
Apports de suivis comportementaux par biotélémétrie pour évaluer l'efficacité de l'échelle à poissons du barrage du Maka sur le Bocq

Auteur : Bourguignon, Sophie

Promoteur(s) : Ovidio, Michael; 881

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Année académique : 2015-2016

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/1598>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Apports de suivis comportementaux par biotélémétrie pour évaluer l'efficacité de l'échelle à poissons du barrage du Maka sur le Bocq

Mémoire présenté par Sophie Bourguignon

En vue de l'obtention du grade de Master en Biologie de la Conservation :
Biodiversité et Gestion



Promoteur : Dr. M. Ovidio

Co-directeurs : Dr. M. Ovidio et J-P. Benitez

(Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, Liège)

Maître de Stage : Dr. D. Sonny

(Bureau d'étude Profish Technology, Naninne)



RESUME

La plupart des cours d'eaux de Wallonie sont fortement fragmentés par les activités humaines dans le but de réguler les débits, de faciliter la navigation ou encore de produire de l'énergie. La présence de nombreux barrages et de leurs centrales électriques attenantes, perturbent les mouvements et les migrations de la faune piscicole. La mise en place de ces ouvrages sur les cours d'eau est donc responsable d'une régression, voire d'un déclin de certaines populations de poissons. Afin de remédier à ces problèmes, des échelles à poissons et des exutoires de dévalaison sont aménagés sur certains barrages prioritaires.

Notre étude se situe dans la prolongation d'un projet de restauration hydrogéomorphologique du Bocq (programme Life Walphy). En 2011, le site du barrage du Maka à Yvoir d'une échelle à poissons en rive droite, dont l'objectif est de rétablir la connectivité entre l'amont et l'aval du barrage. Une turbine « fish friendly » en vis d'Archimède y a été annexée. Un monitoring de la passe migratoire de montaison a été réalisé début 2013, mais très peu de poissons y ont été capturés, alors que sa position est stratégique, proche de la Meuse. Dans le but d'approfondir cette évaluation, notre expérience s'est déroulée d'octobre 2015 à juin 2016, en réalisant des suivis comportementaux avec des technologies de biotéléométrie. L'objectif est de déterminer les pourcentages d'attractivité de l'entrée de l'échelle ainsi que des taux de franchissement.

Le système de détection RFID (Radio Frequency IDentification) se compose de quatre antennes réparties à l'intérieur de l'échelle. Le système de détection radio installé au pied du barrage est complémentaire au premier. Lors de notre étude, N= 127 poissons ont été capturés et marqués avec des transpondeurs RFID dont N= 24 doublement marqués avec des émetteurs radio puis transloqués en aval du barrage. Notons que comme la turbine en vis d'Archimède n'était pas en fonctionnement pendant toute la durée du monitoring, notre étude n'est pas représentative d'un fonctionnement normal pour l'évaluation de l'attractivité. Ainsi, toutes espèces confondues, le taux d'attractivité corrigé (nombre d'individus détectés en aval de l'échelle sur le nombre d'individus détectés dans la zone du barrage) est de 44%. Dans le meilleur des cas, la truite la plus met 1h pour franchir l'échelle, l'ombre 2h et le barbeau 26h. Sur les nombres connus de salmonidés et de cyprinidés déversés en aval du barrage, les taux de franchissement corrigés (nombre d'individus qui ont franchi sur le nombre d'individus détectés en aval de l'échelle) sont respectivement de 78% et de 7%. Les moins bons taux obtenus pour les cyprinidés peuvent résulter du gradient de vitesse de courant plus important dans les échancrures amont de la passe qui sont proches de leur vitesse de nage en sprint. En effet les cyprinidés ne possèdent pas les mêmes capacités de nage que les salmonidés.

Nous en concluons que l'attractivité de l'échelle à poissons pourrait être améliorée et que des solutions techniques sont envisageables pour diminuer la vitesse d'écoulement de l'eau dans les échancrures dans le but d'augmenter l'efficacité pour les cyprinidés ou d'autres espèces aux capacités de nage moindres.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à l'intervention de plusieurs personnes, à qui je souhaiterais témoigner toute ma reconnaissance.

Je remercie en premier lieu le Prof. Pascal Poncin, pour m'avoir accueillie dans l'unité de Biologie du comportement.

Je voudrais remercier particulièrement le promoteur de ce mémoire, le Dr. Michaël Ovidio, pour son accueil au sein du LDPH-Ulg, pour son encadrement, ses relectures et pour ses conseils judicieux qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier Jean-Philippe Benitez, attaché de recherches du LDPH-Ulg pour son aide dans la rédaction, sa disponibilité et sa patience face à mes nombreuses questions pour tout et pour rien.

Je tiens à remercier vivement le Directeur du bureau d'étude Profish Technology, Damien Sonny, pour m'avoir intégrée dans son équipe dans le cadre de la réalisation de l'étude. Un grand merci aussi à Watthez Q. et Roy R. (biologistes chez Profish) qui m'ont apporté de nouvelles connaissances sur le travail de terrain et pour les séances de bricolage.

Je remercie les membres du SPW-DCENN qui ont contribué d'un point de vue administratif et/ou lors des pêches électriques réalisées dans le cadre de mon mémoire: O. Detrait, C. Keulen, V. Paquay, B. Delecourt. Merci également à G. Rimbaud et A. Dierckx pour leur participation aux différentes pêches électriques à l'Ulg. Je tiens à remercier aussi l'équipe du CEFRA-Ulg pour l'acquisition de poissons de pisciculture.

Pour avoir accepté de faire partie de mon jury de mémoire, je remercie le Dr. Christian Michel, le Dr. Gilles Lepoint et Dr. Goeffrey Houbrechts.

Je remercie également Christelle Spronck, pour m'avoir citée dans ses remerciements lors de son mémoire l'an passé (rires). Plus sincèrement, merci de m'avoir changé les idées, de m'avoir écouté me plaindre et dire des aneries. Mais aussi merci parce que sans elle, je ne ferais pas ce mémoire.

Je remercie chaleureusement Cyril Lemoine, mon compagnon de vie mais aussi de galère pour cette dernière année scolaire, pour ses soutiens moral, intellectuel et bien d'autres.

C'est tout naturellement que je remercie mes parents, mon frère et mes grands-parents, qui malgré la distance, de France, m'ont toujours soutenue et encouragée. Et Parce qu'ils savent ce que représente ce mémoire pour moi, c'est à eux que je le dédie.

P.S.: Je voudrais remercier les poissons qui ont participé de loin ou de près à l'étude.

TABLE DES MATIERES

I. Introduction	1
1.2. Généralités	1
1.1.1. Continuité écologique et peuplements piscicoles.....	1
1.1.2. Les phénomènes de mobilité des poissons et profils migratoires	3
1.2. La Fragmentation des rivières	6
1.2.1. Définition, origines et impacts	6
1.2.2. Les ouvrages de montaison	8
1.2.3. Les ouvrages de dévalaison	9
1.3. Objectifs du mémoire	11
II. Matériel et méthodes	12
2.1 Présentation du site d'étude	12
2.1.1. Le Bocq	12
2.1.2. Le barrage de maka à yvoir	13
2.1.3. L'échelle à poissons	14
2.2. Dispositifs de détection des poissons	15
2.2.1. Système RFID (Radio Frequency Identification)	15
2.2.2. Système de télémétrie	18
2.2.3. Relevé de données	19
2.3. Capture et marquage des poissons	20
2.3.1. Méthode d'échantillonnage	20
2.3.2 Méthodes de Marquage	21
2.3.3. Variables environnementales.....	23
2.4. Communication	23
2.5. analyses statistiques	24
III. Résultats	25
3.1. Analyses des détections radio : comportements d'approches au barrage et attractivité de la passe	25
3.1.1 Attractivité et temps de recherche de l'entrée de l'échelle.....	25
3.1.2. Jours et heures d'arrivée dans la zone du déversoir.....	26
3.2. analyses des detections rfid et evaluation de l'efficacité de l'échelle	28
3.2.1 Données de franchissement.....	28
3.2.2. Rythmes de détections à l'échelle saisonnière	30
3.2.3. Rythmes de détections à l'échelle journalière	32
3.2.4. Analyse comportementale à l'entrée et au sein DE L'ECHELLE.....	35
3.2.4. Durées de franchissement de l'échelle à poissons.....	38
Discussion	40
Efficacité des méthodes utilisées	40
Approche du complexe barrage – echelle à poissons et rythmes saisonniers	42
Etude de l'efficacite de la passe a travers nos modeles biologiques	43
Temps de recherche et attractivité de la passe migratoire.....	43
Taux de franchissement	44
Temps de franchissement	45
Timing de passage à L'ECHELLE DU rythme nycthémeral	46
Analyses comportementales post-franchissement	47

Conclusion et perspectives 48

I. INTRODUCTION

1.2. GENERALITES

1.1.1. CONTINUITÉ ECOLOGIQUE ET PEUPELEMENTS PISCICOLES

La continuité écologique d'un cours d'eau se définit par la capacité de déplacement des organismes aquatiques vers les zones indispensables à leur cycle biologique (en particulier lors de la période de reproduction) ainsi que le bon déroulement du transport des sédiments et le bon fonctionnement des réservoirs biologiques. Elle constitue l'un des principaux critères qualité de bon état d'une rivière selon la Directive Cadre sur l'Eau (directive européenne 2000) (Rose 1974 ; Dynesius and Nilsson 1994).

Les rivières représentent des écosystèmes à 4 dimensions (longitudinale, verticale, latérale et temporelle). La dimension verticale correspond à l'écoulement des eaux superficielles vers les eaux souterraines et inversement. Concernant la continuité latérale, elle se fait des crêtes vers le fond de la vallée. C'est l'écoulement unidirectionnel des eaux partant des sources vers la mer, qui conditionne la répartition des êtres vivants et permet donc d'observer de l'amont vers l'aval, un gradient longitudinal. Pour la répartition des poissons, on parle de zonation piscicole Huet, 1949 pour les rivières de l'Europe de l'Ouest (Figure 1) : "Dans un territoire biogéographique déterminé, des eaux courantes comparables en largeur, en profondeur et de pente de même ordre, présentent des caractères biologiques analogues, particulièrement les populations piscicoles." (Règle des pentes ou "règle de Huet"). Il s'agit de la définition de quatre grandes zones de peuplements piscicoles qui se succèdent le long d'un cours d'eau. Il y a de l'amont vers l'aval, la zone à truites, la zone à ombres, la zone à barbeaux et la zone à brèmes (Huet, 1949). Les espèces dominantes sont celles dont les caractéristiques biologiques et les préférences écologiques sont les plus appropriés aux différents types d'habitats de la mosaïque fluviale (Townsend, 1989 ; Townsend et Hildrew, 1994). Autre modèle descriptif longitudinal expliquant le fonctionnement écologique des cours d'eau, le River Continuum Concept, introduit en 1980 par R.L. Vannote. Il intègre deux approches de la rivière, l'une provenant de l'ichtyologie et de l'hydrobiologie, l'autre de l'hydrophysique et de la géomorphologie. Le concept est basé sur l'organisation des populations du continuum fluvial autour de l'énergie cinétique du courant et de l'énergie biochimique des proies ou nutriments (Vannote et al., 1980) (Figure 1).

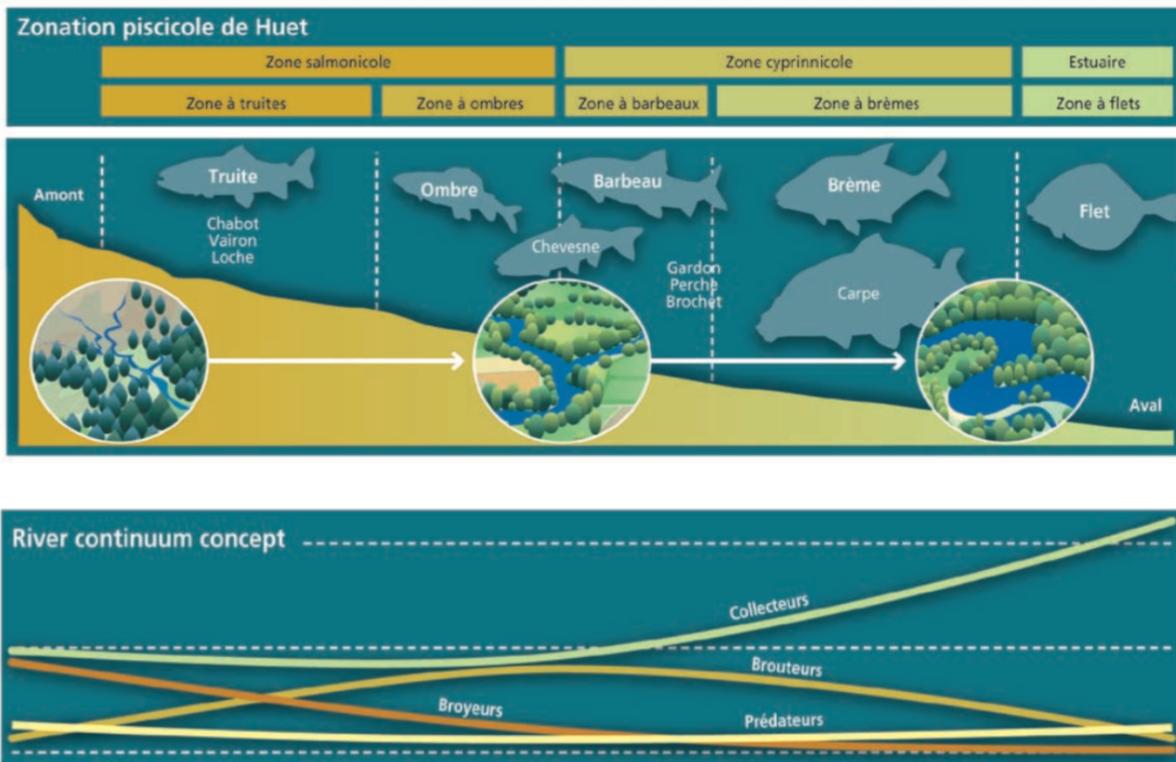


Figure 1 : Schéma représentatif de la correspondance entre la zonation piscicole de Huet (1949) et le River continuum concept de Vannote (1980) www.onema.fr

De même, les paramètres abiotiques ainsi que la flore et la faune locale influencent la présence des espèces de poissons (Ciolac 2004 ; Riley et al. 2009). Les zones à truites et à ombres sont caractérisées par des pentes supérieures à 2‰ et des eaux fraîches. C'est dans ces zones qu'a généralement lieu la reproduction des salmonidés. Les cyprinidés rhéophiles caractérisent la zone à barbeau : barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), la vandoise (*Leuciscus leuciscus*), goujon (*Gobio gobio*), chevaine (*Squalius cephalus*), hotu (*Chondrostoma nasus*). Dans les cours aval plus lents, soit la zone à brème, on trouve la bouvière (*Rhodeus cericeus*), la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*), le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), le gardon (*Rutilus rutilus*). On peut également trouver dans les deux dernières zones des carnassiers comme le brochet (*Esox lucius*) et la perche (*Perca fluviatilis*) (Figure 2)

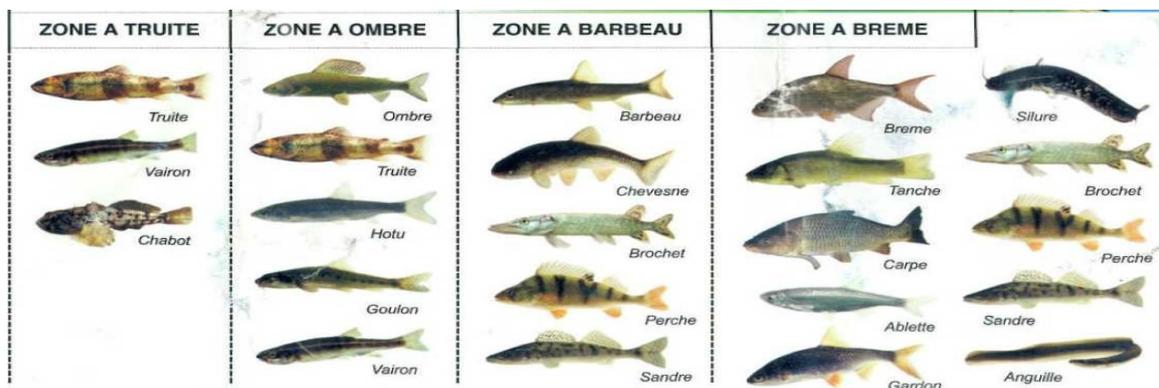


Figure 2 : Récapitulatif des différentes espèces présentes dans chaque zone

Le choix d'un habitat par les poissons est lié aux dépenses bioénergétiques. Un habitat optimal doit permettre de répondre aux besoins biologiques des espèces (efficacité maximale de capture des proies, risque de prédation minimal, faible dépense énergétique pour lutter contre le courant) (Philippart 1989) (SPW).

1.1.2. LES PHENOMENES DE MOBILITE DES POISSONS ET PROFILS MIGRATOIRES

Les poissons sont continuellement en mouvement pour des raisons liées à l'exécution de leurs fonctions vitales c'est-à-dire se nourrir, se reproduire et se protéger contre les prédateurs et les conditions défavorables du milieu. La plupart des poissons effectue des déplacements d'étendues variables dans les cours d'eau, de quelques centaines de mètres à des milliers de kilomètres. Les mouvements peuvent être longitudinaux entre l'amont et l'aval d'une rivière mais aussi latéraux, entre une rivière et ses affluents ou encore verticaux, entre le fond de la rivière et sa surface. Dans un milieu dynamique et multidimensionnel comme une rivière, l'utilisation de l'espace est une combinaison des déplacements actifs nécessitant une dépense en énergie et des déplacements passifs consistant en un transport par le milieu. Il existe deux grandes catégories de mouvements chez les poissons, les mouvements actifs et les mouvements de transport. (Ovidio & Philippart, 1999 *in* Baudoin et al., 2014). Parmi les mouvements actifs on distingue :

- Les migrations, ce sont des mouvements caractérisés en kilomètres, périodiques et saisonniers dans le cycle de vie d'une espèce et impliquant un aller-retour (parfois un simple aller pour les espèces dont les individus adultes meurent après la reproduction). C'est un déplacement entre deux habitats fonctionnels effectué de manière régulière et qui concerne la majeure partie de la population (Northcote, 1979).

Chaque espèce possède sa propre période de migration avec l'existence de variations interannuelles. Il y a une combinaison entre les facteurs biologiques internes des poissons et les facteurs externes prévisibles et imprévisibles (Ovidio et al. 1998). Dans les facteurs abiotiques rentrent principalement en jeu le débit, la température mais aussi la photopériode. Organismes poïkilothermes, le rythme métabolique des poissons dépend de la température de l'eau (Baras & Philippart 1999).

- Les déplacements ontogéniques sont des mouvements liés à la croissance des individus et à la modification de leurs besoins corporels (Gross 1987 ; Muška et al. 2012). Propres à chaque espèce, ils dépendent du stade de développement des individus (larve, alevin, juvénile, adulte) ainsi que de la maturité sexuelle (Figure 3).
- Les déplacements actifs à l'échelle du cycle journalier se font alternativement entre une zone propice à l'alimentation et une zone où le courant, plus faible, sert de zone de repos (Baras, 1992 ; Ovidio, 1999). L'ampleur de ces déplacements est influencée par la qualité de l'habitat mais aussi par l'espèce et son stade de développement.
- Les mouvements actifs non périodiques ne s'inscrivent pas dans le cycle de vie de

l'espèce, ils sont souvent induits par une perturbation du milieu (Maes et al. 2008) tel un événement de pollution, une sécheresse ou la construction d'une structure dans l'eau. Une perturbation du milieu permet aux espèces qui ne sont pas adaptées à ces nouvelles conditions physico-chimiques, de trouver une autre niche écologique où ils pourront survivre. Il s'agit d'un comportement adaptatif à des conditions écologiques particulières pour assurer une survie de l'individu (Lévêque, 2006, Baudoin et al., 2014).

