



HAL
open science

Suivi de la reproduction du brochet en vallée de Meuse

Guillaume Gonzalez

► **To cite this version:**

Guillaume Gonzalez. Suivi de la reproduction du brochet en vallée de Meuse. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-03544050

HAL Id: dumas-03544050

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03544050>

Submitted on 26 Jan 2022

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

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



Source : FDPPMA 55

Suivi de la reproduction du brochet en vallée de Meuse

Département de la Meuse, Verdun (55)

GONZALEZ Guillaume

Promotion Freiburg (2015-2018)

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Stage réalisé du 15 janvier au 29 juin 2018

Sommaire

Sommaire.....	3
Sommaire des Tableaux	6
Sommaire des Figures	6
Sommaire des Annexes	7
Remerciements	8
Résumé	9
Abstract	9
Introduction	11
1. La structure d'accueil.....	13
1.1. Statut juridique	13
1.2. Missions générales de la FDPPMA55.....	13
1.3. L'étude de suivi de brochets par radiopistage	13
2. Le Brochet, présentation de l'espèce	15
2.1. Généralités	15
2.2. Les pressions sur le brochet.....	17
2.2.1. La végétation	17
2.2.2. La turbidité	18
2.2.3. Modification des débits	18
2.2.4. Le PH	19
2.2.5. Les radiations UV	19
2.2.6. Conclusion	19
2.3. La place du brochet en France	19
3. Etudes similaires : que connaît-on en écologie spatiale sur le brochet ?	21
3.1. Les différentes méthodes de suivis :	22
3.2. Diverses applications de l'écologie spatiale :.....	23
3.2.1. Les facteurs abiotiques.....	24
3.2.2. La reproduction comme facteur biotique	26
3.2.3. Evaluation de la fidélité aux sites et aux habitats	27
3.2.4. Habitats.....	27

3.2.5. Evaluation du domaine vital	27
3.2.6. Les impacts anthropiques	28

3.3. Conclusion	29
------------------------------	-----------

4. Matériels et méthodes 29

4.1. Présentation du site d'étude	29
--	-----------

4.1.1. Linéaire d'étude.....	30
4.1.2. Géologie.....	30
4.1.3. Topographie.....	31
4.1.4. Historique	32
4.1.5. Régime hydrologique.....	34

4.2. Méthode de marquage.....	34
--------------------------------------	-----------

4.3. Communication autour de l'étude	36
---	-----------

4.4. Prise de données et Base de données	36
---	-----------

4.4.1. Les facteurs abiotiques	36
4.4.1.1. Température et hauteur d'eau	36
4.4.1.2. Débit	37
4.4.2. La station fixe.....	37
4.4.3. Les pistages mobiles	38

4.5. Traitement de la base de données	39
--	-----------

4.5.1. Différentes métriques sur les individus	39
4.5.2. Données statistiques sur les pistages.....	40

5. Résultats 41

5.1. Découpage des données en Périodes et en groupes d'individus	41
---	-----------

5.2. Approche des résultats avec 7 individus	42
---	-----------

5.2.1. Déplacements globaux	42
5.2.2. Position latérale dans le « système fleuve »	43
5.2.3. Séparation individus issus du fleuve et individus issus de pisciculture ; variations individuelles.	43
5.2.4. Domaine vital et déplacements longitudinaux.....	44

5.3. Elargissement de la base de données.....	45
--	-----------

5.3.1. Comparaison des métriques en fonction des groupes d'individus retenus	45
5.3.2. Variations au sein des populations « fleuve » et « pisciculture »	45
5.3.3. Différences de stratégies choisies par les individus en fonction des périodes	46
5.3.4. La période de reproduction.....	46
5.3.4.1. Déplacements	46
5.3.4.2. Repérage des sites de fraies en pré-reproduction	47
5.3.4.3. Fidélité au site de fraie	48
5.3.4.4. Impact du barrage de Belleville-Sur-Meuse	48

5.3.4.5. Impact des ballastières	49
5.3.5. Les facteurs abiotiques	49
5.3.5.1. Débit	50
5.3.5.2. Température	51
5.4. Les annexes hydrauliques et le lit majeur	52
5.4.1. Fréquentation des annexes hydrauliques en fonction de la période.....	52
5.4.2. Différences de fréquentation et d'utilisation des annexes hydrauliques	52
6. Discussion	54
6.1. Les juvéniles.....	54
6.2. Les poissons issus de pisciculture.....	55
6.3. Le taux de perte	55
6.4. Impact des ballastières en lit majeur de cours d'eau	56
6.5. Impact des barrages	56
6.6. Limites de l'étude.....	57
Conclusion	59
Liste Bibliographique.....	60
Annexes	63

Sommaire des Tableaux

Tableau 1 : Détails des financements de l'étude	13
Tableau 2: Déplacement moyen des individus de présentation	43
Tableau 3: Déplacement moyen par période pour les poissons du fleuve et ceux de pisciculture	45
Tableau 4: Métriques Reproduction 2017, déplacements en km	47
Tableau 5: Métriques Reproduction 2018, déplacements en km	47
Tableau 6: Comportement Pré-Reproduction.....	47
Tableau 7: Pourcentage d'individus bloqués au barrage deBelleville-Sur-Meuse.....	48

Sommaire des Figures

Figure 1: Evolution du nombre des publications scientifiques sur <i>Esox Lucius</i> (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 1, <i>The web of science</i>).....	11
Figure 2 : Aire de répartition de <i>Esox Lucius</i> (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 14).....	15
Figure 3: Brochet adulte, Photo © A-C. Monnier www.refletsdeaudouce.fr	15
Figure 4: Brochet à l'état de juvénile, Photo © A-C. Monnier www.refletsdeaudouce.fr	16
Figure 5: Cycle de vie du brochet et végétation (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3, drawing by L. Jacobsen).....	17
Figure 6: Poissons ciblés par les pêcheurs à Berlin (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 12, modified from Wolter et al 2003)	19
Figure 7 : Déplacements journaliers d'un individu (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5, H. Baktoft unpublished data).....	22
Figure 8: Déplacements journalier moyens par période sur deux études (Source : <i>Biology and ecology of pike</i> , Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5, Kight 2006)	25
Figure 10 : Localisation du secteur d'étude (Sources : Wikipédia ; Géoportail)	29
Figure 9: Carte représentant le fleuve Meuse et son département (Source : Wikipédia).....	29
Figure 11: Géologie du site d'étude (source : Géoportail)	30
Figure 12: Profil altimétrique d'une section de la vallée de la Meuse (Source : Géoportail).....	31
Figure 13: Débordement de la Meuse le 5 janvier 2018 avec un débit de 180 m ³ (photo : FDPPMA55).....	31
Figure 14: Comparaison des photos aériennes du secteur d'étude de 1960 et 2014 (source : Géoportail ; remonterletemps.ing.fr)	32
Figure 15: Anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>) capturée sur le secteur d'étude lors des pêches électriques d'inventaire 2018 (Source : FDPPMA55)	33
Figure 17: Effectif et provenance des brochets marqués	34
Figure 16: Débits moyens mensuels calculés sur 25 ans (1993-2018) source : http://www.hydro.eaufrance.fr	34
Figure 18: Photo de la station fixe (batteries et récepteur) (Source: GONZALEZ Guillaume).....	37
Figure 19: Opérateur avec le matériel de radiopistage.....	38
Figure 20: Interface 3D-Exploreur.....	38
Figure 21: Deux brochets en fraie (Source: FDPPMA55)	46
Figure 22: Courbe de débit pour l'exemple.....	50
Figure 23: Exemple du numéro 20 (3D Explorer).....	57
Figure 24: Exemple de l'individu 20 avec la courbe des PK en fonction du temps.....	58

Sommaire des Annexes

<i>Annexe 1: Organigramme FDPPMA55</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 2: Détails 2016 des dépenses de l'étude</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 3: Détails 2017 des dépenses de l'étude</i>	<i>64</i>
<i>Annexe 4: 2 Sites favorables à la reproduction du brochet (Source : GONZALEZ Guillaume)</i>	<i>65</i>
<i>Annexe 5: Carte des annexes hydrauliques du secteur d'étude</i>	<i>66</i>
<i>Annexe 6: Informations sur les annexes hydrauliques</i>	<i>67</i>
<i>Annexe 7: Photos de la campagne de marquage (Source: FDPPMA55).....</i>	<i>68</i>
<i>Annexe 8 : Débit à Belleville-Sur-Meuse sur la durée de l'étude</i>	<i>68</i>
<i>Annexe 9: Capture d'écran de la tablette de terrain, application Orion Tool.....</i>	<i>69</i>
<i>Annexe 10: Exemple de feuille de terrain</i>	<i>70</i>
<i>Annexe 11: Echantillon de la base de données « détections »</i>	<i>71</i>
<i>Annexe 12: Echantillon de la base de données des opérations de pistage.....</i>	<i>72</i>
<i>Annexe 13: Echantillon de la base de données sur les informations poissons</i>	<i>73</i>
<i>Annexe 14: Code VBA pour traiter les données de position</i>	<i>74</i>
<i>Annexe 15: Métriques et tableaux obtenus grâce au code VBA.....</i>	<i>75</i>
<i>Annexe 16: Période temporelle et groupe d'individus retenus par comportement/évènement</i>	<i>75</i>
<i>Annexe 17: Diverses informations sur les brochets de présentation de l'étude</i>	<i>76</i>
<i>Annexe 18: Déplacement longitudinal en fonction du temps de 6 individus.....</i>	<i>77</i>
<i>Annexe 19: Comparaison fleuve/pisciculture sur le nombre de détection en fonction de la position latérale</i>	<i>78</i>
<i>Annexe 20: Nombre de détections en fonction de la position latérale par individu.....</i>	<i>79</i>
<i>Annexe 21: Boxplot des déplacements pour chaque individu</i>	<i>80</i>
<i>Annexe 22: Domaine vital, déplacement moyen et déplacement maximum (en km) de chaque individu.....</i>	<i>81</i>
<i>Annexe 23: Déplacement total des individus sur chaque période</i>	<i>82</i>
<i>Annexe 24: Comparaison des métriques d'échantillons d'individus de taille différente</i>	<i>82</i>
<i>Annexe 25: Boxplots déplacements moyens des brochets par groupes d'individus.....</i>	<i>83</i>
<i>Annexe 26: Déplacements des individus 24 et 26 durant la période de Pré-Reproduction</i>	<i>83</i>
<i>Annexe 27: Positions de l'individu 24 pendant la période de Pré-Reproduction</i>	<i>84</i>
<i>Annexe 28: Positions de l'individu 26 pendant la période de Pré-Reproduction</i>	<i>85</i>
<i>Annexe 29: Exemple de déplacements des individus 179 et 194.....</i>	<i>85</i>
<i>Annexe 30: Position des poissons piégés en ballastière</i>	<i>86</i>
<i>Annexe 31: Corrélacion déplacement-débit période de reproduction 2017.....</i>	<i>86</i>
<i>Annexe 32: Corrélacion déplacement-débit période de reproduction 2018.....</i>	<i>87</i>
<i>Annexe 33: Corrélacion déplacement-variation du débit période de « base » et période de crue 2018.....</i>	<i>87</i>
<i>Annexe 34: Corrélacion déplacement-variation du débit poissons issus du fleuve</i>	<i>88</i>
<i>Annexe 35: Déplacement moye par gamme de variation de débit</i>	<i>88</i>
<i>Annexe 36: Pourcentage d'individus détectés dans les annexes hydrauliques par pistage et débit.....</i>	<i>89</i>
<i>Annexe 37: Nombre de détections en annexes hydrauliques et nombre total d'individus.....</i>	<i>90</i>
<i>Annexe 38: métriques de l'année 2017 sur les annexes hydrauliques du secteur d'étude.....</i>	<i>91</i>
<i>Annexe 39: Quelques métriques de l'année 2018 sur les annexes hydrauliques du secteur d'étude.....</i>	<i>92</i>

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'ensemble des administrateurs et des salariés de la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques pour les moments partagés durant ces 6 mois de stage. Et plus particulièrement Mr. Eric RIBET, président de l'association, et Mr. Hervé SALVE, directeur de la Fédération, pour avoir rendu ce stage possible.

Un grand remerciement à Mr. Sébastien CORMONT qui a pris en charge cette étude, a créé cette offre de stage et a rempli parfaitement sa mission de maître de stage/d'encadrement.

Une pensée également à certains bénévoles ou administrateurs qui nous ont bien aidés lors des pêches électriques, mais aussi et surtout pour ces moments conviviaux partagés et le travail dans la bonne humeur. Je pense notamment à Mr. Denis BAZARD et Mr. Christian POMMET.

Merci à Mme. Anne-Cécile MONNIER de l'association « Reflet d'eau douce » pour nous avoir fourni quelques clichés de brochets d'excellente qualité. Ce fut un plaisir d'échanger au bord de l'eau pendant quelques séances de radiopistage lors de la traque d'individus en fraie, notamment sur les conseils de prises de vue aquatique.

Merci à Mr. Gérard GONCE, propriétaire du terrain sur lequel la station fixe est installée, qui a toujours été disponible et chaleureux. Ce fût un plaisir de pouvoir vous aider ou vous conseiller lorsque vous en avez eu le besoin.

Merci à Mr. Jean-Nicolas BEISEL pour son rôle de référent école et qui s'est montré à l'écoute et de bon conseil au moment venu.

Un grand remerciement à Mr. Romain ROY, responsable France du bureau d'étude PROFISH, qui nous a accompagné et aiguillé tout au long de l'étude sur plusieurs aspects et a toujours répondu présent.

Enfin, une attention toute particulière à Mr. Paul MASSARD, étudiant en master 2 à l'Université de Lorraine avec qui j'ai réalisé ce stage de fin d'études. Paul a su être un excellent partenaire de travail, un colocataire idéal mais surtout un ami très proche pour les années à venir.

Résumé

« Suivi de la reproduction du brochet en Vallée de Meuse »

La Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de la Meuse a mené une étude d'écologie spatiale sur le brochet grâce à un suivi télémétrique. Cette étude a commencé le 26 septembre 2016 et se poursuit jusqu'au 2 novembre 2018. 100 individus marqués ont été déversés dans le site d'étude, 7,5km du fleuve Meuse entre le barrage de Belleville-Sur-Meuse (France, 55) et le barrage de Charny (France, 55). 44 individus proviennent directement de ce secteur tandis que les 56 autres brochets sont issus de pisciculture. Au 6 juin 2018, plus de 5750 positions d'individus ont été enregistrées. Les individus meurent ou quittent le secteur d'étude rapidement, seulement 14 brochets sont encore présents dans le secteur à cette date. Cela limite le nombre de données exploitables.

Ce rapport s'intéresse principalement aux métriques de la période de reproduction. Cependant, plusieurs facteurs entrent en jeu et ont du être démontrés pour justifier que les périodes de crues sont étudiées à part, ainsi que les périodes de reproduction. Un comportement de « base » est déterminé entre le 1^{er} mai 2017 et le 8 novembre 2017. C'est aux métriques de cette période que sont comparées les métriques des autres périodes identifiées. Enfin, une séparation individus du fleuve/individus de pisciculture est réalisée en vue des différences observées entre ces deux populations. Sur un groupe de 14 individus, 9 du fleuve et 5 de pisciculture, le déplacement moyen entre deux détections sur la période « base » est de 98m pour les poissons du fleuve contre 355m pour les individus de pisciculture. Concernant ces individus du fleuve, le déplacement moyen s'élève à 285m pendant la Crue de 2018 et à 235m lors de la reproduction de 2018. Lors de ces événements, plus de 60% des individus sont localisés dans les annexes hydrauliques.

Mots clés : *Esox Lucius*, radiopistage, rivière, déplacements, reproduction, habitat, annexe hydraulique

Abstract

« Spatial ecology on pike's reproduction in the river Meuse »

The Meuse federation of fishing and protection of the aquatic environment realizes a study of spatial ecology on pike by a telemetry method. This study started on september 26th 2016 and will be ended on november 2nd 2018. One hundred marked pikes were put in the study site, 7,5km of the river Meuse between the dam of Belleville-Sur-Meuse (France, 55) and the dam of Charny (France, 55). 44 pikes come from the river and 56 are stocking pikes. On june 6th 2018, more than 5750 detections of pike were recorded. Pikes die or leave the study site quickly, only 14 of them are still alive in the study site. This has a great impact on the amount of available data. This report focus on metrics of the spawning period of pike. However, many factors interact and this has to be demonstrated to justify why the spawning periods and the flood periods are analyzed separately. A behaviour of « reference » is established between may 1st 2017 and novembre 8th 2017. The metrics of this « reference » will be confronted to thes metrics of the other periods identified. Finally, pikes from the river and stocking pikes are separated in two groups, because of the diffenrences observed between this two populations. On a group of 14 individuals, 9 from the river and 5 stocking pikes, the average shifting between two detections during the period of « reference » is 98m for individuals from the river against 355 for the stocking pikes. For this 9 pikes from the river, the average shifting is abou 285m during the flood period of 2018 ans 235m during the spawning period of 2018. On this two events, more than 60% of the marked pikes were found in hydraulic appendix.

Key words: *Esox Lucius*, telemetry, river, movements, spawning activity, habitat, hydraulic appendix

Introduction

La Directive Cadre Européenne impose aux états membres de protéger, d'améliorer et de restaurer toutes les masses d'eau de surface afin de parvenir à un bon état des eaux de surface au plus tard quinze ans après la date d'entrée en vigueur de la directive (Article 4 de la DCE). L'atteinte du bon état est fixée pour 2021 ou 2027 en fonction des masses d'eau. Concernant la Meuse à Belleville-Sur-Meuse (France, 55), le bon état écologique est fixé à 2027 par le SDAGE local. 10 opérations de restauration d'annexes hydrauliques et 6 opérations d'entretien ont été réalisées entre 2001 et 2016 par des structures associatives pour la pêche de loisir sur ce secteur afin d'atteindre ce bon état écologique. Le montant total investi sur le fleuve Meuse dans le département Meuse s'élève à plus de 330 000€. Le SDAGE impose un suivi de l'efficacité des travaux de restauration, et c'est ce qui a été entrepris par la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de la Meuse avec la réalisation d'une étude en écologie spatiale sur le Brochet. Le choix de cette espèce s'explique par le fait qu'il s'agit de l'espèce repère des cours d'eau de seconde catégorie piscicole qui a vu ses habitats favorables disparaître fortement ces dernières décennies. L'impact sur l'espèce est tel qu'elle a été classée comme espèce vulnérable par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). La majorité des travaux de restauration est alors tournée vers le brochet, en étant également favorable à tout un cortège d'espèces vu qu'il s'agit d'une « espèce parapluie ».

Cette perte en habitat peut expliquer la forte augmentation enregistrée dans les années 70 du nombre annuel de publications scientifiques sur le brochet (*Figure 1*). Avec en moyenne plus de 100 publications

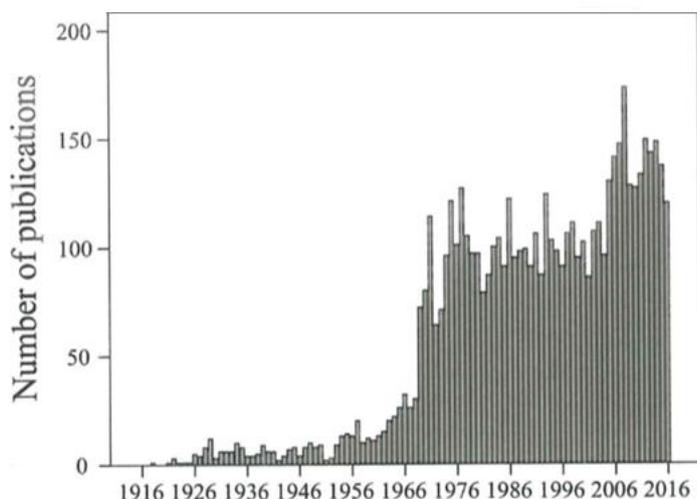


Figure 1: Evolution du nombre des publications scientifiques sur Esox Lucius (Source : Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 1, The web of science)

annuelles, l'intérêt porté vers cette espèce est certain. Effectivement, le brochet est recherché en priorité par les pêcheurs de loisirs et son poids économique dans le monde de la pêche est considérable.

Cette étude en écologie spatiale est réalisée par radiopistage. Ainsi, 100 individus ont été équipés d'émetteurs radio et ont été lâchés dans le fleuve Meuse entre le barrage de Belleville-Sur-Meuse (55) et le barrage de Charny (55). Ces deux obstacles infranchissables hors période de crue créent

un site d'étude de 7,5km de linéaire. Les positions sont relevées par séance de radiopistage, un opérateur parcourt le secteur d'étude avec un système de

réception. Cette étude a débuté le 26 septembre 2016 pour une durée de 1 an et a été reconduite pour une année supplémentaire. La date de fin est prévue au 2 novembre 2018. Parmi les 100 individus lâchés, 44 proviennent du secteur d'étude et 56 de pisciculture.

L'objectif principal de ce rapport est de caractériser la période de reproduction, et notamment en s'appuyant sur les différentes métriques liées aux déplacements des brochets marqués. Comment se comporte les brochets pendant cette période ? Quels sont les habitats choisis pour la fraie ? Quel est le rôle des annexes hydrauliques dans le cycle de vie de l'espèce ? Et principalement quel est l'impact des travaux engagés sur les annexes hydrauliques ces dernières années ?

Cependant, en vue de la quantité de facteurs pouvant être à l'origine des mouvements des individus, d'autres périodes que la reproduction vont être étudiées, et des paramètres déterminants comme le débit ou l'origine des poissons (fleuve ou pisciculture) vont être isolés. Ce rapport débutera par la présentation de la structure d'accueil, suivie de la présentation générale de l'espèce. Des éléments bibliographiques seront apportés ce qui a déjà été réalisé en écologie spatiale sur le brochet. Par la suite, un point matériel et méthode permettra de présenter le cadre de l'étude avant de déboucher sur les parties « résultats » et « discussion ».

Note : -Les citations bibliographiques de ce rapport sont pour la plupart extraites d'une synthèse bibliographique publiée en 2018 nommée « Biology and Ecology of Pike » de Christian Skov et P. Anders Nilsson. Il s'agit d'un livre de 401 pages rédigé en anglais synthétisant les différents savoirs accumulés ces dernières décennies sur l'espèce. Le parti pris de ce rapport est d'analyser cette synthèse et de s'appuyer dessus afin d'aller beaucoup plus loin dans la partie bibliographique. **De ce fait, toutes les citations d'études provenant de ce livre seront suivies d'une « * » pour le signaler. Toutes les citations qui ne sont pas suivies d'une étoile proviennent d'une autre source.**

-Certains graphes de la partie « résultats » sont placés dans les annexes pour alléger le texte principal, même si ils sont primordiaux à la compréhension du texte.

1. La structure d'accueil

1.1. Statut juridique

La Fédération de la Meuse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA) est une association à but non lucratif qui relève de la Loi du 1^{er} juillet 1901. Elle a été fondée en 1912 et regroupe les 48 Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) meusiennes ainsi que plus de 12000 pêcheurs. Elle est au même titre que les autres fédérations départementales, adhérente à la Fédération Nationale de la pêche en France et de la Protection des Milieux Aquatiques (FNPF). Il s'agit d'une institution qui représente la pêche en eau douce et la protection du milieu aquatique français et qui fut créée suite à la Loi sur l'Eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006.

Chargée de par la Loi de missions d'intérêt général, la Fédération départementale de la Meuse a le caractère d'établissement d'utilité publique. Il s'agit d'un partenaire privilégié pour tous les acteurs institutionnels qui interviennent dans le domaine de l'eau : Préfecture, Direction Départementale des Territoires, Agence Française pour la Biodiversité, Agences de l'Eau, Conseil Départemental...

Son organigramme est disponible en [Annexe 1](#). Les décisions politiques prises par son Conseil d'Administration composé de 12 membres en 2018 sont mises en œuvre par un personnel administratif et technique de 7 salariés. Ce personnel est régulièrement appuyé par plusieurs stagiaires ou services civiques.

1.2. Missions générales de la FDPPMA55

La FDPPMA55 se doit de réaliser plusieurs missions transverses alliant la protection des milieux aquatiques et le développement durable de la pêche de loisirs. Elle est responsable de la restauration et de la surveillance du domaine piscicole départemental, de la coordination des AAPPMA adhérentes, de la promotion et le développement de la pêche de loisir, ainsi que de la sensibilisation à la protection des milieux aquatiques. Elle assure également un soutien technique aux AAPPMA qu'elle encadre.

D'un point de vue financier, elle assure la collecte auprès des AAPPMA de la redevance pour la protection des milieux aquatiques (reversée aux Agences de l'Eau) et de la Cotisation Pêche et Milieu Aquatique (réservée à la FNPF).

1.3. L'étude de suivi de brochets par radiopistage

Dans le cadre de ses missions, la FDPPMA55 est donc porteur de projet d'étude tel que le suivi par radiopistage du brochet, initiée en 2016 et poursuivie en 2017. Les trois financeurs sont l'Agence de l'Eau Rhin Meuse (AERM), la FNPF, et la FDPPMA55. Un résumé des financements est disponible dans le [tableau 1](#).

Tableau 1 : Détails des financements de l'étude

Financeurs	2016		2017	
	Pourcentage	Coût € (TTC)	Pourcentage	Coût € (TTC)
AERM	50%	54 751,70 €	50%	51 524,33 €
FNPF	23%	25 000,00 €	25%	25 762,17 €
FDPPMA 55	27%	29 751,70 €	25%	25 762,17 €
Total		109 503,40 €		103 048,66 €

Le détail des dépenses est quant à lui disponible en [Annexe 2](#) pour l'année 2016 et en [Annexe 3](#) concernant l'année 2017. L'étude a pu être financée par l'Agence de l'Eau puisqu'elle rentre dans le cadre de suivis post-travaux exigés par cet organisme. Plusieurs restaurations d'annexes hydrauliques ont été réalisées sur le secteur d'étude et cette étude de suivi va permettre de juger l'efficacité de ces travaux.

Les premiers lâchers de poissons équipés d'émetteurs ont eu lieu le 26 septembre 2016. Sur la première année, 19 brochets pêchés dans le fleuve Meuse sur le secteur d'étude ont été équipés d'émetteurs et relâchés sur ce même secteur. Ce lot a été complété avec 36 poissons de pisciculture portant le nombre total d'individus à 55.

45 autres individus équipés ont rejoint le secteur d'étude (25 de fleuve et 20 de pisciculture) à l'automne 2017 pour assurer le suivi sur une année supplémentaire, portant ainsi l'échantillon total à 100 individus.

Sur l'ensemble de l'étude (jusqu'au 6 juin 2018), 157 campagnes de radiopistage ont été réalisées, 5756 détections ont été enregistrées dans la base de données, 1470km de berges cumulées ont été parcourues par les opérateurs de pistage, pour une prospection de 990km de linéaire de fleuve cumulés et de 270km de linéaire d'annexes hydrauliques cumulés.

A ces chiffres peuvent s'ajouter les prospections en dehors du secteur d'étude, représentant tout de même 86km de berges parcourues pour 60km de cours d'eau et 10km d'annexes hydrauliques.

Depuis le 15 janvier 2018, date à laquelle mon stage a débuté, 61 campagnes de radiopistages ont été réalisées, le nombre de détections s'élève à 2452, pour 660km de berges parcourues, 405km de fleuve prospectés et 151km d'annexes hydrauliques.

En moyenne, ce sont 91% des individus qui sont détectés à chaque pistage. Depuis le 15 janvier 2018, la proportion s'élève à 93%. La méthode de suivi peut donc être considérée comme efficace.

2. Le Brochet, présentation de l'espèce

2.1. Généralités

Le grand brochet (*Esox lucius*) fait partie des Esocidae, famille à la répartition holarctique, ce terme désignant une présence sur les territoires au nord du tropique du Cancer exclusivement. Il s'agit tout de même d'une espèce mésothermique ce qui lui permet de s'adapter à une large gamme de température (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3), ce qui peut expliquer son aire de répartition (figure 2). Cette famille est composée de 7 représentants, dont 2 découverts durant la dernière décennie, qui séparent *Esox lucius* en 3 espèces, *Esox lucius*, *Esox transalpinus* et

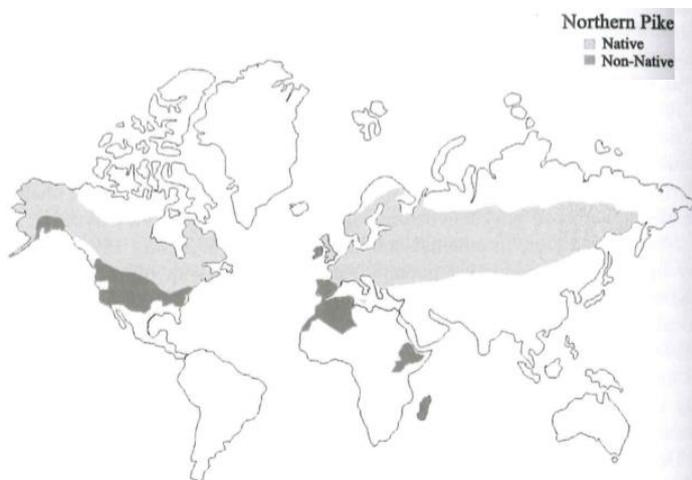


Figure 2 : Aire de répartition de *Esox Luciusc* (Source : Biology and ecology of *Esox cisaplinus*. pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 14)

Le grand brochet est une espèce d'eau douce et saumâtre, on le retrouve dans les lacs, les rivières et la mer



Figure 3: Brochet adulte, Photo © A-C. Monnier www.refletsdeaudouce.fr

Baltique. Il a un régime alimentaire varié puisqu'il peut être presque exclusivement piscivore comme consommer des rongeurs, oiseaux, écrevisses, vers de terre ou batraciens en fonction de la ressource disponible. Durant leur premier stade de vie, les brochets se nourrissent de petits organismes comme le zooplancton et d'autres invertébrés. La diversité et

l'abondance des ces organismes augmente avec la complexité des habitats (Kohn and Leviten 1976*, Eklöv 1997*). En combinaison avec des eaux peu profondes, les zones végétalisées produisent des eaux plus chaudes au printemps avec plus de nutriments et de substrats garantissant une production de zooplanktons plus élevée (Jeppesen et al 1997*). La végétation aquatique rend ici un premier service écosystémique d'approvisionnement. Quand le brochet grossit, la végétation joue également un rôle important permettant l'embuscade, la chasse à l'affût (Casselmann and Lewis 1996*). En effet, au lieu de se déplacer pour chercher des proies, le brochet compte sur le mouvement de ces dernières pour les rencontrer, en restant principalement à l'affût, caché dans des structures comme la végétation pour les surprendre (Diana 1979*). Le service écosystémique d'approvisionnement rendu par la végétation ne se limite donc pas au stade juvénile des brochets mais s'étend à la totalité de son cycle de vie.

Même si le brochet est souvent considéré comme le top prédateur de son réseau trophique, il reste néanmoins une proie pour des insectes, des oiseaux, et d'autres poissons incluant le cannibalisme, lors de ses premiers stades de vie (*Figure 4*) pendant lesquels sa taille n'est pas imposante (Giles et al 1986*, Pedreschi et al 2015*). Si le cannibalisme est principalement visible chez les juvéniles, le brochet peut avaler une proie mesurant jusqu'à 80% de sa propre taille (Bry et al 1992*), ce qui augmente le risque de



prédation jusqu'à des tailles relativement élevées. Il doit donc se cacher pendant une bonne partie de son cycle de vie, et c'est dans la végétation aquatique qu'il trouve principalement un abri. Cette dernière rend alors un service écosystémique de soutien au brochet en lui offrant un habitat, que ce soit pour se mettre à l'abri ou pour se nourrir, et donc garantit deux de ses besoins vitaux.

Concernant son troisième besoin vital, la reproduction, la végétation occupe ici

Figure 4: Brochet à l'état de juvénile, Photo © A-C. Monnier www.refletsdeaudouce.fr

aussi un rôle prépondérant. Le brochet est une espèce phytophile à migration holobiotique, il a besoin de végétaux pour fixer ses œufs après avoir effectué un déplacement au sein du cours d'eau pour trouver sa zone de reproduction (Les annexes hydrauliques de la Moselle, actions en faveur de la reproduction du brochet ; Reflet d'Eau Douce). Il s'agit d'un comportement beaucoup décrit en Europe du nord et en Amérique du nord. Les plantes sont considérées comme un stimulant visuel qui amorce la fraie, lorsque la température et la luminosité sont optimales. La reproduction ne commence pas tant que la végétation appropriée n'est pas en place, c'est un paramètre aussi important que la température, et qui est favorable lorsque le niveau de l'eau a suffisamment augmenté pour que des zones végétalisées soient submergées (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3). Des essais expérimentaux ont permis de montrer que les femelles se tiennent 5 à 15cm au dessus d'une végétation courte et évite les zones sédimenteuses dépourvues de végétation et les roseaux émergents (Fabricius and Gustafsson 1958*). Les mêmes observations ont été réalisées sur le terrain (Fabricius and Gustafsson 1958*). Les œufs ont une surface adhérente qui leur permet de se fixer sur les plantes dans la colonne d'eau. Ceci afin de ne pas atterrir sur le fond au niveau des sédiments où de la matière en décomposition provenant de détritus ou d'algues filamenteuses peut engendrer un faible têt d'oxygène ou d'autres facteurs limitant comme une concentration élevée en sulfure d'hydrogène (Siefert et al 1973*, Fago 1977*, Casselman and Lewis 1996*). Les larves qui sortent des œufs après 6 à 10 jours de développement se fixent également sur la végétation en utilisant des papilles adhésives fixées sur sa tête (Frost and Kipling 1967*, Raat 1988, Cooper et al 2008*). Les structures de fraies adaptées regroupent presque tous les types de macrophytes, ainsi que de la végétation émergente, des plantes terrestres submergées comme l'herbe, les carex ou les mousses (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3). Dans les rivières ou les retenues, les prairies inondables ainsi que les autres plantes terrestres semblent être les substrats préférés s'ils sont accessibles (Casselman and Lewis 1996*). Ce qui est confirmé par Fortin et al 1983* qui a montré dans une rivière canadienne que le nombre maximal d'œufs pondus était retrouvé sur les prairies inondées, les pâturages et les zones d'herbes arbustives. Lors de notre étude, nous avons pu observer à plusieurs

reprises des brochets en reproduction sur le secteur d'étude. Les lieux de fraies étaient à chaque fois des prairies inondées avec de l'herbe comme végétation. Des photos sont disponibles en [Annexe 4](#). Trois poissons en fraie ont été observés sur ce site le 14 mars 2018, dont l'individu 166 avec un autre mâle et une grosse femelle non marqués.

Ainsi, le cycle de vie du brochet peut être schématisé par sa dépendance à la végétation (*Figure 5*).

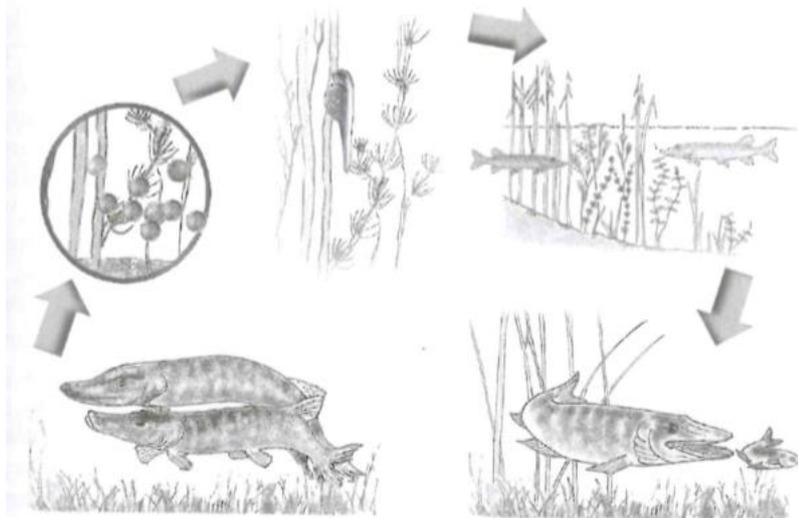


Figure 5: Cycle de vie du brochet et végétation (Source : Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3, drawing by L. Jacobsen)

2.2. Les pressions sur le brochet

Les principales pressions qui s'exercent sur le brochet concernent la perte de ses habitats. Ces dégradations affectent la survie de l'espèce car elles touchent à plusieurs phases de son cycle de vie, que ce soit le stade juvénile, la reproduction, et le stade adulte.

2.2.1. La végétation

Plusieurs notions ont déjà été abordées dans le paragraphe précédent concernant le rôle de la végétation dans le développement du brochet. Son rôle primordial dans la phase de reproduction des brochets est largement décrit dans la bibliographie. Cependant, l'importance de la végétation pour la réussite du stade larvaire du brochet est revendiquée comme étant encore plus importante que pour la fraie (Casselman and Lewis 1996*), il s'agit de l'état des nurseries des juvéniles. A titre d'illustration, dans la partie supérieure de la rivière Mississippi, lors de l'étude Holland and Huston (1984)* il a été trouvé 10 fois plus de juvéniles de l'année dans la végétation émergente, et 3 fois plus dans la végétation submergée, comparées aux zones de pleine eau.

