



Étude comportementale du brochet en vallée de Meuse



Rapport final – Septembre 2020

Sébastien CORMONT, Guillaume GONZALEZ et Paul MASSARD (FDPPMA 55)
Pierre FAVRIOU et Romain ROY (Profish technologie)

Partenaires financiers	
Partenaires scientifiques et techniques	

Sommaire

Abstract.....	5
Résumé.....	6
Introduction.....	7
1. Matériel et méthodes	8
1.1 Le brochet	8
1.1.1 Habitat	8
1.1.2 Croissance et développement	8
1.1.3 Reproduction	9
1.1.4 Menaces et état des populations	10
1.1.5 Halieutique et gestion piscicole.....	10
1.2 Le site d'étude	11
1.3 Paramètres suivis dans le fleuve et les annexes hydrauliques	14
1.3.1 Le débit.....	14
1.3.2 La hauteur d'eau.....	14
1.3.3 La température.....	14
1.3.4 Les habitats.....	15
1.4 L'outil et la méthode de radiopistage	15
1.4.1 Echantillon de brochets	15
1.4.2 Marquage des brochets	16
1.4.3 Le radiopistage mobile	17
1.4.4 La station fixe de radiopistage.....	18
1.5 Les inventaires piscicoles dans les annexes hydrauliques	19
1.5.1 Choix des stations de pêche et des périodes	19
1.5.2 Matériel et protocole mis en œuvre	19
1.6 Communication	20
1.7 Base de données et organisation des analyses	21
2. Résultats	23
2.1 Les performances du radiopistage	23
2.1.1 L'effort de prospection	23
2.1.2 Données du radiopistage mobile	24
2.1.3 Données de la station fixe.....	25

2.2	Déplacements au cours du cycle annuel.....	26
2.2.1	Déplacements d'un brochet « modèle »	26
2.2.2	Définition des périodes.....	28
2.2.3	Déplacements longitudinaux	29
2.3	Comportements des brochets au cours de la période « Printemps/été ».....	35
2.3.1	Déplacements longitudinaux	35
2.3.2	Habitats préférentiels.....	35
2.4	Comportement des brochets au cours de la période « Automne/hiver »	36
2.4.1	Déplacements longitudinaux	36
2.4.2	Déplacements latéraux.....	37
2.4.3	Différents types de migrations observées.....	39
2.5	Fonctionnalité des annexes hydrauliques	43
2.5.1	Fonctionnalité pour les géniteurs de brochets	43
2.5.2	Fonctionnalité pour les juvéniles.....	46
2.5.3	Influence du débit sur la fonctionnalité des annexes hydrauliques	47
2.6	Devenir des brochets marqués et impacts anthropiques.....	49
2.6.1	Devenir des brochets marqués.....	49
2.6.2	Différences entre les brochets du fleuve et les brochets de repeuplement	52
2.6.3	Observations sur le comportement des pêcheurs.....	54
3.	Discussion	57
3.1	Méthodologie, jeu de données et performances du système de radiopistage	57
3.1.1	Le site d'étude	57
3.1.2	Paramètres suivis dans le fleuve et les annexes hydrauliques	57
3.1.3	L'échantillon de brochets et l'opération de marquage	58
3.1.4	Le radiopistage mobile	59
3.1.5	Station fixe de radiopistage	60
3.1.6	Les inventaires piscicoles réalisés dans les annexes hydrauliques.....	60
3.2.1	Périodicité des déplacements.....	61
3.2.2	Domaine vital du brochet	61
3.2.3	Déplacements longitudinaux	62
3.2.4	Habitats de prédilection.....	63
3.3	Migration de reproduction, déplacements latéraux, et fonctionnalité des annexes hydrauliques	64
3.3.1	Période et migration de reproduction	64

3.3.2	Déplacements latéraux des brochets.....	64
3.3.3	L'attractivité des annexes hydrauliques	65
3.3.4	Productivité des annexes hydrauliques en juvéniles.....	67
3.3.5	Impacts des travaux de restauration des annexes hydrauliques.....	67
3.4.1	Les déplacements des brochets du fleuve et de repeuplement	69
3.4.2	Mortalité des brochets	70
3.4.3	Pratiques halieutiques.....	70
4.	Perspectives et orientations de gestion piscicole.....	71
4.1	Connaissance et gestion des milieux	71
4.1.1	Restauration de zones de frayère	71
4.1.2	Etude et restauration des nurseries	72
4.1.3	Augmentation de la capacité d'accueil dans le lit mineur	74
4.1.4	Restauration de la continuité écologique.....	74
4.1.5	Gestion des plans d'eau en lit majeur.....	74
4.2	Opérations de repeuplements	76
4.2.1	Généralités et situation du secteur étudié	76
4.2.2	Propositions de repeuplement.....	77
4.3	Réglementation et pratiques halieutiques.....	77
4.3.1	Contexte et situation actuelle.....	77
4.3.2	Mise en place de zones de réserve.....	78
4.3.3	Réorienter la pression de pêche sur d'autres espèces	78
4.3.4	Régulation des prélèvements de brochets.....	79
4.3.4	Fractionner les zones de pêche aux carnassiers	81
4.4	Communication et sensibilisation.....	82
	Conclusion	83
	Références Bibliographiques	84
	ANNEXES.....	90

Abstract

Meuse river secondary channels are alluvial wetlands with a great biodiversity potentially favorable for pike reproduction (*Esox lucius*). Since two decades, the Federation of the Meuse for Fishing and the Protection of the Aquatic Environment (FDPPMA 55) did restoration operations on these wetlands for to improve their functionality. The technic of radio tracking was used to track the movements of 100 pike, 44 caught in the river and 56 from stocking, over a 7.6 km from the Meuse river. 188 radio-tracking campaigns have collected nearly 4 000 detections of live pike and thus track their movements.

It is in winter and spring, when the river flow is high, that the highest densities of pike were observed in the secondary channels, thus confirming their role of refuge and spawning ground for the species. The most attractive during the pike breeding period were the pond with a permanent connection with the minor bed and with a large area of submerged banks and a large diversity of habitats. The restauration of secondary channel, which favored the development of these parameters, has been beneficial for the reproduction of pike spawners as well as for the migration of juveniles towards the minor bed. Today, the recruiting capacity in the study area is estimated at 1 093 adult pike. It is much higher than the carrying capacity, which is between 376 and 538 adult pike. On this type of context, it seems necessary to orient future restoration operations on areas of habitats and nursery for the species inside the minor bed. The grouping of pike near the dams and the trapping of some of them in the old alluvial quarry during the floods demonstrated that these anthropic developments disturbed their movements. The fishing of pike by recreational anglers was probably responsible for the disappearance of 56% of the number of tagged individuals. These results should lead managers of recreational fisheries and aquatic environments to improve their management in favor of the protection of the pike species. The last part of this report sets out several courses of action that go in this direction.

Résumé

Les annexes hydrauliques du fleuve Meuse constituent des zones humides alluviales riches en biodiversité et potentiellement favorables à la reproduction du brochet (*Esox lucius*). Depuis deux décennies, la Fédération de la Meuse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA 55) réalise régulièrement des opérations de restauration sur ces milieux afin d'en améliorer leur fonctionnalité. Un suivi télémétrique par radiopistage a été utilisé pour suivre les déplacements de 100 brochets, 44 capturés dans le fleuve et 56 provenant de repeuplements, sur un linéaire de 7,6 km du fleuve Meuse. 188 campagnes de radiopistage ont permis de collecter près de 4000 détections de brochets vivants et ainsi de retracer leurs déplacements.

C'est en hiver et au printemps, lorsque le débit du fleuve est élevé, que les densités les plus importantes de brochets ont été observées dans les annexes hydrauliques, confirmant ainsi leur rôle de refuge et de frayère pour l'espèce. Les plus attractives pendant la période de reproduction du brochet étaient celles de type « noue », possédant une connexion permanente avec le lit mineur, une grande surface de berges submergées et une importante diversité d'habitats. Les travaux, qui ont favorisé le développement de ces paramètres, ont été bénéfiques pour la reproduction des géniteurs ainsi que pour la migration des juvéniles vers le lit mineur. Aujourd'hui, la capacité de recrutement sur le secteur d'étude est estimée à 1093 brochets adultes. Elle est bien supérieure à la capacité d'accueil qui se situe entre 376 et 538 brochets adultes. Sur ce type de contexte, il semble nécessaire d'orienter les futures opérations de restauration sur des zones d'habitats et de nurserie pour l'espèce à l'intérieur du lit mineur. Les regroupements de brochets à proximité des ouvrages transversaux et le piégeage de certains d'entre eux dans les plans d'eau lors des crues ont démontré que ces aménagements anthropiques perturbaient leurs déplacements. Le prélèvement de brochets par les pêcheurs de loisir a été probablement à l'origine de la disparition de 56% de l'effectif d'individus marqués. Ces résultats doivent amener les gestionnaires de la pêche de loisir et des milieux aquatiques à améliorer leur gestion en faveur de la protection de l'espèce brochet. La dernière partie de ce rapport expose plusieurs pistes d'actions qui vont dans ce sens.

Introduction

La Directive-cadre européenne cadre sur l'eau de 2000 (DCE) impose aux états membres de protéger, d'améliorer et de restaurer les masses d'eau de surface afin de parvenir à un bon état chimique et biologique d'ici 2027 au plus tard. Pour atteindre ces objectifs, des opérations de restauration des cours d'eau et des zones humides ont été engagées un peu partout en France depuis une vingtaine d'années. Depuis le début des années 2000, la Fédération de la Meuse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA 55) s'est fortement investie dans la restauration écologique du fleuve Meuse. En partenariat avec l'ONEMA, elle a réalisé en 2008/2009 un inventaire des annexes hydrauliques présentes dans le département de la Meuse qui a permis de définir leur niveau de perturbations et leur potentialité pour la reproduction du brochet (*Esox lucius*) (Mangeot et al. 2009). Elle a également réalisé plus d'une trentaine d'opérations de restauration sur ces milieux et a investi plus de 330 000 €.

En 2016, la FDPPMA 55 et l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ont souhaité évaluer l'efficacité des opérations de restauration engagées sur les annexes hydrauliques du fleuve Meuse en menant une étude en écologie spatiale sur le brochet. Le choix de ce poisson comme support biologique pour le suivi a été justifié par son caractère d'espèce « parapluie », son statut d'espèce repère dans les cours d'eau de seconde catégorie piscicole, son classement comme espèce vulnérable sur la liste rouge française de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), son comportement migratoire en période de reproduction, sa valeur patrimoniale et enfin son attrait halieutique.

L'étude comportementale, réalisée essentiellement par un suivi télémétrique par radiopistage entre le mois de septembre 2016 et janvier 2019, avait pour principal objectif d'évaluer l'impact des travaux de restauration des annexes hydrauliques sur la capacité de recrutement des brochets. Compte tenu du coût financier de la méthodologie employée pour le suivi, deux autres objectifs ont été ajoutés :

- l'amélioration de la connaissance des habitats du brochet et de ses déplacements dans le fleuve Meuse afin de permettre une meilleure prise en compte de ces paramètres dans les futurs travaux mis en œuvre sur les cours d'eau ;
- l'analyse des comportements des brochets issus de repeuplements et des pratiques halieutiques afin d'améliorer les connaissances sur celles-ci.

Les structures associatives de pêche de loisir étant des gestionnaires de milieux aquatiques, les résultats de cette étude sont accompagnés de réflexions sur l'amélioration de la gestion piscicole sur l'espèce brochet en particulier.

1. Matériel et méthodes

1.1 Le brochet

Le brochet (*Esox lucius*) est un poisson téléostéen faisant partie des Esocidés. Cette famille est composée de 7 représentants, dont 2 découverts durant la dernière décennie, qui séparèrent *Esox lucius* en 3 espèces, *Esox lucius*, *Esox transalpinus* et *Esox aquitanicus* (Denys et *al.* 2014). Il se caractérise par un corps très fuselé, vert-brun, avec des rayures obliques ou tâches jaunâtres sur les flancs (figure 1).