Concernant les mouvements de transport, il peut s'agir :

- De déplacements forcés suite à des épisodes de fortes crues. Lorsqu'il y a un retour à la normale des conditions hydrologiques, les individus tentent de rejoindre leur site d'origine (Baras & Cherry 1990). Néanmoins ce phénomène de homing ne peut pas toujours s'effectuer du fait de la fragmentation de l'habitat.
- D'un déplacement passif des jeunes poissons suite à leur faible capacité natatoire qui ne leur permet pas de résister au courant. On parle de drift des juvéniles (Pavlov 1994). Ce phénomène facilite la dispersion et la répartition des individus en leur donnant la possibilité de s'établir dans des habitats favorables (Reichard et al. 2004).

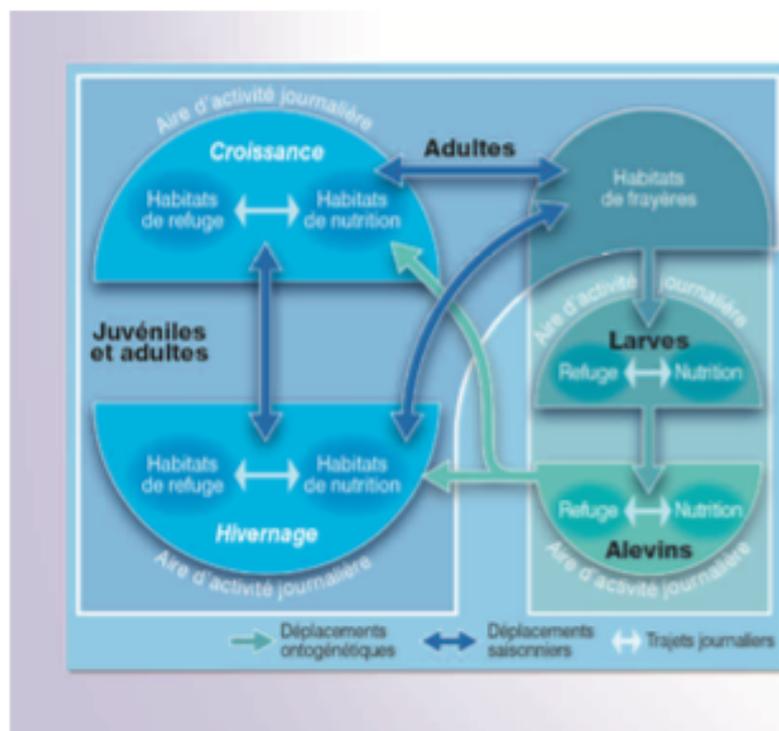


Figure 3 : Mouvements effectués chez les poissons au cours de leur cycle biologique (Baras, 1992)

Il existe différents types de profils migratoires. Ainsi, parmi les poissons effectuant les plus grandes distances de migration (plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres), on trouve les grands migrateurs amphibiotes anadromes comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) ou encore la truite de mer (*Salmo trutta*). Ces poissons vivent en mer et vont se reproduire en eau douce (Figure 4). On a aussi les amphibiotes catadromes telle l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Cette espèce vit en eau douce et dévalent vers la mer des Sargasses pour aller s'y reproduire (Figure 4).

Des espèces de poissons vivent la totalité de leur cycle biologique en eau douce, ce sont des espèces holobiotiques potamodromes. Parmi ces poissons, certains remontent les cours d'eau et les affluents à la recherche de zones de reproduction particulières indispensables pour le dépôt des œufs. Ils sont dits exigeants pour le substrat de ponte. La recherche d'un substrat favorable influence le choix du lieu de ponte des espèces et les déplacements qui y sont associés (Balon 1975 ; Mann 1996). La plupart des autres espèces holobiotiques potamodromes comme le gardon (*Rutilus rutilus*) ou la brème commune (*Abramis brama*) sont moins exigeantes pour le substrat de ponte (Phillipart et Ovidio, 1999). Néanmoins la remontée de ces espèces est importante pour éviter un isolement génétique des populations (Phillipart & Ovidio 2007 ; De Leeuw & Winter 2008).



Figure 4 : Cycle migratoire d'un poisson amphibiote anadrome (à gauche) – Cycle migratoire d'un poisson amphibiote catadrome (à droite).

1.2. LA FRAGMENTATION DES RIVIERES

1.2.1. DEFINITION, ORIGINES ET IMPACTS

La notion de fragmentation regroupe tous les phénomènes artificiels de morcellement de l'espace susceptibles d'empêcher une ou plusieurs espèces vivantes de se mouvoir comme elle le devrait en absence de facteurs de fragmentation.

La fragmentation des cours d'eau qui résulte de l'anthropisation par la construction de barrages pour les activités humaines est ancienne. Elle répond à divers besoins comme l'alimentation en eau potable, la production d'énergie, l'irrigation des cultures, la navigation et dans une moindre mesure, pour les activités de loisirs. Au cours du temps, l'aménagement du réseau hydrographique s'est vu matérialisé par la construction d'obstacles physiques à l'écoulement comme les seuils agricoles, les seuils résiduels, les écluses, les pompes de relevage et les barrages hydroélectriques avec les centrales attenantes (Figure 5).



Figure 5 : Classification des impacts basée sur la fragmentation des chenaux fluviaux et la régulation des débits des cours par les barrages dans 292 des plus grands réseaux hydrographiques du monde (Source : Nilsson et al., 2005) (a) – Barrage de Sainte Croix du Verdon en France (b) – Seuil sur la rivière du Bocq en Belgique (c).

Ces ouvrages ont pour impact une perturbation de la qualité hydromorphologique du milieu aquatique, la multiplication d'habitats lenticques et une banalisation progressive de la biodiversité (Nicolas, 2011) et une plus faible capacité d'adaptation de l'espèce aux modifications de l'habitat (Meldgaard et al. 2003 ; Yamamoto et al. 2004). Il y a à la fois, un impact à la fois sur la richesse spécifique des rivières mais aussi sur la structure des communautés de poissons (Poulet 2007). La fragmentation peut également avoir une conséquence sur la diversité génétique d'une espèce. En effet, elle peut diviser une population en plusieurs sous-populations isolées de part et d'autre et diminuer la diversité génétique d'une espèce (OHanley, 2011). Enfin, ces ouvrages sont des obstacles à la libre circulation des poissons et peuvent rompre les cycles biologiques des espèces ou créer des retards de migrations très préjudiciables. Ceci peut conduire à des situations critiques comme la disparition totale d'une espèce dans son milieu, comme ce fut le cas du saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) en Belgique dans les années 1930.

Ce sont les barrages hydroélectriques qui créent le plus de modifications des régimes hydrographiques et thermiques, sur la composition du substrat et la morphologie du lit et les caractéristiques d'écoulement d'une rivière. En plus de créer un obstacle pour la migration des poissons vers l'amont, les centrales hydroélectriques occasionnent des blessures ou provoquent de la mortalité car les poissons sont susceptibles de passer à travers les turbines lors de leur migration vers la mer (Arnekleiv et al., 2007). Ces ouvrages provoquent également des perturbations (marnage, envasement, détournements de cours d'eau) quant à la qualité des milieux de vie des communautés animales voire végétales avoisinantes (Rebillard, J-P et al., 2011). La mise en place de multiples ouvrages sur les cours d'eau est donc responsable d'une régression de la distribution des poissons. La réduction progressive de la connectivité longitudinale entraînant parfois un déclin de populations de poissons (Lucas et Baras 2001).

La défragmentation des rivières représente un enjeu important pour le maintien des populations de poissons. La plupart des travaux de défragmentation a été réalisé dans le sens de la montaison et les connaissances sur les types et l'efficacité des différents dispositifs sont beaucoup plus importantes pour les passes à montaison que les exutoires de dévalaison (Noonan et al. 2012). Le rétablissement de la continuité écologique dans le sens de la montaison à hauteur d'un obstacle artificiel s'effectue par la mise en place d'ouvrage de franchissement. Ces ouvrages appelés communément « passes à poissons » tirent profit du comportement naturel de montaison du poisson. Ce dernier cherchant activement un passage en s'orientant face au courant, le principe consiste à l'attirer à un endroit déterminé au pied de l'obstacle et l'inciter à emprunter la voie d'eau spécialement aménagée. En ce qui concerne la dévalaison, les objectifs sont doubles. En effet, il s'agit d'une part de rendre possible le passage vers l'aval au niveau de l'obstacle et d'autre part de diminuer le taux de mortalité lors du franchissement de l'obstacle.

1.2.2. LES OUVRAGES DE MONTAISON

Les constructions anthropiques impactant le plus souvent la montaison des poissons sont les seuils, les barrages et les ouvrages routiers.

Le principe d'un ouvrage de montaison consiste en l'attraction des poissons à l'aval du barrage et à les inciter à passer par une voie d'eau artificielle qui contourne ce barrage. Pour qu'une passe puisse être considérée comme efficace, le poisson doit en trouver l'entrée, la franchir le plus rapidement possible et sans se blesser. Il existe différents types de structures pour pallier à ces obstacles :

- Les échelles à poissons. Leur structure est telle qu'elle doit permettre le passage aisé de toutes les espèces de poissons résidant dans le cours d'eau concerné, et ce pour ne pas ralentir sa possible migration (Chanseau & Larnier 1999). Le succès de montaison des poissons dépend de la typologie comme l'emplacement et le positionnement de l'entrée de la passe ainsi que le débit à l'entrée. Entrent aussi en jeu les conditions hydrodynamiques des bassins. (Dissipation d'énergie, vitesse de **courant**, **profondeur**). Ces ouvrages sont constitués d'une série de bassins cloisonnés (Figure 6) et reliés par des échancrures et/ou des orifices noyé (notamment pour les anguilles).
- Il existe également d'autres dispositifs mis en place pour une meilleure intégration dans l'environnement ainsi que pour diminuer les besoins d'entretien. C'est notamment le cas des rivières de contournement qui nécessitent cependant un espace important et dont la pente doit être relativement faible.
- Ou encore l'aménagement de rampes rugueuses directement dans le fond du lit de la rivière.
- Enfin, en cas de très fortes dénivellation, des ascenseurs à poissons peuvent être installés mais ils fonctionnent de façon discontinue (Larinier 2002).

Il existe deux critères principaux qui permettent de déterminer l'efficacité d'une passe à poissons. La composante qualitative qui est le nombre d'espèces pouvant emprunter la passe et la composante quantitative qui est le nombre d'individus de la population pouvant emprunter la passe (Larinier 2008). Il a été montré que pour être efficace une échelle à poissons devait être attractive, mais aussi s'adapter aux capacités de nage de toutes les espèces (Larinier 2002).

Les passes à bassins peuvent être adaptées à toutes les espèces si les chutes entre bassins, et en sortie de passe, les types d'écoulement et les volumes de bassins (largeur, longueur et tirant d'eau) sont compatibles avec le comportement et les capacités de franchissement de tous les individus.



Figure 6 : Echelle à poissons à Washington aux Etats-Unis (a) - Echelle à poissons de Lixhe en Belgique (b).

1.2.3. LES OUVRAGES DE DEVALAISON

Les barrages sont le plus souvent associés à des turbines hydroélectriques, qui, en plus de constituer un obstacle à la migration vers l'amont, risquent de blesser les individus lors de leur passage dans les turbines durant la dévalaison (Lucas & Frear 1997 ; Ovidio et al. 2012). Une dévalaison quasi-permanente est possible lorsque les barrages présentent de fréquentes surverses. Des dispositifs peuvent être placés au niveau des barrages :

- Certains types de turbines dites ichtyocompatibles sont maintenant inoffensifs pour les poissons. Elles limitent les blessures. La mise en place de ces dispositifs est récente, il est nécessaire d'étudier leur efficacité pour l'ensemble des espèces (Larinier & Travade 1999 ; Arnekleiv et al. 2007).
- Des barrières comportementales et physiques peuvent être mises en place pour être utilisées comme filtres. Les barrières comportementales fonctionnent sur l'utilisation de particularités intrinsèques des poissons. Les barrières physiques utilisent des moyens matériels et sont plus utilisées que les barrières comportementales car leur efficacité est mieux connue et plus constante. Placées en amont d'un barrage et positionnées en diagonale par rapport au courant, elles orientent les poissons vers l'entrée d'un exutoire de dévalaison.
- L'installation d'un exutoire de surface permet aux poissons de contourner le barrage grâce à la présence d'une barrière qui empêche l'accès aux turbines et guide le poisson vers l'entrée de l'exutoire (Figure 7). Lors du phénomène de dévalaison, les poissons ont tendance à se laisser entraîner passivement par le courant avec la tête orientée vers l'amont. L'efficacité de l'exutoire dépend de ses caractéristiques structurelles et doit être envisagée au cas par cas suivant la rivière.

L'efficacité de l'exutoire dépend de ses caractéristiques structurelles et doit être envisagée au cas par cas suivant la rivière. Néanmoins, il a été déterminé que des bonnes conditions hydrauliques et la localisation de l'exutoire sont les facteurs les plus importants

pour obtenir une bonne efficacité (Croze et al. 1999 ; Scruton et al. 2007).

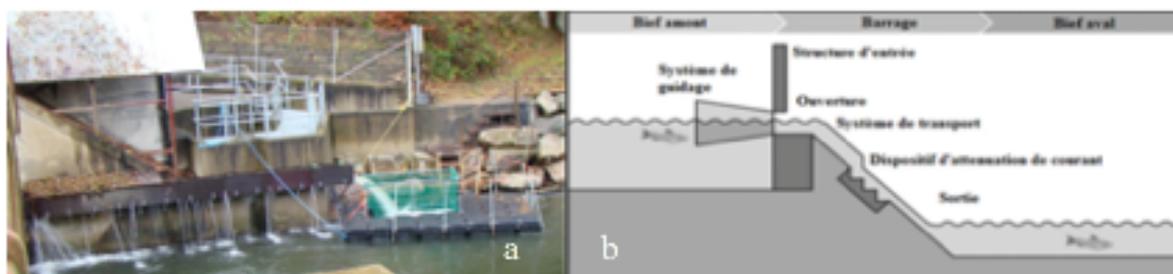


Figure 7 : Goulotte de sortie de l'exutoire du barrage de Lorcé sur la rivière de l'Amblève et son piège de capture en aval (a) - Composants basiques d'un exutoire de surface en section transversale. S'il est présent, le dispositif d'atténuation fait partie de la structure de transport (Johnson & Dauble 2006) (b).

Les eaux dans l'Union européenne (UE) sont de plus en plus soumises à des contraintes dues à une croissance continue de la demande en eau de bonne qualité et en quantités suffisantes pour toute une série d'utilisations. La Directive Carde sur l'Eau vise à protéger et améliorer la qualité de l'eau en établissant des règles pour mettre fin à la détérioration de l'état des masses d'eau de l'UE et parvenir au « bon état » des rivières, lacs et eaux souterraines en Europe d'ici à 2015.

Le retour au « bon état écologique » passe par la restauration physique des rivières altérées. Parmi les nombreux projets mis en place pour effectuer cette restauration de la continuité écologique, il existe le projet WALPHY en Belgique (pour Wallonie – Physique). Il s'agit d'un projet pilote de 5 ans sur la restauration écologique des cours d'eau. La réhabilitation des cours d'eau s'est principalement portée sur Le Bocq et l'Eau Blanche. Des travaux d'aménagement des obstacles visant à favoriser la remontée des poissons et le transport des sédiments ont été effectués depuis janvier 2009.

1.3. OBJECTIFS DU MEMOIRE

Ce mémoire s'intègre dans le cadre d'un projet de recherche mené conjointement par le Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège (LDPH-ULg) et la société Profish-technology basée à Namur. Il est financé par la Direction des voies non navigables du Service Public de Wallonie.

L'étude est centrée sur le site du barrage du Maka sur la rivière du Bocq à Yvoir. Le barrage anciennement infranchissable a été équipé d'une échelle à poissons multi spécifique et d'une turbine en vis d'Archimède pour le rendre perméable aux poissons dans le sens de la montaison et de la dévalaison. La demande du SPW est de recevoir des informations objectives sur l'efficacité de l'échelle à poissons pour une diversité d'espèces aux capacités de nages contrastées (salmonidés et cyprinidés). Pour répondre à cette demande nous avons développé un système de suivi des poissons par télémétrie RFID (Radio Frequency identification) et radio télémétrie.

Le bureau d'études Profish Technology a pris en charge l'installation du système de télémétrie et sa maintenance. Le LDPH-ULg a pris en charge la capture et le marquage des poissons, ainsi que l'analyse scientifique des données et la rédaction du rapport.

Mon stage a été réalisé chez Profish et le suivi scientifique de mon mémoire a été assuré par le LDPH-ULg.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

2.1.1. LE BOCQ

Le Bocq est une rivière de Belgique qui prend sa source dans le Condroz à Scy à 305m d'altitude. La rivière rejoint ensuite à Yvoir la Meuse par sa rive droite à 90m d'altitude et s'étend sur un bassin versant de 230km². Sa longueur totale avoisine les 45km et sa pente moyenne est de 0,48%. Ses principaux affluents sont de l'amont vers l'aval, Le Crupet, Le Leignon, Le Petit Bocq et le Potriat. Selon la zonation piscicole de Huet (1949), le Bocq est constitué d'une zone à ombre.

Le Bocq est une rivière fortement fragmentée par différents types d'obstacles (tels que des petits barrages) créés par le passé pour alimenter des moulins, des forges, des douves de châteaux ainsi que plusieurs micro-centrales hydroélectriques. Le projet Life Walphy, un programme de réhabilitation hydromorphologique des cours d'eau en Wallonie, a vu le jour en janvier 2009. On ne comptait pas moins de 33 obstacles sur les 45km de linéaire sur la rivière du Bocq. Ce projet Walphy a permis d'améliorer cette fragmentation longitudinale au cours de ces cinq dernières années. Une vingtaine d'obstacles ont été étudiés puis aménagés ou supprimés (Figure 8).

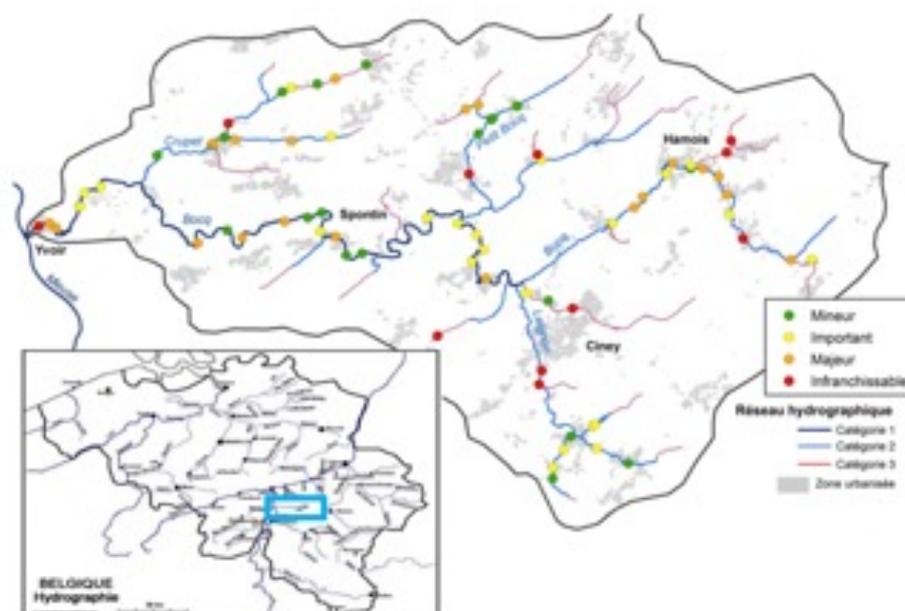


Figure 8 : Localisation et tracé de la rivière du Bocq et de ses affluents principaux ainsi que de ses différents obstacles.

