

Service Public de Wallonie

Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement

Division de l'Eau-Direction des Cours d'Eau Non Navigables



CONVENTION D'ÉTUDES AVEC L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE

**MISE EN PLACE ET SUIVI SCIENTIFIQUE D'UN PROTOCOLE
EXPERIMENTAL VISANT A EVALUER LA MORTALITE DE L'ICHTYOFAUNE
SUITE A LA DEVALAISON A TRAVERS UNE ROUE DE MOULIN.**

par

J-P. BENITEZ (Ulg) , A. DIERCKX (Ulg), D. GOFFAUX (Profish),

M. MARECHAL (Profish), D. SONNY (Profish)

et **M. OVIDIO (ulg, coordination scientifique)**



Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH, Ulg).

Chemin de la Justice 10, 4500 Tihange Belgique (M.Ovidio@ulg.ac.be)

Travail réalisé avec la collaboration de Profish Technology

Table des matières

1. Introduction	3
2. Matériels et méthode	4
2.1. Caractéristiques du moulin à eau de Fallais.....	5
2.2. Espèces étudiées	7
2.3. Acquisition, stockage et transport des poissons	8
2.4. Dispositifs et injection des poissons	9
2.5. Conditions expérimentales	14
a) L'anguille	14
a) Les truites fario et arc-en-ciel.....	14
a) L'ide mélanote	15
3. Résultats	16
3.1. Injection des anguilles	16
3.2. Injection des truites fario et arc-en-ciel.....	20
3.3. Injection des ides mélanote	23
3.4. Synthèse pour toutes les espèces.....	29
4. Discussion	32
5. Conclusion	34
6. Remerciements	34
7. Références bibliographiques	35

Citation recommandée du rapport :

BENITEZ, J.P., DIERCKX, A., GOFFAUX, D., SONNY, D. & OVIDIO, M., 2011. Mise en place et suivi scientifique d'un protocole expérimental visant à évaluer la mortalité de l'ichtyofaune suite à la dévalaison à travers une roue de moulin. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 35 pages (décembre 2011).

1. Introduction

Historiquement, le long des cours d'eau, de nombreux moulins utilisaient la force motrice de l'eau à des fins de transformations (meuneries) ou de manutentions (scieries). Ces activités artisanales étant actuellement sur le déclin, bon nombre de roues de moulin sont à l'état d'abandon, ou ne sont plus utilisées à des fins économiques. Dans le contexte actuel de recherche active de sources de production d'énergies renouvelables, ce potentiel de roues de moulin non utilisées a attiré l'attention des hydroélectriciens.

C'est dans ce contexte que le GAL Burdinale Mehaigne (Maison de la Mehaigne et de l'Environnement Rural) a obtenu un projet LEADER1 financé par l'Union européenne et la Région wallonne dont le but est d'analyser le potentiel hydroélectrique du territoire, essentiellement par l'intermédiaire de l'utilisation de roues de moulins anciennement exploitées (Praillet, 2010).

Tout site de production d'hydroélectricité peut avoir un impact non négligeable sur le bon équilibre des populations piscicoles du cours d'eau concerné, notamment par la fragmentation de l'habitat qui perturbe et/ ou entrave la libre circulation des poissons dans le sens de la montaison (migration vers l'amont) et de la dévalaison (migration vers l'aval) (Ovidio *et al.*, 2009, Philippart *et al.*, 2010). Lors de leurs différentes phases de dévalaison, les poissons peuvent être entraînés dans les turbines, qui, si elles ne sont pas ichtyocompatibles, vont occasionner des blessures et /ou un certain taux de mortalité. Des études récentes ont mis en évidence des relations entre les types de turbines et leurs impacts potentiels sur les poissons en dévalaison (Larinier *et al.*, 2002).

Par contre, à l'heure actuelle, rien n'existe dans la littérature sur l'effet concernant les dommages éventuels que peut occasionner le passage de poissons dans une roue de moulin. La probabilité est forte pour que les dommages occasionnés soient liés à la typologie de la roue, à son mode de fonctionnement ainsi qu'à la taille et la morphologie des poissons qui passent à travers le dispositif. Partant du constat d'absence d'étude sur le sujet, le Service Public de Wallonie, Direction des Cours d'Eau Non Navigables a demandé au Laboratoire de

Démographie des Poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège de proposer un protocole expérimental permettant d'évaluer les dommages occasionnés par des roues de moulin sur les poissons en phase de dévalaison et de le tester sur un site pilote. Cette étude préliminaire a été réalisée avec la collaboration de Profish Technology sur le site du moulin de Fallais sur la Méhaigne.

2. Matériels et méthode

En vue d'évaluer l'impact qu'un moulin à eau pourrait causer sur la faune piscicole, des poissons de différentes espèces ont été injectés au cours de cette expérience. Le moulin à eau testé au cours cette étude, est situé à Fallais sur la Mehaigne, affluent de la Meuse et est muni d'une roue verticale (figure 3). Le village de Fallais (figure 1) est situé en province de Liège au centre du triangle Huy-Waremme-Hannut. Au niveau du site, 300m en amont de la roue, un barrage (figures 1 et 2) sépare le cours d'eau en deux bras distincts, un bras passant par la roue du moulin et un autre bras contournant le moulin. Ce moulin à eau date du 13^e siècle et servait à moudre le grain. Aujourd'hui, réhabilité, il produit de l'électricité pour au minimum deux foyers. L'expérience réalisée sur ce moulin consiste donc à déterminer les dégâts éventuels qu'occasionneraient les contacts avec les pales de la roue du moulin lors de la dévalaison forcée de différentes espèces de poissons.

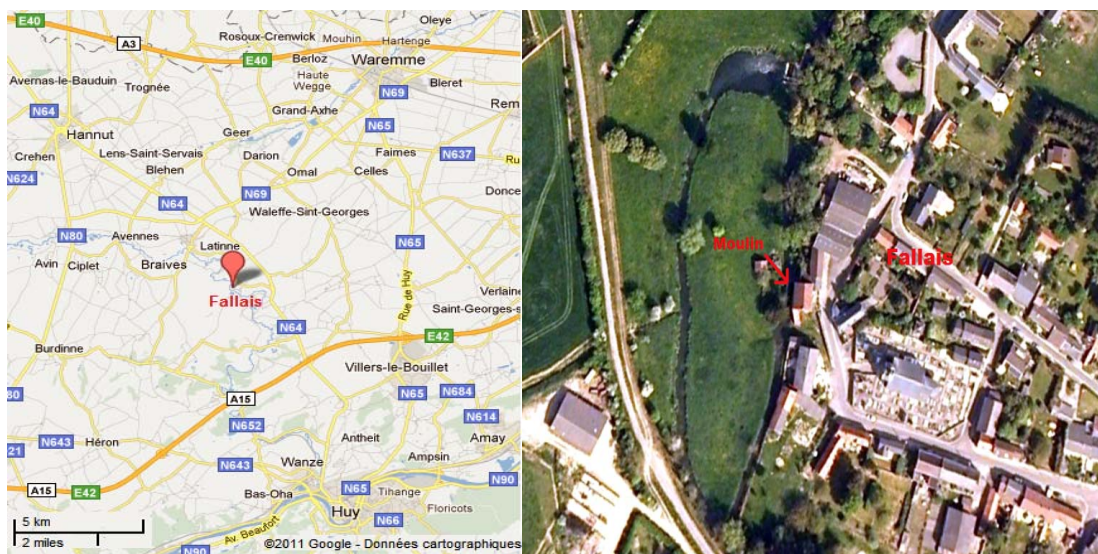


Figure 1 : Situation géographique de Fallais (à gauche) et vue satellite du village de Fallais avec le moulin à eau (à droite). On voit que la Méhaigne est séparée en deux bras en aval du barrage de prise d'eau.