Les profondes modifications morphologiques qu'ont subit les cours d'eau, comprenant bien souvent la rectilignisation de leur tracé, une artificialisation des berges ainsi que le dragage du lit mineur sont des sources de la perte de végétation aquatique. Lors de l'étude Sandström et al 2005*, il a effectivement été démontré une abondance limitée de larves de brochet dans les zones draguées.

Un autre facteur influençant la végétation est l'hydrologie des cours d'eau. Le cas du fleuve Saint-Laurent en est un bon exemple. Ce fleuve connaît depuis quelques années un régime hydrologique altéré qui a favorisé la croissance des Typha (Farrell et al 2010*). Or ces plantes ne sont pas adaptées à la fraie du brochet et leur sur-densité entrave l'accès vers des prairies de carex, habitat favorable pour la reproduction de l'espèce (Farrell 2001*). Depuis cette perte d'habitat, des brochets ont été observés en train de fraier

dans des zones allant jusqu'à 6m de profondeur, au dessus de la végétation submergée (Farrell et al 1996*, Farrell et al 2006*, Pierce et al 2007*) malgré un taux de réussite limité dans de telles profondeurs (Farrell et al 2006*), entraînant une reproduction beaucoup moins efficace.

L'augmentation de la température est un autre facteur agissant sur la végétation. Cela favorise l'eutrophisation et peut déranger le brochet en provoquant une augmentation de la turbidité de l'eau et un changement de végétation (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3). L'étude Leslie and Timmins 1992* a permis de montrer comment la turbidité et l'habitat (végétation) sont extrêmement liés, et une mortalité importante des larves sur les zones en manque de végétation a été démontrée.

2.2.2. La turbidité

Au-delà de la destruction et de la modification de la végétation aquatique, l'augmentation de la turbidité est un facteur qui va impacter le brochet puisque ce dernier est un prédateur qui utilise principalement sa vision pour détecter ses proies et ses prédateurs (Craig and Babaluk 1989*). L'augmentation de la turbidité est un facteur qui agit de nos jours négativement sur l'espèce, son impact sera encore plus important dans les années à venir. En effet, avec le changement climatique, les eaux vont être de plus en plus brunes dû à des précipitations plus importantes, donc plus de ruissellement et plus de matières organiques entraînées dans les cours d'eau (Hongve et al 2004*). Ce phénomène est même considéré comme un problème majeur pour les brochetons dans les décennies à venir (Hongve et al 2014*). Dans les milieux concernés, les poissons ne pourront pas grossir jusqu'à leur taille maximale à cause d'une alimentation non optimale dû à une luminosité plus faible (Jönsson et al 2011*). L'augmentation de la turbidité agira comme un facteur limitant pour les individus dans ces milieux (Ask et al 2009, Karlsson et al 2009*).

2.2.3. Modification des débits

Les prairies inondables sont de plus en plus rares, dû fait de l'incision du lit mineur (déconnexion) et de la destruction de ces milieux par les modifications des pratiques culturales (diminution des surfaces enherbées). Cependant, les modifications anthropiques et naturelles des régimes hydrauliques que connaissent aujourd'hui les rivières rendent également l'accès à ces zones favorables à la reproduction du brochet de plus en plus rare ou de moins en moins optimal. Le drainage des parcelles qui favorise l'évacuation rapide de l'eau vers les cours d'eau, et les modifications morphologiques apportées à ces cours d'eau dans le but d'évacuer plus rapidement les crues, diminuent la capacité de rétention en eau du milieu. Les périodes de hautes eaux ont tendance à durer moins longtemps ou à être plus fluctuantes. Or l'instabilité de submersion des prairies est une menace pour la reproduction du brochet. En effet si les niveaux d'eau sont instables après la fraie et/ou déclinent plus rapidement, cela risque de laisser ces zones inondées trop rapidement hors d'eau, les œufs de la fraie attachés aux herbes vont sécher et la reproduction sera un échec (Threinen 1969*). Lors de l'étude Johnson (1957)*, cet impact de fluctuations du niveau d'eau a pu être mis en avant dans un petit lac peu profond de 2 hectares dans le Minnesota. Il a été observé sur une période de 7 années, que l'année où la baisse du niveau d'eau a été la plus faible durant la période d'incubation des œufs (9cm) coïncidait avec la classe d'âge de brochets la plus forte dans le milieu(1,69 fois plus que la taille moyenne des classes d'âge sur la période de 7 ans).

2.2.4. Le PH

Dans les années 70 à 80, lorsque les lacs se sont acidifiés dû à la pollution industrielle au soufre et à l'oxyde d'azote, le PH a été largement étudié en relation à l'absorption de métaux lourds dans les brochets ou dans les autres poissons (Spry and Wiener 1991*). Le stade larvaire des brochets est le stade principalement affecté par cette acidification des eaux. La croissance est sévèrement réduite pour des PH de 5,5 et la survie et le développement sont altérés pour des ph inférieur ou égaux à 5 (Duis and Oberemm 2000*). Pour appuyer ces résultats, l'étude Johansson and Kihlström 1975* affiche une mortalité des larves de brochet de 17% à PH=6,8 ; 26% à PH=5 et 97% à PH=4.

2.2.5. Les radiations UV

Le changement climatique va également provoquer une augmentation des radiations UV (Taalas et al 2000*). Or, l'étude Häkkinen et al (2004)* montre dans différentes expériences que la mortalité des larves de brochets augmente de 10 à 20% après 3 jours d'exposition à des radiations d'UV-B.

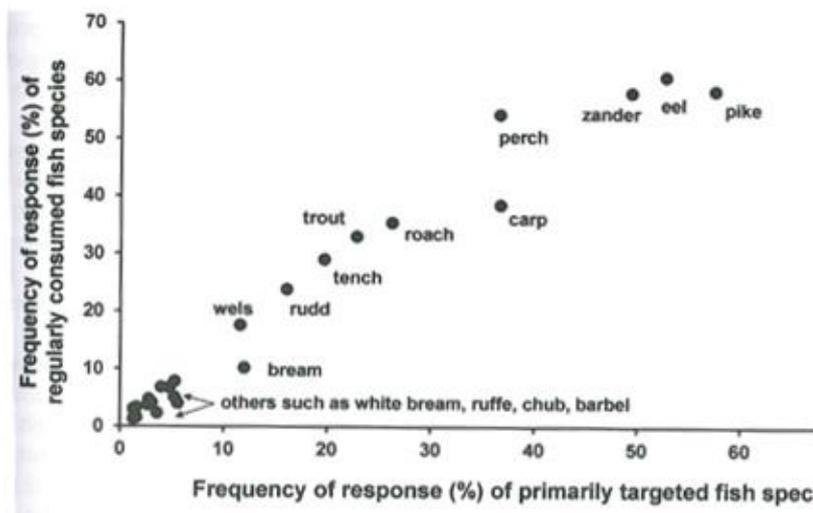
2.2.6. Conclusion

Plusieurs facteurs ont tendance à rendre l'habitat du brochet moins accueillant et à provoquer la mortalité des juvéniles de l'espèce. Ces paramètres ont été étudiés séparément et des synergies aux conséquences encore plus dramatiques apparaîtront en réalité. De véritables questions se posent alors sur le devenir de l'espèce. Fang et al 2004* a même démontré que le réchauffement climatique va rendre des lacs moyennement profonds (austin Texas USA) inhabitables pour le brochet et d'autres espèces d'eau douce, et pour cause un réchauffement de l'eau trop important en été. Cette espèce étant tout de même résistante envers la dégradation de plusieurs facteurs abiotiques, les effets du changement climatique dépendront certainement de la distribution géographique et de la latitude (Jeppesen et al 2012*).

A cela se rajoute les pressions de pêche. Le brochet est effectivement une espèce très prisée et majoritairement recherchée dans les eaux de l'hémisphère nord. Cet aspect est plus amplement abordé dans la partie suivante.

2.3. La place du brochet en France

D'après Donaldson et al 2011, les pêcheurs amateurs recherchent les poissons top-prédateurs de manière préférentielle. Le brochet fait alors partie des espèces les plus recherchées sur son aire de répartition,



l'hémisphère nord (Arlinghaus et al 2008a*, Crane et al 2015*). Lors d'une étude à dimension sociale, Wolter et al 2003* a réussi à mettre en évidence la place qu'occupe le brochet aux yeux des pêcheurs. Il a interrogé les pêcheurs de la capitale allemande, Berlin, sur le type d'espèces qu'ils recherchaient particulièrement, ainsi que la fréquence de consommation des poissons capturés. (Figure 6). Plus d'un pêcheur sur 2 affirme rechercher

Figure 6: Poissons ciblés par les pêcheurs à Berlin (Source : Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 12, modified from Wolter et al 2003)

en priorité le brochet, pour un taux de consommation sensiblement identique.

Il n'y a pas d'études similaires en France mais il est facilement compréhensible que la situation est sensiblement identique. Une fermeture spécifique est appliquée à l'espèce, de fin janvier jusqu'au 1^{er} mai. La majorité des produits de pêche vendus ainsi que la communication autour de ces produits tourne autour de cette espèce. Avec plus de 1 500 000 pêcheurs et 3700 associations, la FNPF (Fédération Nationale pour la Pêche en France) estime l'impact économique de la pêche à 2 milliards d'euros (www.federationpeche.fr), ce qui laisse imaginer le poids économique du brochet en France.

Combinée à une forte pression de pêche, la perte de ses habitats, dont les frayères, a favorisé le déclin de l'espèce. En effet, elle est très sensible au bon état de sa chaîne alimentaire, mais également à la diversité et la qualité de son milieu. Si le milieu lui est favorable il est favorable à tout un cortège d'espèces, il s'agit d'une espèce parapluie (Les annexes hydrauliques de la Moselle, actions en faveur de la reproduction du brochet ; Reflet d'Eau Douce). *Esox lucius* est donc considéré comme l'espèce repère des zones cyprinicoles (Chancerel 1992) et a même été classé comme espèce vulnérable par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). Le Brochet est alors utilisé comme repère pour protéger les milieux aquatiques. Cette protection passe par la législation grâce à des arrêtés de protection de biotopes ou des décrets frayères. Mais aussi par toutes mesures ou travaux favorables à son cycle de vie. En France, la taille minimale de capture est fixée à 60cm et le quota à 2 brochets par pêcheur et par jour (Décret numéro 2016-417 du 7 avril 2016). Enfin, les connaissances acquises sur ce poisson sont de nouveaux éléments à prendre en compte pour assurer la protection des milieux aquatiques.

Claude ROUSTAN, président de la FNPF (Fédération Nationale pour la Pêche en France) indique lors d'une interview dans le reportage Les annexes hydrauliques de la Moselle, actions en faveur de la reproduction du brochet ; Reflet d'Eau Douce, « qu'il y a eu en 2015, 437 dossiers qui ont été subventionnés par la FNPF concernant l'espèce brochet elle-même. Et la FNPF a consacré plus de 340 000 euros pour des études spécifiques à cette espèce », ce qui caractérise la volonté nationale d'agir directement sur les milieux et les habitats. Grâce à leurs actions, les structures associatives de pêche de loisir ((FNPF, FDPPMA, AAPPMA...) sont aux yeux de Nicolas HULOT, ministre de l'écologie, « des alliés pour la reconquête de la biodiversité et pour la lutte contre les pressions qui s'exercent sur elle ».

Parallèlement à ces travaux de restauration, la gestion halieutique s'effectue à l'aide de rempoissonnements piscicoles. Toujours dans la même interview, Claude ROUSTAN indique que dans leur politique ils essaient de « privilégier tout ce qui concerne la gestion patrimoniale plutôt que les alevinages » même s'ils considèrent par ailleurs que « les alevinages sont aussi nécessaires ». A titre d'exemple, depuis une dizaine d'années dans le Lot, les déversements de poissons sont constitués à 65% de carnassiers dont la plus grande partie est composée de brochets. Ce qui représente près d'une tonne de brochets déversée en moyenne par année sur 140km de cours d'eau (Etude des poissons carnassiers du Lot, Ecolab, novembre 2012). Plus proche du secteur d'étude, en traitant les données de repeuplements piscicoles fournies par les AAPPMA (Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique) de la Meuse, au moins 19 tonnes de brochets ont été déversées dans les eaux Meusiennes et plus de 60 000 fingerlings (alevins de brochets jusqu'à l'âge de un an) sur une période de 8 années (2007-2014). La fédération départementale n'ayant pas reçu le compte rendu de tous les déversements, Il s'agit ici d'un chiffre minimum. En supposant un prix d'achat de 15€ par kilo, cela représente un investissement de plus de 300 000 euros.

On comprend ici tous les enjeux qui tournent autour de cette espèce, qu'ils soient sociaux, économiques ou écologiques, ce qui justifie les actions et les recherches menées en France et à l'échelle internationale afin

de la préserver. Un tour d'horizon va être réalisé sur les recherches en écologie spatiale qui ont été menées depuis les années 1950 jusqu'à aujourd'hui, qui est la base de notre étude de suivi en vallée de Meuse.

3. Etudes similaires : que connaît-on en écologie spatiale sur le brochet ?

Cette étude de suivi menée par la FDPPMA55 fait partie de ce que l'on appelle l'écologie spatiale. Un tour d'horizon/ un point bibliographique est donc réalisé sur cette science pour avoir un aperçu de ce qui a déjà été réalisé par le passé à l'international et de la portée que peut avoir ce type d'étude. Au-delà de cette recherche bibliographique, l'objectif est de mettre en avant la quantité de paramètres qui peuvent influencer un individu dans ses mouvements et ses choix stratégiques, ainsi que la multiplicité de comportements que l'individu peut adopter, afin de justifier les choix réalisés lors du traitement des données de radiopistage de cette étude Meusienne.

La plupart des études d'écologie spatiale qui ont émergées dans les 40 dernières années sont basées sur des méthodes de télémétrie, avec l'exception notable de quelques études basées sur de la capture/marquage/recapture principalement représentées par: Carbine and Applegate 1946*, Miller 1948*, Miller 1948*, Frost and Kipling 1967*, Kipling 1967*, Kipling and LeCren 1984* (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). Cette méthode de suivi a même été utilisée sur des études de grande envergure, à l'exemple de Moen and Henegar 1971* qui ont suivi plus 2000 brochets dans le lac Oahe sur plus de 370km... Au cours de ces dernières décennies, les technologies de transmetteurs radios et acoustiques ont bien évolué. Leurs tailles ont fortement diminué, facilitant des études détaillées sur tout un panel d'habitats, de conditions environnementales, de saisons, de tailles d'individus et de sexe (Cooke et al 2012*). Aujourd'hui, il est possible de suivre des alevins de quelques grammes à l'aide de PIT TAG (RFID), à l'exemple de l'étude Cucherousset et al 2009* qui a réussi à montrer que des alevins de 44 à 63mm se déplaçaient seulement d'environ 8m par jour dans une petite annexe hydraulique servant de nurserie, ce qui traduit bien le niveau de précision du système. Avant cette technologie, les données de déplacements des alevins reposaient principalement sur des observations directes, qui demandait beaucoup de temps d'observation. On peut souligner le travail de Carbine 1942* qui a observé le déplacement journalier de juvéniles pendant plus d'un mois, et leur migration depuis leur lieu de naissance, une annexe hydraulique, vers le lac Houghton dans le Michigan. Certaines études ont conclu que le brochet est principalement sédentaire, à l'image de Diana 1980* et Eklöv 1997*. D'autres suivis ont cependant permis de mettre en évidence des mouvements de grandes amplitudes réalisés par des brochets. On peut citer Carbine and Applegate 1946*, une étude de suivi dans le lac Houghton et la rivière Muskegon dans le Michigan où un individu a réalisé 16km en 22h. Ou encore Moen and Henegar 1971*, étude dans le lac Oahe (Dakota du nord et du sud) où un individu a réalisé 240km en 78 jours. On comprend alors l'intérêt et la portée que peuvent avoir les études en écologie spatiale.

Un bref rappel des différents systèmes va être réalisé, suivi de quelques exemples sur les diverses applications qui peuvent en être faites.

3.1. Les différentes méthodes de suivis :

- capture/marquage/recapture : ne nécessite pas de systèmes électroniques mais peut être lourd à mettre en place car s'effectue par pêche électrique ou par filets. Les poissons peuvent être marqués à l'aide de spaghetti fixés sur la nageoire dorsale. Les données récoltées ne sont que ponctuelles, une première information lors du marquage du poisson puis information à un temps « t » lors de la ou les recaptures. Ce système est plutôt efficace sur une courte période temporelle ou sur une grande échelle spatiale, dans la limite de probabilité de recapture des individus.

-Transmetteurs radios et acoustiques : Permet de faire un suivi individualisé sans gêne de recapture. Le poisson est dérangé une seule fois, lors de la pose de l'émetteur. Ces systèmes offrent la possibilité de faire un suivi continu dans certaines conditions. S'il s'agit par exemple d'une étude sur un lac, il est possible de placer plusieurs récepteurs de manière à recouvrir le lac et la position des poissons s'évalue par triangulation du signal. C'est ce qui a été mis en place sur le lac Gosmer au Danemark (1ha). Les données étaient récoltées à l'aide de 8 hydrophones qui couvraient la superficie du lac, et les brochets étaient

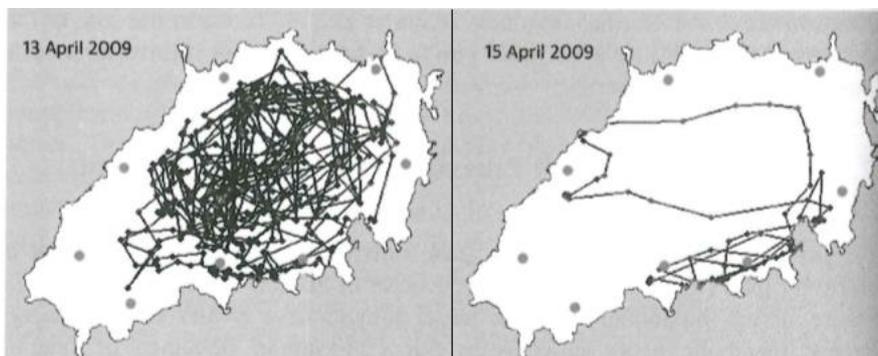


Figure 7 : Déplacements journaliers d'un individu (Source : Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5, H. Baktoft unpublished data)

équipés d'émetteurs acoustiques. Un suivi complet de la position des individus peut alors être mis en place (H. Baktoft, unpublished data*) (Figure 7). Ce système a aussi été utilisé par Baktoft et al eoff 2012* pour étudier les variations d'activités

journalières et saisonnières de brochets dans des milieux clos.

Les technologies ne sont pas

encore assez avancées pour permettre d'effectuer un suivi GPS des poissons avec une durée d'autonomie des émetteurs suffisante tout en ne dépassant pas 2% du poids de l'individu. Cette barrière des 2% est la limite qui se retrouve le plus dans la bibliographie internationale (Winter, J. D. 1983 et Winter, J. D. 1996). Ce système de triangulation du signal est alors le seul permettant de faire du suivi continu actuellement dans des coûts relativement raisonnables.

Dans l'impossibilité de couvrir le milieu dans lequel se déroule l'étude, à l'exemple d'une portion de rivière, il est possible d'effectuer des suivis par campagne de relevés, ce qui est le cas concernant notre étude et la majorité des suivis télémétriques, que ce soit à l'étranger : Jepsen et al eoff 2001* (n=19 et n=15), Ovidio_et_Philippart_2005* (n=6), Vehanen_et_al_eoff_2006* (n=40) ou en France (suivi des populations de brochets dans le nord 2011-2014 FDPPMA59 sur la Sambre, et Dubost 2004 sur l'ILL en Alsace). On peut noter que les échantillons de brochets suivis sont relativement petits, c'est l'une des principales limites citées dans ces études, hormis pour celle sur l'ILL. Le coût de ces études reste relativement élevé mais leur mise en place se démocratise.

-PIT TAG : comme indiqué précédemment, ce système a été utilisé pour le suivi de juvéniles (Cucherousset et al 2009*). Cette technologie est de nos jours largement employée pour estimer les taux de franchissement des passes à poissons comme ceci a été fait dans l'étude Prignon et al 1998* sur la Meuse. Grâce à ce système, Lucas et al 2000* et Spens et al 2007* ont réussi à montrer un faible taux de franchissement des brochets sur deux modèles de passes à poisson différents, ayant trouvé respectivement des gradients de montaison de 20 et 15% pour des individus mesurant entre 45 et 70cm. Les temps de

traversées étaient compris entre 10 et 35 secondes pour une vitesse de l'eau d'environ 1m/s sur les deux sites. En comparant ces éléments obtenus grâce à la technologie PIT TAG à la vitesse de nage de maintien du brochet établie par Jones et al 1974, qui est de 1BL/s (avec BL=body length, longueur du corps), ils ont pu mettre en évidence que le franchissement s'effectue en nage rapide et que ces modèles de passe à poisson ne sont pas adaptés au brochet. Une autre application est de disposer un système de lecture à l'entrée de ruisseaux connectés à un milieu plus grand comme une rivière, un lac ou une mer. Les passages entre ces différents milieux sont alors facilement repérables et une grande quantité de poissons peuvent être marqués. C'est ce qui a été utilisé sur la rivière Frome dans le sud de l'Angleterre dans l'étude Knight 2006*. Ou encore en Suède dans le même contexte d'interfaces entre la mer baltique et les ruisseaux côtiers sur plus de 3400 brochets marqués à l'aide d'un PIT tag, qui a permis de mettre en évidence une fidélité quant au site de fraie utilisé (Engstedt et al 2014*).

- Des marquages à l'aide de produits chimiques ou de marques externes (spaghettis) permettent de réaliser des suivis d'individus par retour d'information des pêcheurs. Il sera ici juste évoqué la possibilité de marquage d'individus par la coloration de leurs otolithes à l'aide de l'Alizarine Red S par balnéation. Cette technique a été utilisée sur la truite Fario (*salmo trutta* sp) dans l'étude Caudron et al 2006 et a été reprise pour le Brochet en France par la FDPPMA du nord (59) lors d'une étude de suivi des lâchers piscicoles.

- Tout récemment, une nouvelle technique a vu le jour. Il ne s'agit pas d'une méthode de suivi d'individus mais peut servir dans le cadre de suivi d'une espèce. Il s'agit de l'ADN environnemental. En analysant un échantillon d'eau, la liste des espèces fréquentant le lieu de prélèvement dans les jours précédents ce prélèvement peut être connue. Cette technique va permettre de surveiller ou d'estimer l'expansion d'espèces comme par exemple le gobie ou le silure, qui sont des problématiques actuelles dans plusieurs cours d'eau du nord de la France et ailleurs.

3.2. Diverses applications de l'écologie spatiale :

L'activité des brochets est communément mesurée par un taux de mouvements, c'est-à-dire une distance parcourue par unité de temps (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). Les stratégies d'emploi de l'espace, comme la dispersion depuis un site d'origine ou l'adoption d'une taille particulière de domaine vital, peuvent être vues en termes de choix coûts/bénéfices, qui est une notion centrale dans l'écologie comportementale (Krebs and Davies 1997*). L'un des challenges de cette science est de comprendre quels mécanismes se cachent derrière les mouvements des individus (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). En effet, une multitude de paramètres peuvent intervenir, qu'ils soient abiotiques : la température, la luminosité, la teneur en oxygène dissous, le débit... ou biotiques : l'alimentation, la disponibilité en proie, la prédation, la reproduction... De même, des gènes anthropiques peuvent contraindre les individus à se déplacer. L'impact de chacun de ces facteurs peut être montré grâce à l'écologie spatiale et nous allons aborder des études qui ont permis de mettre en évidence le rôle de ces différents facteurs. Cependant il est à noter qu'il existe plusieurs synergies et qu'il n'est pas toujours évident d'en isoler un seul. De ces études peuvent découler une estimation des domaines vitaux des individus, un classement des brochets par groupes comportementaux, une meilleure compréhension de la relation brochet-habitat...

Il est à noter qu'il existe de fortes variabilités dans les comportements observés, que ce soit au sein même d'une zone (lotique, lentique, saumâtre) ou entre ces zones (Jepsen et al 2001*, Pierce et al 2013*, Jacobsen et al 2017*). Parfois, de grandes différences au sein du propre individu apparaissent, à l'exemple d'une femelle de 80cm suivie par télémétrie acoustique dans un lac d'1ha au Danemark qui a parcouru

5642m le 13 avril 2009 en se déplaçant sur la totalité du lac, et seulement 1319m le 15 avril soit 2 toujours plus tard, en restant sur la même berge (H. Backtoft, unpublished data*) (*Figure 7*).

3.2.1. Les facteurs abiotiques

Le changement d'activité des individus résulte en partie dans l'évolution de ces facteurs abiotiques qui changent durant les saisons, et voir même pendant la journée. Ces facteurs sont pour les plus importants : la température, la lumière (turbidité) et le niveau d'oxygène (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). En effet, La température et l'oxygène dissous sont les deux facteurs abiotiques les plus étudiés et considérés comme les plus importants pour la survie des poissons et leur croissance (Fang et al 2004*).

La température :

Les expériences en laboratoire ont montré une corrélation positive entre température et déplacement des brochets, tout en restant dans leur plage de tolérance thermique (0,1°C-29,5°C) (Casselman 1978*). Les études d'écologie spatiale qui se sont attelées à montrer l'impact de la température sur les mouvements des brochets ont des avis divergents. Certaines études ont tout de même trouvé une corrélation. En lac : Klober et al 2008a *(activité plus faible en hiver), Casselman 1978* (activité plus importante entre 15 et 18°C que pour des températures plus ou moins importantes).

Et en rivière : l'activité journalière semble être stable et plus faible l'été que les autres mois plus frais (Masters et al 2005*, Knight et al 2009*).

La teneur en oxygène dissous :

Le taux d'oxygène a un fort contrôle sur l'activité des poissons ayant un métabolisme aérobie (Fry 1971*, Claireaux and Chabot 2016*) et l'activité peut être fortement diminuée sous des conditions hypoxiques. Cependant peu d'études d'écologie spatiale mettent en avant ce facteur alors que le manque d'oxygène se rencontre souvent dans les lacs (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). Ce paramètre est souvent en synergie avec d'autres paramètres comme la température par exemple.

La turbidité :

Dans cette partie sera présentée une étude ayant mis en évidence uniquement l'impact de la turbidité par suivi télémétriques d'individus, l'impact du facteur luminosité lié au cycle nyctéméral sera approché un peu plus loin. Comme le brochet est un prédateur chassant principalement à vue, la clarté de l'eau peut affecter son choix d'habitat en modifiant les probabilités de captures (Dobler 1977*). Il semble que la turbidité agit principalement sur le choix d'habitat effectué par les individus. En effet, Vollestad et al 1986* a observé sur 4 lacs norvégiens que les brochets utilisaient plus les zones de pleines eau lorsque le lac était turbide. Andersen et al 2008* quant à lui a trouvé que la turbidité augmentait la diversité de stratégies adoptées par les brochets, notamment la distance par rapport à la berge.

La luminosité :

Cette partie s'intéresse principalement à la variation journalière de l'activité des brochets. Plusieurs études ont pu mettre en avant des périodes d'activités et des périodes de repos au cours de la même journée. L'exemple le plus parlant est issu de l'étude Knight 2006*. Un schéma rapporte les variations journalières de l'activité de plusieurs individus dans deux affluents de la rivière Frome située dans le sud de l'Angleterre, et ce lors des différentes saisons de l'année (*figure 8*).

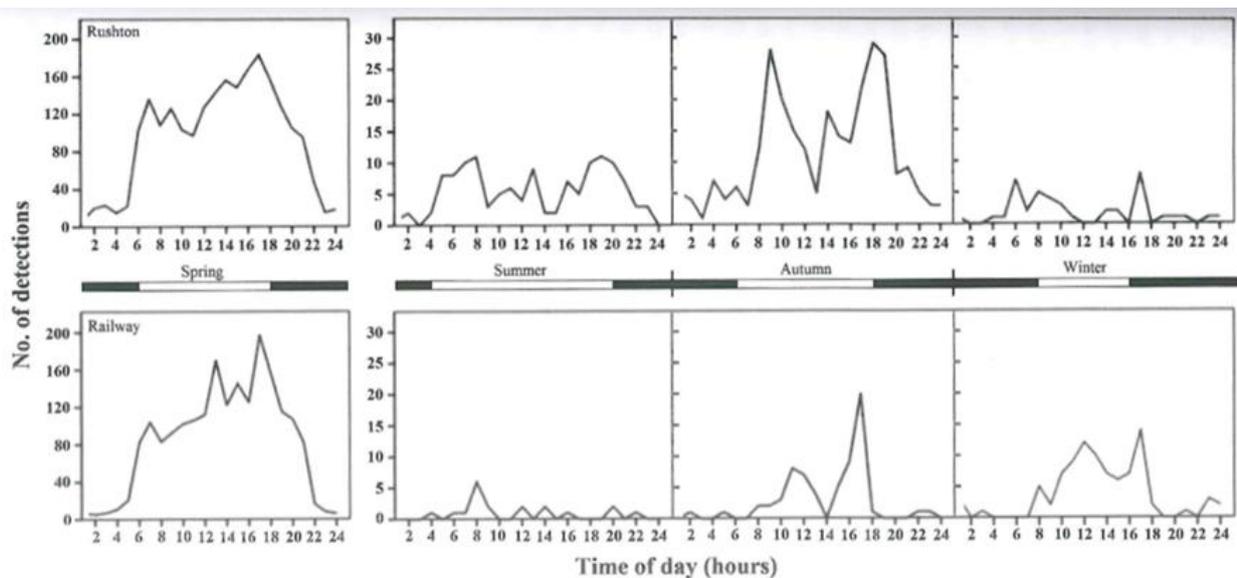


Figure 8: Déplacements journalier moyens par période sur deux études (Source : Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5, Knight 2006)

On y retrouve principalement une activité diurne des brochets ainsi que des pics d'activité à l'aube et au crépuscule, ce qui est souvent signalé dans la bibliographie, à l'exemple de Diana 1980* en lac et Beaumont et al 2005* en rivière. D'après Volkova 1973*, ces pics d'activité peuvent refléter des probabilités de captures de proies et donc des probabilités d'alimentation plus élevée, dues à une intensité lumineuse plus faible qui rend les proies plus vulnérables.

Il existe cependant des différences comportementales entre les individus comme a pu l'observer H. Baktoft unpublished results*, dans le lac Gosmer au Danemark. Il a pu identifier un groupe de brochets qui étaient plutôt actifs la nuit alors que la majorité des brochets suivis étaient actifs la journée.

Le débit :

Le brochet a une capacité de nage de maintien faible et d'environ 1LB/s (Body length=longueur du corps) (Jones et al 1974*). Dans les fleuves et les rivières, le débit a donc une forte influence sur le choix d'habitat des brochets, même si ils ont une excellente capacité d'accélération et de nage (Webb and Skadsen 1980*). On les retrouve alors plutôt dans les courants lisses assez lents, les fosses, les chenaux latéraux et les annexes hydrauliques (DosSantos 1991*, Lamouroux et al 1999*, Masters et al 2002*, Knight 2006*).

Ces observations ont pu être démontrées grâce à des suivis télémétriques. Ainsi, dans la rivière Flathead dans le Montana, il a été possible d'établir que les brochets adultes préféraient des habitats avec une vitesse de l'eau en dessous de 0,18m/s avec comme moyenne 0,13m/s (Dos Santos 1991*).

Durant les inondations de la rivière Thames en Angleterre, il a été observé que quelques brochets marqués se sont déplacés de 1,5km en aval et reviennent fréquemment sur leur site (plus en amont) après la crue (Langford 1981*).

Lors de l'étude Masters et al 2002* sur la rivière Frome, des brochets ont quitté le chenal de la rivière pour rejoindre les plaines inondées. Le suivi télémétrique a permis de relever plusieurs allers-retours entre le chenal et les plaines inondées, ce qui a permis de mettre en évidence que la raison de ce changement d'habitat était sûrement lié des opportunités d'alimentation et non une recherche de zones abritées.

Lors des périodes de reproduction, les mouvements observés dans le chenal principal sont orientés principalement vers l'amont, corrélé aux observations faites dans Pauwels et al 2014 sur l'effet significatif du débit journalier de décembre à mai sur la distance journalière moyenne parcourue par les individus, cela laisse envisager la possibilité que des indices rhéotaxiques (orientation des poissons par rapport au

courant) soient en jeu dans ces mouvements (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5).

3.2.2. La reproduction comme facteur biotique

En ce qui concerne l'alimentation, la répartition des proies, et la prédation, ces facteurs ont pu être implicitement abordés lors des parties précédentes, et notamment sur l'effet de la luminosité concernant l'alimentation. Le facteur biotique qui sera détaillé ici est la reproduction.

Plusieurs notions sur la reproduction du brochet ont été fournies précédemment. L'idée ici est de montrer ce qui a pu être observé grâce à l'écologie spatiale concernant ce facteur biotique. La plupart des études semblent confirmer une activité (et donc un déplacement) plus importante des brochets pendant la période de reproduction. En effet, les habitats souhaitables pour la fraie peuvent ne pas être localisés sur place et des migrations distinctes vers ces habitats pour la reproduction peuvent se produire (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5). Cependant, même sur des zones où les habitats sont favorables à la reproduction, les brochets de rivière peuvent migrer vers l'amont (DosSantos 1991*, Ovidio and Philipart 2005*, Pauwels et al 2014*).

On peut prendre comme exemple chiffré les résultats de l'étude Lucas1992* qui a établi le déplacement journalier d'individus dans le lac Davan en Ecosse (36ha). L'activité journalière des femelles et des mâles était respectivement de 1,13km/j et 1,72km/j pendant la fraie (24-30 avril) comparé à 0,29 et 0,24km/jour hors période de reproduction (en pré-période et post-période). Dans l'étude Koed et al 2006*, il a été observé une migration vers l'amont des individus marqués allant de 1,3km à 37km en période de pré-reproduction, la fraie se déroulant du 15 mars au 15 mai. Sur les déplacements exceptionnels liés à la fraie il peut être retenu le déplacement de plusieurs individus de plus de 100km lors de l'étude Burkholder and Bernard 1994*.

Au-delà des distances parcourues, les études de suivis ont permis de dégager quelques comportements intéressants.

C'est grâce à une étude de suivi qu'il a été démontré dans le fleuve Saint-Laurent et dans d'autres lacs d'Amérique du nord que des populations de brochets frayent dans des zones allant jusqu'à 6m de profondeur, au dessus de la végétation submergée (Farrell et al 1996*, Farrell et al 2006*, Pierce et al 2007*) malgré un taux de réussite limité dans de telles profondeurs (Farrell et al 2006*).

Dans l'étude Knight 2006*, une bonne proportion de mâles fertiles a été observée dans les annexes hydrauliques dès le mois de décembre, soit 3 mois avant le début de la période de reproduction. La plupart de ces mâles étaient petits (25 à 40cm), cela suggère qu'ils décident d'arriver tôt sur ces sites pour augmenter leurs chances de se reproduire.

Grâce à plusieurs études de suivis d'individus en mer baltique (Suède et Finlande), il a été démontré qu'une partie de la population de brochets reste dans les zones côtières saumâtres pour frayer alors que l'autre partie retourne dans les ruisseaux d'eau douce pour se reproduire (Westin and Limburg 2002*, Engstedt et al 2014*). Un autre aspect encore plus intéressant a été découvert et est abordé dans la partie suivante.

3.2.3. Evaluation de la fidélité aux sites et aux habitats

Il a pu être démontré que les brochets appartenant à la partie anadrome de la population de la mer baltique retournent en grande partie frayer chaque saison dans le même ruisseau, qui était leur lieu de naissance. Ceci a été prouvé avec un retour de plus de 3400 brochets marqués à l'aide de PIT tag et ce sur 5 ruisseaux côtiers (Engstedt 2011*, Larsson et al 2015*). Une fois ce comportement de fidélité mis en avant, cela a favorisé la mise en place d'un programme d'essais de restauration de frayères et de nurseries sur les ruisseaux côtiers, programme monté en 2006 par l'Agence Suédoise de Protection de l'Environnement et des universités suédoises. Ce programme a permis de mettre en évidence un type de restauration avec un taux de production de juvéniles très élevé, ces espaces restaurés sont surnommés des « usines à brochets ». Grâce au comportement de fidélité (retour sur le site de naissance et de reproduction), année après année la population de géniteurs venant se reproduire sur le site a explosé, passant de 1400 individus avant la restauration à plus de 3100 individus 5 années plus tard (Nilsson 2013*, Larsson et al 2015*). Il en est de même concernant le nombre de juvéniles produits qui s'élevait à 3000 avant restauration (Nilsson et al 2014*), 100 000 après restauration, puis 300 000 après 5 années (Nilsson 2013*, Larsson et al 2015*). L'association de pêcheurs suédois a alors entrepris une investigation sur tout le littoral de la Suède et les meilleures zones à restaurer ont été sélectionnées pour être restaurées. Depuis 2010, 20 projets ont déjà été construits, créant par la même occasion 10 postes à plein temps (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 10). Cet exemple illustre l'importance des comportements qui peuvent être mis en évidence grâce à l'écologie spatiale et les actions qui peuvent en découler.

Un comportement de fidélité peut aussi apparaître envers l'habitat ou une localisation occupés par un individu. Lors d'une étude sur des brochets en mer baltique, plusieurs individus ont été capturés puis déplacés de leur site d'origine. Ces brochets sont revenus sur leur site de capture jusqu'à un éloignement de 60km (Karas and Lehtonen 1993*). Dans un lac de 25ha, 8 brochets marqués ont été déplacés de 377 à 550m et sont tous revenus sur leur site de prédilection dans les 4 à 143h qui ont suivi le déplacement (Klober et al 2008b*).

