



**HAL**  
open science

# Premières approches visant à quantifier la mortalité par prédation chez la civelle (*Anguilla anguilla*) en pied d'ouvrage hydraulique

T. Pellegry

## ► To cite this version:

T. Pellegry. Premières approches visant à quantifier la mortalité par prédation chez la civelle (*Anguilla anguilla*) en pied d'ouvrage hydraulique. Sciences de l'environnement. 2012. hal-02597101

**HAL Id: hal-02597101**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02597101>**

Submitted on 15 May 2020

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

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

Université Bordeaux 1  
UFR des Sciences Biologiques  
Année Universitaire 2011/2012

**MASTER 2 Sciences de la Terre et Environnement, Ecologie**

*Spécialité Fonctionnement et Dysfonctionnement des  
Ecosystèmes Aquatiques*

RAPPORT DE STAGE :

**PELLEGRY Tiphaine**

**Premières approches visant à quantifier la mortalité par  
prédation chez la civelle (*Anguilla anguilla*) en pied  
d'ouvrage hydraulique**



**Maîtres de stage :**

M. Drouineau Hilaire, ingénieur de recherche

M. Rigaud Christian, ingénieur de recherche

**Adresse :**

IRSTEA, Groupement de Bordeaux,

50 avenue de Verdun-Gazinet

33612 Cestas Cedex



## *Avant propos*

Cette étude a été accomplie au sein de l'établissement **IRSTEA** « Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture ».

Cet institut public à caractère scientifique et technologique compte en France 24 unités de recherche réparties dans 9 centres.

Le stage a été réalisé du 03/01/2012 au 29/06/2012 au centre de Bordeaux dans l'unité de recherche « Écosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins », équipe « Poissons Migrateurs Amphihalins », pôle « Ecohydraulique ».

Cette étude a été encadrée par M. Christian Rigaud, ingénieur de recherche travaillant sur l'anguille européenne et M. Hilaire Drouineau, ingénieur de recherche spécialisé dans la modélisation et l'étude de la dynamique des populations migratrices amphihalines aquatiques.

## *Remerciements*

Un très grand merci tout d'abord à Christian Rigaud et Hilaire Drouineau qui m'ont permis de réaliser ce stage. Merci pour leur accueil, leur patience et le temps qu'ils m'ont accordé tout au long de ces 6 mois de travail.

Merci également à tous les membres de l'Unité EPBX pour leur gentillesse. Merci à Patrick, Fred, Nico Deligne, Charlie, Marie-Laure, Nico Delage et Charline pour leur bonne humeur et pour toute l'aide qu'ils m'ont fournie au cours de mon étude.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de St Seurin sur l'Isle pour tous les conseils qu'ils m'ont apportés. Merci aussi à Julien d'avoir bien pris soin de mes perches et de mes civelles tout au long de mes « manip ».

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>5</b>
1.1	Connaissances sur le comportement alimentaire des trois prédateurs .....	7
1.1.1	L'écrevisse de Louisiane .....	8
1.1.2	La perche commune.....	8
1.1.3	La perche soleil.....	9
1.2	La vision chez les téléostéens et les crustacés.....	10
1.2.1	Les téléostéens et le cas de la perche.....	10
1.2.2	Les crustacés et le cas de l'écrevisse de Louisiane.....	11
<b>2</b>	<b>Matériel et Méthode.....</b>	<b>12</b>
2.1	Matériel biologique .....	12
2.2	Etude de l'impact du marquage et de sa couleur sur le taux de prédation .....	12
2.3	Acquisition d'éléments pour optimiser l'observation de la prédation in situ.....	15
2.3.1	Evaluation du temps de transit de proies marquées dans le tractus digestif.....	15
2.3.2	Essais de méthodes d'évaluation sans sacrifice du niveau de présence de civelles marquées dans le tractus d'un prédateur .....	16
<b>3</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>17</b>
3.1	Étude de l'impact du marquage et de sa couleur sur le taux de prédation réalisée dans les bassins SCOLA .....	17
3.2	Acquisition d'éléments pour optimiser l'observation de la prédation in situ.....	18
3.2.1	Mise en évidence de la présence de la marque VIE dans les estomacs des perches.....	18
3.2.2	Essais de méthodes d'évaluation sans sacrifice du niveau de présence de civelles marquées dans le tractus d'un prédateur .....	21
<b>4</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>21</b>
4.1	Effet de la marque VIE sur la mortalité par prédation des civelles.....	21
4.2	Acquisition d'éléments pour observer le phénomène de prédation in situ.....	24
<b>5</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>26</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>27</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>30</b>

## 1 Introduction

L'anguille européenne *Anguilla anguilla* est une espèce amphihaline thalassotoque. Elle se reproduit en mer des Sargasses et donne naissance à des larves nommées « leptocéphales » qui traversent de manière passive l'Océan Atlantique et se métamorphosent en civelles (aucune pigmentation, arrêt de l'alimentation, perte de taille et de poids) au niveau du talus continental. Ces civelles transparentes vont profiter des courants de marée pour se rapprocher des côtes et entrer dans les estuaires (sur la côte atlantique le maximum est observé de novembre à mars). Sous l'influence de la température et de la baisse de salinité, la pigmentation va progressivement se mettre en place pour aboutir au final, à une petite anguille jaune totalement pigmentée (Elie, 1982). La reprise d'alimentation intervient à peu près à la mi-temps de cette phase d'acquisition pigmentaire et va correspondre à un net changement de comportement et d'aptitudes physiques. Avant cette reprise, la civelle au comportement pélagique doit s'adapter aux contraintes courantologiques (succession de flots et de jusants, débit fluvial plus ou moins soutenu). Cette adaptation se fait plus ou moins bien selon les individus, les moins bien synchronisés progressant peu dans l'estuaire. Après la reprise alimentaire, la civelle devient benthique avec une capacité de déplacement plus importante. Cette bascule comportementale intervient plus ou moins tôt dans la saison en fonction des dates d'arrivée des individus (Briand et al. 2003). Un certain pourcentage (non défini actuellement, mais significatif) d'individus ne sortira pas de la zone soumise à marée voire de la zone salée et y passera toute la phase de croissance (Daverat et al. 2006).

En revanche, d'autres vont sortir activement de cette zone et migrer vers l'amont. Le déclenchement de ce phénomène a lieu le plus souvent à la mi-mars/début avril sous l'influence de la température (minimum 10-11°C), des coefficients de marée et du débit fluvial (Crivelli et al. 2008, Jellyman et al. 1983). C'est sur ces migrants actifs que les ouvrages édifiés sur les axes de migration vont influencer. L'abondance de l'anguille en France jusque dans les années 70 n'a pas amené à imposer des dispositifs de franchissement adaptés à l'espèce sur ces ouvrages.

Mais, depuis le début des années 80, le stock d'anguilles européennes est en fort déclin et la Commission européenne a donc instauré en 2007 un plan de restauration. De plus en plus de passes à anguilles sont ainsi mises en place et leurs gestionnaires souhaitent pouvoir disposer de méthodes pour en évaluer l'efficacité. Parmi les méthodes disponibles, le marquage d'un effectif connu de migrants, leur remise en aval de l'ouvrage et l'observation de leur cinétique et de leur niveau de recapture sur la passe sont souvent cités.

Pour évaluer l'intérêt et les limites de cette démarche, une approche expérimentale a été menée sur un site girondin situé à 4 kilomètres en amont de la limite de marée. Il s'agit de l'ouvrage du Pas du Bouc situé au Nord du Bassin d'Arcachon sur le canal exutoire du lac de Lacanau. Neuf campagnes de marquage par élastomères de couleur (VIE, Visible Implant Elastomer) y ont été réalisées en 2009 et 2010 sur 4500 civelles.



**Figure 1 : Marquage au VIE (produit liquide durcissant à température ambiante) d'une civelle**

L'analyse des résultats par modèle Bayésien met en évidence un certain nombre d'éléments intéressants :

- un niveau de recapture qui augmente significativement avec le débit,
- un meilleur taux de recapture des individus remis en rivière en rive opposée à l'entrée de la passe,
- un impact significatif de l'état sanitaire des individus (moins bonne recapture des individus à état sanitaire médiocre),
- un pourcentage très significatif de non recapture non lié à une mortalité directe imputable aux marquages (cages de contrôle de la survie hors prédation lors de chaque campagne). Il peut être dû à un impact comportemental important suite au marquage (arrêt au moins temporaire de l'envie de migrer). Cet aspect n'a pas été observé par Imbert et al. (2007) lors des essais de marquage avec observation ultérieure en structures expérimentales, mais il ne peut jamais être totalement exclu.

A noter toutefois que les suivis systématiques en pied d'ouvrage n'ont jamais révélé de présence significative d'individus marqués (Rigaud et al. 2011). Il reste enfin une dernière hypothèse, celle d'un niveau de prédation élevé lié à la présence quasi permanente de carnassiers au pied de ces ouvrages. Sur le site du Pas du Bouc, trois espèces sont concernées, la perche commune (*Perca fluviatilis*), la perche-soleil (*Lepomis gibbosus*) et l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) (**Tableau 1**).

De nombreuses méthodes sont utilisées dans le cadre de l'étude du régime alimentaire des poissons. Ainsi, le dosage des isotopes stables dans la chair renseigne sur les composantes moyennes du régime alimentaire du prédateur et sur l'origine des proies. En revanche, ce procédé n'est pas adapté à l'évaluation précise du niveau de prélèvement sur un stock de proies d'effectif connu. On peut également penser à introduire dans la civelle un élément visible en radiographie.

Ainsi l'usage de marques CWT (Coded Wire Tag) en acier inoxydable, pouvait s'envisager surtout que l'étude de Thomassen et al. (2000) montrait son intérêt chez de jeunes anguilles d'au moins 2 g. Cependant, pour des civelles de 0,25 à 0,35 g, cette marque apparaît beaucoup trop lourde. Le VIE reste donc être un outil précieux qui permettrait de faciliter le repérage et le comptage des civelles dans le bol alimentaire des prédateurs.

**Notre travail vise à initier une analyse spécifique de cette prédation potentielle en ciblant dans un premier temps, trois objectifs :**

- **synthèse des connaissances sur le comportement alimentaire et la vision des trois carnassiers présents sur le site,**
- **évaluation en structures expérimentales d'une éventuelle surmortalité des civelles liée à la présence du marquage par élastomère de couleur (VIE),**
- **acquisition d'éléments pour optimiser l'observation ultérieure in situ du phénomène de prédation (temps de transit, essais de méthodes d'évaluation sans sacrifice du niveau de présence de civelles marquées dans le tractus d'un prédateur).**

### 1.1 Connaissances sur le comportement alimentaire des trois prédateurs

Afin de juger si les trois espèces recensées sur le site du Pas du Bouc (**Tableau 1**) peuvent constituer des prédateurs important pour la civelle en montaison, une analyse des études ciblant les rythmes et les comportements alimentaires des trois prédateurs a été réalisée. Une synthèse des connaissances sur leur vision des couleurs a également été effectuée pour voir si une sur-prédation liée à la couleur des VIE est possible. De plus, ces informations permettront d'adapter les protocoles et d'interpréter plus facilement les résultats observés en condition expérimentale ou sur le terrain.

Tableau 1: Classification, nom commun, latin et anglais de trois prédateurs de la civelle retrouvés au Pas du Bouc

	Classification		
	Classe	Ordre	Famille
<b>Ecrevisse rouge de Louisiane</b> <i>Procambarus clarkii</i> Red swamp crayfish	Crustacés	Décapodes	Cambaridés
<b>Perche commune</b> <i>Perca fluviatilis</i> European perch	Actinoptères	Perciformes	Percidés
<b>Perche soleil</b> <i>Lepomis gibbosus</i> Pumpkinseed sunfish			Centrarchidés



### 1.1.1 L'écrevisse de Louisiane

- **Biologie-écologie**

Cette espèce originaire des USA, fut introduite en Europe au début des années 1970. Elle occupe en France des milieux variés tels que les marais, les étangs et les rivières avec une préférence pour les eaux calmes, ensoleillées et peu profondes. Les conditions optimales pour l'espèce sont : une température comprise entre 22 et 25°C, un pH de 6.5 à 8.5, une salinité inférieure à 15‰ et une teneur en oxygène supérieure à 3 ppm (Arrignon 1991). Mais, cette espèce peut résister à des conditions environnementales extrêmes (sécheresse, carence en oxygène, mauvaise qualité de l'eau..) notamment en s'enfouissant.

- **Comportement et rythme alimentaire**

De manière générale, les écrevisses ne se précipitent pas sur l'aliment : elles l'observent, le tâtent, commencent à le grignoter puis repartent. L'écrevisse rouge de Louisiane est opportuniste (Smart et al. 2002, Ilhéu et al. 1993b) et possède un comportement alimentaire plastique (Renai et al. 2004). Cette espèce omnivore consomme aussi bien des végétaux que des animaux ou des détritiques avec un pattern saisonnier : les plantes sont plus consommées l'été et les animaux l'hiver (Correia 2003). *Procambarus clarkii* est une consommatrice sélective de plantes fraîches et mange surtout des algues vertes et des plantes du genre « Urtica » et « Polygonum » (Gherardi et al. 2007). Cronin et al (2002) conclurent aussi à une sélection des plantes consommées avec une préférence pour les plantes filamenteuses ou à branches fines. Des tests en laboratoire ont montré que les proies animales préférées de ce crustacé sont les macro-invertébrés benthiques tels que les odonates, larves éphéméroptères, planorbes et escargots (Ilhéu et al. 1993b). Les variations de consommation de ces proies reflètent leur disponibilité saisonnière (Correia 2002, Correia 2003). On observe aussi un changement ontogénique dans l'alimentation : les jeunes sont plus carnivores alors que les pré-adultes et adultes se nourrissent davantage de végétaux (Correia 2003). Le tube digestif de l'écrevisse se divise en trois parties : le stomodeum, l'intestin moyen et l'intestin postérieur : le proctodeum qui se termine par l'anus (Arrignon 1991). Aucune information n'a été trouvée concernant le temps de transit d'un aliment entre son absorption et son excrétion.

### 1.1.2 La perche commune

- **Biologie-écologie**

La perche commune est un poisson d'eau douce autochtone du Nord et du centre de la France vivant dans des eaux calmes, de bonne qualité, à courant modéré (Keith et al. 2011) et pouvant supporter jusqu'à 10 ‰ de salinité (Lozys 2004). La température optimale des larves est comprise entre 25 et 30°C alors que pour les individus de plus de 2 ans elle se situe entre 18 et 27°.