Figure 1 : brochet (Esox lucius)

1.1.1 Habitat

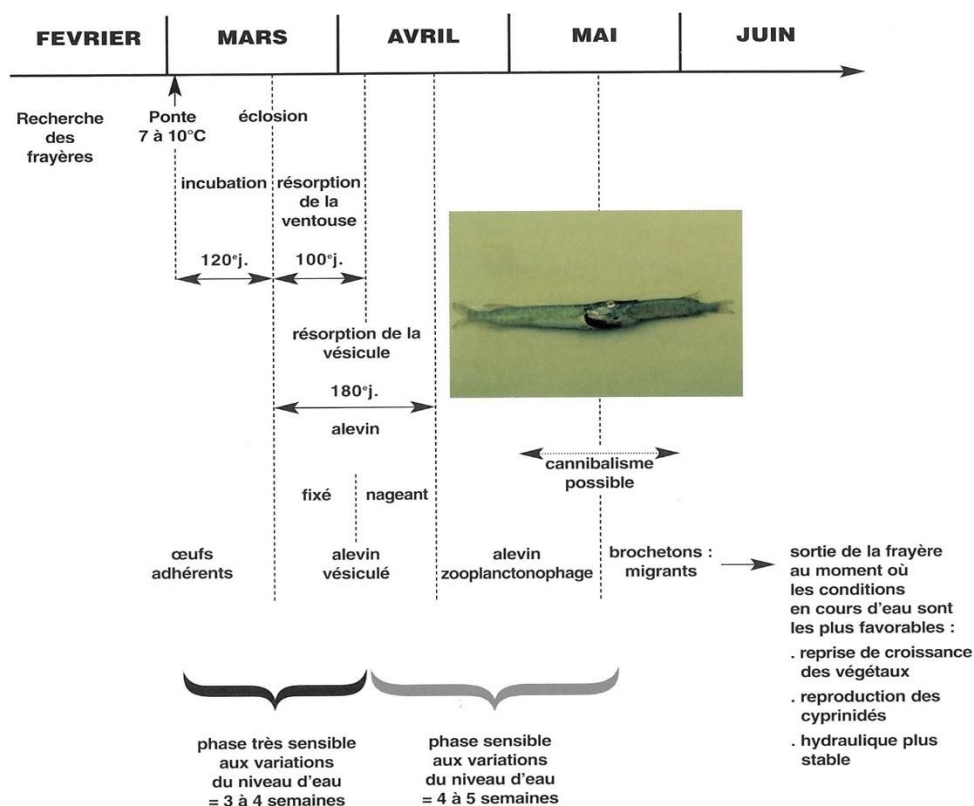
L'aire géographique naturelle de répartition du brochet est circumpolaire dans l'hémisphère nord où il fréquente les eaux douces et parfois saumâtres (mer Baltique). En France métropolitaine, il est présent sur une majorité de bassins hydrographiques mais est plus abondant au nord de la Loire (Keith et *al.* 2011). Il est présent dans les biocénotypes B6 à B9 établis par Verneaux en 1976 et il représente l'espèce centrale du biocénotype B8 correspondant aux grands cours d'eau de plaine. Le brochet est une espèce limnophile recherchant les habitats où l'eau est claire avec un couvert végétal dense (Keith et *al.* 2011). La végétation aquatique constitue un élément essentiel dans l'habitat du brochet. En effet, au stade brocheton, elle sert de refuge et abrite les invertébrés ; puis elle favorise une chasse à l'affût pour les subadultes et permet de protéger l'espèce contre la prédation des oiseaux. Les populations de brochets sont liées à l'abondance et la répartition de la végétation (Chancerel 2003). En ce qui concerne la physico-chimie de l'eau, l'espèce est peu exigeante vis-à-vis de la température de l'eau (croissance correcte entre 10 et 23°C) et de l'oxygène dissous (supporte jusqu'à 0,3 mg/l pendant l'hiver) (Keith et *al.* 2011).

1.1.2 Croissance et développement

Le brochet peut vivre de 10 à 14 ans pour les mâles et jusqu'à 20 ans pour les femelles. Les mâles sont souvent matures à 2 ans, soit un an avant les femelles (Craig 1996). Il s'agit d'un carnassier qui consomme une grande variété de proies (poissons, batraciens, écrevisses) à l'âge adulte. Le cannibalisme est fréquemment observé chez les brochetons au printemps à partir d'une taille de 50 mm et s'exerce sur les individus de la même cohorte de plus petite taille, au moment de son passage au régime ichtyophage (Craig 1996). Le brochet est un prédateur solitaire qui chasse essentiellement en poste, à l'affût, sous couvert végétal (Chancerel 2003). La croissance juvénile est rapide, les jeunes brochets pouvant atteindre 20 à 30 cm en un an (Keith et *al.* 2011). Les femelles grandissent plus rapidement que les mâles et atteignent, à âge égal, une taille supérieure de 6 à 8%. La taille maximale est de l'ordre de 1,30 m et la taille finale des individus semble liée à la taille des proies disponibles (Chancerel 2003).

1.1.3 Reproduction

Le brochet est assez exigeant sur les caractéristiques des sites de reproduction. Selon Chancerel (2003), les milieux potentiels sont calmes, peu profonds, riches en végétation permettant tout d'abord la fixation des œufs. Pour cela, le substrat idéal reste la végétation herbacée dense, courte restant dressée sous l'eau. Ces habitats doivent également offrir des zones de protection contre les prédateurs. Pour cela, la végétation aquatique et palustre offre un refuge parfait contre ses congénères mais également contre les oiseaux. Elle sert également de réservoir de nourriture. Une des autres caractéristiques essentielles est le niveau d'eau qui doit se maintenir entre 20 et 80 cm pendant au moins 40 jours consécutifs entre fin février et début mai. Le régime de connexion d'une annexe fluviale avec le cours d'eau détermine donc grandement l'efficacité et la réussite du processus de reproduction. Le bon fonctionnement d'une frayère à brochet étant généralement situé à l'interface entre lit mineur et lit majeur (Chancerel 2003). La reproduction s'étale de fin février à la mi-avril dans le nord-est de la France (figure 2). Elle débute par la ponte au cours de laquelle la femelle dépose ses ovules sur les végétaux aquatiques pour être fécondés par le mâle. A leur naissance, les alevins sont « vésiculés » et se fixent sur des supports végétaux grâce à une ventouse buccale. La poche vitelline va alors se résorber progressivement et les alevins vont devenir ichtyophages. La période de retour au cours d'eau, directement dépendante des conditions hydrologiques, est une phase critique pour les juvéniles avant leur phase de croissance dans la rivière.



durée de développement complet 7 à 9 semaines

Figure 2 : Cycle de reproduction du brochet (d'après Chancerel 2003)

1.1.4 Menaces et état des populations

Les populations de brochet régressent dans de nombreux cours d'eau en raison de la destruction ou la dégradation de ses lieux de reproduction (prairies inondables et herbiers aquatiques), l'altération de l'hydrologie et les modifications de l'occupation des sols qui engendrent des crues plus brèves et/ou la déconnexion des annexes hydrauliques. De plus, la pollution, la surpêche ainsi que la présence de barrages empêchant sa migration de reproduction contribuent à fragiliser l'espèce (Keith et *al.* 2002). Sur le bassin Seine-Normandie, l'aire de répartition du brochet a diminué de 13% depuis 2005 et l'espèce a disparu de nombreuses stations d'échantillonnage (Boucault et *al.* 2020). Une diminution qui a progressé de 7,9% de 2011 à 2017 sur le bassin Seine-Normandie et qui peut être mise en relation avec l'urbanisation des zones humides (Agence de l'Eau Seine-Normandie 2019).

1.1.5 Halieutique et gestion piscicole

Dans le monde la pêche de loisir, les poissons top-prédateurs ont tendance à être recherchés de manière préférentielle (Donaldson et *al.* 2011). Ainsi, le brochet fait partie des espèces les plus recherchées sur son aire de répartition (Arlinghaus et *al.* 2008, Derek et *al.* 2015). Lors d'une étude à dimension sociale, il a été mis en évidence la place qu'occupe le brochet dans le monde de la pêche. Des pêcheurs de Berlin ont été interrogés sur le type d'espèces qu'ils recherchaient préférentiellement ainsi que la fréquence de consommation des poissons capturés (figure 3). Plus de 50% des pêcheurs affirmaient rechercher en priorité le brochet, pour un taux de consommation sensiblement identique (Wolter et *al.* 2003).

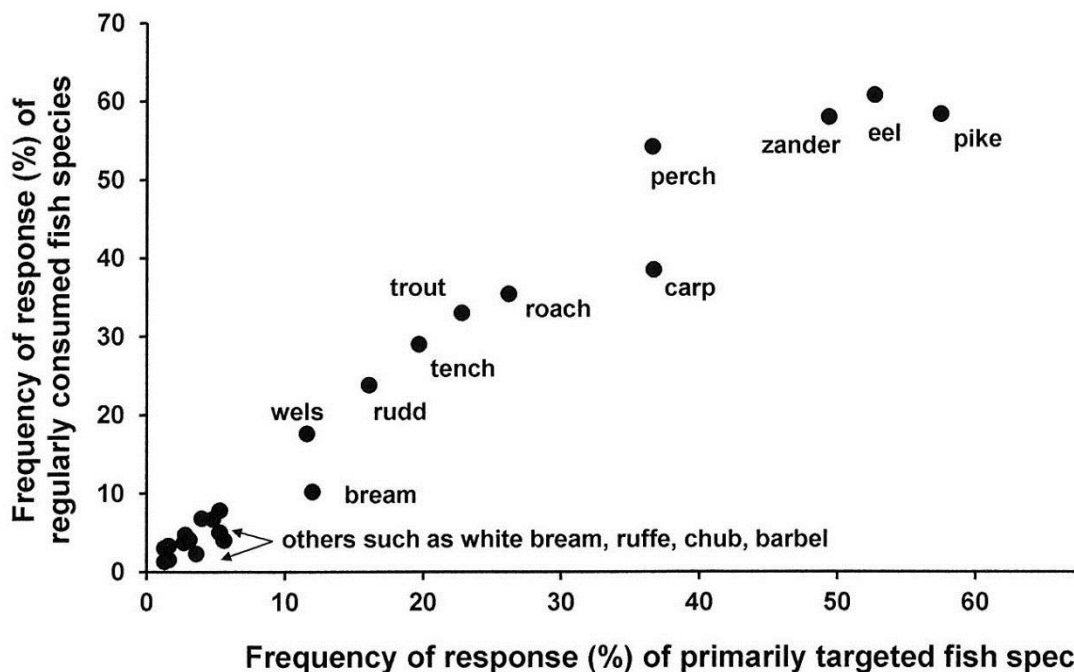


Figure 3 : Poissons principalement recherchés par les pêcheurs à la ligne de la ville allemande de Berlin et poissons régulièrement consommés en Allemagne (d'après Wolter et *al.* 2003, extrait de *Biology and ecology of pike*, Christian Skov and P. Anders Nilsson)

Des déversements de brochets sont souvent réalisés afin d'essayer d'augmenter les effectifs de certaines populations, pour la pêche récréative (Headrick et *al.* 1993) ou pour compenser une faible reproduction (Sutela et *al.* 2004, Huner et *al.* 1983). Le brochet est utilisé comme espèce indicatrice de la qualité globale de l'écosystème aquatique dans les Plans Départementaux pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG) mis en œuvre par les Fédérations départementales de Pêche sur le territoire français. Les déclinaisons au niveau local de ces plans de gestion permettent aux Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) de réaliser des opérations de restauration des milieux aquatiques ayant pour objectif d'améliorer la capacité d'accueil et de recrutement du brochet.

1.2 Le site d'étude

La Meuse prend sa source au nord du plateau de Langres dans le département de la Haute-Marne à 384 mètres d'altitude et se jette dans la Mer du Nord aux Pays-Bas après avoir drainé un bassin de 36 000 km² et parcouru 950 km à travers la France (Haute Marne, les Vosges, la Meuse, les Ardennes), la Belgique et les Pays-Bas. La zone d'étude est située sur le cours médian du fleuve à l'aval de Verdun. Sur ce secteur, la Meuse appartient à la masse d'eau Meuse 4 (code : FRB1R473) qui avait un objectif d'atteinte du bon état écologique pour 2015 (figure 4). L'état des lieux de 2019 indique une dégradation de la qualité écologique de cette masse d'eau, due au paramètre « poissons », en comparaison à celui réalisé en 2013 (État des lieux district Meuse 2019). Au niveau du secteur d'étude, le fleuve est classé en deuxième catégorie piscicole et fait partie du contexte piscicole Meuse 2 qui a été diagnostiqué comme un contexte intermédiaire « perturbé - » (PDGP 55 2006).