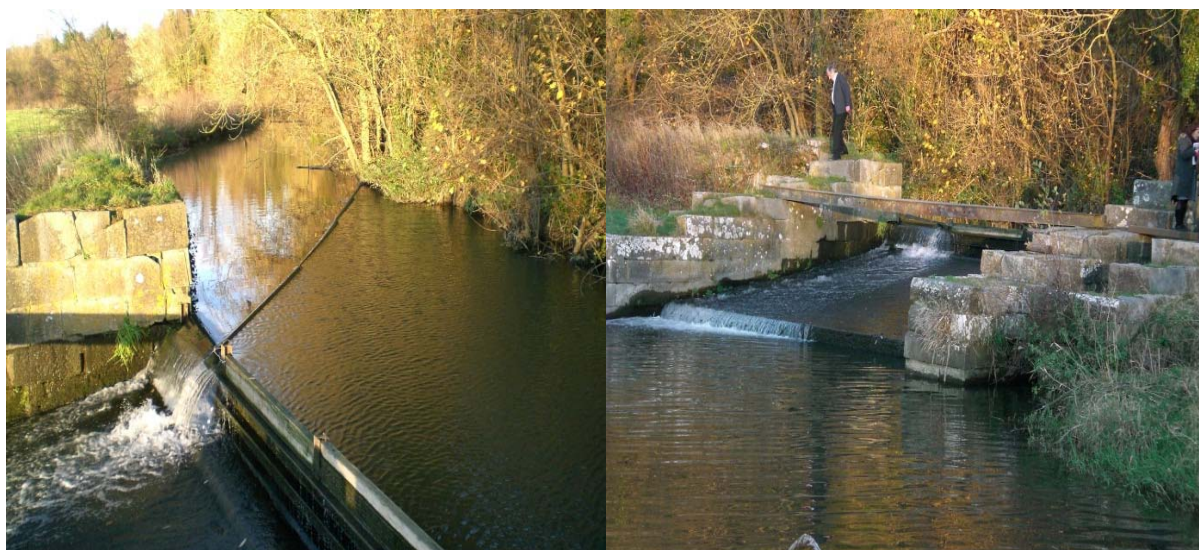


Figure 2 : Barrage en amont de la roue avec la séparation du cours d'eau en 2 bras distincts.



Figure 3 : Vue de l'amont (à gauche) et vue de l'aval (à droite) de la roue du Moulin à eau de Fallais.

2.1. Caractéristiques du moulin à eau de Fallais

Le moulin de Fallais est constitué d'une roue à aubes, munie de pales permettant de créer un mouvement rotatif à partir du mouvement linéaire de l'eau. Cette roue est une « roue de poitrine », ce qui signifie que l'alimentation en eau s'effectue par le milieu de la roue. La configuration générale du moulin est représentée

schématiquement sur la figure 4. Les caractéristiques techniques de la roue du moulin sont les suivantes :

- Le débit entrant est d'environ $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ par seconde ;
- La roue possède un diamètre de 5 mètres et 32 pales identiques, rectangulaires et chacune séparée de 48 cm de la suivante
- La longueur d'une pale est de 145 cm et la largeur de 46 cm ;
- La largeur du canal passant par la roue est de 155 cm.

Il faut cependant remarquer que certaines conditions de l'expérience ont été changeantes lors des différentes injections, indépendamment de notre volonté. Il s'agit de l'espace entre une pale et le coursier inférieur ainsi que de la vitesse de rotation de la roue. Les conditions seront définies pour chaque injection ci-après.

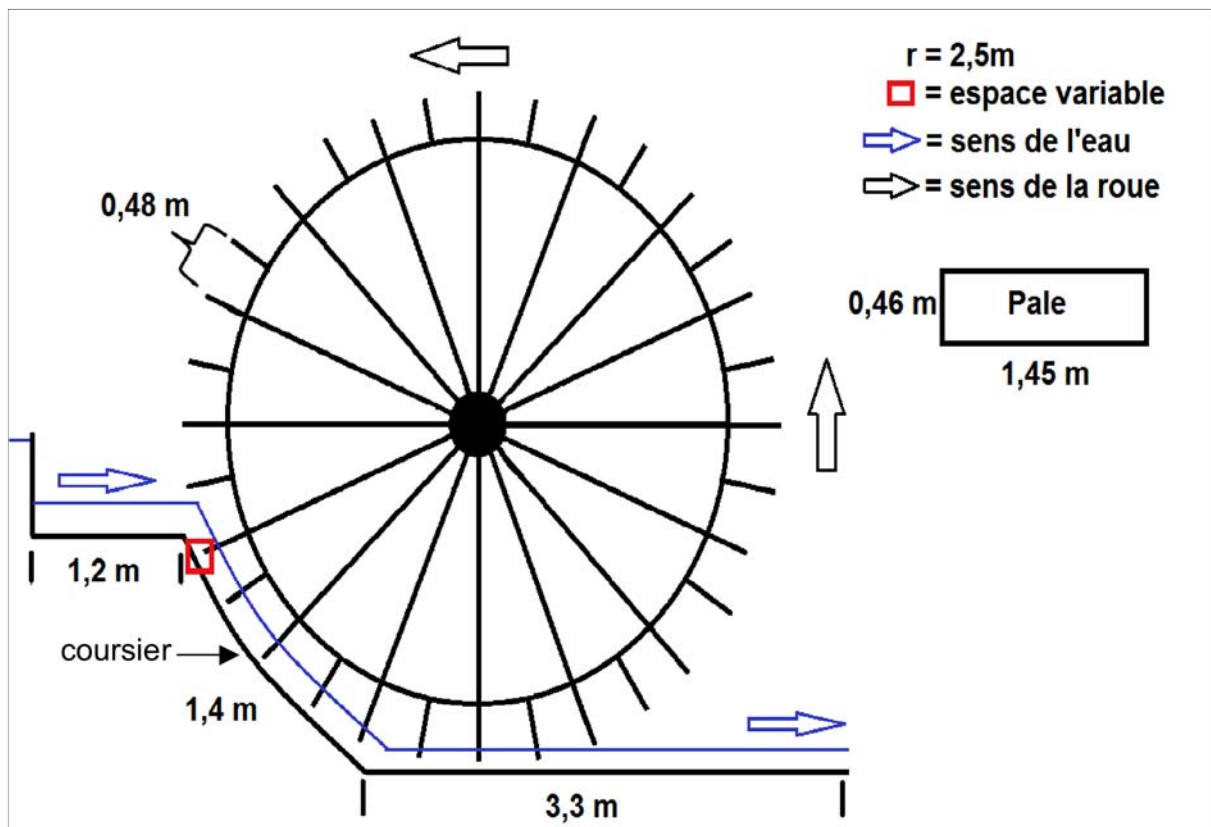


Figure 4 : Représentation schématique de la roue à aubes du moulin de Fallais où les principales caractéristiques sont annotées en mètres. Le carré rouge représente l'espace variable lors des différentes injections, entre le coursier inférieur et une pale (de 30 à 65mm).

2.2. Espèces étudiées

Dans l'optique de représenter au maximum la faune piscicole susceptible de franchir un moulin à eau, plusieurs espèces ont été choisies pour l'expérience (figure 5). La première espèce étudiée est l'anguille (*Anguilla anguilla*), au corps allongé et cylindrique, l'anguille est un grand migrateur catadrome qui constitue une espèce d'intérêt majeur d'un point de vue conservation et dont les populations sont en phase de régression dramatique dans l'ensemble de son aire de répartition. L'anguille passe par une phase de dévalaison obligatoire au cours de son cycle biologique lorsqu'elle se métamorphose en anguille argentée. Bien qu'en forte régression, elle est encore bien présente dans la Méhaigne qui constitue un bon habitat de croissance pour cette espèce, lors de sa phase de vie sédentaire. La seconde espèce est la truite (*Salmo trutta*). Dans un premier temps, des truites dont la taille moyenne est représentative de ce que l'on peut rencontrer dans les rivières Wallonnes ont été utilisées. Ensuite, afin de simuler de plus gros géniteurs, un second lot composé des poissons de plus grande taille, de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) a été utilisé. La troisième et dernière espèce est une espèce de la famille des cyprinidés. Cette famille représente la majorité des poissons d'eau douce de nos cours d'eau, et notamment de la faune piscicole de la Méhaigne. L'espèce choisie dans notre cas est l'ide mélanote (*Leuciscus idus*) de taille et de morphologie susceptibles de simuler le passage de plusieurs espèces de cette famille de poissons. Les truites et les cyprinidés sont également concernés par les mouvements de dévalaison dans les cours d'eau, notamment en post-reproduction, lorsqu'ils quittent les sites de frayères pour retourner vers des aires de résidence exploitées avant la période de reproduction (Ovidio *et al.*, 2009).