Une fidélité au site fréquenté ou aux habitats utilisés semblent se dégager de ces résultats.

3.2.4. Habitats

Des études comportementales par suivis télémétriques ont permis de répartir les individus suivis par groupes comportementaux, et lors de l'étude Klober et al 2009* le critère de séparation se faisait sur le choix d'habitats porté par l'individu : le premier groupe de brochets fréquentait uniquement les roselières en bordure, le second groupe fréquentait uniquement les habitats à végétation submergée, et un dernier groupe utilisait tout type d'habitats et montrait un déplacement plus important que les deux premiers groupes. L'habitat peut alors avoir une influence sur les déplacements des brochets et est étroitement lié à son domaine vital.

3.2.5. Evaluation du domaine vital

Les résultats sur l'aire du domaine vital des individus sont très variés, pouvant s'étendre sur de faibles surfaces comme le rapportent les faibles mouvements des individus enregistrés par Eklöv 1997* (100 à 440m) comme s'étendre sur de vastes étendues dans l'exemple du suivi dans le lac Oahe où plus de 70% des individus se sont déplacés d'au moins 32km (Moen and Henegar 1971*). Ces variations peuvent être dues à la taille du lac, aux distributions spatio-temporelles des ressources, ainsi qu'aux variations entre individus en besoin énergétique (Kobler et al 2008b*).

Plusieurs études ont essayé de montrer une corrélation entre la taille de l'individu ou sa masse et l'aire de son domaine vital. Par exemple dans l'étude Masters et al 2005* sur la rivière Frome en Angleterre, Le linéaire maximum de domaine vital des brochets adultes suivis pendant 8 à 25 mois variait entre 0,16 et

5,92km et était positivement corrélé à la longueur de l'individu. Mais le lien n'est pas toujours évident à établir.

Cependant, les éléments suivants peuvent être retenus dans le cadre de notre étude:

- Les brochets de rivière choisissent généralement des domaines vitaux restreints centrés autour d'habitats types (Langford 1981*, Hodder et al 2007*), et concentrent leurs activités dans une ou plusieurs zones centrales, et font occasionnellement des excursions en périphérie ou en dehors du domaine vital principal (Koed et al 2006*, Hodder et al 2007*).
- La localisation et la taille des domaines vitaux des brochets de rivière ont tendance à varier pendant les saisons dans la rivière Frome (Knight et al 2009*).
- Des brochets adultes peuvent avoir leurs domaines vitaux qui se chevauchent. Ce qui a été observé durant l'étude Hodder et al 2007* avec plus de 5 brochets taggés montrant des chevauchements de zones centrales. (moyenne des individus à 69cm).
- Sur la même rivière, la taille du domaine vital peut ne pas être corrélée au débit durant les périodes pendant lesquelles l'eau reste dans le lit mineur de la rivière, mais que durant les inondations les domaines vitaux peuvent être significativement plus grands (Hodder et al 2007*).

3.2.6. Les impacts anthropiques

En conclusion des différents paramètres pouvant influencer sur le déplacement des brochets, cette partie illustre bien les applications diverses et parfois surprenantes que les suivis télémétriques permettent de réaliser.

Plusieurs études se sont attelées à examiner l'impact de la pratique du No Kill sur le brochet et confirment un changement léger à court terme dans le comportement d'individus pêchés puis relâchés. De manière quantitative, une activité réduite pendant une semaine a été trouvée dans l'étude Klefoth et al 2008*. Tandis que l'impact sur l'activité se réduisait à 48h dans l'étude Baktoft et al 2013*.

Les effets indirects de la pêche ont aussi été examinés, c'est-à-dire la gêne pouvant être occasionnée par le passage répétitif de leurres artificiels. Une comparaison entre 2 lacs a été effectuée, l'un d'entre eux était régulièrement pêché et le second fermé à la pêche, mais pas d'effets particuliers ont été observés (Klefoth et al 2011*). L'étude Jacobsen et al 2014* ne trouve pas non plus d'effets sur un petit lac Danois de 1ha.

Lors de cette même étude, la navigation avec un petit hors-bord n'avait pas d'influence significative sur l'activité des brochets, que ce soit pendant ou après la navigation. Une légère baisse était tout de même enregistrée après plusieurs heures de navigation.

Les études de suivis sont même allées plus loin, jusqu'à simuler la casse lors d'une partie de pêche, laissant le brochet avec un leurre dans la bouche. L'étude Arlinghaus et al 2008* put être citée, les brochets étaient surveillés dans une faible surface d'eau pour les 5 premières heures puis suivis par système de détection pendant les 3 semaines suivantes. Les résultats montrent une activité limitée des individus pendant les premières heures, puis une activité plus importante que le groupe de contrôle les 20h suivantes. Ensuite, il n'y avait plus de différences entre ces brochets là et le groupe contrôle.

Les faibles gênes trouvées dans ces études ne veulent cependant pas dire que ces perturbations ne touchent pas les brochets (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 5).

3.3. Conclusion

Cette approche des différents facteurs pouvant influencer l'activité des brochets a permis de mettre en avant le fait que les individus peuvent avoir des réponses comportementales différentes, ils peuvent être réunis en plusieurs groupes caractéristiques et ce pour de multiples critères. Ces diversités comportementales peuvent jouer un rôle dans la réduction de la compétition intra-spécifique et interviennent dans la distribution spatiale des brochets (Klober et al 2009*).

L'origine variée des facteurs influençant le mouvement des brochets ainsi que les différentes synergies entre ces facteurs ont été démontrées dans cette partie et serviront d'arguments pour justifier le découpage réalisé dans le traitement des données de notre étude de suivi sur la Meuse.

4. Matériels et méthodes

4.1. Présentation du site d'étude



Avec ses 925 km de linéaire et un bassin versant de plus de 32 000 km², la Meuse est le 3^{ème} plus grand fleuve français. Le fleuve Meuse prend sa source dans le département de la Haute Marne, à Pouilly-en-Bassigny, et parcourt 450 km avant de passer la frontière belge, ce dernier coulant à travers 3 pays, La France, la Belgique et les Pays Bas. Cependant, son bassin versant recueille l'eau de 5 pays différents, soit le Luxembourg et l'Allemagne en plus des 3 précédemment cités (Figure 9).

C'est dans la région Grand Est, plus précisément dans le département de la Meuse que la FDPPMA55 a sélectionné un linéaire pour réaliser cette étude.

Le département de la Meuse tient son nom du fleuve qui le traverse, du sud vers le nord, et ce sur toute sa longueur. C'est en aval de Verdun qu'est localisé le secteur d'étude (Figure 10).

Figure 10: Carte représentant le fleuve Meuse et son département (Source : Wikipédia)

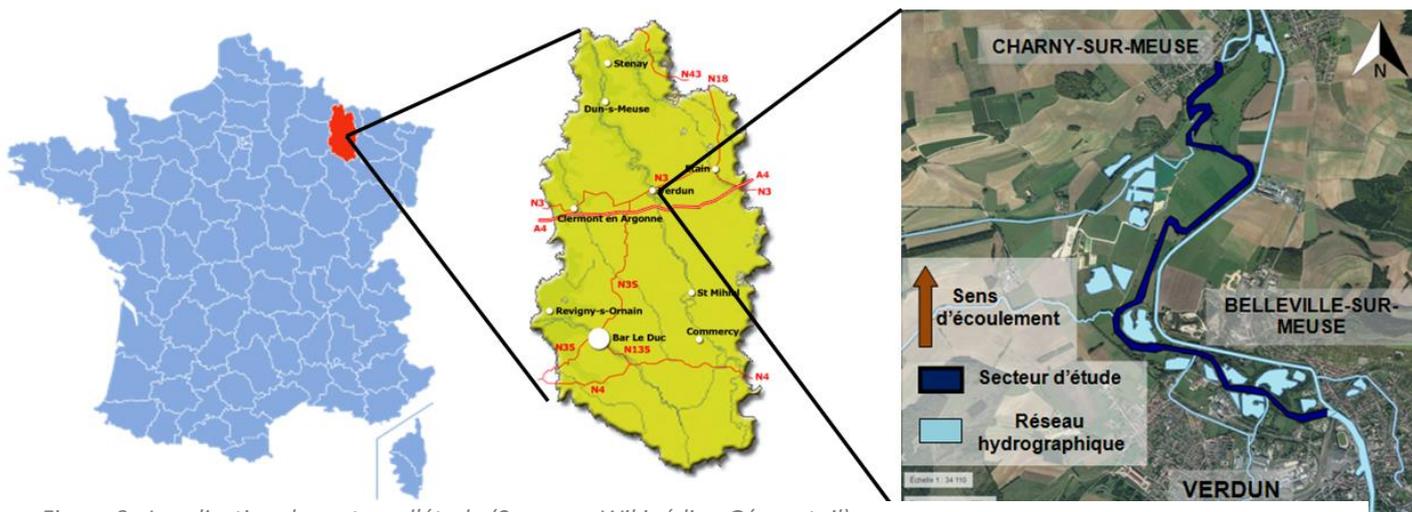


Figure 9 : Localisation du secteur d'étude (Sources : Wikipédia ; Géoportail)

4.1.1. Linéaire d'étude

Le linéaire a été choisi selon différents paramètres. Pour réaliser un suivi efficace, il est nécessaire de pouvoir le parcourir en étant toujours au plus près du cours d'eau et dans les limites de détection du système. De plus, le linéaire doit présenter des barrières physiques qui le délimitent et évitent au maximum aux poissons de quitter le secteur d'étude. C'est ainsi que la FDPPMA55 a choisi un linéaire de 7,5 km situé entre le barrage de Belleville-sur-Meuse et le seuil de Charny-sur-Meuse (figure 2). Une carte de la localisation des annexes hydrauliques est disponible en [Annexe 5](#). On y retrouve de différents types, et certaines d'entre elles ont subi d'importants travaux de restauration. En effet, 10 opérations de restauration et 6 d'entretien ont été réalisées depuis 2001 sur 8 annexes différentes. Un tableau récapitulatif d'informations est disponible en [Annexe 6](#). Ces annexes ainsi que leur densité font preuves d'un secteur au faciès encore naturel, même si l'on observe de nombreux impacts d'origine anthropique sur ce dernier. Ce tronçon de Meuse sauvage héberge de nombreuses espèces patrimoniales de tout compartiment comme la Loche d'étang (*Misgurnus fossilis*), la Bécassine des Marais (*Gallinago gallinago*), le Vespertilion de Bechstein (*Myotis bechsteini*), le Petit Nénuphar (*Hydrocharis morsus-ranae*), la Grande Berle (*Sium latifolium*) et la Rousserolle verderolle (*Acrocephalus palustris*). Ces 3 dernières espèces ont permis de définir ce linéaire comme ZNIEFF de type II (Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique). Le secteur d'étude fait aussi partie du réseau Natura 2000 (Directive oiseaux).

Ce secteur d'étude fait également face à de nombreuses pressions, notamment celles de la pêche de loisirs, celles de l'exploitation des alluvions et celles liées à l'agriculture.

4.1.2. Géologie

L'étude de la géologie du site d'étude permet de mettre en évidence la dynamique fluviale de la Meuse, en faisant apparaître les dépôts d'alluvions. Ainsi, il est facile de délimiter le lit majeur, qui, sans les différentes infrastructures d'origine anthropique, aurait une largeur d'environ 1700 mètres sur le secteur d'étude. On peut imaginer que la Meuse a évolué sur cette surface durant les derniers millénaires au grès des dépôts et de l'érosion qu'engendre une telle dynamique. La roche mère qui compose les côtes de Meuse et que l'on retrouve également en dessous des alluvions est un calcaire datant du Jurassique supérieur. Sa perméabilité entraîne un ruissellement rapide des eaux de pluie vers la nappe et donc vers la Meuse ([Figure 11](#)).

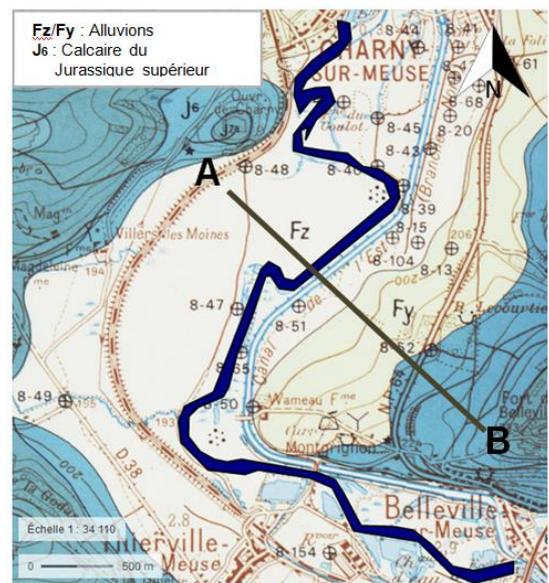


Figure 11: Géologie du site d'étude (source : Géoportail)

4.1.3. Topographie

La réalisation d'un profil altimétrique (figure 12) sur une section perpendiculaire (figure 11) amène de nouvelles informations et confirme celles énoncées précédemment.

Les côtes de Meuse bordent le lit majeur de la Meuse, restreignant la largeur de ce dernier. On observe

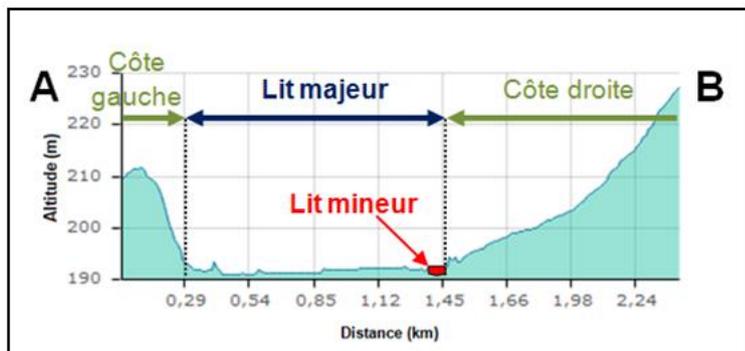


Figure 12: Profil altimétrique d'une section de la vallée de la Meuse (Source : Géoportail)

également une très faible différence d'altitude dans le lit majeur (variation d'environ 1 mètre), avec même parfois une altitude inférieure au lit mineur de la Meuse. On peut donc imaginer la surface sur laquelle peut s'étendre le fleuve lors des crues (figure 5), et ce de façon régulière. Cette caractéristique est intéressante car on peut y voir des zones

de fraie potentielles pour de nombreuses espèces, notamment le brochet.



Figure 13: Débordement de la Meuse le 5 janvier 2018 avec un débit de 180 m³ (photo : FDPPMA55)

On peut cependant trouver dans le lit majeur plusieurs ouvrages d'origine anthropique qui sont de réels obstacles à l'écoulement, mais aussi à l'expansion de l'eau lors des crues (Figure 12). Ces derniers vont apparaître lors de l'étude temporelle du secteur d'étude dans la prochaine partie.

4.1.4. Historique

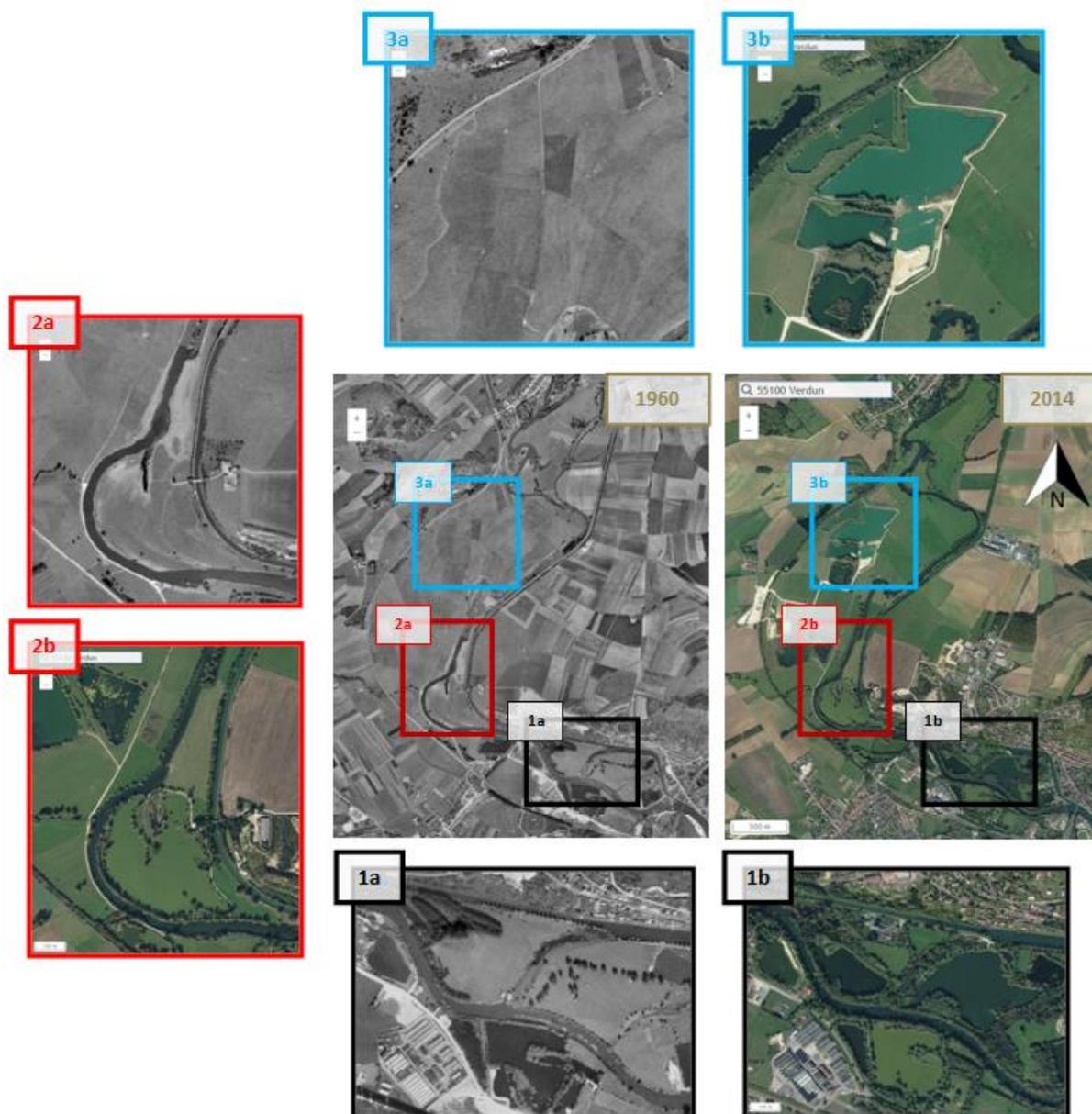


Figure 14: Comparaison des photos aériennes du secteur d'étude de 1960 et 2014 (source : Géoportail ; remonterletemps.ing.fr)

Grâce aux photos aériennes réalisées durant les années 1960, nous avons la possibilité d'observer l'évolution du site d'étude en les comparant aux photos actuelles (Figure 14). Décrivons d'amont en aval (1 à 3) les principaux changements en énonçant leur(s) possible(s) impact(s) sur le cours d'eau et sa dynamique.

On observe sur la photographie 1a trois annexes qui sont la noue de la Queue de Perche, la noue de Belleville et le ruisseau du Biquenel. Ces dernières sont bordées de prairies sûrement exploitées pour le pâturage, dans lesquelles la Meuse pouvait déborder sans gênes, tout en créant d'importantes surfaces de reproduction pour le brochet. Ces espaces constituaient des zones de rétentions d'eau, qui permettaient également d'atténuer les variations de débits, et qui pouvaient servir de réservoir d'eau pour les annexes de type noue. Ainsi, le temps de connexion des annexes et l'immersion des œufs et des larves fixés sont plus importants, garantissant une reproduction optimale.

Actuellement, la quasi-totalité de cette zone a été impactée, avec la création de nombreuses ballastières (1b) qui constituent de réels obstacles à l'écoulement lors de faibles et moyennes crues, ces dernières pouvant être connectées lors de fortes crues. De plus, leur entretien par l'Homme nécessite une limitation de l'érosion par la Meuse qui se traduit par un cantonnement du fleuve entre des « digues ». Le fleuve incise donc en profondeur pour compenser l'érosion latérale, entraînant des berges hautes et une ripisylve perchée. Cette incision peut entraîner une déconnexion des annexes et autres zones humides, car elle crée une différence de niveau parfois trop importante. Les différents avantages que conféraient les prairies disparaissent également. La noue de la Queue de Perche sera également impactée par l'implantation de la station d'épuration de Belleville-sur-Meuse et la création du canal de rejet, perturbant le fonctionnement hydrologique et évacuant l'eau plus rapidement. On peut également observer un accroissement d'une ripisylve arborée, qui crée des habitats pour de nombreuses espèces. Une ripisylve trop dense peut cependant limiter le développement de végétation aquatique, paramètre primordial dans le cycle de vie du brochet.

La photo 2a est une bonne représentation d'un cours d'eau naturel avec une bonne dynamique. On y observe des méandres, de nombreux chenaux de crues à travers les prairies, des zones de rétentions ainsi qu'une annexe de type noue. Les effets qu'ont ces zones sont similaires à ceux énoncés auparavant. Actuellement, on y retrouve une grande ballastière, le Wameau (2b), exploitée à l'origine pour les alluvions, et utilisée maintenant pour la pêche de loisir. La noue a été déconnectée de la Meuse et connectée au plan d'eau du Wameau supprimant à nouveau une zone de reproduction et de refuge.

Sur les photos 3a, on peut voir différentes annexes, notamment la noue des Petites Viaires et le ruisseau de Bamont. Ici déjà on peut remarquer l'impact de l'Homme sur ces systèmes avec une absence totale de ripisylve. 54 ans plus tard (3b), plusieurs ballastières sont apparues, impactant directement la dynamique fluviale. Ces ballastières se remplissant via la nappe, la surverse de ces dernières se fait via la noue des Petites Viaires. Cette annexe devient donc un affluent temporaire, pouvant impacter la reproduction du brochet. On peut remarquer la disparition du lit naturel du ruisseau de Bamont qui a été rectifié, qui actuellement n'a plus de lit sur une partie du linéaire et passe à travers des cultures.

Ces vues aériennes permettent également de déterminer plusieurs autres aménagements impactant le fleuve à grande échelle. Le canal par exemple est un réel obstacle à l'expansion de l'eau lors des crues, mais aussi à celle du lit du fleuve. Il nécessite également un débit et une hauteur d'eau minimum pour conserver sa fonction principale qu'est la navigation. Le barrage de Belleville-sur-Meuse a été créé dans le but de maintenir ces conditions. Les barrages sont également des ruptures de la continuité écologique, avec un isolement possible des populations, et compliquent la migration de nombreuses espèces comme l'anguille par exemple (Figure 7). Les différentes routes sont également des obstacles ayant des effets similaires au canal, car elles ont souvent été surélevées pour éviter leur submersion lors des crues.



Figure 15: Anguille européenne (Anguilla anguilla) capturée sur le secteur d'étude lors des pêches électriques d'inventaire 2018 (Source : FDPPMA55)

4.1.5. Régime hydrologique

Une station de mesure de débit est présente dans le fleuve à l'aval immédiat du barrage de Belleville-Sur-Meuse. Les débits mensuels moyens sont donc disponibles, basés sur 25 ans de relevés.

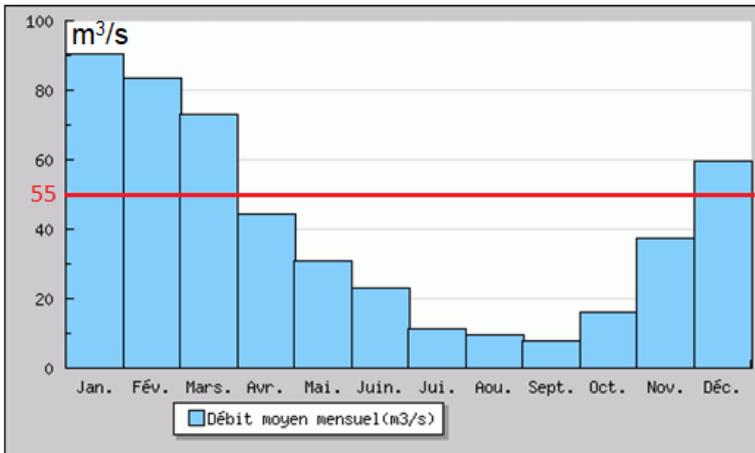


Figure 16: Débits moyens mensuels calculés sur 25 ans (1993-2018)
source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>

Ainsi, nous pouvons déterminer grâce à ce graphique le régime hydrologique de la Meuse au point du secteur d'étude. Avec des crues hivernales et un étiage durant l'été (Figure 16), nous pouvons dire que la Meuse est soumise à un régime pluvial, son bassin versant (3201 km² à Belleville-sur-Meuse) étant principalement alimenté par les précipitations. Le module apparaît en rouge sur la Figure 16 et vaut 55m³/s.

4.2. Méthode de marquage

Durant cette étude, 2 campagnes de marquage ont été réalisées, l'une en 2016 et l'autre en 2017. Pour chacune d'entre elle des brochets provenant de pisciculture ont été marqués (36 en 2016, 20 en 2017). Pour les brochets provenant du fleuve, 2 méthodes de pêche ont été utilisées : la pêche à la ligne et la pêche électrique. Ces deux méthodes présentent chacune leurs avantages et inconvénients. La pêche électrique est efficace avec un bon rendement du nombre de brochets capturés par unité de temps. Lors du marquage, la Capture Par Unité d'Effort (CPUE) était d'environ 0,70 brochet/heure. A titre de comparaison, lors d'une étude similaire, la FDPPMA 59 a obtenu une CPUE de l'ordre de 0,70 brochet/heure également. Cependant, ce protocole de capture présente un inconvénient majeur : il ne peut y avoir plus d'une équipe de pêche du fait du matériel à utiliser. Cette technique nécessite également d'avoir du personnel habilité. Il peut être difficile de capturer des individus de belle taille en pêche électrique car ils fuient souvent avant même que l'anode soit plongée dans l'eau. Cette pêche ne peut être réalisée dans des zones profondes. Au-delà de 1 m, elle perd grandement en efficacité. La seconde technique de capture peut être démultipliée autant de fois qu'il le faut, et ce à partir du moment où des bénévoles sont présents. Chaque détenteur d'une carte de pêche peut aider à la capture. L'inconvénient principal réside dans la CPUE qui reste relativement faible. Lors du marquage, la CPUE était égal à 0,10 brochet/heure ce qui est 7 fois moins efficace que le pêche électrique. La FDPPMA 80 lors d'une étude similaire avait obtenue une CPUE d'environ 0,014 brochet/heure. Il en demeure donc une bonne initiative d'avoir utilisé les deux méthodes d'échantillonnage. De plus, il peut être intéressant de remarquer la « facilité » à constituer un échantillon. Au final, les effectifs obtenus pour les deux campagnes de marquage sont disponibles dans la Figure 17.

	Pisciculture	Fleuve	
		Pêche électrique	Pêche à la ligne
2016	36	5	14
2017	20	5	20

Figure 17: Effectif et provenance des brochets marqués

Lorsque les poissons sont capturés, ils sont amenés au plus vite sur le site de marquage. L'opération a été mise en place par le bureau d'étude Profish spécialisé dans les suivis de poissons grâce aux technologies de monitoring.

Protocole de marquage :

Chaque émetteur SIGMA EIGHT TX-PSC-I-450 M a été activé, paramétré (délai d'émission de 3 sec, passage à 10 sec lorsque le poisson est stationnaire plus de 12H, choix des ID) et testé. Ils sont ensuite désinfectés dans une solution d'alcool à 95 %.

Chaque poisson est ensuite placé dans un bac d'eau de 50 litres contenant une solution d'huile essentielle de Clou de Girofle diluée à 10% dans de l'alcool. La concentration utilisée est comprise entre 0,5 et 0,7mL/L d'eau. Les poissons sont placés, un par un dans le bac afin de contrôler leur comportement au cours de cette phase. La température de l'eau de chaque bac est suivie et l'eau est régulièrement renouvelée. Après quelques minutes, les symptômes caractéristiques de l'anesthésie apparaissent : perte partielle de l'équilibre avec activité de nage « normale » (stade 1), perte totale de l'équilibre avec activité de nage « normale » (stade 2), perte partielle de l'activité de nage (stade 3), perte totale de l'activité de nage avec de faibles mouvements des opercules (stade 4) et mouvements operculaires lents et irréguliers (stade 5). Les poissons sont retirés du bac lorsque le stade 5 est atteint. Chaque poisson est ensuite mesuré (longueur totale) puis pesé.

Préalablement à l'acte chirurgical, l'ensemble du matériel nécessaire est disposé sur le lieu de l'opération et organisé afin de faciliter son utilisation. La chirurgie doit être une étape courte (maximum de 5 minutes par individus) pour limiter au maximum les traumatismes. Ensuite, le matériel de chirurgie est nettoyé avec de l'alcool 95% puis rincé au sérum physiologique. Puis, le poisson est placé dès sa sortie du bac d'anesthésiant, face ventrale, sur un support adéquat permettant de le maintenir à hauteur d'Homme. Ce support est au préalable équipé d'éponges. Il contient également un volume d'eau avec de l'anesthésiant afin de maintenir le poisson au stade 5.

Comme cité dans la partie bibliographique, il est couramment admis dans la littérature scientifique que les émetteurs ne doivent pas dépasser 2% du poids de l'animal. L'émetteur SIGMA EIGHT TX-PSC-I-450 M pesant 9 g, le poids minimal du poisson à marquer est donc de 450 g. Une incision d'environ 1 cm est réalisée entre les nageoires pectorales et pelviennes à l'aide d'un bistouri. L'émetteur est ensuite placé délicatement dans la cavité abdominale du poisson. Une petite incision sur le flanc du poisson permet de faire ressortir l'antenne externe à l'aide d'un cathéter. L'incision est ensuite refermée à l'aide de nœuds de chirurgien réalisés en monocryl résorbable 4/0. Une solution cicatrisante, antibiotique et antifongique est ensuite appliquée sur la zone opérée afin de garantir une bonne cicatrisation.

Chaque poisson est ensuite marqué en externe à l'aide d'un petit spaghetti placé à la base de la nageoire dorsale. Enfin, deux prélèvements de matériel biologique ont eu lieu : un fragment de nageoire et une dizaine d'écailles dans le but de réaliser des analyses génétiques et scalimétriques dans le futur. Les poissons sont ensuite placés dans un bac de réveil de 300 L équipé d'un oxygénateur et leur comportement est observé avec attention. De plus, la température de l'eau est contrôlée régulièrement.

Une fois revenus à leur état normal, les poissons capturés dans le fleuve sont relâchés au plus près de leur lieu de capture afin d'éviter tout biais. Les poissons issus de pisciculture sont relâchés sur deux lieux différents, un tout en aval du secteur et un en amont, juste sous le barrage de Belleville-sur-Meuse. Plusieurs photos sont disponibles en [Annexe 7](#) afin d'illustrer cette opération de marquage.

4.3. Communication autour de l'étude

Il s'agit d'une part essentielle du projet et qui mérite une attention particulière en vue des différentes actions qui ont été menées. Le but de ce type d'étude est d'être connu et largement diffusé pour sensibiliser pêcheurs et citoyens au monde aquatique, et plus particulièrement au brochet qui est dans une situation critique aujourd'hui. Les différentes actions de communication vont être abordées par ordre de priorité.

La première concerne le film réalisé sur l'étude par l'association Reflet d'Eau Douce et principalement Anne-Cécile MONNIER. Il s'agit d'une véritable vitrine pour l'étude qui peut être largement exploitée dans le monde de la pêche mais aussi de l'enseignement. Pour une meilleure compréhension de l'étude et notamment de la soutenance, je vous invite à aller voir ce film de 30 minutes disponible sur Youtube sous le nom « Sur les traces du Brochet en vallée de Meuse ». Son coût a été intégré au financement de l'étude et s'élève à 7650€.

Une autre action a consisté en un petit reportage passé sur le journal régional sur France 3 le 13 avril 2018. Ce fut un moyen efficace de faire connaître l'étude au niveau local.

Il en est de même pour un article tenant sur une pleine page réalisé dans l'Est républicain le 6 avril 2018, un journal régional local.

Une journée de pistage participatif ouvert au public a permis de montrer le déroulement d'un pistage ainsi que le système et son efficacité.

Une autre journée de pistage participatif a été réalisée avec les chargés de mission travaillant sur le bassin versant de la Meuse.

Un peu plus anecdotique, un pistage a pu être réalisé avec Li An Phoa qui descendait le fleuve Meuse de la source jusqu'à l'exutoire pour discuter avec les riverains et les acteurs locaux sur l'état du fleuve. Son projet se nomme « Drinkable Rivers » et est facilement consultable en ligne.

2 ciné débats ont été organisés, un se déroulant le 9 avril 2018 au cinéma de Verdun et le second le 26 avril 2018 au cinéma de Commercy, que nous avons eu à charge d'animer Paul MASSARD (voir remerciements) et moi même. Une diffusion du documentaire était proposée suivie d'échanges sur l'étude et la pêche de manière plus générale.

La dernière action concerne deux conférences réalisées au sein de la structure d'accueil (FDPPMA55 à Nixéville-Blercourt, 55), l'une ouverte au public et l'autre réservée au milieu associatif de la pêche du département 55. L'objectif de ces conférences était de présenter l'étude et les premiers résultats issus de la première année de suivi.

4.4. Prise de données et Base de données

Plusieurs types de données ont été recueillies durant cette étude, sur des variables physiques du site d'étude comme sur des mouvements d'individus marqués. Ces différentes données vont être présentées ainsi que la façon dont elles sont intégrées à la base de données.

4.4.1. Les facteurs abiotiques

4.4.1.1. Température et hauteur d'eau

Plusieurs sondes ont été installées sur le secteur d'étude, relevant la température de l'eau et la hauteur d'eau. Un suivi poussé de la température peut être effectué, ainsi qu'une comparaison des différences obtenues entre les différents sites de prises de données, et notamment entre le fleuve et les annexes hydrauliques, voir même entre les annexes elles mêmes. Il s'agit de sondes HOBO eau 2016 de l'entreprise PROCENSOR pour un coût d'achat total de 2350€. Le principal apport de ces sondes est la température de

l'eau, qui peut être utilisée dans l'analyse de la période de reproduction comme dans l'analyse de la période estivale.

4.4.1.2. Débit

Le débit est quand à lui obtenu depuis la station « Belleville-Sur-Meuse [aval barrage] (Meuse) » située à Belleville en aval du barrage à aiguilles. Les données sont récoltées depuis le site <https://www.vigicrues.gouv.fr/> ou alors depuis la banque hydro concernant les données plus anciennes. La courbe de débit est disponible en *Annexe 8*.

4.4.2. La station fixe

Située en aval du secteur d'étude après le barrage de Charny, ce système permet de détecter les dévalaisons d'individus qui quittent alors le secteur d'étude. Il s'agit d'un atout précieux dans la détermination du devenir des poissons : vivant, capturé, disparu, dévalé. Les données ont été complétées par un pistage mobile en canoë kayak sur les 20km situés en aval du secteur d'étude. Les poissons retrouvés confirment bien les données récoltées grâce à la station fixe. Un poisson a même été retrouvé à Cosenvoye (55), plus de 20km en aval du secteur d'étude. Situé à proximité du pont routier de Charny, ce système a également détecté des émetteurs (poissons mort) se déplaçant sur le pont. Le signal était à chaque fois identique à celui enregistré lorsque la cuve de rempoissonnement est passée sur le pont avec les individus marqués à l'intérieur. Ainsi, avec une analyse fine des données récoltées il a été possible d'affiner la partie « devenir des individus ».



Une partie du système est visible sur la *Figure 18*. Il est composé d'une antenne de type Yagi reliée à un récepteur (boîtier Orion). Ce boîtier est alimenté à l'aide de 3 batteries de 100Ah montées en série garantissant une autonomie de 2 semaines au système. Les données sont enregistrées sur une carte SD de 60 gigas. Toutes les deux semaines, un membre de l'équipe doit se rendre sur place pour récolter les données à l'aide d'un ordinateur et du logiciel Orion Tool, écraser les données sur la carte SD, et remplacer les batteries.

Sur la durée de l'étude, le manque de données provenant de la station fixe est estimé à 1 mois et demi, dû à une coupure d'alimentation ou à une saturation de la carte SD. Lors de ces arrêts, il est possibles que des dévalaisons aient eu lieu, ce qui a été confirmé pour certains individus « disparus » du secteur d'étude mais retrouvés en aval en pistage mobile.

Figure 18: Photo de la station fixe (batteries et récepteur) (Source: GONZALEZ Guillaume)

Les données sont ensuite traitées, les bruits sont effacés et une interprétation des signaux est réalisée poisson par poisson. Si un individu est passé devant la station fixe, une détection est créée au niveau de la station fixe à la date du passage et est intégrée à la base de données. Un historique est également rempli sur une feuille Excel qui retrace l'ensemble des détections enregistrées par la station fixe et interprétées.