- **Comportement et rythme alimentaire**

La perche est une espèce diurne active principalement à l'aube, le midi et au crépuscule (Eriksson 1978, Jacobsen et al. 2002). Cependant, Ferter et al. (2010) ont montré un rythme alimentaire flexible avec par exemple un passage à une activité nocturne sous certaines conditions, notamment de stress. Les perches sont des chasseurs visuels opportunistes ayant un régime alimentaire varié à l'âge adulte. Les jeunes ne mangent que du zooplancton alors que les adultes se nourrissent de poissons (cannibalisme possible), d'insectes et de crustacés (Rezsú et al. 2006). Ces poissons ont une alimentation variable dans le temps, l'espace et selon les ressources disponibles (Akin et al. 2011). Les perches présentent une variation saisonnière d'occupation bathymétrique des plans d'eau. Une expérience en laboratoire a montré que ces poissons se déplacent aussi bien à la surface qu'en profondeur dans la colonne d'eau l'été alors qu'ils restent en profondeur l'hiver (Eriksson 1978). Leur niveau d'activité varie en fonction de la température et leur durée d'activité en fonction de la longueur du jour (Eriksson 1978 ; Neuman et al. 1996). Ainsi, la perche commune possède un rythme d'activité annuel maximum l'été et minimum l'hiver. Un pic d'activité a été noté au printemps (en Avril), correspondant à la période de reproduction (Neuman et al. 1996). Contrairement aux cyprinidés la perche possède un estomac (**Figure 2**). Son intestin forme une sorte de S en boucle et se prolonge par l'anus. Il est divisé en trois segments : segment proximal, moyen et distal (Noaillac-depeyre et al. 1979). De manière générale, les poissons carnivores consomment des aliments riches en protéines et ont donc un tractus digestif plus court que les herbivores.

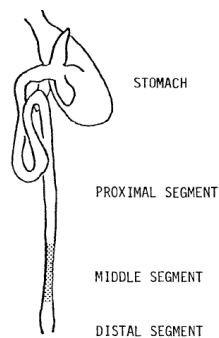


Figure 2 : Schéma du tube digestif de la perche commune d'après Noaillac-Depeyre

### 1.1.3 La perche soleil

- **Biologie-écologie**

Originaire du Nord Est de l'Amérique ce poisson fut introduit en France à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Son corps est haut, aplati, subcirculaire et d'une coloration brillante dominée par les verts et bleus. A l'âge adulte la perche soleil pèse entre 230 et 340 g et dépasse rarement 20 cm (MPO 2011). Elle vit dans des eaux peu turbides, peu profondes et à courant lent (Keith et al. 2011). Ce poisson apprécie les zones végétalisées et une température comprise entre 24 et 32° (Holtan 1998).

- **Comportement et rythme alimentaire**

Cette espèce diurne se nourrit principalement à l'aube et au crépuscule (Johnson et al. 1993). Même si cet animal possède un régime alimentaire opportuniste en mangeant les proies les plus abondantes et les plus fréquentes (Godinho et al. 1997), son repas est constitué principalement d'invertébrés et en particulier de larves de diptères (Johnson et al. 1993, Godinho et al. 1997). On observe des variations ontogéniques dans l'alimentation : les jeunes se nourrissent de chironomidés et les adultes complètent cette alimentation avec des insectes aquatiques et des gastéropodes (Wolfram-Wais et al. 1999). Adultes, les perches-soleil peuvent aussi manger des poissons voir leurs congénères (Holtan 1998), des œufs de poissons et des débris de végétaux (Garcia-Berthou et al. 2000). Le repas des perches soleil varie en fonction des saisons, de la disponibilité des ressources (Garcia-Berthou et al. 2000, Nikolova et al. 2008) et de la présence de certains compétiteurs (Werner et al. 1979). Par exemple, le zooplancton est très consommé à l'automne alors que les œufs de poissons et les débris végétaux le sont plus au printemps et l'été (Garcia-Berthou et al. 2000). Concernant le temps de transit intestinal de la perche soleil, aucun élément n'a été trouvé dans la bibliographie.

## **1.2 La vision chez les téléostéens et les crustacés**

La pénétration des longueurs d'onde dans l'eau est très différente, le rouge étant la première couleur à être absorbée suivi par le vert et le bleu. La profondeur atteinte par la lumière varie en fonction de la clarté de l'eau.

### **1.2.1 Les téléostéens et le cas de la perche**

L'œil des poissons est construit sur le même plan d'organisation que celui des autres vertébrés. Les prédateurs visuels comme la perche ont une vision bien développée. La rétine des poissons (comme celle de l'homme) comprend deux types de cellules sensorielles : les cônes, sensibles aux couleurs et les bâtonnets sensibles à la quantité de lumière. Ainsi la vision des couleurs par les poissons est avérée. Gacici et al. (2007) ont étudié le spectre de sensibilité de la perche commune du Danube à l'aide d'un électrorétinogramme. Ce dispositif analyse la réponse électrique de la rétine à une stimulation lumineuse et permet de discriminer l'activité des cônes de celle des bâtonnets. Les résultats indiquent qu'en moyenne les perches sont très réceptives aux longueurs d'ondes situées aux alentours de 542 nm et ne perçoivent que très peu les longueurs d'onde autour de 650 nm (correspondant à la couleur rouge).

### 1.2.2 Les crustacés et le cas de l'écrevisse de Louisiane

L'écrevisse possède deux yeux composés de milliers d'ommatidies. Plusieurs études ont démontré que l'écrevisse *P. clarkii* possède deux types de récepteurs lui permettant de visualiser les couleurs. Ces récepteurs ont des sensibilités maximales à des longueurs d'onde différentes et ne sont pas présents dans les mêmes proportions. Le moins abondant possède une sensibilité maximale aux alentours de 460 nm correspondant à la couleur bleue (Nozaki 1969, Waterman et al. 1970, Woodcock et al. 1970). Le plus abondant est, quant à lui, sensible à des longueurs d'onde supérieure à 500 nm avec des chiffres variant selon les études. Ainsi, Waterman et al. (1970) ont remarqué une sensibilité maximale moyenne à 594 nm, Woodcock and Goldsmith (1970) entre 560 et 570 nm, et Nozaki (1969) > 600 nm. Ces deux derniers chercheurs ont démontré qu'en hiver (Nozaki 1969) ou lorsque l'animal doit s'adapter à un milieu sombre (Woodcock et al. 1970) on n'observe plus deux pics de longueur d'onde sur le spectre mais un seul autour de 560 nm (vert).

Cette synthèse bibliographique a apporté des éléments sur les conditions optimales favorisant la prise alimentaire de ces trois carnassiers. Elles confirment qu'ils peuvent se nourrir de petits poissons et dans des conditions environnementales compatibles avec celles de la période de montaison des civelles. De plus, la vision des couleurs étant avérée, nous pouvons émettre l'hypothèse que la couleur vive du marquage VIE pourrait avoir un impact sur la prédation des civelles. La perche commune que nous allons tester en structures expérimentales pourrait ainsi être plus attirée par un marquage bleu/vert que par un marquage rouge mais cette hypothèse reste cependant à vérifier.

## 2 Matériel et Méthode

Les différents essais et suivis que nous avons réalisés concernent trois domaines complémentaires :

- tests d'une possible surmortalité par prédation liée à la présence d'une marque fluorescente de couleur sur la civelle,
- premiers éléments d'évaluation du temps de transit d'une proie marquée dans le tractus digestif d'un prédateur,
- essais de différentes méthodes d'observation in situ et sans sacrifice du nombre de proies présentes à un instant donné dans le tractus digestif d'un prédateur.

Dans le cadre de nos travaux, c'est la perche commune qui a été utilisée pour initier ces démarches.

### 2.1 Matériel biologique

Les perches (*P.fluviatilis*) utilisées sont des individus âgés d'un an (12-18 cm), provenant d'étangs du centre de la France, leur alimentation naturelle étant constituée de vers et de petits gardons. Elles ont été pêchées début février 2012 puis transportées en camion-vivier jusqu'en Gironde. Elles ont ensuite été placées dans des sacs à oxygène remplis d'eau de l'étang (température de 3°) et amenées jusqu'à la station expérimentale de Saint-Seurin sur l'Isle. Les animaux ont ensuite été acclimatés avant d'être placés dans un bac alimenté constamment par l'eau de la rivière à 6°C.

Les civelles ont été pêchées début mars 2012 dans l'estuaire de la Gironde (température de l'eau : 8°) aux environs de la centrale de Blaye située dans la commune de Braud et Saint Louis. Elles ont été transférées dans la journée à St-Seurin sur l'Isle et ont été placées en eau de rivière à 8°C. Les différents essais ayant lieu sur des circuits fonctionnant sur eau de forage à 14°C, tous les animaux ont subi une montée progressive en température dans la semaine précédant chaque essai.

### 2.2 Etude de l'impact du marquage et de sa couleur sur le taux de prédation

Pour cette expérience trois structures expérimentales nommées « SCOLA » ont été utilisées (**Annexe 1**). Ce sont des mésocosmes annulaires qui fonctionnent en circuit ouvert et dont les paramètres physico-chimiques ainsi que la photopériode, les renverses éventuelles et la vitesse de courant peuvent être contrôlés et programmés. Après nettoyage et désinfection, ces bassins ont été mis en fonctionnement sur eau de forage (température de 14°) avec une photopériode printanière (12h30 jour/11h30 nuit), un courant faible (10 cm/s) et un renversement de courant toutes les 6h20 pour simuler la marée et provoquer ainsi une activité des civelles.

Des abris ont été ajoutés (branchages attachés à un pavé et un herbier synthétique) pour simuler un milieu naturel et permettre aux proies de se cacher un minimum des prédateurs. Une caméra a été placée afin d'observer l'activité des civelles sur une fenêtre d'observation précise. Une fois les civelles anesthésiées (huile essentielle de clou de girofle, 0.3ml/l), elles sont mesurées et leur état sanitaire est relevé. Le marquage des civelles au VIE (produit liquide de couleur vive qui durcit à température ambiante) a ensuite été réalisé de manière à constituer quatre lots (**Figure 3**).

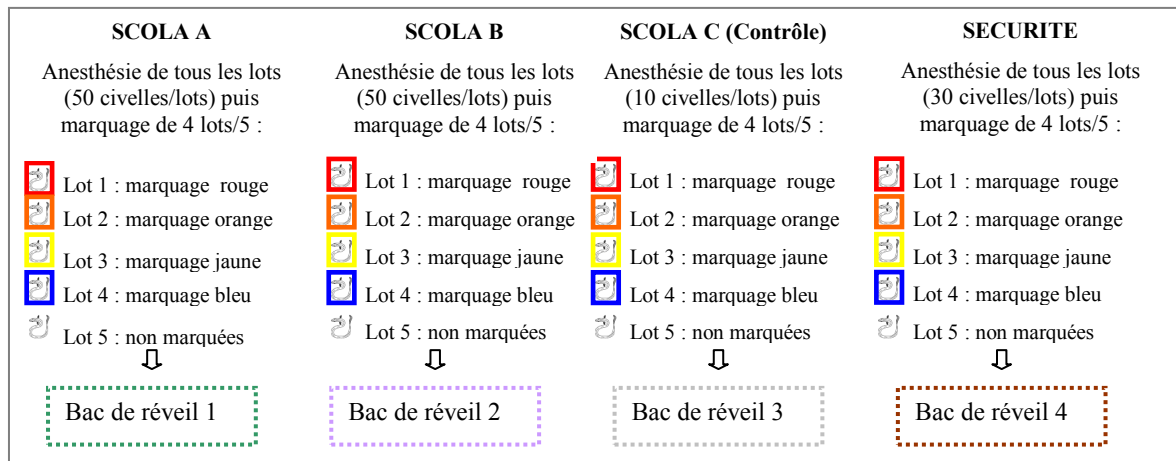


Figure 3 : Description du protocole de marquage pour chaque bassin

Les animaux contenus dans les 4 bacs de réveil ont ensuite été placés dans 4 cages de surveillance de la survie sur la première nuit suivant la journée de marquage. Le taux de mortalité a été évalué le lendemain matin, les civelles mortes étant remplacées en prélevant dans le lot sécurité prévu à cet effet. Les civelles du groupe « SCOLA A, B et C » ont été transférées dans leurs structures respectives. Les caméras sont alors mises en route afin d'observer leur activité (enregistrement d'une minute tout les quarts d'heure). Pour laisser un temps d'adaptation, l'expérience ne démarre que trois jours plus tard. Au lancement de chaque essai, à 11h, une perche à jeun, pesée, mesurée et acclimatée au préalable à l'eau de forage à 14°C a été introduite dans le SCOLA A (idem pour le B). Aucune perche n'a été rajoutée dans le SCOLA C, celui-ci servant de contrôle. Le comportement des prédateurs a été observé pendant l'heure suivant cette introduction, puis chaque pièce dédiée à chaque structure a été fermée pendant 4 jours. Le 5ème jour, le comportement du prédateur a été de nouveau observé en direct pendant l'heure précédant sa récupération intervenant vers 11 h. Les perches ont alors été placées dans un premier bain d'anesthésiant (0.2 ml d'eugénol dilué au 1/10<sup>ème</sup> avec de l'alcool à 75° dans 10 l d'eau) avant d'être disposées dans un 2<sup>ème</sup> bac contenant une dose mortelle d'anesthésiant (1 ml d'eugénol dilué au 1/10<sup>ème</sup> avec de l'alcool à 75° pour 10 l d'eau). Ces mêmes doses ont été utilisées pour toutes les expériences suivantes avec sacrifice. Les perches ont été disséquées par la suite (voir leurs caractéristiques **Tableau 2**). Dans les trois bassins, les civelles survivantes ont été récupérées, dénombrées par lot et leur état sanitaire a été relevé.

Devant le faible nombre de civelles consommées lors de la première session, la deuxième session a été renouvelée en augmentant le nombre de prédateurs (5 perches dans chacun des deux bassins). De plus, suite à un problème technique, la renverse de courant a été modifiée par un courant constant en session 2 (des détails concernant le protocole sont présentés dans les **Annexes 2 et 3**).