Tableau 1 : Variations saisonnières du débit du Bocq à Yvoir (station L5800) et de la température de l'eau pour la période du 7 octobre 2015 au 28 juin 2016 (source : Aqualim et LDPH-ULg).

Mois	Débit moyen mensuel (m ³ /s)			Température moyenne mensuelle (°C)		
	moyenne	min	max	moyenne	min	max
octobre	1,04	0,91	1,27	9,76	7,5	12,3
novembre	0,89	0,88	3,12	7,55	5,7	12,7
décembre	4,10	1,54	4,3	9,90	6,7	10,3
janvier	1,57	1,57	8,13	7,56	2,9	8,7
février	6,79	4,08	13	9,16	5,0	9,2
mars	4,05	2,53	5,34	7,02	6,1	9,5
avril	4,63	1,94	4,63	9,33	7,0	12,1
mai	4,33	1,81	9,36	8,27	8,3	14,5
juin	6,82	2,93	8,03	13,20	12,7	15,6

Le débit journalier minimum observé est de 0,88m³/s les 10 et 11 novembre 2015 et le débit journalier maximum est de 13m³/s le 10 février 2016.

La température journalière minimum observée est de 2,9°C le 18 janvier 2016 et la température journalière maximum est de 15,6°C le 23 juin 2016.

2.1.2. LE BARRAGE DE MAKÀ A YVOIR

Le barrage du Maka est un barrage rampe de 1,9m de haut situé à 380m de la confluence avec la Meuse à Yvoir. Cet ancien déversoir en maçonnerie est le premier obstacle pour les poissons sur la rivière du Bocq lorsqu'ils remontent de la Meuse. C'est en 2011 que le barrage a été équipé d'une part d'une échelle à poissons pour permettre la libre circulation dans le sens de la montaison et d'autre part d'une micro-centrale hydroélectrique équipée d'une vis d'Archimède du côté de la rive droite (Figure 9). Il s'agit d'une turbine ichtyocompatible dont le principe est de minimiser les impacts dus aux chocs mécaniques, aux variations brutales de pression et aux cisaillements lors du passage de poissons dans le sens de la dévalaison. Le taux de mortalité plus faible s'explique par un interstice faible en la vis et son manteau, une surface lisse de ce dernier et l'arrête amont recouverte d'un caoutchouc.



Figure 9 : (a) Vue aval du déversoir du Maka avant travaux. (b) Vue aval après travaux du complexe vis d'Archimède – barrage du Maka

2.1.3. L'ECHELLE A POISSONS

Il s'agit d'une passe à bassins à fentes verticales de 25m de long, équipée d'orifices de fond entre chaque bassin (0,2m x 0,2m). Située en rive droite, elle est composée de 7 bassins avec une $dh = 0,24m$ (largeur = 0,3m et hauteur d'eau = 0,8m). Pour augmenter le caractère multispécifique de la passe et permettre aux différentes espèces benthiques de l'utiliser, le fond de celle-ci a été tapissé d'enrochements bruts noyés dans le béton. L'entrée de l'échelle est située à proximité de la sortie du rejet de la vis d'Archimède, ce pour augmenter son attractivité (Figure 10).

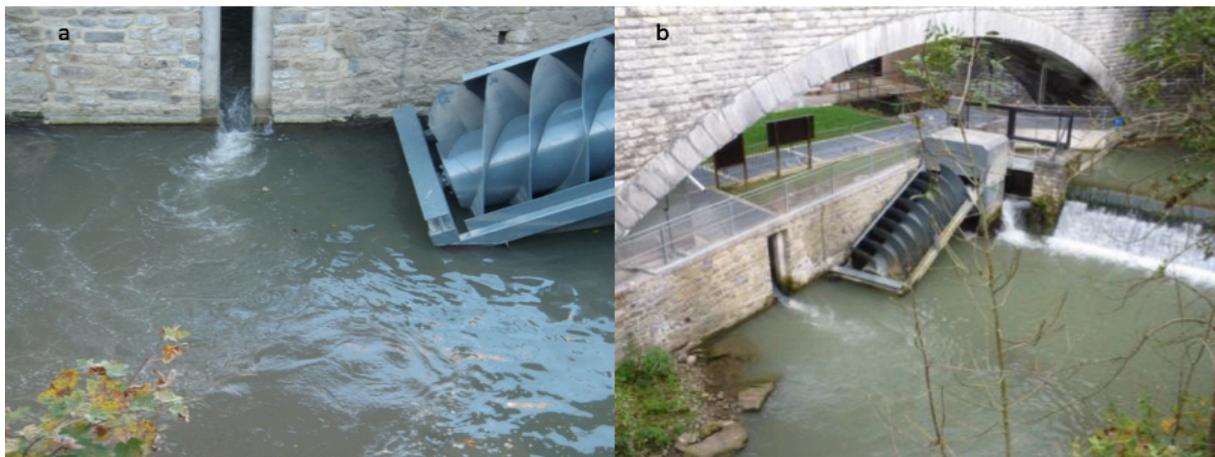


Figure 10 : (a) Vue de l'entrée de l'échelle à poissons à la sortie du rejet de la turbine – (b) vue aval du complexe échelle à poissons – vis d'Archimède – barrage du Maka

Tableau 2 : Vitesse de courant dans les échancrures d'aval en amont mesurées en juillet 2016.

N° échancrure	Antenne	Vitesse de courant (m/s)		
		Moyenne	Min.	Max
<i>Aval</i>				
1	1	0,99	0,75	1,28
2		1,35	1,29	1,52
3	-	1,5	1,37	1,76
4	2	1,48	0,8	1,77
5	-	1,67	1,48	1,8
6	-	1,6	1,5	1,69
7	-	1,64	1,5	1,74
8	3	1,94	1,83	2,01
<i>Amont</i>				

2.2. DISPOSITIFS DE DETECTION DES POISSONS

2.2.1. SYSTÈME RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

Afin de vérifier l'efficacité de la passe migratoire du barrage du Maka, nous avons utilisé deux technologies complémentaires de biotélémetrie : la Radio Frequency Identification (RFID) et la télémetrie radio.

Le système RFID se compose de transpondeurs (pit-tags), de stations d'enregistrement automatiques et d'antennes de détection. Les marques ou transpondeurs sont dits semi-passifs car ils ne sont activés que si le champ magnétique d'un appareil électrique les stimule. Ils n'ont donc pas besoin d'une batterie et n'ont pas de limitation de durée de vie. Les antennes émettent des ondes électromagnétiques qui vont activer les marques qui se situent dans leurs champs de rayonnement en leur fournissant l'énergie nécessaire dont elles ont besoin pour renvoyer une information codée à la station d'enregistrement. Il s'agit d'un code individuel alphanumérique, de la date et l'heure de passage du poisson qui sont stockés dans la mémoire interne de la station au format .txt.

La distance de lecture d'une marque dépend de sa taille, de son orientation par rapport à l'antenne, et des réglages d'inductance effectués sur les antennes. Par ailleurs, si deux poissons passent au même moment il n'y aura pas de détection simultanée des deux individus. Dans notre cas, les antennes sont branchées sur un récepteur à multiples entrées pour améliorer leur synchronisation.

Ce système de détection est fonctionnel depuis le mercredi 7/10/2015. Il est composé de 4 antennes, toutes situées dans l'échelle à poissons entre les bassins au niveau des échancrures mais de manière à ne pas perturber l'écoulement de l'eau (Figure 11). La structure des antennes 1 à 3 sont en panneau marin. La structure de l'antenne 4 est en PVC

sanitaire 25mm. Le câble électrique utilisé pour la confection de l'antenne est un câble SONO RN 2x 1,5mm². Chaque antenne a été conçue pour avoir une portée de détection suffisamment importante pour enregistrer les poissons traversant l'échancrure sans risque de perte de signal. Certaines observations ont montré que des poissons empruntaient les orifices de fond plutôt que les échancrures. L'utilisation de cette voie de passage est prise en compte pour les analyses comportementales, c'est pourquoi l'antenne 4 a été rajoutée le 5/02/2016 et est fonctionnelle depuis ce jour. Cette antenne sert à mettre en évidence les éventuels franchissements de la passe par les orifices de fond. Le système de détection RFID a été installé par Profish-Technology, avec du matériel de marque Oregon.



Figure 11 : (a) Vue amont de l'antenne RFID 1 – (b) Vue amont de l'antenne RFID 4

La disposition des antennes dans l'échelle à poissons est la suivante (Figure 12) :

- Antenne 1 au niveau de la jonction Bocq/bassin n°7 c'est-à-dire le plus en aval.
- Antenne 2 au niveau de la jonction bassin n°4/ bassin n°5 soit, à mi-parcours de la passe.
- Antenne 3 au niveau de la jonction bassin n°1/ bassin d'admission en amont de l'échelle.
- Antenne 4 au niveau de la jonction bassin n°1/ bassin d'admission en amont de l'échelle mais se situe autour de l'orifice de fond.

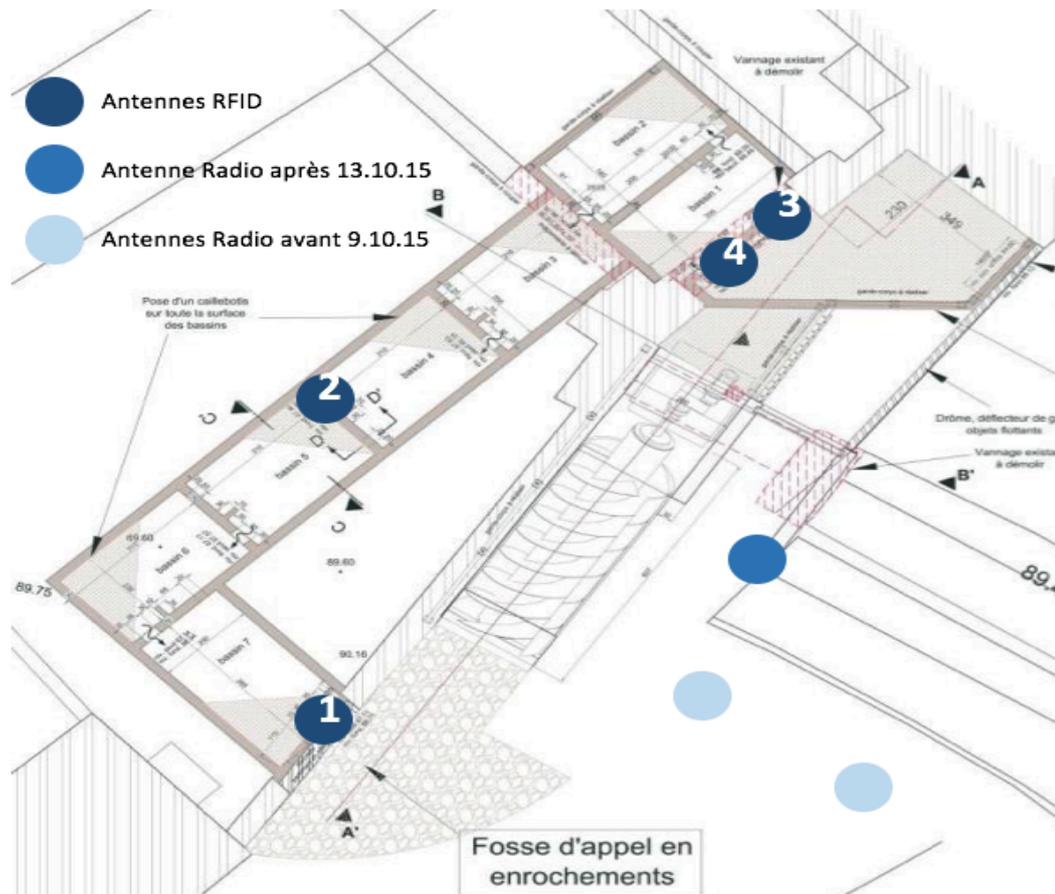


Figure 12 : Schéma montrant la disposition des antennes RFID et radio sur site

Le marquage RFID permet d'étudier le comportement individuel des poissons munis d'un transpondeur, approchant et/ou utilisant l'échelle à poissons du barrage du Maka. Les variables comportementales mesurées sont définies comme :

- Une **détection Radio** : lorsqu'un poisson muni d'un émetteur radio est détecté à l'antenne radio
- Une **détection RFID** : lorsqu'un poisson est détecté à au moins à l'une des trois antennes RFID
- Une **approche du complexe barrage du Maka – échelle à poissons** : lorsqu'un poisson muni d'un émetteur radio est détecté par l'antenne radio installée en aval du barrage
- Une **approche de l'échelle à poissons** : lorsqu'un poisson muni d'un transpondeur RFID est détecté en A1 (à l'entrée aval) de l'échelle à poissons avec un délai minimum d'1h avant une autre détection à cette même antenne
- Le **temps de recherche de l'entrée de l'échelle à poissons** : temps entre la première détection radio et la première détection en A1 pour les individus doublement marqués
- Le **taux d'attractivité total de l'échelle à poissons** : pourcentage d'individus doublement marqués détectés à l'entrée de l'échelle à poissons (détection RFID) par rapport au nombre d'individus doublement marqués au total

- Le taux d'attractivité corrigé de l'échelle à poissons : pourcentage d'individus doublement marqués détectés à l'entrée de l'échelle à poissons (détection RFID) par rapport au nombre d'individus détectés en aval du barrage (détection radio) Un –
- Le **franchissement partiel** : Lorsqu'un poisson monte jusque l'antenne 2 puis fait demi-tour et retourne dans le tronçon aval : détections A1-A2-A1
- Un **aller-retour** : lorsqu'un poisson est détecté à toutes les antennes avec un de délai de moins de 30min en A3 puis retourne finalement dans le tronçon aval
- Un **franchissement** : lorsque l'on considère qu'un poisson a franchi complètement en montaison le barrage du Maka via l'échelle à poissons. Ce franchissement s'établit lorsque la dernière détection enregistrée a été observée à l'antenne A3 (la plus en amont) et qu'il n'y a plus de détection à cette antenne dans un délai d'une heure
- La **durée de franchissement** : temps qu'un poisson a mis pour réaliser un franchissement c'est-à-dire le temps entre la première détection en A1 et la dernière détection en A3
- Le **pourcentage de franchissement total** : c'est le rapport entre le nombre total d'individus d'une même espèce marqués et relâchés et le nombre d'individus qui ont réalisé un franchissement
- Le **pourcentage de franchissement corrigé** : c'est le rapport entre le nombre d'individus qui ont réalisé un franchissement et le nombre d'individus détectés préalablement à l'antenne 1 de l'échelle
- Le **temps de latence dans le dernier bassin** : temps entre la première et la dernière détection en A3 lorsqu'un poisson effectue un franchissement
- Une **dévalaison via l'échelle à poissons** : Lorsqu'un poisson utilise l'échelle à poissons dans le sens de la dévalaison (détection A3 - A2 - A1) après avoir réalisé un franchissement
- Une **dévalaison via le barrage** : lorsqu'un poisson est détecté directement en A1 ou par l'antenne radio après avoir réalisé un franchissement.

2.2.2. SYSTEME DE TELEMETRIE

La télémétrie permet le suivi de comportements individuels de poissons marqués au préalable avec des émetteurs radio. Le système combine une ou plusieurs antennes avec un récepteur et permet de localiser les poissons dans la zone de détection. Couplé au système RFID, cela va permettre de déterminer si la première approche du poisson se fait au pied du barrage ou bien à l'entrée de l'échelle.

Le dispositif de détection radio, en fonction depuis le mercredi 7/10/2015, était initialement composé de deux antennes suspendues en aval du déversoir et raccordées à un seul récepteur. Le matériel utilisé provient de la firme canadienne Sigma Eight.

Cependant, le système a connu quelques perturbations. Il a notamment été vandalisé le vendredi 9/10/2015 avec un câble d'antenne sectionné. Une nouvelle antenne radio, plus

discrète a donc été remise en route et a été placée au pied du déversoir le 13/10/15, et fixée directement sur le barrage (Figure 13). De même, des problèmes de corruption de la carte mémoire et de faux contact au niveau de l'amplificateur ont été décelés et solutionnés rapidement.

Les deux premières antennes étaient disposées à environ 6 mètres l'une de l'autre à environ 10 mètres à l'aval du déversoir. La nouvelle antenne a été placée directement sur le barrage, à l'extrémité rive droite du déversoir. Bien que la nouvelle antenne ne couvre pas l'étendue de la largeur du cours d'eau à l'aval du barrage, elle est néanmoins suffisante à détecter les poissons qui explorent le pied du barrage étant donné leurs déplacements latéraux au pied de celui-ci. Il est important de considérer également le fait que le champ de détection de cette antenne étant relativement large, l'entrée de la passe à poissons est comprise dans ce champs. Pour distinguer le premier lieu d'approche du poisson, l'analyse de l'heure de détection des deux systèmes sera réalisée.

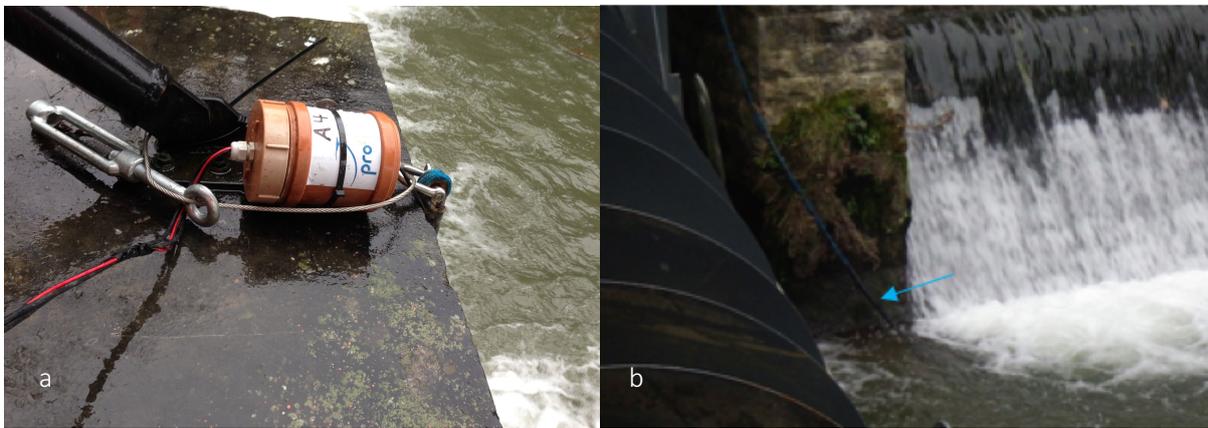


Figure 13 : (a) Boîtier d'accord de l'antenne de télémétrie – (b) antenne radio immergée au pied du barrage

Les données sont enregistrées sur une carte SD sous forme .txt et .hex.

2.2.3. RELEVÉ DE DONNEES

Une visite de contrôle sur site a été effectuée au minimum 2x/semaine dans le but de s'assurer du bon fonctionnement du système et ainsi que pour télécharger les données des dispositifs de détection radio et RFID. Un test a été réalisé avec un transpondeur sur chaque antenne RFID pour vérifier sa bonne détection. Le système RFID et le système radio sont branchés sur un appareil UPS qui agit comme une batterie de secours en cas de coupure de courant.

2.3. CAPTURE ET MARQUAGE DES POISSONS

Les modèles biologiques utilisés au cours de cette expérience sont des truites (*Salmo trutta*), des ombres (*Thymallus thymallus*), des barbeaux (*Barbus barbus*), des hotus (*Chondrostoma nasus*) et des vandoises (*Leuciscus leuciscus*) (Figure 14).