4.4.3. Les pistages mobiles

Source principale de données sur l'étude, il s'agit du moyen utilisé pour récolter les données de positions

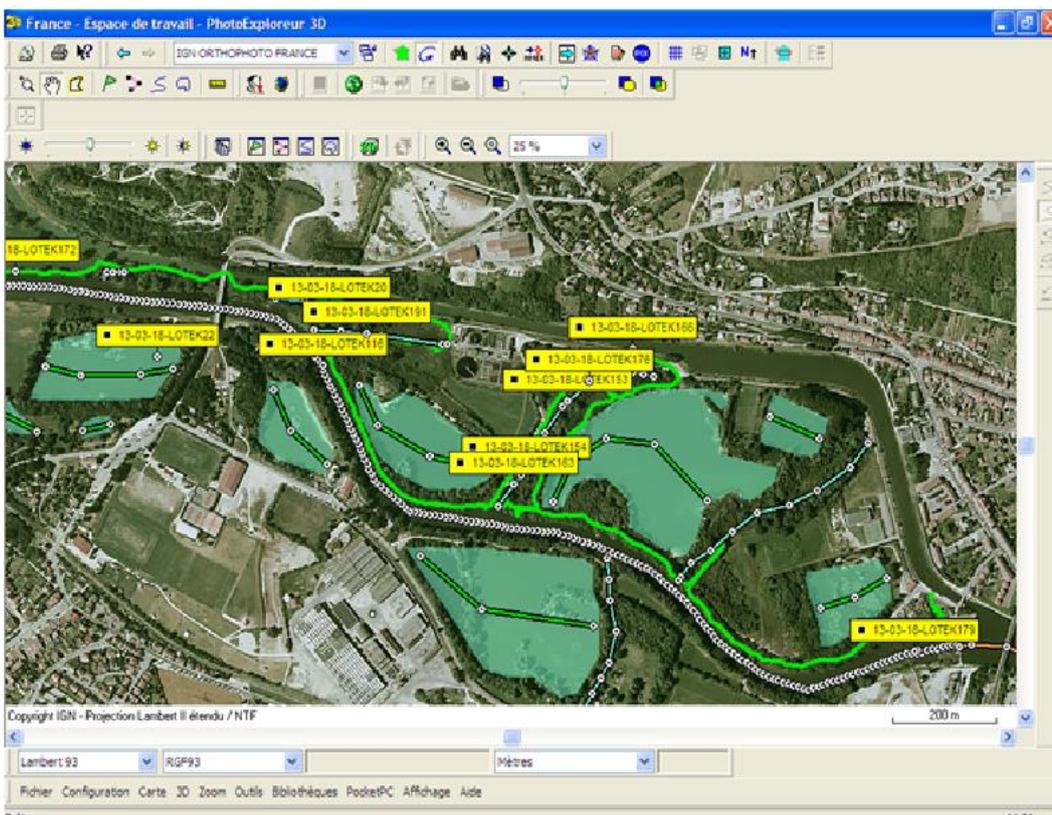


Figure 19: Opérateur avec le matériel de radiopistage

des individus marqués. Le système est le même que celui de la station fixe mais avec des batteries plus légères (12V, 7Ah), pour une autonomie d'environ 5 à 6h. Les données quant à elles ne sont pas stockées dans une carte SD mais directement visibles sur une tablette électronique via l'application Orion Tool (Annexe 9). Il y apparaît principalement le numéro du poisson détecté et la puissance du signal. Un individu peut être détecté

à plus de 100m dans de bonnes conditions.

L'antenne fonctionne comme un viseur, l'opérateur doit alors interpréter ce que lui indique le système pour se rapprocher de la « top détection » et noter les informations sur l'individu dans une feuille de terrain. Un point GPS (GPS Garmin) est également pris sur le lieu de la top détection. Un exemple de feuille de terrain est disponible en Annexe 10. Un biais opérateur peut apparaître dans ce protocole, notamment sur la position exacte du poisson (chenal, berge...) et l'habitat (bois mort, végétation surplombante...), mais sa position longitudinale dans le fleuve (PK) est tout de même fiable vu la précision du système. L'ensemble pèse environ 10kg et peut être porté par un opérateur dans un grand sac à dos de randonnée (Figure 19). Le pistage consiste à parcourir les berges du secteur d'étude afin de détecter l'ensemble des individus



présents, ainsi que les émetteurs posés sur le fond (poisson mort, ou émetteur rejeté à l'eau par un pêcheur).

Une fois les données collectées, elles doivent être rentrées dans la base de données informatique. La

Figure 20: Interface 3D-Exploreur

première étape est de rentrer les points GPS dans le logiciel 3D Exploreur. Une image de l'interface du logiciel est disponible sur la *Figure 20*.

Pour chacun de ces points GPS il faut créer un point dans le fleuve représentant la position du poisson évaluée par l'opérateur lors de l'opération de pistage. Une fois tous les individus « placés », les données sont rentrées dans un fichier Excel qui représente le cœur de la base de données de l'étude. Un échantillon est disponible en *Annexe 11*. Chaque détection y est ajoutée avec comme information : le numéro du poisson, l'heure du point GPS et le numéro de ce point, si l'individu a été capté dans le secteur ou hors secteur (amont, aval ou ballastières), le lieu de détection, le type de signal (3s ou 10s), les coordonnées du point GPS créé pour l'individu, le point kilométrique (récupéré depuis la graduation tracée sur 3D Exploreur), la puissance du signal, la position, et les habitats estimés, et un commentaire si nécessaire. Ce fichier peut également être exporté sous format csv pour avoir une visualisation sous le logiciel QGIS. Dans cette base de données, on retrouve alors l'ensemble des détections rangées de la plus ancienne (début de l'étude) à la plus récente (aujourd'hui).

Sur une autre feuille de ce fichier Excel est rentré des informations sur le pistage en lui-même. Un échantillon de cette seconde base de données est disponible en *Annexe 12*. On y retrouve la date de pistage, le ou les opérateurs, le mode de prospection (à pied ou en bateau), l'objectif du pistage (complet ou partiel), le linéaire de berges parcourues, le linéaire de fleuve parcouru, et le linéaire d'annexes hydrauliques parcourues. L'objectif ici est de quantifier l'effort de pistage réalisé par l'opérateur. Un exemple de trace GPS est disponible sur la *Figure 20* ci-dessus (tracé vert). Un autre onglet regroupe les informations de chaque poisson et son statut actuel (vivant, mort, dévalé, dans une ballastière...), un échantillon est disponible en *Annexe 13*. Enfin, un dernier onglet regroupe les informations sur les pêcheurs croisés sur le secteur d'étude, notamment la position et la technique de pêche. Ces informations ont été précieuses pour justifier que certaines disparitions de poissons étaient fortement liées à une capture par pêcheur.

4.5. Traitement de la base de données

Le traitement des données est réalisé en suivant deux objectifs. Le premier, principal, est de calculer différentes métriques par individu afin de pouvoir exploiter les résultats de suivis. Le second objectif s'intéresse essentiellement à quantifier l'efficacité de la méthode de suivi et du système.

4.5.1. Différentes métriques sur les individus

L'architecture de la base de données ne donne pas accès directement à des métriques telles que la distance parcourue par un individu entre 2 pistages ou la distance totale parcourue par exemple. En effet, les détections sont rangées par date et non par poisson. Il était possible de faire un tri par individu pour traiter les données mais ce travail assez long aurait dû être réalisé à la fin du stage et cela n'était pas envisageable en vue du temps disponible pour traiter les données. En effet, le dernier pistage utilisé dans ce présent rapport date du 5 juin 2018. De même, avec 5756 détections sur l'ensemble de l'étude, il est plus intéressant de travailler à l'aide d'un code plutôt que de tout traiter à la main.

J'ai donc écrit un code sous VBA qui sort toutes les métriques nécessaires pour chacun des individus et ce peu importe l'état d'avancement de la base de données. C'est-à-dire que des informations peuvent se rajouter à la base de données et il suffit de faire tourner une macro pour obtenir les différentes métriques de chaque individu. De ce fait, il a été possible de traiter rapidement les données en fin de stage, que ce soit sur les dernières données disponibles ou pour sortir les métriques de chacune des périodes temporelles qu'il a été décidé d'évaluer (voir la partie résultats). Un équivalent de ce code raccourci et simplifié est disponible en *Annexe 14* afin d'illustrer le travail réalisé.

Le type d'information obtenu pour chaque individu est disponible en [Annexe 15](#). Pour chaque individu est alors connue la plage longitudinale sur laquelle il a été détecté à l'aide des PK min et max (PK= point kilométrique sur le linéaire du secteur d'étude), son déplacement maximal avec la date correspondante, son déplacement total sur la période étudiée, son déplacement moyen entre deux pistages, le nombre de détections enregistrées, ainsi que l'ensemble de ses distances parcourues entre pistages date par date. Sur l'[Annexe15](#) apparaît aussi des données de « vitesse de déplacement » et de « déplacement le plus rapide ». Il s'agit de la distance parcourue entre deux pistages divisée par le temps écoulé entre les deux pistages. Cette donnée n'a pas servi dans ce rapport car compliquée à interpréter mais est toujours disponible dans le traitement de la base de données.

4.5.2. Données statistiques sur les pistages

J'ai également écrit un autre code pour obtenir des informations sur l'efficacité du système et de la méthode de pistage. Le code se base sur l'onglet regroupant les informations poisson par poisson ainsi que sur la base de données générale (détections). Ce code permet de rendre compte à chaque date de pistage du nombre d'individus présents dans le secteur, du nombre d'individus détectés dans le secteur, et de même concernant l'ensemble des émetteurs (poissons vivants + poissons morts + émetteurs rejetés à l'eau). La liste des poissons détectés lors de chaque pistage est également disponible. Le code ne sera pas détaillé ici car assez long et difficilement compréhensible sans avoir le fichier Excel sous les yeux. Le code précédent suffit à montrer un exemple du type de travail réalisé. Hormis les pistages partiels, le taux de détection est relativement bon et rend bien compte de l'efficacité du système, de la méthode de pistage, et des opérateurs. En effet, sur l'ensemble de l'étude c'est en moyenne 91% des individus qui sont détectés à chaque pistage. Il est toujours possible de rater un individu situé trop profondément dans la colonne d'eau et/ou derrière un obstacle.

5. Résultats

Les données vont être exploitées sous trois approches.

La première sera une approche plus individuelle, 7 brochets seront étudiés plus spécifiquement. Cette partie permettra de souligner les différences individuelles importantes qui sont fréquemment rencontrées dans ce type d'étude, et permettra également une première approche plus visuelle et précise des résultats.

Dans la seconde approche, le maximum de données exploitables sera intégré aux résultats, un focus sera réalisé sur la période de reproduction, ainsi que sur deux variables abiotiques, le débit et la température de l'eau.

La dernière partie est focalisée sur les annexes hydrauliques et le lit majeur qui sont utilisés par les brochets comme zone de refuge, d'alimentation et surtout comme zone de reproduction. Ces faits seront tout d'abord démontrés puis il sera abordé les différences de fréquentation observées entre les différentes annexes hydrauliques. Ce point de vue permet d'intégrer au travers du nombre de juvéniles les résultats des pêches électriques réalisées de fin mai à mi juin sur le site d'étude et notamment dans les annexes hydrauliques.

5.1. Découpage des données en Périodes et en groupes d'individus

La base de données exploitée dans ce rapport s'étend du 26 Septembre 2016 au 6 juin 2018. Elle rend compte des positions de 100 individus, qui ne seront pas tous exploités ici. En effet une bonne partie a rapidement disparu après avoir été introduits dans le secteur d'étude, principalement dû à des captures par pêcheurs. Ces individus ont donc été écartés lors de l'étude des métriques de déplacements. Cette base de données regroupe néanmoins 5756 détections. Comme il l'a été souligné dans la partie bibliographique, une multitude de facteurs agissent sur le déplacement des brochets. Les individus peuvent avoir des réponses comportementales différentes, et ils peuvent être réunis en plusieurs groupes caractéristiques et ce pour plusieurs critères.

Un découpage des données est alors effectué pour permettre de mettre en avant des corrélations entre différents facteurs et les mouvements enregistrés des individus. Ici il sera principalement étudié la période de reproduction, l'impact de facteurs abiotiques comme le débit, ce qui explique l'isolement des périodes de crues et des périodes de basses eaux nommées « période de base » dans cette étude, et la différence entre les poissons issus de pisciculture et les poissons issus du fleuve. Ces derniers étaient initialement présents sur le site et ont été capturés par pêche électrique ou à la ligne. Les poissons de pisciculture proviennent d'eaux closes. Ce découpage est disponible en [Annexe 16](#). A chaque groupe est associée une période temporelle ainsi que la liste d'individus qui étaient en vie à ce moment là. Les comportements « base brochet fleuve » et « base brochets pisciculture » ont des périodes temporelles allant du 1^{er} mai 2017 jusqu'au 8 novembre 2017, dernier pistage avant la première crue hivernale. Elles caractérisent une période d'étiage située en dehors de la période de reproduction. Elles représentent donc ce qui est appelé « comportement de base » et seront comparées aux autres périodes isolées, notamment les périodes de crues et de reproduction. Les poissons de ces deux périodes de référence sont alors surlignés en vert pour les poissons de pisciculture et en bleu ciel pour les poissons du fleuve, partout où ils apparaissent. La première partie des résultats s'intéressera aux 6 poissons du groupe « brochets de présentation de l'étude ». Au tout début de la seconde partie, paragraphe 5.3.1., des analyses statistiques vont permettre de savoir si les listes de poissons de chaque compartiment (crue, reproduction...) sont utilisables ou si l'analyse des résultats doit se limiter aux poissons surlignés en bleu ciel et en vert. En effet une

comparaison statistique va avoir lieu entre les comportements et le « comportement de base ». Quasiment l'ensemble du découpage des périodes et du choix des échantillons d'individus reposent sur ce schéma d'analyse ([Annexe 16](#)).

Il est à noter que les périodes de reproduction ont été choisies en suivant le calendrier administratif de fermeture de la pêche dans les lots de seconde catégorie piscicole (1^{er} février au 30 avril). Cela ne représente pas exactement les périodes de reproduction observées mais celles-ci se situent dans les dates du calendrier administratif, allant pour les deux années de mi-février à début avril.

5.2. Approche des résultats avec 7 individus

Les 7 individus étudiés dans cette partie proviennent du fleuve (numéros : 20, 23, 24 et 25) mais également de pisciculture (numéros : 124 et 129). Ils ont tous été équipés d'émetteurs lors de la première partie de l'étude en 2016. 2 d'entre eux sont encore vivants (20 et 24) tandis que les autres sont morts ou disparus. Leur date de perte est disponible sur l'[Annexe 17](#), ainsi que différentes informations comme leur date de lâcher, leur taille, leur poids, leur statut actuel et le nombre de détections sur la totalité de l'étude. Il est à noter que le sexe des individus est une information absente. Cet aspect sera repris dans la partie discussion. Néanmoins, grâce à des observations sur le terrain le Numéro 124 peut être considéré comme une femelle, observée en fraie avec un autre individu bien plus petit (mâle). En effet, les mâles grandissent moins que les femelles et sont généralement plus petits.

Il sera étudié sur ces poissons leurs déplacements longitudinaux et latéraux, la séparation Brochets de fleuve et Brochets de rempoissonnement sera également abordée, ainsi qu'une estimation des domaines vitaux de ces individus en fonction de la période.

Le choix s'est porté sur ces 6 poissons là car ce sont les seuls à être restés en vie sur quasiment la totalité de l'étude, et donc sur les périodes qui nous intéressent particulièrement. En effet, à la date du 1^{er} mai 2018 il restait en vie sur le secteur d'étude seulement 4 individus du fleuve sur 19 équipés en 2016, et 1 individu de pisciculture sur les 36 relâchés.

Pour l'anecdote, à la date du 06 juin 2018, le nombre total d'individus vivants (pisciculture et fleuve) s'élève à 2 individus du fleuve (20 et 24) sur les 55 brochets équipés en 2016. Concernant les 53 poissons manquants : 13 ont été capturés, 8 ont dévalé en aval du secteur d'étude, 13 sont morts, 3 sont coincés dans une ballastière et 16 ont disparu (probablement capturés).

5.2.1. Déplacements globaux

Le graphique disponible en [Annexe 18](#) représente le positionnement longitudinal de chacun de ces individus en fonction du temps. Les périodes choisies sont mises en avant ici. Les points de relâchés et de morts (pour les poissons concernés) sont mis en avant. Il est à noter que des variations de déplacements entre les périodes choisies sont déjà bien visibles sur cette représentation, en comparant par exemple le « comportement de base » aux autres comportements, et notamment la période de reproduction de 2018. Les poissons semblent avoir un poste fixe l'été et semblent se déplacer plus fréquemment sur les autres périodes.

Des différences individuelles semblent également se dessiner. Les poissons de piscicultures semblent également fréquenter un site durant la période estivale mais montrent déjà des déplacements supérieurs aux poissons du fleuve, à l'image du numéro 20 et du numéro 124. Dans les autres périodes, et notamment « Crue 2018 » et « Repro 2018 », les deux individus issus de pisciculture ont énormément bougé en quittant même le secteur d'étude par l'aval pour le numéro 129, et par l'amont et l'aval pour le numéro 124. Les individus du fleuve semblent également montrer des déplacements plus importants sur ces périodes mais qui peuvent être plus liés à un changement de zone, à l'image du numéro 20 lors de la période Crue 2018 et Repro 2018 qui quitte son poste estival pour rejoindre une annexe hydraulique où il restera à l'abri durant

la crue et y passera également la période de reproduction. Il est à noter sur ce poisson qu'il a rejoint sa zone estivale après la reproduction. Il semble qu'il y ait une fidélité d'habitat qui se dessine concernant cet individu.

Enfin, après avoir observé les différences entre périodes types (reproduction, crue, été) et entre individus (fleuve, pisciculture), les variations annuelles vont être analysées car elles sont aussi importantes et bien mises en avant sur ce graphique. La comparaison s'effectue entre la période Crue 2017 et Crue 2018, et également entre la période Repro 2017 et Repro 2018. Une activité plus importante est enregistrée sur l'année 2018, qui a connu des crues beaucoup plus importantes également. Il pourrait apparaître ici le rôle d'un facteur abiotique qui est le débit.

5.2.2. Position latérale dans le « système fleuve »

On peut déjà observer une différence marquée entre les poissons du fleuve et ceux de pisciculture sur les diagrammes fournis en [Annexe 19](#), qui semblent rester plus souvent dans le lit mineur du fleuve et ne pas utiliser fréquemment les annexes hydrauliques. Sur l'ensemble du jeu de données de ces deux poissons de pisciculture, 1/10 des détections sont situées dans une annexe hydraulique contre plus d'1/4 des détections pour les 4 poissons issus du fleuve. Ces détections ont principalement lieu pendant les périodes de reproduction.

Une différence annuelle est encore présente et principalement concernant la période de crue où aucune détection en annexe hydraulique n'a été détectée en 2017 contre presque la moitié des détections pour les poissons issus du fleuve lors de la saison 2018.

Des diagrammes ont été également tracés pour chacun de ces individus et sont disponibles en [Annexe 20](#). Ils rendent compte de la variabilité individuelle qu'il peut y avoir au sein d'un même groupe (fleuve, pisciculture). L'individu numéro 20 est le poisson ayant fréquenté le plus des annexes hydrauliques avec des détections élevées lors des deux périodes de reproductions. Lors de celle de 2018, plus du double de ses détections étaient localisées en annexe ou en lit majeur, contrairement au lit mineur. Le seul autre poisson ayant montré de tels résultats est le numéro 25 sur la période de reproduction de 2018, même si sa présence dans les annexes hydrauliques a été quasiment absente lors de la saison 2017. Les individus numéro 23 et 24 quant à eux ont très peu fréquenté les annexes hydrauliques et sont restés cantonnés la majeure partie du temps dans le lit mineur.

Malgré ces variations individuelles, ce type de graphique permet de montrer l'importance des annexes hydrauliques pour le brochet comme zone de refuge et comme zone de reproduction.

5.2.3. Séparation individus issus du fleuve et individus issus de pisciculture ; variations individuelles

Les premières différences observées « à vue » entre ces deux groupes d'individus se confirment lors de la comparaison de la métrique « valeur moyenne de déplacement entre

Tableau 2: Déplacement moyen des individus de présentation

numéro poisson	déplacement moyen (km)
20	0,190
24	0,352
23	0,283
25	0,107
124	0,509
129	0,681

deux campagnes de radiopistages ». Le choix s'est porté sur une représentation en Boxplot de l'ensemble des déplacements enregistrés pour chaque individu, avec comme code couleur un Boxplot bleu si l'individu est issu du fleuve et vert s'il est issu de pisciculture. L'avantage est de pouvoir comparer la valeur moyenne qui est la métrique recherchée mais aussi la diffusion des valeurs autour de cette moyenne. Cela va permettre de mettre en avant le fait que l'individu a une gamme de valeurs de déplacements plutôt

restreinte ou alors des déplacements plus irréguliers et non centrés autour d'une tendance générale. Les boxplot sont disponibles en [Annexe 21](#).

Comme attendu les poissons de pisciculture ont une valeur moyenne de déplacement supérieure à celle des poissons du fleuve. Ces valeurs moyennes sont regroupées dans le [Tableau 2](#).

En ce qui concerne la répartition des valeurs de déplacements, là aussi une différence apparaît entre pisciculture et fleuve, visible sur la longueur de la « moustache » supérieure du Boxplot. Les 4 individus du fleuve effectuent aussi des déplacements importants mais en s'éloignant moins de leur valeur médiane contrairement aux 2 individus de pisciculture.

5.2.4. Domaine vital et déplacements longitudinaux

Il s'agit d'une approche du domaine vital des individus pour chacune des périodes étudiées disponible en [Annexe 22](#). Au-delà de la plage du domaine vital on retrouve d'autres informations sur ce graphique comme le déplacement maximal entre 2 pistages ainsi que le déplacement moyen. Par soucis de lisibilité la métrique « déplacement total » sur chaque période a été enlevée. Cependant un comparatif entre individu est tout de même disponible en [Annexe 23](#) et sera traité ultérieurement.

La totalité des individus à l'exception du numéro 25 montrent un domaine vital agrandi lors de la période de reproduction par rapport à la période estivale. Ceci traduit une recherche de sites favorables à la reproduction qui se situe en dehors du domaine vital estival, garantissant l'apport en nourriture.

3 individus sur 7 (20, 24, 124) ont un domaine vital agrandi lors d'au moins une des deux crues (2017 ou 2018), traduisant une recherche d'abris ou d'opportunité d'alimentation.

Concernant les déplacements maximums enregistrés, ils sont souvent proches de la taille du domaine vital associé, ce qui peut traduire un changement de zone marqué qui s'effectue entre deux pistages.

Le diagramme en [Annexe 23](#) compare les déplacements totaux de chaque individu sur chacune des périodes.

On y retrouve l'impact du débit qui est bien visible sur la plupart des individus sur les périodes de crue et de reproduction. La totalité des individus à l'exception du numéro 24 se sont plus déplacés en 2018 qu'en 2017.

La différence pisciculture/fleuve se confirme sur les déplacements totaux. La valeur moyenne étant calculée avec le déplacement total divisé par le nombre de pistages, l'interprétation aurait pu être tronquée vu que les individus n'ont pas le même nombre de détections. Mais la tendance de ce graphique confirme bien que les individus 124 et 129 (pisciculture) se sont plus déplacés que les individus 20, 23, 24 et 25 (fleuve).

Les variations individuelles au sein des groupes sont toujours présentes à l'image du numéro 25 qui a très peu bougé par rapport à ses congénères issus du fleuve.

5.3. Elargissement de la base de données

5.3.1. Comparaison des métriques en fonction des groupes d'individus retenus

Après cette présentation générale au travers de 7 individus, l'objectif est ici d'intégrer plus de données dans les résultats. Pour bien comprendre le travail effectué dans cette sous-partie, il peut être judicieux de revoir le découpage temporel et les groupes d'individus disponibles en [Annexe 16](#). Les métriques des comportements « Crue » et « reproduction » vont être comparés au comportement « de base » qui sert de référence. Le problème est que ces différents groupes ne comportent pas le même nombre d'individus, ce qui est bien visible avec les poissons surlignés en bleu et en vert. L'idée est alors de comparer les métriques des comportements Crue et Reproduction obtenues en gardant leur groupe d'individus respectifs et en gardant uniquement les individus surlignés (appartenant au comportement « base »). Les résultats sont disponibles en [Annexe 24](#). Seules les métriques les plus intéressantes sont conservées. On peut constater des variations notables sur ces grandeurs pour la totalité des périodes testées. Une ligne supplémentaire est ajoutée au tableau, nommée « test stat ». Il s'agit d'un test statistique de Student qui compare les séries de données entre elles et indique si les moyennes calculées sont sensiblement différentes ou pas. Si le résultat est inférieur à 0,95 les jeux de données peuvent être considérés comme sensiblement différents. Les résultats en rouge rendent compte d'une réponse négative du test statistique. Un seul test semble positif, cela indique de manière générale une différence entre les échantillons qui sont comparés. Ainsi, pour les comparaisons effectuées entre la période « de base » et les autres périodes il sera utilisé uniquement les poissons surlignés en bleu ciel et en vert pour éviter de fausser les résultats.

5.3.2. Variations au sein des populations « fleuve » et « pisciculture »

Cet aspect a déjà été abordé dans la partie d'introduction aux résultats au travers des différences individuelles. Il sera néanmoins détaillé ici sur la métrique « déplacement moyen ». Une séparation est faite entre les brochets de pisciculture et les brochets de fleuve. Le choix s'est tourné vers une représentation en Boxplot du déplacement moyen des individus pour chaque période. Ainsi cela montre pour chaque événement (crue, reproduction, étiage) la moyenne sur tous les individus de la métrique « moyenne de déplacement » mais également la répartition des données autour de cette valeur. Il peut donc être mis en avant le fait qu'une population soit plus homogène qu'une autre (« moustaches » du Boxplot plus courtes). Les Boxplots sont disponibles en [Annexe 25](#). Les poissons du fleuve sont représentés avec des Boxplot bleus, et les individus de pisciculture avec des Boxplot verts.

Tableau 3: Déplacement moyen par période pour les poissons du fleuve et ceux de pisciculture

Origine poisson	Période	nombre d'individus	nombre de détections	déplacement moyen
Fleuve	base	9	252	0,098
	Crue 2017	9	96	0,244
	Crue 2018	5	62	0,285
	PréRepro	9	57	0,22
	Repro2017	9	230	0,201
	Repro2018	4	191	0,235
pisciculture	base	5	119	0,355
	Crue 2017	5	50	0,299
	Crue 2018	3	27	0,799
	PréRepro	5	31	0,38
	Repro2017	5	108	0,376
	Repro2018	3	118	0,637

Le premier élément notable est un déplacement moyen plus important pour les groupes pisciculture que les groupes fleuve et ce pour toutes les périodes étudiées. Ces valeurs moyennes sont regroupées dans le [Tableau 3](#). Dans ce tableau figure également le nombre d'individus de chaque groupe. On peut remarquer que les effectifs dans les périodes Crue 2018 et Repro 2018 sont plus faibles. Ceci est dû à la disparition d'individus. Les poissons restants correspondent à la liste de brochets utilisés pour présenter l'étude, à

l'exception d'un poisson supplémentaire pour les poissons issus de pisciculture. Le choix a été de conserver tout de même des effectifs plus élevés lors des différentes périodes de 2017 pour augmenter le nombre de détections prises en compte, valeurs disponibles également dans le *Tableau 3*.

Sur les Boxplot, les valeurs paraissent plus diffuses pour les poissons de pisciculture que les poissons de fleuve et ce pour toutes les périodes étudiées à l'exception de l'évènement « Repro 2017 ». Il semblerait donc de manière générale que la population « fleuve » semble plus unie autour d'un comportement commun et que la population « pisciculture » soit plus hétérogène dans ses comportements.

5.3.3. Différences de stratégies choisies par les individus en fonction des périodes

Dans cette partie, le support reste les boxplots disponibles dans l'*Annexe 25*. Ici on s'intéresse à la variation de la taille des boîtes et des « moustaches » des Boxplot entre chaque évènement (crue, reproduction...). A la vue des Boxplot, on observe de plus grandes variations entre les différentes périodes du côté des poissons de pisciculture que des poissons issus du fleuve. Cela pourrait signifier qu'à l'approche d'évènements comme une crue ou la reproduction, les brochets du groupe pisciculture ont des stratégies et des attitudes qui divergent, comparé aux individus du groupe fleuve qui ne semblent pas montrer de grande variation, hormis pour l'évènement « Crue 2017 ».

5.3.4. La période de reproduction



Figure 21: Deux brochets en fraie (Source: FDPPMA55)

Il s'agit de la période du cycle de vie du brochet qui va le plus nous intéresser dans ce rapport en vue de la problématique traitée (*Figure 21*). Des résultats ont déjà été abordés dans les parties précédentes. Un focus sur cette période est réalisé ici.

5.3.4.1. Déplacements

La caractérisation de la période de reproduction va se faire sur les métriques liées aux déplacements des individus. Pour ce faire, les métriques des périodes de reproduction de 2017 et 2018 vont être comparées aux métriques de la période de « base ». Les brochets sont séparés en fonction de leur origine (pisciculture, fleuve). Les individus pris en compte ici sont surlignés en bleu ou en vert sur le schéma disponible en *Annexe 16*, c'est-à-dire que seuls les individus appartenant aux groupes de « base » sont retenus. Les résultats sont disponibles dans le *Tableau 4* et le *Tableau 5*.

Tableau 4: Métriques Reproduction 2017, déplacements en km

base de données	durée période (jours)	nb individus	nb de détections	moyenne plage	moyenne déplacement max	moyenne déplacement total	moyenne déplacement moyen	moyenne nb de détections par
comportement base fleuve	192	9	252	0,792	0,609	2,725	0,098	27,000
comportement repro 2017 (fleuve)	89	9	230	1,406	1,204	4,922	0,201	24,556
Test Statistique				0,112	0,081	0,096	0,046	
comportement base pisciculture	192	5	119	1,724	1,298	10,922	0,355	29,000
comportement repro 2017 (pisciculture)	89	5	108	1,983	1,734	7,805	0,376	20,600
Test Statistique				0,659	0,383	0,494	0,872	

Tableau 5: Métriques Reproduction 2018, déplacements en km

base de données	durée période (jours)	nb individus	nb de détections	moyenne plage	moyenne déplacement max	moyenne déplacement total	moyenne déplacement moyen	moyenne nombre de détections
comportement base fleuve	192	4	113	1,318	1,04	4,443	0,158	27,25
comportement repro 2018 (fleuve)	89	4	191	2,944	2,126	10,815	0,235	46,750
Test Statistique				0,138	0,231	0,062	0,340	
comportement base pisciculture	192	3	79	1,757	1,317	9,17	0,327	34,5
comportement repro 2018 (pisciculture)	89	3	118	5,668	3,890	25,518	0,637	38,333
Test Statistique				0,097	0,037	0,26	0,279	

Les métriques les plus importantes sont encadrées en rouge. Le choix a été de garder le même nombre d'individus pour comparer la période estivale aux 2 périodes de reproduction. En 2017, les métriques sont calculées sur 9 individus contre 4 en 2018, dû à la mortalité/capture de 5 individus. Sur les 4 métriques de déplacements comparées, elles semblent toutes supérieures pendant la période de reproduction comparées à la période estivale, et ce pour les deux années. Une exception notable est le déplacement total moyen sur la reproduction 2017 pour les poissons de piscicultures qui est inférieur à celui de la période de « base » (7,805km contre 10,922km). Ceci peut s'expliquer par un nombre de détections plus faible lors de la période reproduction 2017 (108 détections contre 119) puisque la moyenne du « déplacement moyen » est supérieure pour cette période comparé à la période de « base » (0,376km contre 0,355km).

Des tests statistiques ont été réalisés afin de confirmer les différences observées. Il s'agit toujours de test de Student. Tous les tests sont négatifs (en rouge dans le *Tableau 4* et le *Tableau 5*), qui confirme qu'aucune des métriques comparées n'est sensiblement identique.

Ainsi, une activité supérieure lors de la période de fraie est bien enregistrée dans cette étude par rapport au comportement de référence.

5.3.4.2. Repérage des sites de fraies en pré-reproduction

Lors de l'analyse des graphiques PK en fonction du temps de chaque poisson il est apparu que certains individus semblaient venir repérer des sites de fraies potentiels avant la période de reproduction. Ce comportement a été observé pendant la période de petites crues de l'hiver 2017, entre le 1^{er} décembre 2016 et le 12 janvier 2017. Il semble être présent majoritairement chez les poissons issus du fleuve avec plus de 50% des individus concernés, contre 8% chez les poissons issus de pisciculture. Sur l'ensemble des individus vivants durant cette période, cela représente 26% qui semblent avoir adopté ce comportement. Le fait que plus de la moitié des individus du fleuve aient réagis montre qu'il s'agit d'un comportement réel et que cela n'est pas dû au hasard des déplacements. Ces données sont disponibles dans le *Tableau 6*.

Tableau 6: Comportement Pré-Reproduction

		total d'individus	Comportement PreRepro	pourcentage
PreRepro	fleuve	15	8	53%
	pisciculture	24	2	8%
	tout confondu	39	10	26%

Le seul élément de bibliographie se rapprochant de ce comportement est l'observation faite dans Knight 2006, des brochets de petite taille viennent en premier sur les sites de frayères pour avoir plus de chance de se reproduire et éviter la prédation. Ici, en travaillant uniquement sur les individus du fleuve, la longueur moyenne des individus ayant eu ce comportement est de 55,3cm (45 à 67cm) contre 60,1cm (51 à 70cm) pour les autres poissons. Il est bien retrouvé une taille inférieure pour les poissons se déplaçant sur ou à proximité des frayères pendant cette période de « pré-reproduction » mais les tailles observées des deux groupes sont relativement similaires et ne permettent pas d'aboutir à une corrélation taille/comportement.

Afin d'illustrer ce comportement, les déplacements pendant cette période des individus 24 et 26 sont donnés en [Annexe 26](#). Les points entourés en rouge sont des points proches d'annexes hydraulique et donc de sites de fraie potentiels. Afin de mieux visualiser ces déplacements, les positions de ces individus sont fournies en [Annexe 27](#) pour le 24 et en [Annexe 28](#) pour le 26.

5.3.4.3. Fidélité au site de fraie

Seulement 7 individus ont pu connaître deux périodes de reproduction. Il s'agit des brochets de présentation de l'étude ainsi que du numéro 128. Sur ces 7 individus, 4 semblent avoir montré une fidélité sur les 2 années concernant le site de reproduction choisi (20 dans la noue de la queue de perche, 23 dans la noue des hautes rives, 24 dans la noue grand ban, 129 dans la noue du grand large). L'effectif est faible pour pouvoir en tirer des conclusions. Néanmoins, 3 des 4 poissons issus du fleuve sont revenus sur le même secteur pendant la période de reproduction.

5.3.4.4. Impact du barrage de Belleville-Sur-Meuse

Comme cela a été vu dans la partie bibliographique, le brochet a tendance à effectuer une migration vers l'amont pour se reproduire. L'amont du secteur d'étude est délimité par un barrage à aiguille dépourvu de passe à poissons et qui est considéré comme infranchissable tant qu'il est levé. Lors des pistages, nous avons remarqué que plusieurs poissons se situaient en aval du barrage momentanément (pour un pistage). La supposition est que ces individus se déplacent vers l'amont et sont bloqués par l'obstacle dans leur migration. Ils font alors demi tour et cherchent un site de fraie potentiel. Les pourcentages concernés sont disponibles dans le [Tableau 7](#).

Tableau 7: Pourcentage d'individus bloqués au barrage de Belleville-Sur-Meuse

		total d'individus	bloqué au barrage	pourcentage
Repro 2017	fleuve	13	6	46%
	pisciculture	17	7	41%
	tout confondu	30	13	43%
Repro 2018	fleuve	15	5	33%
	pisciculture	13	5	38%
	tout confondu	28	10	36%

Lors de la reproduction de 2017, 43% des individus sont concernés par ce comportement, et 36% lors de la saison 2018. Sachant que nous ne pouvons pas pister de manière continue, il est possible que ce comportement concerne encore plus d'individus. Le barrage semble constituer une véritable gêne dans la migration du brochet lors de la reproduction. Certains individus sont mêmes venus plusieurs fois buter au pied du barrage à différentes dates. Afin d'illustrer ce phénomène, le graphique PK en fonction du temps des individus numéro 179 et 194 sont disponibles en [Annexe 29](#). Les deux poissons sont détectés plusieurs fois juste en aval du barrage de Belleville.

5.3.4.5. Impact des ballastières

Plusieurs ballastières se situent dans le lit majeur de la Meuse au niveau du secteur d'étude. Lors de la période des hautes eaux, certaines de ces pièces d'eau sont connectées au fleuve et le poisson peut librement rejoindre ces zones. 14 individus ont quitté le fleuve lors de la période de hautes eaux de 2018 (connexion du 15/12/2017 au 10/04/2018 avec des coupures) et sont restés coincés dans ces ballastières. 6 individus se sont déplacés pendant le mois de janvier tandis que les 8 autres furent piégés pendant la période de reproduction. Lors de cette crue, l'effectif total d'individus vivant était de 49 poissons. Il est à noter que sur ces 49 individus, 3 ont quitté le secteur d'étude par l'aval (9 individus en y ajoutant la période de reproduction) et 1 par l'amont. Le nombre d'individus pouvant être piégés dans une ballastière est donc rapporté à 45. Cela signifie que 14 individus sur 45 soit 31% des brochets marqués se sont retrouvés bloqués dans des eaux closes. En enlevant les individus ayant dévalés pendant la période de reproduction le pourcentage de poissons qui se sont retrouvés piégés s'élève à 36%. Une carte est disponible en [Annexe 30](#) et indique les pièces d'eau dans lesquelles des individus sont restés bloqués.

