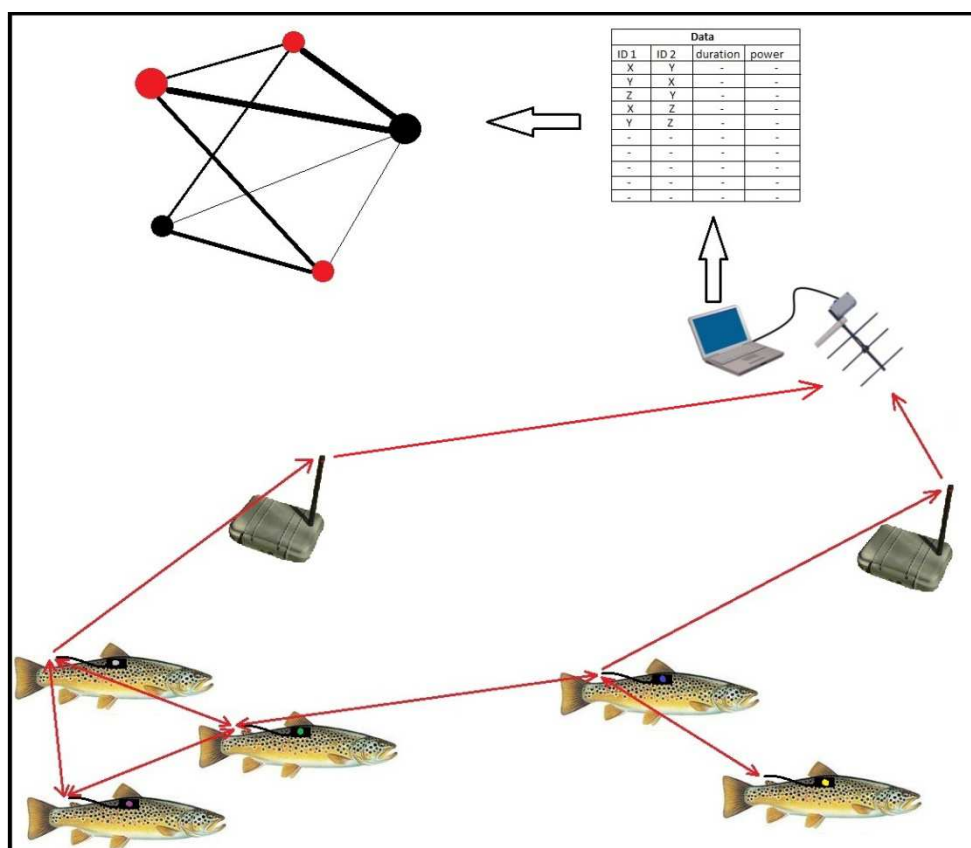


UFR Sciences et Techniques de la côte Basque
Université de Pau et des Pays de l'Adour
Licence Biologie des Organismes

Mise au point et faisabilité d'un nouveau système de télémétrie: application sur les interactions pendant la période de reproduction des truites communes (*Salmo trutta*).



Stage effectué en fractionné du 10/12/2014 au 31/01/2015, puis en continu du 09/03/2015 au 15/05/2015 à l'Aquapôle INRA, UMR ECOBIOP, quartier Ibarron 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, sous la direction scientifique de Mr Cédric TENTELIER.

"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité du Laboratoire d'accueil"

Remerciements :

En premier lieu, je tiens à remercier mon maître de stage, Cédric TENELIER, pour le temps qu'il m'a accordé et ses précieux conseils.

Je remercie John Burt, concepteur du dispositif Encounternet, pour son aide dans le paramétrage des émetteurs, je n'aurais pas pu réaliser d'expérience sans son aide.

Je tiens également à remercier mes collègues de bureau à l'INRA et à l'université pour leurs conseils et pour les activités et discussions partagées.

Je remercie le personnel de l'INRA de m'avoir accueilli dans les locaux et pour la bonne ambiance qui s'y trouve.

Je remercie également le personnel de l'université pour leur accueil et pour la mise à disposition d'une salle pour les stagiaires.

Présentation de la structure d'accueil :

J'ai réalisé mon stage au sein de l'Unité Mixte de Recherche Ecologie Comportementale et Biologie des Populations de Poissons (UMR ECOBIOP) situé à Saint-Pée-sur-Nivelle. Il s'agit d'une unité mixte de recherche entre l'INRA et l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Les recherches menées au sein de l'UMR ECOBIOP sont orientées vers l'étude du comportement des poissons et son rôle dans le fonctionnement et l'évolution des populations naturelles. L'unité développe des approches en écologie expérimentale (en environnement contrôlés ou naturels), la modélisation et la génétique des populations. L'objectif de la recherche est d'améliorer les pratiques de gestion de l'environnement, afin de préserver les ressources naturelles et la biodiversité mais aussi de prédire l'évolution des populations piscicoles sous la pression des activités anthropiques.

Contexte du stage :

Mon sujet de stage rentre dans le cadre d'une expérience réalisée par Mr Cédric TENELIER à l'aide du dispositif Encounternet sur la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta*). Il s'agit de la première expérience réalisée sur des organismes en milieu aquatique. L'étude a été développée dans le but de tester, mettre au point et évaluer les applications possibles du dispositif Encounternet sur la reproduction de la truite, en particulier sur la probabilité d'appariement.

Je n'ai pas pris part au déroulement de l'expérience, j'ai seulement pu voir le dispositif en place avant la clôture de celle-ci. Lors de mon stage, j'ai effectué un travail d'analyse des données récupérées lors de l'expérience et j'ai également réalisé et analysé des expériences de simulations à l'aide du dispositif Encounternet.

Table des matières

I. Introduction.....	1
II. Matériel et Méthodes	3
II. I. Expériences de simulation.....	3
II. I. I. Calibrage des émetteurs et des stations de base	3
II. I. II. Fiabilité générale du système	4
II. I. III. Effet émetteur	5
II. II. Expérience <i>in situ</i> : La reproduction de la truite.	5
II. III. Traitement et analyses statistiques des données	6
III. Résultats	9
III. I. Expériences de simulation.....	9
III. I. I. Calibrage des émetteurs et des stations de base	9
III. I. II. Fiabilité générale du système	10
III. I. III. Effet émetteur	12
III. II. Expérience <i>in situ</i> : La reproduction de la truite.	13
IV. Discussion.....	14
Bibliographie.....	18
Résumé.....	19

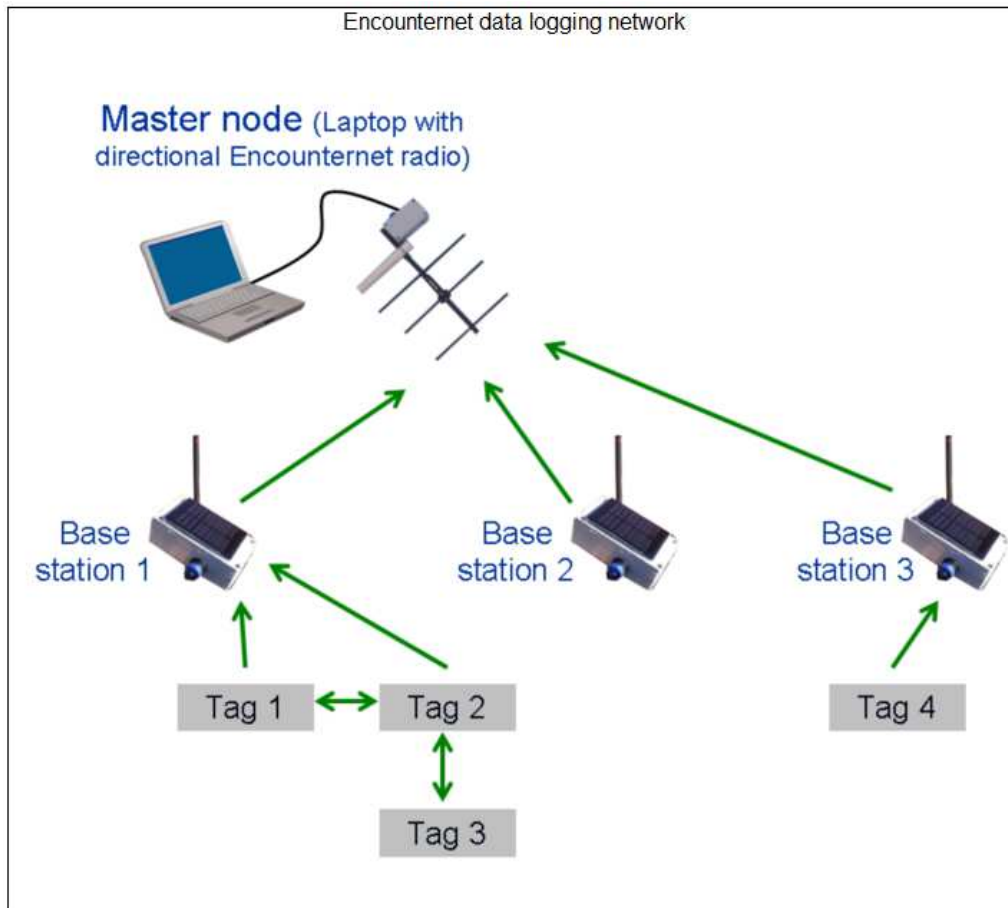


Figure 1. Illustration de dispositif Encounternet, avec une antenne connectée à un ordinateur, trois stations de base et quatre émetteurs.

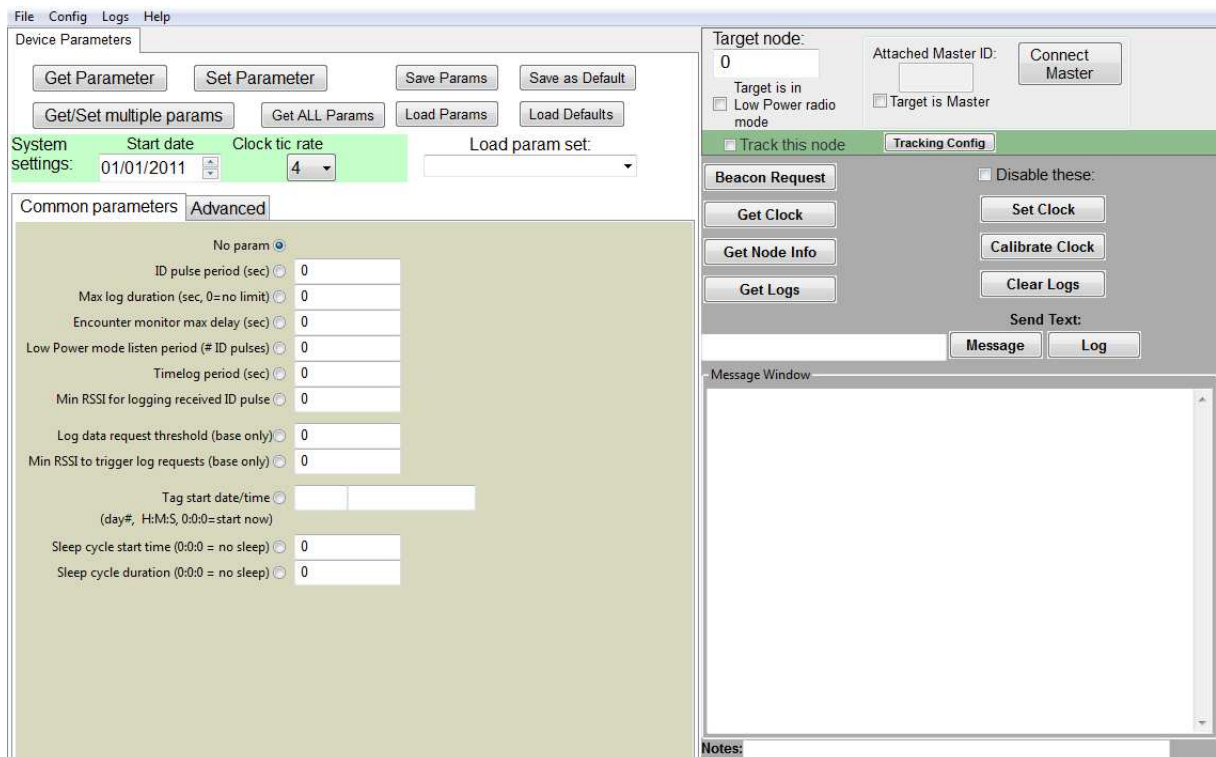


Figure 2. Interface graphique du logiciel Pymaster servant au paramétrage des différents éléments du dispositif.

I. Introduction

Les interactions entre les organismes et leur milieu de vie (abiotique) mais aussi et surtout les interactions entre organismes (biotiques), qu'elles soient intraspécifiques ou interspécifiques (compétition, prédation, reproduction...etc), sont au cœur de l'écologie. La représentation de ces interactions sous forme de réseaux sociaux permet de les décrire et de mieux les comprendre afin de pouvoir dégager une structure sociale parmi les individus étudiés. Cela permet principalement l'étude de traits comportementaux mais aussi la transmission de pathogènes ou encore l'interaction des individus avec l'environnement. Plusieurs composantes peuvent être intégrées à la construction d'un réseau social comme la nature de l'interaction (affective, agressive, sexuelle...) ou la force de l'interaction. Cependant, pour pouvoir élaborer un réseau social, il est nécessaire de recueillir un grand nombre de données afin de reproduire une structure sociale représentant la réalité. Il est donc essentiel de trouver un outil approprié pour réaliser une collecte de données représentatives de la réalité des interactions étudiées.

