3.5.2.b Dévalaison :

3 trajets B3/B9 ont été réalisés par 2 individus. Les temps de transit pour franchir les 5 bassins varient entre 9 min 47 s et 15 min 11 s. On obtient un temps de séjour par bassin compris entre de 45 s et 3 min 2 s. Les temps de séjours des poissons dévalant le bassin 3 étant compris entre 12 s et 1 min 20 s, nous obtenons donc des résultats cohérents à l'échelle de la passe.

De plus on constate que les poissons dévalant restent moins de temps dans les bassins que les poissons en montaison.

III.3.6 Conclusions sur le suivi des poissons marqués

Le suivi par le système des antennes de détection TIRIS de chevesnes et de barbeaux marqués a permis d'observer :

- que pratiquement 40% des poissons marqués franchissaient la totalité de l'ouvrage,
- des comportements de montaison et de dévalaison dans la passe,
- des temps de séjours dans les bassins relativement variables avec 50% des poissons qui séjournent moins de 4 min 50 s par bassin et une différence significative mais peu importante entre les deux configurations

Extrapolés à l'ensemble de la passe (22 bassins), on obtient des temps médians de franchissement de l'ordre de 1h45 pour des poissons de 20 cm. En utilisant les résultats des suivis vidéo qui sont cohérents avec ceux du suivi des poissons marqués, on peut estimer des temps médians de franchissement de la passe pour d'autres espèces :

- 10 minutes pour le saumon,
- 20 minutes pour la brème,
- 40 minutes pour le hotu.

III.4 Comparaison avec les résultats obtenus dans la maquette

Certains éléments acquis pendant l'étude comportementale des poissons dans les bassins de la passe de Vichy peuvent être comparés avec ceux acquis durant les tests d'efficacité de différentes configurations de passe à fentes verticales sur la maquette du laboratoire (**CORNU, 2012**). Ainsi, il est possible d'appréhender l'effet d'échelle qui se produit, notamment sur la taille des recirculations utilisées par les poissons lors de leurs déplacements.

Une différence géométrique importante est à noter entre la maquette et la passe de Vichy : la passe de Vichy possède des seuils de fond.

Les résultats de Vichy ont été comparés avec ceux de la configuration petite largeur de la PAP $\frac{1}{4}$ pour les configurations sans cylindre et avec trois cylindres en triangle obtenus avec les chevesnes et les truites.

Le plus pertinent aurait été de comparer les résultats obtenus pour des espèces similaires, toutes les espèces n'adoptant pas le même comportement dans les bassins. Malheureusement très peu de chevesnes et de truites ont été observés à Vichy.

III.4.1 Comportement général dans les bassins

Dans toutes les tests et les suivis effectués lors de ces expérimentations, il apparaît que la montaison des poissons au sein d'une passe est un processus complexe alliant des actions de montaison, de dévalaison et de stabulation. Des comportements grégaires de certaines espèces lors du franchissement des bassins ont pu être mis en évidence.

III.4.2 Première zone de passage après franchissement en montaison de la fente aval

La zone la plus fréquentée après franchissement de la fente aval est la zone 1 pour toutes les expérimentations (Figure 34). Les autres trajectoires sont anecdotiques. La mise en place de cylindres influence peu le choix des poissons.