Ces chiffres soulignent un réel impact des ballastières situées en lit majeur d'un fleuve sur l'espèce Brochet. Cet impact sera repris dans la partie discussion.

5.3.5. Les facteurs abiotiques

Comme nous avons pu voir dans les parties précédentes le débit influence grandement les mouvements des brochets. Dans la partie bibliographie il a été mis en avant qu'il en est de même concernant la température. Cette partie résume une tentative de démontrer l'impact de ces deux facteurs abiotiques de manière quantitative. Il est à noter qu'il n'est jamais évident d'établir de manière quantitative un lien clair entre ces paramètres et les déplacements des individus, vue la quantité de facteurs externes pouvant intervenir en même temps. A la vue des précédents résultats, des données sur les déplacements des individus et de notre ressenti au fil de l'étude, la reproduction de 2017 semble avoir été déclenchée par des petits pics de crue tandis que la reproduction de 2018 par une plage de température favorable à la fraie. En effet, le profil hydrologique de l'année 2017 traduit une année sèche tandis que l'année 2018 a quant à elle connue des crues exceptionnelles (période de retour de 20 ans). Les facteurs limitant la fraie semblent donc être différents sur ces deux années.

L'objectif de cette partie était de démontrer ce ressenti de manière quantitative. Malheureusement, les essais n'ont pas abouti mais seront tout de même abordés. Le traitement des données est compliqué sur cette période puisque des mouvements sont enregistrés lorsque les poissons se déplacent sur les sites de fraies, et lorsqu'ils quittent ces zones.

Cependant, une approche basée sur la période estivale et la période de crue 2018 s'est intéressée quant à elle aux variations de débits et non à la valeur de débit elle-même. Ces travaux seront également présentés dans la prochaine partie.

Le lien déplacement-température est très rarement observable, aucune corrélation n'a été trouvée. Mais les sondes ont permis de connaître les températures minimales à partir desquelles les brochets ont frayés.

5.3.5.1. Débit

Les premières approches ont consisté à mettre en lien le déplacement des poissons avec la valeur du débit lors du pistage. Prendre la valeur du débit à la date du pistage est un véritable parti pris pour le traitement des données. Pour le comprendre, nous allons nous appuyer sur la *Figure 22*.



Figure 22: Courbe de débit pour l'exemple

Les déplacements sont enregistrés entre deux dates de pistage, dans l'exemple les dates sont au niveau des ronds rouges sur la courbe. Les déplacements peuvent avoir lieu à n'importe quel moment entre ces deux dates. Si on retient comme valeur de débit associée à ces déplacements le débit à la date du second pistage soit $285\text{m}^3/\text{s}$, le risque est que le facteur qui ait fait bouger les individus soit le pic de crue à $425\text{m}^3/\text{s}$ et non la valeur retenue. Cet exemple montre la limite du choix qui a été effectué, et peut expliquer les faibles corrélations trouvées. Cependant, il est difficile de faire mieux (concernant la valeur du débit) en vue de la quantité de données à traiter, car il faudrait étudier chaque déplacement au cas par cas.

Cette approche a été réalisée sur les deux périodes de reproduction et sur les déplacements de tous les individus pouvant être exploités durant ces deux périodes. La liste des individus se retrouve dans l'*Annexe 16*. Les résultats de l'approche sont disponibles en *Annexe 31* et en *Annexe 32*. Aucune corrélation ne semble se dégager. Les causes ont été citées ci-dessus. Il pourrait y être ajouté le fait que les individus en fraie ne se déplacent pas et affichent un déplacement nul même si le débit semblait intéressant.

Une seconde approche a tout de même été tentée. Le but étant de montrer que les brochets sont sensibles à l'arrivée d'une crue, l'idée a été de tracer des graphiques sur la période d'étiage ou appelée ici période de base ET sur la période de crue 2018. L'autre nouveauté de l'approche et de s'intéresser aux variations de débits entre les deux dates de pistages et non à la valeur du débit. Cette variation de débit est calculée en soustrayant la valeur de débit du premier pistage à la valeur de débit du second pistage. Il s'agit ici aussi d'un parti pris. En reprenant l'exemple de la *Figure 22*, la variation de débit calculée est de $-35\text{m}^3/\text{s}$. Le pic de crue n'est toujours pas pris en compte alors qu'il peut être à l'origine de déplacements, qui seront alors associés à une mauvaise variation de débit. Mais là aussi, cela nécessiterait un travail « à la main » assez long et n'est pas envisageable en vue du temps imparti. Une autre solution aurait pu être d'intégrer la courbe des débits entre les deux dates de pistages. Mais en vue de la quantité de données et du temps disponible cette méthode n'a pas été mise en place.

Les premiers résultats sont disponibles en [Annexe 33](#). Ils sont issus des déplacements effectués par les poissons de fleuve et de pisciculture sur les deux périodes retenues, « base » et « crue 2018 ». Une corrélation pourrait se dessiner. Les individus semblent avoir des déplacements plus importants lorsque des variations de débits positives ou négatives sont enregistrées. Cependant, il est difficile de confirmer cette tendance.

L'idée a été de garder uniquement les poissons du fleuve qui semblent avoir un comportement plus « rationnel » que les poissons de piscicultures en vue de l'ensemble des résultats précédents. De même, un « zoom » est effectué sur la courbe et les variations de débits retenues se situent uniquement entre -40 et +40m³/s. La raison est tout simplement que les variations plus importantes sont moins rencontrées, donc associées à moins de données, et les valeurs extrêmes (+300m³/s et -300 à -400m³/s) proviennent souvent d'individus qui n'ont pas été détectés lors d'un pistage et ne sont pas représentatives de la réalité. Les résultats sont disponibles dans l'[Annexe 34](#). La tendance semble se confirmer mais la répartition des données est très inégale. Un poids important est attribué au centre du graphique et les parties extrêmes sont sous représentées.

Pour palier à ce problème, un traitement des données a été effectué sur l'ensemble des déplacements des brochets du fleuve. La proposition est d'effectuer des classes de variations de débit sur laquelle une valeur moyenne de déplacement est calculée. Ensuite, le graphique est construit à l'aide de ces valeurs moyennes. Les tranches de variations de débits retenues sont de 50m³/s par 50m³/s. Les résultats sont disponibles en [Annexe 35](#). Les variations retenues se situent entre -150 et +150m³/s pour écarter les valeurs extrêmes qui sont erronées.

Il semblerait que les variations de débit positives soit à l'origine de mouvements plus importants que lorsque le débit est constant. Cependant, en vue de la quantité de facteurs entrant en jeu et des limites de l'approche, cela ne peut pas être affirmé et restera une tendance observée.

5.3.5.2. Température

La température de l'eau est un paramètre encore plus lissé que les variations du débit. Les données disponibles sont les températures de l'eau dans les différentes annexes du secteur d'étude. Cependant, l'évolution de la température de l'eau dans le lit mineur n'est pas disponible car la sonde est restée immergée trop profondément durant toute la durée du stage et les données n'ont pas pu être récupérées. Ajoutées à cela les difficultés rencontrées pour mettre en évidence un lien entre le débit ou ses variations et les mouvements des individus, il apparaît compliqué de trouver un lien concernant la température de l'eau ou ses variations et les déplacements des brochets. Aucune tentative n'a alors été menée pour essayer de trouver une corrélation nette pour la température de l'eau.

Cependant, les températures de l'eau minimales à partir desquelles des brochets ont été observés en fraie peuvent être indiquées. Il semblerait que les poissons aient attendu une température de l'eau de 7°C avant de commencer leur reproduction, et ce sur les deux années d'observations. Cette valeur est en accord avec ce qui se trouve généralement dans la bibliographie, le brochet peut se reproduire à des températures inférieures à 10°C et l'intervalle optimal est entre 8 et 15°C (Biology and ecology of pike, Christian Skov and P. Anders Nilsson, chapitre 3).

5.4. Les annexes hydrauliques et le lit majeur

Le rôle des annexes hydrauliques a déjà été mis en avant lors de l'étude des déplacements des individus, notamment lors de la période de reproduction. Cette partie propose un changement de point de vue en se concentrant sur les annexes hydrauliques elles mêmes. Il sera d'abord abordé la fréquentation de ces zones au cours de l'année par les brochets marqués. Ensuite, des données plus précises par annexe seront fournies et comprendront des résultats de pêches électriques menées entre le 23 mai 2018 et le 13 juin 2018 et lors de la saison 2017.

5.4.1. Fréquentation des annexes hydrauliques en fonction de la période

Les résultats sont présentés en [Annexe 36](#). Il s'agit d'un graphique représentant le débit journalier ainsi que le pourcentage d'individus détectés dans une annexe hydraulique ou en lit majeur pour chaque date de pistage. On observe une forte corrélation entre débit et utilisation de ces annexes. Par exemple, lors des pics de crue observés en 2018 plus de 65% des individus étaient positionnés dans une annexe hydraulique. Les périodes de reproduction apparaissent également, notamment celle de 2018. Le débit baisse mais le nombre de détections en annexe hydraulique reste élevé. Les pourcentages trouvés sont relativement élevés et montrent l'importance de ces zones pour l'espèce. Elles servent de support de pontes ainsi que de refuges contre les crues.

Le nombre d'individus présents dans le secteur est fortement variable, dû entre autres aux morts et aux dévalaisons des individus. Afin de mieux comprendre le nombre de détections représenté par les pourcentages tracés sur le graphique précédent, un deuxième graphique est disponible en [Annexe 37](#). On y retrouve le nombre d'individus présents dans le secteur d'étude ainsi que le nombre de détections de brochets enregistrées en annexes hydrauliques pour chaque date de pistage. Ceci permet de visualiser les effectifs sur lesquels le travail a été réalisé. Sur le tracé du nombre d'individus vivants sur le secteur d'étude les dates de lâchers sont bien visibles (augmentation des effectifs). Par contre, l'allure à laquelle les brochets sont « perdus » est plutôt alarmante, et ce sur les deux années. Ce graphe sera repris dans la partie discussion sur le taux de perte des individus observé durant l'étude.

5.4.2. Différences de fréquentation et d'utilisation des annexes hydrauliques

Les diagrammes disponibles en [Annexe 38](#) (année 2017) et en [Annexe 39](#) (année 2018) représentent le nombre de détections dans chaque annexe hydraulique, le nombre d'individus différents ayant fréquentés ces zones, ainsi que le nombre de juvéniles trouvés lors des pêches électriques. La technique utilisée a été des pêches électrique par point, recouvrant approximativement la moitié de la surface de l'annexe hydraulique. Le nombre de juvéniles trouvés est alors une valeur minimale. Les annexes hydrauliques encadrées en vert ont été restaurées ces dernières années.

Sur les deux saisons, en vue des détections et du nombre d'individus différents recensés, certaines annexes hydrauliques paraissent plus attractives que d'autres. Notamment la noue de Belleville, la noue de la Queue de Perche et la noue de la Culée. En 2018, 43% des individus présents sur le secteur d'étude ont fréquenté la noue de Belleville. Ce chiffre s'élève à 30% concernant la noue de la Queue de Perche.

Les pêches électriques ont été réalisées à la même période (de fin mai à mi-juin), cependant il existe toujours un biais sur la prospection effectuée (nombre de points pêchés et emplacement de ces points). Les comparaisons entre les deux années sont donc à prendre à titre d'information et de tendances générales.

Concernant le nombre de juvéniles retrouvés, la première remarque est que l'année 2018 a semblé plus favorable que l'année 2017, grâce à un profil hydrologique plus adapté aux exigences de l'espèce. Le nombre total de juvéniles trouvés s'élève à 143 en 2018 contre 27 en 2017.

Le lien entre le nombre de juvéniles trouvés dans une annexe hydraulique et le nombre de détections d'individus marqués n'est pas évident à établir. Certaines annexes semblent montrer une corrélation, à l'image de la noue de Belleville et la noue de la Culée en 2017 et en 2018. D'autres annexes montrent un nombre intéressant de détections mais très peu, voire aucun juvénile n'y a été trouvé. Ce fait concerne la noue des la Queue de Perche sur les deux années, le « bras de Meuse prairie du Wameau » en 2017, la noue du Grand Large en 2017, et la noue Grand Ban en 2018. Une des hypothèses est que les pêches ont été réalisées assez tardivement par rapport à la période de reproduction et que les juvéniles aient déjà quitté les annexes hydrauliques. Plusieurs éléments appuient cette hypothèse et seront repris dans la partie discussion. Dans d'autres annexes un nombre « élevé » de juvéniles est retrouvé alors que très peu voire aucune détection n'y a été enregistrée. Ceci peut largement être expliqué avec l'hypothèse que des brochets non marqués aient frayé dans ces annexes. Ce résultat n'est donc pas surprenant.

L'interprétation de ces différences semble toutefois compliquée à mettre en avant avec les caractéristiques des annexes hydrauliques. Il peut être retenu qu'un nombre important d'annexes hydrauliques avec des caractéristiques différentes ne peut être que positif pour l'espèce.

6. Discussion

Certains résultats de la partie précédente ont déjà abouti sur quelques remarques. L'objectif ici est d'aller un peu plus loin dans la discussion et de déboucher dans certains cas sur des propositions concrètes, que ce soit en termes de gestion piscicole, de futurs axes d'étude, ou de modifications de la réglementation.

6.1. Les juvéniles

Il a été constaté un faible nombre de juvéniles trouvés dans les annexes hydrauliques. L'hypothèse que ces juvéniles aient déjà quitté les annexes hydrauliques à la période fin mai-début juin a alors été proposée. Quelques éléments vont être apportés ici pour appuyer cette hypothèse.

Des pêches électriques ont été réalisées dans la noue des petites Viaires et dans la noue des grandes Viaires le 13 juin 2018. Les nombres de juvéniles trouvés s'élèvent respectivement à 41 et 26 individus. Ces chiffres dépassent de loin les résultats des autres annexes hydrauliques. Seules la noue de Belleville et la noue de la Culée se rapprochent de ces valeurs avec respectivement 40 et 19 juvéniles pêchés. (cf [Annexe 39](#)) Le problème est que ces deux dernières noues sont approximativement 7 à 8 fois plus grandes que les deux premières, et que le nombre de points de pêche électrique qui y ont été réalisées est d'autant plus important. De manière plus quantitative, la noue de la Culée mesure approximativement 2700m² contre 360m² pour la noue des petites Viaires. Concernant le nombre de points de pêches électriques : 37 pour la noue des grandes Viaires, 77 pour celle des petites Viaires, 172 pour la noue de Belleville et 216 pour la noue de la Culée. Il y a donc un certain déséquilibre dans les résultats des pêches.

La noue de Belleville et la noue de la Culée sont connectées toute l'année au fleuve, comme la plupart des autres annexes hydrauliques pêchées sur le secteur d'étude. Les noues des petites et des grandes Viaires sont les deux seules qui se retrouvent perchées et donc déconnectées du système fleuve. Les juvéniles qui s'y trouvent sont alors coincés dans ces systèmes et ne peuvent pas rejoindre le fleuve. Ce qui peut expliquer pourquoi il est retrouvé une proportion importante de juvéniles dans ces milieux déconnectés, et le faible taux de juvéniles dans les annexes connectées à la Meuse.

Un autre argument est basé sur le résultat des pêches électriques qui ont été effectuées à différents endroits le long des berges du fleuve fin mai 2018. Des juvéniles ont été pêchés aux abords des annexes hydrauliques mais aussi sur des berges qui n'étaient pas à proximité d'annexes. Même si la quantité de juvéniles retrouvés est limitée, cela laisse à penser que les juvéniles ont quitté les annexes hydrauliques et se déplacent dans le fleuve le long des berges.

Un dernier élément a été soulevé dans la partie bibliographique. Plusieurs études ont montré des déplacements importants de juvéniles dès qu'ils atteignent 20 à 30mm de longueur. Ici la taille moyenne des juvéniles pêchés se situe autour de 90mm (longueur des individus comprise entre 45 et 150mm). En vue des résultats des autres études, cela semble être largement suffisant pour leur permettre de quitter les annexes hydrauliques.

Plusieurs questions peuvent alors se poser. Est-ce que les juvéniles trouvent des habitats qui leur sont favorables dans le fleuve? Quel est leur taux de survie et comment réagissent-ils? Aujourd'hui, nous ne sommes pas en mesure de répondre à ces questions, même si les habitats qui leur sont potentiellement favorables semblent limités dans le lit mineur de la Meuse sur le linéaire d'étude. Une nouvelle étude pourrait être focalisée sur ce stade de développement et permettrait d'apporter des éléments de réponses. Ce qui est en accord avec les préconisations énoncées dans la synthèse bibliographique *Biology and ecology of pike*, Christian Skov and P. Anders Nilsson, en conclusion du chapitre 5.

De même, si de futurs travaux sont envisagés localement, il peut être intéressant qu'ils soient orientés vers la création ou la restauration de zones favorables aux juvéniles, les nurseries. Accordé à ce qui a été soulevé dans la partie bibliographique, il s'agit du stade de développement le plus fragile, ce stade est même plus important que la qualité de la fraie.

6.2. Les poissons issus de pisciculture

En vue des différents comportements mis en évidence dans la partie résultats, les brochets de pisciculture semblent « en manque de repères » dans un système courant comme le fleuve Meuse. Le taux de survie est aussi quelque chose de frappant. Ces individus sont très rapidement capturés par les pêcheurs locaux, et bien plus facilement que les poissons du fleuve. Leur rôle de soutien à la population peut alors être remis en cause. Il semblerait que le rôle principal est d'assurer une pêche récréative vu que peu d'individus connaîtront une période de reproduction, et très peu connaîtront deux périodes de reproduction. En effet, seulement 3 poissons du lâcher du 22 novembre 2016 ont pu se reproduire sur 2 années. A la date du 8 mai 2018, soit 1 an et demi après leur déversement, 100% de l'effectif est mort ou n'est plus dans le secteur d'étude, soit 36 individus. Concernant les 20 individus de pisciculture relâchés le 2 novembre 2017, seulement 7 sont ont survécu jusqu'à la fin de la période de reproduction (30 avril 2018). A la date du 6 juin 2018, il ne reste que 4 individus vivant dans le secteur d'étude sur 20 au total, et ce en moins de 7 mois...

Sur les 56 poissons de pisciculture relâchés durant la période d'étude, 13 ont été capturés, 14 ont disparu (probablement avec une bonne proportion de capturés), 10 sont morts (naturelle ou post capture), 14 ont quitté le secteur d'étude (ballastière ou dévalaison), et 4 sont encore en vie sur le secteur d'étude.

Une véritable question se pose alors sur l'utilité de ces rempoissonnements, car cela a un coût non négligeable. Cet argent pourrait permettre de financer plus de travaux de restauration d'habitats et être bénéfique sur le long terme. Si la politique de gestion locale n'est pas tournée vers de tels travaux, un autre type de rempoissonnement pourrait être proposé. Par exemple, des individus de non maillés (inférieur à 60cm ou des fingerlings) pourraient être déversés à la place d'individus supérieurs à 60cm et donc pouvant déjà être prélevés par les pêcheurs vis-à-vis de la législation. Cela pourrait permettre à ces « petits » brochets d'être relâchés dans le milieu au lieu d'être conservés par les pêcheurs lorsqu'ils sont pêchés. Ils pourront alors être un minimum éduqués et donc plus durs à capturer. Ceci permettrait d'augmenter les chances de les voir se reproduire une ou plusieurs fois.

6.3. Le taux de perte

Au-delà des éléments apportés dans la partie précédente sur les poissons de pisciculture, la pression de pêche touche aussi les individus issus du fleuve. Le graphique disponible en [Annexe 37](#) suffit à lui seul pour rendre compte de la perte très rapide des individus lors de l'étude. Quelques informations supplémentaires vont être données ici sur le devenir des poissons.

Sur les 100 individus relâchés toutes origines confondues, 15 ont été capturés par des pêcheurs, 21 ont tout simplement disparu (probablement avec une bonne proportion de capturés), 20 sont morts (naturelle ou post capture), 1 individu s'est fait prédateur (par un renard), 29 ont quitté le secteur d'étude et seulement 14 sont encore en vie sur le secteur d'étude. Une question se pose alors sur l'efficacité de la gestion piscicole. Les textes nationaux en vigueur autorisent chaque pêcheur à capturer 2 brochets par jour ayant une taille supérieur à 60cm. Au cours de l'année 2017, l'AAPPMA locale détenant les droits de pêche sur le secteur d'étude a vendu 1868 cartes annuelles. Ses baux de pêches s'étendent sur un linéaire de 75km. Théoriquement, se sont donc 1 027 400 brochets qui peuvent être capturés sur l'année si chacun de ces pêcheurs capturaient 2 individus par jour, et ce en enlevant la période de fermeture spécifique. De même, cela ne prend pas en compte les pêcheurs extérieurs à l'AAPPMA qui ont le droit de venir pêcher sur

ces lots puisqu'ils sont en réciprocité interfédérale. Ce chiffre est complètement absurde mais peut souligner un décalage entre ce qui est autorisé réglementairement, et la réalité.

Peut être que les résultats mis en avant lors de cette étude pourront aboutir à une modification du règlement vers des quotas de captures plus stricts. Néanmoins, comme tout règlement, la difficulté reste sa mise en application et son respect.

6.4. Impact des ballastières en lit majeur de cours d'eau

L'impact des ballastières a été démontré dans la partie résultats, entre 31 et 36% des individus marqués se sont retrouvés piégés dans une ballastière. L'impact de ces ballastières est également avéré sur plusieurs autres aspects dans « L'étude globale de définition d'un programme de reconquête de l'état hydromorphologique de la Meuse et de ses affluents » réalisé par l'ONF 2013.

Cette partie discussion va s'intéresser au statut législatif de ces plans d'eau. Cet élément de discussion provient de remarques d'un ancien administrateur de la FDPPMA55, Christian POMMET, et mérite réflexion. Ces ballastières sont considérées comme eaux closes, celles qui se situent aux abords du secteur d'étude appartiennent principalement au domaine privé. Ainsi, les détenteurs des droits de pêche ne se sont pas acquittés de la redevance pour la protection des milieux aquatiques que doivent régler les pêcheurs du domaine public. Cependant, en vue des échanges de poissons qui ont été démontrés dans cette étude, et notamment en vue du nombre de poissons initialement présents dans le fleuve et qui se retrouvent piégés dans ces ballastières, pourquoi les détenteurs des droits de pêche ne devraient donc pas s'acquitter eux aussi de cette redevance ? Cette question mérite réflexion et pourrait peut être aboutir à un changement de la réglementation nationale.

6.5. Impact des barrages

Les barrages sont principalement réputés comme un obstacle pour les poissons migrateurs, à l'image du saumon, de l'anguille, ou de l'alose. Cependant, il semblerait qu'il y ait un impact réel sur les poissons « locaux » et notamment le brochet. Cet impact a été mis en avant dans cette étude comportementale, avec en moyenne chaque année 40% des individus marqués qui ont été observés bloqués dans leur migration vers l'amont juste au niveau du barrage. La plupart des passes à poissons sont construites pour faire passer les poissons migrateurs (vitesse de l'eau, largeur de la passe). Or, comme cela a été mis en avant dans la synthèse bibliographique, certaines études ont permis de montrer que ces passes ne sont pas adaptées au brochet.

Plusieurs barrages sont actuellement en rénovation sur la Meuse (passer de barrages à aiguilles à des barrages à boudins d'eau) et des passes à poissons sont construites. Il peut être intéressant d'équiper ces passes à poissons de systèmes lecteurs de PIT Tag, et également d'équiper des brochets et autres espèces locales de PIT Tag. Ceci permettrait d'avoir des informations précieuses sur l'efficacité de ces passes à poissons pour les espèces « locales » comme le brochet. Il est à noter que ces équipements sont prévus sur certains barrages actuellement en rénovation.

6.6. Limites de l'étude

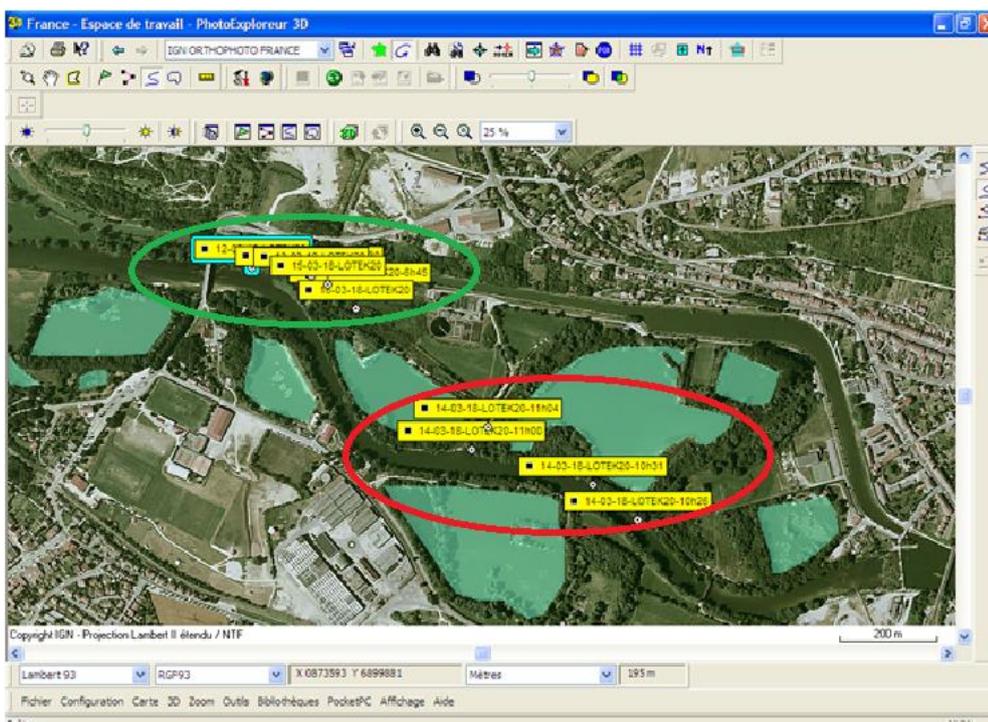
Plusieurs limites apparaissent dans cette étude et vont être abordées ici.

La donnée manquante la plus pénalisante est le sexage des individus. Il s'agit d'un paramètre pouvant intervenir sur les comportements observés. Cependant, un prélèvement d'écaillés et de nageoire a été effectué sur chacun des individus marqués. La FDPMA recherche actuellement un bureau d'étude pour analyser ces prélèvements et le sexe des individus ainsi que le groupe génétique seront normalement connus. Les données pourront alors être traitées sous d'autres problématiques une fois l'information acquise.

La seconde limite concerne la quantité de données exploitées dans ce rapport. Le parti pris a été de se concentrer sur les individus qui sont restés en vie en privilégiant une base de données de qualité plutôt qu'une quantité importante de détections. Dans la partie résultats, plusieurs comparaisons sont effectuées entre la période appelée « base » allant du 1^{er} mai 2017 au 8 novembre 2017. Les poissons qui étaient vivants sur cette période sont donc forcément issus de la première partie de l'étude (lâcher à la fin de l'année 2016). Toutes les données des poissons lâchés à la fin de l'année 2017 ne sont donc pas exploitables. Il faudra attendre la fin de la période estivale de 2018 pour pouvoir exploiter plus de données. De ce fait, certaines comparaisons sont effectuées avec peu d'individus et les résultats obtenus peuvent difficilement être généralisés. Cependant, les tendances semblent se confirmer sur les poissons de la deuxième partie de l'étude.

Le système de pistage permet d'avoir des informations ponctuellement, l'individu x était à tel endroit à la date y. De ce fait, les données acquises ne représentent qu'une partie de la réalité, notamment au niveau des déplacements effectués par les poissons. Il faut garder à l'esprit que toutes les métriques calculées représentent des valeurs minimales. Il est arrivé fréquemment lors de pistages pendant la période de reproduction de voir des poissons en mouvement. Un seul point leur est attribué, voir 2 ou 3 en fonction du mouvement de l'individu, mais il n'est pas suivi sur la totalité de son déplacement. Pour étoffer la base de données, le coût en moyen humain est énorme, et de données seront toujours manquantes. Lors de la période de reproduction 2018, c'est en moyenne 6 pistages par semaine qui étaient effectués.

Voici un exemple sur le numéro 20, poissons pris en référence dans la partie résultat. Le 14 mars 2018, nous avons mené une opération de triple pistage menée sur une journée. Un premier opérateur a parcouru



le site d'étude de 6h du matin à 9h45, un deuxième pistage a eu lieu de 10h15 à 13h45, et un dernier passage de 14h15 à 20h. Lors du premier passage, l'individu numéro 20 a été observé sur sa zone habituelle, points entourés en vert sur la Figure 23. Il a été détecté à la même position lors du dernier pistage. Mais,

Figure 23: Exemple du numéro 20 (3D Explorer)

pendant le second pistage, l'individu a été détecté 1km en amont devant l'entrée d'une annexe hydraulique. L'individu s'est déplacé vers l'aval comme l'opérateur et a pu être observé en train d'entrer dans une autre annexe hydraulique. Ces points sont entourés en rouge sur la *Figure 23*. Une autre vue des informations qui auraient pu être ratées est disponible sur la *Figure 24* (entourées en rouge).

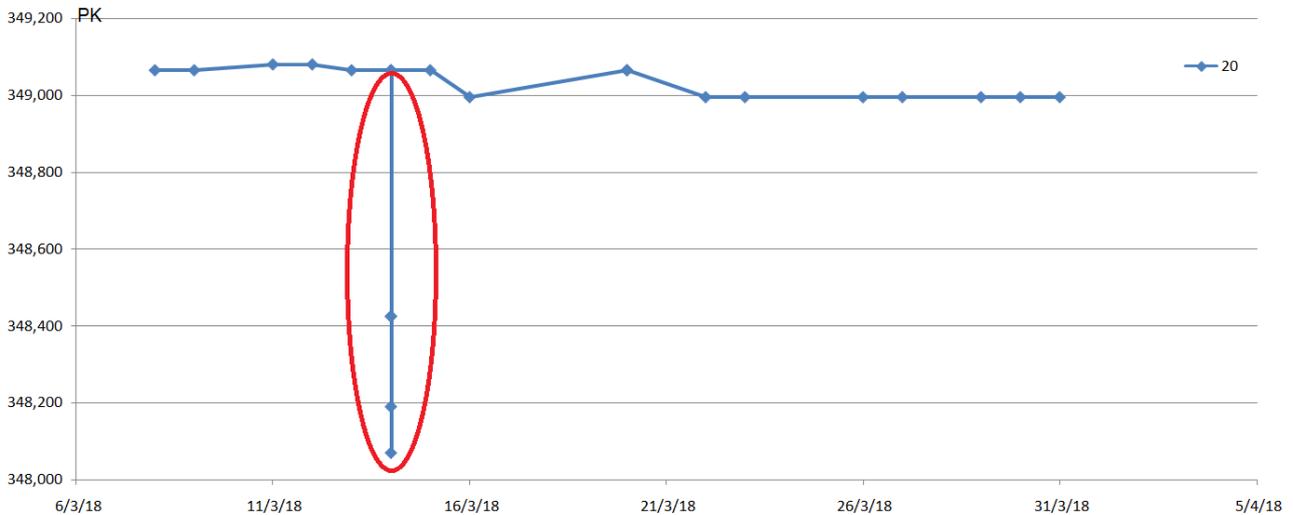


Figure 24: Exemple de l'individu 20 avec la courbe des PK en fonction du temps

Même avec un double pistage dans la journée, l'information aurait pu être manquée, ce qui laisse imaginer tous les déplacements ratés lorsqu'un seul pistage est réalisé dans la journée, voir si aucun pistage n'est effectué.

Sur le site d'étude, il n'est pas possible de placer des récepteurs sur tout le linéaire pour avoir un suivi autonome du déplacement des poissons. La seule possibilité serait de suivre les poissons à l'aide d'un signal GPS. Mais le coût de ce genre d'opérations est à l'heure actuelle exorbitant et les technologies ne permettraient pas d'avoir une durée d'émission suffisamment longue dans le temps. Grâce aux progrès technologiques, ce sera une piste pour les prochaines études en écologie spatiale, qui permettront de récolter la totalité des données de déplacements des individus. Cela pourrait également être un net avantage lorsque le site d'étude a une taille trop importante pour permettre un suivi par opérateur.

Chaque pistage nécessite au moins un opérateur, ainsi qu'une autre personne pour effectuer une dépose en voiture. Cela demande beaucoup de temps et d'énergie. Les périodes clés comme la reproduction ont été pistées plus régulièrement que les périodes creuses comme la période estivale par exemple. Les différences peuvent aller de 6 pistages par semaine à 1 pistage semaine. Cela engendre une quantité de données différentes et peut fausser l'interprétation des résultats. Cependant, cet impact peut être limité si les résultats s'appuient sur la métrique « déplacement moyen entre 2 pistages ».

Malgré le choix de décomposition en plusieurs périodes qui a été effectué dans ce rapport afin d'isoler quelques paramètres, des synergies sont toujours présentes. Il n'est pas possible d'examiner un paramètre en particulier, mais quelques tendances peuvent être dégagées, c'est ce qui a été tenté dans ce rapport.

Conclusion

Les poissons issus du fleuve comme ceux issus de pisciculture montrent une plus grande activité en période de crue et en période de reproduction. Le déplacement moyen entre deux pistages des individus du fleuve passe de 98m durant la période de «référence» à respectivement 285m et 235m lors de la crue de 2018 et lors de période de reproduction de 2018 (N=9). Concernant les individus issus de pisciculture, la distance moyenne parcourue passe de 355m pendant la période de «référence» à respectivement 799 et 637m lors de la crue de 2018 et lors de période de reproduction de 2018 (N=5). Ces faibles nombre d'individus sont dus à un taux de perte important des brochets marqués (morts, dévalaison ou disparition) qui ne permet pas d'avoir une base de données étoffée sur la durée entière des périodes étudiées. Cependant, après la période d'étiage de l'été et de l'automne 2018 de nouveaux poissons (lâchés en 2017) pourront être étudiés puisqu'ils auront connus une période de «référence» comme cela a été défini dans ce rapport. Cependant, ceci sera possible si les poissons survivent assez longtemps dans le milieu. En effet, à la date du 6 juin 2018, seulement 14 individus sont encore en vie sur le secteur d'étude. La pression de pêche étant l'un des facteurs les plus forts agissant sur les populations, une nouvelle politique de gestion piscicole pourrait être envisagée. Les chiffres cités ci-dessus montrent une activité globalement plus élevée des poissons de pisciculture par rapport aux individus brochets issus du fleuve. Ces individus ne sont jamais fixés et semblent être tout le temps en mouvement. Il s'agit de poissons élevés en milieu clos tel que les lacs et étangs, leur adaptation à un milieu courant et l'efficacité de ces opérations de repoissonnements peuvent être remis en cause.

Les pêches électriques menées dans le cadre de cette étude apporte de nouveaux éléments sur les juvéniles de brochets qui semblent quitter rapidement les annexes hydrauliques, leur lieu principal de naissance. Que deviennent-ils dans le fleuve et y trouvent-ils des habitats favorables? Ce stade de développement est le plus critique dans le cycle de vie du brochet, encore plus que la fraie. Ces nouveaux éléments peuvent orienter les prochaines études vers la caractérisation cette classe d'âge et vers des travaux de restaurations qui lui sont favorables. Ces nouvelles études et ces nouveaux travaux pourraient être financés année après année par l'argent initialement utilisé pour effectuer les opérations de repoissonnement piscicole.

Avec plus de 30% des individus marqués bloqués dans les lacs de carrières, l'impact des ballastières en lit majeur sur la population piscicole est incontestable. Une modification de leur statut «d'eau close» pourrait alors être envisagée par les instances gouvernementales.

Avec en moyenne sur les deux années d'étude plus de 40% d'individus marqués observés bloqués dans leur migration au niveau du barrage de Belleville-Sur-Meuse durant la période de reproduction, l'impact des barrages sur la migration des brochets est également incontestable. Même si la plupart de ces barrages sont petits à petits équipés de passe à poisson, reste à voir si ces dernières sont efficaces sur le brochet. Des suivis par PIT Tag peuvent être mis en place afin de quantifier l'efficacité de ces aménagements.