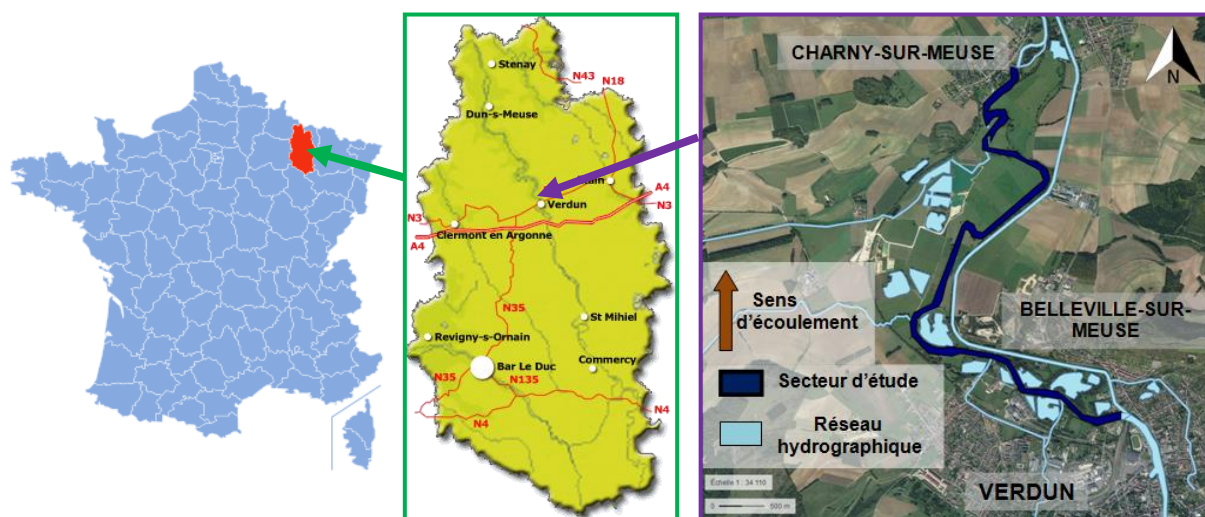


Figure 4 : Localisation du secteur d'étude (www.wikipedia.org et www.geoportail.gouv.fr)

Le linéaire d'étude est composé de 7560 m de cours d'eau et 4420 m d'annexes hydrauliques. Il est borné à l'amont par le barrage à aiguilles de Belleville-sur-Meuse et à l'aval par un seuil à Charny-sur-Meuse (figure 5).

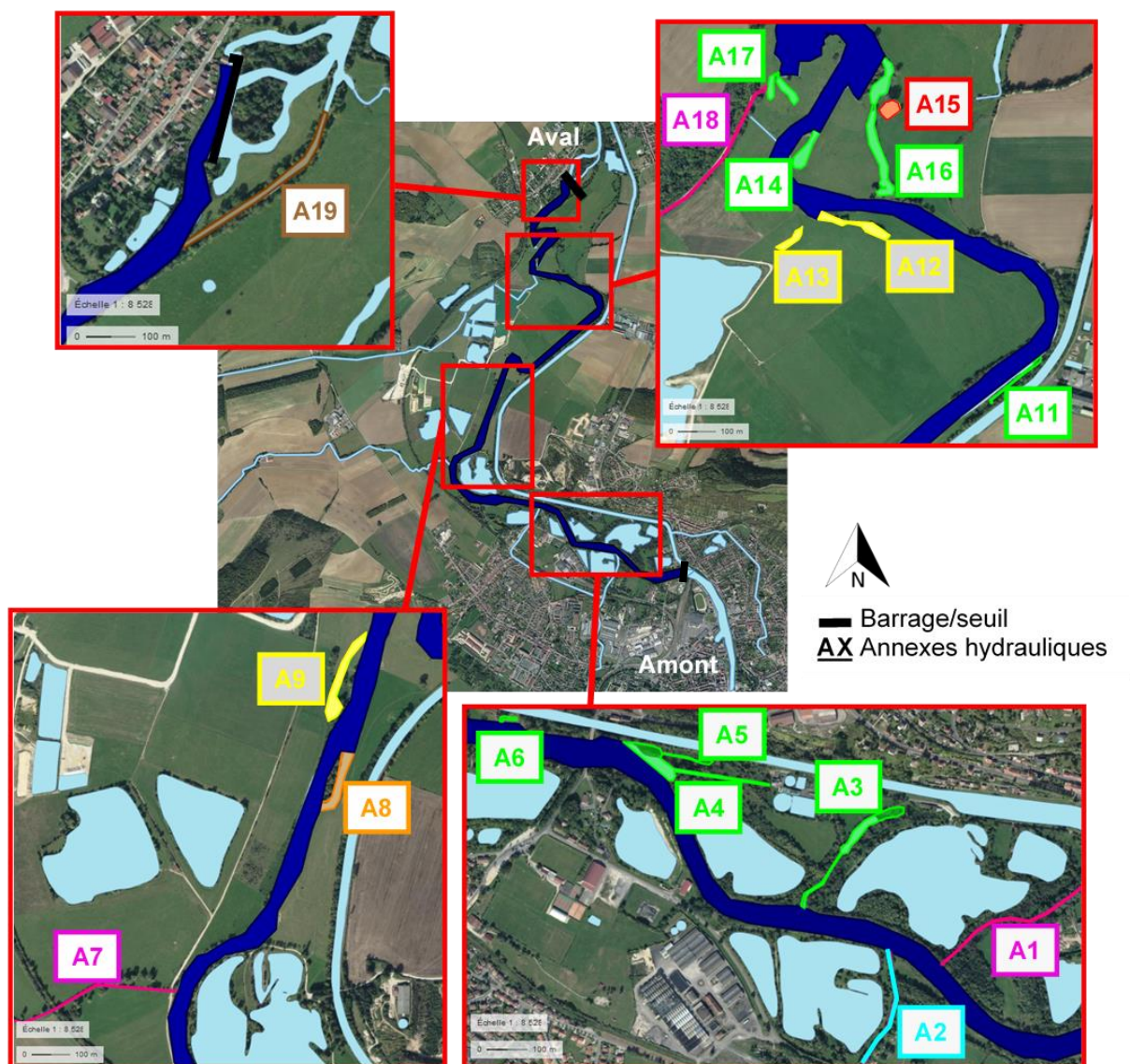


Figure 5 : Cartographie du secteur d'étude et ses annexes hydrauliques (correspondance des couleurs avec le tableau 1)

Les principales caractéristiques du secteur d'étude sont les suivantes :

- secteur adapté pour le suivi (présence de chemins, berges accessibles, proximité du siège social de la FDPPMA 55, largeur et profondeur du lit mineur adaptées au radiopistage) ;
- lit majeur occupé majoritairement par des prairies et des ballastières (nommées B1 à B18 dans le cadre de l'étude) connectées occasionnellement au fleuve en période de crues ;
- secteur fréquenté par les pêcheurs à la ligne, lots de pêche de l'AAPPMA « La Goujonnière Meusienne » (1535 adhérents en 2018) ;

- présence d'annexes hydrauliques de différents types hydromorphologiques et présentant différents niveaux de perturbations (nommées A1 à A19 dans le cadre de l'étude) (tableau 1) ;
- 10 opérations de restauration et 6 d'entretien réalisées entre 2001 et 2016 sur les annexes hydrauliques (tableau 1).

Le type hydromorphologique de chaque annexe hydraulique a été défini à partir de leurs caractéristiques au moment de l'étude sur la base de la typologie utilisée en 2008/2009 dans l'inventaire des annexes hydrauliques réalisé par la FDPPMA 55 et l'ONEMA. Cette typologie est présentée en ANNEXE 1. Un modèle hydraulique de l'EPAMA (établissement public d'aménagement de la Meuse et ses affluents) a permis de déterminer le débit pour lequel les annexes hydrauliques se déconnectent du lit mineur, ainsi que les surfaces en eau de ces dernières en fonction du débit (tableau 1).

Code annexe	Type hydromorphologique	Travaux de restauration	Débit de déconnexion lit mineur (m ³ /s)	Longueur estimée au mois de mars (Q=73,2m ³ /s (m)	Surface estimée à l'étiage (Q=4,1m ³ /s) (m ²)	Surface de berges submergée au mois de mars (Q=73,2m ³ /s) (m ²)
A1	affluent temporaire	oui	0	475	0	2500
A2	affluent permanent	non	0	332	0	300
A3	noue	oui	< 15	415	1000	8600
A4	noue	Non	0	263	1300	5100
A5	noue	oui	< 12	163	500	4400
A6	noue	oui	0	44	0	100
A7	affluent permanent	non	0	331	0	300
A8	bras secondaire actif	non	0	219	2700	3500
A9	ancien bras	oui	< 30	195	500	3200
A10	fosse	non	0	10	20	10
A11	noue	oui	0	83	300	1100
A12	ancien bras	non	< 65	175	300	1900
A13	ancien bras	non	< 96	145	200	3000
A14	noue	non	0	110	2000	1000
A15	mare	non	< 100	47	1000	700
A16	noue	non	0	385	7200	4600
A17	noue	non	0	148	1800	4800
A18	affluent temporaire	non	0*	491	0	1000
A19	bras secondaire actif	oui	0	395	5600	0

* déconnexions fréquentes du fait de pertes en amont du secteur d'étude

Tableau 1 : Liste des annexes hydrauliques présentes sur le secteur d'étude et principales caractéristiques (correspondance des couleurs avec la figure 5)

1.3 Paramètres suivis dans le fleuve et les annexes hydrauliques

1.3.1 Le débit

Le débit a été suivi à l'aide des relevés d'une station de mesure située sur le fleuve Meuse en aval du barrage de Belleville-sur-Meuse. Cette station appartient au réseau géré par les services de l'État et les données ont été exploitées à partir de la base de données de la banque HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr/>). Le régime hydrologique de la Meuse sur le secteur d'étude est de type pluvial avec des crues hivernales et un étiage durant l'été (figure 6).

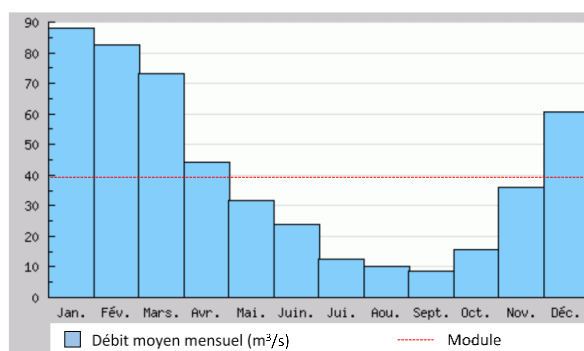


Figure 6 : Débits moyens mensuels calculés sur 26 ans (1993-2019) (<http://www.hydro.eaufrance.fr>)

Le module est de $39,8 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit à l'étiage de $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit moyen au mois de mars de $73,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce dernier a été pris comme valeur de référence pour estimer, grâce à un modèle hydraulique de l'EPAMA, la surface de berges submergées de chaque annexe hydraulique durant cette période (correspondant le plus souvent au cœur de la période de reproduction du brochet). L'ANNEXE 2 présente, à partir du modèle hydraulique de l'EPAMA, les surfaces occupées par le fleuve dans le secteur d'étude pour un débit de $73,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.3.2 La hauteur d'eau

Les variations de la hauteur d'eau ont été suivies dans deux grandes annexes hydrauliques du secteur d'étude (A3 et A16) afin d'analyser l'influence de ce paramètre sur les déplacements des brochets et sur le succès de la reproduction de ces derniers. Une mesure de la hauteur d'eau a été réalisée toutes les heures avec des enregistreurs de type HOBO U20 fixés sur un poids afin de garantir leur maintien durant la durée de l'étude. Afin d'avoir connaissance de la profondeur du fleuve sur le secteur d'étude, 1200 relevés ont été effectués avec un échosondeur depuis une embarcation. Ces données ont été exploitées par l'EPAMA afin de fournir une carte bathymétrique succincte du fleuve (ANNEXE 3).

1.3.3 La température

Les variations de la température de l'eau ont été suivies dans 7 annexes hydrauliques différentes du secteur d'étude (A1, A3, A5, A9, A13, A16, A18) ainsi que dans le fleuve afin d'analyser l'influence de ce paramètre sur les déplacements des brochets ainsi que sur le succès de leur reproduction. Une mesure de la température de l'eau a été réalisée toutes les heures avec des enregistreurs de type HOBO U22 fixés dans les berges à l'aide d'une tige métallique afin d'assurer leur maintien.

1.3.4 Les habitats

Une actualisation de la cartographie des habitats a été réalisée sur la majeure partie des annexes hydrauliques du secteur d'étude en 2017 (ANNEXE 4). À partir de ces données, il a pu être défini de manière simplifiée 3 grands types d'habitats dans les annexes hydrauliques : les milieux aquatiques (parties en eau entre le débit d'étiage et le module), la végétation basse et la végétation ligneuse (figure 7).



Figure 7 : Illustration des trois grands types d'habitats observés dans les annexes hydrauliques

1.4 L'outil et la méthode de radiopistage

1.4.1 Echantillon de brochets

L'échantillon a été constitué de brochets capturés dans le fleuve par pêche électrique ou à la ligne, ainsi que de brochets issus de piscicultures d'étangs. Deux campagnes de marquage ont été réalisées, l'une en 2016 et l'autre en 2017. Le tableau 2 synthétise les données essentielles de l'échantillon de 100 brochets ayant fait l'objet du suivi par radiopistage (détail par individu dans les ANNEXES 5 et 6). Une détermination de l'âge des brochets a été faite en partenariat avec le pôle sclérochronologie de l'Ifremer de Boulogne-sur-Mer. L'ensemble des données issues de ce travail partenarial sont présentées en ANNEXE 7.