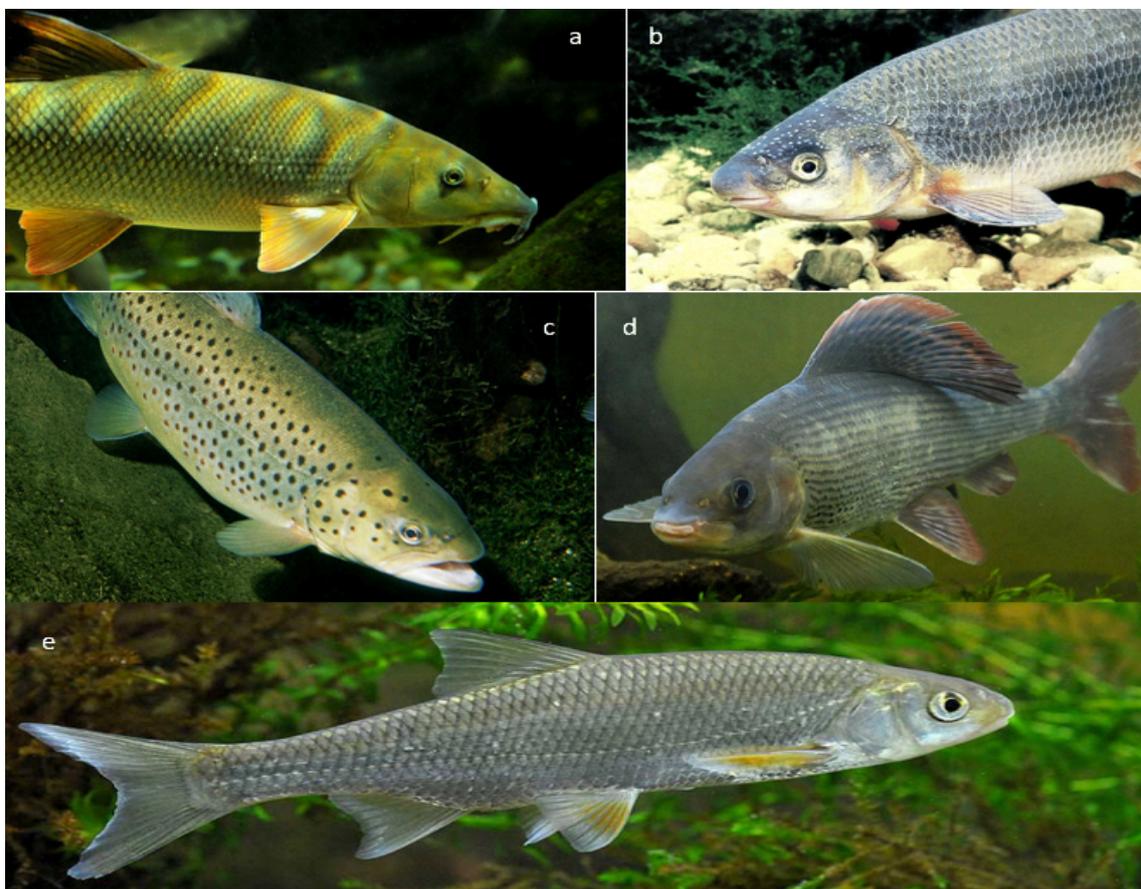


Figure 14 : (a) Barbeau (*Barbus barbus*) – (b) Hotu (*Chondrostoma nasus*) – (c) Truite (*Salmo trutta*) – (d) Ombre (*Thymallus thymallus*) et (e) Vandoise (*Leuciscus leuciscus*) (Lubomir Hlasek : www.hlasek.com)

2.3.1. METHODE D’ECHANTILLONAGE

Une première pêche électrique a été réalisée le 7 octobre 2015 (2 anodes, 1 passage) dans le Bocq à 3km en amont du barrage du Maka sur un tronçon de 200m (Figure 15). N=79 poissons pour les suivis comportementaux ont été capturés dont N=46 truites communes (58%) et N=33 ombres (42%). Une attention particulière a été portée aux géniteurs potentiels (Tableau 1). Lors de pêche à l’électricité, l’espèce visée était la truite fario car la période de capture correspondait à la période de migration vers les zones de frayères pour ce poisson. Les ombres pêchés en même temps étaient un atout supplémentaire pour notre étude en prévision de leur période de migration printanière.

Le 1 mars 2016 une seconde pêche a été effectuée, toujours en amont du barrage du Maka sur un tronçon de 200m. L'ombre était l'espèce recherchée ici du fait de sa reproduction de mars à avril.

Enfin, la troisième pêche électrique du 18 mai 2016 concernait le barbeau mais deux autres espèces qui sont le hotu et la vandoise ont été également capturées. Ces espèces ont toutes en commun une période de reproduction printanière. Néanmoins, la présence du barbeau n'ayant pas été confirmé en amont du site grâce aux données de la Région Wallonne, c'est pourquoi la pêche a été réalisée juste en aval du barrage du Maka sur un tronçon de 200m.

Enfin une translocation de barbeaux et de hotus réalisée le 26 octobre 2015 avec au total N=30 barbeaux et N=29 hotus (car 1 mort durant le transport) s'est faite dans des conditions différentes. En effet, le CERFA-Ulg basé à Tihange avait en charge la pisciculture de barbeaux et de hotus. Avec l'accord de la DNF, la direction des cours d'eau non navigables, le CERFA-Ulg, Profish et le LDPH-Ulg, une partie de ces individus a pu être utilisée et transloquée dans le cadre de ce projet visant à évaluer l'efficacité de la nouvelle échelle à poissons du Maka sur le Bocq.



Figure 15 : (a) Pêche électrique dans la rivière du Bocq 3km en amont du barrage du Maka le 01.03.16 – (b) Pêche électrique dans le Bocq en aval du barrage le 18.05.15.

2.3.2 METHODES DE MARQUAGE

Deux types de marquages ont été effectués (Tableau 1) :

Pour les marques RFID, la marque est insérée au niveau de la cavité intra- péritonéale via une incision au scalpel de 5mm après anesthésie à l'Eugénol (2ml pour 10l d'eau) et désinfection à l'alcool du matériel. Ce marquage ne nécessite pas de points de suture et permet de relâcher les individus directement après une phase de réveil dans un bassin. N= 186 poissons ont été équipés d'un transpondeur RFID HDX (23mm) (Figure 16c).

En ce qui concerne le marquage radio, ce protocole nécessite un personnel formé à l'utilisation de ce type de procédure. En effet, il faut réaliser une insertion intrapéritonéale

par intervention chirurgicale. L'émetteur étant de taille très importante, il faut utiliser de grandes aiguilles. Cette technique nécessite des points de suture. N= 24 poissons ont été équipés d'un émetteur radio Pisces 80mAh 9,6 x 26 mm (4,5g) (Figure16b) en plus d'un transpondeur RFID HDX.



Figure 16 : (a) Matériel de mesures biométriques et marquage - (b) Emetteur Radio et (c) Transpondeur RFID

Au total, ce sont 186 poissons qui ont été marqués avec pour les Salmonidés, N= 47 truites et N= 44 ombres. Et pour les Cyprinidés on avait N= 34 barbeaux, N= 33 hotus et N= 28 vandoises (tableau 3).

Tableau 3 : Données des marquages RFID et Radio pour chaque espèce.

Espèces	Lieu d'origine	Date de marquage	N	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Poids moy. (g)	Poids min. (g)	Poids max. (g)
<i>RFID</i>									
Truite	Bocq (amont Maka)	07-10-15	37	229	180	299	146	77	331
Ombre	Bocq (amont Maka)	07-10-15	30	243	209	335	158	93	427
Ombre	Bocq (amont Maka)	01-03-16	4	235	215	243	128	92	152
Barbeau	Tihange (CEFRA-Ulg)	26-10-15	30	278	190	397	329	93	919
Hotu	Tihange (CEFRA-Ulg)	26-10-15	29	260	211	304	234	103	410
Hotu	Bocq (aval Maka)	18-05-16	4	462	449	475	1282	1124	1394
Vandoise	Bocq (aval Maka)	18-05-16	28	199	154	257	107	45	218
<i>Sous-total RFID</i>			162						
<i>Radio-RFID</i>									
Truite	Bocq (amont Maka)	07-10-15	9	338	270	430	496	236	867
Truite	Bocq (amont Maka)	01-03-16	1	301	-	-	321	-	-
Ombre	Bocq (amont Maka)	07-10-15	3	338	323	360	424	362	522
Ombre	Bocq (amont Maka)	01-03-16	7	278	244	382	256	154	672

Barbeau	Bocq (aval Maka)	18-05-16	4	490	291	596	1806	360	3185
Sous-total Radio-RFID			24						
Total			186						

2.3.3. VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

L'enregistrement des facteurs environnementaux durant cette étude permet d'étudier l'influence de ces variables sur les données observées. La température de l'eau du Bocq a été enregistrée à l'aide d'un enregistreur automatique de température (Onset TidBit) placé juste en amont du barrage du Maka. Le débit a été téléchargé à partir du site Aqualim (SPW-DGO3-DRCE-DCENN) au niveau de la station d'Yvoir installée sur le Bocq en amont du barrage du Maka.

2.4. COMMUNICATION

Au cours de cette étude, plusieurs acteurs interviennent. En premier lieu, le SPW (Service Public de Wallonie) avec le gestionnaire dirigeant, la DCENN (Direction des Cours d'Eau Non Navigables), commanditaire du rapport d'expertise sur l'efficacité de l'échelle à poissons.

Dans un second temps intervient le bureau d'étude Profish-Technology, qui a permis toutes l'installation des différents matériels sur le site de l'expérience. Notamment avec le système de télémétrie et le système RFID. Ce partenaire assure donc le côté technique.

Enfin, sur le point analyse des résultats obtenus, entre en jeu l'Université de Liège avec le LDPH (Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie) sous la direction de M. Ovidio.

En ce qui concerne mon rôle de stagiaire mixte chez Profish-Technology et au LDPH, mes tâches consistaient à réaliser les relevés de données sur le terrain et par la suite, analyser ces données.

Un compte-rendu de l'analyse des observations a été rédigé dans un rapport intermédiaire par ProFish-Technology et le LDPH. Et une réunion d'informations sur l'avancée de l'étude de l'efficacité a été organisée courant du mois de mars à Namur. La rédaction d'un rapport final est prévue en septembre.

D'autres acteurs sont présents ponctuellement lors des pêches électriques comme le Service de la pêche ou encore la Fédération Halieutique de la Haute-Meuse Namuroise.



2.5. ANALYSES STATISTIQUES

Le logiciel Excel® version 2016 a été utilisé pour réaliser les calculs des temps de recherche et des temps de franchissement ainsi que les différents graphiques. Les temps de recherche ont été calculés entre le temps de première détection au barrage et le temps de première détection dans l'échelle à poissons. Les temps de franchissement ont été calculés entre le temps de première détection à l'antenne 1 de l'échelle (sans compter les approches) et le temps de première détection à l'antenne 3 ou 4.

Le logiciel R version 3.3 a été utilisé pour mener à bien diverses statistiques avec un seuil de significativité α de 0.05. Les effectifs variant selon les tests, ils seront précisés pour chaque analyse. Les conditions d'applications des tests ont été vérifiées à l'aide du test de Shapiro pour la normalité des données. Les faibles effectifs n'ont pas permis de vérifier ces conditions, les tests réalisés sont des tests non paramétriques.

Différents critères ont été comparés afin de déterminer si la taille influençait statistiquement leurs modalités : taille des truites détectées, non détectées et qui ont franchi l'obstacle (test de Mann-Whitney), taille des ombres détectés, non détectés et qui ont franchi (test de Mann-Whitney), taille des barbeaux détectés, non détectés et qui ont franchi (test de Mann-Whitney) et taille des vandoises totales et détectées (test de Mann-Whitney). Comme aucune différence significative (test de Mann-Whitney, $p > 0,05$) de la taille n'a été observée au sein de chaque espèce, les données des individus de chacune d'entre elle ont été comparées deux à deux avec le test de Wilcoxon.

Enfin, un test de corrélation de Spearman a été réalisé pour examiner le lien entre la durée de franchissement de l'échelle à poissons et la taille des espèces (truites et ombres).

III. RÉSULTATS

3.1. ANALYSES DES DETECTIONS RADIO : COMPORTEMENTS D'APPROCHES AU BARRAGE ET ATTRACTIVITE DE LA PASSE

Pour les individus doublement marqués, la présence de l'antenne Radio au pied du barrage permet de déterminer avec plus de précision le comportement d'approche des poissons lors de leur montaison au niveau du complexe barrage du Maka – échelle à poissons.

3.1.1 ATTRACTIVITE ET TEMPS DE RECHERCHE DE L'ENTREE DE L'ECHELLE

N= 24 individus ont été doublement marqués (Radio + RFID) : 10 truites (41,5%), 10 ombres (41,5%) et 4 barbeaux (17%). N= 10 truites (100%) ont été détectées à l'antenne radio et N= 4 (40% : taux d'attractivité) à l'entrée de l'échelle à poissons. On observe N= 10 ombres (100%) détectés devant le barrage et N=4 (40%) détectés à l'entrée de la passe. Concernant les barbeaux, 100% des barbeaux (4 individus) ont été détectés uniquement par l'antenne radio. Aucun barbeau radiomarcqué n'est rentré dans la passe à poissons (Figure 17).



Figure 17 : Synthèse des comportements d'approche des individus des trois espèces sur la base des détections en radio (approche du barrage) et RFID (pénétration dans l'échelle).

La présence de l'antenne Radio au pied du barrage permet de déterminer si le poisson a effectué une montaison après son déversement (ou sa translocation). En effet, lorsqu'il est détecté par le système radio, cela signifie que le poisson est arrivé proche du barrage. Ainsi, sur les 24 individus doublement marqués, seuls 8 (33%) sont détectés à la fois à l'antenne Radio et au complexe RFID de l'échelle. Pour les 4 truites, le temps écoulé entre l'approche au barrage et la découverte de l'entrée de la passe à poisson s'étend de 1h40min à 233h (temps médian= 12h44). Pour les 4 ombres, le temps de recherche s'étend de 376h à 786h (temps médian= 496h08) (Tableau 4).

Tableau 4 : Temps de parcours du site barrage à l'entrée de l'échelle à poissons des individus doublement marqués détectés par l'antenne Radio et par les antennes RFID.

Espèce	1 ^{ère} détection radio	1 ^{ère} détection RFID	Durée d'approche	Durée moyenne	Durée min.	Durée max.	Durée médiane
Truite	7/10/15 18:08	8/10/15 07:35	13:26:59	65:07:53	1:40:43	233:21:17	12:44:46
Truite	7/10/15 17:42	7/10/15 19:23	1:40:43				
Truite	7/10/15 19:47	8/10/15 07:50	12:02:34				
Truite	1/03/16 21:14	11/03/16 14:36	233:21:17				
Ombre	1/03/16 21:40	17/03/16 13:48	376:08:12	538:49:30	376:08:12	786:53:19	496:08:14
Ombre	1/03/16 16:04	3/04/16 10:57	786:53:19				
Ombre	1/03/16 19:01	21/03/16 04:49	465:48:17				
Ombre	3/03/16 15:11	25/03/16 14:09	526:28:12				

3.1.2. JOURS ET HEURES D'ARRIVEE DANS LA ZONE DU DEVERSOIR

La date de première détection des truites à la suite des déversements du 07.10.15 et du 01.03.16 se fait rapidement dans les jours qui suivent la translocation. On remarque un pic élevé vers la mi-octobre. Les ombres sont détectés également dans les jours qui suivent leur translocation (07.10.15 et 01.03.16). Les barbeaux capturés, marqués et transloqués le 18.05.16 sont détectés devant le barrage le lendemain le 19.05.16 (Figure 18).

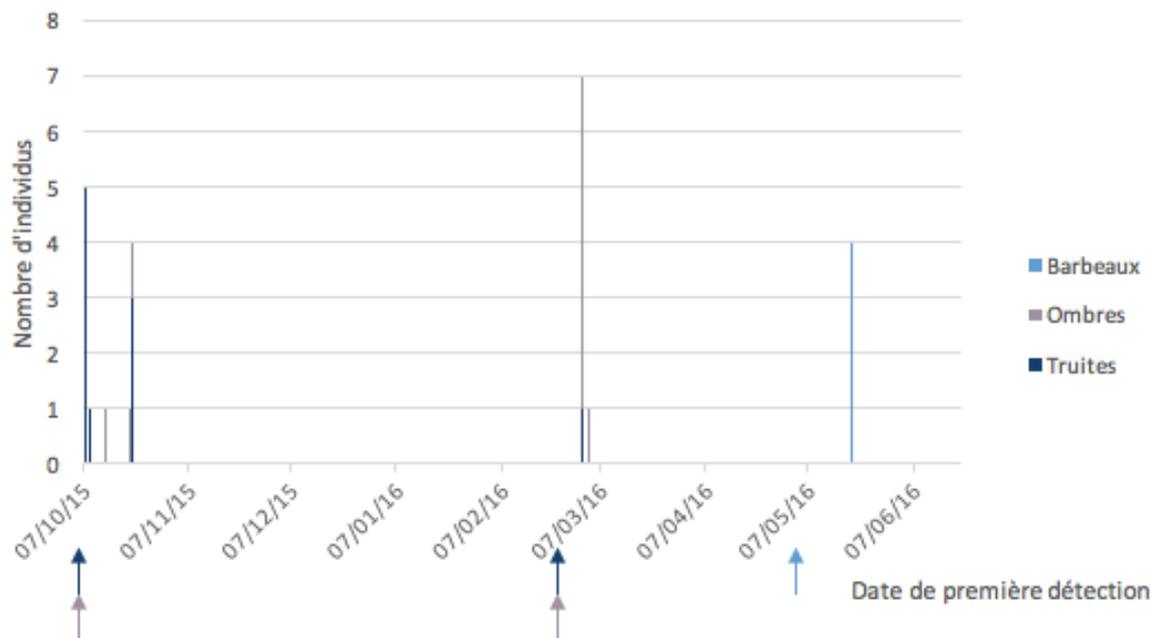


Figure 18 : Date de première détection des individus doublement marqués (Radio + RFID) au niveau de l'antenne Radio au pied du barrage (flèche = translocation).

Pour les trois espèces (truite – ombre – barbeau), les premières détections radio se font entre 06h et 00h. Les poissons ont une activité majoritairement nocturne. Les truites sont détectées pour la première fois en aval du barrage principalement en fin de journée et début de nuit (70% de 17h à 21h). Pour les ombres, les premières détections se déroulent préférentiellement de 15h à 19h (60%). Enfin les 4 barbeaux ont été détectés en aval du barrage pour la première fois entre 20h et 23h en début de nuit (Figure 19).