Figure 5 : Photographies des espèces utilisées lors de l'expérience : l'anguille, *Anguilla anguilla* (en haut à gauche), la truite fario, *Salmo trutta* (en haut à droite), la truite arc-en-ciel, *Oncorhynchus mykiss* (en bas à gauche) et l'ide mélanote, *Leuciscus idus* (en bas à droite).

2.3. Acquisition, stockage et transport des poissons

Les truites et les ides proviennent de piscicultures. Plus concrètement, les truites proviennent de la pisciculture de Rossart à Orgéo et les ides de la pisciculture de M. Frédéric Henry à Lessive. Les poissons ont été réceptionnés à Tihange un jour avant l'injection, stockés dans des bassins (figure 6) au sein des infrastructures du CEFRA-ULg (Centre de Formation et de Recherches en Aquaculture). Provenant d'un stock déjà présent à Tihange, les anguilles ont été également stockées dans des bassins du CEFRA avant l'expérience. Le jour de l'injection, les poissons ont été transférés dans une cuve de transport (figure 7) afin de les acheminer sur le lieu de l'expérience.



Figure 6 : Bassins de stockage à Tihange dans les infrastructures du CEFRA-ULg



Figure 7 : Cuve de transport utilisée lors du transfert des poissons

2.4. Dispositifs et injection des poissons

Les poissons, à leur arrivée sur le site d'expérience, sont comptés et placés dans un bac de stockage (figure 8) proche de la roue du moulin. En fonction du nombre total d'individus, le nombre de lots et le nombre d'individus par lot sont déterminés avant l'injection proprement dite.

Afin de standardiser les conditions expérimentales lors de chaque manipulation le même dispositif d'injection et de recapture a été utilisé lors de chaque injection.

Le dispositif d'injection (figure 9), sous forme d'entonnoir, est un caisson en bois muni d'une sortie composée d'un tuyau cylindrique coudé de 110mm. Il permet ainsi de forcer le passage des poissons étudiés, par le canal passant par la roue du moulin. Ce passage forcé des poissons, la tête la première permet de simuler au mieux un passage naturel lors d'une dévalaison passive ou active.

Ensuite, afin de récupérer les poissons injectés, un dispositif de recapture est installé juste en aval de la roue (figure 11). Celui-ci consiste en un filet de 15 m de long, de forme conique, composé de deux parties. L'ouverture amont du filet, de section de 2 m x 2 m est fixée sur la structure en pierre du moulin. La première section mesure 10m de long et possède une maille de 15mm. La seconde partie est de forme cylindrique de 50 cm de diamètre, fait 5m de long et possède une maille de 5mm. Ainsi, le débit actionnant la roue permet le gonflement du filet et la recapture des poissons injectés.

Certains lots de poissons sont injectés juste en aval de la roue à l'entrée du filet (figure 10). Ces lots servent de lots témoins et permettent de vérifier que les blessures observées ne sont pas occasionnées lors du passage dans le filet. Lorsque l'injection est terminée, la roue est arrêtée et les poissons toujours présents dans la première partie du filet sont rabattus (figure 12) vers la seconde extrémité du filet munie d'un système d'ouverture. Les poissons sont ensuite stockés dans des viviers en aval de la roue et examinés individuellement après anesthésie (Eugénol 10%, 2ml dans 10l d'eau) en vue de déterminer s'ils présentent des blessures, et si oui lesquelles (figure 13). Enfin, les poissons sont ramenés, via la cuve de transport, dans les bassins du CEFRA à Tihange pour une période de stabulation afin de vérifier qu'aucune blessure interne pouvant provoquer la mort des poisson ne nous aurait échappée.



Figure 8 : Bac de stockage des poissons sur le site d'expérience avant leur injection.



Figure 9 : Vue latérale (à gauche) et du dessus (à droite) du dispositif d'injection.



Figure 10 : Principe de l'Injection des lots témoins juste en aval de la roue.



Figure 11 : Vue globale du filet composé de 2 sections (première en blanc et seconde en noir).



Figure 12 : Récupération des poissons dans le filet et stockage dans les viviers avant examination.



Figure 13 : Evaluation individuelle des blessures des poissons après le passage par la roue du moulin.

2.5. Conditions expérimentales

a) L'Anguille

L'injection des anguilles s'est déroulée le 19 avril 2011. L'espace minimum entre le coursier inférieur et une pale de la roue était de 65 mm. La vitesse de rotation de la roue était de 8 tours/minute ce qui représente le passage d'une pale tous les 23 centièmes de seconde (1 pale / 0,23 s) avec une vitesse de 2,1m/s.

Un total de 77 individus avec une taille moyenne de 681 mm ont été injectés dans la roue du moulin. Avant l'injection, chaque individu a été examiné et les individus révélant déjà certaines blessures ont été marqués avec une bague numérotée. Quatre lots ont été formés préalablement et l'ensemble des anguilles a été distribué aléatoirement dans chacun des lots. Trois lots de 20 individus et un lot de 17 individus ont été ainsi formés (tableau 1). Les poissons des quatre lots ont été injectés en amont de la roue. En effet, vu le faible nombre total d'anguilles disponibles et le peu de blessures constatées lors du passage du premier lot, nous avons décidé de ne pas effectuer de lot témoin afin de maximiser les passages à travers la roue.

b) Les truites fario et arc-en-ciel

L'injection des truites s'est déroulée le 22 juin 2011. L'espace minimum entre le coursier inférieur et une pale de la roue a été diminué et était de 30mm. En effet, le propriétaire du moulin a ajouté un tapis de 35mm sur le coursier inférieur afin de diminuer la hauteur d'eau entre une pale et le sol. La vitesse de rotation de la roue était la même que celle observée lors du test sur les anguilles, c'est-à-dire de 8 tours/minute.

Nous disposions dans ce cas de deux espèces de truites, la truite fario et la truite arc-en-ciel. Le lot de truite fario (n= 199) était composé de poissons d'une taille moyenne de 277mm. Pour cette expérience, 4 lots ont été formés, les poissons de 3 lots injectés en amont de la roue et les truites du lot témoin injectés juste en aval de

la roue, à l'entrée du filet maillant (tableau 1). Le lot de truite arc-en-ciel (n=26) était composé de poissons de plus grande taille avec une moyenne de 424 mm. Nous n'avons que formé 2 lots, un lot de 20 individus injectés en amont de la roue et un lot témoin de 6 individus injectés juste en aval de la roue (tableau 1).

c) L'ide mélanote

L'injection des ides mélanote s'est déroulée le 6 octobre 2011. L'espace minimum entre le coursier inférieur et une pale de la roue était de 30mm. La vitesse de rotation de la roue, était 2 fois plus rapide que celle observée lors des expérimentations précédentes, : 15 tours/minute. Effectivement, à la suite d'un problème technique, la roue ne produisait pas d'électricité le jour de l'expérimentation et sa résistance était donc moins importante. Une vitesse de 15 tours/minute représente une pale tous les 12,5 centièmes de seconde avec une vitesse linéaire périphérique de 3,8 m/s.

Nous disposions de 469 individus avec une taille moyenne de 212mm, que nous avons répartis en 5 lots, 3 lots de poissons directement injectés en amont de la roue et 2 lots témoins (tableau 1). Le premier lot témoin (100 individus) a été injecté en aval de la roue au niveau de l'entrée du filet. Pour le second lot témoin (55 individus), les poissons ont été endormis à l'eugénol dilué à 50% (2ml d'eugénol dans 30l d'eau) et ensuite injectés juste en amont de la roue afin d'éviter que des poissons ne s'échappent du dispositif de piégeage par remontée en amont de la roue, ce que nous avons suspecté à la suite de la première injection.