Tableau 2 : Caractéristiques des perches et des civelles disposées dans les bassins

		Session1	Session 2	
		SCOLA B	SCOLA A	SCOLA B
<b>Perches</b>	Nombre d'individus	1	5	5
	Poids moyen (g)	36,34	35,428 ±5,8	32,806 ±3,8
	Longueur totale moyenne (mm)	146,8	144,61±7,2	139,29 ±4,78
	Sexe	Mâle	Mâle	
<b>Civelles</b>	Nombre d'individus	250	250	250
	Taille moyenne (mm)	67,6 ±3,75	67,5 ±4,23	67,1 ±3,47
<b>Condition Environnementale</b>	Courant	Renverse toutes les 6h20	Constant	

Un modèle linéaire généralisé (GLM) a été réalisé pour mettre en évidence une éventuelle sur-prédation des civelles marquées en fonction de la couleur du VIE. Étant donné que certains paramètres ne sont pas identiques entre les SCOLA (modification du courant et du nombre de prédateurs, voir **Tableau 2**) nous ne pouvons pas parler de « réplicat ». Ainsi, l'intérêt majeur de ce modèle est qu'il prend en compte la variabilité des paramètres entre les structures pour en déduire un résultat global. La variable à expliquer présentant des données binaires (mort ou survie des civelles pour chaque lot de couleur après leur mise en contact avec des prédateurs), un GLM binomial est utilisé. Les trois variables explicatives introduites dans le modèle sont les suivantes : nombre de perches par bassin, nombre de jours où les civelles et les prédateurs ont été mis en contact et couleur de la marque des civelles ayant survécu (rouge, orange, jaune, bleu et sans marque). Au préalable un test de Kruskal-Wallis a été réalisé pour s'assurer qu'il n'y avait pas de différences significatives de taille entre les lots de civelles. Il n'a pas été pris en compte un éventuel effet de la taille ou du poids des perches, celles-ci ayant été tirées aléatoirement d'un même lot et possédant toutes des tailles très proches. Le modèle final est donc de la forme :

**Nombres de civelles mortes, nombres de civelles survivantes ~ couleur de la marque + durée de l'expérience + nombre de perches.**

La significativité de chaque effet est testé par un test du Chi<sup>2</sup>, les différences entre chacun des lots marqués étant testées par un test de Tukey.

## 2.3 Acquisition d'éléments pour optimiser l'observation de la prédation in situ

### 2.3.1 Evaluation du temps de transit de proies marquées dans le tractus digestif

Pour savoir si le marquage VIE peut potentiellement être utilisé comme « traqueur » de prédation, il est important de voir (i) si la détection de VIE dans le tractus digestif de la perche est possible et (ii) pendant combien de temps la marque reste détectable. Le but de cette première expérimentation va donc consister à faire ingérer des civelles marquées à des perches puis à déterminer le temps de présence de la marque dans le tractus de la perche.

Avant leur transfert dans les aquariums, pour favoriser les chances de prises alimentaires, les prédateurs ont été adaptés à un « rituel » d'apport de proies avec présence humaine. Ils ont aussi été mis à jeun pendant plusieurs jours et acclimatés à une température de 18°. Huit aquariums en verre de 30 litres ont été disposés sur une plaque en PVC et montés en circuit ouvert (**Annexe 1**). Pour minimiser le stress de ces prédateurs sauvages, les vitres communes entre deux aquariums ont été munies de caches en polystyrène et des cachettes ont été placées dans les aquariums (feuilles de bananier). Puis, une perche est disposée dans chaque aquarium et est nourrie quotidiennement.

#### Protocole final :

Dans un premier temps, deux perches ont été nourries avec une civelle marquée et le temps d'excrétion de la marque dans l'aquarium a été observé. Dans un second temps, une civelle présentant un marquage VIE est proposée à une perche commune. Un passage tous les quarts d'heure a permis de repérer le moment d'ingestion effective de la proie pour chaque aquarium. Le protocole mis en place a consisté à prélever et euthanasier un individu 4h, 6h, 8h, 16h, 24h et 28h (ces temps avaient été choisis après avoir réalisé des tests préliminaires consistant à faire ingérer des vers de terre marqués à des perches – voir **Annexe 4**) après ingestion de la proie. Ceci permettra de préciser le moment du passage de la marque VIE de l'estomac à l'intestin, puis sa vitesse de progression dans la partie antérieure et postérieure de l'intestin du prédateur. Cette expérience a été renouvelée deux autres fois afin d'obtenir au final trois réplicats pour chaque horaire. Au laboratoire, chaque poisson, pesé et mesuré *a posteriori*, a été congelé puis disséqué pour observer l'état de la marque et sa localisation dans le tractus digestif.

Dans l'optique d'utiliser un tubage gastrique et éviter ainsi le sacrifice du prédateur, il est important que la marque n'ait pas encore quitté l'estomac. Il a donc été modélisé la probabilité que la marque soit encore présente dans l'estomac en fonction du temps (depuis l'ingestion). Un GLM binomial a été utilisé. Les variables explicatives placées dans le modèle sont : le poids du poisson (poids du poisson, longueur et longueur de son intestin étant étroitement corrélées) et l'heure à laquelle il a été euthanasié après avoir ingéré une civelle marquée.



La variable à expliquer est la présence ou l'absence de la marque dans l'estomac du poisson, et la forme finale est : **présence, absence de la marque dans l'estomac ~ temps + poids des perches**. Comme précédemment, des tests de Chi2 ont été utilisés pour évaluer la significativité des variables explicatives. Le modèle est ensuite utilisé pour estimer un t50 et un t80 (temps pour lequel la probabilité que la marque soit dans l'estomac est de 50% et de 80%).

### 2.3.2 Essais de méthodes d'évaluation sans sacrifice du niveau de présence de civelles marquées dans le tractus d'un prédateur

- *Essais radiographiques et échographiques*

Trois marques VIE ont été placées dans le tractus d'une perche morte, la première dans l'estomac et les deux autres à deux niveaux de l'intestin, le poisson étant ensuite recousu. Une deuxième perche morte a reçu par injection orale (canule + piston) un morceau de ver de terre marqué. Les deux poissons ont ensuite été amenés chez un vétérinaire qui a réalisé une échographie et des radiographies. Ces dernières ont été paramétrées différemment afin d'augmenter les chances d'observer le marquage VIE (**Annexe 6**).

- *Le tubage ou lavage gastrique*

L'équipement nécessaire pour réaliser le tubage gastrique comprend un pulvérisateur, un manomètre et deux embouts (l'un très petit injecte l'eau et l'autre, de plus grand diamètre, permet le refoulement de l'eau et du contenu digestif). Deux civelles marquées (l'une avec un VIE orange et l'autre avec un VIE rouge) ont été avalées par une perche (54 g, 175 mm) à 5 minutes d'intervalle. Quatre heures après l'ingestion, la perche a été anesthésiée puis placée tête en bas sur un support incliné. Les deux embouts ont été ensuite placés l'un dans l'autre et de l'eau a été injectée par à-coups. N'obtenant pas le contenu digestif de cette manière, l'expérience a été renouvelée en insérant cette fois les 2 tuyaux l'un à côté de l'autre (**Annexe 7**). L'opération terminée, le poisson a été remis dans son aquarium avec surveillance de son réveil et de sa survie sur plusieurs jours.

### 3 Résultats

#### 3.1 Étude de l'impact du marquage et de sa couleur sur le taux de prédation réalisée dans les bassins SCOLA

Au cours de cette étude, les perches avaient toutes le même sexe et le poids moyen des cinq perches utilisées en session 2 est proche. Les conditions dans chaque SCOLA sont résumées dans le **Tableau 2**.

Les tailles des civelles ne sont pas significativement différentes entre le SCOLA B session 1, SCOLA B session 2 et SCOLA A session 2 (test de Kruskal-Wallis,  $p=0,56$ ). La première session d'expérience durait 4 jours. Aucun résultat n'a été obtenu dans le bassin SCOLA A session 1, celui-ci ayant eu un problème technique au cours de l'expérience. On observe que l'augmentation du nombre de prédateurs dans les SCOLA entre les deux sessions a permis d'obtenir des niveaux de prédation beaucoup plus élevés : 2,5 civelles par perche et par jour dans le SCOLA A et 3,4 civelles par perche et par jour dans le SCOLA B pour la session 2, contre seulement 1 civelle par perche et par jour dans la première session. Les problèmes techniques rencontrés avec le SCOLA ne permettent pas de déterminer si l'existence d'une renverse de courant ou non peut avoir un impact sur la prédation.

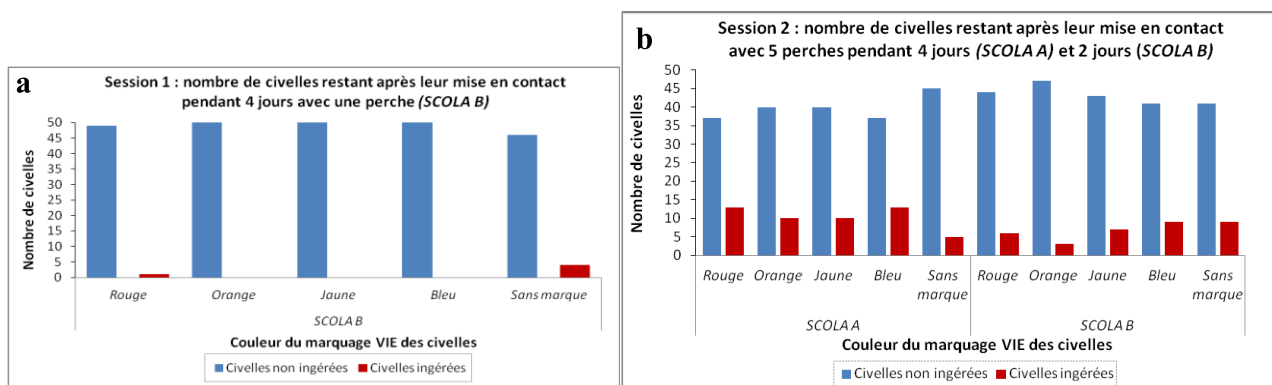


Figure 4 : Nombre de civelles ayant été mangées dans chaque bassin SCOLA en session 1 (graphe a) et 2 (graphe b)

A partir de l'ensemble des résultats obtenus, un GLM loi binomiale a été réalisé pour savoir s'il existait un effet marquage et par conséquent un effet couleur du marquage sur le taux de prédation. L'analyse de déviance montre qu'il n'y pas d'effet « couleur de la marque » ce que confirme les tests de Chi2 (**Tableau 3**) et de Tukey ( $pvalue > 0.05$  donc aucune différence significative entre les lots, **Tableau 4**).

Tableau 3 : Tableau de significativité des variables du modèle retenu (tests du Chi2)

Variables	p-value	Significativité
Nombre de perches	1.541 e-11	***
Durée de l'expérience	0.04239	*
Couleur	0.53230	NS

Signif. Codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1'' 1

Tableau 4 : Tableau de significativité des variables où l'on maintient l'effet couleur (tests de Tukey)

	Aucun	Bleu	Jaune	Orange
Bleu	0.96		0.90	0.47
Jaune	1.000	0.90		0.93
Orange	0.87	0.46	0.93	
Rouge	0.1	0.12	0.98	0.68

Ainsi le marquage n'a aucun impact sur la prédation des civelles. Le taux de prédation est expliqué majoritairement par la variable « Nombre de perches » suivie par le nombre de jours de mise en contact des prédateurs avec les proies (= variable « Durée de l'expérience »).

### 3.2 Acquisition d'éléments pour optimiser l'observation de la prédation in situ

#### 3.2.1 Mise en évidence de la présence de la marque VIE dans les estomacs des perches

L'analyse préliminaire (utilisation d'un ver marqué) nous a permis de déterminer que le passage de la marque de l'estomac à l'intestin semblait se produire entre 4h et 8h (**Annexe 4**).

D'autre part, le suivi de deux perches de gabarits différents (25 et 48 g) a permis de constater le délai nécessaire à l'excrétion d'une civelle marquée. Ce rejet a eu lieu 30 h après l'ingestion pour la première et entre 34 et 40 h après l'ingestion pour la seconde. Ainsi, les marques ne restent pas stockées dans l'estomac du poisson et passent dans l'intestin 6 à 8h après l'ingestion, le transit apparaissant beaucoup plus lent (plus de 24 h). De plus, les VIE restent quasiment intactes après l'excrétion, ce qui permet de penser que le collectage de fécès est possible en milieu naturel pour quantifier la prédation.

Les observations par dissection ont été menées 4, 6, 8, 16, 24 et 28 heures après l'ingestion d'une civelle préalablement marquée et trois réplicats ont été réalisés pour chaque laps de temps (photos **Annexe 5**). La **Figure 5** présente les proportions de localisation de la marque VIE dans le tractus digestif pour 3 fourchettes de temps (t4h et t6h ; t8h et t16h ; t 24h et t28h) tous réplicats confondus. Afin de simplifier l'illustration nous avons illustré ce phénomène via trois localisations qui sont l'estomac, l'estomac et l'intestin (lorsque la marque est retrouvée en plusieurs fragments dans ces deux localisations) et l'intestin.

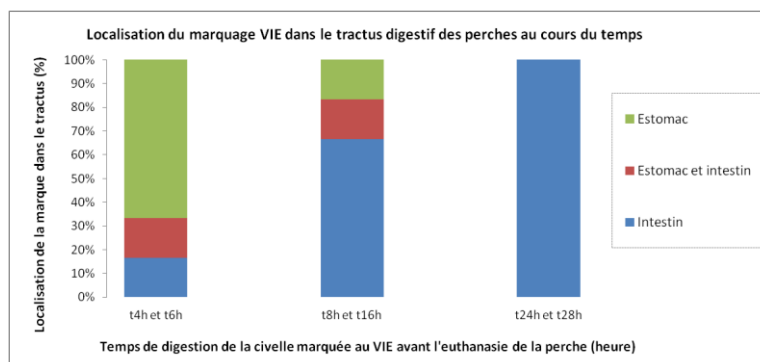


Figure 5 : Localisation de la marque dans le tractus digestif de la perche commune

Quatre heures et 6h après l'ingestion, la marque est retrouvée dans 67 % des cas dans l'estomac. A partir de 8h après ingestion, il est possible d'observer une nette bascule puisque la marque est cette fois repérée dans 67 % des cas dans l'intestin. Enfin au bout de 24h, la marque est retrouvée à 100% dans l'intestin. La **Figure 6** présente de manière plus détaillée la cinétique de la marque pour chaque réplikat. Les trois réplikat ont été schématisés séparément afin de faciliter la lecture du schéma.

