

Système RFID de détection automatique de poissons

Bastien Sacré¹, Julien Tremblay^{2,3}, Didier Azam^{2,3}, Frédéric Marchand^{2,3}, Dominique Huteau⁴

Résumé. Dans un objectif de suivi des poissons migrateurs, l'U3E¹, au travers du programme européen Morfish (Interreg Manche), en collaboration avec le GWCT⁵, a fait l'acquisition de nouveaux types de lecteurs RFID (radio frequency identification). Ces lecteurs ont été installés à des points stratégiques sur les rivières normandes et bretonnes de l'Observatoire de recherche en environnement sur le poisson diadrome dans les fleuves côtiers (ORE Dia PFC). Ils permettent de suivre les déplacements des poissons lors de leurs migrations. Pour être identifiés par ces dispositifs, les poissons sont, au préalable, équipés d'un transpondeur de type PIT Tag (passive integrated transponder Tag : étiquette transpondeur passif intégré), capsule de verre composée d'une puce électronique et d'une antenne que l'on injecte dans le poisson. L'objectif de cet article est de permettre à une personne ayant peu de connaissances en électronique d'installer ce type de lecteur RFID. Ce système est aussi adaptable aux autres animaux aquatiques ou terrestres pouvant être équipés de Tag RFID.

Mots clés : marquage individuel, PIT Tag, RFID, antenne, suivi des populations, poissons migrateurs

Introduction

Capter, marquer pour identifier individuellement des animaux, les relâcher dans leur milieu puis les recapter au cours de leur vie permet le suivi d'un échantillon de population et de ce fait, d'obtenir des informations fiables sur le fonctionnement de cette population. Cette reconnaissance individuelle se fait à l'aide d'un marquage spécifique qui attribue un code d'identification unique pour chaque individu. Les animaux capturés une première fois sont marqués et seront suivis tout au long de leur vie à travers plusieurs occasions de recapture ou de détection, au cours desquelles leur présence et leurs caractéristiques sont enregistrées. Dans le cadre du suivi de population de poissons, l'utilisation du marquage individuel est appliquée pour connaître leurs traits d'histoire de vie (croissance, âge de maturité, reproduction...) mais aussi leur dispersion dans le cours d'eau (pour leur alimentation ou leur reproduction). En France, et plus particulièrement à l'INRA de Rennes, l'emploi de PIT Tag RFID en milieu naturel sur les saumons et truites a débuté dans les années 1990 (Ombredane, 1998). Cette technologie a permis de marquer de manière pérenne des poissons de petite taille. Les observations en milieu naturel et les essais réalisés en conditions contrôlées ont permis de définir une taille minimale (57 mm) à partir de laquelle il est possible de marquer les poissons à l'aide de PIT TAG de 12 mm, sans conséquence sur leur santé. À cette taille, le taux de rétention des marques est supérieur à 96 % en milieu naturel (Ombredane, 1998) alors qu'il est de 80 % en bassin de stabulation (Acolas, 2007). La lecture des PIT Tags nécessite des lecteurs générant un champ électromagnétique qui alimente le PIT Tag ce qui permet de récupérer l'identifiant de ce dernier. La détection de ces marques s'est longtemps faite uniquement à l'aide de lecteurs manuels qui nécessitent de capturer le poisson pour le scanner. Le déploiement de systèmes RFID permettant de détecter les poissons marqués directement dans leur milieu naturel est plus récent. Il est apparu au sein de l'INRA au milieu des années 90 mais à cette période les distances de détection, dues à la méthode de transmission, ne permettaient d'équiper que des petits cours d'eau peu profonds. L'amélioration de cette technologie avec l'arrivée de nouvelles normes (1996) ainsi que sa démocratisation, permettent aujourd'hui d'équiper des cours d'eau plus conséquents et de répondre à certaines questions scientifiques sur la biologie, les déplacements des poissons mais aussi, d'évaluer l'efficacité des dispositifs de contrôle ou de suivi des poissons migrateurs.