L'ensemble des données espèce par espèce fournies ci-dessus est repris dans le tableau 1.

Tableau 1 : Récapitulatif des données pour chaque espèce avec la date d'injection, le nombre d'individus injectés, la taille moyenne globale, le nombre de lot formés, le nombre d'individus dans chaque lot (* = lot témoin), la vitesse de la roue le jour de l'injection et l'espace minimum entre une pale de la roue et le sol.

Espèces	Date injection	Nombre individus	Taille moyenne (mm)±SD	Nombre lot	Individus par lot	Vitesse roue (tours/min)	Espace min. roue (mm)
Anguille	19/04/2011	77	681±52	4	20/20/20/17	8	65
Truite fario	22/06/2011	199	277±10	4	49/49/50/51*	8	30
Truite AEC	22/06/2011	26	424±13	2	20/6*	8	30
Ide mélanote	6/10/2011	469	212±23	5	114/100/100/ 55/100*	15	30

3. Résultats

3.1. Injection des anguilles

Sur les 77 anguilles injectées, 58 individus ont été recapturés et 7 individus ont été blessés. La taille moyenne des individus blessés est de 710 mm \pm 57mm. Aucun individu préalablement marqué avec une bague avant l'injection n'a été recapturé avec d'autres blessures. Les résultats lot par lot sont repris dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats de l'injection des anguilles dans la roue, lot par lot, avec pour chaque lot : le nombre d'individus injectés, le nombre d'individus recapturés, la taille moyenne, minimum et maximum des individus recapturés, le nombre de blessés observés et le pourcentage de poissons blessés (nbr blessés/nbr recapturés).

Espèce	Lots	Nombre injectés	Nombre recapturés	Taille moyenne (mm) \pm SD	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Nombre blessés	% blessés
Anguille	1	20	20	662 \pm 48	550	815	1	5%
	2	20	8	657 \pm 50	557	718	0	0%
	3	20	20	697 \pm 55	573	830	5	25%
	4	17	10	684 \pm 56	555	767	1	10%

Pour le premier lot, l'individu blessé présente des petites taches de dépigmentation le long du flanc droit (figure 14). Le second lot ne présente pas d'individu blessé.



Figure 14 : Anguille de 602mm présentant des taches de dépigmentation

Pour le troisième lot, on retrouve comme pour le premier lot, des angilles (3 individus) présentant des taches de dépigmentation (figure 15). Remarquons que pour l'anguille de la figure 16, on observe une tache de dépigmentation bien nette que le contact avec une pale aurait pu occasionner. Le maillage fin du filet utilisé permet d'exclure l'hypothèse d'une blessure de la peau par une tentative de franchissement des anguilles dans les mailles du filet, phénomène déjà observé précédemment sur d'autres sites avec des filets de plus grandes mailles (Profish, communication personnelle).



Figure 15 : Anguille de 665mm (à gauche) et de 710 mm (à droite) présentant des taches de dépigmentation.



Figure 16 : Anguille de 783 mm présentant une tache de dépigmentation bien nette.

Un autre type de lésions que l'on observe dans ce troisième lot, est la présence d'entailles plus profondes. On constate une anguille avec une entaille au niveau du museau (figure 17) et une anguille avec des entailles sur la face ventrale du museau ainsi que sur le flanc (figure 18).

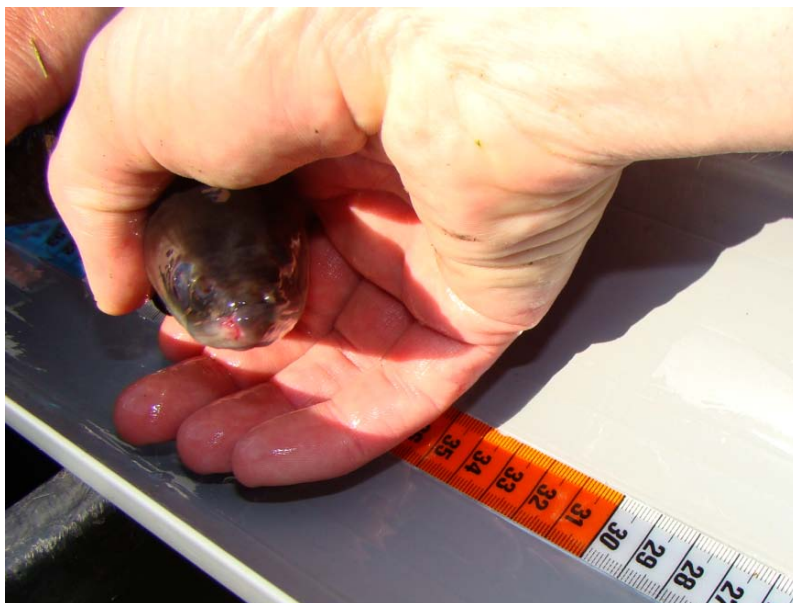


Figure 17 : Anguille de 830mm présentant une entaille au niveau du museau



Figure 18 : Anguille de 661 mm présentant une entaille sur le flanc (à gauche) et des entailles sous le museau (à droite)

Pour le quatrième et dernier lot, la seule anguille blessée présente le même type de blessure qu'une anguille du lot précédent, c'est-à-dire une tache de dépigmentation bien nette qu'une pale de la roue aurait pu occasionner (figure 19).



Figure 19 : anguille de 718mm présentant une tache de dépigmentation bien nette

Si l'on recadre ces différentes blessures dans un contexte général, on peut dire que l'on retrouve 2 types de blessures, un type (type 1) de blessure occasionnée par le passage « global » de l'anguille par l'ensemble des dispositifs de l'expérience et un type (type 2) de blessure assimilée au contact de l'anguille avec

les pales de la roue. L'ensemble des résultats selon ce nouveau contexte est repris dans le tableau 3 pour chaque lot. On observe au total, 5 blessures de type 1 et 2 blessures de types 2 (tableau 3).

Tableau 3 : Répartition des 7 anguilles blessées en 2 types de blessures où le type 1 représente les blessures occasionnées par le passage global des dispositifs de l'expérience et le type 2 représente les blessures assimilées au contact avec les pales de la roue.

Lot	Type 1	Type 2
1	1	-
2	-	-
3	4	1
4	-	1
Total	5	2

3.2. Injection des truites fario et arc-en-ciel

Pour la truite fario, sur les 199 individus injectés, 196 individus ont été recapturés. Sur ces 196 individus, 145 individus ont été injectés en amont de la roue du moulin et 3 ont été blessés. La taille moyenne des individus blessés est de 273 mm \pm 3mm. Quant à la truite arc-en-ciel, 26 individus ont été injectés dont 20 directement au niveau de la roue et aucun individu n'a été blessé durant l'expérience. L'ensemble des résultats lot par lot est repris dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats de l'injection, lot par lot, des truites fario et des truites arc-en-ciel avec pour chaque lot : le nombre d'individus injectés, le nombre d'individus recapturés, la taille moyenne, minimum et maximum des individus recapturés, le nombre de blessés observés et le pourcentage de poissons blessés (nbr blessés/nbr recapturés).

Espèces	Lot	Nombre injectés	Nombre recapturés	Taille moyenne (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Nombre blessés	% blessés
Truite fario	1	49	48	273 \pm 8	255	304	1	2%
	2	49	47	278 \pm 9	254	301	2	4%
	3	50	50	278 \pm 10	254	304	0	0%
	Témoin	51	51	277 \pm 13	253	362	0	0%
Truite AEC	1	20	20	422 \pm 11	376	438	0	0%
	Témoin	6	6	430 \pm 21	408	465	0	0%

Les individus blessés sont présents uniquement dans les lots 1 et 2 des truites fario. Les autres lots ne présentaient aucun blessé. L'individu blessé du lot 1 présente une entaille nette au niveau de l'opercule droit (figure 20).



Figure 20 : truite fario de 269mm présentant une entaille nette sur l'opercule droit.