Or, la télémétrie semble être un des systèmes de collecte de données les plus à même de répondre aux différents prérequis de l'étude des réseaux sociaux. Elle permet une automatisation de la collecte de données et un échantillonnage important à distance, sans être obligé de passer beaucoup de temps sur le terrain, cela évite également de perturber les individus pendant la durée de l'expérience. La technique repose sur l'utilisation d'émetteurs placés sur tous les individus constituant le groupe ou la population étudiée. Différentes techniques de télémétrie peuvent être utilisées comme la radiotélémétrie VHF (Very High Frequency), la télémétrie acoustique ultrasonique, le pistage GPS... etc (Krause et al., 2013). Celles-ci reposent sur des systèmes d'émissions différents et renseignent des données de présence captées par une antenne ou un satellite par exemple. On considère que lorsque deux individus sont localisés au même endroit il y a une interaction. Les émetteurs peuvent également être différents, selon le système, il existe des marques archives, qui vont permettre de stocker les données et des marques qui émettent sans enregistrer. Le choix de la technique utilisée va alors dépendre des variables que l'on souhaite intégrer dans le réseau ainsi que du milieu dans lequel l'étude est faite. En effet les différents systèmes n'ont pas la même efficacité selon qu'on les utilise en milieu terrestre ou aquatique, ils seront également différents quant à la portée d'émission.

Actuellement, le système de télémétrie qui semble le plus astucieux dans la collecte de données permettant d'étudier des interactions est Encounternet. Il se rapproche du système utilisé par Holland et al., 2009 pour une étude comportementale sur des requins des galapagos (*Carcharhinus galapagensis*). Celui-ci est basé sur l'utilisation d'émetteurs/récepteurs archive, de station(s) de base et d'une antenne connectée à un ordinateur portable (Figure 1) avec le logiciel Pymaster (Figure 2) qui permet le paramétrage des émetteurs et stations de base. Chaque marque va émettre des ondes radio et percevoir les signaux émis par les autres émetteurs suffisamment proches. Cela permet alors d'enregistrer des données sur une rencontre. Celle-ci caractérise la détection d'un émetteur par un autre émetteur ou par une station de base. Les données renseignées sont: l'identifiant de l'émetteur rencontré, le moment précis du début et de la fin de la rencontre (avec lesquels on peut déduire la durée de celle-ci) et la puissance du signal perçu (ce qui permet de déterminer la distance entre les

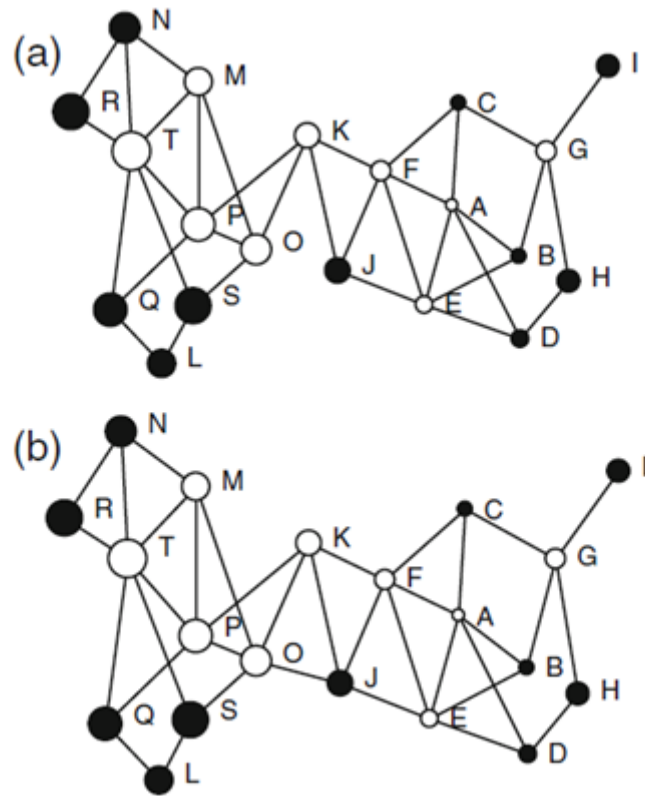


Figure 3. Réseau social d'une population fictive (a) et le même réseau avec une interaction supplémentaire entre J et O (b). Les cercles vides indiquent les femelles et la taille des points indique l'âge des individus. Croft et al. (2008)

individus lors de la rencontre). Il est également possible d'équiper les émetteurs avec différents modules comme par exemple un GPS, un accéléromètre ou un thermomètre, ce qui va permettre d'ajouter des variables d'intérêt pour la réalisation du réseau. Encounternet est un système de marque archive qui possède également l'avantage de décharger les données des émetteurs à distance par l'intermédiaire des stations de bases. Celles-ci sont également déchargées à distance à l'aide de l'antenne, ce qui évite la recapture des individus à la fin de l'expérience. Le temps passé sur le terrain est également réduit car les émetteurs possèdent une mémoire, selon les réglages des paramètres, ils peuvent accumuler des données durant plusieurs jours sans qu'il soit nécessaire de les décharger. On peut donc réaliser des expériences dans des milieux difficiles d'accès sans déranger les individus. Cela dit, très peu d'études ont été faites avec ce système et celles-ci ont toutes été réalisées en milieu terrestre.

Cependant, le système paraît être propice à une utilisation en milieu aquatique car le matériel peut être rendu étanche et les ondes utilisées par les émetteurs se propagent et sont perceptibles dans l'eau. Pour voir les diverses applications possibles avec ce système en fonction de la problématique de l'expérience, il est nécessaire de réaliser un test de faisabilité de ce dispositif en milieu aquatique. En effet, le système permet de recueillir un grand nombre de données relatant les rencontres entre individus, or les émetteurs ne vont pas forcément enregistrer des données similaires lors d'une rencontre entre deux individus, ce qui peut entraîner des erreurs quant aux conclusions biologiques que l'on peut en tirer. Comme l'affirme James et al., 2009, dans l'exemple illustré dans la Figure 3, on voit que l'interprétation peut être très affectée par de petites erreurs sur les données. Dans le réseau (a), l'individu K occupe une place centrale et permet la liaison entre deux sous-groupes d'individus de part et d'autre. Or dans le réseau (b), le fait qu'il y ait une liaison en plus entre O et J change totalement la façon d'interpréter le réseau, K n'étant plus central, la présence de deux sous-groupes n'a plus lieu d'être. La grande sensibilité des résultats due aux erreurs de détection rend donc nécessaire de mettre au point et vérifier les données. Les données recueillies lors du test vont alors permettre de rendre compte de la précision et de la justesse de celles-ci et éventuellement d'amener des améliorations quant à la mise en place d'une future expérience. Les résultats obtenus seront ensuite utilisés pour évaluer des données collectées au cours d'une expérience *in situ* préalablement réalisée en milieu contrôlé à l'aide du dispositif Encounternet sur la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta*). L'intérêt de l'utilisation de ce dispositif sur la reproduction de la truite réside sur le comportement reproducteur de celle-ci. En effet, lors de la reproduction, un couple se forme avec un mâle dit dominant et une femelle mature. Il est donc intéressant de se rendre compte, grâce à ce dispositif, de l'effet des rencontres entre les mâles et les femelles sur la probabilité d'appariement. En particulier car le dispositif permet de collecter des données sur une période relativement grande, ce qui n'était pas possible jusqu'à présent, les observations étant majoritairement visuelles (direct ou vidéo). Il sera donc possible de visualiser l'évolution du réseau social avant la fraie.

Le présent rapport va alors être structuré en deux parties, nous allons tout d'abord nous intéresser à la fiabilité générale du système Encounternet en réalisant différents types de rencontres afin de voir l'exploitabilité des données en fonction de différents critères (détection des rencontres, durée des rencontres, proximité de la rencontre, localisation de la rencontre). À l'aide de ces mêmes expériences nous verrons la différence entre les émetteurs utilisés pour voir globalement si les données recueillies varient ou non selon l'émetteur. En effet, une rencontre impliquant au moins

expérience	matériel utilisé	modalités de distance de contact	modalités de temps de contact entre les émetteurs	Nombre de répétitions durant l'expérience	nombre de rencontres réel par expérience	analyse de l'effet émetteur	objectif de l'expérience
calibrage émetteurs	3 émetteurs 1 décamètre	de 0cm à 300cm tout les 20 cm	2 minutes	-	-	non	rendre compte de l'effet de la distance entre deux émetteurs sur la puissance perçue par les deux émetteurs
calibrage base/émetteur	2 émetteurs 1 station de base 1 décamètre	de 0cm à 300cm tout les 20 cm	2 minutes	-	-	non	rendre compte de l'effet de la distance entre une station de base et un émetteur par rapport à la puissance perçue par la base
expériences de courtes durées	3 émetteurs 1 décamètre	0cm, 20cm, 40cm, 60cm, 80cm	1s, 5s, 10s	45	1350	oui	rendre compte de la relation entre distance et temps de contact sur l'enregistrement des données (temps de rencontre enregistré, puissance maximale perçue, nombre de rencontre enregistrées)
expériences de 10 minutes	3 émetteurs 1 décamètre	0cm, 20cm, 40cm, 60cm, 80cm	environ 10 minutes	27	27	oui	rendre compte de la relation entre la distance de contact et l'enregistrement des données (nombre de rencontre, temps de rencontre)
localisation d'une rencontre avec une station de base	2 stations de base 3 émetteurs 1 décamètre	entre 20 et 50 cm	1 minute	3	97 (dont 42 entre deux émetteurs)	non	rendre compte de l'enregistrement de rencontres entre deux émetteurs par une station de base afin de voir si on peut localiser un rencontre avec fiabilité

Tableau 1. Tableau récapitulatif des expériences de simulation réalisées.

deux individus, il est important de savoir si les données collectées par les différents émetteurs concordent. Dans un deuxième temps, suite aux expériences de faisabilité, nous allons tester l'analyse des données préalablement recueillies dans le cadre d'une expérience préliminaire réalisée en milieu contrôlé sur la reproduction de la truite commune.

II. Matériel et Méthodes

Les expériences concernant la fiabilité générale ainsi que l'effet émetteur du dispositif Encounternet ont été réalisées dans la rivière Nivelle à Saint-Pée-sur-Nivelle. Elles ont été effectuées dans une portion de la rivière ayant une hauteur d'eau de environ 25 à 30 cm correspondant environ à la hauteur d'eau dans laquelle l'expérience sur la reproduction de la truite commune a été réalisée. La granulométrie est également semblable entre les deux milieux d'étude.

De plus, lors des expériences de simulation que j'ai réalisée, les émetteurs ont été paramétrés de la même manière que lors de l'expérience précédemment réalisée sur la truite commune afin de pouvoir les comparer.

II. I. Expériences de simulation

Le dispositif Encounternet fournit des données de rencontre (moment du début et fin de rencontre, durée de rencontre et puissance de perception du signal durant la rencontre) qui constituent les variables d'intérêt pour l'analyse future. Les expériences de simulations ont alors pour but de montrer la précision et la justesse de ces différentes données. C'est à dire, voir si les données sont justes (si elles reflètent la réalité ou non) et précises (si elles sont variables entre elles). Nous allons alors voir l'influence de paramètres tels que la distance de contact ou la durée de contact entre les émetteurs. Nous allons également voir les différences d'enregistrements éventuelles entre les différents émetteurs utilisés. Pour cela, plusieurs expériences sont réalisées, elles sont résumées dans le Tableau 1.

II. I. I. Calibrage des émetteurs et des stations de base

Le calibrage est nécessaire pour rendre compte de la distance entre deux émetteurs ou entre une station de base et un émetteur par rapport à la puissance enregistrée.

Pour réaliser le calibrage, deux émetteurs ont été utilisés ainsi qu'une station de base et un décamètre. Tout d'abord, j'ai placé le décamètre dans la nivelle sur la zone d'étude. Puis j'ai placé un émetteur à un point du décamètre (0cm) et un deuxième au contact de celui-ci. J'ai ensuite enregistré la puissance perçue par les deux émetteurs pendant deux minutes. Puis j'ai renouvelé cette expérience en déplaçant l'un des deux émetteurs afin de mesurer la puissance perçue par les deux émetteurs à des distances de 0cm jusqu'à 3 mètres tous les 20 cm. J'ai ensuite recommencé cette série de répétition une deuxième fois en échangeant l'émetteur mobile et l'émetteur immobile. Pour le calibrage de la puissance entre émetteurs et stations de base, j'ai réalisé deux séries de répétitions de l'expérience de la même manière avec deux émetteurs différents, placés à des distances variables (0cm à 3m tous les 20 cm) d'une station de base.

II. I. II. Fiabilité générale du système

Après avoir réalisé la calibration des émetteurs, il convient de voir si les données enregistrées par ceux-ci sont fiables. Dans un premier temps, nous allons voir la fiabilité générale des données générées quant au temps de rencontre, au nombre de rencontres et à la puissance maximale des émetteurs.