1. INRA, 1036 U3E Ecologie et écotoxicologie aquatique, F-35042 Rennes, France

2. INRA, 1036 U3E, Pôle GEST'AQUA, F-35042 Rennes, France ; Julien.tremblay@rennes.inra.fr

3. ONEMA, Pôle GEST'AQUA, F-35042 Rennes, France

4. INRA, 0985 UMR Ecologie et santé des Ecosystèmes, F-35042 Rennes, France

5. Game and Wildlife Conservation Trust

Matériel et méthodes

PIT Tag RFID

La définition de la RFID (radio frequency identification - identification par radiofréquence), dans un sens général, est une technologie d'identification automatique qui utilise le rayonnement radiofréquence pour identifier des objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité d'un interrogateur (antenne, lecteur, douchette...). Elle permet l'identification individuelle d'objets sans contact direct. Les fréquences utilisées par cette technologie s'adaptent à différents environnements et domaines d'applications (carte de transports, industrie, sécurité des élevages...). Pour les résumer, il existe quatre types de fréquences utilisés et normés en RFID : la LF, HF, UHF et SHF (**Tableau 1**).

Tableau 1. Fréquences de la RFID et environnements perturbateurs

Abréviation anglo-saxonne	En français	Fréquence Bande passante utilisée	Environnement(s) perturbateur(s)
LF	Basses fréquences	125 kHz-134,2 kHz	Métal
HF	Hautes fréquences	13,56 MHz	Liquide, Métal+
UHF	Ultra hautes fréquences	860MHz-960MHz	Liquide++, Métal++
SHF	Super hautes fréquences	2,45 GHz	Liquide++, Métal++

Dans le cas qui nous intéresse, pour être identifiés par ces dispositifs, les poissons doivent être, au préalable, équipés d'une marque de type PIT Tag qui est composée d'une puce électronique et d'une antenne en cuivre insérée dans une capsule de verre (**Figure 1**). Cette marque utilise les basses fréquences (**Tableau 1**), une centaine de kilohertz permettant la communication dans l'eau. Il existe plusieurs tailles de PIT Tag : 12 mm, 23 mm et 32 mm. Le principe de ces marques est basé sur une technologie dite « passive », sans source d'alimentation (sans pile). Le protocole normatif HDX (half duplex) consiste à envoyer un signal radio pour exciter le PIT Tag se trouvant dans le champ de l'antenne, puis de l'écouter pour récupérer son numéro d'identification unique.



Figure 1. PIT Tags en verre 12 mm (photo : U3E, INRA).



Tableau 2. Documentation technique Tag HDX 12 mm (source : <http://www.ti.com/lit/gpn/trpgr30tgc>)

PARAMETER	TRPGR30TGC
Functionality	Read only
Memory (bits)	80(64-bit UID + 16-bit CRC)
Memory (pages)	1
Resonance frequency	134.6 kHz
Modulation	FSK (frequency shift keying) 134.2 kHz/124.2 kHz
Transmission principe	HDX (half duplex)
Power source	Powered from the reader signal (battery-less)
Typical reading range	≤ 60 cm
Typical reading time	70 ms
Case material	Glass
Protection glass	Hermetically sealed
EMC	Programmed code is not affected by natural electromagnetic interference or x-rays
Signal penetration	Transpondeur can be read through almost all non metallic material
Mechanical shock	IEC 60068-2-32 free-fall drop test, 20 times from 1.5 m height
Dimensions	Ø 2.12 ± 0.05 mm x 12.0 ± 0.5 mm
Weight	0.10 g

Les limites connues des Tags en verre Half-Duplex 12 mm, d'après la documentation et les tests effectués sont les suivants :

- ✓ le système ne permet pas de lire deux Tags en même temps (pas d'anticollision) ;
- ✓ une faible distance de détection 60 cm au maximum (**Tableau 2**) ;
- ✓ cette distance de détection varie selon l'orientation du Tag par rapport au plan de l'antenne, l'optimum de détection se faisant avec le PIT Tag perpendiculaire au plan.

Capture et marquage des poissons

Après capture (pêche électrique, piégeage...), les poissons sont anesthésiés, ils sont ensuite mesurés, pesés et marqués par PIT Tag. Le marquage consiste en l'injection d'un PIT Tag (11,5 mm x 2,12 mm ; 0,1 g) dans la cavité péritonéale, pour les jeunes poissons. Pour les saumons adultes la puce est insérée sous la nageoire adipeuse (petite nageoire située à l'arrière du dos).