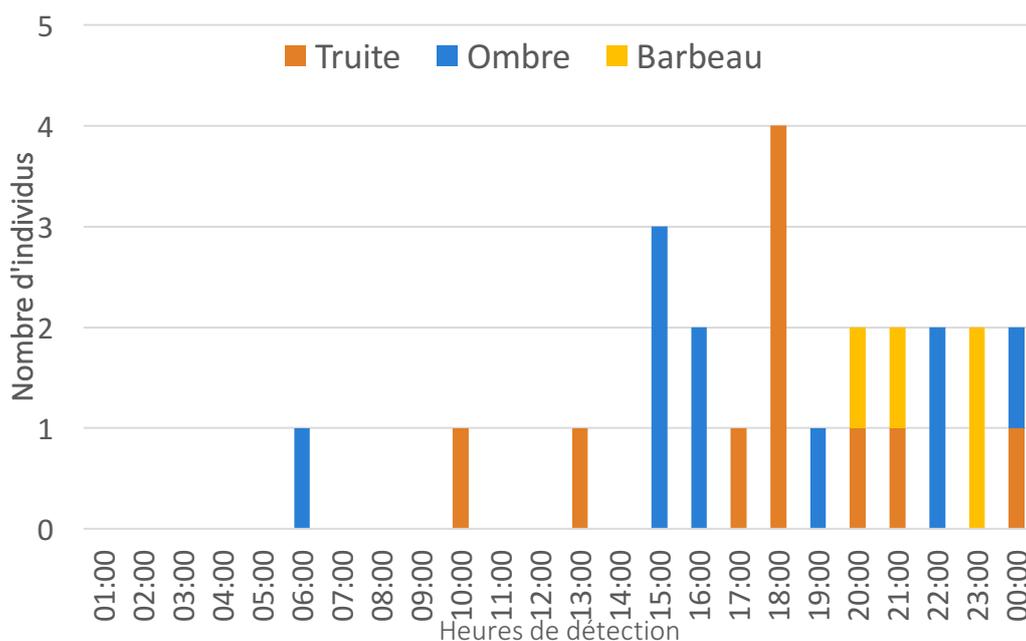


Figure 19 : Nombre d'individus doublement marqués (Radio + RFID) par espèce et par heure détectés pour la première fois au niveau de l'antenne Radio au pied du barrage.

3.2. ANALYSES DES DETECTIONS RFID ET EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'ECHELLE

3.2.1 DONNÉES DE FRANCHISSEMENT

En date du 28 juin 2016 (fin de l'étude d'un point de vue expérimental), parmi la totalité des individus munis d'un transpondeur RFID, les données de détection récoltées au sein de l'échelle à poissons sont les suivantes (Tableau 5):

- N= 23 truites (43% des individus marquées) ont été détectées au niveau des différentes antennes RFID de l'échelle à poissons. N=20 ont exécuté un franchissement de l'échelle à poissons et sont parvenues en amont du barrage, ce qui représente 87% de franchissement corrigé et 43 % de franchissement total.
- N= 9 ombres (20% des individus marqués) ont été détectés au sein de l'échelle à poissons et N= 5 ont franchi entièrement le barrage, soit un pourcentage de franchissement corrigé de 55,5% et un pourcentage de franchissement total de 11%.
- N= 14 barbeaux (41% des individus marqués) ont été détectés par le complexe RFID et n=1 a réalisé un franchissement du barrage via l'échelle à poissons (individu provenant de la pisciculture CEFRA-ULg), ce qui correspond à 7% de pourcentage franchissement corrigé et à 3% de pourcentage de franchissement total.
- N= 6 vandoises (21%) ont été détectées mais aucune n'a franchi le barrage (0%).
- Aucun hotu n'a été détecté par les antennes RFID de l'échelle à poissons.

Tableau 5 : Données de détections RFID par espèce indiquant le nombre d'individus marqués, le nombre d'individus détectés, le nombre d'individus ayant franchi l'échelle à poissons, le pourcentage de franchissement total ainsi que le pourcentage de franchissement corrigé. Les nombres entre parenthèses correspondent aux individus doublement marqués (RFID et radio).

Espèces		N marqués	N détectés	N franchisseme nt	% franchissem ent total	% franchissement corrigé	N sans franchissement
Salmonidés							
Truite	<i>Salmo trutta</i>	47	23 (4)	20 (2)	43%	87%	3 (2)
Ombre	<i>Thymallus thymallus</i>	44	9 (4)	5 (2)	11%	55.5%	4 (2)
Cyprinidés							
Barbeau	<i>Barbus barbus</i>	34	14 (0)	1 (0)	3%	7%	13
Hotu	<i>Chondrostoma ma nasus</i>	33	0	0	-	-	0
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	28	6	0	0%	0%	6
Total		186	52	26		50%	26

L'analyse comparative de la taille des poissons deux à deux montre qu'il n'existe pas de différence significative de taille entre les poissons détectés, les poissons non détectés, les poissons qui ont franchi et la totalité des poissons marqués dans chaque espèce (Mann-Whitney, $p > 0.05$) (Figure 20) :

- La taille moyenne des truites marquées est de 230mm. Aucune différence significative de la taille (Kruskal-Wallis, $p = 0,6283$) n'a été observée entre les non détectées, les détectées et celles qui ont franchi (ND : moyenne=222mm ; D : moyenne=245mm ; F : moyenne= 239,5mm).
- La taille moyenne des ombres marqués est de 242mm. Aucune différence significative de la taille n'a été observée entre les groupes détectés, non détectés et qui ont franchi (Kruskal-Wallis ; $p\text{-value} = 0,9641$) (ND : moyenne= 240mm ; D : moyenne= 243mm ; F : moyenne= 242).
- La taille moyenne des barbeaux marqués est de 278,5mm. Aucune différence significative de la taille n'a été observée entre les groupes non détectés, détectés et qui ont franchi (Mann-Whitney ; $p\text{-value} = 0,3205$) (ND : moyenne= 315,5 ; D : moyenne= 231,5mm ; F : moyenne= 229,0mm). De même.
- La taille moyenne des vandoises marquées est de 194,5mm. Aucune différence significative de la taille n'a été observée entre les groupes non détectés et détectés (Mann-Whitney ; $p\text{-value} = 1$) (ND : moyenne= 193,0mm ; D : moyenne= 195,5mm).

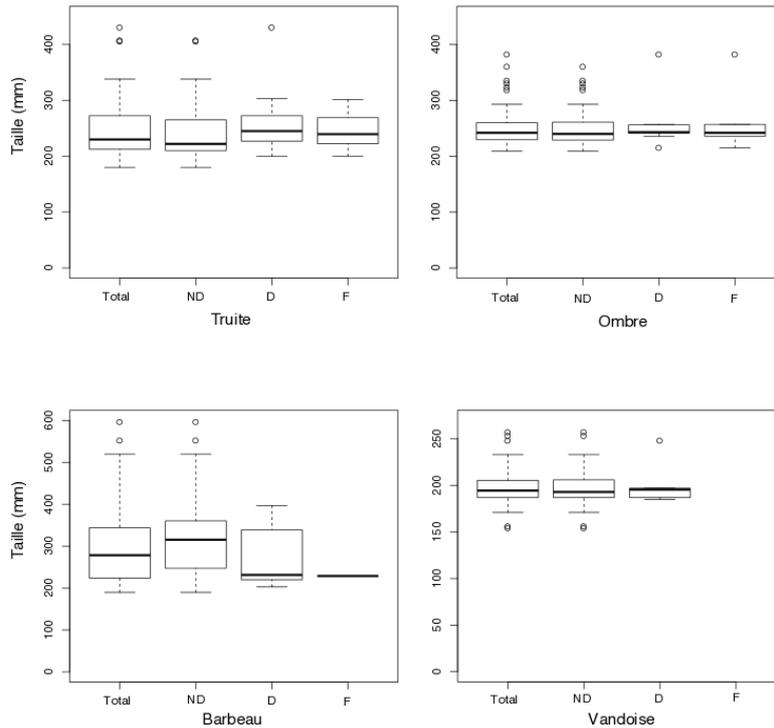


Figure 20 : Boîtes de dispersions par espèce, des données de taille pour tous les individus par espèce, les individus non détectés (ND), les individus détectés (D) par les antennes RFID de l'échelle à poissons et les individus qui ont franchi (F).

3.2.2. RYTHMES DE DETECTIONS A L'ECHELLE SAISONNIERE

Les espèces détectées par le complexe RFID (truite – ombre – barbeau - vandoise) sont présentes au sein de l'échelle à poissons à différentes périodes. On observe que les truites sont directement détectées principalement au niveau de l'échelle à poissons après leur translocation le 07.10.15 pour une température de 12,3°C et un débit de 1,14 m³/s. Quant à celle du 01.03.16, la seule truite déversée est détectée 10 jours après. Leur pic de présence se déroule du début octobre à début novembre (température supérieure à 14°C et débit de 1 m³/s). On remarque qu'un individu est détecté continuellement au niveau de l'entrée aval de l'échelle à poissons au cours de l'expérience. La truite concernée se sert probablement du bassin aval de l'échelle comme d'habitat de refuge étant donné que les détections sont constantes (vers 8h00 et vers 20h) chaque jour, ce qui correspond à sa période d'activité journalière.

Les détections des ombres sont plus importantes de début mars à fin juin où la température est comprise entre 8 et 12°C (suite à la translocation du 01.03.16), qu'à celle du 07.10.15 d'octobre où une seule détection est constatée à la mi-décembre.

Les barbeaux, marqués et relâchés le 26.10.15 (poissons de pisciculture) sont principalement détectés de fin octobre à début décembre. Enfin les barbeaux, capturés, marqués et relâchés le 18.05.16 n'ont pas été détectés au sein de la passe à poisson.

Les vandoises transloquées de la dernière pêche électrique soit le 18.05.16, sont détectées sur deux jours (31 mai et 1^{er} juin). Cette période correspond à une période de crues pour une température allant de 12,5 à 13°C et un débit de 8,09 m³/s en moyenne.

Aucun hotu d'élevage n'a été détecté par les antennes RFID alors qu'ils ont été marqués et déversés en même temps que les barbeaux pour le déversement du 26.10.15. De même, aucun hotu capturé et marqué lors de la pêche du 18.05.16 n'a été détecté également (Figures 21 et 22).

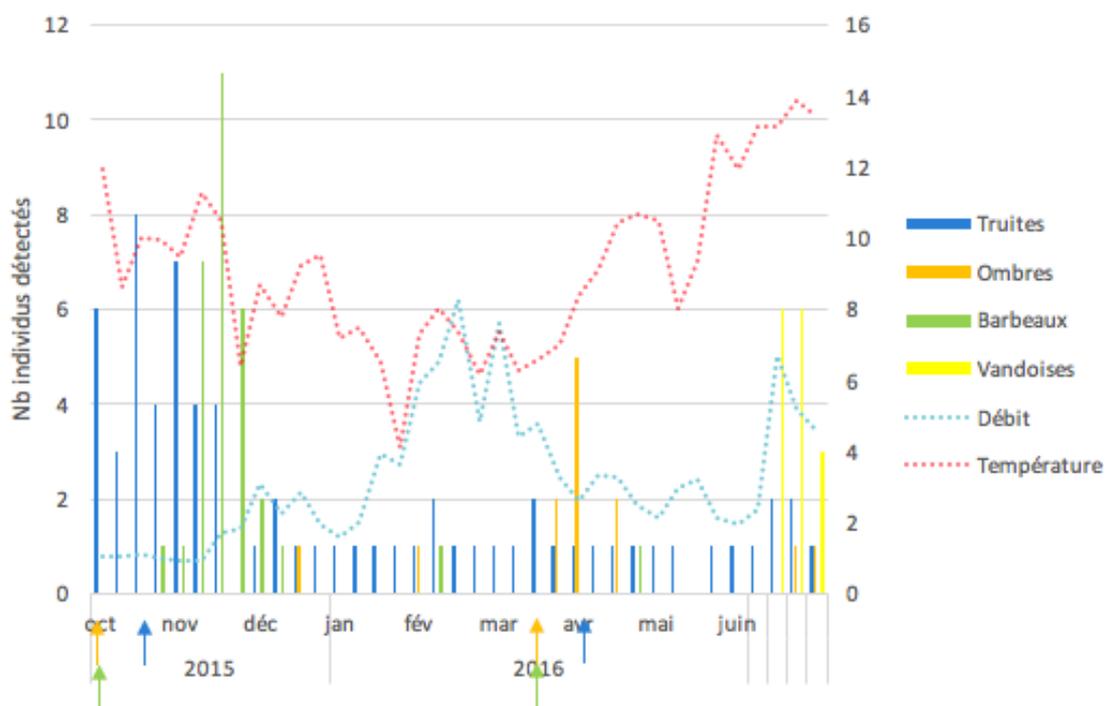


Figure 21 : Nombres d'individus détectés par semaine au niveau des antennes RFID de l'échelle à poissons selon les différentes espèces avec le déversement de truites et ombres le 7.10.15, le déversement de barbeaux et hotus le 26.10.15, le déversement de truites et ombres le 01.03.16 et le déversement de barbeaux et vandoises le 18.05.16.

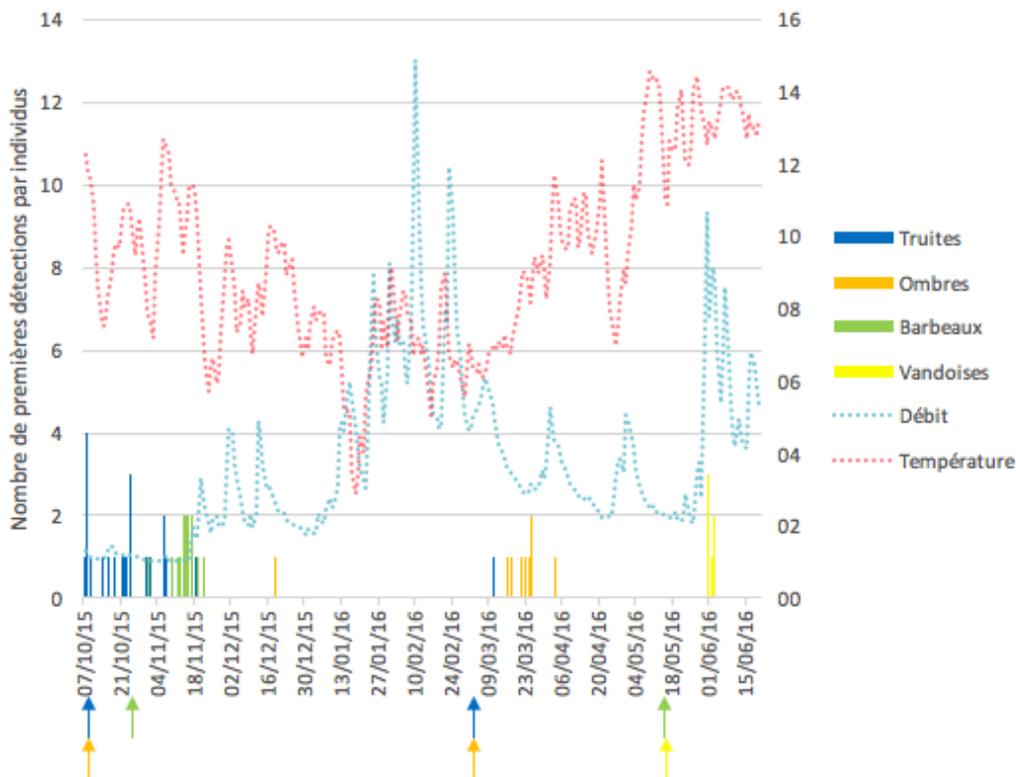


Figure 22 : Première détection par individus en fonction de la date au niveau du complexe antennes RFID de l'échelle à poissons avec le déversement de truites et ombres le 7.10.15, le déversement de barbeaux et hotus le 26.10.15, le déversement de truites et ombres le 01.03.16 et le déversement de barbeaux et vandoises le 18.05.16.

3.2.3. RYTHMES DE DETECTIONS A L'ECHELLE JOURNALIERE

On remarque que les patrons d'activités journalières au niveau de l'antenne 1 sont différents en fonction des espèces (figure 23). La truite est détectée à toutes les heures du cycle nyctéméral, néanmoins elle présente un pic d'activité nocturne (16,4% : minuit et 1h). Les ombres présentent un pic en milieu de journée (9% : 11h- 15h). Bien que les barbeaux soient détectés sur tout le cycle nyctéméral, on observe deux pics de présence (6,7% : 7h-8h et 13,9 : 18h), ce qui correspond respectivement au lever et au coucher du soleil (phase crépusculaire). Concernant les vandoises, la période de détections se déroule également sur toutes les heures du cycle cependant son pic de détections le plus important se situe à 5h (18%).

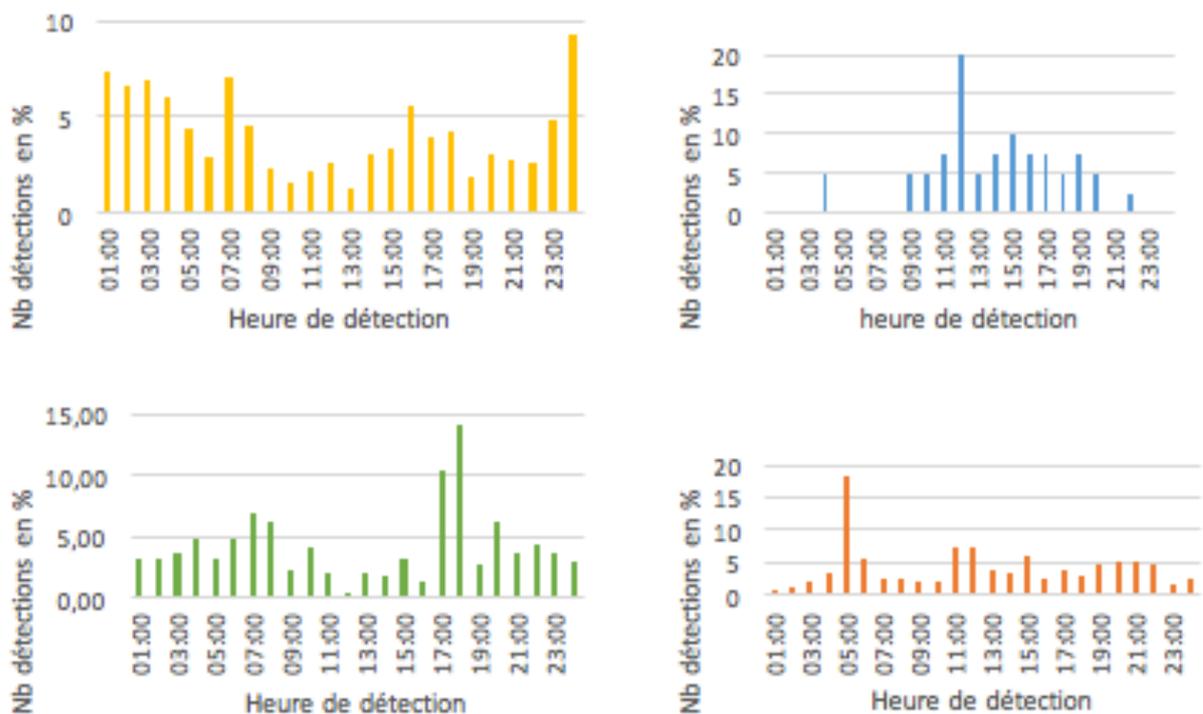


Figure 23 : Pourcentage de détections totales à l'antenne RFID 1 dans l'échelle à poissons par rapport au nombre de détections totales en fonction de l'heure pour chaque espèce (truite : jaune ; ombre : bleu ; barbeau : vert ; vandoise : orange).

Les résultats à l'antenne 2 montrent que les truites ainsi que les ombres présentent une période globale de détections entre 6h à 22h (89% et 99% respectif). Néanmoins, on observe un pic chez les truites en fin de soirée/début de nuit (16%) alors qu'il est en début de matinée (42,6%: 7h à 9h) chez les ombres. Les barbeaux et les vandoises présentent un schéma de détections quelque peu similaire avec une activité nocturne chez ces deux espèces (23h à 4h) (Figure 24).