Simulations de rencontres de 10 minutes :

L'expérience mise en place consiste à réaliser des rencontres d'environ 10 minutes entre deux émetteurs à des distances variables afin de voir si la distance de rencontre influe sur l'enregistrement d'une rencontre relativement longue.

Pour cela, j'ai utilisé trois émetteurs et un décimètre. Tout d'abord, j'ai placé le décimètre dans la Nivelles sur la zone d'étude. Puis lors de chaque répétition, j'ai placé deux émetteurs, un à 0cm et un émetteur à la distance souhaitée (au contact, à 20 cm, 40 cm, 60 cm et 80 cm). Ainsi, j'ai réalisé trois répétitions pour chaque distance en changeant les positions des émetteurs.

Simulations de rencontres de courtes durées :

J'ai tout d'abord réalisé une première série de répétitions de l'expérience sans changer les rôles des émetteurs. Elle se déroule de la manière suivante: toutes les minutes, l'émetteur seul est rapproché jusqu'au contact avec les deux autres pendant une seconde puis remis à 1,5m. Une fois que j'ai réalisé 15 contacts entre les émetteurs l'expérience prend fin. J'ai alors réalisé la même expérience avec la même distance de contact mais avec un temps de contact de 5s et 10s. Puis j'ai effectué le même type d'expérience (avec un temps de contact de 1s, 5s et 10s) à des distances de 20cm, 40cm, 60cm et 80cm.

J'ai réalisé trois fois cette série de répétitions en changeant la position des émetteurs, afin que chacun des trois émetteurs soit mobile dans une série de répétitions.

Nous allons ainsi pouvoir rendre compte de la fiabilité des émetteurs mis en jeu dans une rencontre pour voir si le nombre de rencontre enregistré par l'un et par l'autre est proche ou non du nombre de rencontre réellement survenue. Nous verrons également si la fiabilité de la collecte des données dépend du temps et/ou de la distance de contact.

Localisation d'une rencontre entre deux émetteurs avec une station de base :

Cette expérience a pour but de montrer un autre aspect du dispositif Encounternet, les rencontres entre émetteurs et stations de bases. Cette partie ne sera pas développée au mieux car elle ne constitue pas une nouveauté, la plupart des systèmes de télémétrie utilisant déjà ce type de rencontres.

Pour cette expérience, deux stations de bases sont utilisées ainsi que trois émetteurs. Deux stations de base sont placées à environ 3m l'une de l'autre, puis un émetteur est placé à proximité de chaque station de base (à environ 20cm à 50cm de chacune d'elle). L'un des deux émetteurs est alors amené au contact de l'autre à proximité de l'autre station de base. Puis, environ une minute après, celui-ci est de nouveau déplacé vers la base à côté de laquelle il était au début de l'expérience. Ensuite au bout d'une minute, c'est l'autre émetteur qui se déplace vers le premier et ainsi de suite pendant 30 minutes. Cela représente donc 15 rencontres attendues réparties entre les deux bases. Cette expérience a été répétée 3 fois, avec à chaque fois un couple d'émetteur différent.

II. I. III. Effet émetteur

Grâce aux expériences réalisées dans le test de fiabilité général du dispositif Encounternet, nous allons pouvoir comparer la différence d'enregistrement des données entre les émetteurs mis en jeu dans plusieurs rencontres et voir si il y a un effet émetteur sur la collecte des données. En effet, il est important de voir si les deux émetteurs impliqués dans une rencontre fournissent les mêmes informations, sans quoi l'interprétation des données pourrait être difficile et mener à des résultats biaisés.

Nous allons tout d'abord comparer entre deux émetteurs mis en jeu dans des rencontres d'environ 10 minutes: le nombre de rencontres effectuées par chaque émetteur et la différence de temps d'enregistrement de chaque émetteurs par rapport au temps d'enregistrement réel de chaque répétition.

Nous allons ensuite voir dans l'expérience de simulation de rencontres de courtes durées, le nombre de rencontres que chaque émetteur a manquées.

Nous allons enfin regarder plus en détail les données recueillies lors de trois répétitions de simulations de rencontres de courtes durées afin de voir les différences d'enregistrement, entre deux émetteurs mis en jeu dans une rencontre, dans le début, la fin, le temps total et la puissance maximale de chaque rencontre. Il s'agit de répétitions où le temps de contact est de 10 secondes, à des distances de 0cm, 40cm et 80cm, au cours desquelles il y a eu respectivement 98%, 97% et 82% de rencontres enregistrées.

II. II. Expérience *in situ*: La reproduction de la truite.

Après avoir réalisé les expériences de simulation, des données issues d'une expérience *in situ*, qui a été menée en milieu contrôlé sur la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta*) durant l'hiver 2014, vont être analysées. Cela va permettre de voir les applications possible du dispositif sur la reproduction de la truite en fonction du test de fiabilité.

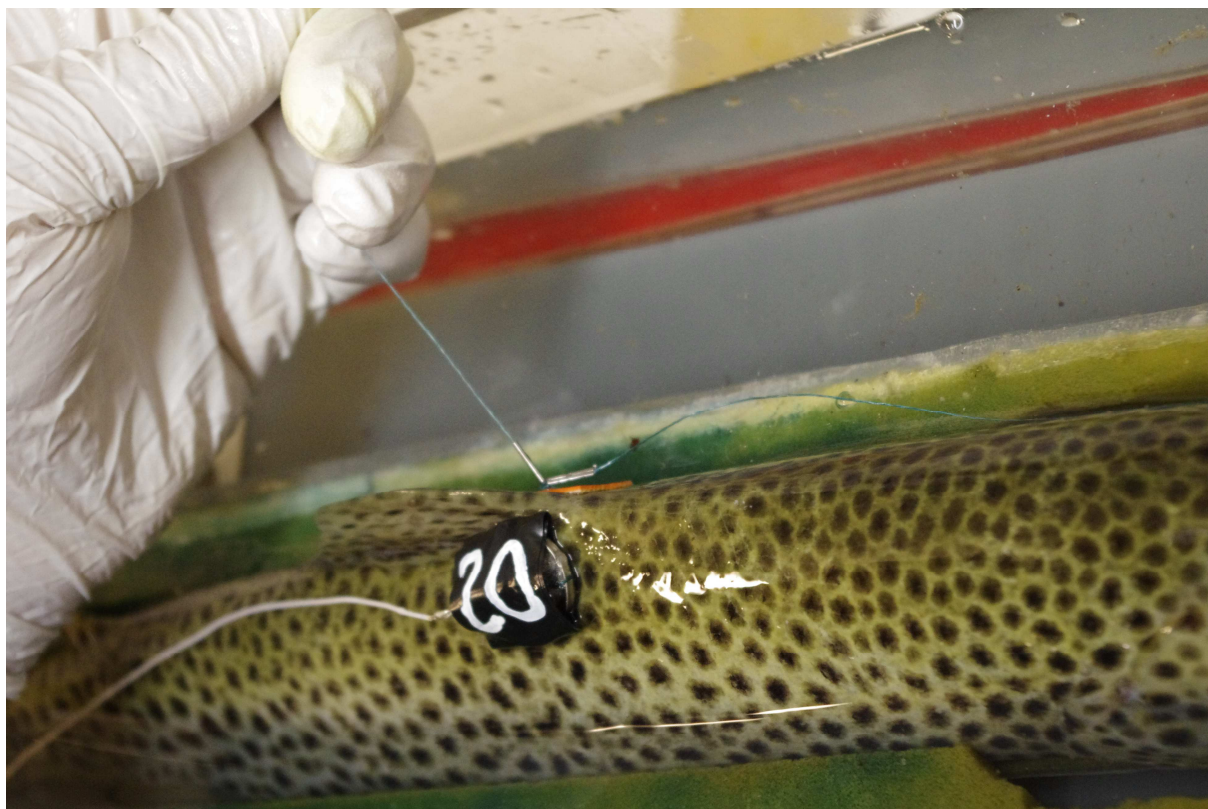


Figure 4. Photographie de la mise en place d'un émetteur sur une truite. Celui-ci est placé grâce à des fils traversant les muscles dorsaux, sous la nageoire dorsale de la truite.



Figure 5. Photographie de la rivière artificielle, alimentée par le Lapitxuri, divisée en biefs dans lesquels l'expérience à été réalisées. (crédit Stephane Glise).

La reproduction de la truite a lieu pendant une période comprise entre mi-novembre et fin février. Avant de pondre, la femelle prépare une frayère sur le substrat. Pour cela, elle dégage le substrat de faible granulométrie grâce à sa nageoire caudale. Elle sonde régulièrement la profondeur de la cavité creusée avec sa nageoire anale jusqu'à ce qu'elle atteigne la profondeur voulue. Parallèlement, les mâles se disputent l'accès à la femelle afin de pouvoir se reproduire avec elle. Un mâle dominant reste à proximité de celle-ci et chasse les autres mâles qui se trouvent dans un périmètre de environ 1 à 3 mètres. Plus la ponte approche et plus les chasses du mâle dominant s'intensifient. La femelle libère ensuite ses œufs et le mâle dominant les féconde directement, ensuite la femelle les recouvre sous une couche de granulométrie fine.

L'expérience réalisée a pour but de voir si le dispositif Encounternet permet de collecter des données interprétables sur les rencontres entre mâles et femelles durant une période relativement longue avant la ponte.

Les émetteurs placés sur les 5 femelles ont été numérotés distinctement: 24, 30, 31, 32 et 33. Les émetteurs placés sur les mâles ont également été numérotés: 20, 21, 26, 28 et 29. Ces numéros permettent l'identification des individus et correspondent aux numéros renseignés par les émetteurs respectifs pour renseigner les données d'une rencontre. Tous ces émetteurs ont été mis en service au même moment, au début de l'expérience. Les stations de bases ont également été mises en service au même moment que les émetteurs et ont été numérotés, 202 pour la station de base en amont et 203 pour la station de base en aval.

L'expérience a été mise en place avec 10 truites (5 mâles et 5 femelles). Elles ont chacune été équipées d'émetteurs (Figure 4) et ont été placées dans une section de rivière artificielle (Figure 5), dérivée de la rivière Lapitxuri, de 20 mètres de longueur divisée en deux biefs de 10 mètres ; l'un, en amont a été aménagé en une zone de fraie potentielle avec les conditions adaptées et une faible hauteur d'eau et l'autre, en aval, a été aménagé en une zone de repos avec une profondeur plus élevée et quelques obstacles servant de refuge pour les truites. Quatre caméras ont été placées dans la zone de fraie potentielle afin d'observer la fraie et d'identifier les protagonistes. Deux stations de bases ont été mise en place, la première au milieu du bief de repos et la deuxième au milieu du bief de fraie.

L'expérience s'est déroulée à partir du 15 décembre 2014 et jusqu'au 4 janvier 2015, pendant la période de fraie de la truite. Je n'ai pas participé à la mise en place et au déroulement de l'expérience, j'ai seulement pu assister à la clôture de l'expérience, c'est à dire la repêche des poissons dans les biefs et le démontage du matériel.

II. III. Traitement et analyses statistiques des données

Nettoyage des fichiers de données :

Les données enregistrées par les émetteurs qui ont été récupérées durant l'expérience réalisée sur la reproduction de la truite et durant les expériences de simulations, sont sous forme de fichiers texte.

La première partie du travail d'analyse consiste alors à transcrire les données sous la forme de fichiers Excel. Le fichier brut, transcrit sur Excel, contient différentes variables dans chaque colonne (chaque ligne correspondant à une rencontre) :

- La variable "this ID" correspond à l'identifiant de l'émetteur ou de la station de base qui perçoit.
- La variable "enc ID" correspond à l'identifiant de l'émetteur qui est perçu par l'émetteur ou la station de base renseigné dans la variable "this ID".
- La variable "first time cntr" est temporelle. Elle correspond au moment où la station de base ou l'émetteur, identifié dans "this ID", perçoit pour la première fois (durant cette rencontre) l'émetteur identifié dans la variable "enc ID". Le chiffre renseigné est exprimé en nombre de "tic" écoulé depuis la mise en route de l'émetteur (sachant qu'il y a 4 "tic" par secondes). On peut alors retrouver la date et l'heure précise à laquelle a eu lieu le début de la rencontre.
- La variable "last time cntr" est exprimée sous la même forme que "first time cntr" mais correspond au dernier moment où l'émetteur renseigné dans "this ID" perçoit celui renseigné dans "enc ID".
- La variable "first time" est également temporelle et renseigne la même information que la variable "first time cntr", cependant elle indique cette fois ci le moment de début de rencontre sous la forme de date, heure et seconde.
- La variable "last time" renseigne la même information que la variable "last time cntr" (moment de fin de rencontre) sous la forme date, heure et secondes.
- La variable "RSSI max" indique la puissance maximale du signal perçu par l'émetteur ou la station de base "this ID" au cours de la rencontre. L'unité est le Décibel (Db).
- La variable "RSSI min" correspond à la puissance minimale du signal perçu par l'émetteur ou la station de base "this ID" au cours de la rencontre. Elle est également exprimée en Décibel.
- La variable "RSSI mean" renseigne sur la puissance moyenne du signal perçu par l'émetteur ou la station de base "this ID" au cours de la rencontre. Son unité est également le Décibel.
- Enfin, la variable "type" correspond au type d'information transmis dans la ligne. Elle prend une valeur de 1 lorsque la ligne renseigne des informations sur une rencontre. Dans le cas contraire la variable peut prendre plusieurs valeurs codifiées en fonction de différents types d'informations concernant des mises à jour automatiques ou des renseignements à propos de certains paramètres. Les variables temporelles renseignent alors toutes la même information, l'heure à laquelle la mise à jour/le renseignement a été fait. La variable "enc ID" et les variables renseignant les données de puissances sont alors inutiles.