Figure 2. Insertion d'un PIT Tag dans un saumon (photo : U3E, INRA).

La pose de la marque peut se faire selon deux méthodes : à l'aide d'un trocart stérile ou à partir d'une incision réalisée au scalpel, uniquement pour l'intra péritonéal. Les poissons sont ensuite remis à l'eau dès qu'ils sont réveillés. Les différentes opérations de captures mises en œuvre sur les sites d'études permettent de contrôler ces poissons à plusieurs reprises tout au long de leur existence et de mesurer les différents traits d'histoires de vie de chaque individu.

Lecteur RFID

Les lecteurs installés dans le cadre du programme européen Morfish sont de la marque « Oregon RFID » (**Figure 3** et **Tableau 3**). Les enregistreurs sont composés de trois ensembles électroniques et d'une alimentation. Les cartes électroniques d'Oregon RFID ont été remontées dans un boîtier plus important, afin de créer une seule unité comprenant le lecteur et une source d'alimentation linéaire filtrée. En plus de l'ergonomie, l'intérêt de ce regroupement est de faciliter l'étanchéité du lecteur.



Caractéristiques techniques du lecteur « Orégon RFID » :

- lecteur Half-duplex
- 1 à 4 antennes
- normes : ISO 11784/11785
- tension d'alimentation : 10-24 Volts
- 2.2 Ampères maximum
- 5 millions d'enregistrements
- connexions : USB et RS 232

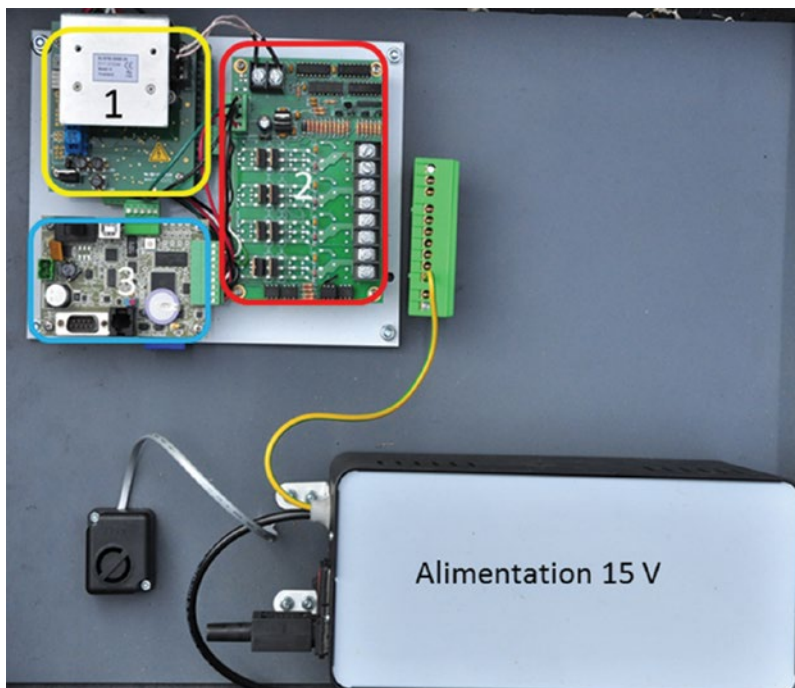


Figure 3. Lecteur RFID dans son boîtier étanche (photo : U3E, INRA).

Tableau 3. Récapitulatif des fonctions des cartes électroniques (cf. Figure 3)

N°de module	Nom	Fonction détaillée	Constructeur
1	Générateur signal RFID	Partie qui génère le signal et récupère les numéros de PIT Tag	Texas Instrument®
2	Datalogger	Enregistre les données et distribue l'énergie sur les autres cartes	Oregon RFID
3	Démultiplexeur	Permet de multiplier par 4 le signal d'antenne	Texas Instrument®