Date de capture et marquage	Origine des brochets	Lieu de relâché	Nombre	Longueur totale - moyenne (mm)	Longueur totale - écart type (mm)	Poids - moyen (g)	Poids - écart type (g)
26/09/2016 27/09/2016 29/10/2016	Fleuve Meuse (secteur d'étude)	Lieu de capture	19	588	74	1 362	498
22/11/2016	Pisciculture (Aquafarm Bynens)	Fleuve Meuse 19 au pk = 347,610 17 au pk = 354,160	36	650	97	1 982	978
17/10/2017 21/10/2017	Fleuve Meuse (secteur d'étude)	Lieu de capture	25	620	129	1 743	1 276
02/11/2017	Pisciculture (FDPPMA 55, Herméville-en-Woëvre)	Fleuve Meuse 10 au pk = 347,610 10 au pk = 354,160	20	591	83	1 390	601

Tableau 2 : Principales caractéristiques de l'échantillon de brochets suivis par radiopistage

1.4.2 Marquage des brochets

L'opération de marquage, synthétisée en figure 8 et détaillée en ANNEXE 8, a été mise en place par le bureau d'étude Profish Technology qui est habilité pour ce type d'opération (agrément n°A59-35018 et autorisation n°20161004163134276v5 spécifique pour l'étude).



Figure 8 : Étapes de l'opération de marquage d'un brochet avec un émetteur radio

Les émetteurs radios SIGMA EIGHT TX-PSC-I-450 M ont été paramétrés avec un intervalle d'émission du signal toutes les 3 secondes et avec un passage possible en 10 secondes en l'absence de mouvement pendant une durée supérieure à 12 heures. Cette configuration permettait de détecter d'éventuels poissons morts. Les signaux envoyés par les émetteurs étaient paramétrés à de hautes fréquences pour éviter les bruits parasites (150,600 et 150,620 MHz). Tous les émetteurs portaient un identifiant (ID) qui leur était propre permettant un suivi individualisé des déplacements de chaque poisson.

1.4.3 Le radiopistage mobile

La détection des brochets marqués (équipés d'émetteur) s'est faite lors de campagnes de radiopistage mobile à pied depuis les berges du fleuve. Ponctuellement, elle a été réalisée depuis un bateau. Le système de radiopistage mobile était composé d'une batterie 12 V, d'un récepteur Orion, d'une clé bluetooth, d'une antenne aérienne de type Yagi et d'une tablette numérique équipée du logiciel Orion Tool (figure 9).

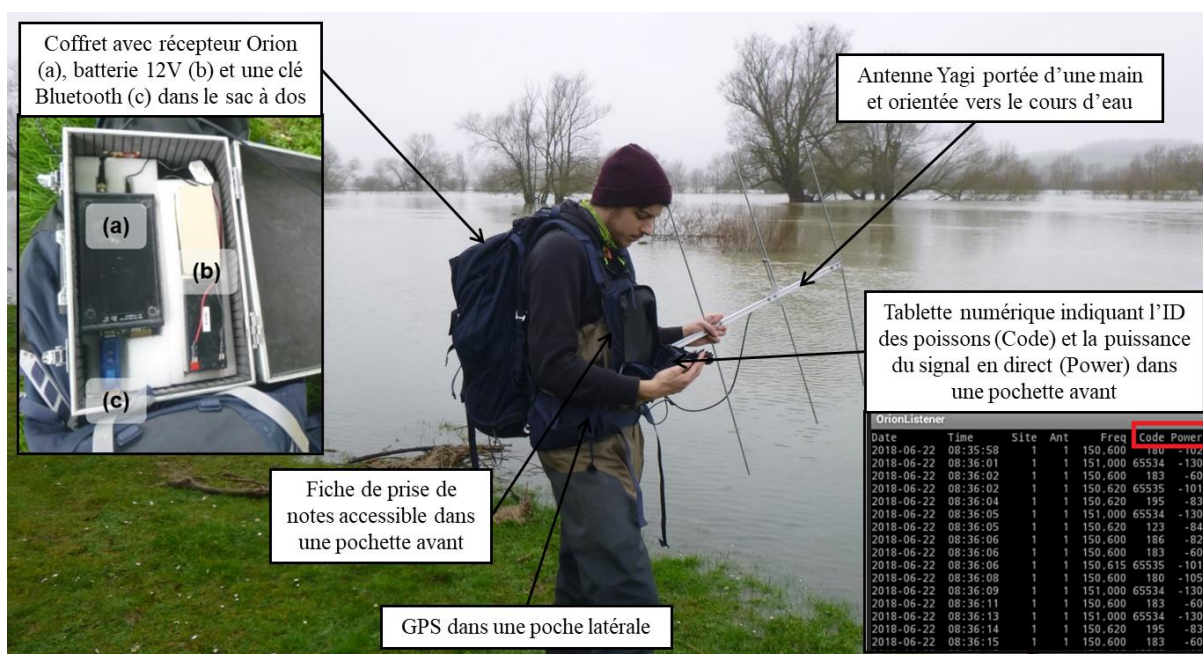


Figure 9 : Matériel de radiopistage mobile et équipement d'un opérateur

La recherche des poissons avec le système de radiopistage s'est faite en orientant l'antenne en direction du fleuve. La distance maximale de détection était de l'ordre d'une centaine de mètres (pour un émetteur dans l'eau) et plusieurs paramètres ont eu une influence sur la qualité de réception des signaux : la hauteur de berge, la profondeur d'eau et la présence/absence de ripisylve. Pour chaque poisson détecté, la top détection (celle donnant le signal le plus fort) était recherchée afin de prendre une marque au GPS donnant les coordonnées géographiques de la position de l'opérateur. A partir de ce moment, les données suivantes étaient référencées sur une feuille de terrain qui était propre à chaque opérateur et à chaque campagne de radiopistage (exemplaire vierge en ANNEXE 9) :

- heure de la détection ;
- numéro de l'émetteur (ID) ;
- numéro de la marque GPS (qui permettait de retrouver les coordonnées géographiques de l'opérateur au bureau) ;
- lieu de détection (rive droite, rive gauche, bateau) ;
- type de détection (3s = vivant, 10s = potentiellement mort) ;
- puissance du signal (en décibel, allant de -105 dB aux détections les plus lointaines à -57 dB pour les détections les plus proches) ;
- position du poisson (déduction de sa position dans la rivière entre « rive droite », « rive gauche », « chenal », « annexe hydraulique », « lit majeur » ou « non déterminée ») ;
- habitat principal et secondaire (définis si observation d'habitats visibles à l'emplacement supposé du poisson à partir de plusieurs types d'habitats listés dans l'ANNEXE 6) ;
- divers commentaires (ex : observation du poisson).

La feuille de terrain comportait également deux cases pour référencer les positions des pêcheurs observés en action de pêche dans le secteur d'étude en dissociant 2 catégories : les pêcheurs aux carnassiers et les autres pêcheurs. De retour au bureau, une position géographique (X ; Y, en Lambert 93) était définie avec le logiciel Carto Exploreur pour chacun des brochets détectés à partir de la position de l'opérateur (au moment de la détection), la puissance du signal et la donnée « position » inscrite sur la feuille de terrain. Les poissons détectés dans le lit mineur avec une information de position « non déterminée » ont été positionnés par défaut au centre du chenal dans l'outil cartographique. Lors de cette saisie sur le logiciel de cartographie, un pk (point kilométrique) était attribué à chaque détection à partir des points kilométriques du fleuve.

1.4.4 La station fixe de radiopistage

Une station fixe de radiopistage a été installée en aval du secteur d'étude, à 330 m du seuil de Charny-sur-Meuse (pk = 355,330), afin de contrôler en automatique toutes les sorties de brochets de la zone d'étude (évitant ainsi de les chercher lors des prospections mobiles). Le système était composé d'une antenne de type Yagi reliée à un récepteur (boîtier Orion) qui enregistrerait les données sur une carte SD. Ce boîtier était alimenté à l'aide de 3 batteries de 100 Ah montées en série garantissant une autonomie de 2 semaines au système. Leur remplacement ainsi qu'une décharge des données collectées sur la carte SD s'effectuaient en moyenne toutes les deux semaines. La position de l'antenne de la station fixe, en hauteur (plus de 4m au-dessus du niveau d'eau en période d'étiage) et proximité de la berge (une quinzaine de mètres), permettait une détection supérieure à 100 m des émetteurs (dans l'eau). Aucune station fixe n'a été installée au niveau de la limite amont du secteur d'étude du fait du caractère quasi infranchissable du barrage de Belleville-sur-Meuse.

1.5 Les inventaires piscicoles dans les annexes hydrauliques

En parallèle du suivi par radiopistage, des inventaires piscicoles ont été réalisés par pêche électrique dans certaines annexes hydrauliques du secteur d'étude afin d'évaluer leur efficacité pour la reproduction du brochet.

1.5.1 Choix des stations de pêche et des périodes

En 2017 et 2018, les inventaires piscicoles ont été réalisés entre le 23 mai et le 20 juin avec l'objectif de capturer des juvéniles de brochets dans les annexes hydrauliques. Celles inventoriées ont été choisies en fonction de leur potentialité à accueillir des juvéniles sur la base de la présence d'eau au moment de la pêche et de la forte présence de géniteurs marqués durant la période de reproduction. Les faibles densités de brochets capturés lors des inventaires de 2017 ont conduit à augmenter le nombre de stations de pêche en 2018 en intégrant des zones particulières du lit mineur :

- des zones de calme pouvant potentiellement faire office de frayère,
- des zones à proximité d'annexes hydrauliques pouvant héberger des juvéniles de brochets migrant rapidement vers ce dernier,
- et enfin des zones de berges quelconques représentant des zones témoins (peu favorables pour la reproduction de l'espèce).

L'ANNEXE 10 présente la localisation des différentes stations de pêche inventoriées en 2017 et 2018.

1.5.2 Matériel et protocole mis en œuvre

La technique de la pêche électrique a été utilisée pour réaliser l'ensemble des inventaires piscicoles. Les pêches ont été faites depuis un bateau pour les milieux les plus profonds avec un groupe HANS GRASSL® (1 anode, 1 épuisette). Dans les annexes hydrauliques accessibles à pied, elles ont été réalisées avec un matériel portatif de type Iméo Volta (1 anode, 1 à 2 épuisettes) en 2017. En 2018, toutes les pêches électriques ont été mises en œuvre avec un groupe HANS GRASSL® (1 anode, 1 à 2 épuisettes) afin de maintenir le même effort de pêche dans les différentes stations. Pour les nombreuses stations de pêche réalisées en bateau en 2018, la biométrie a été adaptée afin de suivre le bateau de pêche sur une seconde embarcation (figure 10).



Figure 10 : Pêche électrique dans une annexe hydraulique profonde (à gauche), biométrie mobile sur une embarcation (à droite)

Pour chaque station de pêche, l'objectif était de pêcher une surface correspondant à la moitié de la surface de l'annexe hydraulique en eau au moment de la pêche en se basant sur la méthode de calcul détaillée ci-dessous.

$$\text{Nombre de points de pêche} = \frac{\text{Surface de l'annexe hydraulique en eau}}{2 \times 12,5 \text{ (surface théorique échantillonnée par point)}}$$

Sur plusieurs annexes hydrauliques prospectées à pied, le nombre de points de pêche a été augmenté car la surface théorique d'échantillonnage de 12,5m² par point ne correspondait pas à la réalité du terrain. Dans la majeure partie des analyses, la densité de poissons a été exprimée en nombre de poissons/point de pêche pour pallier à cette adaptation du protocole. Pour l'ensemble des inventaires piscicoles réalisés, toutes les espèces ont été capturées puis mesurées. Les brochets juvéniles et adultes ont fait l'objet d'une pesée et d'un prélèvement d'écaillés.

1.6 Communication

Tout au long du suivi, la FDPPMA 55 a choisi de communiquer au maximum sur l'opération en cours. L'objectif était de sensibiliser un maximum les pêcheurs afin d'avoir un minimum de disparitions de brochets marqués dues aux captures par ces derniers. Les moyens suivants ont été déployés pour atteindre cet objectif :

- invitation du public aux journées de marquage (flyer en ANNEXE 11) ;
- réalisation d'une plaquette d'information (ANNEXE 12) ;
- installation de 12 panneaux sur l'ensemble du secteur d'étude au niveau des chemins d'accès au cours d'eau (figure 11) ;
- articles de presse dans les quotidiens locaux (ANNEXE 13) ;
- reportage dans l'édition locale du journal télévisé ;
- réalisation d'un documentaire « Sur les traces du brochet en vallée de Meuse » (<https://www.youtube.com/watch?v=58GYCRNdowI&t=759s>) ;
- participation et organisation de réunions (ex : assemblée générale AAPPMA locale) ;
- publications sur le site Internet de la FDPPMA 55 et sur les réseaux sociaux.