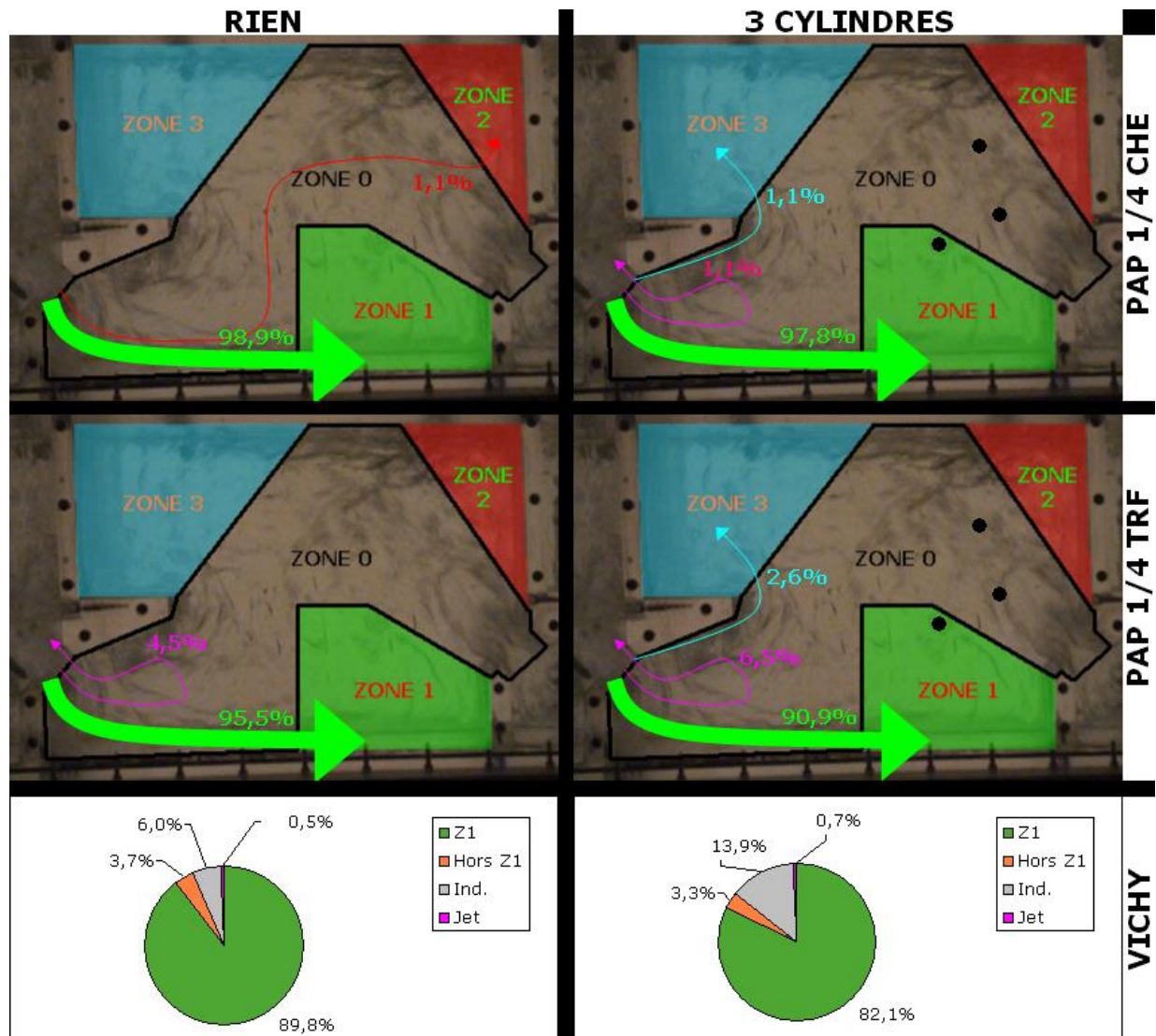


Figure 34 : Comparaison de la première zone de passage des poissons pour les expérimentations considérées.

Les observations faites sur la PAP ¼ de poissons percutant le petit déflecteur juste après qu'ils aient franchi la fente ne sont pas liées à l'effet d'échelle puisque que des observations similaires ont été réalisées à Vichy.

Lors de leur entrée dans le bassin les poissons cherchent à quitter le jet principal, la zone la plus proche et située dans la direction qu'ils empruntent pour franchir est la zone 1.

III.4.3 Dernière zone utilisée avant franchissement du bassin en montaison

La zone 1 est la zone majoritairement fréquentée par les poissons avant de quitter le bassin en montaison dans la PAP ¼ (Figure 35). La forte proportion d'indéterminé ainsi que l'utilisation d'une zone créée par le seuil de fond dans la passe de Vichy parasite la comparaison.