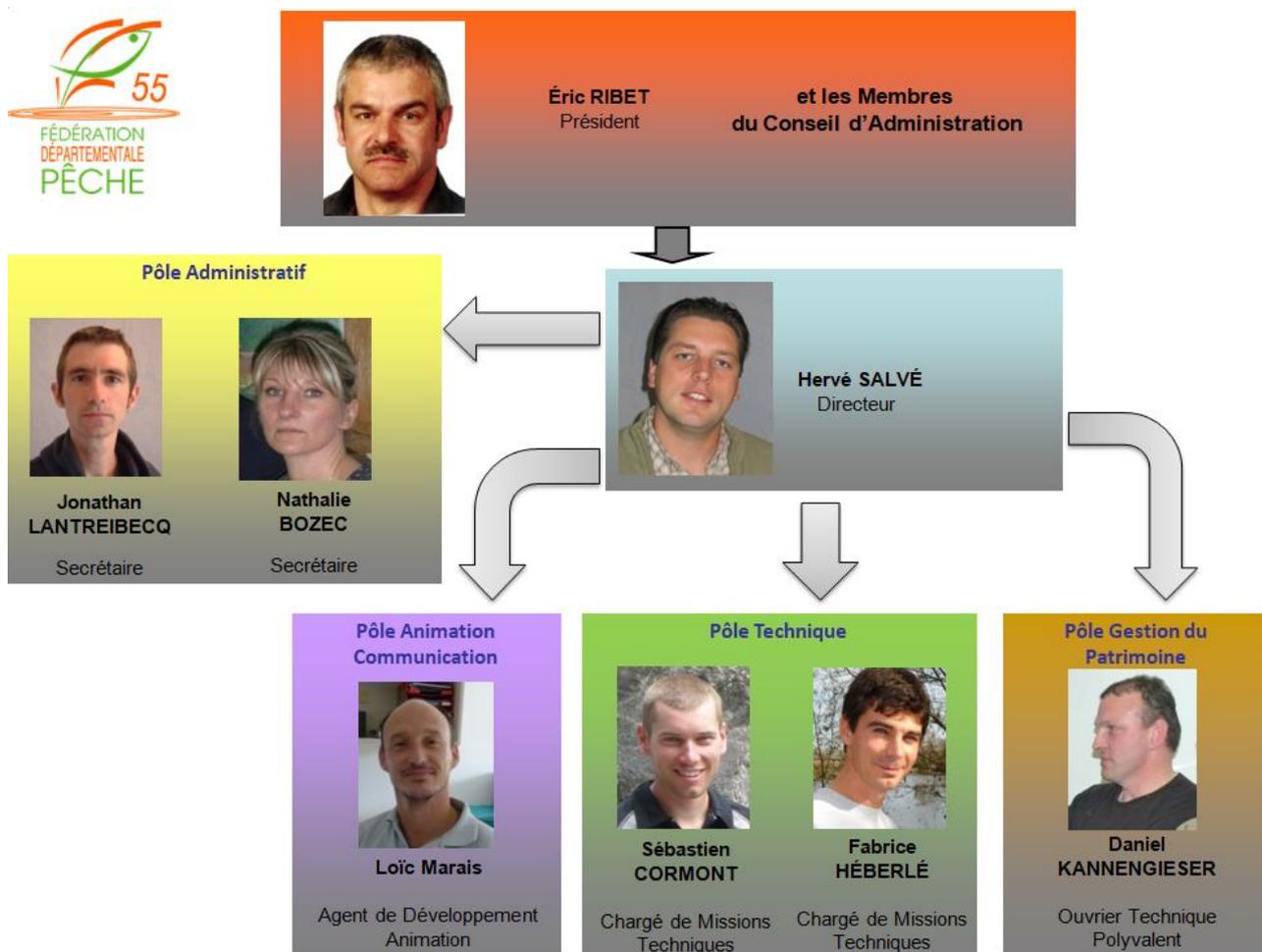
Liste Bibliographique

- [1]« Biology and Ecology of Pike » de Christian Skov et P. Anders Nilsson
- [2]Andersen, M. et al. 2008. Turbidity increases behavioural diversity in northern pike, *Esox lucius* L., during early summer, *Fish Manag. Ecol.* 15:277-383.
- [3]Arlinghaus, R. et al. 2008a. Understanding the heterogeneity of recreational anglers across an urban-rural gradient in a metropolitan area (Berlin, Germany), with implications for fisheries management. *Fish. Res.* 92:53-62.
- [4]Ask, J. et al. 2009. Terrestrial organic matter and light penetration. Effects on bacterial and primary production in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 54:2034-2040.
- [5]Baktoft, H. 2012. Aspects of lentic fish behaviour studied with high resolution positional telemetry. PhD Thesis. Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark.
- [6]Baktoft, H. et al. 2013. Effects of angling and manual handling on pike behaviour investigated by high-resolution positional telemetry. *Fish. Manag. Ecol.* 20:518-525.
- [7]Bry, C. et al. 1992. Analysis of sibling cannibalism among pike, *Esox lucius*, juveniles reared under semi-natural conditions, *Env. Biol. Fish.* 35:75-84.
- [8]Burkholder, A. and D.R. Bernard, 1994. Movements and distributions of radio-tagged northern pike in Minto Flats. Alaska Department of Fish and Game, Division of Sport Fish. Anchorage, Alaska.
- [9]Carbine, W.F. 1942. Observations on the life history of the northern pike, *Esox lucius* L., in Houghton Lake, Michigan. *Trans. Am. Fish. Soc.* 71:149-164.
- [10]Casselman, J.M. 1978. Effects of environmental factors on growth, survival, activity and exploitation of northern pike. *Am. Fish. Soc. Spec. Publ.* 11:114-128.
- [11]Casselman, J.M. and C.A. Lewis. 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 161-174
- [12]Claireaux, G. and D. Chabot. 2016. Responses by fishes to environmental hypoxia: integration through Fry's concept of aerobic metabolic scope. *J. Fish Biol.* 88:232-251.
- [13]Cooke, S.J. et al. 2012. Biotelemetry and biologging. Pp. 819-881.
- [14]Cooper, J.E. et al. 2008. Potential effects of spawning habitat changes on the segregation of northern pike (*Esox lucius*) and muskellunge (*E. masquinongy*) in the Upper St. Lawrence River. *Hydrobiologia* 601:41-53
- [15]Craig, J.F. and J.A. Babaluk. 1989. Relationship of condition of walleye (*Stizostedion vitreum*) and northern pike (*Esox lucius*) to water clarity, with special references to Dauphin lake, Manitoba. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:1581-1586.
- [16]Crane, D.P. et al. 2015. Muskellunge and northern pike ecology and management: important issues and research needs. *Fisheries* 40:258-267.
- [17]Cucherousset, J. et al. 2009. Spatial behaviour of young-of-the-year northern pike (*Esox lucius*) in a temporally flooded nursery area. *Ecol. Freshw. Fish* 18:314-322.
- [18]Diana, J.S. 1979. The feeding pattern and daily ration of a top carnivore, the northern pike (*Esox lucius*). *Can. J. Zool.* 57: 2121-2127
- [19]Diana, J.S. 1980. Diel activity patterns and swimming speeds of northern pike (*Esox lucius*) in Lac Ste. Anne, Alberta. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:1454-1458.
- [20]Dobler, E. 1977. Correlation between the feeding time of the pike (*Esox lucius*) and the dispersion of a school of *Leucaspius delineatus*. *Oecologia* 27:93-96.
- [21]Donaldson, M.R. et al. 2011. Contrasting global game fish and non-game fish species. *Fisheries* 36:385-397.
- [22]DosSantos J.M. 1991. Ecology of a riverine pike population. Pp. 155-159.
- [23]Duis K. and A. Oberemm. 2000. Survival and sublethal responses of early life stages of pike exposed to low pH in artificial post-mining lake water. *J. Fish Biol.* 57:597-613.
- [24]Eklöv, P. 1997. Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius* L.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54:1520-1531.
- [25]Engstedt, O. et al. 2014. Elemental fingerprints in otoliths reveals natal homing of anadromous

- Baltic Sea pike (*Esox lucius*). *Ecol. Freshw. Fish* 23:313-321.
- [26]Fabricius, E. and K.-J. Gustafson. 1958. Some new observations on the spawning behaviour of the pike, *Esox lucius* L. *Rept. Inst. Freshwater Res. Drottningholm*. 39:23-54
- [27]Fago, D.M. 1977. Northern pike production in managed spawning and rearing marshes. *Tech. Bull. Wisc. Dep. Nat. Resour.* 96:1-30.
- [28]Fang, X. et al. 2004. Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes under different climate scenarios Part 1. Cool-water fish in the contiguous US. *Ecol. Model.* 172:13-37.
- [29]Farrell, J.M. 2001. Reproductive Success of sympatric Northern Pike and Muskellunge in an Upper St. Lawrence River Bay. *Trans. Am. Fish. Soc.* 130(5):796-808.
- [30]Farrell, J.M. et al. 2010. Water-level regulation and coastal wetland vegetation in the upper St. Lawrence River: inferences from historical aerial imagery, seed banks, and *Typha* dynamics. *Hydrobiologia* 647(1):127-144.
- [31]Frost, W.E. and C. Kipling. 1967. A study of reproduction, early life, weight-length relationship and growth of pike (*Esox lucius* L.) in Windermere. *J. Anim. Ecol.* 36:651-93.
- [32]Fry, F.E. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. pp1-98.
- [33]Giles, N., M.R. Wright and M.E. Nord. 1986. Cannibalism in pike fry, *Esox lucius* L.: some experiments with fry densities? *J. Fish. Biol.* 29: 107-113
- [34]Häkkinen, J., J. Vehniäinen and A. Oikari. 2004. High sensitivity of northern pike larvae to UV-B but no UV-phooinduced toxicity of tene? *Aquat. Toxicol.* 66:393-404.
- [35]Hodder, K.H. et al. 2007. Techniques for evaluating the spatial behaviour of river fish. *Hydrobiologia* 582:257-269.
- [36]Holland, L.E. and M.L. Huston. 1984. Relationship of young-of-the-year northern pike to aquatic vegetation types in the backwater of the upper Mississippi River USA. *North Am. J. Fish. Manage.* 4:514-522.
- [37]Hongve, D., G. Riise and J.F. Kristiansen. 2004. Increased colour and organic acid concentration in Norwegian forest lakes and drinking water - a result of increased precipitation. *Aquat. Sci.* 66:231-238.
- [38]Jacobsen, L. et al. 2017. Pike (*Esox lucius* L.) on the edge-consistent individual movement patterns in transitional waters of the western Baltic. *Hydrobiologia* 784, 143-154.
- [39]Jeppesen, E. et al. 1997. Top-down control in freshwater lakes; the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342:151-164
- [40]Jeppesen, E. et al. 2012. Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694:1-39.
- [41]Jepsen, N. et al. 2001. Behaviour of pike (*Esox lucius* L.) >50cm in a turbid reservoir and in a clearwater lake. *Ecol. Freshw. Fish* 10:26-34.
- [42]Johansson, N. and J.E. Kihlström. 1975. Pikes (*Esox lucius* L.) shown to be affected by low pH values during first weeks after hatching. *Environ. Es.* 9:12-17.
- [43]Johnson, F.H. 1957. Northern pike year-class strength and spring water levels. *Trans. Am. Fish. Soc.* 86:285-293.
- [44]Jönsson, M. et al. 2011. Foraging success of juvenile pike *Esox lucius* depends on visual conditions and prey pigmentation. *J. Fish. Biol.* 79:290-297.
- [45]Karas P. and H. Lehtonen, 1993. Patterns of movement and migration of pike (*Esox lucius* L.) in the Baltic Sea. *Nord. Freshw. Res.* 68:72-79.
- [46]Karlsson, J. et al 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature* 460:506-509.
- [47]Klefoth, T. et al. 2008. The impact of catch-and-release angling on short-term behaviour and habitat choice of northern pike (*Esox lucius* L.). *Hydrobiologia* 601:99-110.
- [48]Klefoth, T. et al. 2011. Behavioural and fitness consequences of direct and indirect non-lethal disturbances in a catch-and-release northern pike (*Esox lucius* L.) fishery. *Knowl. Manag. Aquat. Ec.*
- [49]Knight, C.M. 2006. Utilisation of off-river habitats by lowland river fishes. PhD thesis, University of Durham, Durham, UK.
- [50]Koed A. et al. 2006. Annual movement of adult pike (*Esox lucius* L.) in a lowland river. *Ecol. Freshw. Fish* 15:191-199.
- [51]Kohn A.J. and P.J. Leviten. 1976. Effect of habitat complexity on population density and species richness in tropical intertidal predatory gastropod assemblages. *Oecologia* 25:199-210

- [52] Krebs, J.R. and N.B. Davies (eds.). 1997. Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK.
- [53] Lamouroux, R.E. et al. 1999. Fish habitat preferences in large streams of southern France. *Freshw. Biol.* 42:673-687.
- [54] Larsson P. et al. 2015. Ecology, evolution, and management strategies of northern pike populations in the Baltic Sea. *AMBIO* 44:451-461.
- [55] Les annexes hydrauliques de la Moselle, actions en faveur de la reproduction du brochet ; Reflet d'Eau Douce. Reportage vidéo, 2017.
- [56] Masters, J.E.G. et al. 2005. Spatial behaviour of pike *Esox lucius* L. in the river Frome, UK. Pp 179-190.
- [57] Moen T. and D. Henegar. 1971. Movement and recovery of tagged Northern pike in lake Oahe, South and North Dakota, 1964-1968. *Am. Fish. Soc. Spec. Pub.* 8:85-93.
- [58] Ovidio, M. and Philippart. 2005. Long range seasonal movements of northern pike (*Esox lucius* L.) in the barbel zone of the river Ourthe (River Meuse basin, Belgium). Pp191-202.
- [59] Pauwels, I.S. et al. 2014. Movement patterns of adult pike (*Esox lucius* L.) in a Belgian lowland river. *Ecol. Freshw. Fish* 23:373-382.
- [60] Pedreschi, D. S. et al. 2015. Trophic flexibility and opportunism in pike *Esox lucius*. *J. Fish. Biol.* 87(4): 877-894.
- [61] Pierce, R.B. 2012. Northern Pike: Ecology, Conservation, and Management History. University of Minnesota Press. 208 pp.
- [62] Prignon, C. et al. 1998. Biological and environmental characteristics of fish passage at the Tailfer dam on the Meuse river, Belgium. Pp69-84.
- [63] Raat, A. 1988. Synopsis of biological data on the northern pike: *Esox lucius* Linnaeus, 1758. *FAO Fish. Syn.* 145:178 pp.
- [64] Sandström, A. and P. Karas. 2005. Boating and navigation activities influence the recruitment of fish in a Baltic Sea archipelago area. *Ambio* 34:125-130.
- [65] Siefert, R.E., W.A. Spoor and R.F. Syrett. 1973. Effects of reduced oxygen concentrations on northern pike (*Esox lucius*) embryos and larvae. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30:849-852
- [66] Spens, J. et al. 2007. Network connectivity and dispersal barriers: using geographical information system (GIS) tools to predict landscape scale distribution of a key predator (*Esox lucius*) among lakes. *J. Appl. Ecol.* 44:1127-1137.
- [67] Spry, D.J. and J.G. Wiener. 1991. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review. *Environ. Pollut.* 71:243-304.
- [68] Taalas, P. et al. 2000. The impact of greenhouse gases and halogenated species on future solar UV radiation doses. *Geophys. Res. Lett.* 27: 1127-1130.
- [69] Threinen, C.W. 1969. An evaluation of the effect and extent of habitat loss on northern pike populations and means of prevention of losses. *Wis. Dep. Nat. Resour. Bur. Fish Mgmt. Rep.* 28.
- [70] Vehanen, T. et al. 2006. Patterns of movement of adult northern pike (*Esox lucius* L.) in a regulated river. *Ecol. Freshw. Fish* 15:154-160.
- [71] Volkova, L.A. 1973. The effect of light intensity on the availability of food organisms to some fishes in lake Baikal. *J. Ichthyol.* 13:591-602.
- [72] Vollestad, L.A., J. Skurdal and T. Qvenild. 1986. Habitat use, growth, and feeding of pike (*Esox lucius* L.) in four Norwegian lakes. *Arch. Hydrobiol.* 108:107-117.
- [73] Webb, P.W. and J.M. Skadsen. 1980. Strike tactics of *Esox*. *Can J. Zool.* 58:1462-1469.
- [74] Westin, L. and K.E. Limburg. 2002. Newly discovered reproductive isolations reveals sympatric populations of *Esox lucius* in the Baltic. *J. Fish Biol.* 61:1647-1652.
- [75] Winter, J. D. 1983
- [76] Winter, J. D. 1996
- [77] Wolter, C. et al. 2003. *Fische und fischerei in Berlin*. VNW Solingen, Germany: Verlag Natur & Wissenschaft.
- [78] www.federationpeche.fr

Annexes



Annexe 1: Organigramme FDPPMA55

Coûts externes			Total TTC (€)	
Achats et prestations externes	Marquage des brochets, location du matériel de détection et aide au suivi scientifique	Devis de l'entreprise PROFISH	33600,00	
	Matériel de suivi de la hauteur d'eau	Devis de l'entreprise PROSENSOR	2347,20	
	Installation de supports de communication sur l'étude	Devis de l'entreprise CEGE	1906,20	
Sous total Achats et Prestations externes			37853,40	
Coûts internes (personnel)		Nombre (H/J)	Coût Unitaire (€)	Total (€)
Personnel	Type et nature de prestation (Directeur/Ingénieur)	9	350	3150,00
	Type et nature de prestation (Chargé d'études)	220	300	66000,00
	Type et nature de prestation (Techniciens et autres personnels)	10	250	2500,00
Sous total Personnel			71650,00	
Total (Montant prévisionnel de l'action)			109503,40	

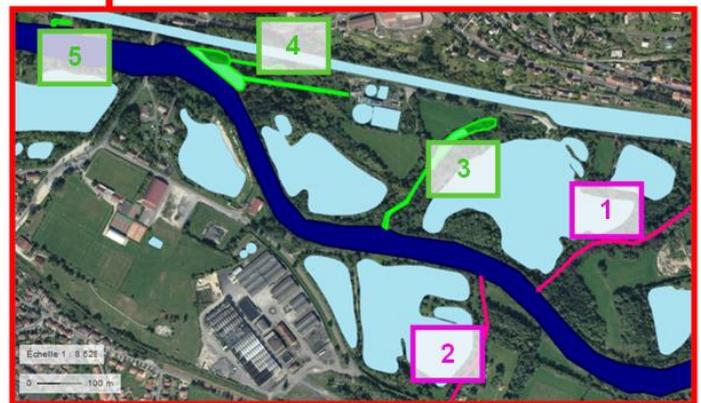
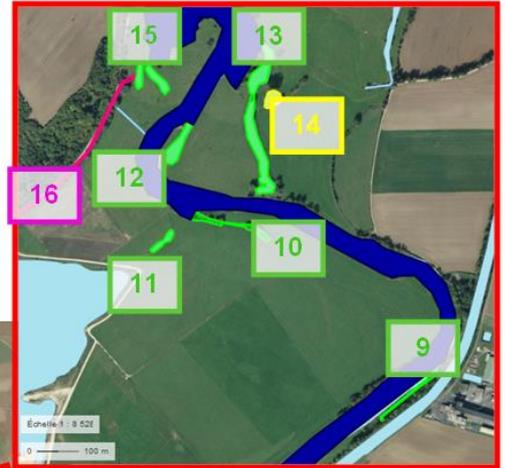
Annexe 2: Détails 2016 des dépenses de l'étude

Coûts externes			Total TTC (€)	
Achats et prestations externes	Marquage des brochets, location du matériel de détection et aide au suivi scientifique	Devis de l'entreprise PROFISH	25062,26	
	Changement des piles des sondes thermiques	Devis de l'entreprise PROSENSOR	1047,60	
	Remplacement des batteries de la station de radiopistage fixe et du matériel de radiopistage mobile	Simulation "Amazon"	579,60	
	Fourniture et livraison de 250 clés USB avec film + rapport étude	Devis de l'entreprise FLASHBAY	1562,50	
	Impression de 3000 plaquettes	Simulation "Rapid Flyer"	1399,20	
	Film "sur les traces du brochet en vallée de Meuse"	Devis de l'association Reflet d'eau douce	7647,50	
Sous total Achats et Prestations externes			37298,66	
Coûts internes (personnel)		Nombre (H/J)	Coût Unitaire (€)	Total (€)
Personnel	Type et nature de prestation (Directeur/Ingénieur)	11	350	3850,00
	Type et nature de prestation (Chargé d'études)	176	300	52800,00
	Type et nature de prestation (Techniciens et autres personnels)	14	250	3500,00
	Type et nature de prestation (Stagiaire)	400	14	5600,00
Sous total Personnel				65750,00
Total (Montant prévisionnel de l'action)				103048,66

[Annexe 3: Détails 2017 des dépenses de l'étude](#)



Annexe 4: 2 Sites favorables à la reproduction du brochet (Source : GONZALEZ Guillaume)



— Barrage/seuil

Noüe :

- 3 : Belleville
- 4 : Queue de Perche
- 5 : Montgrignon
- 8 : Grand Ban
- 9 : Hautes Rives
- 10 : Grandes Viaires
- 11 : Petites Viaires
- 12 : Petite Culée
- 13 : Grande Culée
- 15 : Grand Large

Affluents :

- 1 : Le Biquenel
- 2 : La Scance
- 6 : Ruisseau de Fromeréville
- 16 : Ruisseau de Bamont

Bras actif :

- 7 : Bras actif de Meuse

Mare :

- 14 : Bras actif de Meuse

Dérivation éclusée :

- 17 : Dérivation éclusée de Charny

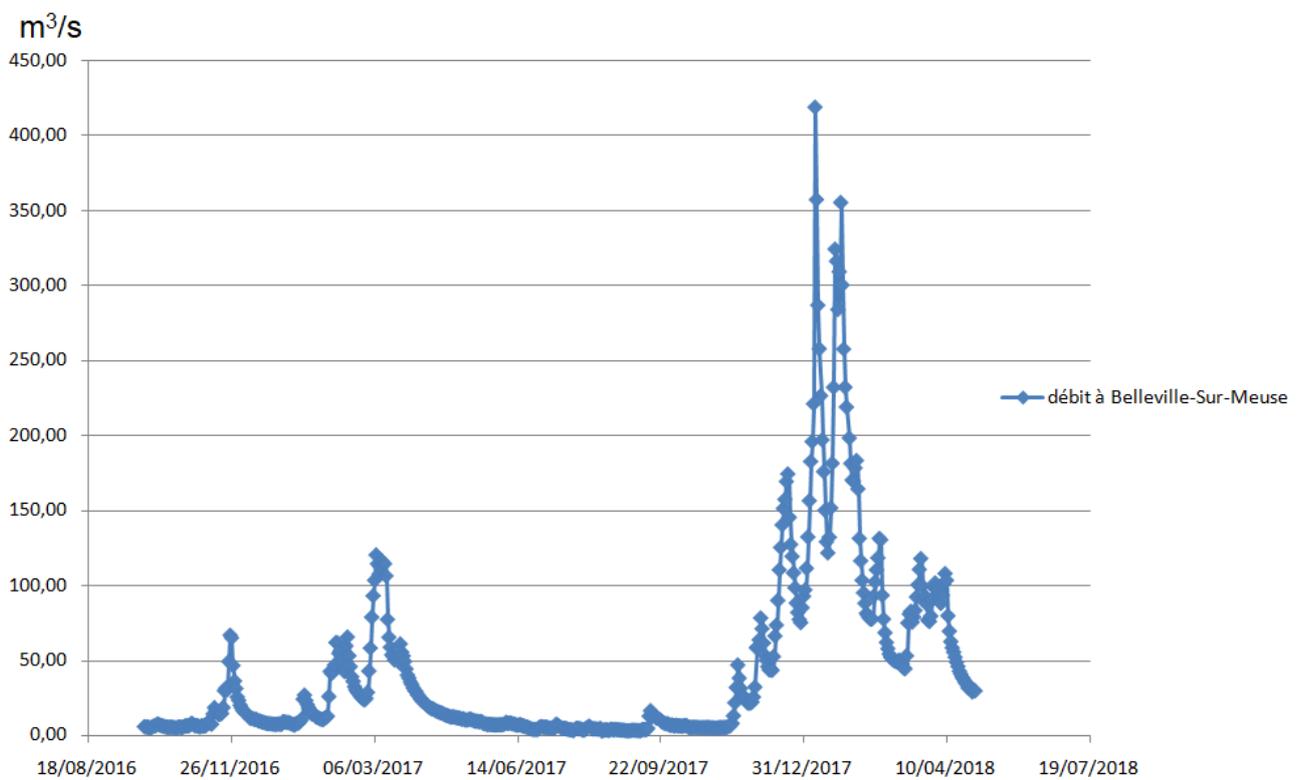
Annexe 5: Carte des annexes hydrauliques du secteur d'étude

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nom	Ruisseau du Biquenel	La Scance	Noe de Belleville	Noe de la Queue de "Perche	Noe de Montgrignon	Ruisseau de Fromeréville	Bras actif de Meuse	Noe Grand Ban	Noe des Hautes rives
Type	Affluent temporaire	Affluent permanent	Noe	Noe	Noe	Affluent permanent	Bras actif	Noe	Noe
Surface	/	/	3500 m ²	5000 m ²	30 m ²	/	2400 m ²	700 m ²	650 m ²
Potentiel brochet	ND	ND	Fort	Fort	ND	ND	Moyen	Fort	Fort
Potentiel loche d'étang	ND	ND	Nul	Nul	ND	ND	Fort	Nul	Nul
Classe de Perturbation	ND	ND	Nul à faible	Dégradé	ND	ND	Peu perturbé	Nul à faible	Nul à faible
Type de perturbation	ND	ND	/	Rejet STEP	ND	ND	Piétinement	/	/
Restauration (année)	2015	/	2001, 2010	2012	2014	/	/	2016	2004, 2011

	10	11	12	13	14	15	16	17
Nom	Noe des Grandes Vaires	Noe des Petites Vaires	Petite noe de la Culée	Grande Noe de la Culée	Mare de la Culée	Noe du Grand Large	Ruisseau de Bamont	Dérivation éclusée
Type	Noe	Noe	Noe	Noe	Mare	Noe	Affluent temporaire	Dérivation éclusée
Surface	500 m ²	360 m ²	1700 m ²	7600 m ²	800 m ²	1700 m ²	/	2500 m ²
Potentiel brochet	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Moyen	ND
Potentiel loche d'étang	Moyen	Nul	Nul	Fort	Nul	Fort	Nul	ND
Classe de Perturbation	Perturbé	Dégradé	Peu perturbé	Perturbé	Perturbé	Perturbé	Dégradé	ND
Type de perturbation	Passage à gué	Remblaiement	Piétinement	Piétinement	Piétinement	Piétinement	Rectification	ND
Restauration (année)	/	(en projet)	/	2002	/	/	/	2001



Annexe 7: Photos de la campagne de marquage (Source: FDPPMA55)



Annexe 8 : Débit à Belleville-Sur-Meuse sur la durée de l'étude

OrionListener						
Date	Time	Site	Ant	Freq	Code	Power
2018-06-22	08:35:58	1	1	150,600	180	-102
2018-06-22	08:36:01	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:02	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:02	1	1	150,620	65535	-101
2018-06-22	08:36:04	1	1	150,620	195	-83
2018-06-22	08:36:05	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:05	1	1	150,620	123	-84
2018-06-22	08:36:06	1	1	150,600	186	-82
2018-06-22	08:36:06	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:06	1	1	150,615	65535	-101
2018-06-22	08:36:08	1	1	150,600	180	-105
2018-06-22	08:36:09	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:11	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:13	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:14	1	1	150,620	195	-83
2018-06-22	08:36:15	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:15	1	1	150,625	65535	-102
2018-06-22	08:36:15	1	1	150,620	123	-83
2018-06-22	08:36:16	1	1	150,600	186	-82
2018-06-22	08:36:18	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:19	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:19	1	1	150,620	65535	-103
2018-06-22	08:36:22	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:23	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:36	1	1	150,600	186	-82
2018-06-22	08:36:38	1	1	151,000	65534	-103
2018-06-22	08:36:38	1	1	150,600	180	-103
2018-06-22	08:36:39	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:42	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:43	1	1	150,600	183	-64
2018-06-22	08:36:44	1	1	150,620	195	-86
2018-06-22	08:36:45	1	1	150,620	123	-85
2018-06-22	08:36:46	1	1	150,600	186	-83
2018-06-22	08:36:46	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:47	1	1	150,600	183	-58
2018-06-22	08:36:47	1	1	150,615	65535	-95
2018-06-22	08:36:48	1	1	150,600	180	-103
2018-06-22	08:36:50	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:51	1	1	150,615	65535	-97
2018-06-22	08:36:52	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:52	1	1	150,625	65535	-104
2018-06-22	08:36:54	1	1	150,620	195	-85
2018-06-22	08:36:54	1	1	151,000	65534	-130
2018-06-22	08:36:55	1	1	150,620	123	-86
2018-06-22	08:36:56	1	1	150,600	183	-60
2018-06-22	08:36:56	1	1	150,600	186	-85
2018-06-22	08:36:58	1	1	150,600	180	-104
2018-06-22	08:36:59	1	1	151,000	65534	-130

Annexe 9: Capture d'écran de la tablette de terrain, application Orion Tool

Les informations principales sont encadrées en rouge : numéro du poisson et puissance du signal.

Opérateurs : P71

Date : 9/4/2018

Heure de détection	Numéro émetteur	Marque GPS	Lieu de détection	Détection 3 ou 10s	Puissance du signal	Position	Habitat principal	Habitat secondaire	Commentaires
10h37	194	54	RD	3s	-58	RD			
10h40	176	55		3s	-57	RD			
10h42	191	56		3s	-88	ND			
10h52	154	57		3s	-102	ND			
10h55	175	58		10s	-96	C			
10h55	15	58		3s	-89	B			
10h57	107	59		3s	-97	B			
11h03	187	60	L71	3s	-99	B			
11h06	184	61	L71	3s	-59	B			
11h07	190	62	RG	3s	-68	A			
11h15	153	63	RD	3s	-61	A			
11h32	116	64		10s	-86	C			
11h53	179	69		3s	-88	RG			
11h43	150	66	RG	3s	-83	A			
11h35	25	65	RG	3s	-91	A			
11h50	20	67	RD	3s	-72	A			
11h52	172	68		3s	-98	A			
11h55	152	70		10s	-98	C			
11h58	22	71		3s	-102	B			
11h58	158	71		3s	-105	B			
12h05	167	72		3s	-87	B			
12h16	16	73		10s	-76	C			
12h18	163	74		3s	-61	RD			
12h28	174	75		3s	-94	A			
12h31	24	76		3s	-91	A			
12h42	166	79		3s	-61	L71			
12h43	171	80		3s	-87	RD			
13h09	23	82		3s	-57	A			
13h22	129	83		3s	-93	?			
13h28	160	84	L71	3s	-61	L71			ou
13h30	118	85	RG	10s	-69	A			
13h44	151	86	RD	3s	-70	A			
13h49	26bis	87		3s	-99	ND			
13h54	6	88		3s	-82	RD	A		
Points GPS (Pêcheurs carnassier)									
Points GPS (Autres pêcheurs)									

Annexe 10: Exemple de feuille de terrain

date	heure_de tection	numero_ emetteur	marque_ gps	secteur_hors secteur	lieu_detection	type_signal	x_lambert93	y_lambert93	pk	puissance_ signal	position_poisson	habitat_principal
19/1/18	10:47	176	11	Secteur	RD	3s	873138	6899745	348,055	-98	Annexe hydraulique	Aucun visible
19/1/18	11:18	179	16	Secteur	RD	3s	872788	6899940	348,425	-76	Annexe hydraulique	Aucun visible
19/1/18	12:01	162	19	Hors secteur	LM	3s	871593	6900508	350,007	-71	Ballastière	Aucun visible
19/1/18	12:07	161	20	Hors secteur	LM	3s	871603	6900499	350,007	-96	Ballastière	Aucun visible
19/1/18	12:14	16	21	Secteur	RD	10s	871428	6900674	350,510	-84	Chenal	Aucun visible
19/1/18	12:20	169	22	Hors secteur	LM	3s	871423	6900386	350,007	-93	Ballastière	Aucun visible
19/1/18	13:52	172	25	Secteur	RG	3s	871961	6900226	349,395	-95	Annexe hydraulique	Aucun visible
19/1/18	13:54	12	26	Secteur	RG	3s	871920	6900186	349,410	-100	Chenal	Aucun visible
19/1/18	13:59	158	27	Hors secteur	LM	3s	871824	6900080	349,377	-99	Ballastière	Aucun visible
19/1/18	14:03	22	29	Hors secteur	LM	3s	871835	6900089	349,377	-86	Ballastière	Aucun visible
22/1/18	9:32	163	30	Secteur	LM	3s	873053	6899615	348,030	-98	Non déterminée	Aucun visible
22/1/18	9:55	150	31	Secteur	RG	3s	872569	6900039	348,995	-88	LM	Aucun visible
22/1/18	10:01	25	32	Secteur	RG	3s	872545	6900078	348,995	-80	LM	Aucun visible
22/1/18	10:04	187	33	Secteur	RG	3s	872527	6900101	348,995	-79	Annexe hydraulique	Aucun visible
22/1/18	10:09	20	34	Secteur	RD	3s	872482	6900119	348,995	-82	Annexe hydraulique	Aucun visible
22/1/18	10:17	154	35	Secteur	RD	3s	872939	6900037	348,425	-86	Annexe hydraulique	Aucun visible
22/1/18	10:19	15	36	Secteur	RD	3s	872907	6900033	348,425	-81	Annexe hydraulique	Aucun visible

Annexe 11: Echantillon de la base de données « détections »

date	opérateur_principal	opérateur_2	opérateur_3	objectif_opération	lineaire_besprospection	lineaire_cours_prospection	pourcentage_eau_prospection	lineaire_annexes_hydrauliques_prospection	pourcentage_annexe_hydraulique_prospection
08/02/2018	Paul MASSARD	Guillaume GONZALEZ		complet	11233	7290	96,44%	3164	71,65%
12/02/2018	Paul MASSARD	Guillaume GONZALEZ		complet	12241	7392	97,79%	3469	78,56%
14/02/2018	Paul MASSARD	Guillaume GONZALEZ		complet	13132	7392	97,79%	3441	77,92%
15/02/2018	Sébastien CORMONT			partielle	2152	716	9,47%	390	8,83%
16/02/2018	Guillaume GONZALEZ			complet	10873	7392	97,79%	3244	73,46%
19/02/2018	Paul MASSARD			complet	13048	7392	97,79%	3441	77,92%
20/02/2018	Guillaume GONZALEZ	Mathis (3ième)		complet	11102	7265	96,11%	2876	65,13%
21/02/2018	Paul MASSARD			complet	12328	7138	94,43%	3299	74,71%
22/02/2018	Guillaume GONZALEZ			complet	12616	7238	95,75%	3493	79,10%
23/02/2018	Paul MASSARD			complet	12337	7138	94,43%	3334	75,50%
27/02/2018	Paul MASSARD	Guillaume GONZALEZ		complet	12419	7138	94,43%	2886	65,35%
05/03/2018	Paul MASSARD			complet	12657	7138	94,43%	3097	70,13%
06/03/2018	Guillaume GONZALEZ			complet	10604	7544	99,80%	2722	61,64%
07/03/2018	Sébastien CORMONT			complet	12386	7213	95,42%	2874	65,08%
08/03/2018	Paul MASSARD			complet	11732	7392	97,79%	2611	59,13%
09/03/2018	Guillaume GONZALEZ			complet	10604	7544	99,80%	2722	61,64%
11/03/2018	Sébastien CORMONT			complet	12038	7255	95,98%	2250	50,95%
12/03/2018	Paul MASSARD	Flavien BOUCHER		complet	11712	7357	97,33%	2470	55,93%

Annexe 12: Echantillon de la base de données des opérations de pistage

date	origine_poisson	longueur_totale	poids	sexe	code_lotek	Statut	date_perte	remarque
21/10/2017	Meuse	640	1582	mâle	166	Vivant		
21/10/2017	Meuse	552	1245	ND	167	Vivant (ballastière)	30/01/2018	
21/10/2017	Meuse	435	545	ND	168	Dévalaison	28/02/2018	
21/10/2017	Meuse	774	3102	ND	165	Mort	29/11/2017	Probable capture par pêcheur et émetteur rejeté à l'eau (position de l'émetteur)
21/10/2017	Meuse	746	2930	ND	164	Vivant (ballastière)	20/03/2018	
21/10/2017	Meuse	470	616	ND	170	Dévalaison	03/04/2018	
21/10/2017	Meuse	500	754	ND	169	Vivant (ballastière)	06/02/2018	
21/10/2017	Meuse	914	4915	ND	171	Vivant		
21/10/2017	Meuse	476	666	ND	172	Vivant		
21/10/2017	Meuse	604	1473	ND	173	Vivant (ballastière)	03/01/2018	
21/10/2017	Meuse	535	1027	ND	174	Vivant		
22/11/2016	Pisciculture	835	4366	ND	11	Disparu	14/04/2017	Probable capture par pêcheur
22/11/2016	Pisciculture	660	1918	ND	27	Dévalaison	04/12/2016	Poisson détecté par la station fixe
22/11/2016	Pisciculture	781	3827	ND	28	Disparu	11/01/2017	Probable capture par pêcheur
22/11/2016	Pisciculture	433	499	ND	101	Capturé	27/01/2017	Probable capture par pêcheur, puis passage du pêcheur avec poisson sur le pont de Charny (détection station)
22/11/2016	Pisciculture	467	616	ND	102	Capturé	26/01/2017	Probable capture par pêcheur, puis passage du pêcheur avec poisson sur le pont de Charny (détection station)
22/11/2016	Pisciculture	712	2406	ND	103	Capturé	31/05/2017	Poisson capturé par pêcheur (Cf. retours infos pêcheurs)
22/11/2016	Pisciculture	755	3073	ND	104	Capturé	28/06/2017	Poisson capturé et émetteur récupéré plusieurs mois après lors d'une opération de pistage (Cf. retours infos