Figure 11 : Panneau d'information relatif au suivi télémétrique et indiquant la démarche à suivre pour les pêcheurs attrapant un brochet marqué

1.7 Base de données et organisation des analyses

Tout au long de l'étude, un travail régulier de compilation et d'homogénéisation des données a été effectué. Elles ont été rassemblées dans plusieurs feuilles Excel afin d'en extraire facilement des variables utilisées pour les analyses (tableau 3).

Entité considérée	Descripteurs et variables utilisés pour l'analyse des résultats
Fleuve (lit mineur)	- Bathymétrie - Débit - Température de l'eau
Annexes hydrauliques	- Code annexes hydrauliques (code individuel) - Type hydromorphologique - Travaux de restauration (oui/non) - Longueur - Surface à l'étiage ($Q = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$) - Surface au mois de mars ($Q = 73,2 \text{ m}^3/\text{s}$) - Surface de berges submergée (= surface au mois de mars – surface à l'étiage) - Type d'écoulement (lorsque $Q = 73,2 \text{ m}^3/\text{s}$) (lenticule/lotique) - Habitats (milieu aquatique, végétation basse, végétation ligneuse) - Hauteur d'eau - Température
Brochets marqués	- Longueur totale (Lt) - Poids - Age - Origine - Numéro d'identifiant (ID) - Année du marquage (2016, 2017) - Date de reproduction observée (+ d'autres brochets non marqués) - Date de la perte (sortie définitive du secteur d'étude) - Date et position de capture par un pêcheur - Nombre de jours vivants dans le secteur d'étude - Nombre de détections - Nombre de brochets adultes différents détectés - Nature de la perte (mort, dévalaison, capture...) - Déplacements longitudinaux définis à partir de variations du point kilométrique (pk) dans le temps (distance moyenne parcourue entre deux campagnes de radiopistage, distance maximale parcourue sur une période, étendue du domaine vital, étendue des déplacements, amplitude de montaison/dévalaison) - Déplacements latéraux définis à partir des positions lors des détections (lit mineur, annexe hydraulique, lit majeur) - Coordonnées (X, Y en Lambert 93) - Habitats occupés par les brochets (végétation aquatique, végétation surplombante...)
Juveniles de brochets	- Nombre de juvéniles de brochets capturés/point de pêche - Nombre de juvéniles de brochets capturés sur une surface de 1000 m^2
Temps	- 3 périodes (« automne/hiver », « printemps/été » et « période de reproduction », définies partie 2) - 2 années de suivi (2016/2017 et 2017/2018)

Tableau 3 : Principaux descripteurs et variables utilisés pour analyser les résultats

Les analyses statistiques ont été réalisées selon la démarche suivante. La normalité des variables exploitées pour les analyses statistiques a été évaluée par un test de Shapiro et leur homoscedasticité vérifiée par le test de Bartlett. Si les conditions étaient respectées, un test Anova a été utilisé pour analyser les effets des variables factorielles avec test de Tukey comme test post-hoc afin d'examiner les relations sous-jacentes. Dans le cas contraire, un test non paramétrique de Kruskal et Wallis a été réalisé ainsi qu'un équivalent post-hoc (fonction `kruskalmc` du package `pgrimess`).

Le modèle linéaire simple (`lm`) utilisé pour évaluer les effets a été réalisé par des régressions logistiques. Le cas échéant, des transformations de variables (logarithmique, paramètre λ de Tukey...) ont été réalisées pour garantir les conditions d'usages des modèles. Lorsque les transformations n'étaient pas concluantes, des modèles linéaires généralisés (GLM) ont été utilisés afin de choisir la famille de distribution la plus adaptée.

La qualité d'ajustement des modèles a été vérifiée par l'évaluation de la normalité des résidus à l'aide d'un test de Shapiro et visuellement par une approche graphique quantile-quantile (QQplot).

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel R et le seuil de significativité utilisé est de 0,05.

2. Résultats

2.1 Les performances du radiopistage

2.1.1 L'effort de prospection

Le tableau 4 donne un aperçu de l'effort de prospection entre le 26/09/2016 (date des premiers marquages de brochets) et le 29/01/2019 (date de la dernière campagne de radiopistage) sur le secteur étudié. À ces prospections s'ajoutent celles réalisées en dehors du secteur d'étude. Elles ont permis de collecter des informations supplémentaires sur les déplacements de certains brochets et de comprendre l'origine de plusieurs pertes inexplicables d'émetteurs. 26 opérations de radiopistage significatives (linéaire parcouru supérieur à quelques centaines de mètres) ont été réalisées en amont et aval du secteur d'étude, ainsi qu'autour de plans d'eau situés dans le lit majeur de la Meuse.

Nombre total d'opérations de radiopistage dans le secteur d'étude	188
Nombre d'opérations de radiopistage complètes (dont l'objectif était de trouver l'intégralité des brochets marqués)	171
Nombre d'opérations de radiopistage partielles (une partie du linéaire parcouru induisant automatiquement un déficit de brochets marqués détectés)	17
Linéaire total cumulé de berges prospectées à pied dans le secteur d'étude	1 673,427 km
Linéaire total cumulé prospecté en bateau dans le secteur d'étude	30,236 km
Linéaire total cumulé de cours d'eau prospecté dans le secteur d'étude	1 179,558 km
Linéaire total cumulé d'annexes hydrauliques prospectées dans le secteur d'étude	313,674 km

Tableau 4 : Synthèse de l'effort de prospection sur le linéaire d'étude

L'effort de prospection a été relativement constant en dehors des périodes de reproduction (une opération complète par semaine en général) (figure 12). Pendant les périodes de reproduction, le nombre de campagnes de radiopistage a été augmenté (jusqu'à 20 opérations en mars 2018). Les petites fluctuations du nombre d'opérations complètes (ex. : décembre 2017, décembre 2018) s'expliquent de deux manières :

- par les conditions météorologiques et/ou hydrologiques qui ont contraint à faire des opérations partielles de radiopistage ;
- par des contraintes organisationnelles qui n'ont pas permis d'avoir d'opérateur disponible pour faire le suivi.

Lors des opérations de radiopistage complètes, la majeure partie du linéaire d'étude était prospectée. Le faible nombre de brochets marqués en septembre et octobre 2016 permettait de ne pas parcourir l'ensemble du linéaire tout en assurant la détection de tous les poissons. L'effort de prospection sur les annexes hydrauliques a été moindre que sur le lit mineur et il s'est surtout concentré pendant les périodes de hautes eaux.

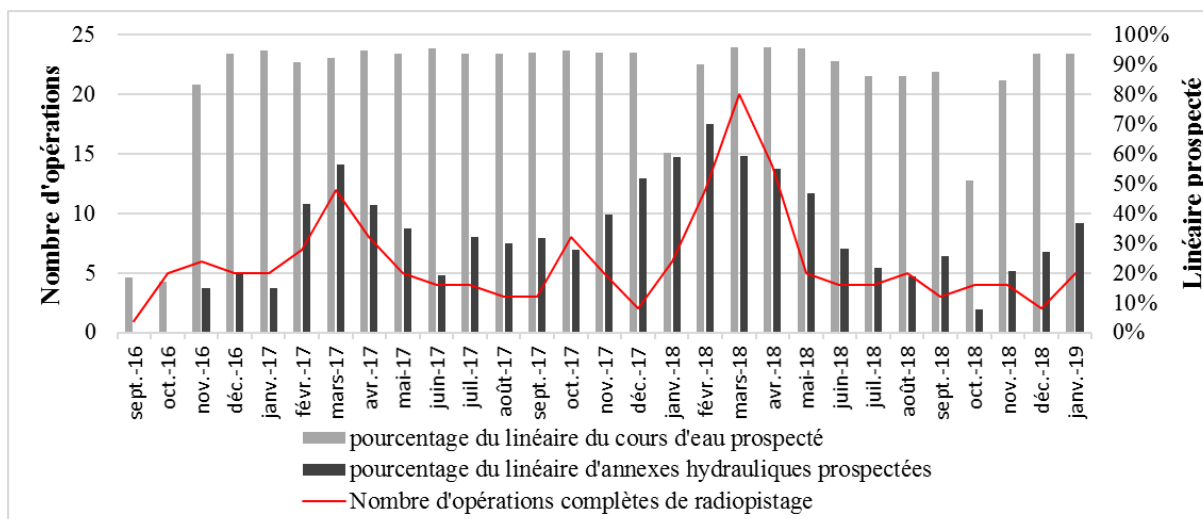


Figure 12 : Évolution mensuelle du nombre d'opérations et de la proportion du linéaire de la zone d'étude prospectée lors des opérations de radiopistage complètes

2.1.2 Données du radiopistage mobile

Les campagnes de radiopistage mobile dans le secteur d'étude ont permis de collecter 5 409 positions d'émetteurs (émetteurs au fond de l'eau + brochets vivants) dont 3 976 positions de brochets vivants. Le taux moyen de détection de brochets vivants par opération complète de radiopistage a été de 92,22% à l'échelle de l'étude (figure 13). Des taux de détection inférieurs à 70% ont été constatés entre novembre 2016 et février 2017. Ils s'expliquent par deux facteurs :

- l'introduction d'une quantité importante de brochets de pisciculture au même endroit dans le fleuve en novembre 2016. Cette action a provoqué des interférences dans les signaux émis et a conduit à de mauvaises détections ;
- une défaillance du système de réception (particulièrement marquée en février 2017) due à un câble endommagé.

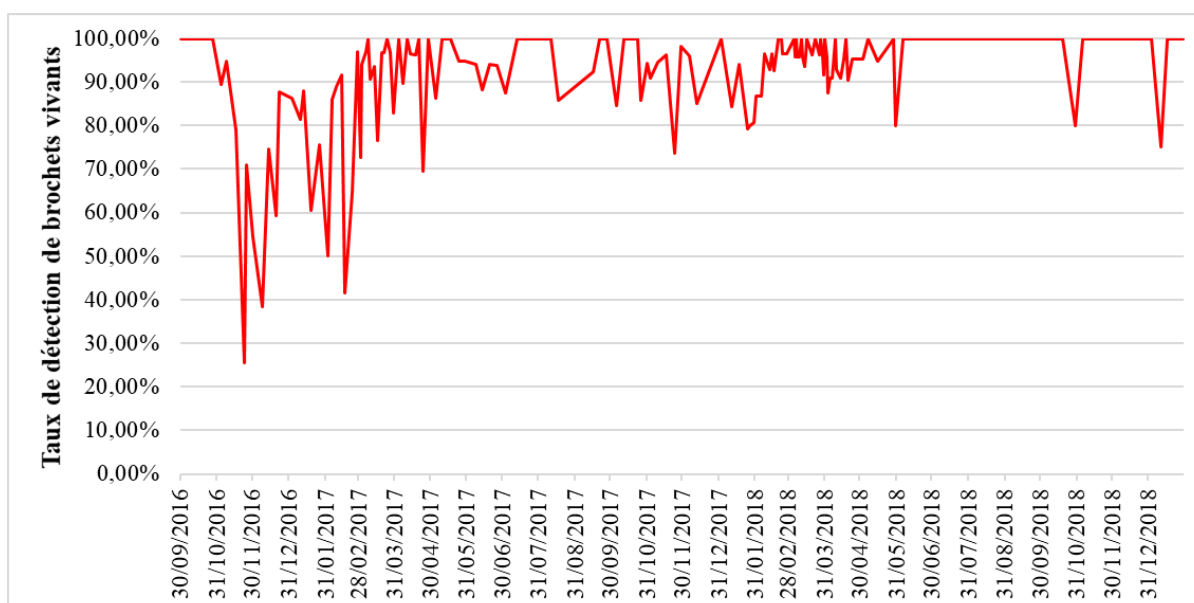


Figure 13 : Évolution du taux de détection de brochets vivants lors des opérations complètes de radiopistage

À la fin du suivi, les quelques baisses du taux de détection de brochets vivants sont dues au fait qu'il n'en restait plus beaucoup dans le secteur d'étude. Par exemple, le taux de 75%, mesuré le 10/01/2019, correspond à la non détection de 1 brochet sur les 4 qui étaient toujours en vie.

2.1.3 Données de la station fixe

La station fixe, positionnée à l'aval du secteur d'étude, a été installée le 22/09/2016 et stoppée définitivement le 08/11/2018. Durant cette période, son fonctionnement effectif a été de 85,56% du temps total car plusieurs arrêts ont été enregistrés (faute d'alimentation électrique). Au total, la station fixe a enregistré 3 418 778 signaux analysés comme des détections d'émetteurs implantés dans les brochets. Le travail d'interprétation des signaux (période d'émission, variation de puissance du signal, type de signal) a permis de définir 69 chroniques de détections (détections régulières d'un émetteur sur une période) et d'émettre des hypothèses sur les faits associés (figure 14).