Concernant le second lot, un individu présente une entaille au niveau de l'opercule gauche (figure 21). Le second individu blessé du lot présente une tache rouge au niveau de l'œil gauche (figure 22).



Figure 21 : truite fario de 277mm présentant une entaille nette sur l'opercule gauche.



Figure 22 : truite fario de 273mm présentant une tache rouge à l'œil gauche.

Selon la classification des blessures observées sur les truites en 2 types de blessures comme définis pour les anguilles, on obtient le tableau 5. Sur les 3 blessures constatées, on observe 2 blessures de type 1 et une blessure de type 2.

Tableau 5 : Répartition des 3 truites blessées en 2 types de blessures où le type 1 représente les blessures occasionnées par le passage global du dispositif de l'expérience et le type 2 représente les blessures assimilées au contact avec les pales de la roue.

Espèces	Lot	Type 1	Type 2
Truite fario	1	-	1
	2	2	-
	3	-	-
	Témoin	-	-
Truite AEC	1	-	-
	Témoin	-	-
Total		2	1

3.3. Injection des ides mélanote

Sur les 369 individus injectés en amont de la roue, 256 individus ont été recapturés (69%). Parmi eux, 18 individus ont été blessés et possèdent une taille moyenne de 235 ± 23 mm. Les résultats obtenus lot par lot sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats de l'injection, lot par lot, des ides mélanote avec pour chaque lot : le nombre d'individus injectés, le nombre d'individus recapturés, la taille moyenne, minimum et maximum des individus recapturés, le nombre de blessés observés et le pourcentage de poissons blessés (nbr blessés/nbr recapturés). Le lot témoin 1 représente le lot des individus injectés en aval de la roue et le lot témoin 2 représente les individus endormis et injectés en amont de la roue.

Espèce	Lot	Nombre injectés	Nombre recapturés	Taille moy. (mm) \pm SD	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Nombre blessés	% blessés
Ide mélanote	1	114	97	216 \pm 23	166	290	7	7%
	2	100	46	214 \pm 21	173	265	3	7%
	3	100	58	209 \pm 21	138	282	3	5%
	Témoin 1	100	100	209 \pm 25	164	280	0	0%
	Témoin 2	55	55	208 \pm 23	159	290	5	9%

Le nombre de blessures observées sur les ides avant l'injection était significatif. Ces blessures antérieures à l'expérience du moulin sont certainement dues au stockage des poissons ou encore à leur manipulation durant les différents transports. Ces blessures, déjà cicatrisées, sont des nageoires dorsales abimées (figure 23) ou encore des coups sur les flancs (figure 23). Pour le premier lot témoin, qui représente les individus injectés en aval de la roue, nous n'avons pas observé d'autres types de blessures que celles observées avant l'injection, à l'inverse des autres lots. Donc ces blessures antérieures à l'expérience n'ont pas été prises en compte dans le recensement des blessures provoquées par le passage dans la roue.



Figure 23 : Ide mélanote de 226mm (à gauche) présentant une nageoire dorsale abîmée antérieur à l'expérience et une de 213mm (à droite) présentant un coup sur le flanc antérieur à l'expérience.

Pour le premier lot, 7 individus ont été blessés (figure 24A à F). Les ides mélanote blessés de ce lot présentent des blessures similaires c'est-à-dire des coups nets assez larges au niveau de la face dorsale. Deux ides présentent en plus une entaille au niveau de la tête (figure 24D et G).

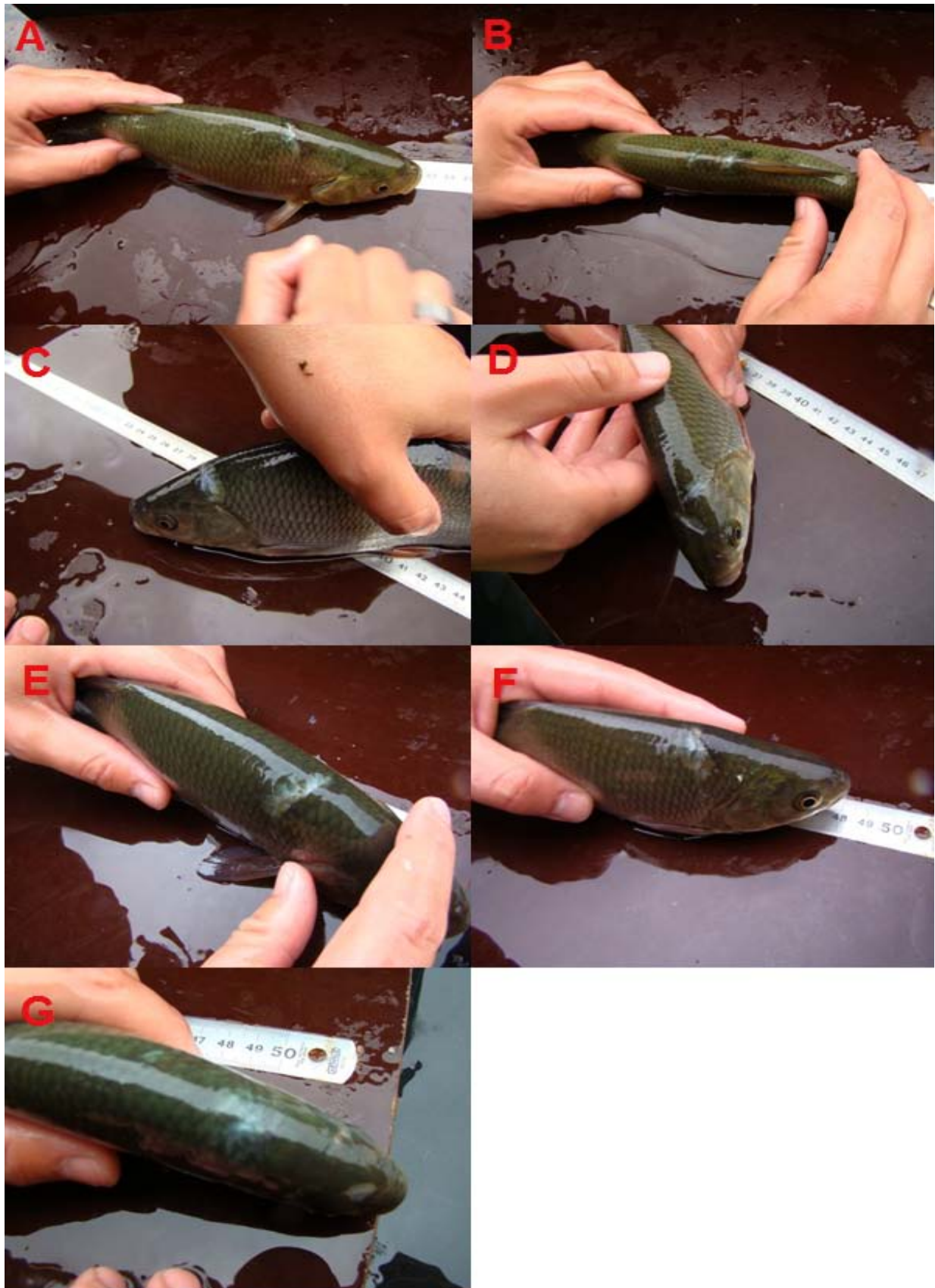


Figure 24 : Ides mélanote du premier lot, blessés, respectivement de 251mm, 232mm, 258mm, 249mm, 266mm, 224mm et 239mm présentant des coups nets sur leur face dorsale (A à F) et des entailles sur leur tête (D et G).

Le second lot comporte 3 blessés (figure 25). Les blessures sont du même acabit que celles observées dans le premier lot c'est à dire des coups nets sur la face dorsale (figure 30) et des entailles plus marquées sur le dessus de la tête.