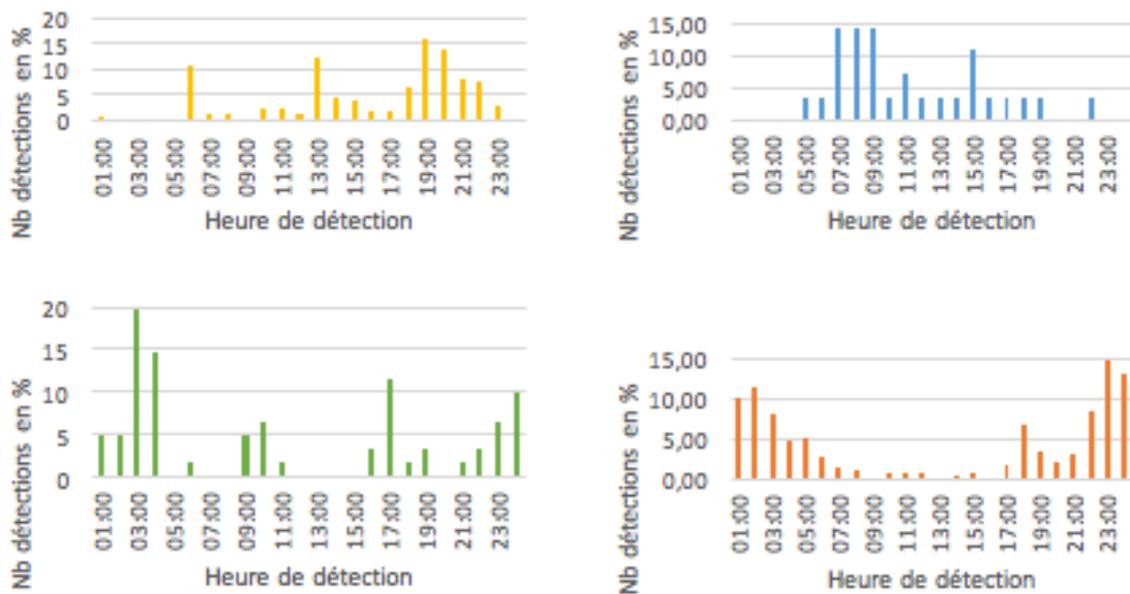


Figure 24 : Pourcentage de détections totales à l’antenne RFID 2 dans l’échelle à poissons par rapport au nombre de détections totales en fonction de l’heure pour chaque espèce (truite : jaune ; ombre : bleu ; barbeau : vert ; vandoise : orange).

On remarque en premier lieu pour les détections à l’antenne 3 de l’échelle à poissons, que la vandoise n’apparaît plus, ces dernières n’ont donc pas été jusque cette antenne. Encore une fois, les barbeaux ont une préférence pour le début de journée (4h – 5h), ce qui concorde avec les résultats des détections de l’antenne 2. Les ombres présentent un pic à 16h et les truites se répartissent sur un créneau plus large allant de 8h à 20h (Figure 25).

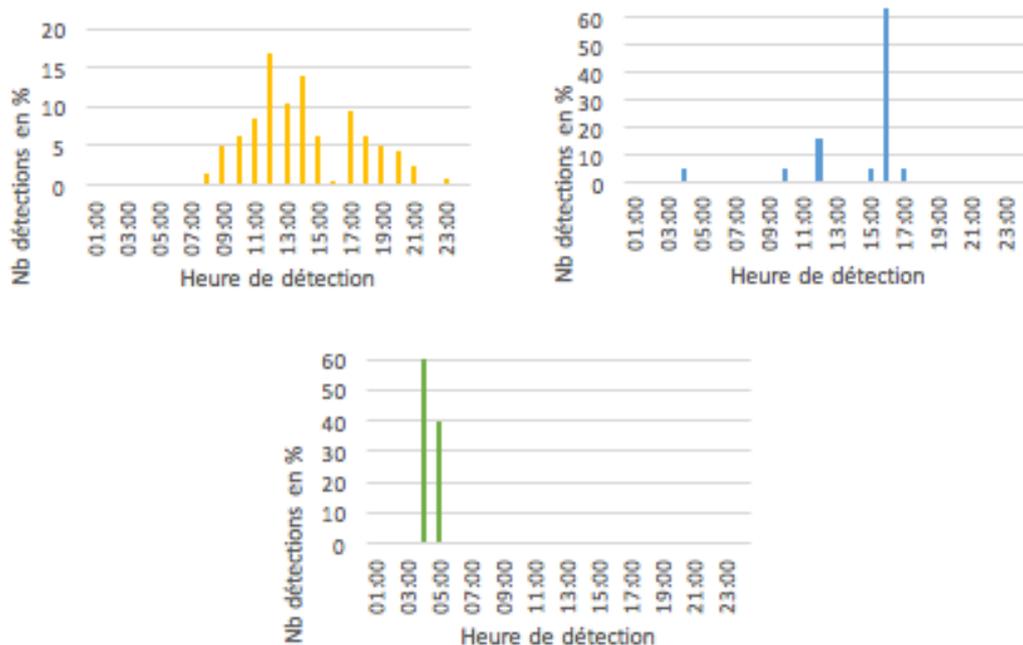


Figure 25 : Pourcentage de détections totales à l’antenne RFID 3 dans l’échelle à poissons par rapport au nombre de détections totales en fonction de l’heure pour chaque espèce (truite : jaune ; ombre : bleu ; barbeau : vert).

3.2.4. ANALYSE COMPORTEMENTALE A L'ENTREE ET AU SEIN DE L'ECHELLE.

Lorsqu'il y a franchissement de l'échelle à poissons, les salmonidés réalisent majoritairement une ou deux approches de l'entrée de la passe. Ainsi, on observe que N=10 truites (sur 20 individus) et N=1 ombre (sur 5 individus) font une approche et que N=9 truites et N= 3 ombres font deux approches. Lorsque ces deux espèces ne franchissent pas l'échelle, nous n'observons pas une augmentation des approches de l'échelle à poissons. En effet, seul N=1 truite (sur 7 salmonidés) a effectué plus de deux approches.

On remarque une autre tendance chez les Cyprinidés, qui réalisent préférentiellement au moins 3 approches. Parmi les barbeaux et les vandoises qui n'ont pas franchi, on constate N= 11 barbeaux (sur 13 individus) et N= 3 vandoises (sur 6 individus) (Figure 26).



Figure 26 : Comportements d'approche de l'échelle à poissons des différentes espèces au niveau des approches avec ou sans franchissement de l'échelle à poissons.

Parmi tous les individus qui n'ont pas franchi l'échelle à poissons, il apparaît que (Tableau 6):

- N= 3 truites (6% des truites marquées) ont été détectées à différents niveaux de l'échelle sans la franchir. Ainsi, n=1 individu est monté jusque l'antenne 1, n=1 jusque l'antenne 2 et n=1 jusque l'antenne 3.
- N= 4 ombres (9% des ombres marqués) ont été détectés au sein de la passe à poissons mais sans franchissement. N=3 sont détectés le plus en amont à l'antenne 1 et n=1 à l'antenne 2.
- N= 13 barbeaux (38% des barbeaux marqués) ont été détectés au sein de l'échelle à poissons. N=5 sont détectés le plus en amont à l'antenne 1 et n= 8 à l'antenne 2. On remarque qu'il y a 93% de barbeaux qui n'ont pas franchi sur tous les individus détectés.

- Sur les N=6 vandoises détectées, la détection la plus amont observée se situe à l'antenne 2 pour n=4 individus et les deux derniers individus ont été détectés uniquement à l'antenne 1.
- Aucune détection n'a été observée à l'antenne 4 installée au niveau de l'orifice de fond le plus en amont dans l'échelle à poissons.

Tableau 6 : données de détections RFID par espèces pour les individus qui n'ont pas franchi l'échelle incluant le nombre de poissons détectés le plus en amont par antenne. Les nombres entre parenthèses correspondent aux individus doublement marqués (RFID et radio).

Espèces	N détectés	N sans franchissement	% non franchissement	N détectés jusque A1	N détectés jusque A2	N détectés jusque A3	N détectés jusque A4
<i>Salmonidés</i>							
Truite	23 (4)	3 (2)	13%	1	1	1	0
Ombre	9 (4)	4 (2)	44,5%	3	1	0	0
<i>Cyprinidés</i>							
Barbeau	14 (0)	13	93%	5	8	0	0
Hotu	0	0	-	0	0	0	0
Vandoise	6	6	100%	2	4	0	0
Total	52	26		11	14	1	0

Les comportements des individus n'ayant pas franchi l'échelle à poissons peuvent être divisés en trois catégories : ceux qui ont réalisé uniquement une approche ou plus de l'échelle à poissons, ceux qui ont effectué un demi-aller-retour (détection max. antenne 2) et ceux qui ont fait un aller-retour (détection max. antenne 3). Ainsi on remarque que ce sont majoritairement les cyprinidés avec les barbeaux (N=8) et les vandoises (N=5) qui réalisent des franchissements incomplets. N= 5 barbeaux ont aussi tendance à faire une ou plusieurs approches de l'entrée de la passe. Seule une truite a effectué un aller-retour (Figure 27).

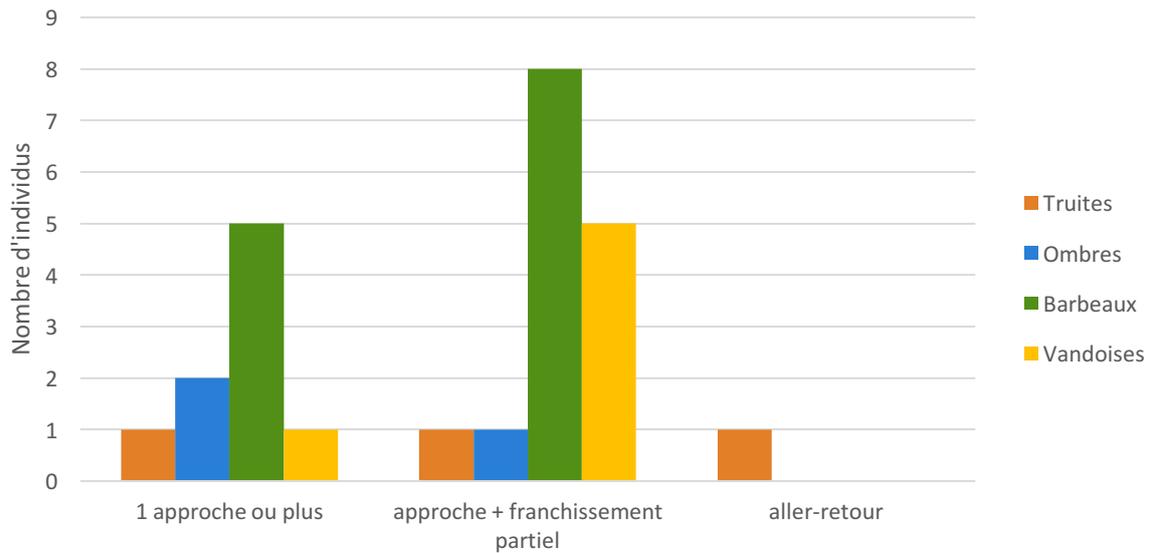


Figure 27 : Comportements des individus n'ayant pas franchi, au sein de l'échelle à poissons.

Concernant les comportements des poissons après leur franchissement de la passe migratoire, il peut y avoir différentes possibilités. On remarque que N= 13 truites (sur 20 individus qui ont franchi) ont poursuivi leur migration en amont dans le Bocq. En revanche, N= 4 truites ont dévalé via l'échelle à poissons puis N=3 ont effectué de nouveau un ou plusieurs franchissement. La majorité des ombres (N= 3) est restée dans le secteur amont. Cependant certains poissons ont dévalé via le barrage puis ont réalisé une approche de l'échelle sans effectuer de franchissement (n=2 truites et n=1 ombre) et n=1 ombre a franchi le barrage par l'échelle à poissons. Le seul barbeau qui avait franchi le barrage via l'échelle à poissons a dévalé via cette dernière par la suite (Figure 28).

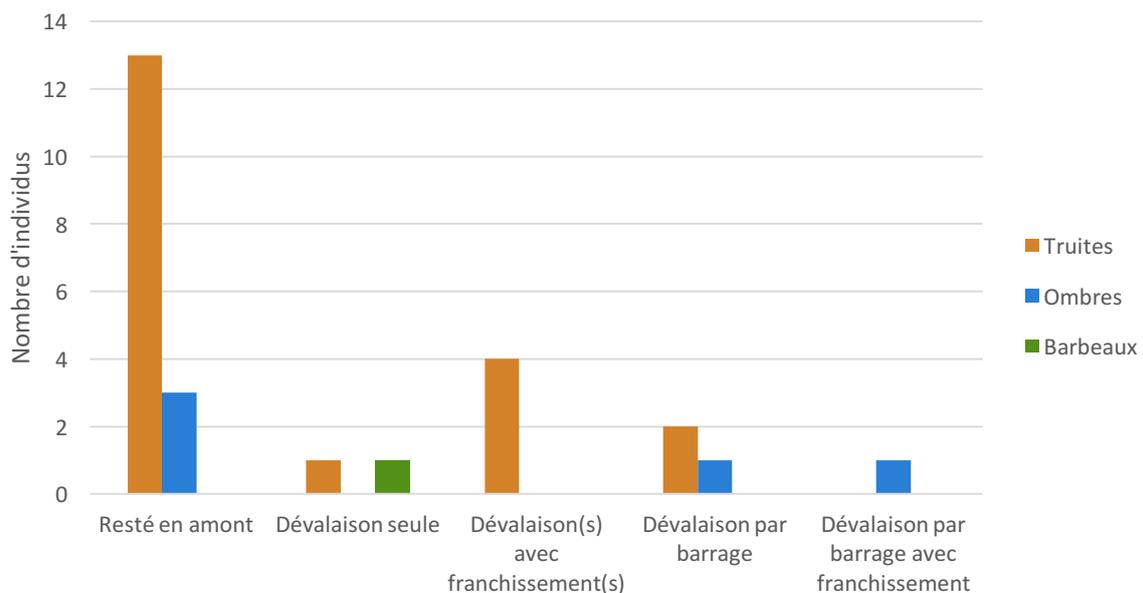


Figure 28 : Comportement des individus après franchissement de l'échelle à poissons.

3.2.4. DUREES DE FRANCHISSEMENT DE L'ECHELLE A POISSONS

Lors des différents franchissements observés uniquement chez la truite, l'ombre et le barbeau, les temps de franchissement complets entre les antennes A1 et A3 (entrée et fin de l'échelle) ont été calculés (Tableau 7) :

- La durée de franchissement moyenne pour la truite est de 1h15 avec un minimum de 20min et un maximum de 5h39 (temps médian = 47min).
- Pour l'ombre, le temps moyen de parcours de l'échelle est de 1h59 avec un minimum de 38min et un maximum de 2h13 (temps médian = 1h52).
- Enfin pour le barbeau, un seul individu a franchi entièrement l'échelle, le temps qu'il a mis pour effectuer ce franchissement est relativement long de 26h (temps médian = 26h).

Le temps mesuré entre la première et la dernière détection à l'antenne amont A3, nous permet d'observer si le poisson présente une certaine réticence à quitter l'échelle à poissons et si ce dernier y transite facilement. Nous observons que les salmonidés quittent rapidement l'échelle à poissons avec un temps de transit de 27h en moyenne pour les truites (temps médian de 2h54) et de 15min pour les ombres (temps médian de 6s). Quant au barbeau, il met 23h en moyenne pour sortir de la passe (temps médian= 23h).

Il n'existe pas de corrélation entre les durées de franchissement complet de l'échelle à poissons et la taille des individus (truites et ombres) (Spearman, $p=0,404$ pour la truite ; $p=0,75$ pour l'ombre). Enfin, aucune différence significative des temps de franchissement n'est visible entre les truites et les ombres (Mann-Whitney ; $p\text{-value}= 0,1938$).

Tableau 7 : Temps de parcours en hh :mm: ss des individus qui ont franchi entièrement l'échelle à poissons de l'antenne 1 à l'antenne 3.

Distance	Temps	Salmonidés			Cyprinidés	
		Truite	Ombre	Barbeau	Vandoise	Hotu
Antenne 1 à 3 (franchissement)	temps min	00:21:21	00:38:58	26:05:55	/	/
	temps moyen	01:15:00	01:59:44	26:05:55	/	/
	temps max	05:39:43	02:13:41	26:05:55	/	/
	temps médian	00:37:45	01:52:46	26:05:55	/	/
Antenne 1 à 2	temps min	00:03:11	00:02:22	00:32:13	0:03:35	/
	temps moyen	07:31:30	00:14:06	05:19:40	0:38:14	/
	temps max	99:00:49	00:33:14	13:56:22	01:41:09	/
	temps médian	00:12:49	00:12:04	03:28:19	00:17:17	/
Antenne 2 à 3	temps min	00:12:15	0:11:21	11:07:33	/	/
	temps moyen	00:24:35	0:40:47	11:07:33	/	/
	temps max	00:55:56	1:05:29	11:07:33	/	/
	temps médian	00:19:16	0:43:09	11:07:33	/	/
Antenne 3 à 3	temps min	00:00:00	0:00:00	0:22:50	/	/
	temps moyen	27:39:00	0:15:53	0:22:50	/	/
	temps max	275:49:36	1:03:20	0:22:50	/	/
	temps médian	00:02:54	0:00:06	0:22:50	/	/

IV. DISCUSSION

Ce mémoire est une contribution aux développements des connaissances sur l'évaluation de l'efficacité d'échelle à poissons et sur les profils migratoires de certaines espèces piscicoles de la rivière du Bocq, ainsi qu'une ouverture sur de nouvelles perspectives d'amélioration des dispositifs permettant le retour de la libre circulation des poissons, et notamment des espèces potamodromes moins souvent prises en considération.

Notre étude s'intègre dans des projets de rétablissement de la libre circulation des cours d'eau wallons, menés notamment sur le Bocq depuis le projet Life "Walphy" avec l'installation simultanée de la microcentrale hydroélectrique et de la passe à poissons en 2011 sur le barrage du Maka. Lors de notre expérimentation réalisée de fin 2015 jusque juin 2016, la configuration de l'échelle du Maka, a peu varié tout au long de l'étude. Les seules variations ont été un épisode de crue (31 mai au 1^{er} juin) avec des conditions de débits très importantes (9,36m³/s) et une turbidité de l'eau très élevée. Un passage à sec de la passe à poissons a également eu lieu à deux reprises en juin, à la suite d'une accumulation de débris à l'entrée amont, découlant de la période de crue. Signalons que pendant toute la durée de l'expérimentation, la vis d'Archimède n'a pas fonctionné. Sa mise en route a été effective à la fin juin 2016 lorsque les suivis s'achevaient. Il en résulte que l'attractivité de l'échelle à poissons n'est pas représentative des conditions normales de fonctionnement, avec fonctionnement de la vis.

4.1. EFFICACITE DES METHODES UTILISEES

Au cours de notre expérience, plusieurs méthodes de manipulation-transfert des poissons et de monitoring ont été utilisées. Des pêches électriques ont été réalisées le plus souvent en amont du barrage (une a été faite en aval) pour effectuer des captures et marquages de poissons, et translocation en aval de la zone du barrage du Maka en espérant un retour en amont par homing. La technique de translocation a plus de chance d'être efficace si les individus sont transloqués avant leur période de reproduction dans des conditions où la qualité de l'eau et des habitats sont les mêmes que leurs habitats de départ (Ovidio et al., 2016). Dans notre cas, la période de translocation pour certaines espèces, ne correspondait pas à leur période de migration. De plus, la saison, le débit et la température influant sur la migration des espèces, il est probable que des individus se soient mis à la recherche de nourriture ou d'habitats de repos et non de frayères potentielles en amont. Certaines tentatives de translocations ont donc été infructueuses, notamment celles de poissons de pisciculture qui n'ont jamais connu de rivière et qui ont certainement subi de trop grosses variations de leur milieu de vie. De plus, le déversement de ses poissons ne s'est pas effectué dans leur période de migration de reproduction. Pour les salmonidés du Pacifique par exemple, il existe des preuves que les conditions d'élevage en captivité sélectionnent par inadvertance des traits comportementaux et morphologiques qui ne sont pas optimales dans la nature (Reisenbichler & McIntyre 1977 ; Nickelson et al 1986 ; Fleming & Gross 1989 ; Swain & Riddell 1990 ; Fleming & Gross 1992, 1993, 1994 ; Flagg et al., 1995)..