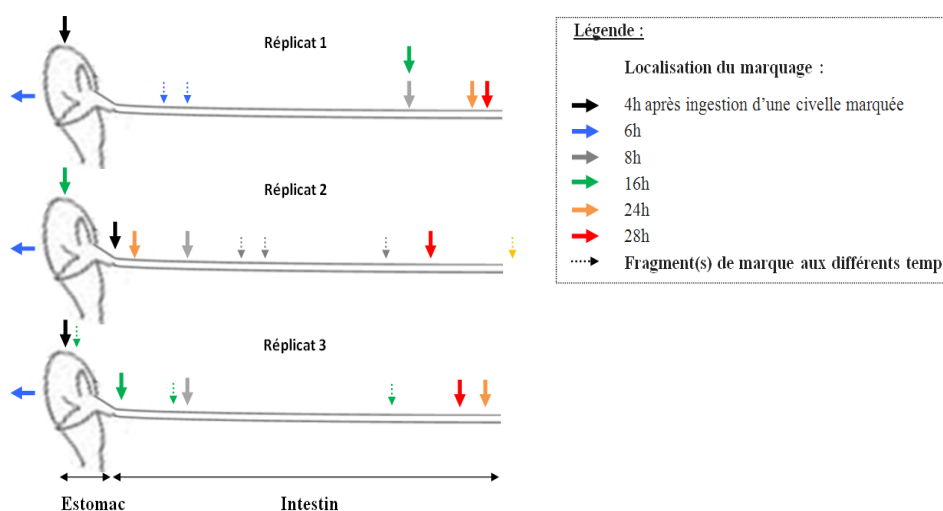


Figure 6 : Schéma de la localisation au cours du temps des marques et fragments de marques présent(e)s dans le tractus des perches (pour chaque réplikat). L'intestin est représenté complètement déroulé. Les flèches horizontales placées avant l'estomac ou celle verticale disposée après l'intestin signifient respectivement que la marque a été recrachée par la perche sous le stress de l'euthanasie ou excrétée et retrouvée dans l'aquarium avant son euthanasie

On observe ainsi que la totalité des marques « principales » (représentées par une flèche pleine) 6h après l'ingestion (flèches bleues) ont été recrachées par le poisson et étaient donc encore présentes dans l'estomac. D'autre part, 4 h après ingestion de la civelle, on remarque que la totalité des marques sont restées intègres sans dislocation et dans 2 cas sur 3 la marque se situe dans l'estomac. Huit heures et 16 h après l'ingestion, pour 5 poissons sur 6, la marque « principale » se situe dans l'intestin. La position du VIE dans le tractus varie fortement entre les réplikat à ces deux pas de temps.

Enfin, 24 et 28 h après ingestion de la proie, on observe que la marque est toujours localisée dans l'intestin. Dans tous les cas, les VIE sont localisées dans la partie terminale du tractus digestif, sauf une exception au réplicat n° 2 à t 24 h où la marque est encore située dans la partie antérieure de l'intestin.

Un GLM binomial a été effectué pour connaître les variables qui influencent la présence ou l'absence de la marque dans l'estomac. Les tests du Chi2 indiquent que seule la variable « temps » est significative (**Tableau 5**), le poids de la perche ne l'étant pas (ce n'était pas non plus le cas de la longueur de la perche et de sa longueur de tube digestif).

Tableau 5 : significativité des variables (tests du Chi2)

Variables	p-value	Significativité
Temps	0.007235	**
Poids des perches	0.100189	NS

Signif. Codes : 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05'. ' 0.1' 1 NS= non significatif

Dans un but de parcimonie, on choisit finalement un modèle final ne comportant que la variable « temps » : **presence, absence de la marque dans l'estomac ~ temps**. Cette variable explique donc la présence ou l'absence de la marque VIE dans l'estomac des perches. Le modèle est ensuite utilisé pour estimer la probabilité que la marque soit encore présente dans l'estomac au cours du temps (courbe rouge **Figure 7**). Ainsi, le temps nécessaire pour avoir 80% de chance de retrouver la marque dans l'estomac est d'1h30 (avec un intervalle de confiance à 95 % allant de 0h à 10h45). A partir de 8h, il y a 50% de chance qu'elle soit dans l'intestin (Intervalle de confiance à 95 % compris entre 2h15 et 13h30). Notons que les intervalles de confiance sont assez importants en raison du faible jeu de données.

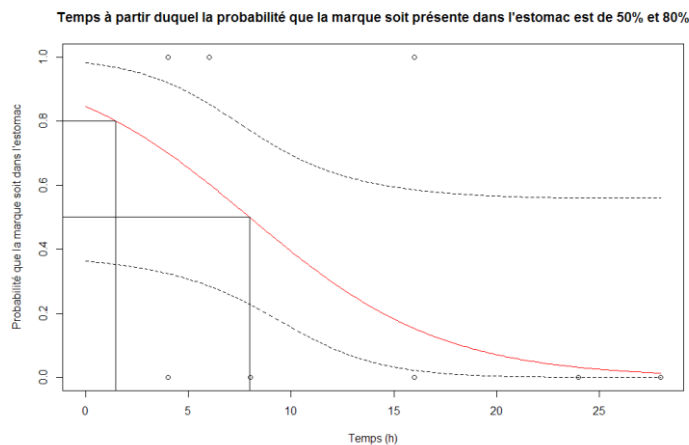


Figure 7 : Probabilité que la marque soit présente dans l'estomac au cours du temps (les deux courbes en pointillées représentent l'intervalle de confiance à 95% du modèle)

### 3.2.2 Essais de méthodes d'évaluation sans sacrifice du niveau de présence de civelles marquées dans le tractus d'un prédateur

- *Essais radiographiques et échographiques*

Ces deux méthodes n'ont pas permis de détecter les marques VIE présentes dans le tractus digestif (**Annexe 6**). Seuls le squelette interne et la vessie natatoire sont facilement visibles en radiographie.

- *Le tubage ou lavage gastrique*

L'embout choisi et la pression de 0,2 bars ont permis de récupérer correctement le contenu digestif de la perche. Les deux civelles ainsi que leurs marques ont été récupérées. Ces dernières étaient encore compactes et les civelles n'étaient que très peu digérées. Ce tubage gastrique, réalisé sur une perche 4h après l'ingestion de deux civelles marquées, vient appuyer nos résultats précédents à savoir qu'au bout de 4h les marques ne sont généralement pas encore passées dans l'intestin.

## 4 Discussion

Des campagnes de marquage-recaptures menées sur le barrage du Pas du Bouc laissent à penser qu'il pourrait exister une prédation importante des civelles en aval de l'ouvrage. Notre travail s'inscrit dans ce contexte et vise à voir s'il existe une éventuelle prédation liée aux marques utilisées et, si ce n'est pas le cas, si elles peuvent être utilisées comme traceurs de prédation. Ces éléments méthodologiques préliminaires nous permettent de proposer les bases d'un protocole de suivi qui pourrait être appliqué in situ, sans sacrifice des prédateurs, pour évaluer dans un contexte donné, le niveau de prélèvement sur un stock marqué remis à l'eau en aval de l'obstacle.

### 4.1 Effet de la marque VIE sur la mortalité par prédation des civelles

Les expérimentations menées dans les bassins SCOLA réfutent l'hypothèse d'une sur-prédation de civelles liée à la présence de la marque VIE. Nos résultats sont bien en cohérence avec certaines observations réalisées sur d'autres espèces (Reeves et al. (2009), Bouska et al. (2010)), mais à l'inverse, Catalano et al (2001) ont observé un effet marquage chez l'Achigan à grande bouche, ce dernier mangeant majoritairement les Crapets arlequin (petites perches) marqués au VIE rose et bleu par rapport à ceux à marque incolore. Les discussions de tous ces travaux mettent en avant l'influence vraisemblable de tout un groupe de facteurs tels que l'emplacement de la marque sur la proie, le prédateur testé, et surtout les conditions expérimentales (turbidité de l'eau, présence de cachette(s)...) qui peuvent atténuer plus ou moins l'effet de la marque. Dans le cas de nos suivis en eau claire avec alternance de jour-nuit, faible présence de caches et marquage sur des civelles quasi-transparentes (contraste fort), les conditions constituent au final, un environnement très favorable à l'expression d'une éventuelle sur-prédation liée à la marque.

Les premiers résultats obtenus dans de telles conditions ne mettant pas en évidence un tel phénomène n'en ont donc que plus de poids. Ainsi, l'hypothèse établie à partir des résultats de Gacici et al. (2007) proposant que les perches communes, plus réceptives aux longueurs d'ondes de 542 nm, puissent être plus attirées par un VIE bleu/vert est réfutée.

Toutefois, la nécessité de caler dans un premier temps le protocole (en particulier la présence ou non de renverses de courant et le nombre de prédateurs) et les différents problèmes techniques rencontrés sur un dispositif expérimental de pointe comme le SCOLA, n'ont pas permis d'obtenir des réplicats parfaits. Ces expériences pourraient donc être renouvelées afin d'affiner les résultats, en adaptant le protocole grâce aux observations que l'on a réalisées.

Concernant **la succession ou non de renverses régulières de courant**, cette caractéristique environnementale est connue comme étant favorable à une activité significative de jeunes civelles récemment capturées en zone estuarienne. En revanche, le comportement des perches peut s'en trouver affecté. Suite à un problème technique, le courant est resté constant en session 2. A ce moment, les résultats suggèrent que la prédation augmente et que le niveau d'activité des civelles est maintenu. Donc la présence de renverses de courant ne semble pas indispensable pour favoriser la prédation.

Concernant le **nombre de prédateurs**, une nette différence de comportement a été observée entre des prédateurs seuls ou en groupe. L'observation directe systématique pendant la première heure après le lancement d'un essai a eu lieu en session 1 sur des prédateurs isolés (1 par SCOLA avec courant constant sur cette durée d'observation). Dans les deux essais, ces poissons solitaires sont restés cachés pendant toute l'heure d'observation avec un très faible niveau d'activité annonciateur de ce qui a été observé au final. En revanche, en session 2, en courant constant également, la première heure d'observation directe a permis de visualiser les 5 prédateurs très actifs et commençant à chasser 30 minutes après leur transfert ce qui s'est traduit par une consommation journalière par perche beaucoup plus élevée. Le poisson solitaire du SCOLA B en session 1, est resté caché pendant toute l'heure d'observation alors que les 5 perches se déplaçaient généralement par petits bancs dans toute la structure. De nombreuses recherches ont été menées sur ce sujet. Hellstrom et al (2011) montrent qu'un groupe de perches prendra davantage le risque d'aller récupérer l'alimentation qu'une perche solitaire. Nous pouvons ainsi supposer qu'une augmentation du nombre de poissons impliquerait une meilleure mise en confiance des individus. D'autres études menées sur d'autres espèces de poissons constatent que la capture de proies augmente avec le nombre de poissons présents dans le banc (Grand et al. 1999, Morgan 1988, Magurran et al. 1983).

Pour obtenir une prédation significative, il semble donc important que l'expérience soit bien réalisée avec un petit groupe de prédateurs. De plus, il est vivement conseillé de faire jeuner les poissons deux jours avant de commencer une expérience.

Deux jours après l'introduction des perches dans le SCOLA B session 2, **les enregistrements vidéo montrent une absence de civelle**. Ceci nous a amené à interrompre prématurément l'expérience pour éviter d'avoir une prédation trop forte. En réalité seules 34 civelles avaient été ingérées par les 5 perches sur 2 jours (3,4 civelles/perche/jour), le reste étant caché sous le pavé et dans l'herbier. Cet épisode montre que la présence d'abris dans les bassins hors champ d'observation de la caméra, ne permet pas d'évaluer l'évolution de la quantité de proies restantes et ainsi de prendre des décisions en connaissance de cause. Ce point serait donc à modifier dans des essais ultérieurs. Les abris doivent se situer toujours devant le champ de la caméra sans permettre aux civelles de s'y cacher. Par exemple, disposer des branchages fins face à la caméra ne permettraient pas aux civelles de se dissimuler et rendraient plus facile l'observation des prédateurs, ces derniers s'y cachant volontiers. Par manque de temps, les enregistrements vidéo du SCOLA B session 2 (contenant 5 prédateurs) n'ont pas pu être analysés finement. Cependant, le visionnage d'une vidéo par heure pendant 4 jours d'expérience (2 jours sans les prédateurs et 2 jours après leur mise en place dans la structure) a permis de relever plusieurs éléments intéressants qui mériteraient d'être approfondis. Ces enregistrements mettent en évidence un net changement de comportement des proies après la mise en place des 5 perches dans la structure. En effet, situées dans toute la colonne d'eau au cours des deux jours d'expérience sans les prédateurs, les civelles se retrouvent ensuite à la surface (les prédateurs étant au fond du bassin). Les vidéos montrent aussi une diminution de l'activité des proies jusqu'à être quasiment nulle à la fin du 2<sup>ème</sup> jour après la mise en place des perches. Notons aussi que le phénomène de chasse à vue par les perches communes (comme énuméré dans la synthèse bibliographique) a bien été observé. Ces dernières, très actives, se déplaçaient très souvent en banc.

D'après les résultats observés en laboratoire, des aménagements pourraient être mis en place sur le terrain afin de limiter la prédation des civelles. La prédation augmentant avec le nombre de prédateurs, les 150 ( $\pm$  54) perches communes, perches-soleil et écrevisses observées par pêche électrique sur deux passages en juin 2009, 2010 et 2011 au pied de la passe à anguilles du Pas du Bouc doivent avoir un impact non négligeable sur les civelles. Il conviendrait donc de tester des dispositifs susceptibles de minimiser cette prédation (sans l'empêcher pour autant, afin de ne pas perturber le milieu naturel).



La mise en place de gabions (**Figure 8 c**) amovibles au pied de la passe (**Figure 8 a**) pourrait être l'une de ces solutions offrant un abri aux migrants ayant atteint le sas (**Figure 8 b**).

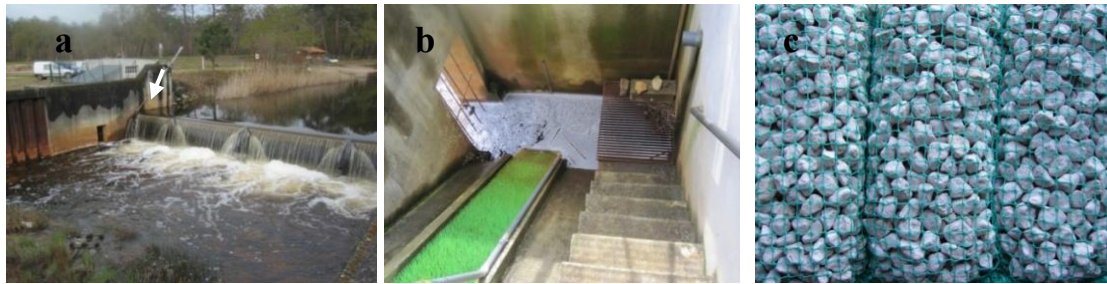


Figure 8 : Barrage du Pas du Bouc et entrée de la passe ( a ) ; La passe à anguilles ( b ) ; Exemple de gabions : filets remplis de galets ( c )

## 4.2 Acquisition d'éléments pour observer le phénomène de prédation in situ

La marque VIE n'est pas dégradée dans le tractus et a toujours été repérée dans les fèces du poisson. En revanche, la civelle seule est rapidement dégradée et dispersée au sein de l'intestin, rendant ainsi repérage et dénombrement impossibles lors des suivis in situ. La prise alimentaire dans les aquariums, malgré une température de l'eau favorable, n'a pas toujours été évidente, les poissons étant en pleine période de maturation. Cependant la flexibilité du rythme alimentaire étudié par Ferter et al (2010) a bien été observée au cours de l'expérience. En effet, les perches ne se nourrissent pas qu'à l'aube, le midi et au crépuscule. Le dispositif conçu et réalisé par nos soins est apparu au final très satisfaisant en permettant l'observation discrète des prédateurs et leur prise alimentaire effective, le montage en circuit ouvert ayant permis de limiter les problèmes sanitaires et notamment l'effet des hormones de stress, toxiques à fortes concentrations, relarguées par les poissons stockés dans les enceintes. Au final, les expériences ont permis de montrer que le VIE pourrait donc être un bon outil de suivi du phénomène de prédation.