Avant de procéder à l'analyse des données, il convient de nettoyer les fichiers afin de ne garder que les lignes renseignant des données sur des rencontres.

J'ai tout d'abord procédé à une correction des données aberrantes. En effet, lors de l'expérience *in situ*, plusieurs problèmes sont survenus au niveau du paramétrage des émetteurs et d'une station de base. Tout d'abord, une des deux stations de base a été mal paramétrée durant quelques jours au début de l'expérience. Le défaut de celle-ci correspondait à un paramétrage concernant la mesure du temps. Le paramètre défaillant permet de modifier la transcription du temps enregistré dans les données par rapport au temps réellement passé durant l'expérience. En clair, lorsque la station de base enregistrait une rencontre avec un temps réel de 1 minute, elle transcrivait un temps de

a

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			
1	this ID	enc ID	first time	cntr	last time	cntr	first time	last time	RSSI max	RSSI min	RSSI mean	type	lapse	cntr
2	27	23	5	5	10/04/2015 09:03	10/04/2015 09:03	49	49	49	1	0:00:00			
3	22	27	55	192	10/04/2015 09:04	10/04/2015 09:06	61	58	59	1	0:02:18			
4	23	27	55	196	10/04/2015 09:04	10/04/2015 09:06	48	47	47	1	0:02:22			
5	27	23	64	123	10/04/2015 09:04	10/04/2015 09:05	49	49	49	1	0:00:58			
6	27	23	152	206	10/04/2015 09:06	10/04/2015 09:07	49	49	49	1	0:00:54			
7	22	27	230	251	10/04/2015 09:07	10/04/2015 09:07	61	57	59	1	0:00:22			
8	23	27	230	604	10/04/2015 09:07	10/04/2015 09:13	55	16	40	1	0:06:14			
9	27	23	232	259	10/04/2015 09:07	10/04/2015 09:08	50	49	49	1	0:00:28			
10	22	27	273	298	10/04/2015 09:08	10/04/2015 09:08	60	20	41	1	0:00:25			
11	27	23	284	396	10/04/2015 09:08	10/04/2015 09:10	53	26	42	1	0:01:52			
12	27	22	283	633	10/04/2015 09:08	10/04/2015 09:14	56	19	43	1	0:05:50			
13	22	27	323	642	10/04/2015 09:09	10/04/2015 09:14	58	24	41	1	0:05:20			
14	23	22	345	680	10/04/2015 09:09	10/04/2015 09:15	60	17	43	1	0:05:35			
15	22	23	348	679	10/04/2015 09:09	10/04/2015 09:15	58	20	42	1	0:05:30			
16	27	23	416	670	10/04/2015 09:10	10/04/2015 09:14	54	26	40	1	0:04:14			
17	23	27	624	647	10/04/2015 09:14	10/04/2015 09:14	47	41	43	1	0:00:23			
18	22	27	670	705	10/04/2015 09:14	10/04/2015 09:15	58	57	57	1	0:00:34			
19	23	27	671	705	10/04/2015 09:14	10/04/2015 09:15	47	46	46	1	0:00:35			
20	22	23	699	712	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:15	50	50	50	1	0:00:12			
21	23	22	700	700	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:15	52	52	52	1	0:00:00			
22	27	23	699	712	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:15	48	48	48	1	0:00:13			
23	23	22	724	780	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:16	53	32	49	1	0:00:57			
24	22	27	729	763	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:16	58	57	57	1	0:00:35			
25	23	27	729	2757	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:49	57	15	46	1	0:33:49			
26	22	23	734	780	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:16	56	31	48	1	0:00:47			
27	27	23	734	1650	10/04/2015 09:15	10/04/2015 09:31	59	37	49	1	0:15:17			
28	22	27	789	2709	10/04/2015 09:16	10/04/2015 09:48	60	33	55	1	0:32:00			

b

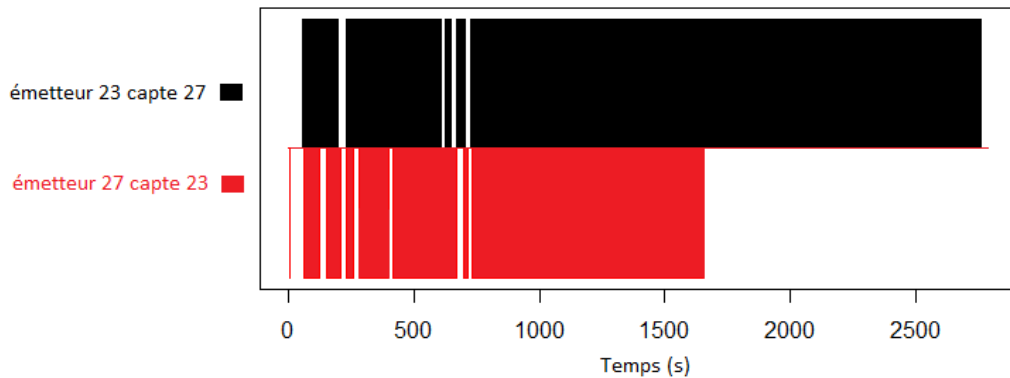


Figure 6. Illustration de la création de vecteurs représentant la perception de l'émetteur 23 par le 27 et vice versa, avec les données initiales (a) et le graphique obtenu (b).

rencontre de 1 minute et 30 secondes dans les données. Le problème a été résolu en multipliant le temps écoulé depuis chaque mise à jour de l'heure de la station de base par 2/3.

Plusieurs émetteurs ont également eu des défauts temporaires au niveau de la date transcrite dans les données. Ceux-ci avaient un décalage d'exactement 3 ans avec la vraie date, cela se traduisait par des données de rencontre enregistrées datées de 2017 alors que l'expérience a eu lieu en 2014. J'ai donc procédé au remplacement de la date inexacte par la date réelle.

Après avoir corrigé ou supprimé toutes les lignes renseignant des données inexactes ou inexploitable, j'ai enlevé toutes les lignes correspondant à des messages d'information (ayant une valeur de la variable "type" différente de 1).

Puis j'ai procédé à la création de la variable "lapse cntr" correspondant au temps de rencontre exprimé en temps (heure:minute:seconde). Pour cela, j'ai simplement soustrait le moment de début de rencontre "first time" au moment de fin de rencontre "last time".

Enfin, j'ai procédé à la modification de l'unité des variables "first time cntr" et "last time cntr", afin que celles-ci soient exprimées en secondes (et non en "tic") pour une compréhension et une analyse facilitée. L'unité est alors exprimée en secondes écoulées à partir du lancement de l'expérience.

Une fois toutes ces opérations réalisées, les fichiers Excel des différentes expériences sont exploitables (Figure 6 a)

Vectorisation de rencontres :

Lors d'une rencontre, deux lignes sont théoriquement enregistrées dans le fichier de données, chacune correspondant à la perception d'un émetteur par l'autre. Afin de mieux visualiser et traiter les informations concernant les rencontres, j'ai procédé à la vectorisation de rencontres à l'aide du logiciel R (Cf. Expérience de courtes durées, Expérience de 10 minutes, Localisation de rencontres avec une station de base, Expérience *in situ*). Cela permet d'avoir un aperçu visuel de la correspondance de l'enregistrement d'une rencontre par chacun des deux émetteurs.

Pour cela, j'ai créé deux vecteurs différents, pour les deux émetteurs mis en jeu dans une rencontre, chacun représentatif des données enregistrées par un émetteur. Le nombre d'éléments de chaque vecteur est égal au nombre de secondes écoulées au cours de l'expérience. La variable contenue dans ces vecteurs est une variable binaire, prenant la valeur 0 pour les secondes où l'émetteur considéré ne perçoit pas l'autre et prenant la valeur 1 pour les secondes où l'émetteur considéré perçoit l'autre. J'ai assigné par défaut la valeur 0 à tous les éléments lors de la création du vecteur, puis assigné la valeur 1 à chaque seconde comprise entre les valeurs renseignées par les variables "first time cntr" et "last time cntr".

Dans la Figure 6, un exemple montre le graphique obtenu (b), illustrant la perception de l'émetteur 23 par l'émetteur 27 et vice versa , à partir des données (a), les lignes surlignées en jaune correspondant aux rencontre entre 23 et 27 nécessaire à la construction du vecteur.

J'ai ensuite réalisé un deuxième type de vecteur représentant la somme de deux vecteurs (décrit ci-dessus) correspondant à deux émetteurs mis en jeu dans une rencontre.

Pour cela j'ai créé un nouveau vecteur égal au nombre de secondes écoulées au cours de l'expérience, de la même manière que pour les précédents. J'ai assigné par défaut la valeur 0 à tous les éléments lors de la création du vecteur, puis assigné la valeur 1 à chaque seconde comprise entre les valeurs renseignées par les variables " first time cntr" et "last time cntr" des deux émetteurs mis

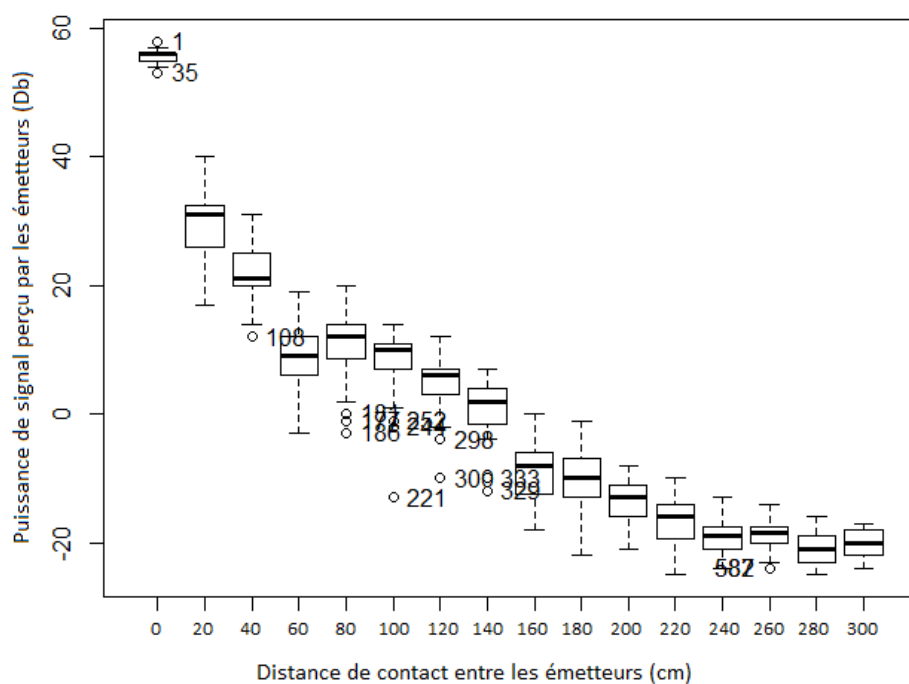


Figure 7. Boite de dispersion de la puissance enregistrée par deux émetteurs en fonction de la distance qui les sépare.

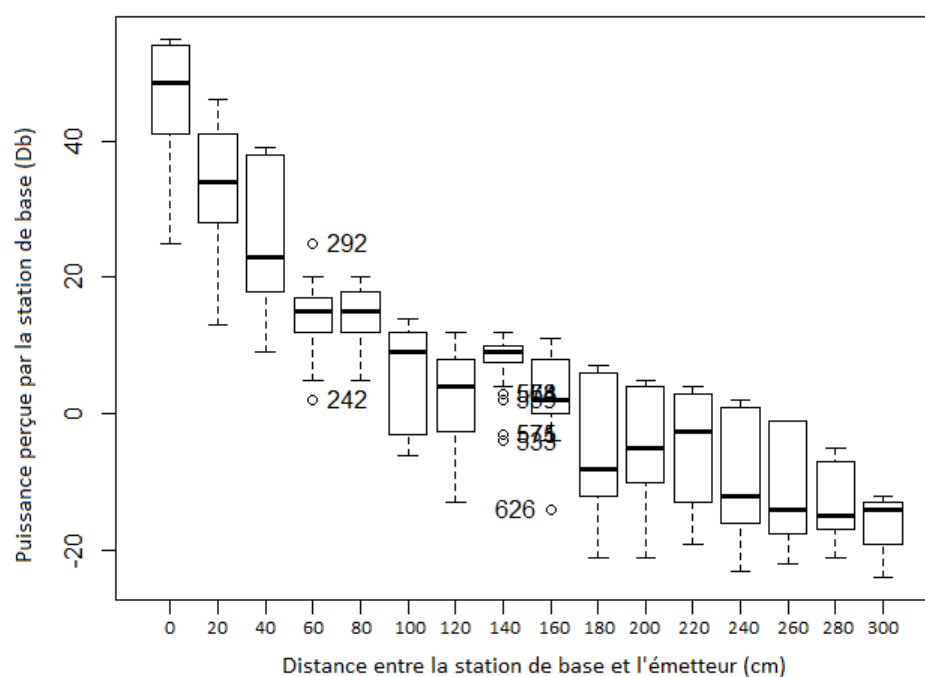


Figure 8. Boite de dispersion de la puissance enregistrée par la station de base en fonction de la distance à laquelle se trouve l'émetteur.

en jeu dans la rencontre. Il en résulte un vecteur prenant la valeur de 1 lorsqu'au moins un des deux émetteurs perçoit son homologue durant la totalité de l'expérience.