Caractéristiques et montage des antennes

Pour ce système, une antenne est constituée d'un fil électrique de bonne qualité (fil audio, électronique...). Pour former une antenne, il suffit de faire au moins une boucle avec le fil électrique ou d'ajouter des spires (des tours) afin d'augmenter les caractéristiques du câble (inductance, résistance). Le système est limité par ces caractéristiques : plus l'antenne est grande plus le fil électrique doit avoir une section importante. Il a été constaté que la bonne qualité du cuivre qui compose les câbles affecte les caractéristiques et augmente la possibilité de faire de grandes antennes. Une fois l'antenne formée, il est nécessaire de l'équilibrer avec une carte de réglage appelée « Tuner Board » (**Figure 4**). La carte électronique est composée principalement d'un parc de condensateurs et d'une ferrite (bobine avec un noyau amovible). La carte standard fabriquée par Texas Instrument® a pour limite une inductance allant de 8 à 80 μH (microHenry) (**Tableau 4**). Les autres cartes de réglages servent pour les plus grands PIT Tags, elles permettent une plus grande plage d'utilisation notamment en termes de taille d'antenne.

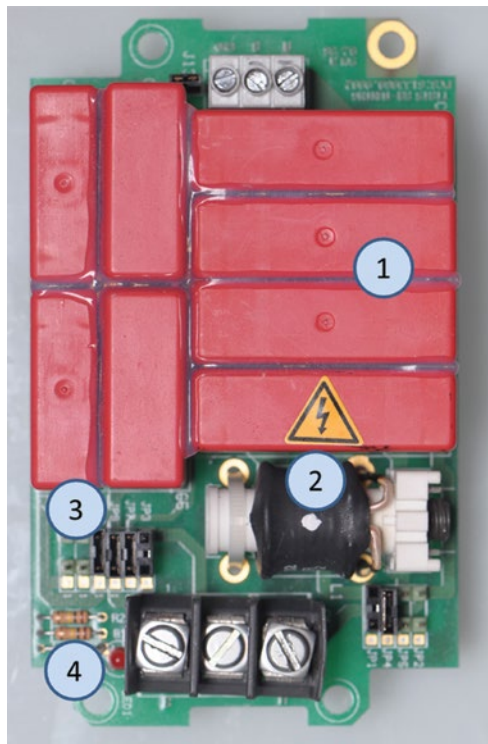
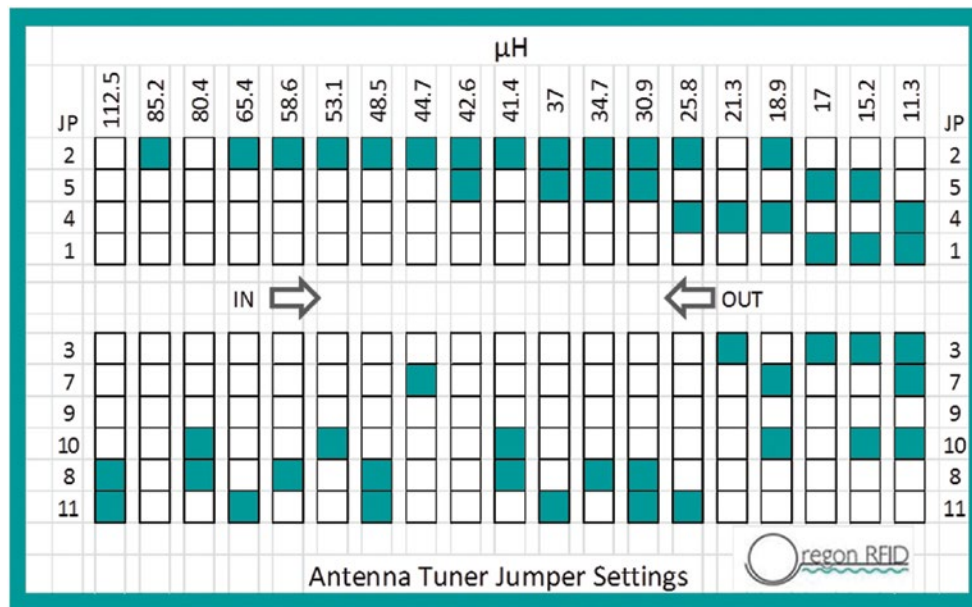


Figure 4. Carte « tuner board » Texas Instrument® (Photo U3E, INRA).
1 : parc de condensateurs ; 2 : ferrite ; 3 : cavaliers ; 4 : LED de contrôle.