La prise alimentaire et le temps de transit sont conditionnés par des facteurs physiologiques et environnementaux. Des études ont ainsi mis en évidence que l'élévation de la température (de 4 à 23°C) augmentait significativement le nombre de proies capturées par la perche commune (Linlokken et al. (2010), Strand (2011)). Dans les conditions fixées lors de nos essais (18 °C), le temps d'excrétion de la marque se situe entre 30 et 40 h selon le gabarit des perches. Dans ces mêmes suivis, le temps de présence de la marque dans l'estomac a oscillé entre 6 et 8 heures après l'ingestion. A noter que certains facteurs pouvant influencer sur le phénomène n'ont pas pu être maîtrisés (sexe du poisson et sa maturation) dans ces premiers suivis. Avec une température de l'eau plus élevée, cette durée d'excrétion serait donc vraisemblablement plus courte (Parrish et al. 1990). Comme nous l'avons déjà vu, peu d'outils paraissent adaptés pour quantifier la prédation s'exerçant sur les civelles. Nos résultats démontrent ainsi que les VIE peuvent être un outil intéressant.

Afin d'éviter d'avoir à disséquer et donc sacrifier le prédateur pour localiser le VIE, différentes solutions techniques ont été testées au cours de ce stage. Des essais complémentaires de détection de VIE dans le tractus d'une perche par radiographie ou échographie ont été réalisés chez un vétérinaire, mais dans les deux cas, le VIE n'a pas pu être détecté (**Annexe 6**). Le prix d'un appareil de radiographie portable utilisable sur le terrain (20-25 000 €) et ses contraintes d'usage non négligeables (radiations) étaient déjà des éléments peu favorables. Deux autres méthodes ont été testées et semblent en revanche potentiellement utilisables in situ :

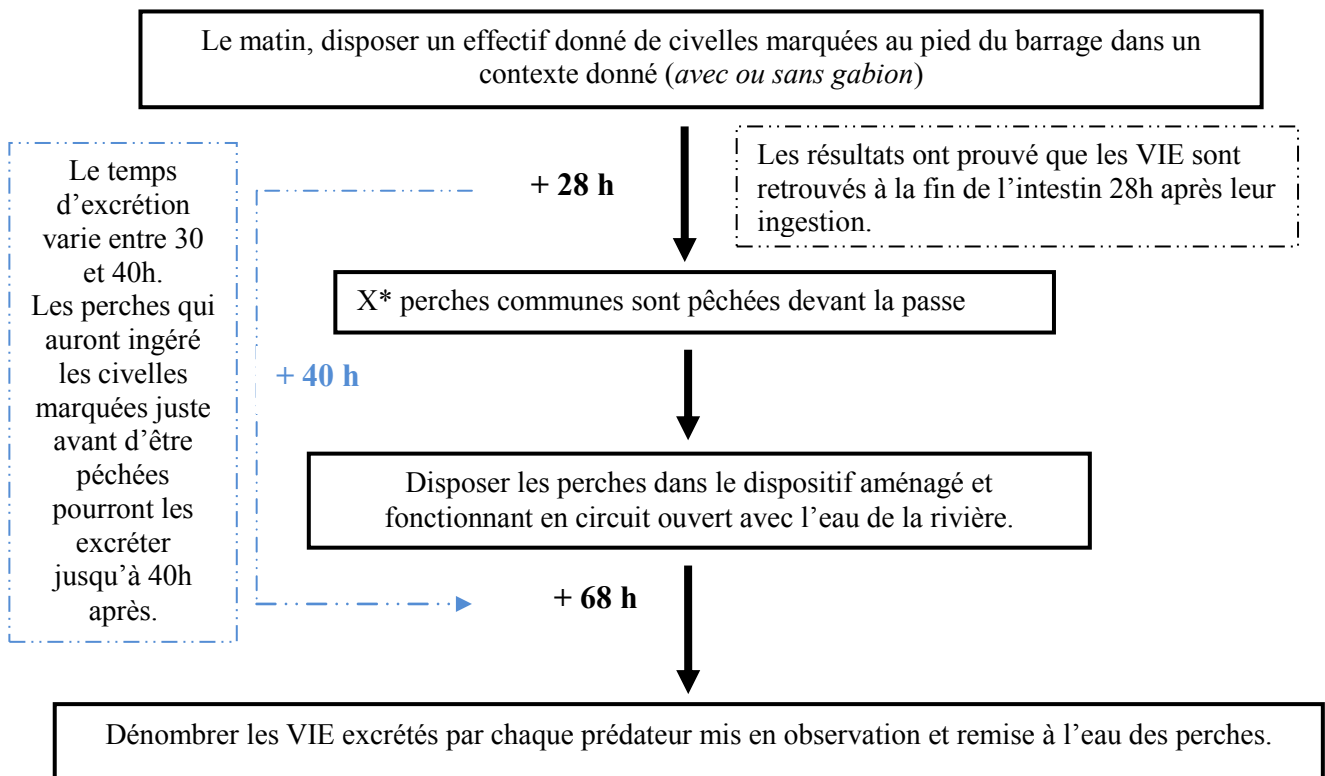
- Le lavage gastrique : nécessitant anesthésie, tubage et manipulation du poisson (voir annexe), il permet la récupération des proies assez récemment ingérées. Ainsi, dans le cas des civelles marquées, nous avons observé que 50% des marques ont déjà quitté l'estomac au bout de 8h (Figure 7). Ce temps est assez variable et court pour une application sur le terrain. De plus, il faudrait réaliser des tests complémentaires à d'autres températures pour vérifier que le temps de digestion ne varie pas.
- La récupération des fécès : elle nécessite de disposer d'une batterie de petits aquariums de 20-30 litres similaires à ceux que nous avons utilisés pour l'étude du temps de transit avec une petite pompe assurant un renouvellement continu de l'eau. Une mise en observation en « box individuel » sur une certaine durée sans manipulation du poisson est ainsi envisageable pour dénombrer les marques excrétées par prédateur.

Cette dernière méthode semble à privilégier car elle évite de trop manipuler le poisson et donc de le stresser et de travailler sur l'observation des phénomènes de prédation sur une période longue (environ 30 à 40 heures). On peut même imaginer l'usage du collecteur automatique de fèces de poisson proposé par Choubert, mis au point par l'Inra et utilisé par 13 laboratoires dans le monde. Il apparaît cependant surtout adapté aux suivis lourds en laboratoire dans le cadre d'essais d'aliments notamment.

## 5 Conclusion

Cette étude a apporté des premiers éléments de réponse concernant l'impact du marquage VIE sur la prédation des civelles. Ce travail a aussi permis de démontrer que le VIE pouvait être un bon « traceur » de prédation. Les premiers éléments obtenus au cours de cette étude ont permis de proposer un protocole terrain permettant d'évaluer le niveau de prédation observé dans un contexte donné (par exemple avec ou sans gabion au pied de la passe).

En reprenant le même dispositif utilisé pour l'analyse de la cinétique de transit, une douzaine de petits aquariums pourraient être mis en place dans le local de la passe avec fonctionnement en circuit ouvert à l'aide de la pompe de la passe. Les sorties d'eau seraient systématiquement équipées de filtres à petite maille pour conserver toutes les marques excrétées. Pour diminuer le stress des poissons, des abris seraient placés dans les aquariums (feuilles, branchages). Le protocole ci-dessous est proposé à partir des résultats menés en laboratoire dans une eau à 18°C. Il faudrait sans doute tester si les temps proposés sont compatibles avec d'autres températures.



*\*Ne connaissant pas la taille de la population de prédateurs présents en aval du barrage, il faut faire un échantillonnage exhaustif pour estimer la densité totale qui permettra de déduire le nombre d'individus à prélever.*

## Bibliographie

- Akin, S., C. Sahin, B. Verep & D. Turan (2011) Feeding habits of introduced European perch (*Perca fluviatilis*) in an impounded large river system in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 4293-4307.
- Arrignon, J. (1991) L'écrevisse et son élevage. *Tec et Doc*, 208.
- Bouska, W. W. & C. P. Paukert (2010) Effects of visible implant elastomer mark colour on the predation of red shiners by largemouth bass. *Fisheries Management and Ecology*, 17, 294-296.
- Briand, C., B. Mounaix, D. Fatin & E. Feunteun (2003) The contribution of springtime and autumn glass eels (*Anguilla anguilla*) to stock: Results based on otolith morphometry. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture*, 27-41.
- Catalano, M. J., S. R. Chipps, M. A. Bouchard & D. H. Wahl (2001) Evaluation of injectable fluorescent tags for marking centrarchid fishes: Retention rate and effects on vulnerability to predation. *North American Journal of Fisheries Management*, 21, 911-917.
- Correia, A. M. (2002) Niche breadth and trophic diversity: feeding behaviour of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) towards environmental availability of aquatic macroinvertebrates in a rice field (Portugal). *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 23, 421-429.
- Correia A. M. (2003) Food choice by the introduced crayfish *Procambarus clarkii*. *Annales Zoologici Fennici*, 40, 517-528.
- Crivelli, A. J., N. Auphan, P. Chauvelon, A. Sandoz, J. Y. Menella & G. Poizat (2008) Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches. *Hydrobiologia*, 602, 79-86.
- Cronin, G., D. M. Lodge, M. E. Hay, M. Miller, A. M. Hill, T. Horvath, R. C. Bolser, N. Lindquist & M. Wahl (2002) Crayfish feeding preferences for fresh water macrophytes: The influence of plant structure and chemistry. *Journal of Crustacean Biology*, 22, 708-718.
- Daverat, F., J. Thomas (2006) Tactics and demographic attributes in the European eel *Anguilla anguilla* in the Gironde watershed, SW France. *Marine Ecology-Progress Series*, 307, 247-257
- Elie P., R. Lecomte-Finiger, I. Cantrelle, N. Charlon, 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*A. anguilla*. *Vie et milieu*, 32(3): 149-157.
- Eriksson, L. O. (1978) A laboratory study of diel and annual activity rhythms and vertical distribution in the perch, *Perca fluviatilis*, at the arctic circle. *Environ. Biol. Fish.*, 3, 301-307.
- Ferter, K. & V. B. Meyer-Rochow (2010) Turning Night into Day: Effects of Stress on the Self-Feeding Behaviour of the Eurasian Perch *Perca fluviatilis*. *Zoological Studies*, 49, 176-181.
- Gacici, Z., A. Bajic, M. Milosevic, M. Nikcevic, B. Mickovic & I. Damjanovic (2007) Spectral sensitivity of the perch (*Perca fluviatilis*) from the danube. *Archives of Biological Sciences*, 59, 335-340.
- Garcia-Berthou, E. & R. Moreno-Amich (2000) Food of introduced pumpkinseed sunfish: ontogenetic diet shift and seasonal variation. *Journal of Fish Biology*, 57, 29-40.
- Gherardi, F. & S. Barbaresi (2007) Feeding preferences of the invasive crayfish, *Procambarus clarkii*. *Bfpp-Connaissance Et Gestion Du Patrimoine Aquatique*, 7-20.
- Godinho, F. N., M. T. Ferreira & R. V. Cortes (1997) The environmental basis of diet variation in pumpkinseed sunfish, *Lepomis gibbosus*, and largemouth bass, *Micropterus salmoides*, along an Iberian river basin. *Environmental Biology of Fishes*, 50, 105-115.
- Grand, T. C. & L. M. Dill (1999) The effect of group size on the foraging behaviour of juvenile coho salmon: reduction of predation risk or increased competition? *Animal Behaviour*, 58, 443-451.

- Hellstrom, G., M. Heynen, J. Oosten, J. Borchering & C. Magnhagen (2011) The effect of group size on risk taking and social conformity in Eurasian perch. *Ecology of Freshwater Fish*, 20, 499-502.
- Holtan, P. (1998) Pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*). *Wisconsin Department of Natural Resources, Bureau of Fisheries Management*, 1-6.
- Ilhéu, M. & J. M. Bernardo. 1993b. Experimental evaluation of food preference of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*: vegetal versus animal.
- Imbert, H., L. Beaulaton, C. Rigaud, P. C. Elie, Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels (2007) *Journal of Fish Biology*, 71, 1546-1554
- Jacobsen, L., S. Berg, M. Broberg, N. Jepsen & C. Skov (2002) Activity and food choice of piscivorous perch (*Perca fluviatilis*) in a eutrophic shallow lake: a radio-telemetry study. *Freshwater Biology*, 47, 2370-2379.
- Jellyman, D. J. & C. M. Ryan (1983) Seasonal migration of elvers (*anguilla* spp) into lake Pounui, New-Zealand, 1974-1978. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 17, 1-15.
- Johnson, J. H. & D. S. Dropkin (1993) diel variation in diet composition of a riverine fish community. *Hydrobiologia*, 271, 149-158.
- Keith, P., H. Persat & E. Feunteun (2011) Les poissons d'eau douce de France. *Biotope Edition*, 550.
- Linlokken, A. N., E. Bergman & L. Greenberg (2010) Effect of temperature and roach *Rutilus rutilus* group size on swimming speed and prey capture rate of perch *Perca fluviatilis* and *Rutilus rutilus*. *Journal of Fish Biology*, 76, 900-912.
- Lozys, L. (2004) The growth of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.) under different water temperature and salinity conditions in the Curonian Lagoon and Lithuanian coastal waters of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 514, 105-113.
- Magurran, A. E. & T. J. Pitcher (1983) FORAGING, TIMIDITY AND SHOAL SIZE IN MINNOWS AND GOLDFISH. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 12, 147-152.
- Morgan, M. J. (1988) The influence of hunger, shoal size and predator presence on foraging in bluntnose minnows. *Animal Behaviour*, 36, 1317-1322.
- MPO (2011) Avis scientifique suivant une évaluation des risques posés par le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) en Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2010/084.
- Neuman, E., G. Thoreson & O. Sandstrom (1996) Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis*, in relation to temperature, day-length and consumption. *Annales Zoologici Fennici*, 33, 669-678.
- Nikolova, M., E. Uzunova & S. Studenkov (2008) Feeding patterns and seasonal variation in the diet of non-indigenous fish species *Lepomis gibbosus* L. from shallow eutrophic lakes along river vit, Bulgaria. *Natura Montenegrina, Podgorica*, 7, 71-85.
- Noaillac-depeyre, J. & N. Gas (1979) Structure and function of the intestinal epithelial-cells in the perch (*Perca fluviatilis* L). *Anatomical Record*, 195, 621-639.
- Nozaki, H. (1969) Electrophysiological study of color encoding in the compound eye of crayfish, *Procambarus clarkii*. *Z. vergl. Physiologie*, 64, 318-323.
- Parrish, D. L. & J. Margraf (1990) Gastric evacuation rates of white perch, *Morone americana* determined from laboratory and field data. *Environmental Biology of Fishes*, 29, 155-158.
- Reeves, K. S. & D. L. Buckmeier (2009) Mortality, Predation, and Tag Visibility of Fish Marked with Visible Implant Elastomer Tags. *North American Journal of Fisheries Management*, 29, 323-329.
- Renai, B. & F. Gherardi (2004) Predatory efficiency of crayfish: comparison between indigenous and non-indigenous species. *Biological Invasions*, 6, 89-99.