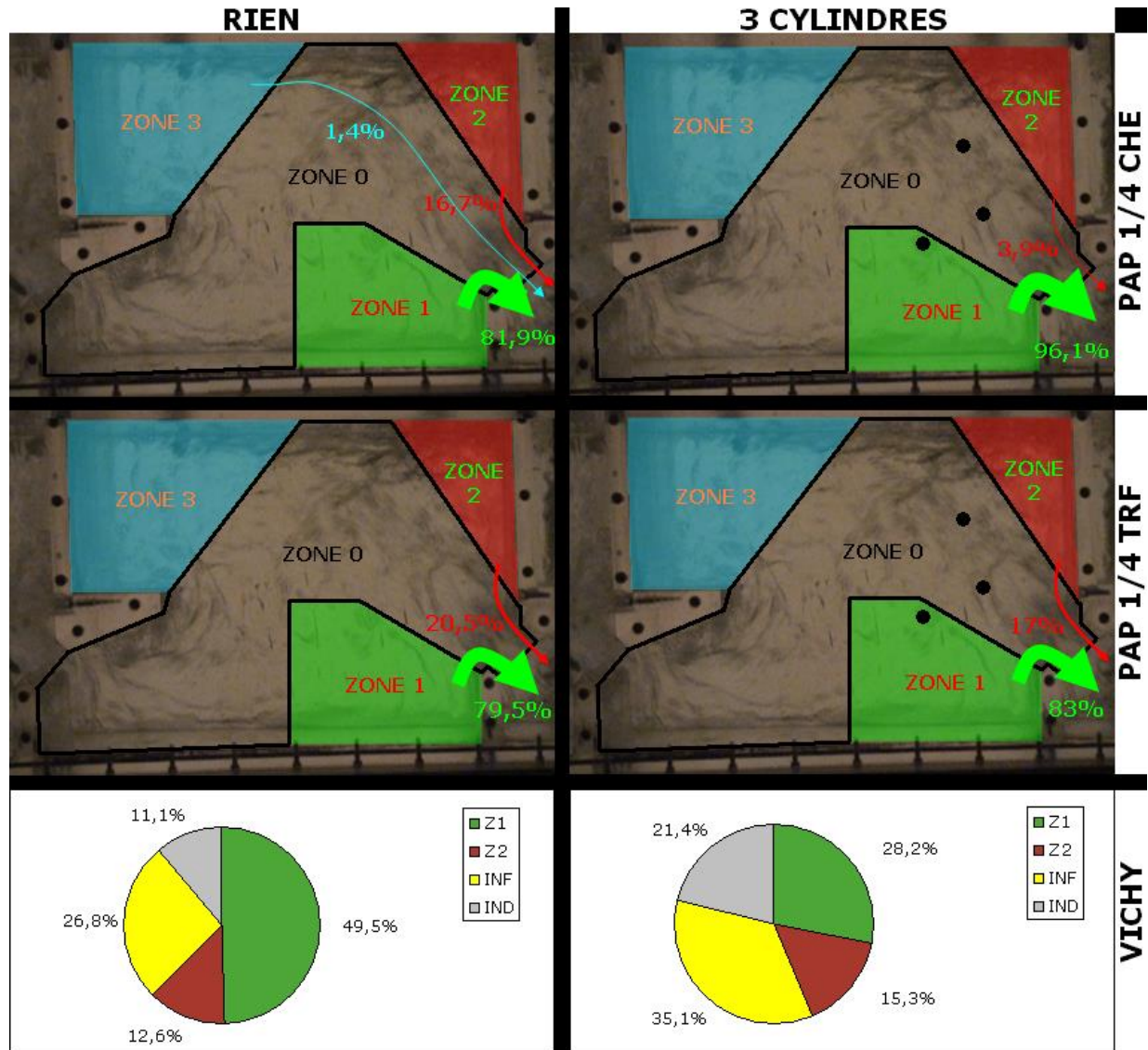


Figure 35 : Comparaison de la dernière zone de passage des poissons pour les expérimentations considérées.

La zone 1 reste toutefois une zone très fréquentée par les poissons avant montaison. Il semble aussi que la zone 2 soit utilisée de façon similaire par les poissons excepté dans le cas des chevesnes pour la configuration avec trois cylindres.

III.4.4 Temps de séjour

III.4.4.1 Cas de poissons ayant franchi le bassin (scénario AB)

Les temps de séjours des poissons ayant franchi le bassin sont très hétérogènes (Figure 36).

La comparaison entre les résultats obtenus avec les truites et les chevesnes met en évidence une différence interspécifique dans les temps de séjours qui est liée à une différence de comportement dans les bassins. Les résultats obtenus sur Vichy par l'intermédiaire des suivis vidéo et TIRIS confirment ces différences interspécifiques. De plus les valeurs extrêmes sont du même ordre de grandeur : de 1,4 s à 28 min 22 s pour la PAP ¼ et de 3,2 s à 22 min 27 s pour Vichy.