En plus de la dévalaison de brochets marqués morts ou vivants, la station fixe a détecté des événements liés à des passages d'émetteurs dans le champ de détection de l'antenne. Les différents types de chroniques enregistrées sont listés ci-dessous.

- « marquage » : correspond à des détections liées à l'opération de marquage. Une fois doté d'un émetteur, les brochets ont été transportés dans un véhicule équipé de cuves pour rejoindre leur site de remise à l'eau et certains ont été détectés lors du passage de ce véhicule sur un pont localisé à proximité de la station fixe ;
- « capture » : correspond en majorité à des détections similaires à celles observées au moment du « marquage » mais durant la période de suivi. Ces chroniques ont confirmé la capture des poissons et leur passage (mort ou vivant) sur le pont situé à proximité de la station fixe ;
- « limite aval » : correspond à quelques faibles signaux d'émetteurs par la station fixe. Ces chroniques indiquaient très certainement la détection de poissons positionnés à l'extrême limite aval du secteur d'étude ;
- « No kill » : correspond à la réception de signaux faibles étalée sur quelques minutes. Ces chroniques indiquaient probablement la sortie d'un poisson de l'eau sur la partie aval du secteur d'étude et sa remise à l'eau après quelques minutes (temps de décrochage du poisson, mesure, photographie). Les détections des émetteurs en dehors de l'eau ont une portée plus importante ;
- « Test » : correspond à des tests réalisés par les opérateurs de la FDPPMA 55 au cours du suivi afin de mieux interpréter les signaux de la station fixe ;
- « Données parasites » : correspond à de faibles détections sans succession logique dans les durées intersignaux (3s/10s). Le plus souvent il s'agissait d'émetteurs de poissons déjà sortis de l'étude depuis plusieurs semaines (morts, capturés...).

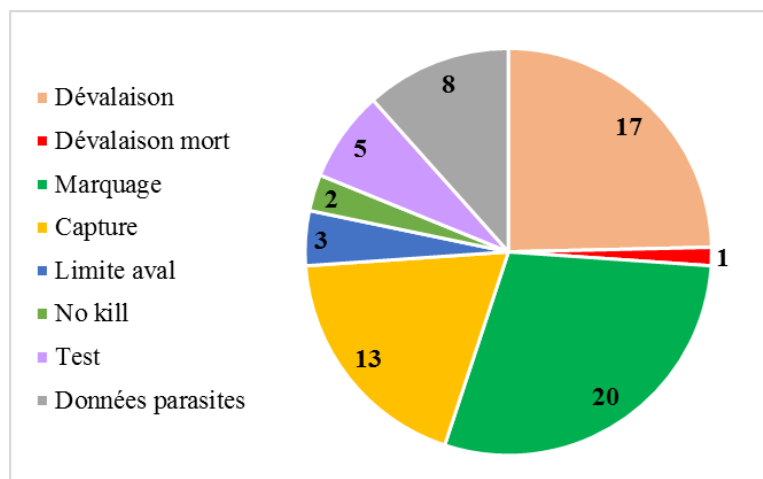


Figure 14 : Interprétation des 69 chroniques de détections enregistrées par la station fixe positionnée à l'aval du secteur d'étude

2.2 Déplacements au cours du cycle annuel

2.2.1 Déplacements d'un brochet « modèle »

Une première approche des déplacements des brochets a été réalisée par l'observation des déplacements d'un brochet qualifié de « modèle ». Capturé dans le fleuve en octobre 2016, il a été choisi car il s'agissait de l'individu (équipé de l'émetteur n°20) ayant vécu le plus longtemps dans le secteur d'étude (650 jours) et ayant cumulé le plus de détections (146). Il présentait également un comportement relativement régulier sur les deux années de suivi.

Les déplacements du brochet « modèle » ont été observés en fonction du débit (figure 15). Il a été capturé, marqué, puis relâché le 29/10/2016 au point kilométrique (pk) 350,520. A partir du 03/11/2016 et jusqu'au 27/03/2017, il a été détecté à plusieurs centaines de mètres en amont de son point de relâché dans le fleuve et dans des annexes hydrauliques (principalement lors des périodes de hautes eaux). Durant cette période, le brochet a été détecté une fois à 1km en amont de toutes les autres détections lors du premier pic de crue. Entre le 30/03/2017 et le 13/10/2017 le brochet n°20 est retourné sur la zone qu'il occupait lors de sa capture. Pendant la deuxième année de suivi, des déplacements similaires à ceux de la première année ont été observés. Sans évolution notable du débit, le brochet a quitté la zone qu'il occupait pendant le printemps et l'été (de fin mars à mi-octobre) pour rejoindre une partie du fleuve située plus en amont. Lors des épisodes de crues, il s'est de nouveau déplacé dans des annexes hydrauliques et a fréquenté principalement la même que l'année précédente. Pendant la deuxième année de suivi, le brochet n°20 a de nouveau été détecté plus en amont que ses positions « habituelles », dont une fois dans une annexe hydraulique non fréquentée auparavant. La répartition spatiale des zones occupées par ce brochet est présentée dans la figure 16.

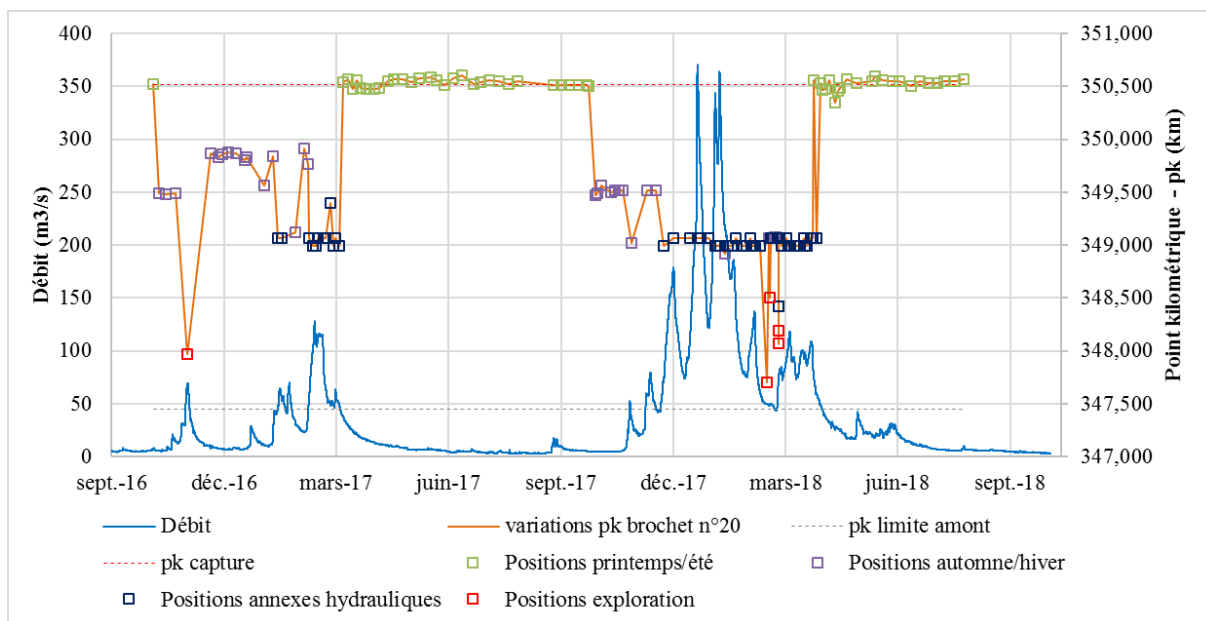


Figure 15 : Déplacements du brochet "modèle" (n°20) au cours du suivi dans le secteur d'étude en relation avec le débit du fleuve Meuse

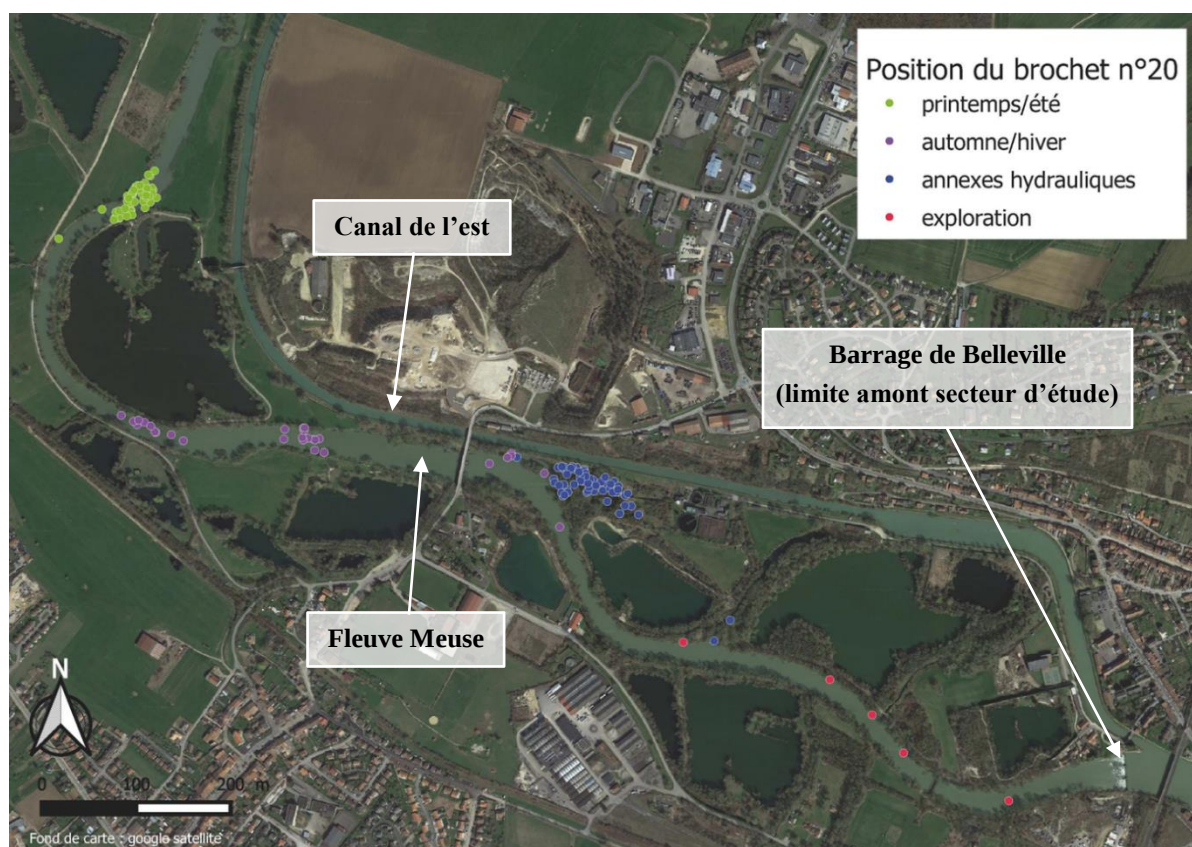


Figure 16 : Distribution spatiale saisonnière d'un brochet "modèle" (n°20) au cours du suivi dans le secteur d'étude

2.2.2 Définition des périodes

Pour réaliser l'analyse des résultats, deux périodes ont été définies à l'échelle annuelle à partir des déplacements du brochet « modèle », des connaissances du cycle de vie du brochet, de l'évolution du débit et de la température du fleuve au cours des deux années de suivi (figure 17 et 18). La définition et la justification des périodes sont présentées dans le tableau 5. La fin de la période « A/H » a été fixée à la fin de la période de fermeture de la pêche du brochet (30 avril) afin de couvrir tous les déplacements relatifs à la reproduction des brochets.

Périodes	Dates	Débit du fleuve	Température de l'eau	Végétation aquatique	Déplacements des brochets
Printemps/ été (« P/E »)	Du 1 ^{er} mai au 15 octobre	Faible à modéré sans grandes fluctuations	En réchauffement et dans l'optimum thermique de l'espèce pour la croissance des adultes : entre 10 et 24°C (Tissot et Souchon, 2010)	En développe- ment et dense	Plutôt faibles
Automne/ hiver (« A/H »)	Du 16 octobre au 30 avril	Modéré à fort avec d'importantes fluctuations	En diminution et incluant l'optimum thermique de l'espèce pour la reproduction : entre 8°C (optimum minimum) et 15° (maximum) (Tissot et Souchon, 2010)	En régression et éparse	Plutôt importants

Tableau 5 : Définition des périodes

Il y a un effet significatif des périodes sur le débit du fleuve (test non paramétrique de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$) (figure 17). Les débits diffèrent entre les périodes « A/H » et « P/E » et au sein des périodes entre les deux années de suivi (test post-hoc de comparaisons multiples du test de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} < 0,05$).