- Rezsü, E. & A. Specziar (2006) Ontogenetic diet profiles and size-dependent diet partitioning of ruffe *Gymnocephalus cernuus*, perch *Perca fluviatilis* and pumpkinseed *Lepomis gibbosus* in Lake Balaton. *Ecology of Freshwater Fish*, 15, 339-349.
- Rigaud, C., H. Drouineau & R. Fabre (2011) Marquage-recapture et évaluation de l'efficacité des rampes à anguille sur des ouvrages littoraux. Rap. Pôle Ecohydraulique (Onema Toulouse/Cemagref Bordeaux). 59 p.
- Smart, A. C., D. M. Harper, F. Malaisse, S. Schmitz, S. Coley & A. C. G. de Beaugard (2002) Feeding of the exotic Louisiana red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Crustacea, Decapoda), in an African tropical lake: Lake Naivasha, Kenya. *Hydrobiologia*, 488, 129-142.
- Thomassen, S., M. I. Pedersen & G. Holdensgaard (2000) Tagging the European eel *Anguilla anguilla* (L.) with coded wire tags. *Aquaculture*, 185, 57-61.
- Waterman, T. H. & R. H. Fernandez (1970) E-vector and wavelength discrimination by reticular cells of the crayfish *Procambarus*. *Z. vergl. Physiologie*, 68, 154-174.
- Werner, E. E. & D. J. Hall (1979) Foraging efficiency and habitat switching in competing sunfishes. *Ecology*, 60, 256-264.
- Wolfram-Wais, A., G. Wolfram, B. Auer, E. Mikschi & A. Hain (1999) Feeding habits of two introduced fish species (*Lepomis gibbosus*, *Pseudorasbora parva*) in Neusiedler See (Austria), with special reference to chironomid larvae (Diptera : Chironomidae). *Hydrobiologia*, 408, 123-129.
- Woodcock, A. E. R. & H. Goldsmith (1970) Spectral responses of sustaining fibers in the optic tracts of crayfish (*Procambarus*). *Z. vergl. Physiologie*, 69, 117-133.

## ANNEXES

<b>ANNEXE 1 : Description des deux structures expérimentales mises en place à St Seurin.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXE 2 : Schéma récapitulatif du protocole portant sur la prédation des civelles dans les SCOLA.....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE 3 : Méthode de marquage par Elastomère de couleur : le VIE et réalisation de l'expérience sur l'éventuelle sur-prédation des civelles marquées.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE 4 : Résultats de l'étude préliminaire concernant le temps de transit d'un ver marqué .....</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE 5 : Résultats de l'expérience sur le temps de transit de civelles marquées au VIE..</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXE 6 : Tests de mise en évidence des marquages VIE par radiographie et échographie chez la perche commune.....</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXE 7 : Réalisation d'un tubage gastrique.....</b>	<b>43</b>

## ANNEXE 1 : Description des deux structures expérimentales mises en place à St Seurin

### → Les bassins SCOLA :

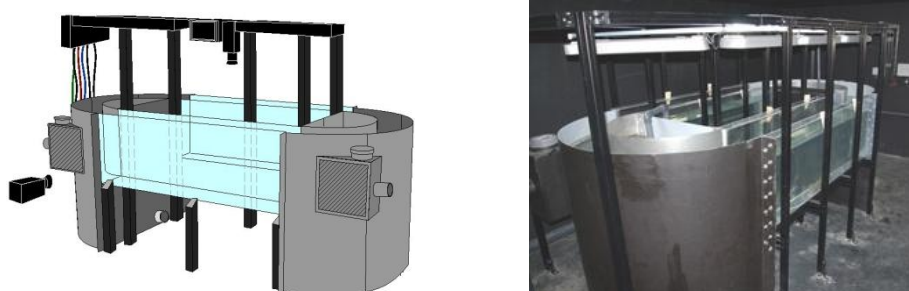


Figure 9 : Schéma et photo d'un bassin SCOLA

Les 3 bassins (SCOLA A, B et C) ont été élaborés par Irstea et aménagés à la station expérimentale de Saint Seurin sur l'Isle. Ces structures ont été disposées dans un même bâtiment (chaque pièce contenant un bassin). Le bassin a une forme ellipsoïdale et fonctionne en circuit fermé.

Les chenaux mesurent 30 cm de large, 50 cm de haut et le volume d'eau dans chaque structure est de 4m<sup>3</sup>. Les paramètres (température, pH, conductivité) sont directement enregistrés sur un ordinateur. La photopériode, la vitesse du courant et son sens peuvent être contrôlés à distance. Chaque structure est munie d'une caméra infrarouge qui permet de filmer jour et nuit.

Pour cette expérience la caméra a été disposée en face d'une vitre. Elle peut filmer le chenal sur une largeur de 70 cm.

### → Les aquariums montés en circuit ouvert pour l'étude de la cinétique de la marque VIE :



Figure 10 : Photo du dispositif expérimental (a) et Aquarium vu de profil (b)

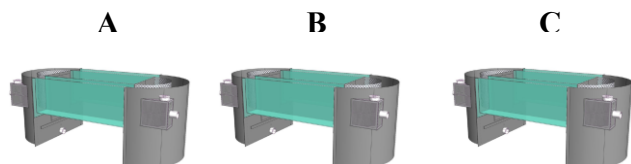
Le premier bac (le plus à gauche, **Figure 10 a**), constamment alimenté en eau de forage, contient 8 pompes alimentant les aquariums (tuyau vert). Le surplus d'eau dans les aquariums (tuyau jaune) se déverse dans deux autres bacs situés sous le dispositif. Chaque aquarium contient une perche commune (**Figure 10 b**).



### 1) Réglage des bassins SCOLA

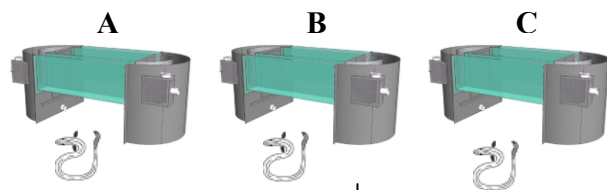
#### Sur les 3 bassins SCOLA :

- Photopériode printanière (12h30 jour et 11h30 nuit)
- Température : 14°
- Disposition d'abris (1 herbier + pavé et branchages)
- Courant de 10 cm/s (1 flot + 1 Jusant de jour et de nuit)



### 3) Transfert des civelles dans les bassins

Les civelles disposées dans les cages de survie A, B et C sont transférées respectivement dans les bassins SCOLA A, B et C. Elles sont laissées plusieurs jours pour qu'elles s'habituent à leur nouvel environnement. Les perches, pesées et mesurées *a posteriori*, sont à jeun avant le début de l'expérience.



250 civelles/ bassin (1 lot de chaque marquage de couleur + 1 lot de témoin non marqué)

Contrôle

### 2) Marquage des civelles

→ Relevé de la taille et de l'état sanitaire de toutes les civelles

→ Anesthésie (à l'eugénol) et marquage comme suit :

A « Scola A »	B « Scola B »	C « Scola C (contrôle) »	D « Sécurité »
Anesthésie de tous les lots (50 civelles/lots) puis marquage de 4 lots/5 :	Anesthésie de tous les lots (50 civelles/lots) puis marquage de 4 lots/5 :	Anesthésie de tous les lots (10 civelles/lots) puis marquage de 4 lots/5 :	Anesthésie de tous les lots (30 civelles/lots) puis marquage de 4 lots/5 :
Lot 1 : marquage rouge	Lot 1 : marquage rouge	Lot 1 : marquage rouge	Lot 1 : marquage rouge
Lot 2 : marquage orange	Lot 2 : marquage orange	Lot 2 : marquage orange	Lot 2 : marquage orange
Lot 3 : marquage jaune	Lot 3 : marquage jaune	Lot 3 : marquage jaune	Lot 3 : marquage jaune
Lot 4 : marquage bleu	Lot 4 : marquage bleu	Lot 4 : marquage bleu	Lot 4 : marquage bleu
Lot 5 non marquées	Lot 5 non marquées	Lot 5 non marquées	Lot 5 non marquées
↓	↓	↓	↓
Bac de réveil A	Bac de réveil B	Bac de réveil C	Bac de réveil D

→ Transfert des civelles dans des cages de survie pour la nuit :

↓	↓	↓	↓
Cage de survie A	Cage de survie B	Cage de survie C	Cage de survie D

### 4) Expérience

**J1 : Transfert des perches dans les SCOLA A et B (= mises en contact des civelles et des perches).**

**J5 au matin : Retrait du prédateur**  
Euthanasie et dissection du prédateur  
Récupération des civelles disposées dans les trois bassins: comptage des individus survivants par lot.

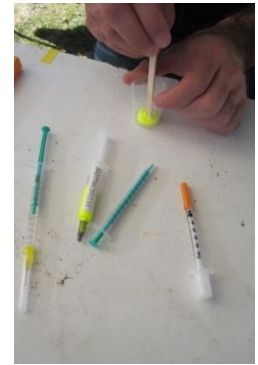
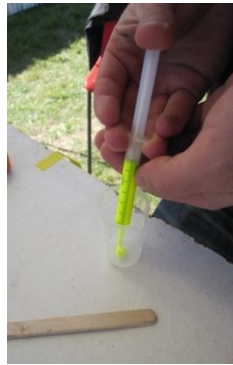
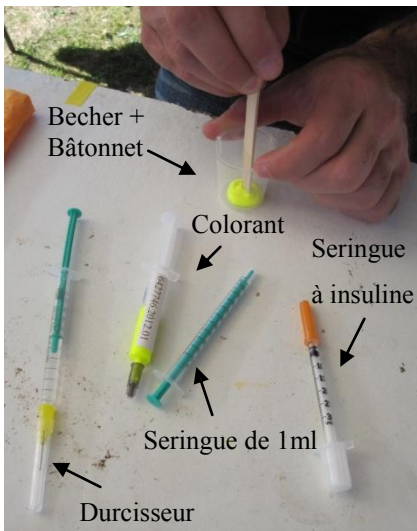
### 5) Renouvellement de l'expérience

L'expérience est recommencée avec d'éventuelles adaptations du protocole en fonction des premiers résultats.

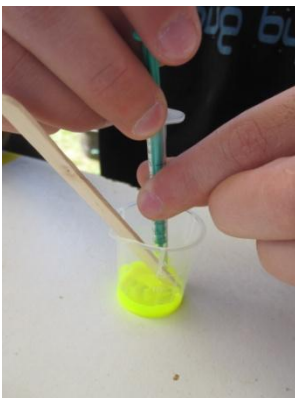
### ANNEXE 3 : Méthode de marquage par Elastomère de couleur : le VIE et réalisation de l'expérience sur l'éventuelle sur-prédation des civelles marquées

Après avoir préparé le matériel nécessaire au marquage, les civelles sont anesthésiées (huile essentielle de clou de girofle, 0.3ml/l). La dose anesthésiante pourra être augmentée petit à petit si l'activité des animaux reste trop importante après la première injection. Une personne observe constamment les stades d'anesthésie.

#### Matériel nécessaire :



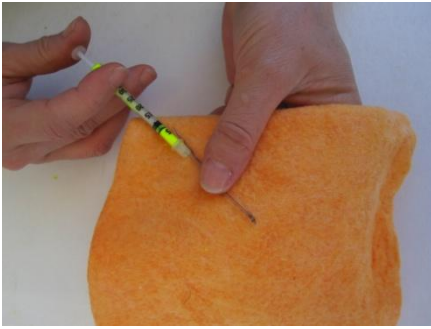
Pour réaliser le VIE il faut mélanger un colorant avec un durcisseur. Verser 1 ml de produit coloré puis 0,1 ml de durcisseur dans un bécher en plastique. Mélanger le tout à l'aide d'un bâtonnet en bois.



Une petite quantité du mélange (0,2 à 0,3 ml) est aspirée dans une seringue de 1ml (photo de gauche) avant d'être de nouveau transférée dans une seringue à insuline (photo du milieu). Pour éviter d'injecter des bulles d'air dans le corps des civelles, le piston de la seringue à insuline est poussé jusqu'à ce qu'une goutte du marquage VIE ressorte par l'aiguille (photo de droite). Le durcisseur agissant à température ambiante, la seringue contenant le marquage VIE jaune est conservée au froid pour maintenir le mélange liquide jusqu'à l'injection du produit.



Avant d'être marquées, les civelles anesthésiées sont mesurées grâce à un ichtyomètre.



**Le marquage :** l'aiguille de la seringue à insuline est insérée en sous cutanée entre l'anus et la queue de la civelle. Il faut faire attention à ne pas toucher la colonne vertébrale ni le système sanguin. La marque doit mesurer environ 4 mm de long. Les civelles sont ensuite placées dans des bacs de réveil. Ces étapes sont recommencées en utilisant un colorant orange, jaune puis bleu (photo de droite).