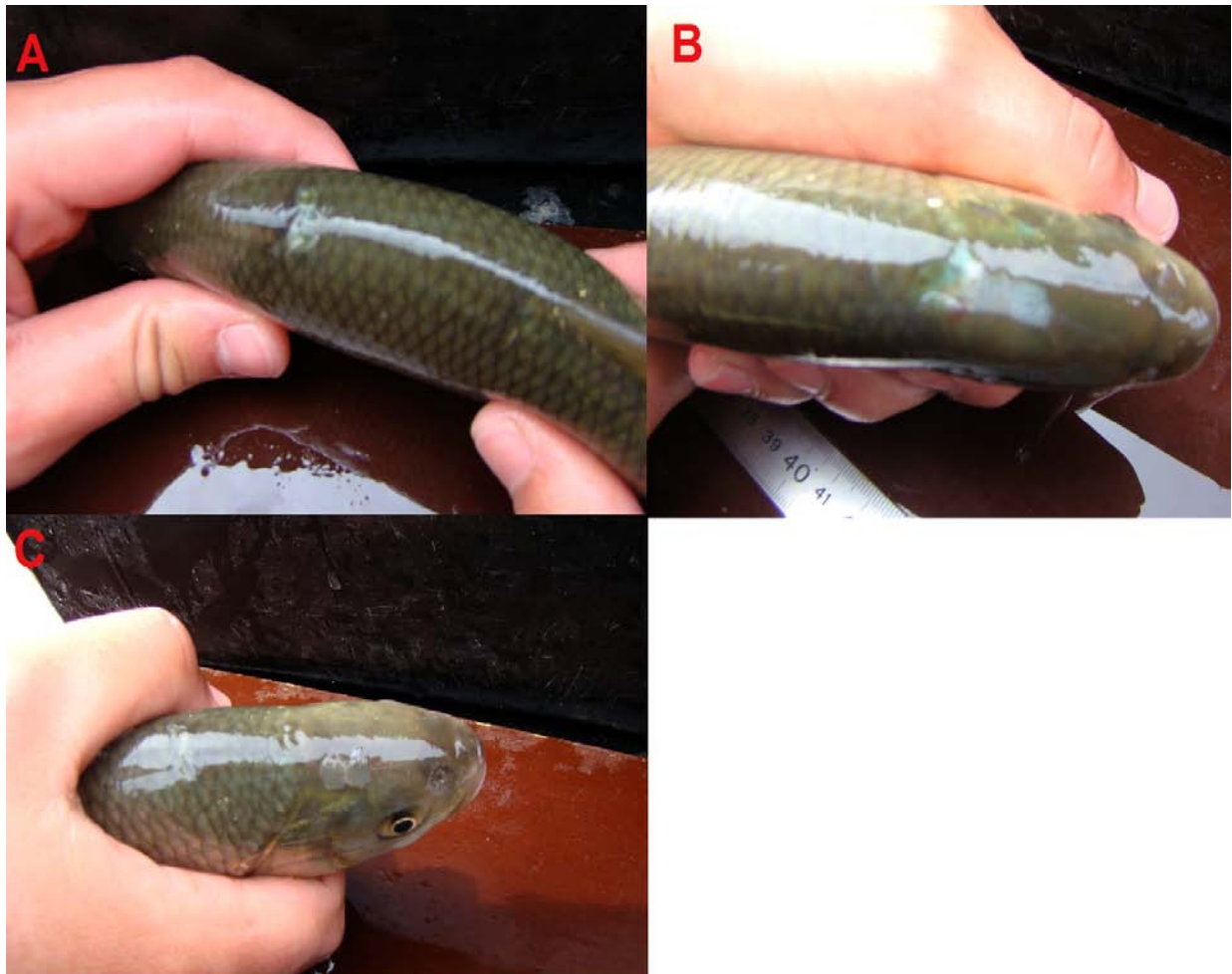


Figure 25 : Ides mélanote du second lot, blessés, respectivement de 231mm, 265mm et de 245mm présentant des coups nets sur leur face dorsale (A) et des entailles sur leur tête (B et C).

Le troisième lot présente également 3 individus blessés (figure 26). On retrouve 2 individus présentant une entaille plus marquée et un individu avec un coup net sur sa face dorsale.

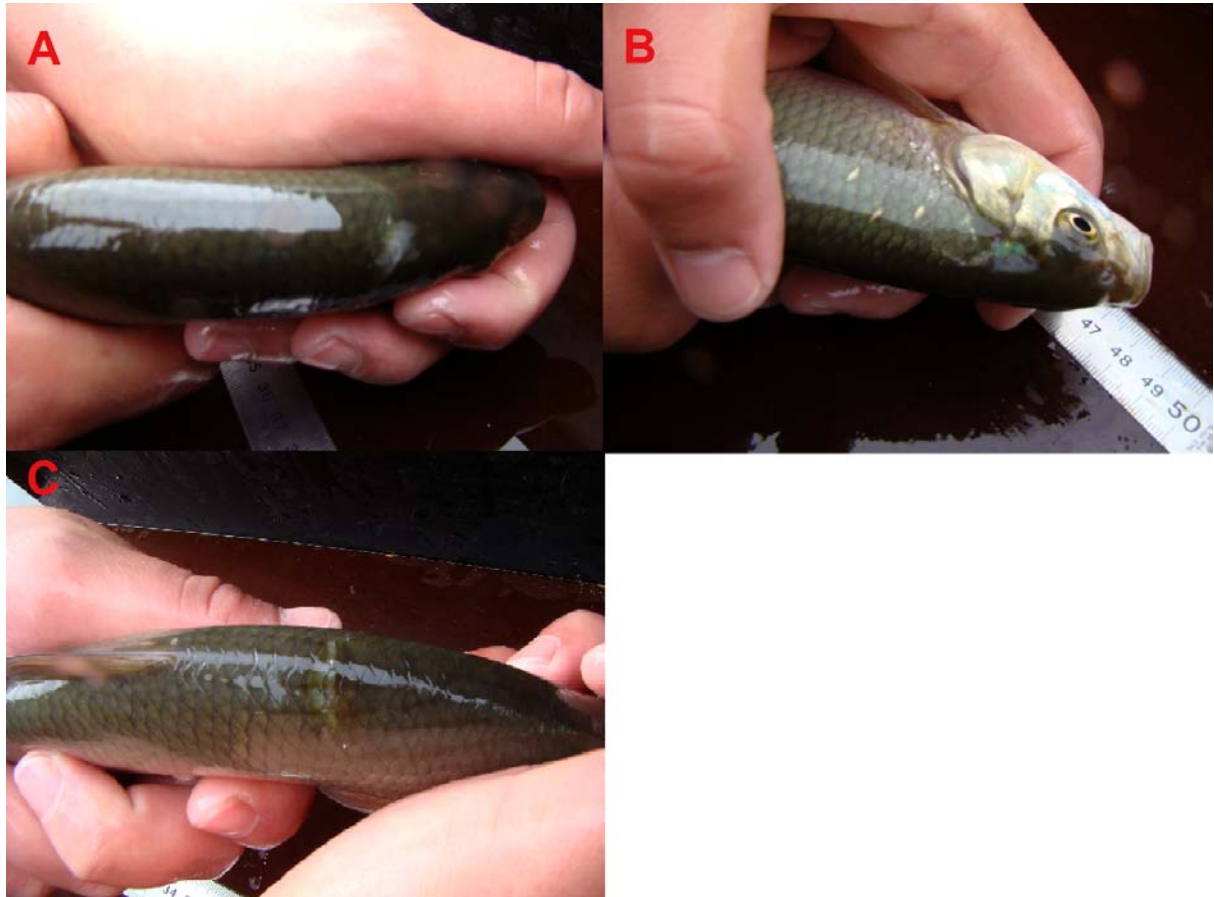


Figure 26 : Ides mélanote du troisième lot, blessés, respectivement de 242mm, 210mm et de 209mm présentant des coups nets sur leur face dorsale (C) et des entailles sur le dessus de leur tête (A et B).

Le deuxième lot témoin, individus endormis et injectés en amont de la roue, présente 5 blessés. Les blessures sont plus ou moins identiques à celles retrouvées sur les individus non endormis (figure 27). Cependant deux individus ont été recapturés morts dont un avec un coup sur le flanc droit (figure 27A) et un autre avec la colonne vertébrale brisée qu'un contact avec une pale aurait pu occasionner (figure 27B).