Construction de réseaux :

Afin de mieux visualiser les interactions entre les deux femelles qui ont frayé et les 5 mâles, j'ai construit des réseaux représentatifs du temps de rencontre entre chacune des deux femelles et tous les mâles depuis le début de l'expérience et jusqu'à la fraie respective de chacune d'elle.

Pour cela, j'ai extrait le temps de rencontre entre une femelle ayant pondu et les 5 mâles à partir de vecteurs de rencontre (Cf. deuxième type de vecteur), en faisant la somme des secondes pendant lesquelles la femelle a rencontré chacun des mâles. J'ai ensuite découpé les 5 vecteurs par tranche de 24 heures à partir de la fraie. Puis j'ai réalisé un réseau par tranche de 24 heures précédant la fraie. Le dernier réseau de chaque femelle ne représentant pas 24 heures, il a été ramené à 24 heures à l'aide d'une règle de trois. L'intensité des liens reliant tous les mâles à chacune des femelles correspond donc au temps total de rencontre entre eux par tranche de 24 heures.

Régression linéaire multiple :

Afin de voir la significativité des liens dans l'expérience de rencontres de courtes durées, j'ai réalisé une régression linéaire multiple, entre le temps et la distance de contact, et respectivement: le temps moyen par rencontre par les émetteurs, la puissance maximale perçue par les émetteurs au cours de l'expérience et le pourcentage de rencontres enregistrées au cours de l'expérience.

III. Résultats

III. I. Expériences de simulation

III. I. I. Calibrage des émetteurs et des stations de base

La Figure 7 montre le calibrage de la puissance enregistrée par un émetteur en fonction de la distance à laquelle se trouve l'autre émetteur. La puissance enregistrée par un émetteur décroît en fonction de la distance à laquelle se trouve l'autre émetteur, cela dit, la courbe n'est pas linéaire. On remarque que, à part lorsque les émetteurs sont en contact, la puissance captée par l'émetteur varie beaucoup à une distance donnée. Il n'est donc pas possible de dire à quelle distance précise se trouvent deux émetteurs avec une simple mesure de puissance.

La Figure 8 montre le calibrage de la puissance enregistrée par la station de base en fonction de la distance à laquelle se trouve l'émetteur. La puissance enregistrée par la station de base décroît également en fonction de la distance à laquelle se trouve l'émetteur et la courbe de calibration n'est

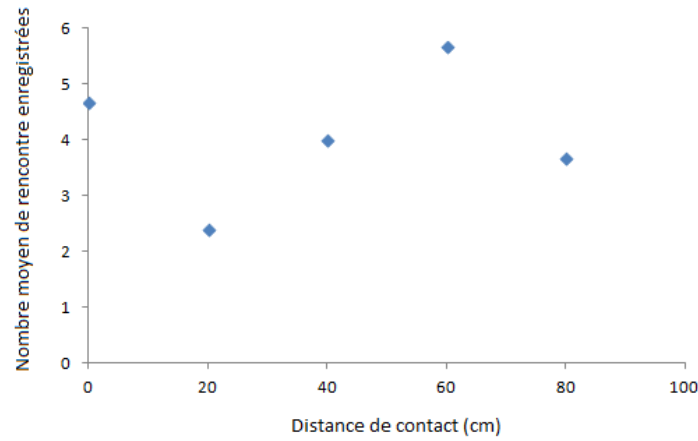


Figure 9. Nombre de rencontre moyen enregistré par les émetteurs en fonction de la distance de contact.

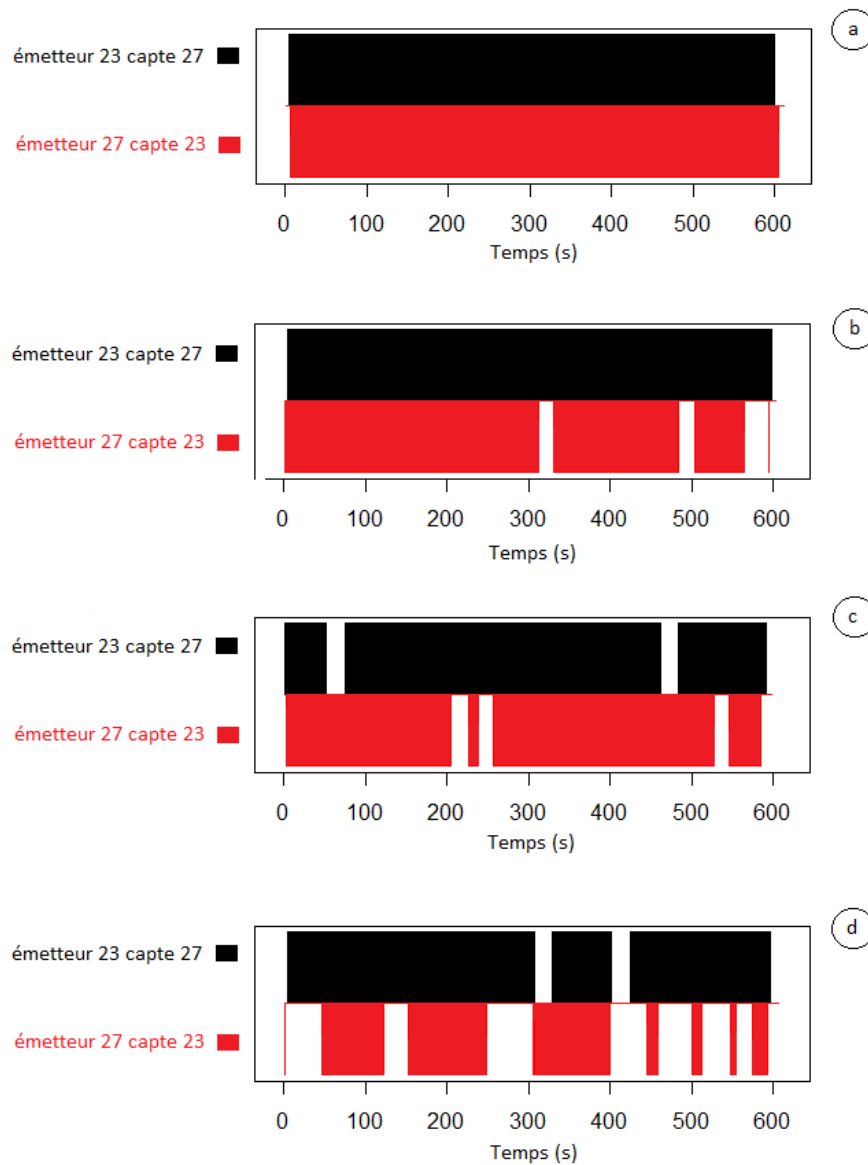


Figure 10. Représentations vectorielles de rencontres de environs 10 minutes: (a) chaque émetteur enregistre une rencontre; (b) l'émetteur 2 enregistre des rencontres supplémentaires; (c) les deux émetteurs enregistrent des rencontres supplémentaires; (d) les deux émetteurs manquent leur signaux respectifs en même temps.

pas non plus linéaire. On remarque que les intervalles de puissances enregistrées par la base sont légèrement plus grands entre base et émetteur que entre deux émetteurs.

III. I. II. Fiabilité générale du système

Simulations de rencontres d'environ 10 minutes :

Tout d'abord, il s'agit de voir si le nombre de rencontres enregistrées par les émetteurs est fonction de la distance de contact (Figure 9). Il n'y a pas de relation entre le nombre moyen de rencontres enregistrées et la distance.

Dans un deuxième temps, on s'intéresse au temps de rencontre enregistré par les émetteurs par rapport au temps de rencontre attendu dans chaque répétition de l'expérience. On considère le temps de rencontre enregistré d'un émetteur comme étant le temps entre la première fois où celui-ci détecte l'autre et le moment où celui-ci ne le détecte plus pour la dernière fois. Le temps de rencontre attendu étant le temps compris entre le moment où le premier émetteur capte l'autre et le moment où le dernier signal d'un des deux émetteurs est perçu.

En moyenne, les émetteurs enregistrent un temps de rencontre inférieur au temps attendu de 15s. Or, lors de la première répétition, un seul des deux émetteurs a enregistré la rencontre totale, le deuxième n'ayant jamais capté le signal du premier durant la rencontre. Il y a donc un émetteur qui a un temps de rencontre enregistré inférieur au temps attendu de 10 minutes et une seconde, ce qui augmente considérablement la moyenne sur l'ensemble de l'expérience. Si on ne considère pas cette rencontre ratée, la moyenne des temps de rencontre des émetteurs est inférieure aux temps attendus de 4s.

Il s'agit maintenant de voir les différences d'enregistrement dans l'ensemble de l'expérience afin de comparer l'enregistrement des données et de mesurer leur fiabilité.

Afin de pouvoir mieux comprendre et comparer les enregistrements réalisés dans chaque répétition de l'expérience, les rencontres enregistrées par les émetteurs ont été vectorisées. On distingue alors graphiquement lorsqu'un émetteur capte l'autre ou lorsqu'il ne le capte pas.

On retrouve 4 schémas d'enregistrements de rencontres différents parmi les 27 rencontres enregistrées au cours des 15 répétitions réalisées (Figure 10 a, b, c, d):

- (a): Les deux émetteurs n'enregistrent qu'une seule rencontre qui dure la totalité du temps de la répétition. Cela correspond au type de rencontre que nous attendions. 10 enregistrements de rencontres de ce type ont été observés.

-(b): Lors de ce type d'enregistrement, un des deux émetteurs enregistre une seule rencontre qui dure la totalité du temps, tandis que l'autre émetteur enregistre plusieurs rencontres dans le même temps. Lors de l'expérience, 10 rencontres présentant ce modèle ont été observées.

-(c): Dans ce graphique les deux émetteurs enregistrent des rencontres supplémentaires. Cela dit, à chaque moment de la rencontre, un des deux émetteurs enregistre des données. 5 rencontres semblables ont été observées.

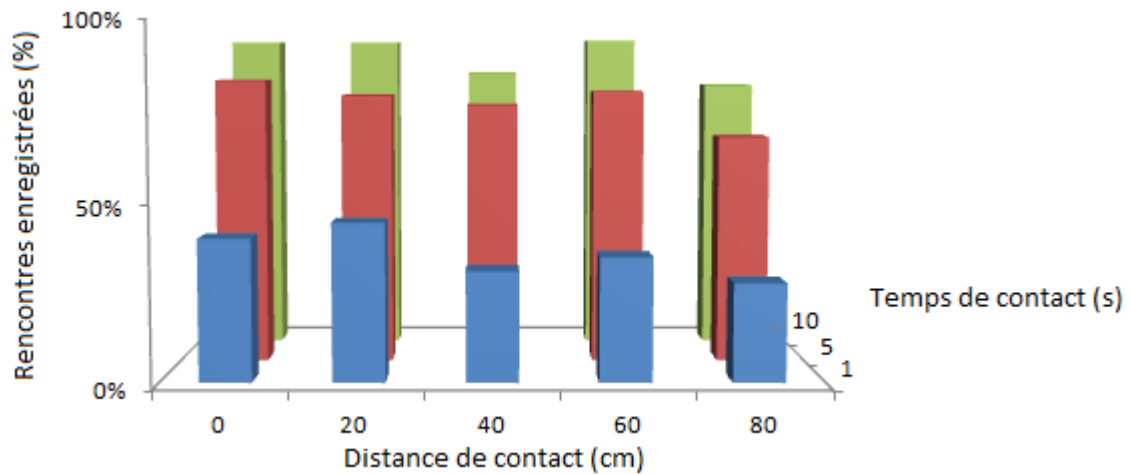


Figure 11. Pourcentage de rencontres enregistrées en fonction de la distance et du temps de contact entre émetteurs.