Une fois tous les marquages VIE réalisés, les civelles sont placées dans des 4 cages de survie pour la nuit : SCOLA A, SCOLA B, SCOLA C (contrôle) et lot de sécurité.



Les civelles sont ensuite disposées dans les bassins SCOLA. Ces structures ont été préalablement réglées et disposent de cachettes : un herbier synthétique (photo en haut à droite) et des branchages (photo en bas à droite).

Après avoir mis en contact pendant plusieurs jours les civelles et le(s) prédateur(s) les individus sont retirés et le nombre de civelles restantes par couleur est compté.

#### ANNEXE 4 : Résultats de l'étude préliminaire concernant le temps de transit d'un ver marqué

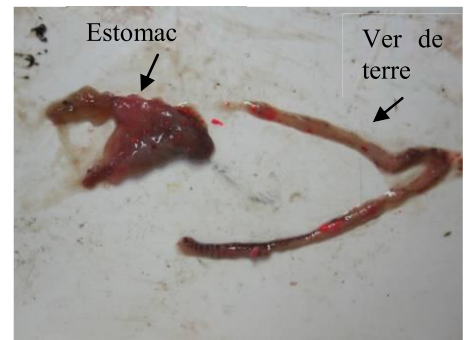
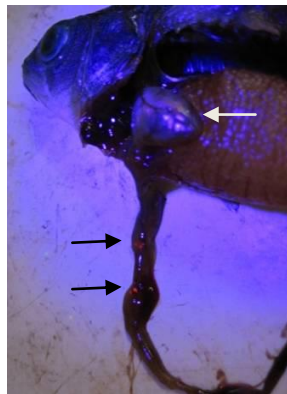
*Remarque :* Les photos présentées en **Annexe 4 et 5** ont été prises avec ou sans lampe UV de manière à optimiser la visualisation du VIE. Quand le VIE n'est pas retrouvé dans l'estomac, ce dernier n'est pas présenté sur les photos. Les flèches noire ou les « pointes de ciseaux » présentes sur les photos permettent de repérer facilement le marquage VIE, certaines photos ont été zoomées (pointillées).

Les photos illustrent la localisation des vers marqués au VIE dans le tractus des perches communes (estomac et intestin) 2, 4, 6 et 8h après leur ingestion (**Figure 11**). Les caractéristiques des prédateurs sont présentées **Tableau 6**.

Tableau 6 : Caractéristiques des perches ayant été euthanasiées à différents temps

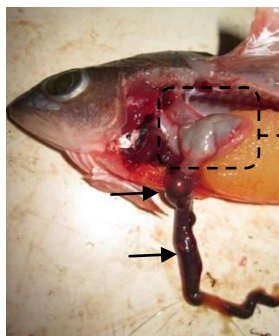
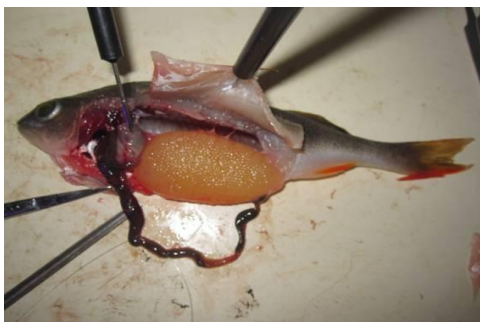
Temps	T+2h	T+4h	T+6h	T+8h
Sexe	femelle	femelle	femelle	mâle
Poids (g)	29.98	53.92	36.17	39.17
Lt (mm)	130.86	158	143.6	152
Lt intestin (mm)	100.3	136	111.5	106

T+ 2h



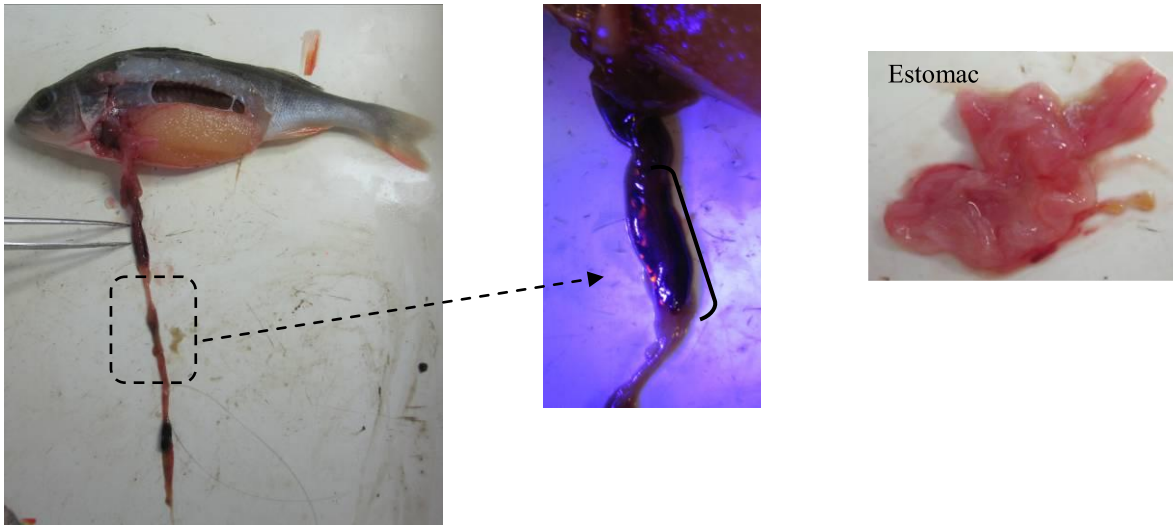
*Remarque :* le VIE a été trouvé dans la partie antérieure de l'intestin ainsi que dans l'estomac. Le ver marqué était en grande partie dans l'estomac de la perche (photo de droite ci-dessus)

T+ 4h



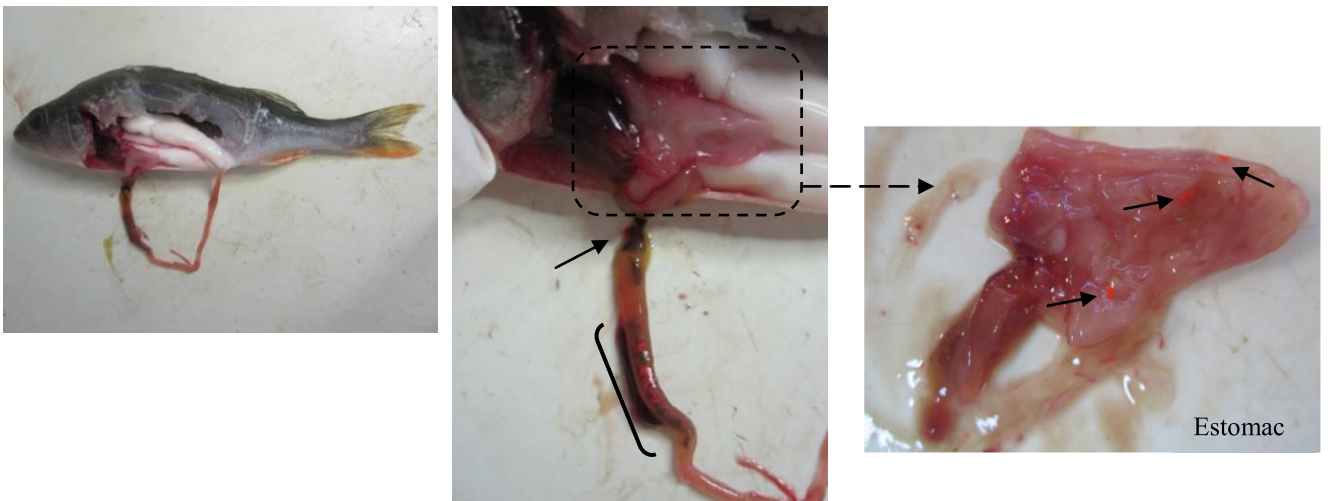
*Remarque :* La marque VIE se situait dans la partie antérieure de l'intestin (voir les deux premières photos ci-dessus) et de nombreux petits morceaux étaient présents dans l'estomac.

T+ 6h



*Remarque : Le marquage VIE a été trouvé dans la partie antérieure de l'intestin (photo de gauche et du milieu) et il n'y a aucune trace du marquage dans l'estomac (photo de droite).*

T+ 8h



*Remarque : Le VIE a été trouvé dans la partie antérieure de l'intestin (photo du milieu) et dans l'estomac (photo de droite).*

Figure 11 : Localisation des vers marqués au VIE dans le tractus de perches 2, 4, 6 et 8h après leur ingestion

## ANNEXE 5 : Résultats de l'expérience sur le temps de transit de civelles marquées au VIE

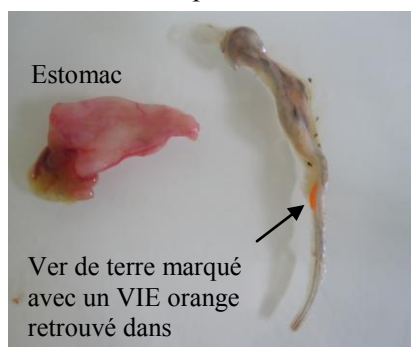
Les photos illustrent la localisation des civelles marqués au VIE dans le tractus des perches communes (estomac et intestin) 4, 6, 8 et 16, 24 et 28h après leur ingestion.

T+ 4h

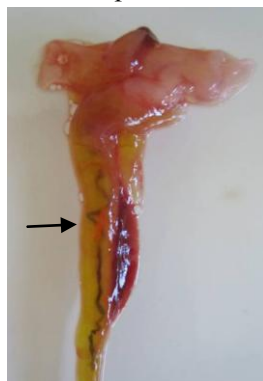
Tableau 7 : Caractéristique des perches ayant été euthanasiées 4h après l'ingestion d'une civelle marquée

Réplikat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	mâle	47,12	159	100,3	Le VIE est retrouvé dans l'estomac
2	mâle	29,2	140,1	96,3	Le VIE est dans la partie antérieure de l'intestin
3	femelle	46	155	85	Le VIE est en un seul morceau dans l'estomac

Réplikat 1



Réplikat 2



Réplikat 3



T+ 6h

Tableau 8 : Caractéristiques des perches ayant été euthanasiées 6h après l'ingestion d'une civelle marquée

Réplikat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	femelle	39,8	148,2	87,5	La marque principale a été recrachée et deux fragments sont présents en haut de l'intestin
2	mâle	31,27	145,2	104,5	Le VIE a été recraché par la perche au moment de l'anesthésie
3	mâle	26,7	134	91	

Réplikat 1



Réplikat 2

La marque a été recrachée et aucun fragment n'est présent dans le tractus digestif

Réplikat 3

T+ 8h

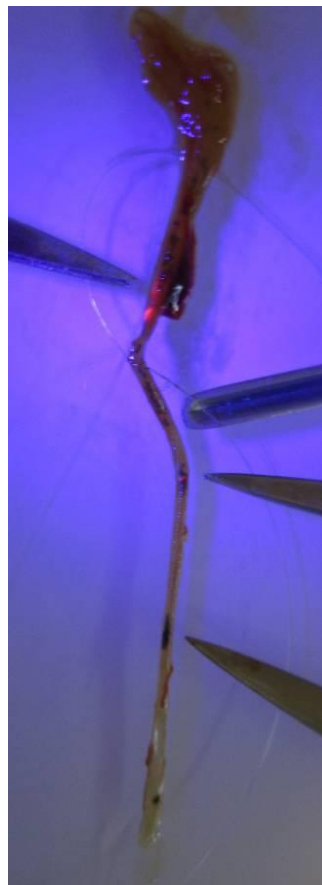
Tableau 9 : Caractéristiques des perches ayant été euthanasiées 8h après l'ingestion d'une civelle marquée

Réplikat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	femelle	34,9	139	104	Le VIE se situe à la fin de l'intestin
2	mâle	28,9	137,9	97	La marque principale se situe dans la partie antérieure de l'intestin et 3 autres fragments sont présents plus bas
3	mâle	32	145	97	Le VIE se situe dans l'intestin

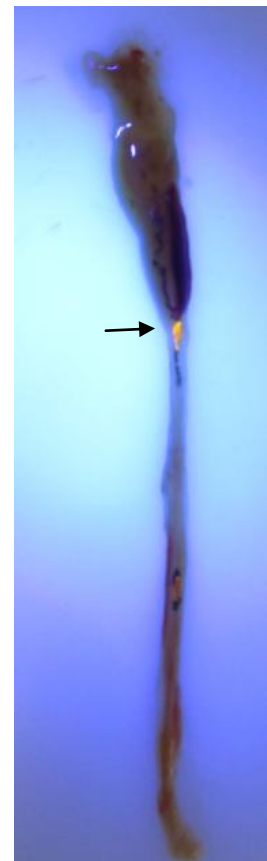
Réplikat 1



Réplikat 2



Réplikat 3

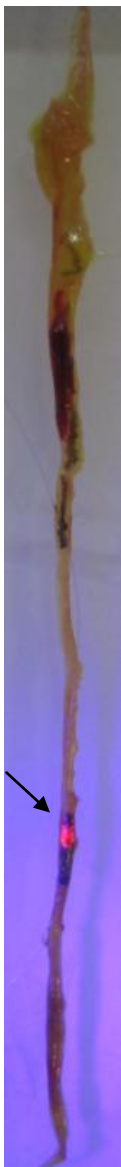


T+ 16h

Tableau 10 : Caractéristiques des perches ayant été euthanasiées 16h après avoir ingéré une civelle marquée

Réplicat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	femelle	39,65	148,19	113,8	La marque se situe à 33mm de la fin de l'intestin
2	femelle	41,7	148,9	102	La marque est retrouvée dans l'estomac
3	femelle	43	147	107	La marque principale est retrouvée dans la partie antérieure de l'intestin et trois fragments sont présents dans le tractus. L'un est dans l'estomac et les deux autres se situent plus bas dans l'intestin