Tableau 4. Positionnement des cavaliers



Le **Tableau 5** récapitule les différentes tailles d’antennes testées *ex-situ* et installées sur sites naturels pour des PIT Tags de 12 mm. En laboratoire, nos tests ont permis de réaliser des antennes avec 100 % d’efficacité de lecture pour différentes tailles. Cependant nous avons constaté à plusieurs reprises qu’en milieu naturel, les contraintes de terrain et l’environnement (alimentation électrique, interférences) ne permettaient pas d’obtenir les mêmes résultats. Il nous a fallu ajuster la taille et la forme des antennes pour limiter l’influence de ces contraintes sur l’efficacité de la détection des antennes.

Tableau 5. Tailles des antennes testées *ex-situ* et *in situ*

Type antenne	Section fil	Spire	Taille L x H	Détection
<i>Test ex-situ</i>				
Plate (posée sur le fond de la rivière)	4 mm ²	1	20 x 0,8 m	21 cm
Cadre (passage au travers)	4 mm ²	2	4 x 0,60 m	25 cm
<i>Installées in situ (milieu naturel)</i>				
Bief de Moulin (plate)	4 mm ²	1	7 x 0,5 m	21 cm
Cadre (passage au travers)	4 mm ²	2	3 x 0,8 m	30 cm
Cadre (passage au travers)	2,5 mm ²	3	1,50 x 0,50 m	50 cm

Procédure d’installation

Mode opératoire pour l’installation de matériel Oregon RFID :

A. Construction de l’antenne : positionner les spires de fil électrique sur un support amovible afin de pouvoir les reformer facilement.

- B.** Relever l'inductance de l'antenne (L en microHenry) avec le RLC mètre (**Figure 5**) :
- i. brancher à chaque extrémité du câble d'antenne les bornes du RLC mètre ;
 - ii. le mettre en marche sur le mode L/C/R et « SER » ;
 - iii. relever la valeur en μH . Cette valeur doit être comprise entre 8 et 80 μH .



Figure 5. RLC mètre (photo : U3E, INRA).

Attention les relevés d'inductance doivent se faire avant toutes connections (hors tension).

- C.** Brancher le câble antenne sur les bornes extérieures de la carte de réglage. Relier au lecteur avec un câble de type Twinax (bornes **A** et **B** sur la carte de réglage) (Twinax : Câble Blindé 100 Ohms) (**Figure 6**). Il n'y a pas de polarité pour le câblage. Le système est limité en longueur totale de Twinax à 120 m (30 m pour quatre antennes).

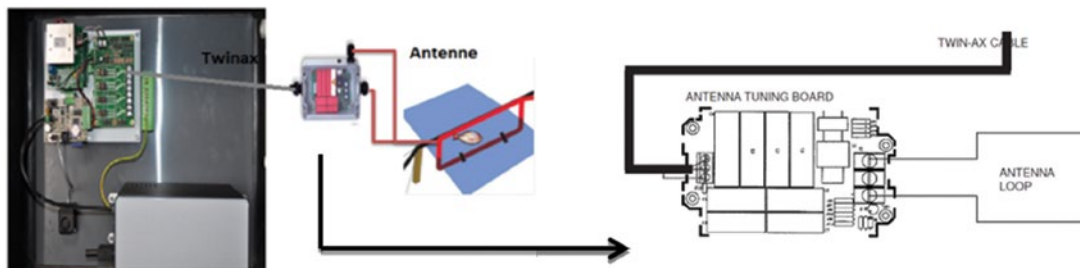


Figure 6. Branchements du système (source : <http://www.ti.com/lit/pdf/scbu023>) (photo : U3E, INRA).

- D.** Positionner les cavaliers en fonction de la carte de réglage et de la valeur relevée au RLC mètre. Ce réglage permet de s'approcher au plus près de la fréquence de résonance (**Tableau 4** et **Figure 4**).
- E.** Dévissez « la ferrite » (composant blanc avec une « Vis » noire) au maximum jusqu'à ce qu'elle touche le boîtier.