Annexe 13: Echantillon de la base de données sur les informations poissons

```

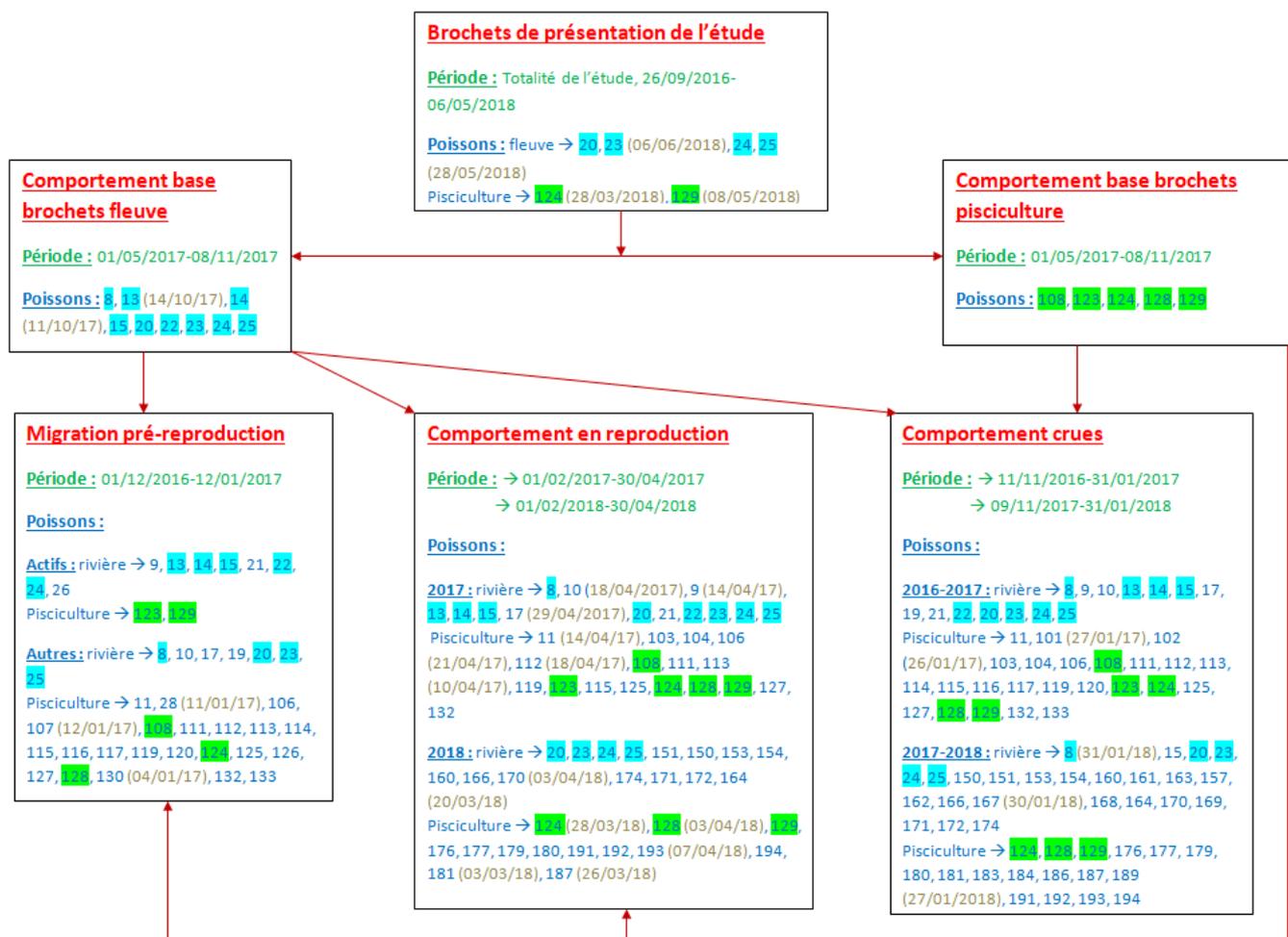
Sub CalculDistance()
Dim numero
Dim poisson
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim moment1
Dim moment2
Dim duree
Dim pk1
Dim pk2
Dim distance
Dim c As Integer
Dim d As Integer
Dim e As Integer
Dim i As Integer
poisson = -1
a = 0
b = 0
c = 2
d = 1
e = 0
i = 1
While Cells(c, 4) <> 0
e = 0
For i = 1 To d:
If Cells(c, 4).Value = Cells(i, 17).Value Then
e = e + 1
End If
Next
If e = 0 Then
a = c + 1
b = 0
d = d + 1
Cells(d, 17) = Cells(c, 4)
numero = Cells(c, 4).Value
pk1 = Cells(c, 11).Value
moment1 = Cells(c, 3).Value
poisson = poisson + 1
Cells(3, 21 + 5 * poisson) = pk1
Cells(6, 21 + 5 * poisson) = 0
Cells(2, 19 + 5 * poisson) = "pk min"
Cells(3, 19 + 5 * poisson) = "pk max"
Cells(4, 19 + 5 * poisson) = "plage"
Cells(5, 19 + 5 * poisson) = "deplacement max"
Cells(6, 19 + 5 * poisson) = "deplacement total"
Cells(7, 19 + 5 * poisson) = "deplacement le + rapide"
Cells(4, 22 + 5 * poisson) = "km"
Cells(5, 22 + 5 * poisson) = "km"
Cells(6, 22 + 5 * poisson) = "km"
Cells(11, 20 + 5 * poisson) = "date"
Cells(11, 21 + 5 * poisson) = "distance"
Cells(11, 22 + 5 * poisson) = "vitesse"
While Cells(a, 4) <> ""
If Cells(a, 4) = numero Then
b = b + 1
pk2 = Cells(a, 11).Value
moment2 = Cells(a, 3).Value
If pk2 <> 0 Then
If pk1 <> 0 Then
distance = Abs(pk1 - pk2)
Else: distance = 0
End If
Else: distance = 0
End If
duree = moment2 - moment1
If pk2 <> 0 Then
If pk2 < Cells(2, 21 + 5 * poisson) Then
Cells(2, 21 + 5 * poisson) = pk2
End If
End If
If pk2 > Cells(3, 21 + 5 * poisson) Then
Cells(3, 21 + 5 * poisson) = pk2
End If
If distance > Cells(5, 21 + 5 * poisson) Then
Cells(5, 21 + 5 * poisson) = distance
Cells(5, 20 + 5 * poisson) = moment2
End If
Cells(6, 21 + 5 * poisson) = Cells(6, 21 + 5 * poisson) + distance
If duree <> 0 Then
If distance / duree > Cells(7, 21 + 5 * poisson) Then
Cells(7, 21 + 5 * poisson) = distance / duree
Cells(7, 20 + 5 * poisson) = moment2
End If
Cells(11 + b, 22 + 5 * poisson) = distance / duree
End If
Cells(11 + b, 20 + 5 * poisson) = moment2
Cells(11 + b, 21 + 5 * poisson) = distance
pk1 = pk2
moment1 = moment2
a = a + 1
Range(Cells(12, 21 + 5 * poisson), Cells(11 + b, 21 + 5 * poisson)).NumberFormat = "General""km""
Else: a = a + 1
End If
Wend
Cells(4, 21 + 5 * poisson) = Cells(3, 21 + 5 * poisson) - Cells(2, 21 + 5 * poisson)
Cells(8, 19 + 5 * poisson) = "déplacement moyen"
Cells(9, 19 + 5 * poisson) = "b="
Cells(9, 21 + 5 * poisson) = b
Cells(8, 22 + 5 * poisson) = "km"
If b <> 0 Then
Cells(8, 21 + 5 * poisson) = Cells(6, 21 + 5 * poisson) / b
End If
Cells(1, 19 + 5 * poisson) = numero
c = c + 1
Else: c = c + 1
End If
Wend
End Sub

```

Annexe 14: Code VBA pour traiter les données de position

19				20			
pk min		352,76		pk min		347,7	
pk max		356,75		pk max		350,61	
plage		3,99 km		plage		2,91 km	
deplacement max	13/5/17 10:28	1,38 km		deplacement max	14/12/16 12:03	1,9 km	
deplacement total		6,57 km		deplacement total		25,83 km	
deplacement le + rapide	9/2/17 9:52	0,44871551		deplacement le + rapide	14/3/18 10:31	34,56	
déplacement moyen		0,2628 km		déplacement moyen		0,18992647 km	
b=		25		b=		136	
	date	distance	vitesse		date	distance	vitesse
	3/11/16 11:15	0,51km	0,10380212		3/11/16 9:50	1,03km	0,21542484
	8/11/16 11:53	0,05km	0,0099475		8/11/16 15:16	0,01km	0,00191337
	16/11/16 9:09	0,48km	0,0608665		16/11/16 14:58	0,01km	0,00125196
	23/11/16 8:36	0,24km	0,03439833		25/11/16 16:31	1,52km	0,16768559
	25/11/16 11:43	0,06km	0,02817085		14/12/16 12:03	1,9km	0,10098922
	30/11/16 15:28	0,47km	0,09115152		20/12/16 10:26	0,04km	0,00674236

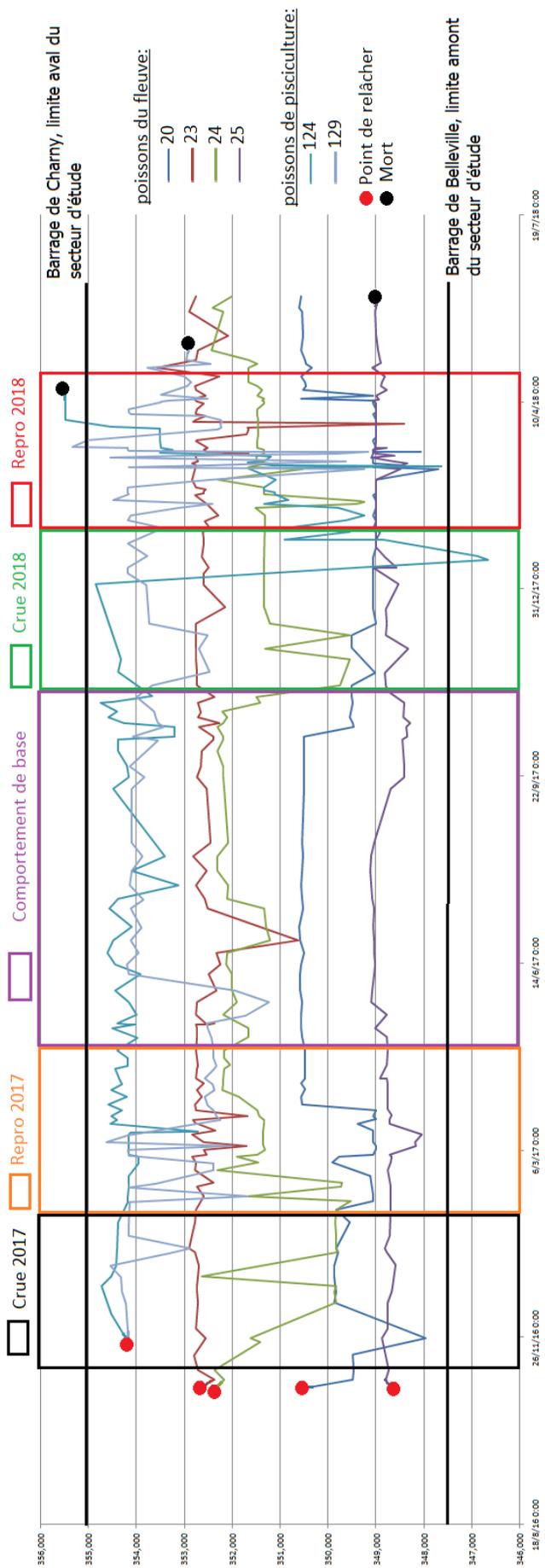
Annexe 15: Métriques et tableaux obtenus grâce au code VBA



Annexe 16: Période temporelle et groupe d'individus retenus par comportement/événement

date	code_lotek	origine_poisson	longueur_totale_ exacte	poids	sexe	pk	Statut	date_perte	nombre de détections
29/10/2016	20	Meuse	598	1461	ND	350,520	Vivant		137
29/10/2016	23	Meuse	702	2144	ND	352,690	Vivant	06/06/2018	135
29/10/2016	24	Meuse	656	1956	ND	352,340	Vivant		127
29/10/2016	25	Meuse	556	1144	ND	348,620	Mort	28/05/2018	129
22/11/2016	124	Pisciculture	768	3361	Femelle	354,160	Mort	28/03/2018	112
22/11/2016	129	Pisciculture	686	2242	ND	354,160	Capturé	08/05/2018	120

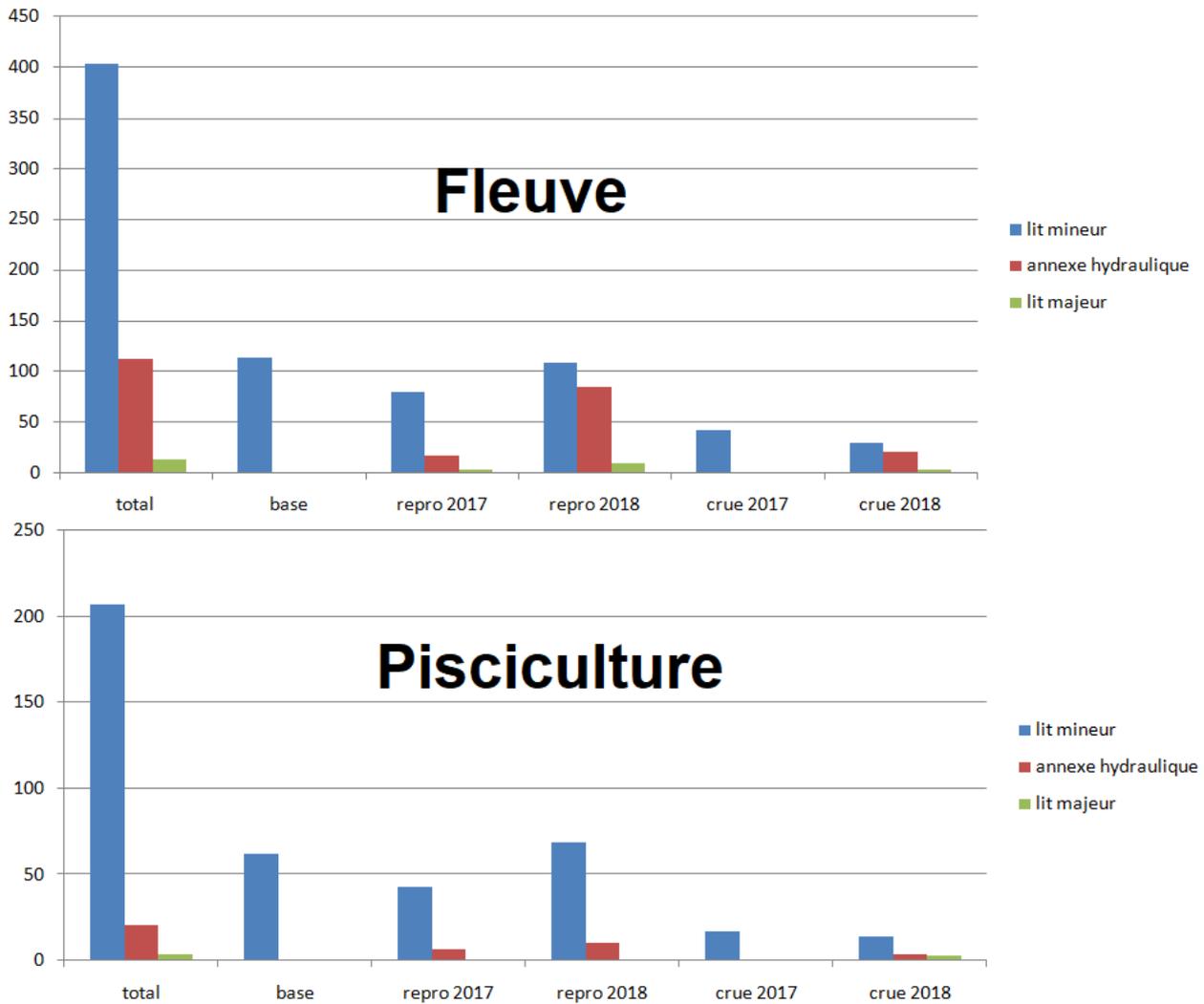
[Annexe 17: Diverses informations sur les brochets de présentation de l'étude](#)



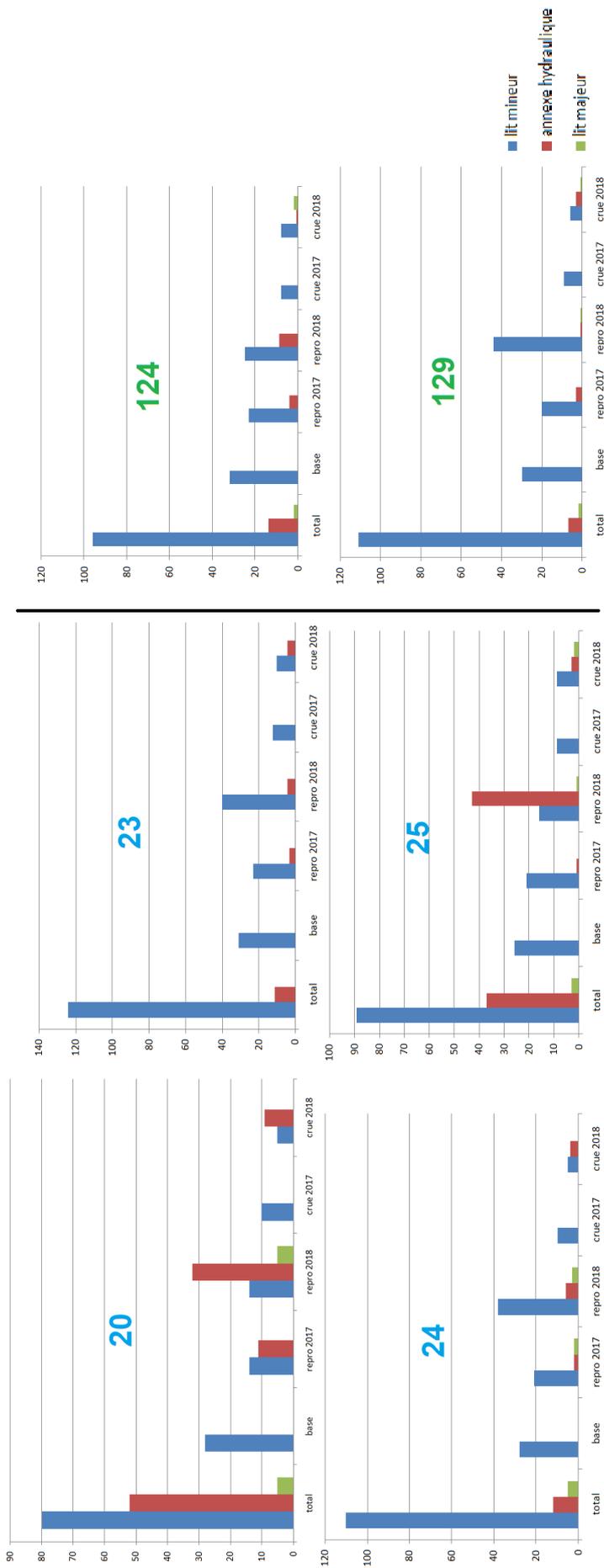
Position des poissons en fonctions du temps

Annexe 18: Déplacement longitudinal en fonction du temps de 6 individus

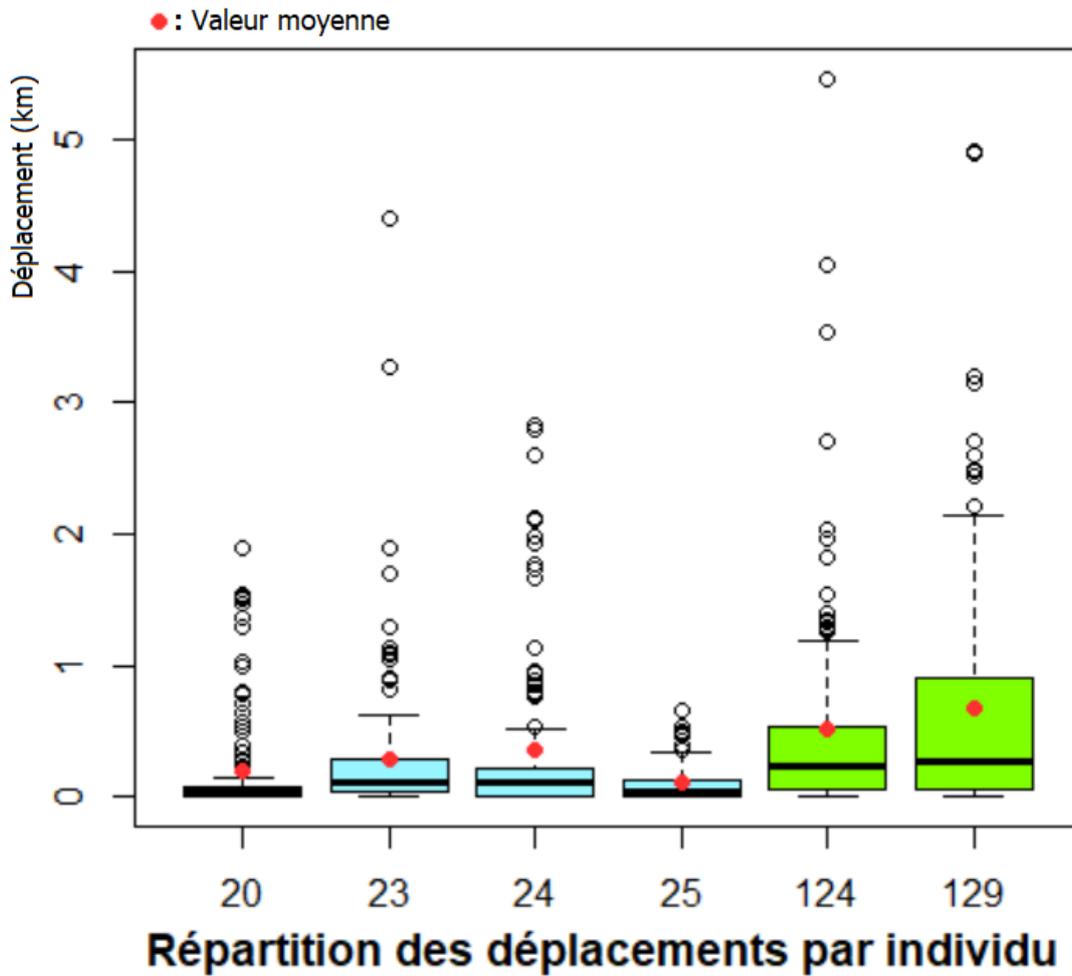
Vers le haut du graphique se situe l'aval du secteur d'étude tandis que proche de l'axe des abscisses on retrouve l'amont du secteur d'étude.



Annexe 19: Comparaison fleuve/pisciculture sur le nombre de détection en fonction de la position latérale

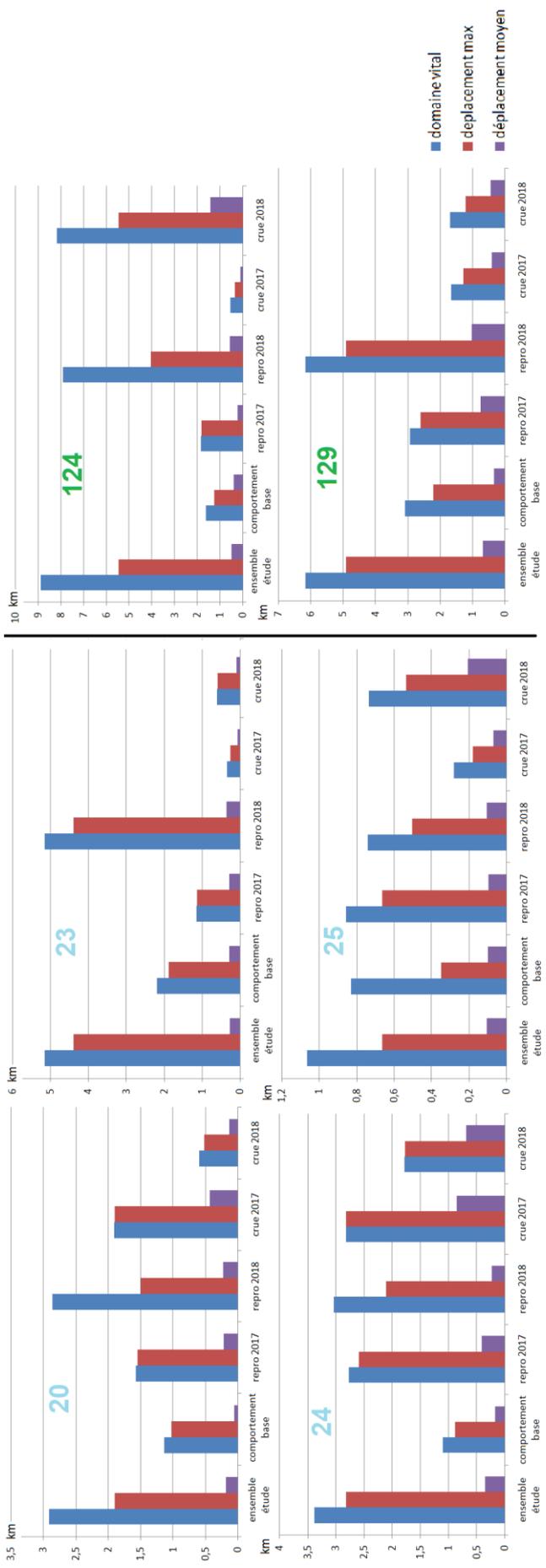


Annexe 20: Nombre de détections en fonction de la position latérale par individu

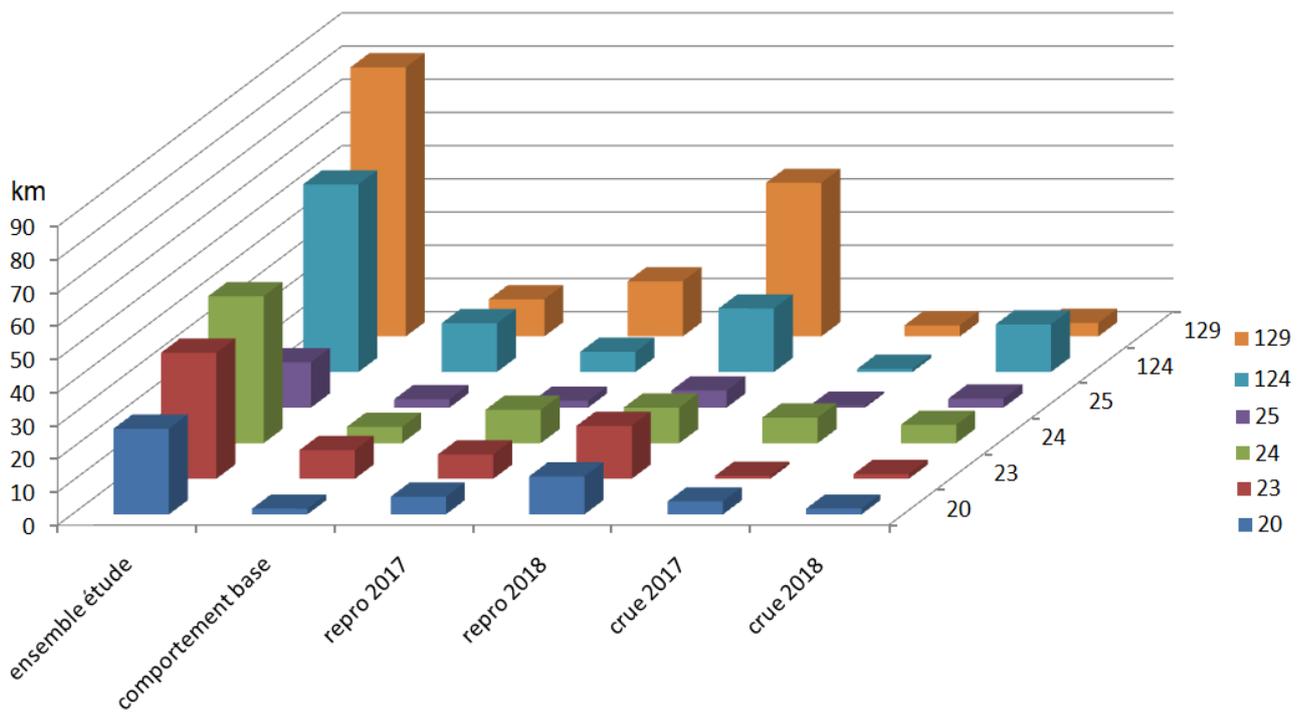


[Annexe 21: Boxplot des déplacements pour chaque individu](#)

Le point rouge représente la moyenne, le trait noir la médiane, la limite inférieure de la boîte le premier quartile, la limite supérieure le troisième quartile, la longueur des « moustaches » représente la dispersion des valeurs, les autres points des valeurs extrêmes.



Annexe 22: Domaine vital, déplacement moyen et déplacement maximum (en km) de chaque individu

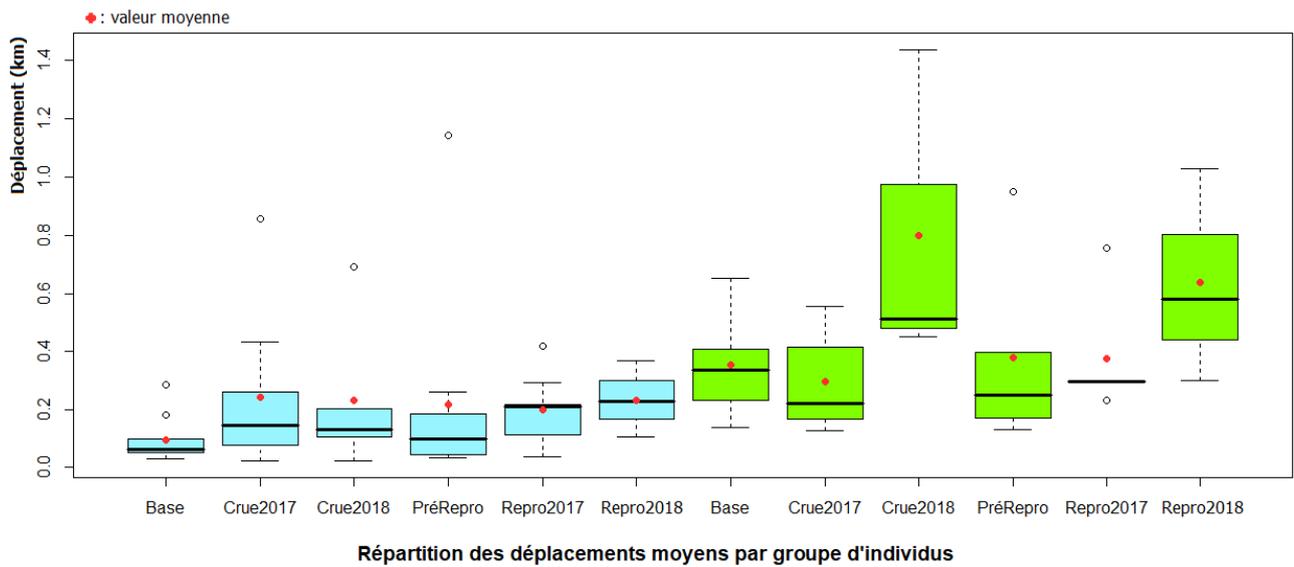


[Annexe 23: Déplacement total des individus sur chaque période](#)

base de données	moyenne plage	moyenne deplacement max	moyenne deplacement total	moyenne déplacement moyen
crue 2018 (complet)	1,977	1,477	4,377	0,409
crue 2018 (base)	1,874	1,436	4,069	0,445
Test Statistique	0,918	0,95	0,860	0,842
crue 2017 (complet)	1,072	0,891	2,228	0,271
crue 2017 (base)	1,047	0,864	2,428	0,264
Test Statistique	0,921	0,914	0,750	0,924
repro 2018 (complet)	3,142	2,044	10,456	0,292
repro 2018 (base)	4,111	2,882	17,116	0,407
Test Statistique	0,382	0,248	0,260	0,396
repro 2017 (complet)	2,082	1,685	6,728	0,309
repro 2017(base)	1,612	1,394	5,951	0,263
Test Statistique	0,213	0,381	0,577	0,466
migration pre-reproduction (complet)	0,561	0,466	0,968	0,196
migration pre-reproduction (base)	0,833	0,659	1,396	0,277
Test Statistique	0,265	0,396	0,357	0,415

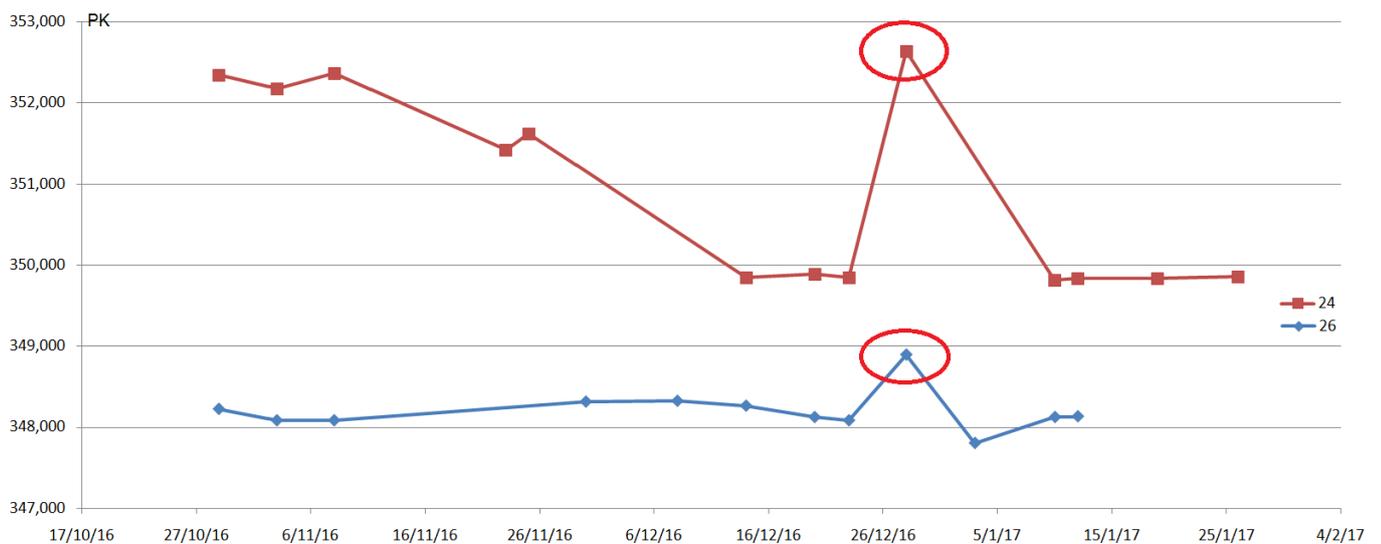
[Annexe 24: Comparaison des métriques d'échantillons d'individus de taille différente](#)

Le test statistique est un test de Student réalisé sur les bases de données qui ont permis de calculer ces moyennes. L'unité est le km. Lorsque la période est suivie de « (complet) » tous les individus vivants lors de cette période sont pris en compte. Dans l'autre cas « (base) » il s'agit des individus qui étaient vivants pendant cette période mais également lors de la période « base » qui sert de référence. Leur nombre est donc moins élevé et des différences apparaissent sur les métriques.