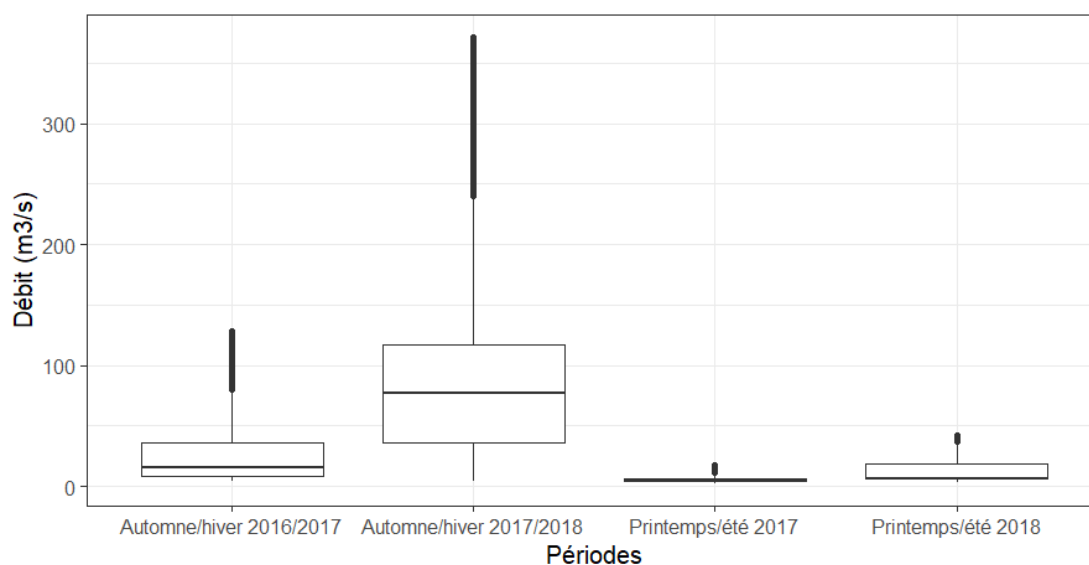


Figure 17 : Boxplots des valeurs de débit du fleuve Meuse enregistrées à Belleville-sur-Meuse en fonction des différentes périodes d'échantillonnage

Il y a également un effet significatif des périodes sur la température de l'eau du fleuve (test non paramétrique de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$) (figure R7). Les températures diffèrent entre les périodes « A/H » et « P/E » mais sont similaires pour une même période entre les deux années de suivi (test post-hoc de comparaisons multiples du test de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} < 0,05$).

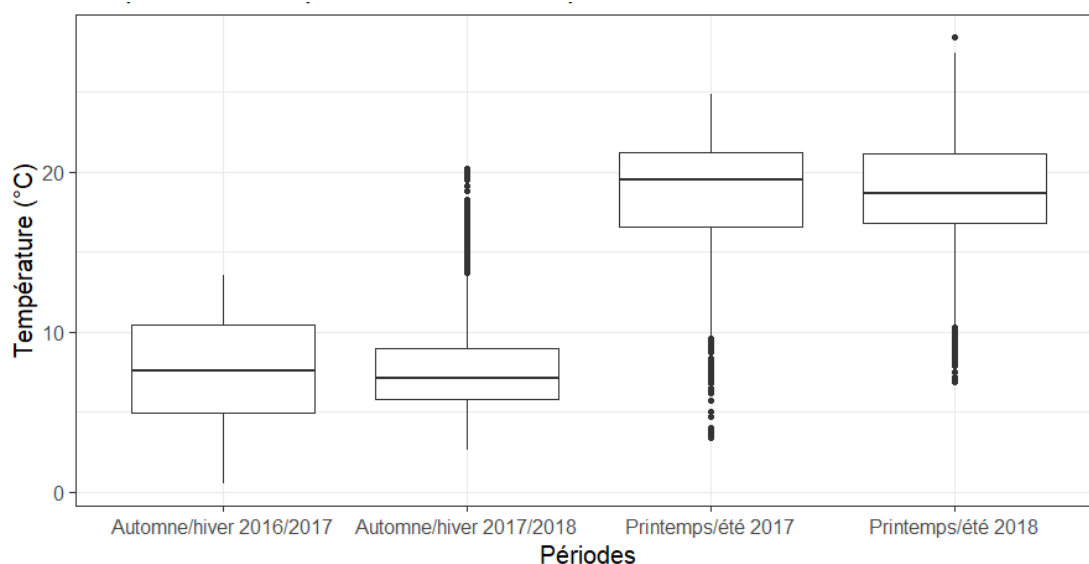


Figure 18 : Boxplots des valeurs de température de l'eau du fleuve Meuse enregistrées à Belleville-sur-Meuse en fonction des différentes périodes d'échantillonnage

Ces résultats justifient d'analyser les déplacements des brochets sur deux périodes distinctes : « A/H » et « P/E ». Une vigilance devra également être apportée sur les comportements observés au sein d'une même période entre deux années de suivi différentes car les conditions hydrologiques n'ont pas été semblables d'une année sur l'autre.

2.2.3 Déplacements longitudinaux

L'analyse des déplacements longitudinaux des brochets a été réalisée avec un échantillon de 65 brochets marqués ayant vécu au minimum 10% du temps du suivi à l'intérieur du secteur d'étude (soit plus de 86 jours).

2.2.3.1 Distance moyenne parcourue entre deux campagnes de radiopistage

Les valeurs des distances moyennes parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage (basées sur les variations du pk) sont représentées pour chaque période en fonction de leur origine par les boxplots de la figure 19. L'analyse statistique des distances parcourues pour chaque période montre qu'elles sont significativement différentes en fonction de l'origine des poissons. Seule la période « P/E 2018 » ne présente pas de différence (tableau 6). Les brochets issus de pisciculture semblent couvrir plus de distance que les brochets originaires du fleuve.

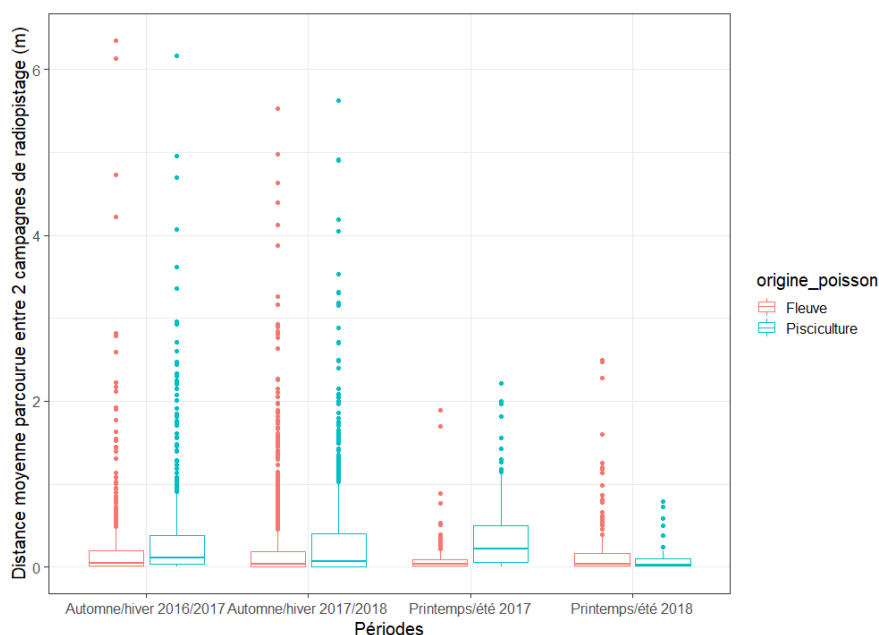


Figure 19 : Boxplots des distances moyennes parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage en fonction des périodes et de leur origine

Origine	Période	χ^2	df	p-value	Significativité
Automne/hiver 2016/2017	Fleuve ~ Pisciculture	28,051	1	1,181 ^e -7	Significatif
Printemps/été 2017	Fleuve ~ Pisciculture	73,64	1	2,2 ^e -16	Significatif
Automne/hiver 2017/2018	Fleuve ~ Pisciculture	21,434	1	3,663 ^e -6	Significatif
Printemps/été 2018	Fleuve ~ Pisciculture	3,521	1	0,061	N.S.

Tableau 6 : Résultats des analyses du test de Kruskal-Wallis de la distance parcourue entre deux campagnes de radiopistage pour chaque période en fonction de l'origine des poissons

2.2.3.2 Domaine vital et étendue des déplacements

Le domaine vital des brochets a été calculé individuellement en mesurant la distance entre les points kilométriques (pk) minimal (le plus en amont) et maximal (le plus en aval) auxquels chaque brochet a été détecté. Cette variable est nommée « étendue des déplacements » lorsqu'elle concerne une période délimitée et « étendue du domaine vital » lorsqu'elle englobe toute la durée de suivi d'un individu. Il existe une variabilité interindividuelle importante de l'étendue du domaine vital entre les brochets (figure 20). Pour un peu plus des 2/3, elle est inférieure à 3 km, mais pour certains individus elle est plus importante : jusqu'à 9 030 m pour la plus grande étendue mesurée.

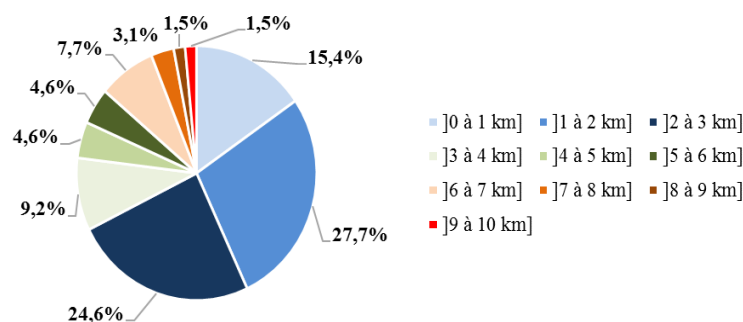


Figure 20 : Etendue du domaine vital des brochets marqués (n=65)

La distribution de l'étendue du domaine vital des brochets suit une loi normale grâce à une transformation logarithmique (test de normalité Shapiro-Wilk, $p\text{-value} > 0,05$). La variable « durée de suivi des brochets » a été testée et a permis de démontrer que parmi notre échantillon de brochets, la durée du suivi pour chaque individu (allant de 86 jours pour celui qui a été suivi le moins longtemps à 650 jours pour celui qui l'a été le plus) n'a pas eu d'influence sur l'étendue du domaine vital (modèle linéaire simple, $p = 0,882649$).

La figure 21 représente la variation du logarithme de l'étendue du domaine vital en fonction de la taille de capture modélisée par une régression linéaire et son intervalle de confiance à 95%. Selon le modèle, il existe un effet faiblement significatif de la taille sur le domaine vital (modèle linéaire simple, $p = 0,0291$; coefficient de détermination R^2 très faible de 0,059). Les individus les plus grands auraient une légère tendance à avoir une étendue du domaine vital plus importante. Ceci concorde avec la représentation des boxplots du domaine vital en fonction de l'âge (figure 22) bien que l'analyse via un test Anova ressorte très faiblement significatif (test Anova, $\text{Pr}(> F) = 0,0133$). Une analyse complémentaire avec un test post hoc de comparaison multiple démontre un effet significatif seulement entre les individus de 3 et 5 ans (test post hoc de Tukey, $p \text{ adj} = 0,0126623$). L'origine des poissons a également été testée, mais aucune différence significative n'apparaît sur l'étendue de leur domaine vitale (test Anova, $\text{Pr}(> F) = 0,633$).