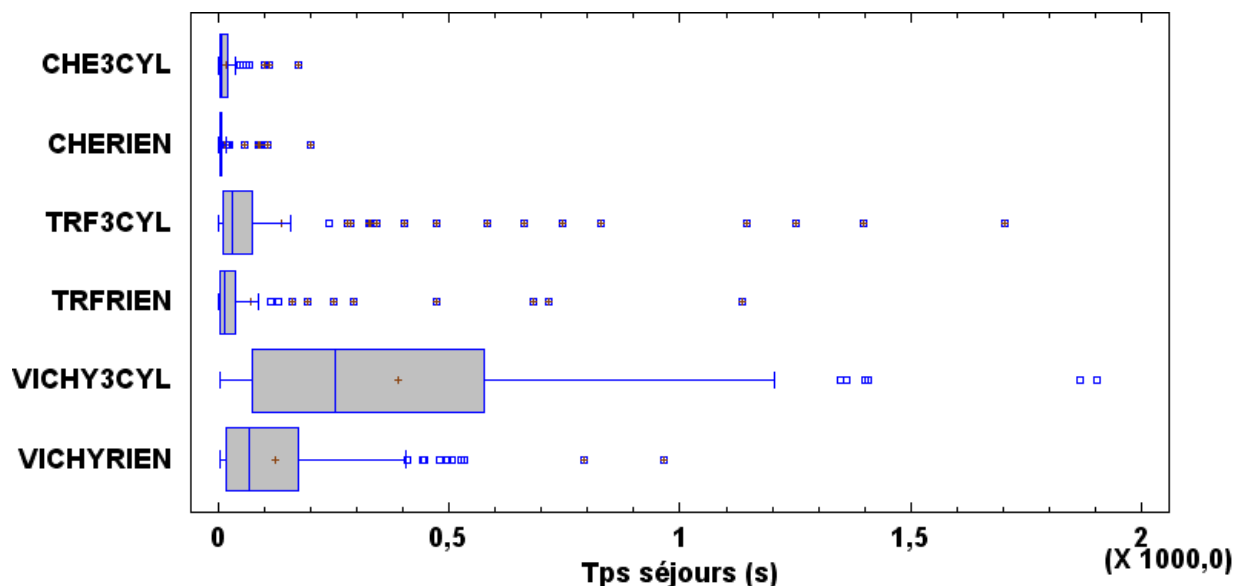


Figure 36 : Comparaison des temps de séjours des poissons ayant franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.

Il y a des différences significatives entre les temps de séjours mesurés dans la maquette et ceux mesurés dans la passe de Vichy (Mann-Whitney, $p < 0,05$). **Les temps de séjours obtenus dans l'étude sur la passe à échelle 1 sont plus longs que ceux des études menées sur la PAP ¼.**

L'effet des cylindres sur le temps de séjour des poissons est statistiquement significatif pour toutes les études (Mann-Whitney, $p < 0,05$). **Pour les espèces rencontrées et pour les deux échelles étudiées la mise en place de 3 cylindres en triangle dans les bassins augmente le temps de séjour des poissons qui franchissent le bassin.**

III.4.4.2 Cas des poissons n'ayant pas franchi le bassin (scénario AD)

Les temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin sont très hétérogènes (Figure 37).

La comparaison entre les résultats obtenus avec les truites et les chevesnes met en évidence une différence interspécifique dans les temps de séjours qui se traduit par une différence de comportement dans les bassins. Les résultats obtenus sur Vichy confirment ces différences interspécifiques. De plus les valeurs extrêmes sont du même ordre de grandeur : de 1,3 s à 50 min 53 s pour la PAP ¼ et de 0,8 s à 36 min 30 s pour Vichy.

Il y a des différences significatives entre les temps de séjours mesurés dans la maquette et ceux mesurés dans la passe de Vichy (Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Les temps de séjours obtenus dans l'étude sur la passe à échelle 1 sont plus longs que ceux des études menées sur la PAP ¼.