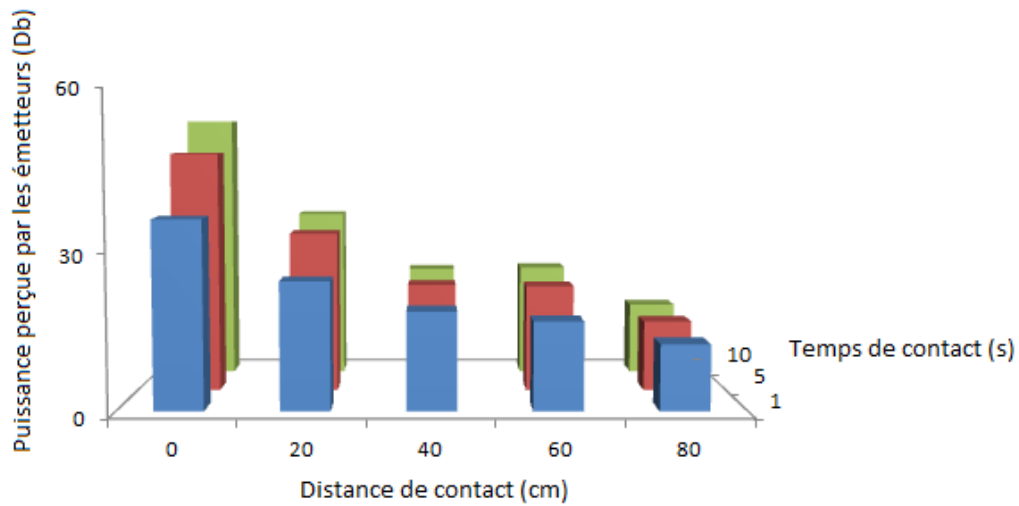


Figure 12. Puissance maximale perçue par les émetteurs en fonction de la distance et du temps de contact entre les émetteurs.

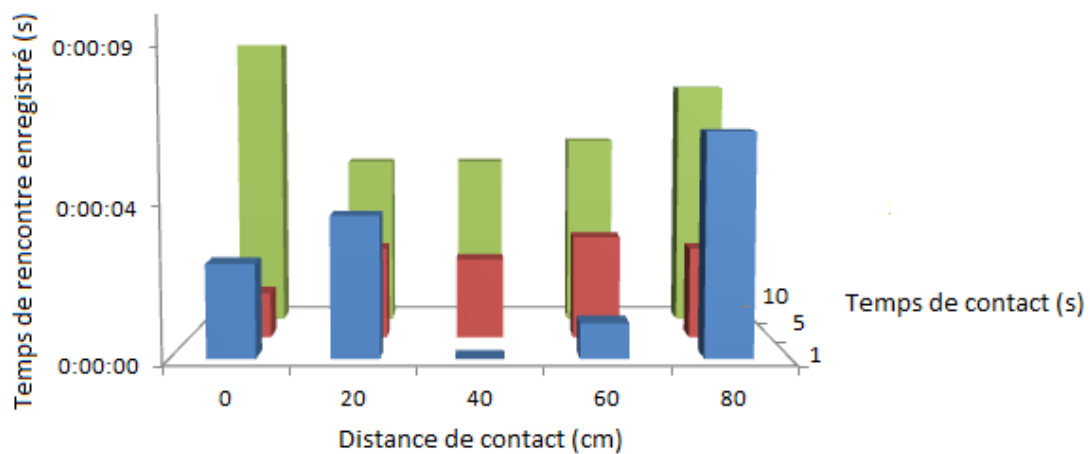


Figure 13. Temps moyen de rencontre enregistré par les émetteurs en fonction de la distance et du temps de contact entre les émetteurs.

-(d): Les deux émetteurs enregistrent des rencontres supplémentaires. Or, à la différence du schéma précédent (c), il y a au moins un moment où aucun des deux émetteurs n'enregistre de données avant la fin. 2 enregistrements de rencontres de ce type ont été observés.

Simulations de rencontres de courtes durées :

L'intérêt est d'abord porté sur l'effet de la distance et de la durée de contact sur l'enregistrement des rencontres. L'enregistrement des rencontres est mesuré en pourcentage du nombre de rencontres enregistré par rapport au nombre de rencontres attendu. (Figure 11).

La régression linéaire multiple montre qu'il y a un lien significatif faible entre la distance et le pourcentage de rencontres enregistrées ($p-v= 0,03$) en revanche le lien entre le pourcentage de rencontres enregistrées et le temps de contact est significatif et plus fort ($p-v= 2,4e-14$). Le pourcentage de rencontres enregistrées s'exprime sous la forme de l'équation:

$$\text{rencontres enregistrées (\%)} = 42,1 - (0,15 * \text{distance}) + (5,85 * \text{temps de contact})$$

Les pourcentages de rencontres enregistrées pour un temps de contact de 5s sont supérieurs de 40% à ceux enregistrés pour un temps de contact de 1s, quelle que soit la distance. Cela représente un enregistrement deux fois plus important pour un temps de contact de 5s que de 1s. La différence entre des temps de contact de 5s et 10s est plus faible, il y a environ 10% de rencontres en plus qui sont enregistrées pour un contact de 10s.

La puissance maximale enregistrée par les émetteurs est ensuite comparée à la distance et à la durée de contact entre eux (Figure 12). La puissance maximale est choisie, et non la puissance moyenne, car celle-ci reflète de manière plus fiable la distance minimale de rencontre entre les deux émetteurs. En effet, si on considère la puissance moyenne, celle-ci peut renseigner des données biaisées car les émetteurs peuvent enregistrer des données pendant leur rapprochement et pas seulement à la distance de rencontre voulue.

La régression linéaire multiple indique qu'il y a un lien significatif entre la puissance maximale enregistrée par les émetteurs et la distance de contact ($p-v= 3,9e-15$), il y a également une relation significative avec le temps de contact ($p-v= 0,001$). La puissance maximale enregistrée par les émetteurs s'exprime sous la forme de l'équation: Puissance max (Db)= $36,3 - (0,37 * \text{distance}) + (0,82 * \text{temps de contact})$

Dans l'ensemble, les puissances maximales perçues lors de contact de 5s et 10s sont comprises dans les intervalles de confiance du calibrage des émetteurs. Lors de contact de 1s, les puissances maximales enregistrées sont légèrement plus faibles que celles enregistrées lors du calibrage des émetteurs.

Enfin, le temps de rencontre moyen enregistré par les émetteurs par rencontre est comparé à la distance et à la durée de contact entre les émetteurs (Figure 13).

La régression linéaire multiple montre qu'il n'y a pas de lien significatif entre le temps moyen de rencontre enregistré par les émetteurs et la distance de contact ($p-v=0,62$). Au contraire il y a un lien significatif entre le temps moyen de rencontre enregistré par les émetteurs et le temps de contact ($p-v=0,005$). Le temps moyen de rencontre enregistré par les émetteurs s'exprime sous la forme de l'équation: Temps moyen (s)= $1,4 + (0,008 * \text{distance}) + (0,38 * \text{temps de contact})$

D'une manière générale, le temps de rencontre enregistré par les émetteurs ne correspond pas au temps de rencontre attendu. Lors des contacts de 1s, les émetteurs enregistrent en moyenne des

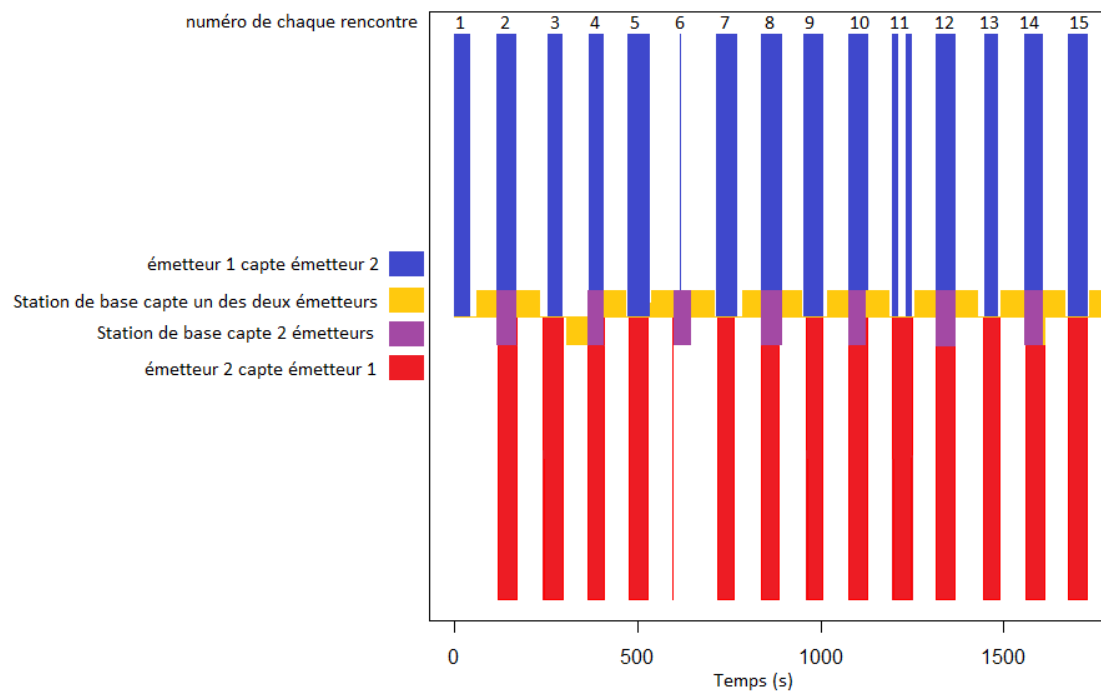


Figure 14. Représentation vectorielle de rencontres entre deux émetteurs et une station de base.

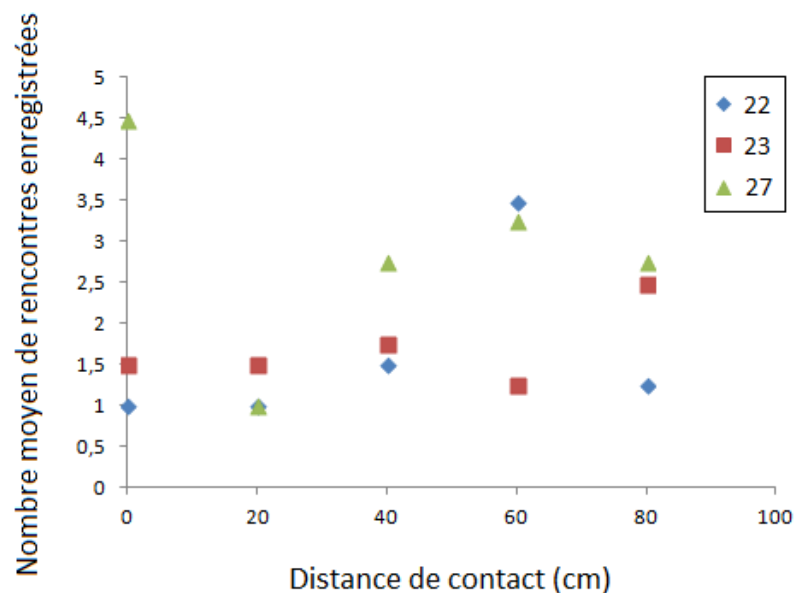


Figure 15. Nombre moyen de rencontres enregistrées par chacun des émetteurs en fonction de la distance de contact entre eux.

temps de contacts supérieurs aux temps attendus de 2s. Pour des contacts de 5s et 10s, le temps de rencontre enregistré est inférieur au temps attendu de respectivement 3s et 4s.

Localisation de rencontres avec une station de base :

Lors de l'expérience, une des deux stations de base n'a capté aucun signal provenant des émetteurs. Cela ne compromet néanmoins pas le but de l'expérience. En effet, les rencontres ont donc été réalisées, à tour de rôle, à portée de la station de base fonctionnelle puis hors de portée de celle-ci. L'une des répétitions de l'expérience a été vectorisée (Figure 14). Les rencontres 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 et 15 entre les émetteurs ont été effectuées hors de portée de la station de base tandis que les autres rencontres ont été effectuées à proximité de la station de base. La station de base a enregistré les rencontres entre émetteurs lorsque celles-ci se sont déroulées à proximité de la base. Dans le cas de la rencontre 6, les deux émetteurs ont partiellement manqué l'enregistrement de la rencontre entre eux. Cependant, la station de base a bien enregistré une rencontre avec chacun d'entre eux.

III. I. III. Effet émetteur

Dans l'expérience de rencontres de 10 minutes :

Dans l'ensemble de l'expérience, chaque émetteur (nommés 22, 23 et 27) a un nombre de rencontres attendu égal à 17. Or, l'émetteur 22 a enregistré 31 rencontres, l'émetteur 23 en a enregistré 33 et l'émetteur 27 en a enregistré 44. Il y a donc de la variabilité entre les émetteurs.

Le nombre moyen de rencontres enregistrées par les émetteurs lors d'une répétition de l'expérience est variable entre chaque émetteur pour chaque distance de rencontre (Figure 15).

L'intérêt est ensuite porté sur l'écart de temps enregistré par chacun des émetteurs par rapport au temps de rencontre total que chaque émetteur a réalisé durant l'expérience. Le temps de rencontre de référence de chaque émetteur est de 139 minutes. L'émetteur 22 enregistre un temps total de 1 minutes et 56 secondes de différence avec le temps de référence. L'émetteur 23 enregistre une différence de 11 minutes et 7 secondes et l'émetteur 27 enregistre une différence de 57 secondes. Cela représente un écart moyen avec le temps de référence de respectivement 23 secondes, 2 minutes et 13 secondes, et 11 secondes. Le décalage de l'émetteur 23 avec le temps de référence est due au fait que lors d'une répétition il a manqué une rencontre entière de 10 minutes et 6 secondes, sans quoi il aurait eu un décalage de 1 minute et 1 seconde avec le temps de référence.

Dans l'expérience de rencontres courtes durées :

Pour cette expérience trois émetteurs ont été utilisés (nommés 22, 23 et 27) et chaque émetteur a réellement réalisé 900 rencontres. On s'intéresse aux enregistrements de rencontres manquées par les différents émetteurs d'une façon globale.