Au final c'est la translocation amont Maka vers aval Maka de poissons capturés juste avant la reproduction qui s'est révélée la technique la plus efficace. Pour forcer des mouvements vers l'amont Une hypothèse qui peut expliquer l'absence de détection d'un grand nombre d'individus marqués au départ (72%) sur le site du barrage du Maka après translocation, est que certains individus ont pu être capturés par des prédateurs, d'autres ont pu être pêchés, et ce malgré l'interdiction de pêcher dans la zone du barrage. Ce fut le cas d'au moins une truite, dont l'émetteur radio nous a été rendu. Il se peut aussi que des individus qui ne trouvent pas l'entrée de la passe finissent par effectuer un déplacement vers l'aval afin de rechercher un site de reproduction alternatif comme démontré dans d'autres études (Ovidio et al., 2016).

Le système de détection RFID est largement utilisé pour surveiller les mouvements des poissons. La miniaturisation et le faible coût des marques permet de réaliser des études quantitatives, tout en conservant le caractère individuel des analyses (Prentice et al., 1990, Castro-Santos et al, 1996 ; Armstrong et al, 1996. ; Greenberg & Giller, 2000). Cette technique a le grand avantage de permettre la collecte de données sans recapturer l'animal, évitant ainsi le stress causé par la manipulation (Prentice et al., 1990). Cette méthode est particulièrement importante lorsque l'on étudie les performances de passage au sein des passes migratoires et a été démontré pour être une méthode efficace pour quantifier le passage sans manipulations des individus (Castro-Santos et al., 1996). La configuration du site d'étude ainsi que les résultats peu fructueux obtenus par le passé via un piège de capture nous ont confortés dans le choix de cette technique de suivi comportemental. Le monitoring des comportements de montaison via un piège de capture au sein de l'échelle à poissons du barrage du Maka avait débuté à la mi-février 2013 jusque mi-juin 2013 lors du projet Walphy (Peeters A. et Verniers G., rapport Walphy 2013). Néanmoins, l'efficacité observée par piégeage était très faible (N= 20 Salmonidés et N= 1 Cyprinidé). De même, ce système de suivi n'était pas le mieux adapté pour cet aménagement étant donné le principal problème de colmatage. L'inconvénient de la biotéléométrie est que seuls les individus marqués sont détectés, ce qui ne permet pas d'avoir une vue complète des flux migratoires à l'intérieur de la passe. D'autres études ont été réalisées dans des rivières belges sur d'autres passes à poissons avec la capture d'un plus grand nombre d'individus, avec un système de piégeage plus adapté et avec un monitoring multi-annuel (Benitez et al., 2015). L'utilisation de la technologie radio est complémentaire aux suivis RFID dans le sens où le champ de détection est plus important et permettait d'acquérir des données comportementales avant l'arrivée du poisson à l'entrée de l'échelle.

4.2.APPROCHE DU COMPLEXE BARRAGE – ECHELLE A POISSONS ET RYTHMES SAISONNIERS

Le suivi télémétrique par antenne radio au pied du barrage du Maka a permis de nous donner des informations sur les poissons radio-marqués (N= 24 au total) qui se sont approchés de la zone barrage – turbine – échelle à poissons. En ce qui concerne le comportement des poissons qui arrivent sur le site, la totalité (100%) des individus radio-marqués ont effectué une approche du complexe. Ces résultats concordent avec ceux des études de la passe à poissons de Chancy-Pougny (88%) et de la passe à poissons de Verbois sur le Rhône (78%) (Programme Interreg IVA France Suisse, 2015).

Suite aux différentes translocations et/ou déversements réalisés, la date de première détection des individus est rapide après le marquage. Quatre principaux pics saisonniers ressortent avec deux en automne, un en hiver et un au printemps, et ce, dans des gammes diverses de températures et de débit. Le pic hivernal de détection de truites suite à la translocation du 07.10.15 correspond à leur période de migration de reproduction durant laquelle les individus matures recherchent habituellement un habitat pour frayer vers l'amont (Ovidio et al. 1998 ; Heggenes et al. 2007). Les mouvements saisonniers de cette espèce ont été démontrés dans plusieurs études grâce à des expériences de radio-télémétrie (Ovidio 1999 ; Ovidio et al 2004, 2007).

Le second pic observé en hiver est celui des barbeaux, ces déplacements peuvent correspondre à une recherche d'habitats de refuges thermique ou de nourriture (Elliot 1994 ; Baras, 1995 ; Ovidio et al., 2007 ; Benitez et al.,2015). Cette espèce a une période de reproduction printanière, ce qui correspond avec les résultats de première détection des barbeaux transloqués le 18.05.16 (Baras et al. 1994 ; Britton and Pegg 2011). Ce qui expliquerait le faible nombre d'individus détectés suite au déversement du 26.10.15. Les ombres présentent une période de migration de reproduction également au printemps, ce qui correspond au nombre plus élevé d'individus détectés à la mi-avril (Bardonnet and Gaudin 1991; Ovidio et al. 2004). Les détections des ombres en période automnale et celles de la truite au printemps montrent des déplacements qui peuvent correspondre à des déplacements de recherches d'habitats de refuge ou d'alimentation vers le tronçon amont du barrage du Maka (Elliot 1994 ; Baras, 1995; Ovidio et al. 2007) et non associés à la migration (Benitez et al., 2015).

Les vandoises détectées en juin étaient proches de la période de montaison qui a lieu entre mars et juin (Benitez et al., 2015). Malheureusement, le fait qu'aucun franchissement n'ait été constaté, est probablement lié à un colmatage en amont de l'échelle qui a mis la passe à sec. Les mouvements plus variables peuvent refléter des réactions comportementales des individus ou groupes d'individus aux changements environnementaux locaux ou des besoins physiologiques causant des changements dans les habitats fonctionnels. Dans son environnement naturel, le hotu est une espèce qui migre principalement vers l'amont pour

frayer et effectue plus tard une dévalaison post-reproduction avec des mouvements vers aval (Hubert et Kirchhofer, 1998; Ovidio et Philippart, 2008). Ce qui n'était pas le cas dans notre étude, avec des individus issus de la pisciculture qui n'ont pas dû avoir le même comportement que leurs homologues sauvages. L'absence de migrations au début de l'été confirme le résultat du suivi des études menées dans plusieurs cours d'eau (Baras et Philippart, 1989 ; Pelz et Kastle, 1989 ; Baras et Cheny, 1990 ; Baras, 1993a) qui ont montré que l'été est une période de grande stabilité, ce qui reflète la fidélité à une zone d'activité définie (Baras, 1993). Cependant, ceci est valable pour les espèces cibles de notre expérience mais ne l'est pas pour des petites espèces telles que les ablettes spiralin (*Alburnoides bipunctatus*) par exemple.

4.3. ETUDE DE L'EFFICACITE DE LA PASSE A TRAVERS NOS MODELES BIOLOGIQUES

Il existe des étapes distinctes pour un franchissement total : les poissons doivent d'abord localiser l'entrée de la passe (orientation), une fois dans la zone d'attraction de la passe, ils doivent choisir d'y entrer et enfin ils doivent franchir complètement le barrage. Chacune des trois étapes : l'orientation (temps de recherche), l'entrée (taux d'attractivité) et le passage (taux de franchissement), ont été quantifiés et le succès de toute passe migratoire dépend l'analyse de ces trois variables pour comprendre globalement le comportement du poisson (Collins & Elling, 1960; Castro-Santos et Haro, 2010). Parfois, il est impossible de quantifier séparément les trois composantes, dans ce cas, les chercheurs doivent reconnaître les limites de leur étude et interpréter leurs données en conséquence (Bunt et al., 2012).

4.3.1. TEMPS DE RECHERCHE ET ATTRACTIVITE DE LA PASSE MIGRATOIRE

Le temps de recherche nécessaire aux poissons pour trouver l'entrée de l'échelle a été déterminé grâce à la combinaison des systèmes de détection radio et RFID. Il en ressort des résultats de notre étude que les truites mettent en moyenne de 65h à trouver l'entrée de la passe et les ombres mettent 542h (temps médians respectifs : 12h et 465h). Nous considérons cette attractivité comme faible au vu des retards important occasionnés à des poissons en phase de montaison. Des temps dits de présence dans la zone d'occupation avant de trouver l'entrée de l'échelle ont été calculés sur des barbeaux, des chevaines et des truites, pour les échelles de Chancy-Pougny et de Verbois sur le Rhône. Ainsi, le premier site indique un temps de 240h contre 234h pour le second, toutes espèces confondues (Programme Interreg IVA France Suisse, 2015). Mais ces durées sont importantes car la distance barrage – entrée de l'échelle est comprise entre 200 et 300m pour les deux sites.

Il faut toutefois prendre en compte le fait qu'un poisson qui s'approche du barrage n'a pas obligatoirement la volonté de le franchir. En effet, au cours d'une telle expérience, il est difficile de prévoir le comportement que les individus auront après translocation ou déversement. Les comportements sont conditionnés par un certain nombre de facteurs, qui sont à prendre en compte dès le départ-

En plus de son caractère multi-spécifique et du temps nécessaire aux poissons pour en trouver l'entrée, l'efficacité d'une échelle à poissons dépend également de son attractivité. Le suivi radio-téléométrique fournit la meilleure information sur la présence d'un poisson en aval du barrage et l'approche du barrage pour évaluer l'attraction du dispositif de franchissement à l'échelle individuelle et à l'échelle de la population sur des poissons qui sont assez grands pour être marqués (Webb 1990 ; Bunt et al 1999 ; Gowans et al 1999b ; Moser et al 2000). Ainsi, l'étude de Cowx et Welcomme (1998) nous indique à partir d'une évaluation globale, l'emplacement le plus approprié de passage des entrées pour les poissons. D'autres études, notamment de Larinier et Travade, apportent plus de détails qui appuient cette évaluation. Il semblerait que beaucoup d'échelles ont des entrées qui sont mal situées ou produisent des flux qui sont insuffisants pour attirer les poissons par rapports à d'autres zones à plus forts courants (Bunt et al, 1999; Gowans et al, 1999; Bunt, 2001; Oldani et Baigún, 2002; Sprankle, 2005). Cela se confirme dans notre cas où l'entrée de l'échelle est perpendiculaire au courant de la rivière, or il est conseillé d'avoir une entrée d'eau parallèle au courant afin d'optimiser son attractivité (Larinier 1992 ; Clay 1995 ; Larinier & Travade 1999). Dans notre étude, le pourcentage d'attraction est de 33% (nombre de poissons détectés / nombre de poissons marqués). Même s'il existe des directives et des recommandations concernant le positionnement correct des entrées des passes migratoires, les contraintes locales (les routes, les chemins de fer) peuvent obliger les ingénieurs à adopter une conception moins appropriée. En ce qui concerne les barrages hydroélectriques, l'attractivité peut différer selon le nombre de turbines en fonctionnement et de leur position. Dans notre étude, la vis d'Archimède ichtyocompatible située entre la passe à poissons et le barrage, ne fonctionnait pas. Son impact vis-à-vis de l'attractivité de l'échelle ne peut donc pas être considéré. Néanmoins lorsque le jet de l'entrée d'une passe à poissons est orienté perpendiculairement à celui de l'écoulement d'une turbine, il est immédiatement cisailé et ne peut se développer vers l'aval (Larinier et al. ; 1993). Si la turbine du barrage du Maka devait être remise en route, le taux d'attractivité de l'entrée de l'échelle serait à reconsidérer. Grâce au système RFID, nous avons observé que les Salmonidés qui ont franchi, effectuaient préférentiellement une approche (50% des truites et 20% des ombres) ou deux approches de la passe (45% des truites et 60% des ombres). Ceux qui n'ont pas franchi faisaient majoritairement une approche (67% des truites et 75% des ombres). La tendance est inversée chez les Cyprinidés qui se présentent le plus souvent, au moins 3 fois à l'entrée de la passe (85% des barbeaux et 50% des vandoises). Cette tendance est retrouvée dans l'expérience de la passe à poissons de Gamsheim sur le Rhin pour des Cyprinidés (barbeau, chevaine, hotu, brème et aspe) avec un nombre moyen de 2,7 tentatives d'approches (Tétard S. Rapport EDF, 2014).

4.3.2.TAUX DE FRANCHISSEMENT

Le dispositif RFID mis en place dans l'échelle du barrage, a permis une visualisation de l'utilisation de la passe par la faune piscicole du Bocq via les individus marqués. Notre analyse a révélé que le pourcentage de franchissement total est de seulement 20% et de 50% pour le franchissement corrigé. Une fraction de la population de poissons utilisée a été

volontairement exclue (les poissons de pisciculture et les vandoises), ce pour ne pas biaiser les résultats étant donné leur absence totale et/ou de franchissement. Un résultat de 62,5% pour le franchissement corrigé, barbeaux et chevaines confondus, a été obtenu pour l'échelle à poisson de Chancy-Pougny (25% de franchissement total) tandis que celle de Verbois affichait 67% (11% de franchissement total) (Programme Interreg IVA France Suisse, 2015). Les résultats de notre passe migratoire sont relativement proches. Dans les deux échelles sur le Rhône, il y a eu un pourcentage de franchissement corrigé de 50% pour les barbeaux. Ce taux est de 75% pour l'échelle à poissons du barrage de Monsin sur la Meuse en Belgique (Ovidio et al., 2016). Ce qui est très élevé comparé au site du Maka où le pourcentage n'est que de 7% pour cette espèce. Dans la littérature, le pourcentage de franchissement des cyprinidés est compris entre 20 et 30% (Noonan et al., 2011). Sachant que ceux des études sur le Rhône sont de 21% et 14% et que le nôtre est de 7%, nous avons une efficacité d'échelle inférieure concernant les cyprinidés. Cependant, les chiffres montrent que les salmonidés ont un meilleur taux de franchissement que les cyprinidés avec 78% de franchissement corrigé. L'étude de synthèse de Noonan et al. (2012), qui combine les données de franchissement des cyprinidés, appuie ces résultats avec une efficacité de passage de 61,7% pour les Salmonidés contre 21,1% pour les non salmonidés. Le succès de ces poissons est probablement lié à leur capacité de nage importante (Webb, 1975) ainsi qu'à la structure interne de l'échelle (Larinier 2001 ; Calles et Greenberg 2005 ; Persil et al. ; 2007 ; Schilt ; 2007). Néanmoins, il faut noter que l'échelle du Maka est censée être multi-espèces avec la présence d'un fond en enrochement et la présence d'orifices de fond. Malgré sa multi-spécificité, l'échelle à poissons du site du Maka se révèle plus adaptée pour les salmonidés que les cyprinidés.

L'efficacité étant étroitement liée à la vitesse et la turbulence de l'eau, croisés avec les performances de nage des poissons, nous avons réalisé quelques mesures *in situ* afin d'avancer des hypothèses quant au taux de franchissement insuffisant de certaines espèces. Les valeurs relevées montrent qu'il existe un gradient de vitesse de l'échancrure la plus en aval vers l'échancrure la plus en amont. Ainsi les données obtenues et comparées avec celles de référence dans le guide ICE (Baudouin et al., 2014), nous indiquent que les vitesses dans les échancrures essentiellement amont, correspondent à des vitesses limites de capacité de nage des poissons, surtout les cyprinidés.

4.3.3. TEMPS DE FRANCHISSEMENT

Nous avons constaté que les Salmonidés franchissaient plus rapidement l'échelle que les Cyprinidés. Néanmoins, le faible nombre d'individus de la famille des Cyprinidés détectés pour le franchissement total (N= 1), ne permet pas d'être objectif. Plusieurs tendances ont été observées :

- Pour le passage de l'antenne 1 à l'antenne 2 (partie aval de l'échelle), toutes les espèces étudiées sauf le hotu ont réalisé ce demi parcours de l'échelle avec un temps

médian de 12min (min= 3min ; max= 99h) pour les truites, 12min (min= 2min ; max= 33min) également pour les ombres, 3h30 (min= 32min ; max= 14h) pour les barbeaux et 17min (min= 3 ; max= 1h40) pour les vandoises.

- La seconde partie de l'échelle (antenne 2 à antenne 3), présente des temps de migration similaire pour les Salmonidés mais un temps largement augmenté pour les barbeaux.
- Le temps que mettent les poissons dans le dernier bassin avant de sortir de l'échelle est similaire chez les salmonidés et les cyprinidés. Ce temps peut correspondre à la difficulté de franchir cette dernière échancre (vitesse de courant plus importante) ou à l'attente de la tombée de la nuit pour éviter les prédateurs qui chassent à vue.

Dans le meilleur des cas, l'échelle à poissons permet donc de franchir le barrage du Maka en 1h environ pour la plus rapide des truites, en 2h pour l'ombre et en 26h pour le barbeau. Dans l'étude de l'échelle à Chancy-Pougny, le temps de franchissement médian pour les barbeaux est de 2h30 et dans la passe de Verbois il est 5h (Programme Interreg IVA France Suisse, 2015 ; Ovidio et al., 2016). Les passes ayant une longueur respective de 250 et 350m, contre 25m pour celle du barrage du Maka. Concernant l'expérience de la passe du barrage de Monsin, les barbeaux effectuent le franchissement entre 2 et 4h, le hotu met plus de 3h et les chevaines affichent un temps médian de 2h45) pour une échelle de 146m. Enfin, dans l'échelle à poissons de Gambenheim sur le Rhin en France, le temps de franchissement médian est de 28h toutes espèces confondues pour une longueur d'échelle de 187m (Tétard S. Rapport EDF, 2014). Les échelles à poissons de ces études étant largement plus importantes en terme de longueur, on en déduit qu'il existe probablement un problème structurel au sein de l'échelle du Maka qui ralentit et rend difficile le franchissement par les cyprinidés.

4.3.4. TIMING DE PASSAGE A L'ECHELLE DU RYTHME NYCTHEMERAL

L'utilisation de la technologie RFID permet aussi de déterminer avec précision les heures d'activités pour chacune des espèces étudiées. Même si les détections à l'antenne 1 ont été différentes d'un point de vue multi-espèces, seules les truites présentent un pic d'activité nocturne. Bien que le risque de prédation soit largement diminué durant la nuit, les ombres ont plutôt une activité nocturne quasi-inexistante, en dépit de l'exposition potentielle accrue aux prédateurs visuels (Baras, 1995 ; Rapport final RFID-Coo, 2015). Quant aux barbeaux, cette espèce montre des pics au lever et au coucher du soleil (Rapport final RFID-Coo, 2015). En outre, lorsque les températures dépassent la plage de confort thermique, les poissons ont tendance à éviter les températures quotidiennes maximales en migrant la nuit ou pendant des périodes crépusculaires (Baras, 1995). D'après la littérature, le barbeau est un cyprinidé qui migre surtout la nuit (Prignon et al., 1998 ; Travade et al., 1998), ainsi que beaucoup d'autres espèces (Lucas 1998 ; Reichard et al., 2002). L'influence du facteur température ne peut pas être mis en évidence chez le barbeau, du fait du faible nombre détecté, bien que la littérature indique que la température, ainsi que la saison jouent un rôle majeur dans les déplacements des espèces (Lucas & Batley, 1996). La présence des individus détectés en

journée pourrait être due au retard de migration causé par la présence du barrage ou bien parce que les conditions de turbidité de l'eau abaisse efficacement la diffusion de la lumière dans l'eau (Reichard et al., 2001). De même, les déplacements en journée, toutes espèces confondues peuvent signifier que les poissons utilisent l'échelle comme une zone de repos. Certains poissons ne cherchent pas obligatoirement à passer en amont, d'où parfois le temps important qu'ils passent dans un bassin et les heures diverses de détections. Il s'agit là d'un comportement exploratoire.