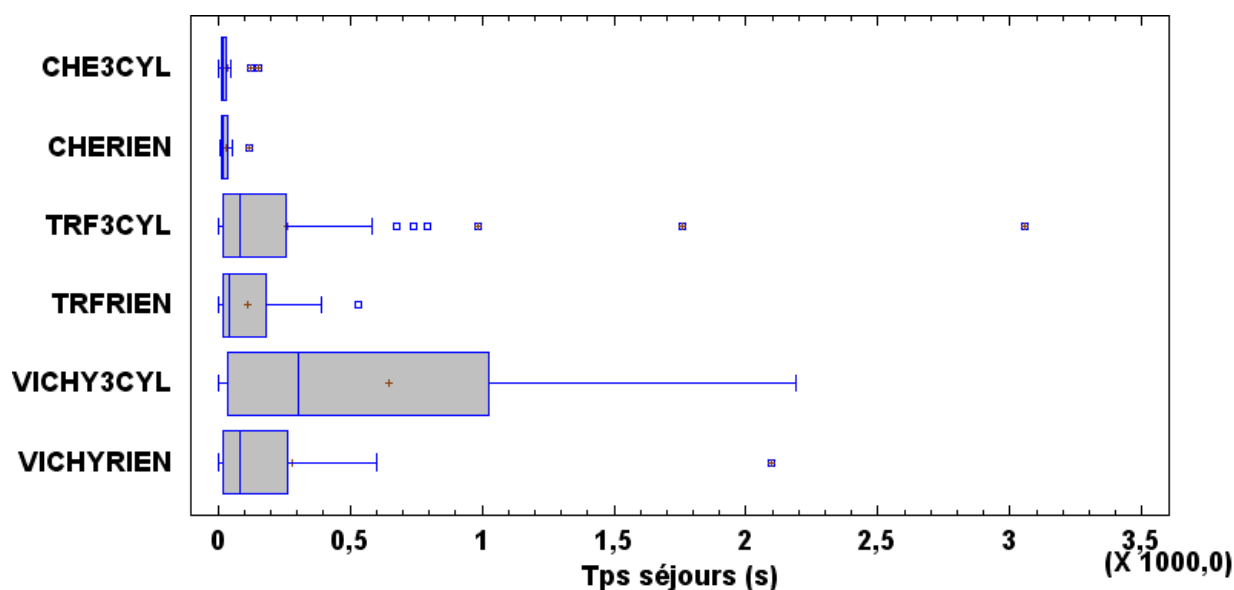


Figure 37 : Comparaison des temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.

L'effet des cylindres sur le temps de séjour des poissons n'est pas statistiquement significatif pour toutes les études (CHE :Mann-Whitney, $p=0,84$; TRF : Mann-Whitney, $p=0,22$; VICHY : Mann-Whitney, $p=0,17$).

Pour les espèces rencontrées et pour les deux échelles étudiées la mise en place de 3 cylindres en triangle dans les bassins n'a pas d'effet sur le temps de séjour des poissons qui ne franchissent pas le bassin en montaison.

III.4.4.3 Comparaison entre les poissons qui ont franchi le bassin et ceux qui ne l'ont pas franchi en montaison (scénarios AB/AD)

Les temps de séjours des poisson qui ont franchi le bassin et de ceux qui ne l'ont pas franchi pour les différentes expérimentations toutes configurations confondues sont comparés.

Pour les deux études menées sur la PAP $\frac{1}{4}$, la différence entre les temps de séjours des poissons ayant effectués les scénarios AB et AD est statistiquement significative (Mann-Whitney, $p<0,05$). Par contre l'analyse statistique ne décèle pas de différences significatives pour les résultats obtenus à Vichy (Mann-Whitney, $p=0,56$).

III.4.4.4 Cas des poissons ayant franchi le bassin en dévalant (scénario CD)

Les temps de séjours des poissons ayant dévalé le bassin sont hétérogènes (Figure 38).

La comparaison entre les résultats met en évidence que les temps de dévalaisons sont proches pour toutes les espèces considérées et pour les deux échelles étudiées. La majorité des valeurs se trouvent dans la fenêtre : 2,8 s (premier quartile TRF3CYL) / 39 s (troisième quartile VICHY3CYL).

Il y a des différences significatives entre les temps de séjours mesurés dans la maquette et ceux mesurés dans la passe de Vichy (Mann-Whitney, $p<0,05$).

Les temps de séjours obtenus dans l'étude sur la passe à échelle 1 sont plus longs que ceux des études menées sur la PAP $\frac{1}{4}$.