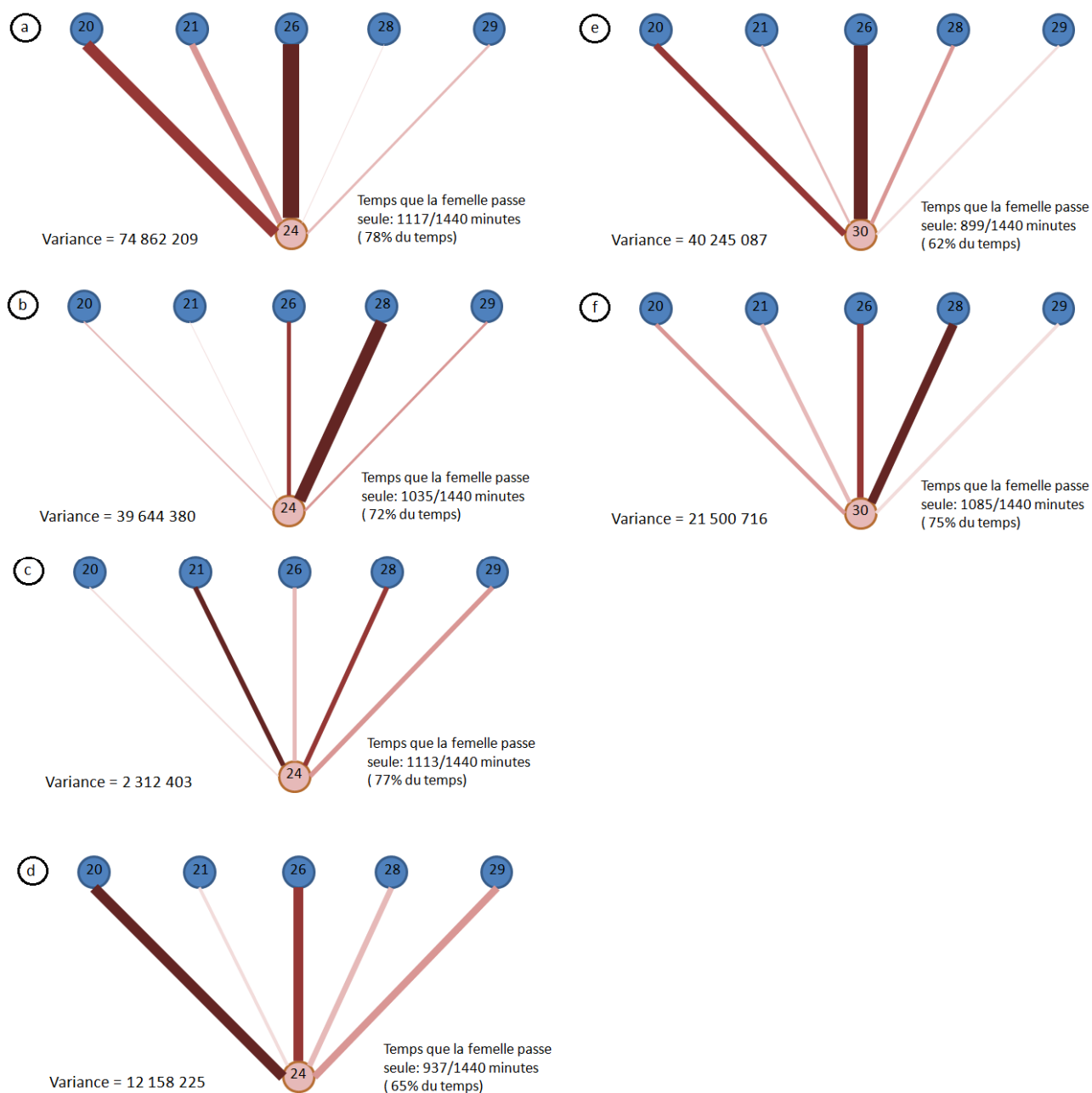


Figure 16. Réseaux schématisant la période depuis le début de l'expérience jusqu'à la fraie de la femelle 24 (a,b,c et d) et de la femelle 30 (e et f); Les ronds bleu pleins symbolisent les mâles, en rose les femelles. La variance (s^2) de l'intensité des liens des réseaux est inscrite à gauche et le temps que la femelle passe seule est à droite.

L'émetteur 22 a manqué 360 rencontres, l'émetteur 23 en a manqué 292 et l'émetteur 27 en a manqué 246 (ce qui représente respectivement 40%, 32% et 27% de rencontres manquées, toutes distances confondues).

Trois répétitions (avec un temps de contact de 10s et des distances de contacts de 0cm, 40cm et 80cm) sont analysées afin de voir plus précisément les différences d'enregistrement entre deux émetteurs mis en jeu dans une rencontre. Lorsque deux émetteurs se rencontrent, ils perçoivent le début de la rencontre avec un décalage moyen de 3 secondes à des distances de 0cm et 40cm et 7 secondes à 80cm. Au niveau de la fin de la rencontre, le décalage entre deux émetteurs est de respectivement 2s, 3s et 7s pour des distances de contact de 0cm, 40cm et 80cm. La différence de temps d'enregistrement de la rencontre est comprise entre 3 et 4 secondes. Enfin, la différence de puissance maximale enregistrée est de 3 Db à 0cm et 80cm tandis qu'elle est de 5 Db à 40 cm.

III. II. Expérience *in situ*: La reproduction de la truite.

Durant l'expérience, trois émetteurs placés sur les truites ont cessé de fonctionner 7 jours après la mise en place de l'expérience. Quatre autres émetteurs ont cessé de fonctionner trois jours plus tard et finalement le dernier émetteur s'est arrêté de fonctionner 13 jours après le début.

Lors de l'expérience, deux truites ont frayées. Ces fraies ont été visualisées à l'aide des caméras mises en place. Celles-ci ont permis l'identification des deux femelles sur leurs frayères ainsi que des mâles qui ont fécondés leurs œufs. Grâce à ces informations, nous sommes en mesure de savoir quels individus se sont reproduits et à quel moment précis la fécondation a eu lieu. En effet, la première fraie s'est déroulée environ 35h après le début de l'expérience avec la femelle n°30 et le mâle n°26 et la seconde fraie a eu lieu environ 92h après le début de l'expérience avec la femelle n°24 et le mâle n°26.

Dans un premier temps, des réseaux sont construits entre chacune des femelles ayant frayées et les mâles suivant le temps d'interaction entre eux (Figure 16). Ces réseaux représentent le temps de rencontre entre les individus depuis le début de l'expérience et jusqu'à la fraie des deux femelles par tranches de 24h à partir de la fraie. Le dernier réseau de chaque femelle a été rapporté sur 24h.

Dans le réseau symbolisant les 24h précédant la fraie on voit dans les deux cas que 26 est le plus en contact avec chacune des femelles, il passe 28% des 24h avec 24 et 24% avec 30. Le mâle 20 passe également beaucoup de temps avec les femelles, 20% de son temps avec 24 et 11% avec 30.

Pour voir plus en détail les 24h avant la fraie de chaque femelle, la variance du temps que la femelle passe avec chaque mâle heure par heure est représentée (Figure 17 a et d) ainsi que le temps que chaque mâle passe avec la femelle (Figure 17 b et e) et le lieu où se trouve la femelle (Figure 17 c et f) grâce aux stations de base.

Les graphiques (a), (b) et (c) portent sur la fraie de la femelle 30.

Tout d'abord, sur le graphique (a) on peut distinguer trois pics où la variance augmente nettement, représentés par les chiffres 1, 2 et 3 sur le graphique.

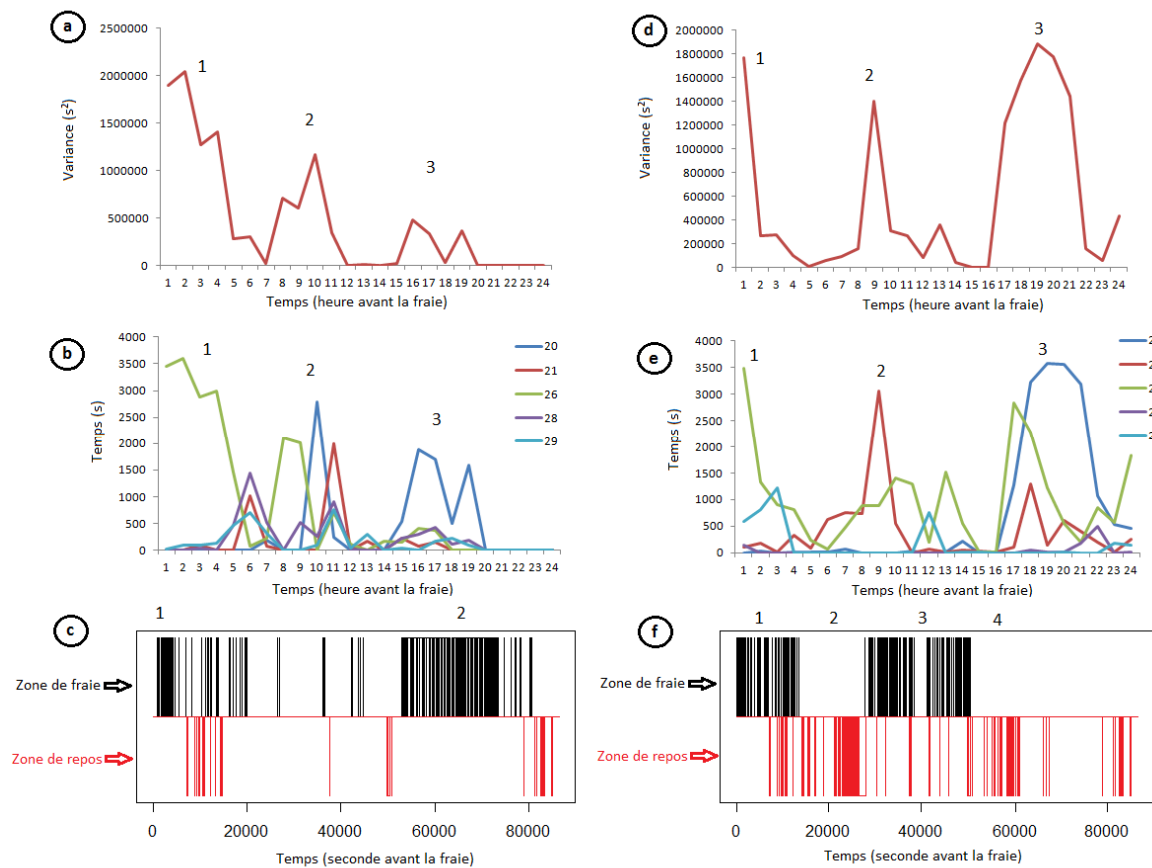


Figure 17. Représentations graphiques des 24h précédant la fraie de la femelle 24 (a, b et c) et 30 (d, e et f); a et d: variance du temps que tous les mâles passent avec la femelle; b et e: temps que chacun des mâles passe avec la femelle; c et f: représentation vectorielle de la localisation de la femelle par rapport aux stations de base (en noir pour la base en amont et en rouge pour la base en aval).

Lorsqu'on regarde sur le graphique (b), on retrouve ces trois pics. Le pic 3 correspond à un temps de contact entre le mâle 20 et la femelle nettement supérieur aux autres. Le pic 2 correspond à des temps de contact successifs des mâles 21, 20 et 26 avec la femelle qui sont successivement supérieurs à ceux des autres mâles avec la femelle. Enfin le pic 1 correspond à un temps de contact entre le mâle 26 et la femelle.

Le graphique (c) montre, les contacts enregistrés entre les stations de base et la femelle. La localisation de la femelle est majoritairement inconnue. On distingue tout de même deux périodes où la femelle était majoritairement sur la zone de fraie (bief amont).

Les graphiques (d), (e) et (f) portent sur la fraie de la femelle 24.

On remarque sur le graphique (d), comme sur le (a), une augmentation de la variance non linéaire avec plusieurs pics. On retrouve 3 pics où la variance augmente nettement, ils sont représentés par les chiffres 1, 2 et 3.

On retrouve ensuite ces 3 pics sur le graphique (e). Le pic 3 correspond à un temps de contact entre le mâle 20 d'abord et le mâle 26 ensuite avec la femelle. Ces temps de contacts sont largement supérieurs à ceux des autres mâles avec la femelle donc la variance est élevée. Le pic 2 correspond à un long temps de contact entre le mâle 21 et la femelle 9h avant la fraie. Le dernier pic correspond comme dans le graphique (a) au temps de contact entre le mâle 26 et la femelle, celui-ci ayant frayé avec les deux femelles.

Le graphique (f) montre, comme dans le (c), les contacts enregistrés entre les stations de base et la femelle. Encore une fois la femelle se trouve majoritairement hors de contact des bases. On peut tout de même distinguer 4 périodes: les périodes 1 et 3 où la femelle est restée la majeure partie du temps dans la zone de fraie (bief amont) et les périodes 2 et 4 où celle-ci est restée majoritairement dans la zone de repos (bief aval).