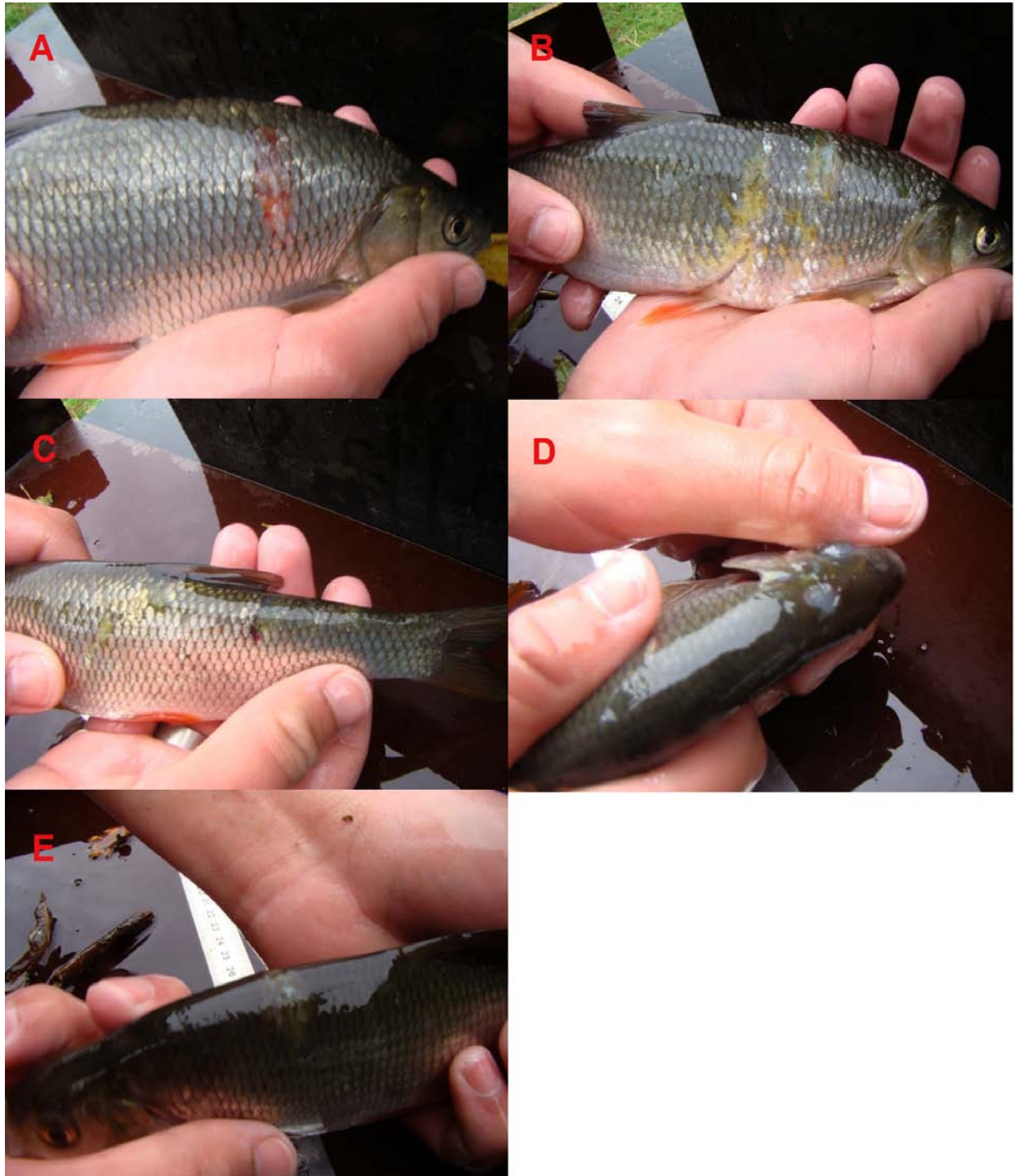


Figure 27 : Ides mélanote du troisième lot, blessés, respectivement de 266mm, 279mm, 191mm, 191mm et de 191mm présentant des coups nets sur leur face dorsale (E), des entailles sur leur tête (D) et sur leur flanc gauche (C). Deux ides sont recapturés morts (A et B) avec un coup sur le flanc droit (A) et une trace nette sur le flanc droit ainsi que la colonne vertébrale brisée (B).

Si on recadre comme précédemment, les différentes blessures observées sur les ides mélanote en 2 types de blessures, on obtient le tableau 7. Dans ce cas, les coups observés sur la face dorsale des ides et les entailles au niveau de la tête, ont été repertoriés comme blessure de type 2. On constate pour cette espèce, 3 blessures de type 1 et 15 blessures de types 2 incluant deux individus mortellement blessés.

Tableau 7 : Répartition des 18 ides blessés en 2 types de blessures où le type 1 représente les blessures occasionnées par le passage global du dispositif de l'expérience et le type 2 représente les blessures assimilées au contact avec les pales de la roue.

Espèce	Lot	Type 1	Type 2
Ide mélanote	1	-	7
	2	1	2
	3	-	3
	Témoin 1	-	-
	Témoin 2	2	3
	Total		3

3.4. Synthèse pour toutes les espèces

Après avoir présenté les résultats obtenus espèce par espèce, recadrons l'ensemble de ces résultats dans un contexte général. Le tableau 8 reprend l'ensemble des données, c'est-à-dire le nombre d'individus injectés, le nombre d'individus repris, la taille moyenne des individus repris, le nombre d'individus blessés et le pourcentage d'individus blessés pour chaque espèce. Ce pourcentage est le rapport entre le nombre d'individus blessés et le nombre d'individus repris mis à part les individus présents dans les lots témoins. Le pourcentage d'individus mortellement blessés est également présent dans ce tableau.

Tableau 8 : Données globales espèce par espèce avec le nombre total d'individus utilisés lors de l'injection, le nombre d'individus injectés en amont de la roue, le nombre d'individus injectés en amont de la roue et recapturés, la taille moyenne en mm des individus recapturés, le nombre d'individus blessés, la taille moyenne en mm des individus blessés, le pourcentage d'individus blessés et le pourcentage d'individus mortellement blessés.

Espèces	Nombre total	Nombre injectés roue	Nombre recapturés	Taille moy. (mm)±SD	Nombre blessés	Taille moy. blessés (mm) ±SD	% blessés	% mort
Anguille	77	77	58	681±52	7	710±57	12%	0%
Truite fario	199	148	145	277±10	3	274±3	2%	0%
Truite AEC	26	20	20	424±13	0	-	0%	0%
Ide mélanote	469	369	256	212±23	18	235±23	7%	1%

Tableau 9 : Caractéristiques physiques de la roue lors des différentes injections avec pour chaque espèce, la vitesse de rotation de la roue en tour par minute et l'espace minimum en mm entre le coursier inférieur du canal et une pale de la roue.

Espèces	Caractéristiques de la roue	
	Vitesse roue (tours/min)	Espace min. (mm)
Anguille	8	65
Truite fario	8	30
Truite AEC	8	30
Ide mélanote	15	30

Au vue du tableau 8, nous constatons que le pourcentage d'individus blessés varie de 0% à 12%. Le pourcentage d'individus mortellement blessés est de 0% pour toutes les espèces injectées sauf pour l'ide mélanote où nous avons un taux de mortalité de 1%. Pour rappel, dans le cadre de l'expérience, certaines conditions physiques de la roue ont été changeantes indépendamment de notre volonté (tableau 9).

Selon la classification des blessures en 2 types pour toutes les espèces (tableau 10), nous pouvons dire que parmi les individus blessés le pourcentage de blessures dues à un possible coup de pale est relativement faible, plus ou moins 30%, sauf pour les ides où il est de 80% des individus blessés. Cette augmentation de blessures pour les ides peut être en partie expliquée par l'augmentation de la

vitesse de rotation de la roue. Cependant il est difficile de savoir si les blessures classées dans le type 1 ne sont pas dues aussi à un contact avec les pales de la roue.