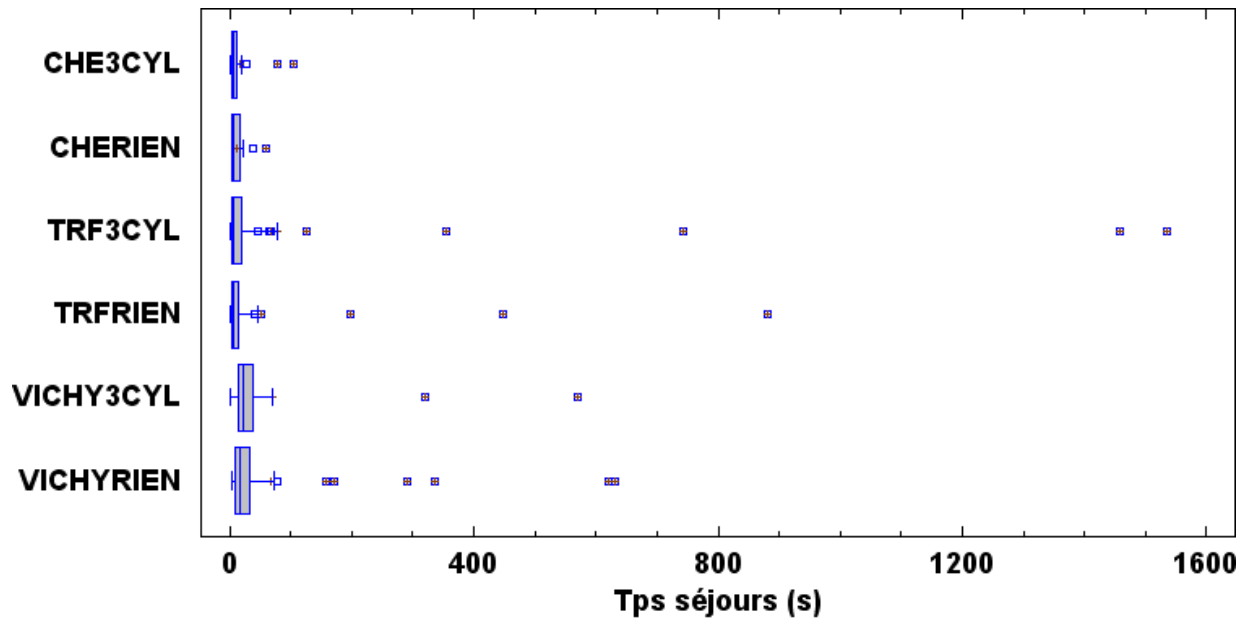


Figure 38 : Comparaison des temps de séjours des poissons n'ayant pas franchi le bassin en montaison pour les différentes expérimentations.

L'effet des cylindres sur le temps de séjour des poissons n'est pas statistiquement significatif pour toutes les études (CHE :Mann-Whitney, $p=0,63$; TRF : Mann-Whitney, $p=0,61$; VICHY : Mann-Whitney, $p=0,57$).

Pour les espèces rencontrées et pour les deux échelles étudiées la mise en place de trois cylindres en triangle dans les bassins n'a pas d'effet sur le temps de séjour des poissons qui dévalent le bassin.

IV Discussion

IV.1 Bilan

IV.1.1 Suivi vidéo

L'étude avait pour objectif de comparer deux configurations de bassin. La comparaison des indicateurs retenus dans les travaux menés sur la PAP ¼ a été recherchée. Ne contrôlant pas la quantité de poisson arrivant dans le système la comparaison en terme d'efficacité est impossible seule la comparaison du comportement des poissons dans le bassin en fonction du scénario est réalisable.

La trajectoire des poissons dans le bassin ainsi que leurs temps de séjour en fonction de leurs mouvements entre bassins a été étudiée.

En choisissant d'observer les poissons via l'observatoire, il a été impossible d'étudier les trajectoires des poissons dans l'intégralité du bassin. Les observations étant possible jusqu'à 1 m de la vitre, l'étude a été cantonnée à l'observation de la zone 1.

L'étude vidéo ne peut avoir lieu qu'avec une turbidité faible de l'eau. Dans le cas d'une turbidité moyenne seule l'étude du temps de séjour des poissons dans le bassin est réalisable. En cas de forte turbidité aucune étude n'est réalisable.

L'étude vidéo est particulièrement adaptée aux espèces de grande taille et au comportement non grégaire. Dans le cas de passages en bancs des observations complémentaire à des fins d'individualisation sont nécessaires. L'étude des poissons de petite taille est très compliquée car l'individualisation est délicate et les espèces rencontrées adoptaient un déplacement en banc.

IV.1.2 Suivi TIRIS

L'étude avait pour objectif de comparer deux configurations de bassin.

Seule la comparaison des temps de séjours dans bassins a été réalisée. Une comparaison plus poussée aurait pu être effectuée en installant d'autres antennes dans les bassins. Le choix s'est porté sur l'étude de petits individus, en complément du suivi vidéo. Un suivi sur des individus de taille supérieure aurait aussi parfaitement convenu. Il paraît cependant délicat d'envisager ce type de suivi pour des poissons de taille inférieure à 10 cm, les marques étant assez volumineuses.

Le principal souci a été de se procurer le matériel biologique nécessaire à l'étude. L'idée de se procurer du poisson directement dans les bassins paraissait être, à priori, la meilleure option. Seulement les effectifs rencontrés lors de la vidange étaient trop faibles. Des pêches réseaux de l'ONEMA ont permis de récupérer des poissons en quantité suffisante. Transport et stabulation des poissons ont été nécessaire.