- F. Relier le lecteur (câble USB) à un ordinateur équipé d'un logiciel de type Hyper Terminal (Putty, HyperTerminal, Teraterm).
- G. Mettre l'ensemble sous tension (brancher l'alimentation électrique ou la batterie). Attention, le lecteur est sous tension, il ne faut pas toucher les cartes électroniques du lecteur ou la carte de réglage (entre 200 et 500 V pulsés).
- H. Vérifier que la LED rouge dans le lecteur RFID clignote (**Figure 7**).

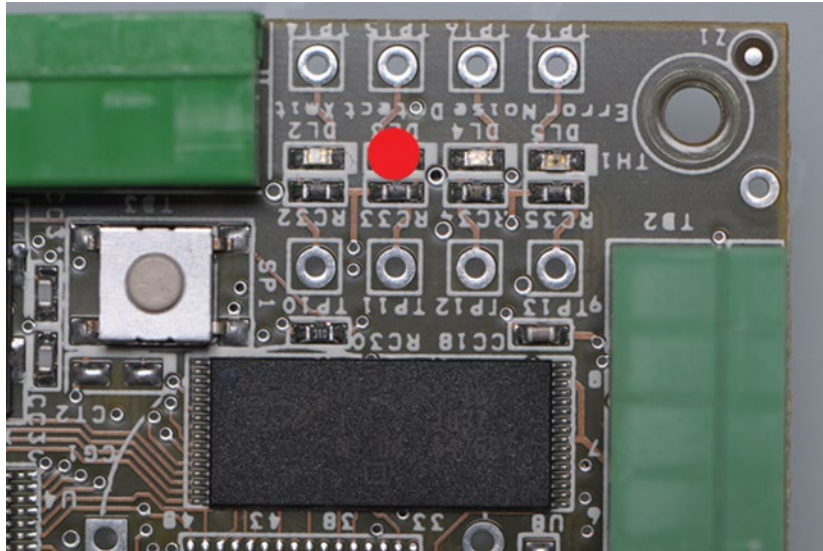


Figure 7. LED statut (photo : U3E, INRA).

- I. Le réglage n'étant pas encore fait, l'intensité de la LED peut-être faible.
- J. Pour finir d'équilibrer l'antenne, démarrer le logiciel hyper terminal puis entrer la commande « AD » et la touche Entrée (**Tableau 6**).

Tableau 6. Détail de la commande « AD »

Commande	Réglage interne au lecteur	Intensité antenne 1	Intensité antenne 2	Intensité totale système	Tension système	Tension horloge	Heure
AD	Rx 0.23 Tx	A1 2.67	A2 2.64	EA 1.43	15.0 V	2.6 V	06:26:35.24

Des paramètres se mettent à défiler. La valeur A1 qui correspond au branchement de l'antenne 1 s'affiche, elle représente la consommation de l'antenne.

K. Affiner ce réglage en utilisant uniquement un tournevis en céramique pour actionner la ferrite. Trouvez l'intensité maximale que le système peut accepter.

Si vous arrivez au bout de la ferrite (noyau qui sort du composant), éteignez le lecteur et positionnez les cavaliers pour un réglage supérieur (reprendre l'étape D).

Si l'intensité de l'antenne ne fluctue pas, vérifier la carte de réglage (position des cavaliers, branchements...) pour s'assurer que le lecteur reste opérationnel.

L. Une fois l'antenne réglée, passer un PIT Tag dans le champ de détection, perpendiculaire au plan de l'antenne. Le son émis par le buzzer du lecteur nous indique la détection de la marque. Jaugez le champ magnétique de l'antenne avec le Tag, il doit être détecté sur toute la surface de l'antenne.

Si ce n'est pas le cas, prendre un réglage supérieur ou changer la configuration du câble (spire, diamètre, taille de l'antenne).

Lorsque l'antenne fonctionne correctement, il ne reste plus qu'à l'installer sur site, vérifier son efficacité (temps de détection entre deux Tags) puis le bruit provoqué par les perturbations extérieures (si c'est le cas, la LED jaune clignote).