Tableau 10 : Répartition des individus blessés pour toutes les espèces en 2 types de blessures où le type 1 représente les blessures occasionnées par le passage global du dispositif de l'expérience et le type 2 représente les blessures assimilées au contact avec les pales de la roue.

Espèces	Nombre blessés	Nombre type 1	Nombre type 2
Anguille	7	5 (71%)	2 (29%)
Truite fario	3	2 (67%)	1 (33%)
Truite AEC	0	0	0
Ide mélanote	18	3 (17%)	15 (83%)
Total	28	10 (36%)	18 (64%)

4. Discussion

Il apparaît que le protocole expérimental testé dans le cadre de cette étude s'est révélé adéquat et qu'il pourra facilement être transposé sur d'autres sites afin de tester les dommages que pourraient engendrer d'autres typologies de roues de moulin sur les poissons en dévalaison. La difficulté majeure est le positionnement du filet de récolte le plus proche possible de la roue afin de maximiser le taux de recapture de poissons, car pour toutes les espèces testées, un certain taux d'échappement a été observé. L'anesthésie d'un lot d'ides mélanote avant leur injection ne nous semble pas, à posteriori, conseillée pour les prochaines expériences, principalement parce que les poissons peuvent se comporter très différemment que lors d'une dévalaison naturelle. En effet, nous avons constaté un taux de mortalité supérieur à 0% uniquement chez les individus anesthésiés avant leur injection dans la roue (cf Ides).

Lors de notre étude, nous avons été contraints de subir des changements de conditions expérimentales au cours des différentes expérimentations (vitesse de rotation plus rapide de la roue et changement de la hauteur d'eau passant entre la roue et le coursier inférieur). De plus le nombre d'individus, de lots et de lots témoins n'ont pas été constants, notamment en raison des stocks disponibles en pisciculture. Il en résulte qu'il est difficile de réaliser des comparaisons inter-spécifiques non biaisées. Il serait intéressant, pour l'avenir, d'harmoniser au maximum les conditions expérimentales. Il est toutefois possible de tirer des enseignements très utiles de l'ensemble des injections réalisées dans cette étude préliminaire :

- Le taux de blessures ou dommages global a varié de 0 à 12% en fonction des espèces et des conditions expérimentales. Une mortalité directe après passage dans la roue de moulin a uniquement été observée chez l'ide mélanote anesthésiée avec 1% de taux de mortalité.
- Les blessures ou dommages observés présentent une certaine variabilité, depuis un phénomène de dépigmentation (fréquent chez l'anguille) à des blessures plus

nettes comme des coups assimilés à des coups de pales voire des fractures ;

- Globalement un taux de blessures plus conséquentes (coups, fracture) pour l'expérimentation réalisée chez les idées avec une vitesse de rotation de la roue plus rapide et un écart, roue-sol plus faible.

- Le pourcentage de blessures assimilées à des coups de pales de la roue représente un tiers des blessures pour l'anguille et la truite mais représente 80% des blessures pour l'idée, tout en sachant que les autres blessures peuvent également être engendrées suite à un contact avec une pale. Cette observation pourrait suggérer qu'une vitesse de rotation plus élevée de la roue, occasionnerait un dommage plus important au niveau de l'ichtyofaune (comme c'est le cas pour les turbines classiques).

- Un faible taux de mortalité post-expérimentation a été constaté lors du transfert et de la stabulation des poissons dans des bassins de pisciculture durant quelques jours. Ce résultat suggère que les blessures occasionnées après le passage à travers la roue du moulin de Fallais n'entraînent pas la mort des poissons. Rappelons toutefois que deux idées ont été directement tuées après leur passage (et n'ont donc pas été transférées en bassin).

- il se pose toutefois la question des blessures successives que peuvent subir des poissons après des passages répétés à travers des roues de moulin, et parfois en complément avec des passages à travers des turbines hydroélectriques. En tenant compte de cet effet sur de longs parcours de migration, les dommages subis pourraient être beaucoup plus conséquents.

En comparaison à d'autres dispositifs hydroélectriques présents dans des cours d'eau non navigables, nos résultats ont montré que le passage des poissons dans une roue du moulin configurée comme celle du site de Fallais occasionne un faible taux de mortalité (de 0 à 1% selon l'espèce considérée). Selon le type de turbine, de leur configuration (hauteur, distance entre 2 pales ou encore vitesse de rotation) ainsi que du débit turbiné, différentes études montrent que le taux de mortalité après le passage de poissons à travers une turbine, est compris entre 2% et 100% (Sonny & Philippart, 2002 ; Larinier *et al.*, 2002 ; Philippart *et al.*, 2010). Néanmoins, l'aspect ichtyocompatible d'une roue de moulin, comparativement aux autres dispositifs

hydroélectriques, ne peut être généralisé à tous les moulins à eau sur base d'une seule étude sur une seule typologie de roue.

5. Conclusion

Cette étude est **préliminaire et les résultats ne peuvent en aucun cas être transposés vers d'autres sites de configurations différentes**. Mais le bon déroulement de l'étude et la validité du protocole proposé ouvre la porte à des expérimentations futures sur d'autres typologies de roues et pourquoi pas sur d'autres espèces de poissons afin d'accumuler un maximum de résultats et de cerner de manière la plus objective possible, l'impact potentiel des roues de moulin sur les populations de poissons en phase de dévalaison dans les cours d'eau. La multiplication des études sur des sites de configurations différentes permettra de définir des relations « typologie-dommage » utiles pour le gestionnaire et de dégager des pistes pour définir des modes d'exploitation les plus ichtyocompatibles possibles.

6. Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention entre l'Université de Liège et le Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement Département de la Ruralité et des Cours d'eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Nous remercions F.Lambot, P. Orban et O.Detraït, responsables du suivi administratif de cette étude.

Les différentes injections effectuées au moulin de Fallais, ont été possibles en premier lieu uniquement grâce à M. Heine, propriétaire du moulin, qui nous a gracieusement autorisé l'accès au site d'étude. Pour les manipulations lors des différentes injections, nous avons reçu l'aide de Louise Grandry (étudiante en 2^{ème} Master Psychologie expérimentale, à l'Université de Liège) ainsi que d'Olivier Detrait et David Dufour (SPW-DCENN).

7. Références bibliographiques

- Larinier, M., Travade, F., 2002. Downstream migration :problems and facilities. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture, 181-207.
- Ovidio, M., Philippart, J.C., Rimbaud, G., Neus, Y., Paquer, F., Dierckx, A., 2009. Développement d'une méthodologie de fixation des conditions d'installation et d'exploitation des centrales hydro-électriques sur les cours d'eau non navigables de Wallonie afin de limiter leur impact sur la qualité écologique et les ressources piscicoles des milieux. Evaluation d'aménagements de protection environnementale en place ou sur le point d'être construits au niveau de sites hydroélectriques. Rapport final au Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement Département de la Ruralité et des Cours d'eau, Direction des Cours d'eau non navigables. 75 pages (septembre 2009).
- Philippart, J.C., M. Ovidio, G. Rimbaud, A. Dierckx et P. Poncin, 2010. Essai d'estimation des dommages piscicoles engendrés par les prises d'eau industrielles et les turbines hydroélectriques dans les cours d'eau de la Province de Liège. Partie B. L'Ourthe liégeoise et l'Amblève en aval de la Liègne. Rapport pour l'année 2010 à la Commission provinciale de Liège du Fonds piscicole du Service Public de Wallonie, 78 pages (décembre 2010).
- Praillet, F., 2010. Etude du potentiel hydro-électrique sur le territoire du GAL. Rapport préliminaire du projet LEADER1 « Le Pays Burdinale Mehaigne a de l'énergie » 100 pages (octobre 2010).
- Sonny, D. & Philippart, J.C. 2002. Inventaire et caractérisation des techniques à mettre en oeuvre pour limiter l'impact environnemental et piscicole de la production d'hydro-électricité par micro-turbines. Rapport à Laborelec, Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Aquaculture, Décembre 2002.