Il est impératif d'effectuer un marquage sur un grand nombre d'individus afin d'être sûr de récupérer assez de données. La pêche électrique, le transport, la stabulation, l'opération de marquage, le changement des paramètres physicochimiques font que seule une faible proportion d'individus effectue un trajet en montaison dans les premières heures du marquage. Une partie des poissons dévalant a pu quitter la passe (perdue à jamais ?), d'autres ont effectué un trajet en différé, d'autres l'ont utilisé comme habitat (des détections ont eu lieu jusqu'à plusieurs mois après les lâchers par l'antenne de LOGRAMI).

Il est nécessaire de trouver la bonne distance nécessaire à la détection. Sur certains sites l'environnement est très perturbant pour le système si bien que le réglage de la distance de détection est subi. Tous les poissons ne sont pas détectés par toutes les antennes, ce qui laisse planer le doute sur les mouvements effectués par ceux-ci entre les bassins. Un tri des données est donc nécessaire, ce qui diminue encore le nombre de données utilisables.

IV.1.3 Comparaison d'échelles

Ces comparaisons nous ont permis d'appréhender l'effet d'échelle qui se produit entre les expérimentations en laboratoire et la réalité du terrain.

L'effet d'échelle ne modifie pas la première destination des poissons après leur entrée dans le bassin en montaison. Les poissons cherchent à quitter le jet et se réfugient en grande majorité dans la zone 1.

La comparaison entre échelles de la zone la plus favorable au franchissement est biaisée par l'ajout d'une zone particulière liée à une différence géométrique des bassins dans les tests effectués sur Vichy. **Toutefois la zone 1 reste une zone très utilisée pour les deux échelles considérées.**

L'étude des temps de séjours a mis en évidence que **les poissons restent plus de temps dans la passe à l'échelle 1 quelque soit le scénario considéré.** Cette observation peut être liée au rapport entre la taille moyenne des poissons et la taille des bassins de l'ordre 6 à 7 pour la PAP ¼ et de l'ordre de 10 à 15 pour la passe à l'échelle 1, ou liée au fait de la configuration particulière de la passe de Vichy avec un seuil de fond créant une zone particulière de stabulation des poissons qui n'existe pas dans la PAP ¼. Nous avons pu constater que les temps de séjours dans cette zone étaient relativement importants dans la passe de Vichy.

De plus **l'augmentation du temps de séjour des poissons ayant franchi le bassin constatée dans la maquette lorsque 3 cylindres sont positionnés dans les bassins se produit aussi dans la passe à l'échelle 1.**

IV.2 Perspectives

L'étude du comportement des poissons dans une passe à l'échelle 1 nous conforte dans la validation des résultats obtenus en laboratoire. En effet des phénomènes semblables se sont produits durant les essais en laboratoire et durant les observations in situ (première zone de passage, choc contre le petit déflecteur...).

L'effet d'échelle semble surtout avoir un effet sur les temps de séjours des poissons dans les bassins (plus long) mais l'allongement du temps de séjour des poissons dans le bassin avec trois cylindres a bien été détectée pour les deux échelles.

Le suivi réalisé a permis de ne suivre que le déplacement des poissons à proximité de la vitre, et donc dans la zone 1. Hors l'étude en laboratoire pointait une différence d'utilisation des différentes zones de stabulation, une différence de trajectoire au sein du bassin. Il serait intéressant de pouvoir suivre le déplacement des poissons dans l'intégralité du bassin en plaçant des caméras étanches à des emplacements stratégiques. Ce type de suivi a déjà été réalisé en laboratoire (**RODRIGUEZ et al, 2010**) et mériterait d'être testé in situ.

Le comportement des poissons au sein du bassin est différent entre les espèces étudiées. Il serait intéressant de pouvoir comparer le comportement de poissons de la même espèce entre les deux échelles.

Le comportement des petits poissons dans le bassin (Lt <15 cm) n'a pu être étudié. Pourtant des observations ont confirmé que ceux-ci effectuaient bien des actions de montaison entre les bassins. Il serait intéressant de trouver un moyen de suivre leur déplacement ou tout au moins d'évaluer leur temps de séjour dans les bassins.

BIBLIOGRAPHIE

CHAMBON F-M., 2008. Comparaison d'efficacité de montaison pour différentes configurations dans une passe à poissons à fentes verticales. Rapport de Master « Géo-hydrosystèmes Continentaux en Europe », Univ. Tours, France. 58 p. + annexes.

CORNU V., 2012. Analyse de l'efficacité de différentes configurations de passes à fentes verticales vis-à-vis du franchissement piscicole. Univ. Poitiers, Institut P prime, CNRS, ONEMA.

PAUTRIC M., 2003. Développement et test des capteurs et enregistreurs de transpondeurs TIRIS. Rapport de stage de Diplôme Universitaire, Université Claude Bernard, Lyon 1, 107 p.