Retour d'expérience

Caractéristiques des systèmes mis en place

Actuellement, quatre systèmes RFID de détection automatique de poissons sont disposés à différents endroits de nos sites d'études : sur le Scorff dans le Morbihan (**Figure 8 et 9**) et sur l'Oir en Basse Normandie (**Figures 10 à 12**). Les largeurs des sections du cours d'eau où sont installés les systèmes RFID varient de 1,5 m à 6 m. Cela nécessite parfois de mettre deux antennes côte à côte pour couvrir la largeur de la rivière. Elles sont positionnées dans des endroits peu profonds pour permettre leur installation et répondre aux limites de distance de détection. Elles sont généralement doublées : une antenne en aval et une autre en amont pour obtenir le sens de migration des poissons et estimer les efficacités respectives de chacune.

Problèmes rencontrés

Il ne faut surtout pas utiliser une alimentation à découpage (la plus courante) car le lecteur ne peut pas fonctionner. La meilleure source d'alimentation est l'utilisation de batteries, source d'alimentation « propre » (recommandée par le fabricant). Cependant pour l'acquisition de données sur le long terme, cela implique une forte contrainte de surveillance, port de charge, rechargement, gestion... Nous avons préféré mettre en place des alimentations sur secteur de type linéaire.

Pendant la période de test des antennes, il a été constaté que des réglages répétés ou le mauvais positionnement des cavaliers créent le blocage d'un commutateur sur la carte de multiplexage. Pour éviter ces problèmes, avant d'allumer le lecteur, il faut vérifier le réglage des antennes (se référer à l'étape D de la procédure d'installation). Dans le cadre d'une installation en milieu naturel, il est préférable de s'équiper d'un deuxième lecteur et de cartes de réglages supplémentaires en cas de blocage (condition de l'étape L de la procédure d'installation).

Enfin, les bruits générés par l'environnement électromagnétique des sites d'étude ont pu être résorbés par la mise en place d'un filtre EMI (contre les interférences électromagnétiques) positionné en amont de l'alimentation électrique. De même, la mise à la terre du blindage des câbles Twinax peut être une solution, ainsi que la réduction de la longueur du câble.



Le Scorff



*Figure 8. Passe à poisson de Pont Calleck équipée de deux antennes (partie médiane du Scorff)
(photo : U3E, INRA).*



*Figure 9. Passe à poisson du moulin de St Yves équipée d'une antenne (partie en aval du Scorff)
(photo : U3E, INRA)*

L'Oir



Figure 10. L'Oir aval est équipé d'une série de deux antennes (photo : U3E, INRA).



Figure 11. Le ruisseau la Roche, affluent de l'Oir, est équipé à son exutoire de deux antennes (photo : U3E, INRA).





Figure 12. L'Oir en aval du moulin de Cerisel est équipé de deux antennes qui barrent la rivière. Son efficacité est variable. Elle est perturbée par des bruits électromagnétiques. Le site sera bientôt équipé d'un deuxième rideau qui s'accompagnera du rapprochement du lecteur pour en améliorer l'efficacité. (Photo : U3E, INRA).

Conclusion

Un certain recul sur la technologie RFID a été acquis par l'U3E depuis 1993. Les études concernant ce procédé ont été réalisées sur les sites de l'ORE Dia PFC où un marquage régulier des poissons est réalisé depuis cette date. Près de 36 000 PIT Tags ont été posés dans ce cadre. La provenance des informations issues des « recaptures » de marques sont nombreuses (pêche électrique, piégeage, tracking RFID, lecteur RFID...). Elles sont de natures variées (espèces, taille, poids, coordonnée géographique...). Elles alimentent les bases de données de l'ORE Dia PFC. Les données issues de ces marquages ont permis la réalisation de nombreuses publications scientifiques sur la dynamique de populations au regard des changements climatiques. Le programme européen « Morfish » Interreg Manche a facilité le déploiement de cette technique à plus grande échelle pour le suivi des communautés de poissons migrateurs. Il a permis les échanges de personnels techniques entre le GWCT et l'INRA afin d'harmoniser les pratiques des deux côtés de la Manche.

Références bibliographiques

Acolas M-L, Roussel J-M, Lebel J-M, Baglinière J-L (2007) Laboratory experiment on survival, growth and tag retention following PIT injection into the body cavity of juvenile brown trout (*Salmo trutta*). *Fisheries Res* **86** : 280-284.

Ombredane D, Bagliniere J-L, Marchand F (1998) The effects of passive integrated transponder tags on survival and growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) and their use for studying movement in a small river. In: *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry*, pp. 99-106. Springer.