Réplicat 1



Réplicat 2



Réplicat 3



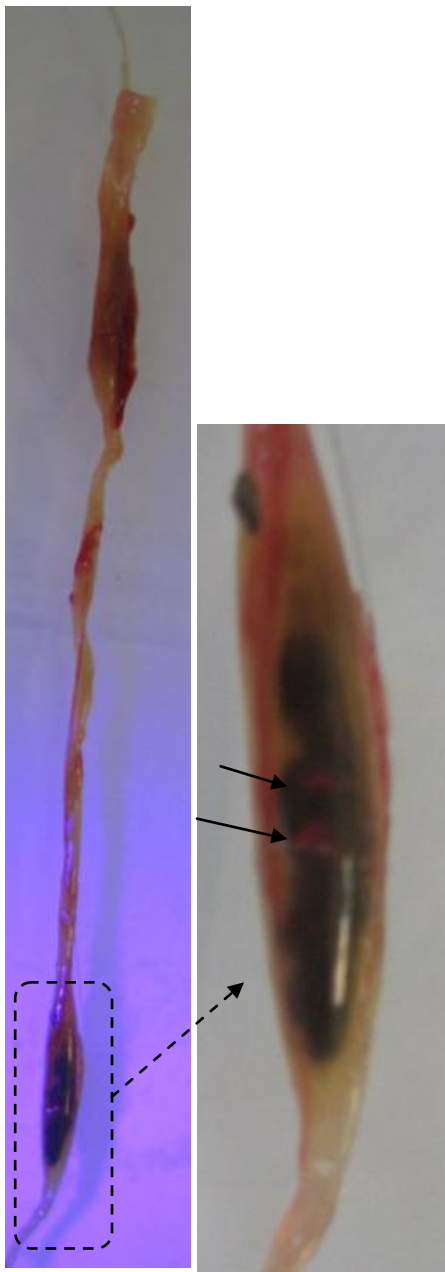


T+ 24h

Tableau 11 : Caractéristiques des perches ayant été euthanasiées 24 heures après avoir ingéré une civelle marquée

Réplicat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	femelle	37,7	141,8	100,8	Le VIE se situe à la fin de l'intestin
2	femelle	30,4	134,7	80,16	Le VIE est retrouvé dans la partie antérieure de l'intestin et un fragment dans les fèces
3	male	33	143	100	La marque est retrouvée dans la partie postérieure de l'intestin

Réplicat 1



Réplicat 2



Réplicat 3



T+ 28h

Tableau 12 : caractéristiques des perches ayant été euthanasiée 28h après l'ingestion d'une civelle marquée

Réplikat n°	Sexe	Poids (g)	Lt (mm)	Lt intestin (mm)	Positionnement du VIE et de ses fragments
1	mâle	43,1	158	104,1	Le VIE se situe à 0,8mm de la fin de l'intestin
2	mâle	26,4	131,8	95	Le VIE est retrouvé à la fin de l'intestin
3	mâle	52	165	110	idem

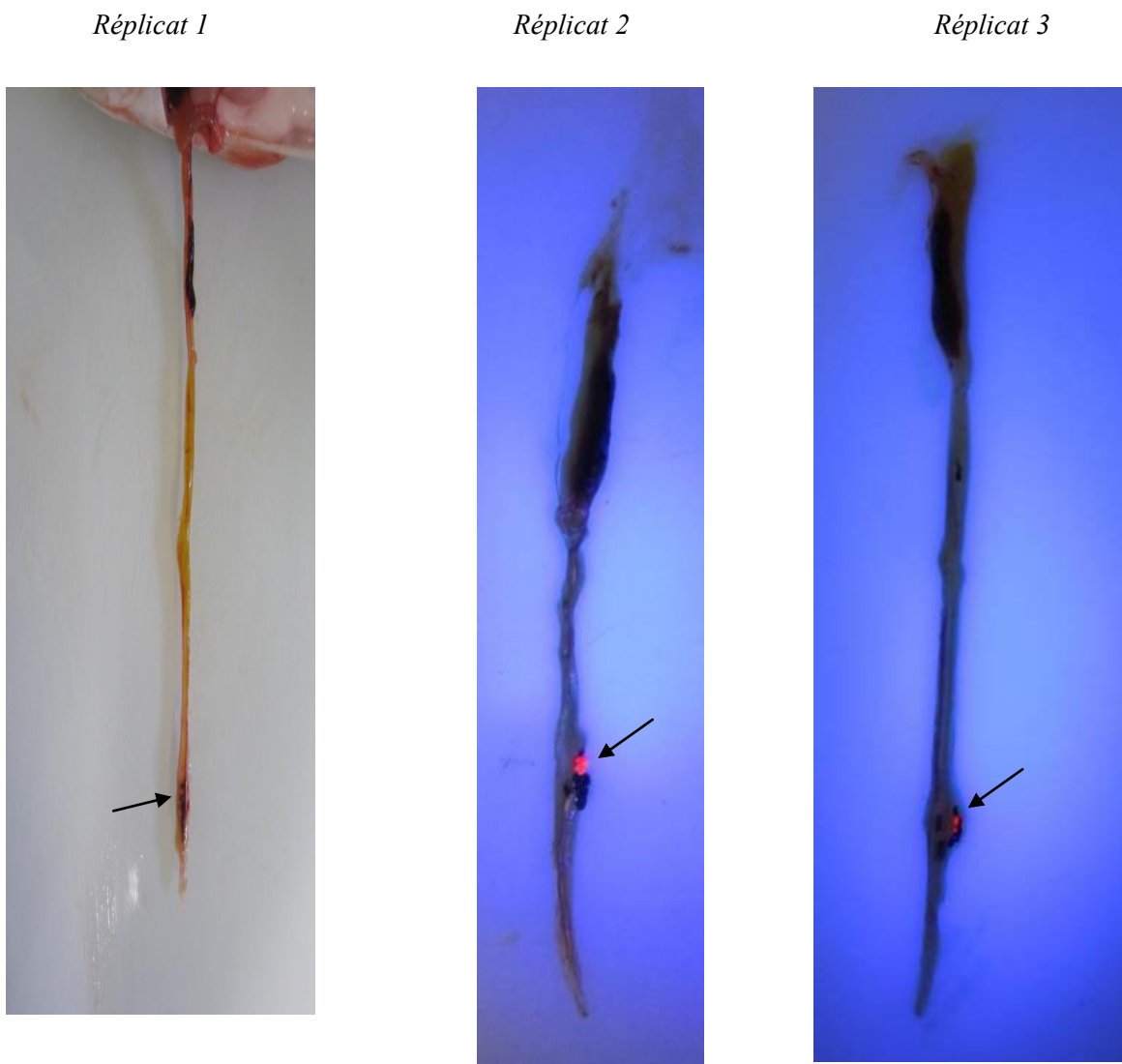


Figure 12 : Emplacement des VIE dans le tractus digestif de la perche à t+ 4, 6, 8, 16, 24 et 28h après l'ingestion d'une civelle marquée

*ANNEXE 6 : Tests de mise en évidence des marquages VIE par radiographie et échographie chez la perche commune*

La première perche a reçu par injection orale (canule+piston) un morceau de ver de terre (**Figure 13 a**) et trois marquages VIE ont été introduits dans l'intestin et l'estomac de la seconde (**Figure 13 b**).

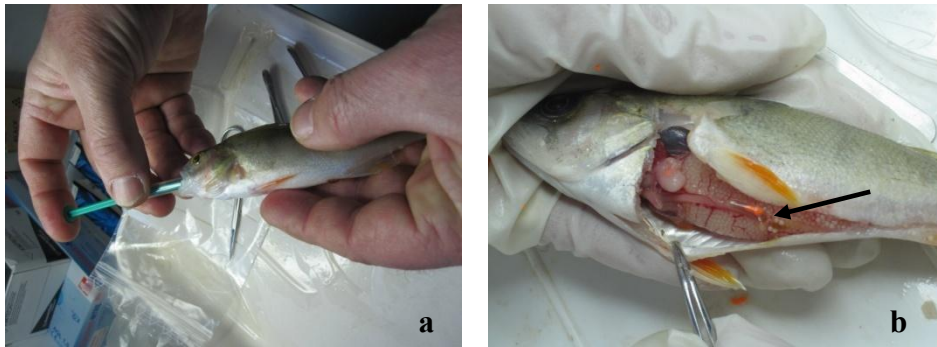


Figure 13 : Introduction d'un morceau de vers marqué (a) et de marquages VIE (b) dans le tractus digestif de deux

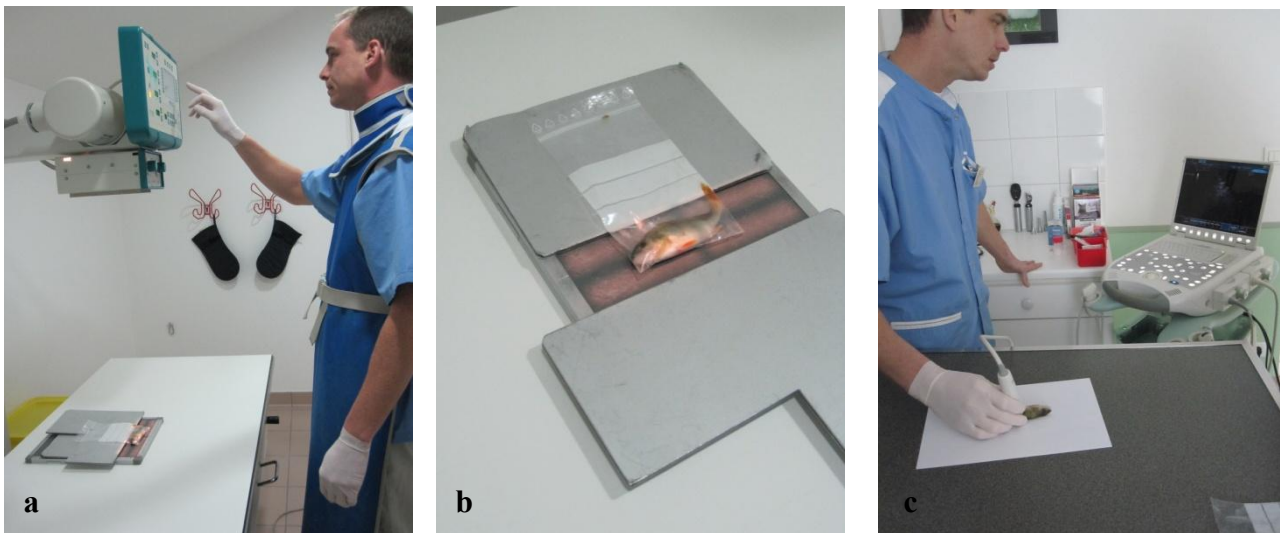


Figure 14 : Radiographie (photos a et b) et Echographie (photo c) des perches communes



**Le marquage VIE n'est pas visible en radiographie pour les deux perches testées. Ci-dessous la radiographie du poisson ayant reçu un marquage VIE par seringue.**



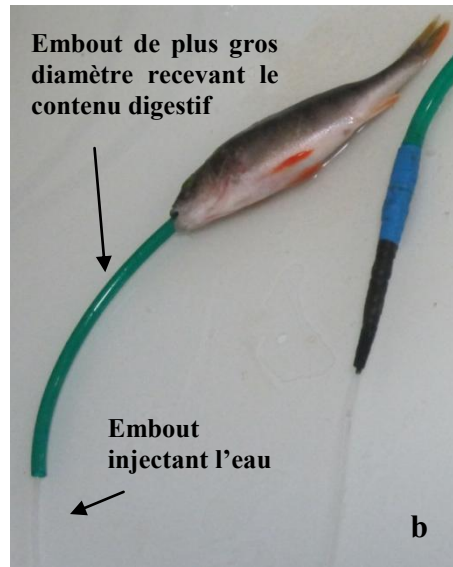
**Le marquage VIE n'est pas visible en échographie pour les deux perches testées.**



**Seul le squelette interne et la vessie natatoire ont été mis en évidence par cette technique. La radiographie donne les mêmes résultats pour les deux poissons.**

Figure 15 : Résultat de la radiographie

## ANNEXE 7 : Réalisation d'un tubage gastrique



L'embout de petit diamètre sert à injecter de l'eau (tuyau blanc). Il est introduit dans un tuyau de plus gros diamètre qui reçoit le contenu gastrique (tuyau vert), lui-même introduit jusque dans l'estomac du poisson.

Figure 16 : Matériel nécessaire pour le tubage (a) et Etude préliminaire consistant à tester les tuyaux disponibles (b)



Figure 17 : Réalisation du tubage gastrique sur une perche commune anesthésiée

Aucun résultat n'est obtenu lorsque les 2 embouts sont introduits l'un dans l'autre avant d'être placés dans l'œsophage de la perche.

Le résultat est positif lorsque les deux embouts sont placés côte à côte avant d'être introduits dans l'œsophage de la perche.

La perche (54g, 175mm) a été anesthésiée 4h après ingestion de 2 civelles marquées (l'une avec un VIE rouge et l'autre avec un VIE orange). Elle est ensuite disposée sur un ichtyomètre incliné, tête en bas. De l'eau est injectée par à-coup avec une pression de 0,2 bars.



Figure 18 : Résultat du tubage : récupération des deux VIE (rouge et orange)

## Résumé

La construction massive de barrages sur les cours d'eau est l'une des causes majeures de l'effondrement du stock d'anguilles européennes *Anguilla anguilla*. Pour minimiser ce problème, des édifices de franchissement ont vu le jour sur certains ouvrages.

Pour évaluer l'efficacité de la passe à anguilles du Barrage du Pas du Bouc, des campagnes de marquage par VIE (élastomère liquide de couleur vive) ont été menées. Ces études suggèrent la possibilité d'une prédation importante liée à la présence quasi-permanente de trois carnassiers (perches communes, écrevisses de Louisiane et perches soleil) en aval de cet obstacle, cette prédation pouvant d'ailleurs être aggravée par la présence des marques VIE très colorées.

Le premier objectif de cette étude a été d'évaluer l'impact du marquage VIE sur la prédation des civelles par les perches communes. Pour cela, des civelles marquées et non marquées ont été mises en contact avec un ou plusieurs prédateurs dans des structures expérimentales (mésocosmes annulaires). Aucun impact sur la prédation n'a été révélé par les premiers essais réalisés.

L'acquisition des éléments permettant d'optimiser l'observation ultérieure in situ du phénomène de prédation était le second objectif de cette étude. Une première expérience a été menée pour connaître la cinétique d'élimination et l'évolution de l'état d'une civelle marquée dans le tractus digestif d'un prédateur. Les résultats mettent en évidence, dans une eau à 18°, que le VIE reste entre 6h et 8h dans l'estomac et plus de 24h dans l'intestin. La marque n'est pas dégradée dans le tractus et a toujours été repérée dans les fécès du poisson. Tous ces éléments confirment l'intérêt du VIE pour évaluer in situ le phénomène de prédation. Le deuxième volet de l'expérience visait à tester différentes méthodes applicables in situ permettant de récupérer et/ou de visualiser les marques VIE sans sacrifice du prédateur. Seuls le lavage gastrique et la récupération des fécès semblent utilisables. Cette dernière méthode apparaît être privilégiée pour évaluer, dans un contexte donné, le niveau de prélèvement sur un stock marqué remis à l'eau en aval de l'obstacle.