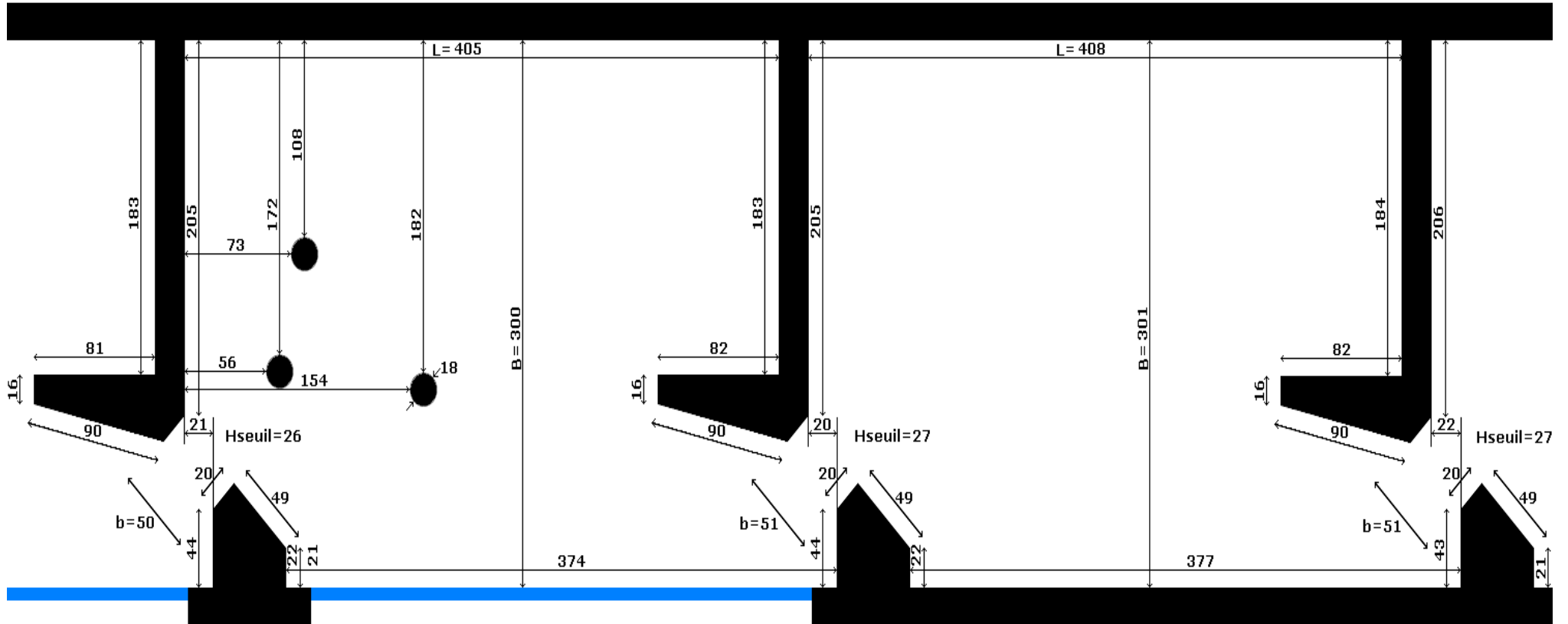
RODRIGUEZ A., BERMUDEZ M., RABUNAL J-R., PUERTAS J., DORADO J., PENA L., BALAIRON L., 2010. Optical fish trajectory measurement in fishways based on computer vision and Artificial Neural Networks. Journal of Computing in Civil Engineering. 1943-5487.0000092. 35 p.

WANG R-W., DAVID L., LARINIER M., 2010. Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 396, 02. 21 p.

Annexes

Annexe A : Dimension des bassins de la passe à poisson de Vichy utilisés lors de l'expérimentation.	50
Annexe B : Fiche de dépouillement vidéo Vichy.	51
Annexe C : Fiche de marquage TIRIS.	52

Annexe A : Dimension des bassins de la passe à poisson de Vichy utilisés lors de l'expérimentation.



Annexe B : Fiche de dépouillement vidéo Vichy.

Sp	Remarque	Bassin	Sc	Fente entrée			Zone entré	Fente sortie			Zone maj.
				Tentrée	G-D-B	Inf-Sup		Tsortie	G/D/B	Inf/Sup	

Annexe C : Fiche de marquage TIRIS.

MARQUAGE TIRIS

Date :	
Heure :	

	Espèce	Lt (mm)	P (g)	Marque	Heure lâcher
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					