IV. Discussion

Expériences de simulation

Les expériences de simulations permettent de confronter des données recueillies avec des résultats attendus, ainsi cela nous permet de voir quels sont les possibles biais dans l'enregistrement de données. Ces expériences sont nécessaires avant d'expérimenter un nouveau dispositif ou un dispositif connu dans un milieu dans lequel aucune expérience n'a été menée avec. Ainsi, à la manière de Mennill et al., 2012, qui ont testé le dispositif Encounternet dans un milieu forestier tropical pour la mise en place d'une étude sur les Manakins à longues queue (*Chiroxiphia caudata*), nous avons testé le dispositif dans une rivière de moyenne montagne afin de voir les possibles applications sur l'étude de la reproduction de la truite commune. Pour le moment, le dispositif Encounternet a été utilisé exclusivement en milieux terrestres et les interactions mesurées étaient relativement longues et à des échelles spatiales très importantes. En effet, lors de l'étude menée par Rutz et al., 2012, qui fut la première réalisée à l'aide de ce dispositif, les distances d'interactions

considérées étaient de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres et les temps d'interactions relativement long. Dans le cas présent, le test de fiabilité est requis, tout d'abord pour voir si le dispositif est applicable en milieu aquatique et plus précisément pour savoir quels types d'interactions sont mesurables avec fiabilité.

Tout d'abord, le calibrage nous permet de voir que le système est applicable en milieu aquatique car les émetteurs émettent et perçoivent des signaux et transmettent des informations sur les signaux perçus. Il n'est cependant pas possible de retrouver précisément la distance d'interaction entre deux émetteurs à l'aide des données de puissances. Il est tout de même possible de considérer un intervalle de distance entre deux émetteurs à partir de la puissance de rencontre enregistrée par ceux-ci. De manière générale les données de puissances sont fiables, cependant elles ne sont pas précises.

La fréquence de signaux émis par les émetteurs (paramétrée à une émission toutes les 5 secondes dans les expériences réalisées) joue un rôle important dans le dispositif. En effet, on remarque que les rencontres de courtes durées ne fournissent pas une fiabilité optimale. Or, si la rencontre est de courte durée, il y a un plus grand risque que les émetteurs manquent des signaux émis par des émetteurs proches. Cela impacte tout d'abord le nombre de rencontres enregistrées mais également le temps de rencontre enregistré lorsque les émetteurs ne manquent pas l'enregistrement de la rencontre. Une manière de remédier à ce souci serait d'augmenter la fréquence de pulse (émission du signal) pour gagner en précision et optimiser la perception et l'enregistrement des signaux. Or, cela pose un problème par rapport à la batterie des émetteurs car si la fréquence de pulse est supérieure, l'énergie dépensée pour émettre les pulses sera plus grande. Dans le cas de la reproduction de la truite, le problème est de taille car la période de reproduction de celle-ci dure environ de novembre à janvier. Il est alors très difficile d'augmenter la fréquence de pulse, d'autant que la plupart des émetteurs utilisés dans notre expérience ont tenu de 7 à 10 jours. La solution alternative à ce problème est l'utilisation de panneaux solaires fixés sur les émetteurs, tel que dans l'expérience menée par Rutz et al., 2012 sur des corbeaux calédoniens (*Corvus moneduloides*). Cependant cette solution est impossible en milieu aquatique.

Lors d'une expérience d'une durée relativement longue, comme celle que l'on a réalisée sur la reproduction de la truite, le temps total de rencontre entre les émetteurs paraît être la mesure la plus exploitable. On peut considérer que les rencontres de courtes durées manquées sont négligeables. De plus, en considérant une rencontre entre deux émetteurs, à partir du moment où un des deux émetteur capte l'autre, le temps enregistré par les émetteurs est semblable à celui attendu. La différence d'enregistrement réside encore une fois dans le fait que les émetteurs ne perçoivent pas au même moment le début et la fin de la rencontre à cause de leur fréquence de pulse qui n'est pas coordonnée.

Au contraire, les données fournies sur le nombre de rencontres enregistrées sont peu fiables du fait du nombre important de rencontres de courtes durées qui sont manquées par les émetteurs. De plus, on observe une variabilité significative entre les différents émetteurs dans l'enregistrement des rencontres. Ces données ne vont pas pouvoir fournir une estimation précise.

D'une manière générale, sur l'ensemble d'une expérience telle que celle réalisée sur la truite, le temps de rencontre entre chacun des émetteurs semble être la donnée la plus fiable. En effet, à

l'échelle d'une expérience *in situ* de longue durée, les interactions de courtes durées sont négligeables et les interactions de longues durées sont fiables. Les mesures de puissances peuvent être utilisées pour évaluer la distance, seulement il faudra toujours considérer un intervalle de distance. Le nombre de rencontres au contraire est sûrement la donnée la moins fiable car une grande partie des rencontres de courtes durées n'est pas enregistrée.

Expérience in situ

L'expérience a été mise en place dans le but de mettre au point le système et de voir les applications possible par rapport à la reproduction de la truite. L'effectif de truites utilisé pour l'expérience ne permet pas de proposer des conclusions biologiques mais seulement de voir quels résultats sont exploitables et de quelle manière on peut optimiser le dispositif pour pouvoir l'appliquer à des effectifs plus conséquents.

La littérature actuelle ne traite que des interactions qui ont lieu au maximum quelques heures avant la fraie. En effet, jusqu'à aujourd'hui les études comportementales sur la reproduction de la truite ont principalement été faites à partir d'analyse de courtes séquences vidéo. Or il se pourrait que l'appariement des truites soit définis bien avant la fraie, auquel cas le dispositif Encounternet pourrait apporter des éléments de réponse. On pourrait imaginer plusieurs scénarios quant à l'appariement des truites. Tout d'abord, au niveau du choix des femelles, on peut imaginer que le choix du mâle reproducteur est séquentiel. C'est à dire que la femelle verrait les mâles un par un avant la fraie et exprimerait son choix ainsi. En effet, lors de l'étude menée par J. Labonne et al., 2009, les chercheurs ont analysés des séquences vidéo durant lesquelles les truites étaient sur leur frayères et exprimaient un choix envers les mâles. Or, les séquences vidéo étudiées ne sont pas situées temporellement par rapport à la fraie et il se pourrait que ce type de comportement ait lieu bien avant la fraie. Il se pourrait également que le choix des femelles pour le mâle avec qui elles vont se reproduire se fasse de manière simultanée, c'est à dire que tout les mâles soient présents en même temps. A ce moment là, la compétition entre les mâles est directe et l'appariement se fera en faveur du mâle le plus compétitif. Lors de l'expérience on peut penser que ces deux situations se soient présentées, d'une part on remarque des temps de contacts important entre une femelle et plusieurs mâles successifs et d'autre part, on peut voir des périodes où plusieurs mâles sont en contact en même temps avec la femelle.

Les données de localisation peuvent également fournir des éléments de réponse précieux dans la compréhension du comportement reproducteur. En effet, il est intéressant de savoir où ont lieu les interactions entre mâles et femelles afin de voir si il y a un effet sur l'appariement. Jusqu'à présent on ne trouve pas de littérature à propos des interactions hors de la zone de fraie, or sur ce point le dispositif Encounternet pourrait également apporter des réponses. Lors de l'expérience réalisée, on s'aperçoit que la localisation des femelles, dans le temps précédant la fraie, est majoritairement inconnu. Cependant, on remarque bien que au moment où la fraie a lieu les femelles sont clairement identifiées comme étant dans le bief de reproduction. Or, durant les heures précédentes il y a un grand nombre d'interactions avec les mâles qui ne sont pas situées. Cela sous entend que ces rencontres avec les mâles ont pu se dérouler hors de la zone de fraie et qu'il pourrait y avoir un choix

de la femelle ou une compétition entre les mâles en dehors de la zone de fraie. Il existe alors deux manières de remédier au problème de localisation qui a été rencontré lors de l'expérience. Tout d'abord, il est possible de régler les stations de bases au niveau de leur seuil d'enregistrement de rencontre. Si on augmente ce seuil, la portée des stations de bases quant à la détection du signal d'un émetteur sera accrue. Il est également possible d'ajouter des stations de bases dans chacun des biefs, sans modifier le paramétrage actuel afin de couvrir toute la zone d'étude. L'ajout de stations de base paraît préférable car cela permettrait également d'être plus précis quant à la localisation exacte des individus.

La modélisation des données obtenues peut se faire sous forme de réseaux, ils permettent de mieux visualiser les données mais aussi de nous renseigner sur la densité, la connectivité ou l'exclusivité des individus. Dans notre cas, les réseaux constituent l'unité statistique de l'étude et renseignent sur la densité des interactions. On pourrait s'attendre à ce que les réseaux soient de moins en moins denses et de plus en plus inégaux à l'approche de la fraie du fait de la dominance d'un mâle et probablement de l'exclusion de certains autres mâles. Naturellement, on s'attend à ce que le temps que la femelle passe avec le mâle avec qui elle a frayé soit supérieur aux autres à l'approche de la fraie. On remarque bien ici que le mâle qui a frayé avec les femelles passe nettement plus de temps que les autres en leur compagnie à l'approche de la fraie. On observe également une diminution de la densité par rapport à l'augmentation de la variance cependant le temps que les femelles passent seules ne semble pas diminuer. Néanmoins le nombre de réseaux obtenus lors de l'expérience étant trop faible, il n'est pas possible d'avancer de conclusions biologiques par rapport à ces réseaux. On peut tout de même se rendre compte que si l'expérience était répétée avec un effectif de truites plus grand et qu'un nombre de fraie conséquent était observé, il serait possible d'apporter des conclusions fiables.

Dans l'ensemble, le travail réalisé permet de voir que le dispositif Encounternet est bien fonctionnel en milieu aquatique. Il peut permettre de répondre à des questions auxquelles aucun autre dispositif ne peut répondre. Cela dit, il n'est pas infaillible et nécessite une mise au point suivant l'expérience que l'on souhaite réaliser et les interactions que l'on veut étudier. Pour optimiser la collecte de données il est nécessaire de simuler les interactions que l'on souhaite étudier afin de paramétrer au mieux les émetteurs.

Bibliographie

Croft D.P., James R, Krause J (2008) Exploring Animal Social Networks. *Princeton University Press*, Princeton

Holland K.N., Meyer C.G., Dagorn L.C. 2009. Inter-animal telemetry: results from first deployment of acoustic 'business card' tags. *Endang Species Res*, Vol. 10: 287–293.

James R., Croft D.P., Krause J. 2009. Potential banana skins in animal social network analysis. *Behav Ecol Sociobiol*, 63: 989–997.

Krause J., Krause S., Arlinghaus R., Psorakis I., Roberts S. and Rutz C. 2013. Reality mining of animal social systems. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 28, No. 9.

Labonne J., Augery M., Parade M., Brinkert S., Prevost E., Héland M., Beall E. 2009. Female preference for male body size in brown trout, *Salmo trutta*: is big still fashionable? *Animal Behaviour*. 08-00069R, 129-137.

Mennill D.J., Doucet S.M., Ward K.A., Maynard D.F., Otis B. and Burt J.M. 2012. A novel digital telemetry system for tracking wild animals: a field test for studying mate choice in a lekking tropical bird. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 663–672.

Rutz C., Burns Z.T., James R., Ismar S. M.H., Burt J.M., Otis B., Bowen J. and St Clair J.J.H. 2012. Automated mapping of social networks in wild birds. *Current Biology*. Vol 22, 117, pR669–R671.

Résumé

La présente étude a été réalisée dans le but de tester, mettre au point et appliquer un nouveau système de télémétrie, Encounternet, à l'étude de la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta*). Pour cela, dans un premier temps un test de faisabilité est réalisé afin de rendre compte de l'exploitabilité des données. Puis, les résultats obtenus permettront de tester des données recueillies préalablement dans une expérience réalisée en milieu contrôlé sur la reproduction de la truite. Deux types d'interactions ont d'abord été réalisées et testées, des interactions de courtes durées (1s, 5s et 10s), puis des interactions plus longues (environ 10 minutes), en faisant varier la distance entre les émetteurs. L'enregistrement des données sera ensuite comparé en fonction des émetteurs. On voit que l'enregistrement des données est très peu influencé par les distances de contact testées, en revanche le temps de contact impacte plus. Dans l'ensemble, les rencontres de courtes durées ne sont pas fiables, en particulier au niveau du nombre de rencontre et du temps de rencontre enregistré par les émetteurs qui ne correspond pas au temps de rencontre réel. L'expérience sur la reproduction de la truite montre un aperçu des données exploitables et une manière de les analyser par la création de réseaux sociaux. Il résulte que à l'échelle d'une expérience *in situ* d'une durée relativement longue, le temps de contact est la mesure la plus fiable car les erreurs d'enregistrement de rencontres de courtes durées sont négligeables. En revanche le nombre de rencontre ne peut pas être utilisé car il y a trop de rencontres de courtes durées non enregistrées. Les données de puissances renseignent sur la distance mais la précision est faible. Avant de réaliser une expérience à grande échelle avec le dispositif Encounternet, il est donc nécessaire de simuler les interactions d'intérêt afin d'optimiser la collecte de données.

Mots clés : *Salmo trutta*, télémétrie, Encounternet, fiabilité, mise au point, simulation, interaction, rencontre, réseau social.