4.3.5. ANALYSES COMPORTEMENTALES POST-FRANCHISSEMENT

Le comportement adopté par les différents individus après avoir franchi entièrement la passe migratoire, a été analysé. Ainsi, on observe plusieurs phénomènes :

- Majoritairement les poissons de type Salmonidés sont restés en amont (64%). Les truites transloquées le 7.10.15 sont probablement remontées à la recherche de frayères pour la reproduction (Mäki-Petäys et al 1997; Ovidio 1999 ; Gouraud et al. 2014) tandis que les ombres transloqués ce même jour, se sont déplacés à la recherche d'habitats favorables, notamment pour trouver des ressources alimentaires et des zones de repos. Ces individus peuvent également chercher des zones de refuges pour éviter les prédateurs.
- Une partie des truites et des ombres a néanmoins dévalé par la suite, que ce soit via l'échelle à poissons (20%) ou que ce soit via le barrage (16%). Il est d'autant plus curieux pour ces individus que ces derniers ont été capturés en amont du barrage. Certains individus ont même réitéré un ou plusieurs franchissements de l'échelle avant de rester définitivement en amont.
- Le seul barbeau ayant franchi l'échelle a effectué une dévalaison via celle-ci ensuite. La présence de barbeaux n'a pas été confirmée dans la rivière en amont du barrage du Maka. Les conditions environnementales et physiques ne convenant peut-être pas à cette espèce.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Après un monitoring de 8 mois (octobre à juin) de poissons marqués et relâchés dans le Bocq, en aval du barrage du Maka par télémétrie radio et par système RFID placé, nous pouvons dresser le bilan global suivant :

- La méthode de translocation de poissons de zones amont vers l'aval de la passe a fonctionné essentiellement lorsqu'elle a été réalisée en période de migration. L'utilisation de poissons issus de pisciculture est moins recommandée pour ce genre d'étude.
- L'utilisation de la biotélémétrie et de l'analyse fine des comportements individuels s'est avérée efficace pour mettre en évidence les bons points et les dysfonctionnements de l'échelle à poissons.
- L'attractivité de l'échelle est relativement faible (33%), et le temps de recherche de l'entrée reste trop long (temps médian de 12h pour les truites et 465h pour les ombres), surtout en période de migration pour la reproduction.
- L'impact de la vis d'Archimède sur l'attractivité de la passe n'a pas pu être évalué du fait de son non fonctionnement.
- Les salmonidés exploitent nettement mieux la passe migratoire que les cyprinidés. Le taux de franchissement est nettement meilleur (78% contre 7%). A ce stade, on ne connaît rien de l'efficacité de la passe pour les petites espèces benthiques et pélagiques.
- Le gradient de vitesses de courant de l'aval vers l'amont dans les échancrures, et certaines hauteurs de chutes posent probablement des problèmes de transit dans l'échelle aux espèces avec de faibles capacités de nage et de saut. C'est ce qui explique l'efficacité moindre pour les cyprinidés que pour les salmonidés.

Les solutions à envisagées et perspectives qui découlent de cette expérience sont :

- Prévoir une nouvelle étude avec la Vis d'Archimède en fonctionnement pour vérifier son impact sur l'attractivité général du dispositif.
- Combiner la biotélémétrie avec un système de piégeage efficace pour évaluer la diversité de la faune piscicole qui emprunte la passe. Ne pas oublier les petites espèces comme le chabot (*Cottus rhenanus*), la loche (*Barbatula barbatula*) ou l'anguille (*Anguilla anguilla*) qui sont abondantes dans le Bocq.
- Modifier la structure des échancrures qui posent des problèmes afin dans l'objectif de diminuer les vitesses les plus fortes dans les échancrures amont et les hauteurs de chutes, effectuer des modifications d'ingénierie. Dans la mesure du possible, effectuer des travaux sur la position de l'entrée de l'échelle pour augmenter son attractivité. Il conviendra de vérifier l'impact de ces modifications sur le taux de franchissement des espèces cibles.

BIBLIOGRAPHIE

- Arnekleiv, J. V., Kraabøl, M., & Museth, J.** (2007). Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta L.*) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia*, 582(1), 5–15.
- Balon, E.** (1975). Reproductive guilds of fishes: A proposal and definition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32, 821–864.
- Baras, E.** (1992). Etude des strategies d'occupations du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus (L.)*. *Cahier d'Ethologie Appliquée*, 12, 125–442.
- Baras, E.** (1993). Etude par biotélémetrie de l'utilisation de l'espace, chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus (L.)*. Caractérisation et implications des patrons saisonniers de mobilité. *Cahier Ethologie Appliquée*, 13, 135–138.
- Baras, E.** (1995). Seasonal activities of *Barbus barbus*: effect of temperature on time-budgeting. *Journal of Fish Biology*, 46, 806–818.
- Baras, E., & Cherry, B.** (1990). Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus (L.)* in the River Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*, 3(4), 283–294.
- Baras, E., Lambert, H., & Philippart, J.** (1994). A comprehensive assessment of the failure of *Barbus barbus* spawning migrations through a fish pass in the canalized river Meuse (Belgium). *Aquatic Living Resources*, 7, 181–189.
- Baras, E., & Philippart, J.-C.** (1989). Application du radio-pistage à l'étude éco-éthologique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*): problèmes, stratégies et premiers résultats. *Cahier d'Ethologie Appliquée*, 9, 467–494.
- Baras, E., & Philippart, J.-C.** (1999). Adaptive and evolutionary significance of a reproductive thermal threshold in *Barbus barbus*. *Journal of Fish Biology*, 55, 354–375.
- Bardonnet, A., & Gaudin, P.** (1991). Influence of daily variations of light and temperature on the emergence rhythm of grayling fry (*Thymallus thymallus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48, 1176–1180.
- Baudoin, J., Burgun, V., Chansseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., & Sremski, W.** (2014). Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. Onema, 204.
- Benitez, J., Nzau Matondo, B., Bunel, S., Spronck, C., & Dierckx, A.** (2015). Evaluation scientifique de l'efficacité d'un dispositif de monitoring de la dévalaison des poissons sur un site hydroélectrique de la zone à ombre de l'ambleve. *Rapport final du projet financé par le Fonds européen pour la Pêche*, 32, 1202 .
- Benitez, J. P., Nzau Matondo, B., Dierckx, A., & Ovidio, M.** (2015). An overview of potamodromous fish upstream movements in medium-sized rivers, by means of fish passes monitoring, *Aquatic ecology*, 49(4), 481–497.
- Britton, J. R., & Pegg, J.** (2011). Ecology of European barbel *Barbus barbus*: implications for river, fishery, and conservation management. *Reviews in Fisheries Science*, 19, 321–330.
- Bunt, C. M.** (2001). Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fisheries Management and Ecology*, 8, 95–105.
- Bunt, C. M., Castro-Santo, T., & Haro, A.** (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research And Applications*, 28, 457–478.
- Calles, E. O., & Greenberg, L. A.** (2005). Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the river Emån. *River Research And Applications*, 21, 951–960.

- Castro-santos, T., & Haro, A.** (2010). Fish guidance and passage at barriers. Fish locomotion: an eco-ethological perspective. *Science Publishers*.
- Castro-santos, T., Haro, A., & Walks, S.** (1996). A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research*, 28, 253–261.
- Chanseau, M., & Larinier, M.** (1999). Etude du comportement du saumon atlantique (*Salmo salar L.*) au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Braigts (Gave de Pau) lors de sa migration anadrome. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 239–262.
- Ciolac, A.** (2004). Migration of fishes in Romanian Danube river. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2, 143–163.
- Clay, C. H.** (1995). Design of Fishways and Other Fish Facilities, 2nd edn. *Lewis Publishers, Boca Raton, FL*.
- Collins, C. B., & Elling, C. H.** (1960). Fishway research at the fisheries-engineering research laboratory. *U S Fish and Wildlife Service Circular*, 98, 1 - 17.
- Cowx, I. G., & Welcomme, R. L.** (1998). Rehabilitation of rivers for fish. *Food & Agriculture Organization of the United Nations*. 1 - 80.
- Cröze, O., Chanseau, M., & Larinier, M.** (1999). Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) et comportement des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Camon sur la Garonne. *Bulletin Français de la Pêche et de La Pisciculture*, (353 - 354), 121 - 140.
- De Leeuw, J. J., & Winter, H. V.** (2008). Migration of rheophilic fish in the large lowland rivers Meuse and Rhine, the Netherlands. *Fisheries Management and Ecology*, 15, 409–415.
- Dynesius, M., & Nilsson, C.** (1994). Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Sciences*, 266(5186), 753–762.
- Elliot, J. M.** (1994). Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, Oxford. *Food & Agriculture Organization of the United Nations*.
- Fleming, I. A., & Gross, M. R.** (1989). Evolution of adult female life history and morphology in a Pacific salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Evolution*, 141-157., 141–157.
- Fleming, I. A., & Gross, M. R.** (1992). Reproductive behavior of hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): does it differ?. *Aquaculture*, 103(2), 101-121.
- Fleming, I. A., & Gross, M. R.** (1993). Breeding success of hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in competition. *Ecological Applications*, 3, 230–245.
- Fleming, I. A., & Gross, M. R.** (1994). Breeding competition in a Pacific salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*): measures of natural and sexual selection. *Evolution*, 637-657.
- Gouraud, V., Baran, P., Bardonnet, A., Beaufre, C., Capra, H., Caudron, A., ... Bagliniere, J. L.** (2014). Sur quelles connaissances se baser pour évaluer l'état de santé des populations de truite commune (*Salmo trutta*)? *Hydroécologie Appliquée*.
- Gowans, A. R., Armstrong, J. D., & Priede, I. G.** (1999). Movements of adult Atlantic salmon in relation to a hydroelectric dam and fish ladder. *Journal of Fish Biology*, 54, 713–726.
- Greenberg, L. A., & Giller, P. S.** (2000). The potential of flat-bed passive integrated transponder antennae for studying habitat use by stream fishes. *Ecology of Freshwater Fish*, 9, 74–80.
- Grimardias, D.** (2015). Evaluation de l'efficacité des dispositifs de franchissement des barrages via la méthode télémétrique (module 2). *Programme INTERREG IV A France - Suisse*.
- Gross, M. R.** (1987). Evolution of diadromy in fishes. *American Fisheries Society Symposium*, 14–25.

- Heggenes, J., Omholt, P. K., Kristiansen, J. R., Sagrie, J., Økland, F., & Beere, M. C.** (2007). Movements by wild brown trout in a boreal river: response to habitat and flow contrasts. *Fisheries Management and Ecology*, *14*, 333–342.
- Huet, M.** (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes, 332–351.
- Johnson, G. E., & Dauble, D. D.** (2006). Surface Flow Outlets to Protect Juvenile Salmonids Passing Through Hydropower Dams. *Reviews in Fisheries Science*, *14*(3), 213–244.
- Larinier, M.** (1992). Implantation des passes a poissons. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, *326–327*, 30–44.
- Larinier, M.** (2001). Dams, Fish and Fisheries: Opportunities, Challenges and Conflict Resolution. *FAO Fisheries Technical Paper*, *419*, 45–90.
- Larinier, M.** (2002). Baffle fishways. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, (January 2002), 83–101.
- Larinier, M.** (2008). Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France, 97–108.
- Larinier, M., & Travade, F.** (1999). La dévalaison des migrateurs : problèmes et dispositifs. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, (353–354), 181–210.
- Lévêque, C.** (2006). Les poissons des eaux continentales africaines: diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD Editions.
- Lucas, M. C., & Baras, E.** (2001). Migration of Freshwater Fishes. *Blackwell Science Ltd, Oxford*.
- Lucas, M. C., & Frear, P.** (1997). Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *Journal of Fish Biology*, *50*, 382–396.
- Maes, J., Stevens, M., & Breine, J.** (2008). Poor water quality constrains the distribution and movements of twaite shad *Alosa fallax fallax* (Lacépède, 1803) in the watershed of river Scheldt. *Hydrobiologia*, *602*, 129–143.
- Mäki-Petäys, A., Muotka, T., Huusko, A., Tikkanen, P., & Kreivi, P.** (1997). Seasonal changes in habitat use and preference by juvenile brown trout, *Salmo trutta*, in a northern boreal river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *54*, 520–530.
- Mann, R. H. K.** (1996). Environmental requirements of European non-salmonid fish in rivers. *Hydrobiologia*, *323*, 223–235.
- Meldgaard, T., Nielsen, E. E., & Loeschcke, V.** (2003). Fragmentation by weirs in a riverine system: a study of genetic variation in time and space among population of European grayling (*Thymallus thymallus*) in Danish river system. *Conservation Genetics*, *735–747*.
- Moser, M. L., Darazsdi, A. M., & Hall, J. R.** (2000). Improving passage efficiency of adult American shad at low-elevation dams with navigation locks. *North American Journal of Fisheries Management*, *20*, 376–385.
- Muška, M., Tušer, M., Frouzová, J., Draštík, V., Čech, M., Jůza, T., ... Kubečka, J.** (2012). To migrate, or not to migrate: partial diel horizontal migration of fish in a temperate freshwater reservoir. *Hydrobiologia*, *707*, 17–28.
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C.** (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Sciences*, *308*, 405–408.
- Noonan, M. J., Grant, J. W. A., & Jackson, C. D.** (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, *13*, 450–464.
- Northcote, T. G.** (1979). Mechanisms of fish migration in rivers. In: Mechanisms of migration in fish.
- Oldani, N. O., & Baigu'n, C. R. M.** (2002). Performance of a fishway system in a major South

- American dam on the Parana River (Argentina-Paraguay). *River Research And Applications*, 18, 171–183.
- Ovidio, M.** (1999). Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta L.*) adulte : Étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, (352), 1–18.
- Ovidio, M., Baras, E., Goffaux, D., Birtles, C., & Philippart, J.-C.** (1998). Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta L.*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia*, 371-372, 263-274.
- Ovidio, M., Dierckx, A., Ballieu, T., Sonny, D., Marechal, M., & Wathez, Q.** (2015). Monitoring des poissons par RFID au niveau du canal de fuite de la centrale de Coo derivation (electrabel). *Rapport final*.
- Ovidio, M., Dierckx, A., Benitez, J. P., Philippart, J.-C., & Orban, P.** (2012). Behavioural adaptations of rheophilic fish radio-tracked in a river highly fragmented by hydroelectric plants. outcomes of a partial reopening of their migration routes. In: Proceedings of the 9th International Conference on Ecohydraulics.
- Ovidio, M., Hanzen, C., Gennotte, V., Michaux, J., Benitez, J., & Dierckx, A.** (2016). Is adult translocation a credible way to accelerate the recolonization process of *Chondrostoma nasus* in a rehabilitated river ? *Cybium*, 40(1), 43–49.
- Ovidio, M., Parkinson, D., Philippart, J., & Baras, E.** (2007). Multiyear homing and fidelity to residence areas by individual barbel (*Barbus barbus*). *Belgian Journal of zoology*, 137(July), 183–190.
- Ovidio, M., & Philippart, J.** (2008). Les phénomènes de mobilité chez les poissons de nos cours d'eau, *Le pêcheur belge* pp. 20–23.
- Ovidio, M., & Philippart, J.-C.** (2008). Movement patterns and spawning activity of individual nase *Chondrostoma nasus (L.)* in flow-regulated and weir-fragmented rivers. *Journal of Applied Ichthyology*, 24, 256–262.
- Pavlov, D. S.** (1994). The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution. *Folia Zoologica*, 43, 193–208.
- Philippart, J.-C.** (1989). Ecologie des populations de poissons et caractéristiques physiques et chimiques des rivières dans le bassin de la Meuse belge. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, 25, 175–198.
- Philippart, J.-C., & Ovidio, M.** (1999). Le comportement migrateur des poissons en Wallonie. Caractérisation biologique et implication pour une gestion durable des populations. Communication au colloque GIPPA "Quel avenir pour nos poissons en Wallonie?" La Marlagne (Wepion).
- Philippart, J., Ovidio, M., Neus, Y., Rimbaud, G., & Crahay, R.** (2004). *Elements de suivis scientifiques de la restauration écologique et piscicole de l'Ambleve en 2004 - 2005*.
- Poulet, N.** (2007). Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream. *River Research And Applications*, 23, 1038–1047.
- Prignon, C., Micha, M. J., & Gillet, A.** (1998). Biological and environmental characteristics of fish passage at the Tailfer dam on the Meuse River, Belgium. In: Jungwith M, Schmutz S, Weiss S (eds) Fish migration and fish bypasses. Fishing news books. *Blackwell Science Ltd, Oxford*, 69–84.
- Reichard, M., Jurajda, P., & Ondrac̣ková M.** (2002). The effect of light intensity on the drift of young-of-the-year cyprinid fishes. *Journal of Fish Biology*, 61, 1063–1066.
- Reichard, M., Jurajda, P., & Smith, C.** (2004). Spatial distribution of drifting cyprinid fishes in a shallow lowland river. *Archiv Für Hydrobiologie*, 159, 395–407.

- Reisenbichler, R. R., & McIntyre, J. D.** (1977). Genetic differences in growth and survival of juvenile hatchery and wild steelhead trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34, 123–128.
- Riley, W. D., Maxwell, D. L., Pawson, M. G., & Ives, M. J.** (2009). The effects of low summer flow on wild salmon (*Salmo salar*), trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in a small stream. *Freshwater Biology*, 54, 2581–2599.
- Rose, F.** (1974). The epiphytes of oak. In: Morris MG and Perring FH (eds) *The British Oak*.
- Schilt, C. R.** (2007). Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science*, 104, 295–325.
- Scruton, D. A., Pennell, C. J., Bourgeois, C. E., Goosney, R. F., Porter, T. R., & Clarke, K. D.** (2007). Assessment of a retrofitted downstream fish bypass system for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and kelts at a hydroelectric facility on the Exploits River, Newfoundland, Canada. *Hydrobiologia*, 582(1), 155–169.
- Sprankle, K.** (2005). Interdam movements and passage attraction of American shad in the lower Merrimack River main stem. *North American Journal of Fisheries Management*, 25, 1456–1466.
- Swain, D. P., & Riddell, B. E.** (1990). Variation in agonistic behavior between newly emerged juveniles from hatchery and wild populations of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47, 566–571.
- Tetard, S., De Oliveira, E., Schaeffer, F., & Clair, B.** (2014). Etude du comportement des cyprinidés dans la passe à poissons de Gambsheim (Rhin , France) entre 2011 et 2013 - Utilisation de la technique RFID .
- Townsend, C. R., & Hildrew, A. G.** (1994). Species Traits in Relation to a Habitat Template for River Systems. *Freshwater Biology*, 31, 265–275.
- Towsend, C. R.** (1989). The patch dynamics concept of stream community ecology. *Journal of North American Benthological Society*, 8, 36–50.
- Travade, F., Larinier, M., Boyer-Bernard, S., & Dartiguelongue, J.** (1998). Performance of four fish pass installations recently built on two rivers in south-west France. Fish migration and fish bypasses, 146.
- Vannote, G., Robin, L., Minshall, W., W., K., Cummins, J. R. S., E., C., & Cushing.** (1980). The River Continuum Concept. *Canadien Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* , 37, 130–137.
- Webb, P. W.** (1975). Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 190, 1–158. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 190, 1–158.
- Yamamoto, S., Morita, K., Koizumi, I., & Maekawa, K.** (2004). Genetic differentiation of white-spotted sharr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: spatio-temporal changes in gene frequencies. *Conservation Genetics*, 5, 529–538.

Site internet:

aqualim.environnement.wallonie.be/