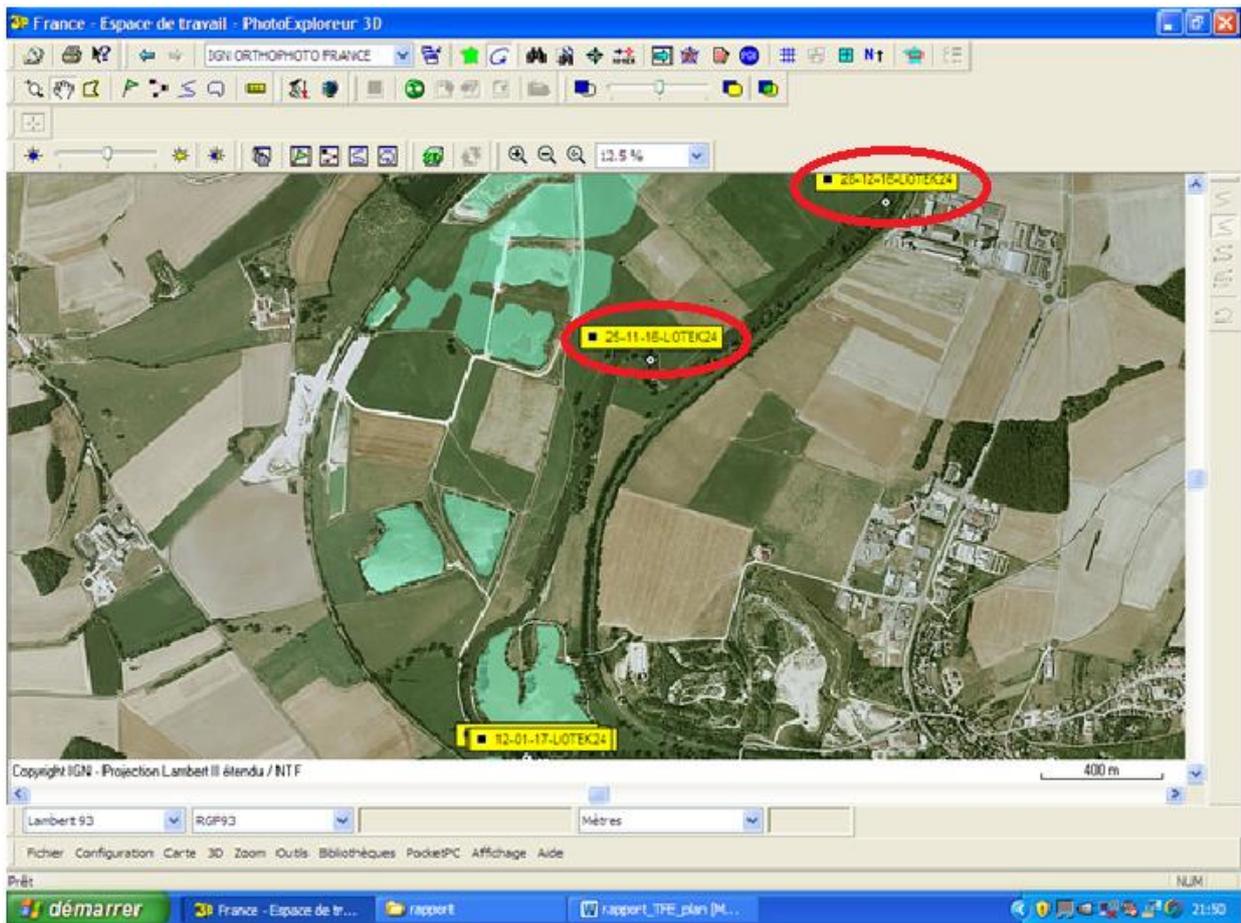
Annexe 25: Boxplots déplacements moyens des brochets par groupes d'individus

Représente la dispersion des individus sur le déplacement moyen qu'ils effectuent.



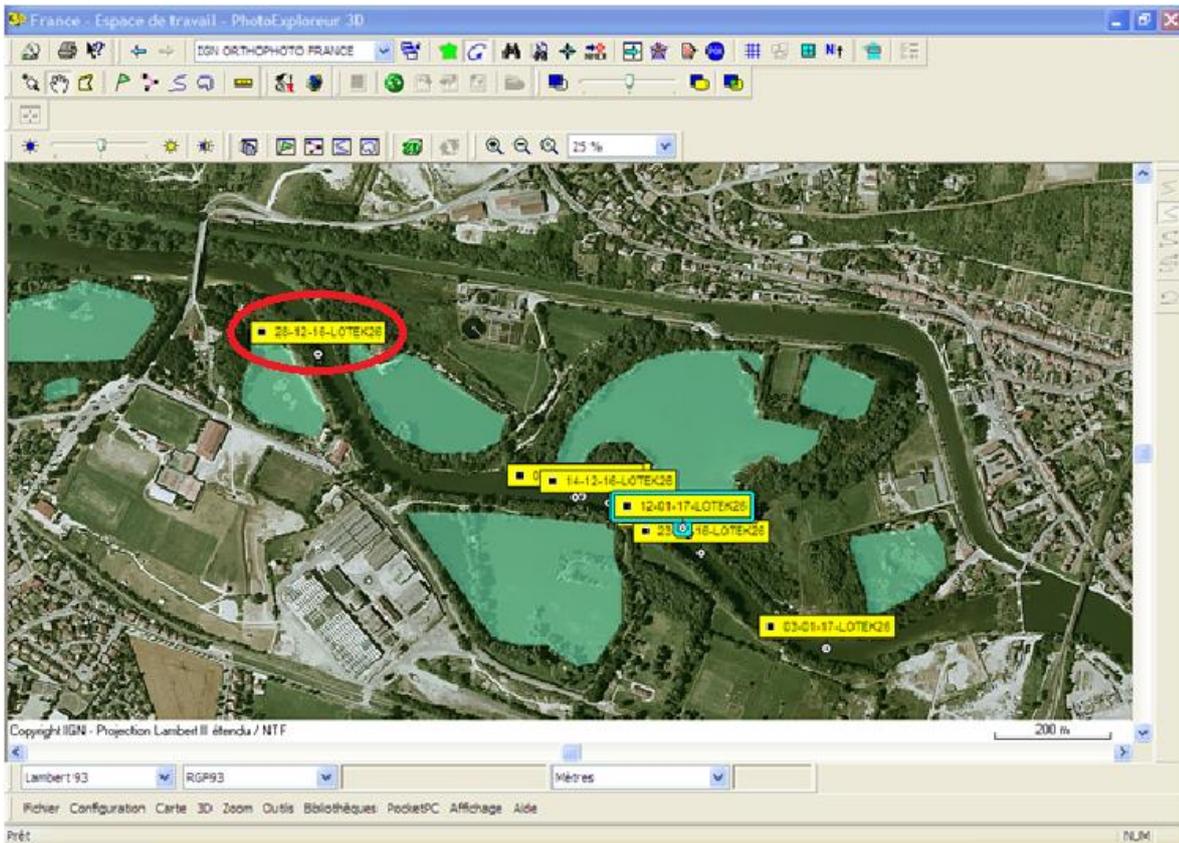
Annexe 26: Déplacements des individus 24 et 26 durant la période de Pré-Reproduction

L'aval du secteur d'étude se situe vers le haut du graphique et tandis que la limite amont est vers l'axe des abscisses. Entourés en rouge les déplacements des individus vers des annexes hydrauliques, lieu de reproduction.



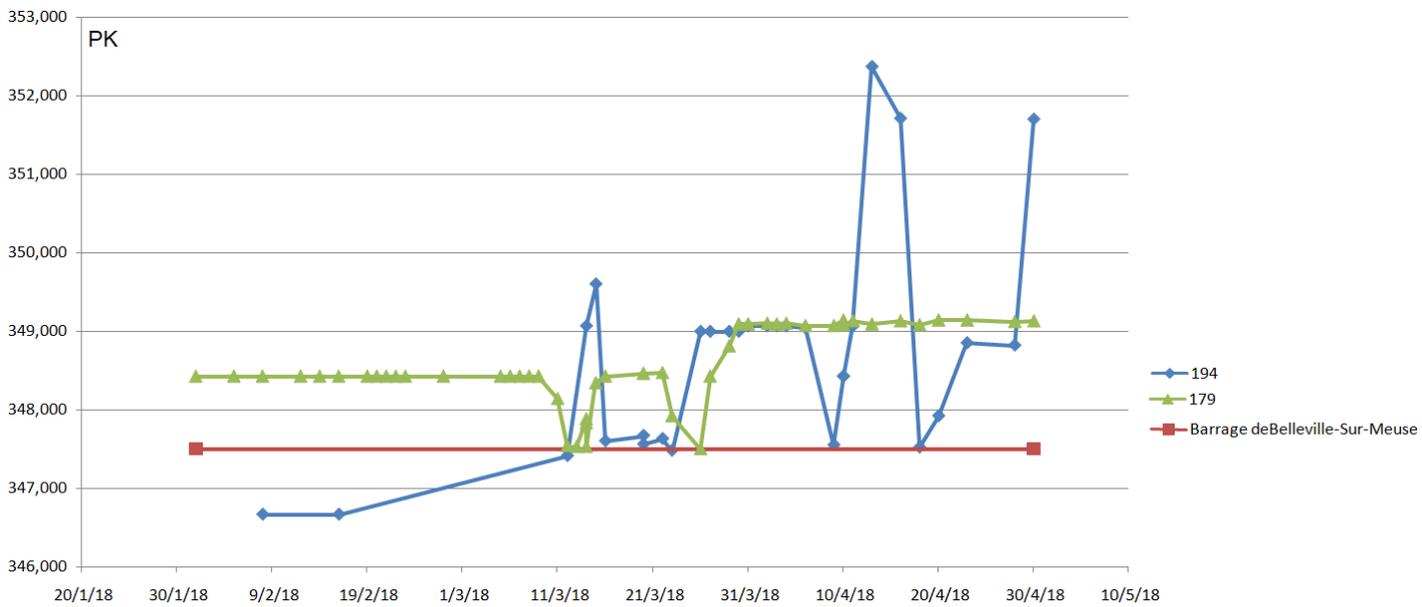
Annexe 27: Positions de l'individu 24 pendant la période de Pré-Reproduction

Interface de 3D Explorer. Les positions de l'individu sont indiquées, avec la date du pistage.



Annexe 28: Positions de l'individu 26 pendant la période de Pré-Reproduction

Interface de 3D Explorer. Les positions de l'individu sont indiquées, avec la date du pistage.

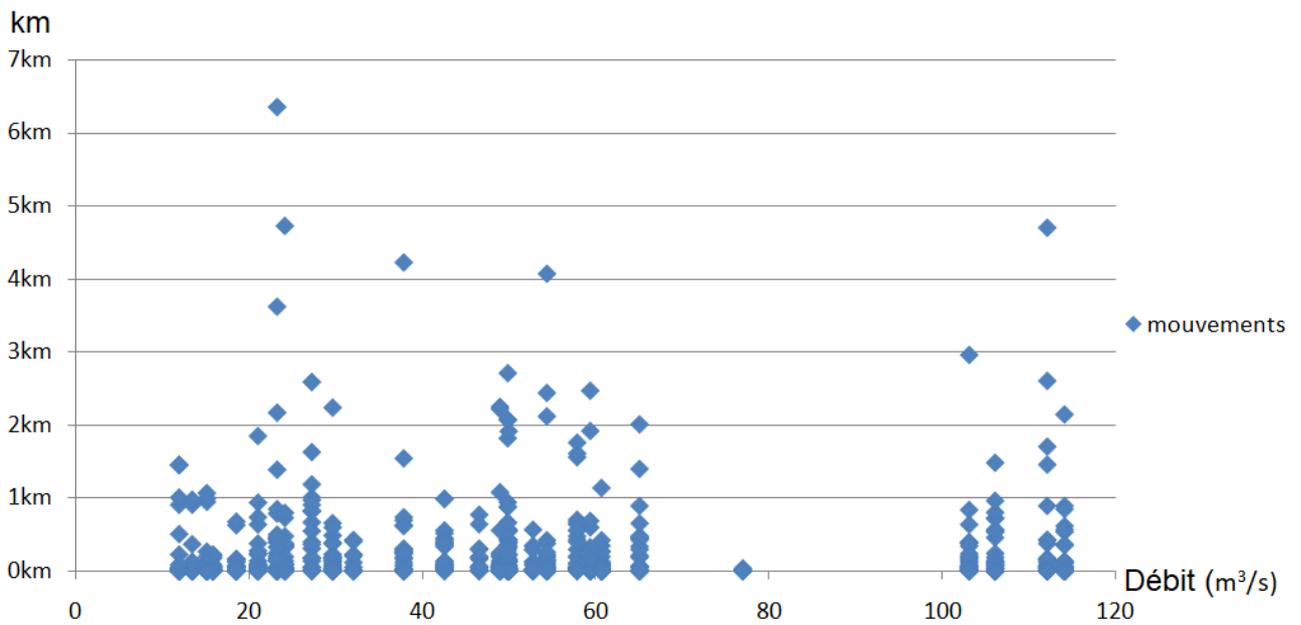


Annexe 29: Exemple de déplacements des individus 179 et 194

Les deux individus viennent buter au pied du barrage plusieurs fois pendant la période de reproduction.

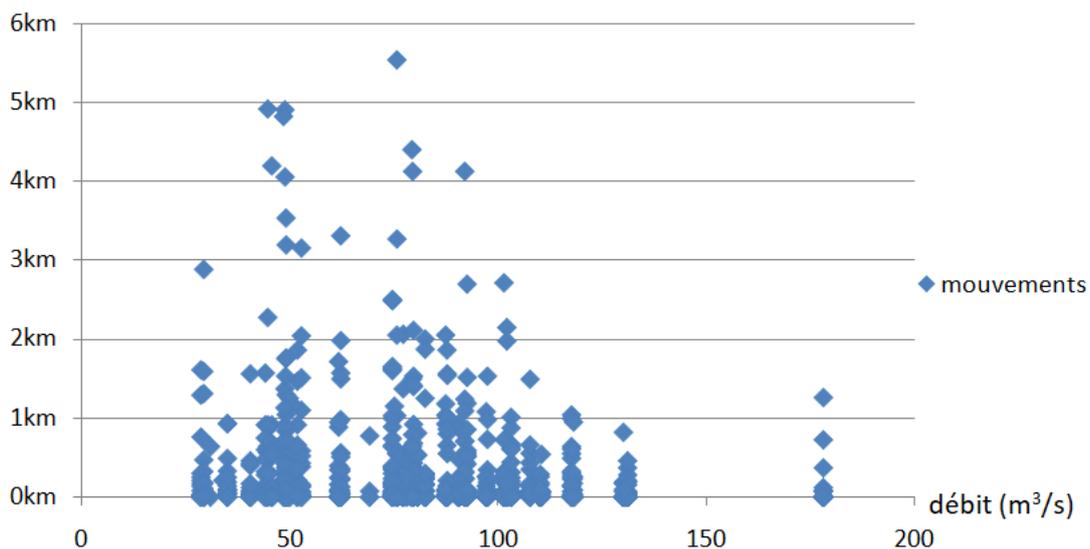


Annexe 30: Position des poissons piégés en ballastière



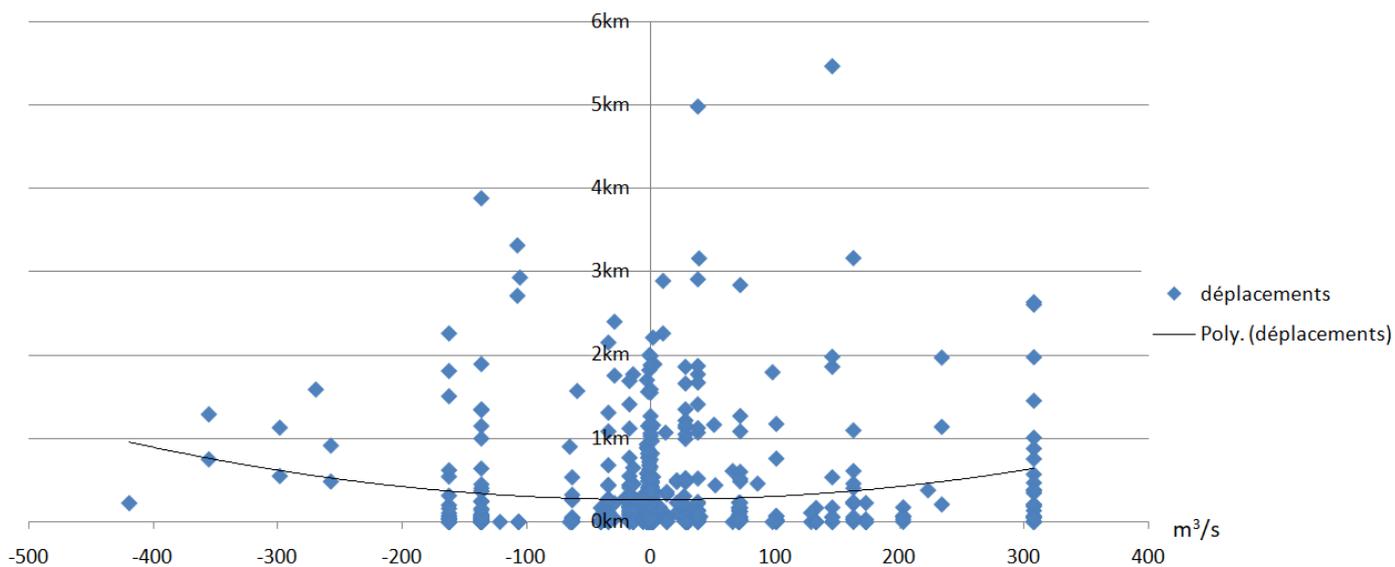
Annexe 31: Corrélation déplacement-débit période de reproduction 2017

Chaque point représente la distance parcourue ente deux pistages par un individu en fonction de la valeur du débit lors du second pistage.

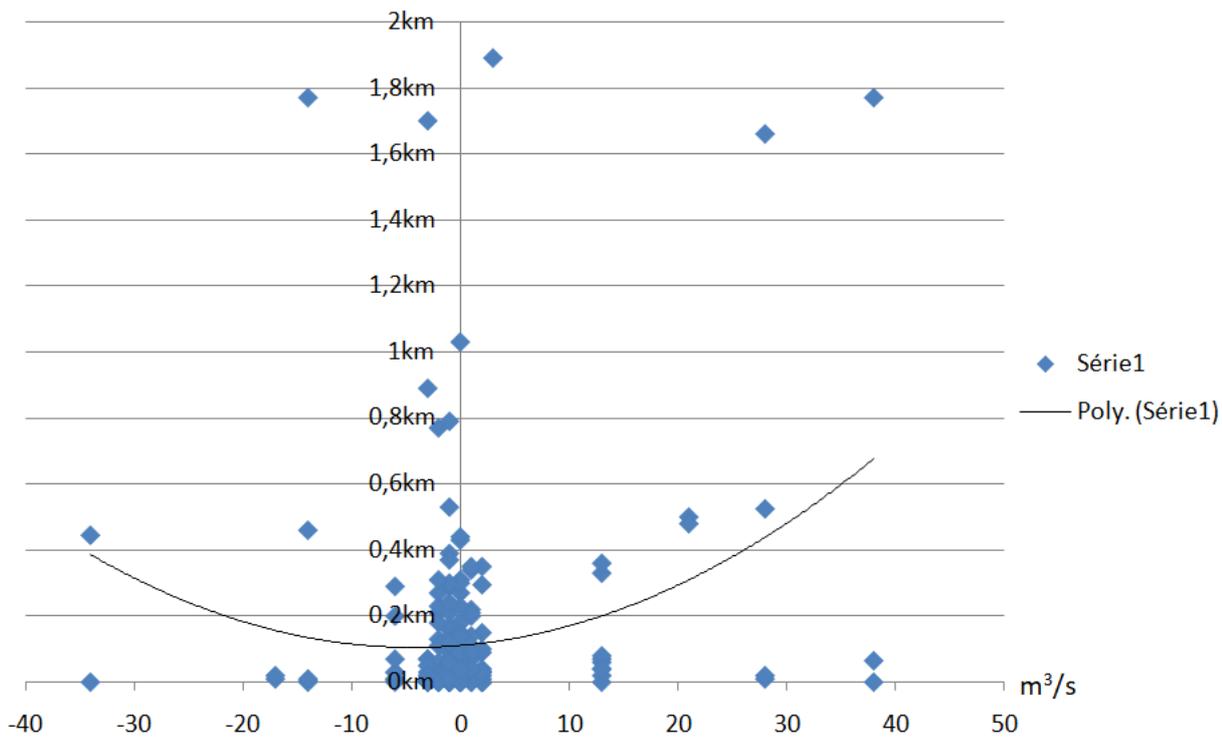


[Annexe 32: Corrélation déplacement-débit période de reproduction 2018](#)

Chaque point représente la distance parcourue ente deux pistages par un individu en fonction de la valeur du débit lors du second pistage.

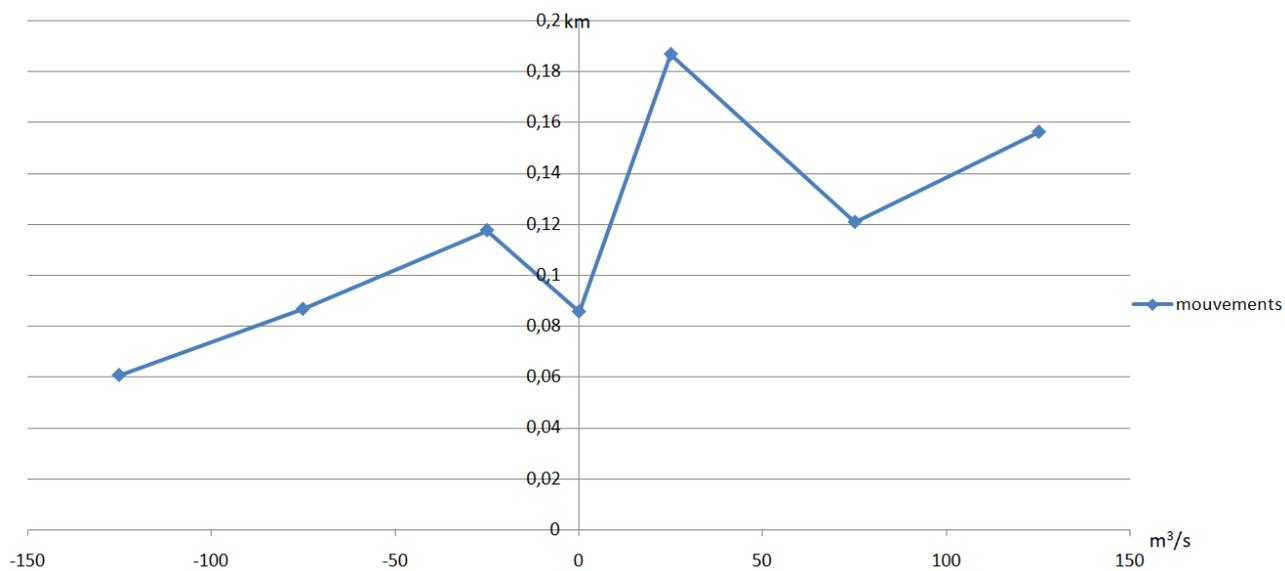


[Annexe 33: Corrélation déplacement-variation du débit période de « base » et période de crue 2018](#)



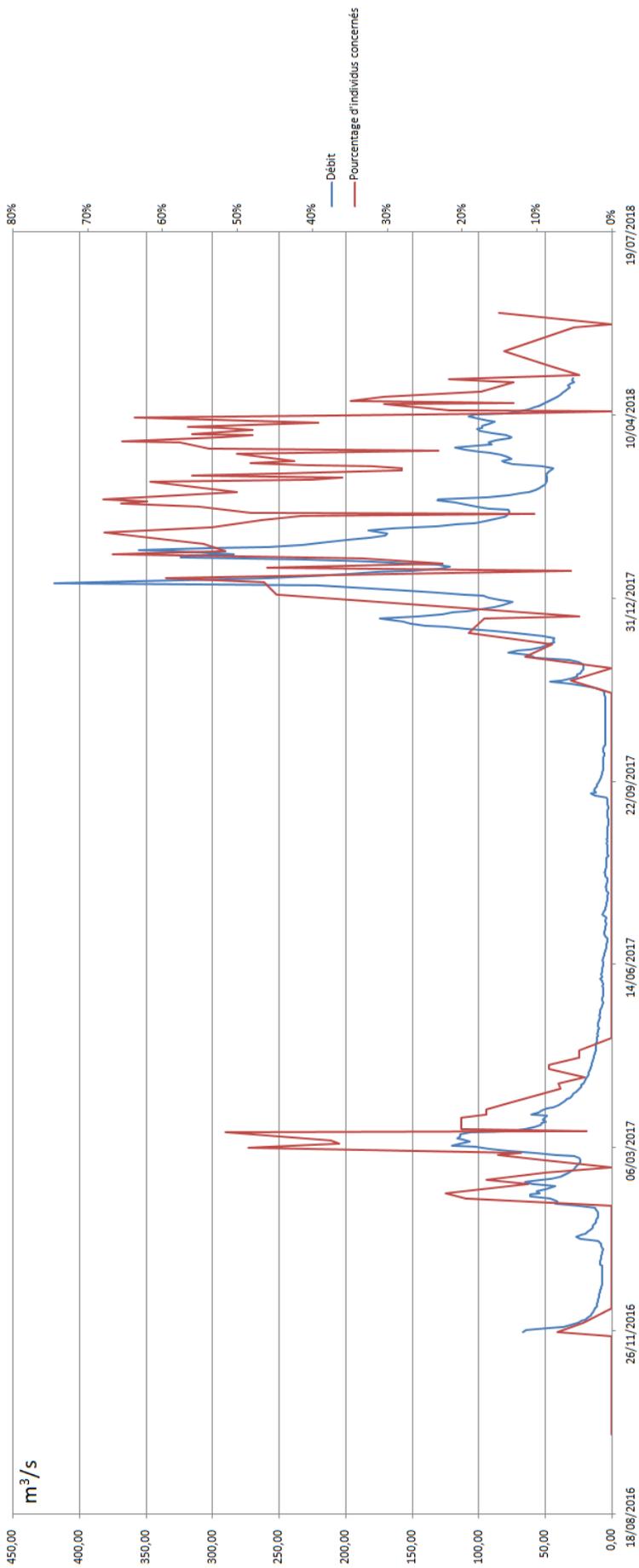
Annexe 34: Corrélation déplacement-variation du débit poissons issus du fleuve

Chaque point représente la distance parcourue ente deux pistages par un individu en fonction de la variation du débit entre ces deux pistages.

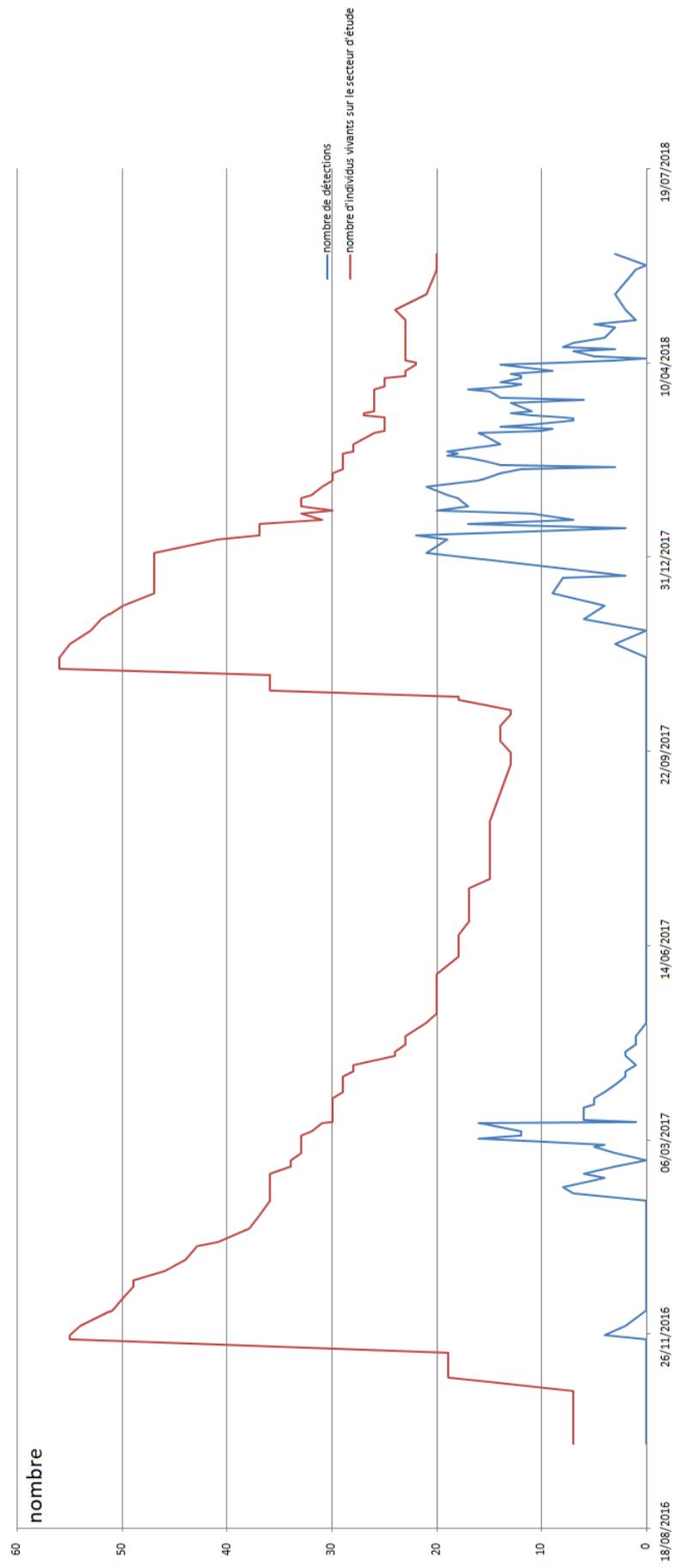


Annexe 35: Déplacement moye par gamme de variation de débit

Chaque point représente une moyenne des distances parcourues ente deux pistages par les individus suivis en fonction d'une plage de variation du débit entre ces deux pistages (50m³/s par 50m³/s).

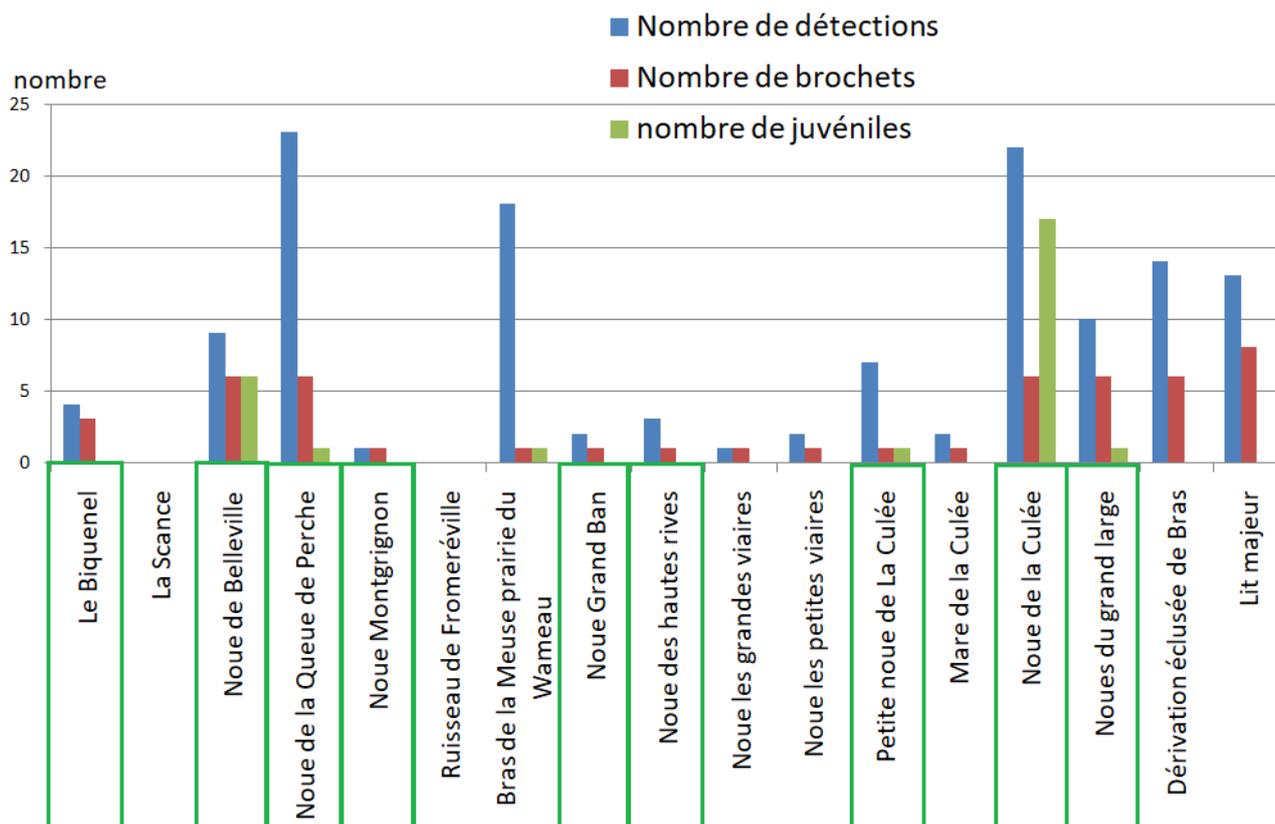


Annexe 36: Pourcentage d'individus détectés dans les annexes hydrauliques par pistage et débit



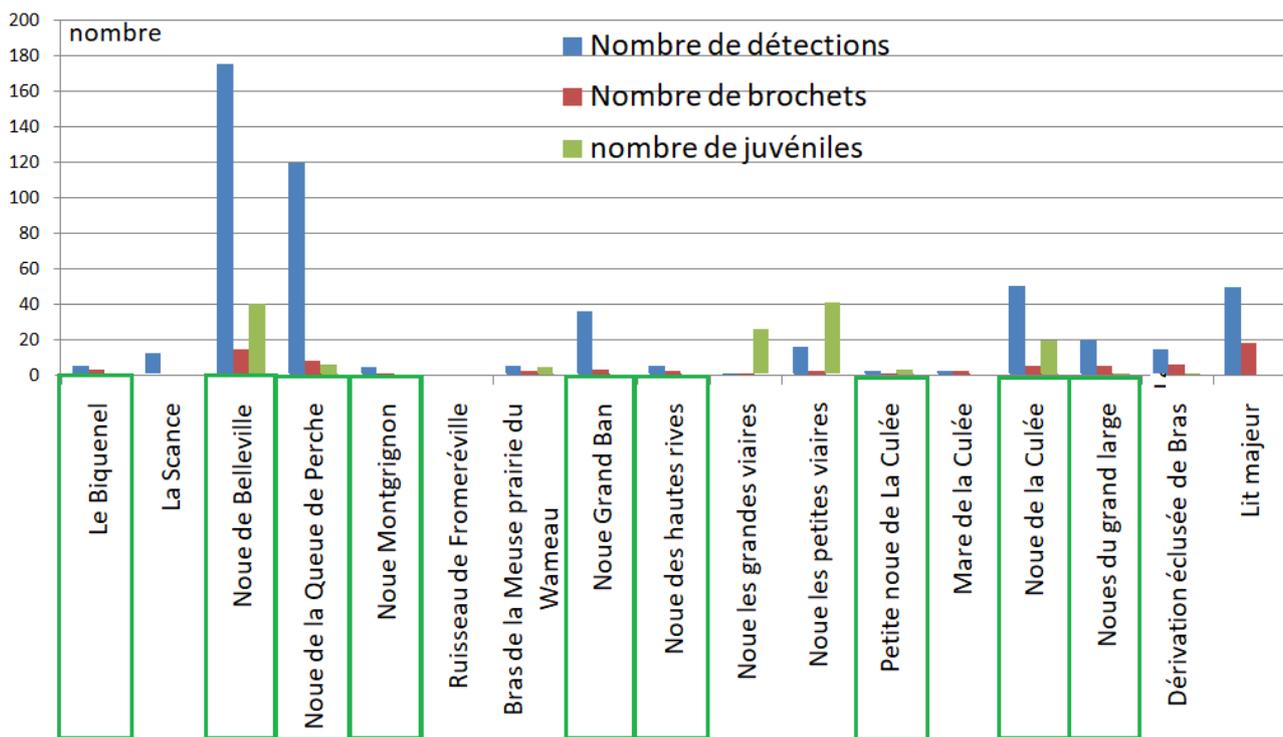
Annexe 37: Nombre de détections en annexes hydrauliques et nombre total d'individus

Sur la courbe rouge (nombre d'individus vivants sur le secteur d'étude) on retrouve les différents rempoissonnements effectués puis la perte rapide en individus marqués.



Annexe 38: métriques de l'année 2017 sur les annexes hydrauliques du secteur d'étude

Le nombre de détections concerne l'ensemble des individus marqués détectés par radiopistage. Le nombre de brochets ayant fréquentés l'annexe hydraulique représente le nombre d'individus marqués qui ont été détecté au moins une fois dans l'annexe hydraulique par radiopistage. Le nombre de juvéniles représente le nombre de jeunes de l'année pêchés lors des opérations de pêche électrique.



Annexe 39: Quelques métriques de l'année 2018 sur les annexes hydrauliques du secteur d'étude

Le nombre de détections concerne l'ensemble des individus marqués détectés par radiopistage. Le nombre de brochets ayant fréquentés l'annexe hydraulique représente le nombre d'individus marqués qui ont été détecté au moins une fois dans l'annexe hydraulique par radiopistage. Le nombre de juvéniles représente le nombre de jeunes de l'année pêchés lors des opérations de pêche électrique.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Spécialité Hydrosystème

Auteur
GONZALEZ Guillaume

Année
2018

Titre
Suivi de la reproduction du brochet en vallée de Meuse

Nombre de pages texte 60 annexes 30

Nombre de références bibliographiques 78

Structure d'accueil Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de la Meuse, Nixéville-Blercourt, 55, FRANCE

Maître de stage Mr. CORMONT Sébastien

Résumé

La Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de la Meuse a commencé une étude d'écologie spatiale sur le brochet par suivi télémétrique en 2016 pour deux années. 100 individus ont été suivis. Pour 9 brochets du fleuve, le déplacement moyen entre deux détections sur la période « base » est de 98m, contre 355m pour les poissons de pisciculture (5 individus). Concernant les brochets du fleuve, cette métrique s'élève à 285m pendant la Crue 2018 et 235m lors de la reproduction 2018. Pendant ces événements, plus de 60% des individus sont dans les annexes hydrauliques.

Mots-clés

Esox Lucius, radiopistage, rivière, déplacements, reproduction, habitat, annexe hydraulique