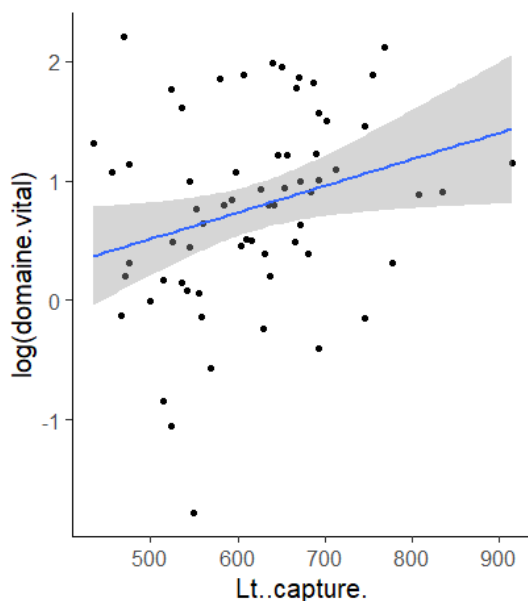


Figure 21 : Régression linéaire de la taille de capture (Lt, en mm) en fonction de l'étendue du domaine vital (km)

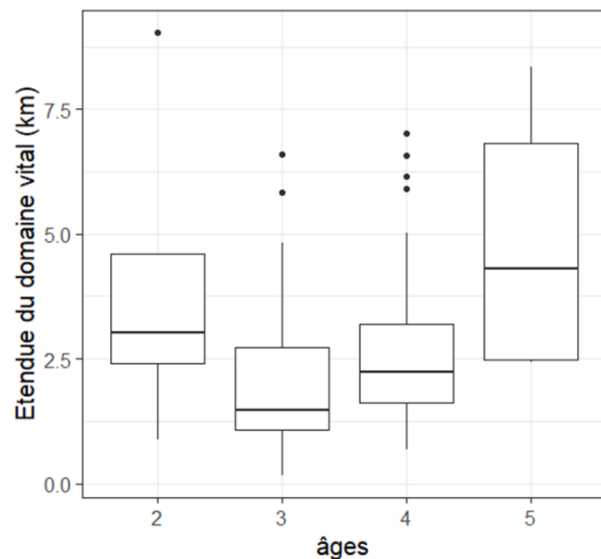


Figure 22 : Boxplots de l'étendue du domaine vital en fonction de l'âge des brochets

En ce qui concerne l'étendue des déplacements des brochets, il est démontré dans la littérature que la période joue un rôle important. En effet, la figure 23 indique des valeurs de déplacement plus élevées en « A/H » plutôt qu'en « P/E ». Un test de Kruskal-Wallis confirme cette différence (test non paramétrique de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} < 3,089 \times 10^{-5}$) et un test post-hoc de comparaison multiple valide cette hypothèse (tableau 7). Seule la comparaison entre la période « A/H 2016-2017 » et « P/E 2017 » ne semble pas admettre de différence.

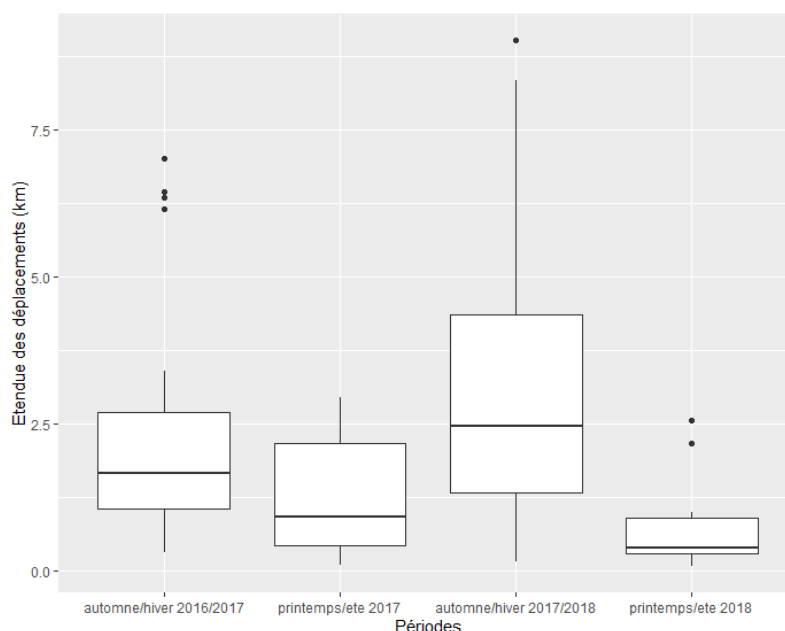


Figure 23 : Boxplots de l'étendue des déplacements des brochets en fonction des périodes

Variables comparées	obs.dif	critical.dif	Difference
Automne/hiver 2016/2017 - automne/hiver 2017/2018	9.425849	18.43944	FALSE
Automne/hiver 2016/2017 - printemps/été 2017	19.563593	23.54212	FALSE
Automne/hiver 2016/2017 - printemps/été 2018	33.070946	26.69197	TRUE
Automne/hiver 2017/2018 - printemps/été 2017	28.989442	23.35132	TRUE
Automne/hiver 2017/2018 - printemps/été 2018	42.496795	26.52383	TRUE
Printemps/été 2017 - printemps/été 2018	13.507353	30.29410	FALSE

Tableau 7 : Résultats du test post-hoc de comparaison multiple du test de Kruskal-Wallis analysant les différences des valeurs d'étendue de déplacements entre les périodes. $p\text{-value} : 0,05$

2.2.3.3 Orientation et amplitude des déplacements

L'orientation et l'amplitude des déplacements des brochets ont été mesurées en calculant l'amplitude de montaison (différence entre le point le plus en amont et le point de remise à l'eau du brochet) et l'amplitude de dévalaison (différence entre le point le plus en aval et le point de remise à l'eau du brochet) (figure 24). En considérant les déplacements inférieurs à 50 m autour du point de relâcher comme nul (du fait des biais qui peuvent intervenir lors de l'interprétation des détections), il est possible d'affirmer que :

- 72,3% des brochets ont effectué des déplacements orientés vers l'amont et l'aval,
- 6,2% des brochets ont effectué des déplacements orientés uniquement vers l'amont,
- 21,5% des brochets ont effectué des déplacements orientés uniquement vers l'aval.

L'orientation et l'amplitude des déplacements semblent influencées par les limites amont et aval du secteur d'étude. Les brochets remis à l'eau à proximité de la limite amont du secteur d'étude, matérialisée par le barrage à aiguilles de Belleville-sur-Meuse, effectuent majoritairement des déplacements orientés vers l'aval. A l'inverse les brochets relâchés à proximité de la limite aval (seuil de Charny-sur-Meuse) ont tendance à orienter leurs déplacements vers l'amont. Deux modèles linéaires généralisés (GLM) ont permis de mettre en évidence un effet significatif du point de relâcher sur l'amplitude de dévalaison (GLM –inverse gaussien, $P = 0.000384$) et de montaison (GLM – gaussien, $P = 6,82 \times 10^{-6}$).

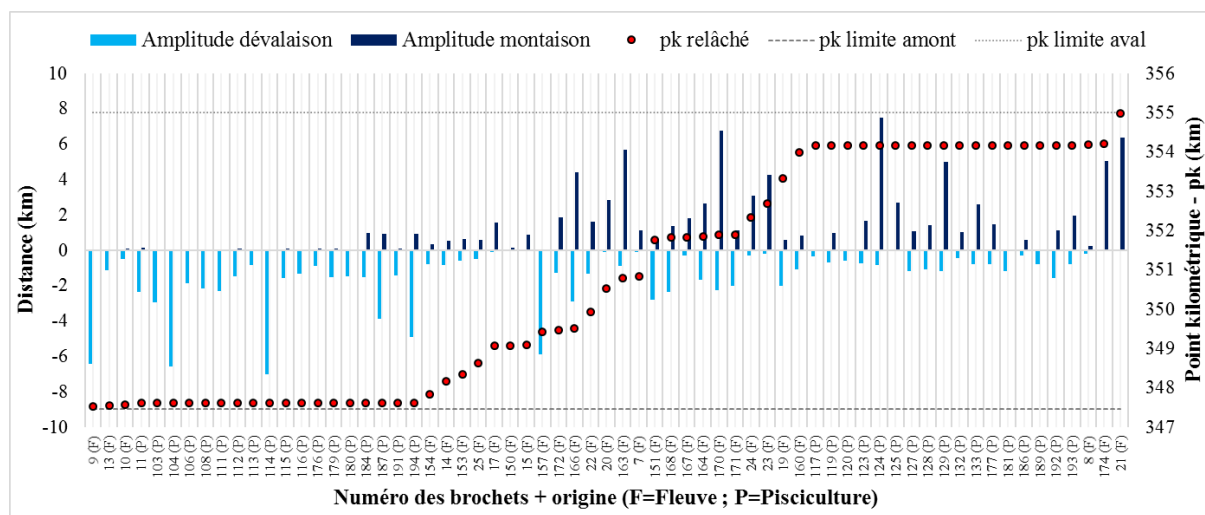


Figure 24 : Amplitude de montaison et de dévalaison en fonction de l'origine des brochets et de leur lieu de relâcher dans le secteur d'étude

2.2.3.4 Déplacements latéraux

L'analyse des déplacements latéraux des brochets a été réalisée avec les 100 individus ayant participé à l'étude à partir de leurs positions (uniquement lorsqu'ils étaient vivants) déterminées lors des campagnes de radiopistage à l'intérieur du secteur d'étude (les ballastières ont été intégrées au secteur d'étude dans le laps de temps où elles étaient connectées au fleuve Meuse).

L'origine des brochets ne semble pas avoir d'influence significative sur leurs positions sur l'axe transversal du cours d'eau (test du Chi², p-value = 0,2005). Les brochets du fleuve et de pisciculture exploitent dans des proportions similaires le lit mineur, le lit majeur et les annexes hydrauliques (figure 25).

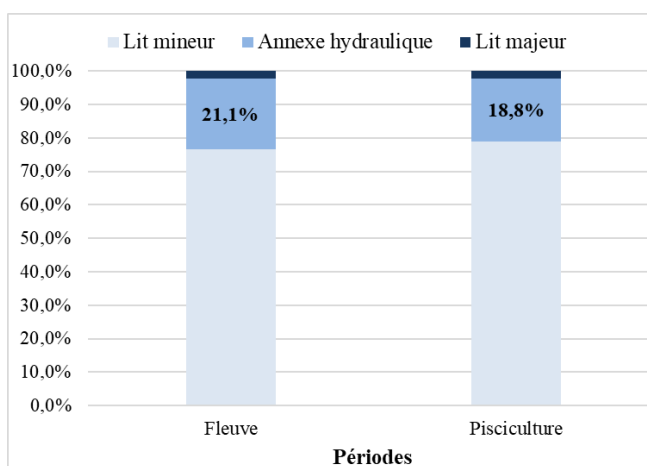


Figure 25 : Répartition des positions des brochets détectés dans le secteur d'étude en fonction de leur origine (3 888 détections)

En revanche, la période a un effet significatif sur la position des brochets sur l'axe transversal du cours d'eau (test du Chi², p-value < $2,2 \times 10^{-16}$). Pendant les périodes « A/H », l'élévation du débit et des hauteurs d'eau ont permis de détecter une augmentation de la proportion de brochets dans les annexes hydrauliques et dans le lit majeur par rapport aux périodes « P/E » (figure R14).

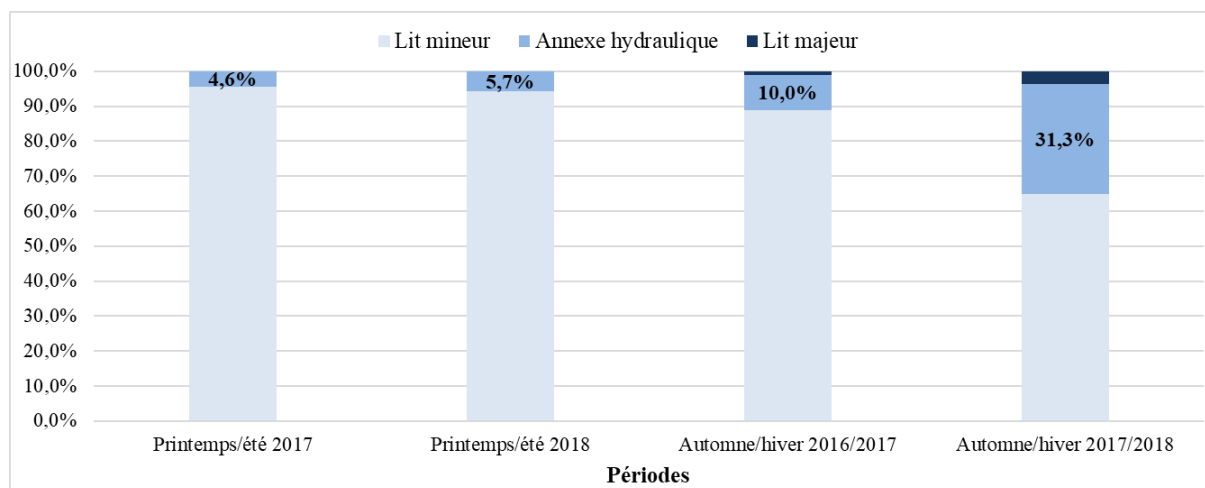


Figure 26 : Répartition des positions des brochets détectés dans le secteur d'étude pendant les différentes périodes (3 888 détections)

Ainsi, le débit a une influence majeure sur la répartition transversale de la position des brochets (test non paramétrique de Kruskal-Wallis, p-value < $2,2 \times 10^{-16}$). Plus le débit augmente et plus les brochets occupent latéralement l'espace (figure 27). Ce résultat permet d'expliquer la proportion plus importante de brochets détectés dans les annexes hydrauliques et le lit majeur pendant la période « A/H 2017/2018 » (débit moyen = $89,78 \text{ m}^3/\text{s}$) en comparaison de la période « A/H 2016/2017 » (débit moyen = $26,70 \text{ m}^3/\text{s}$).

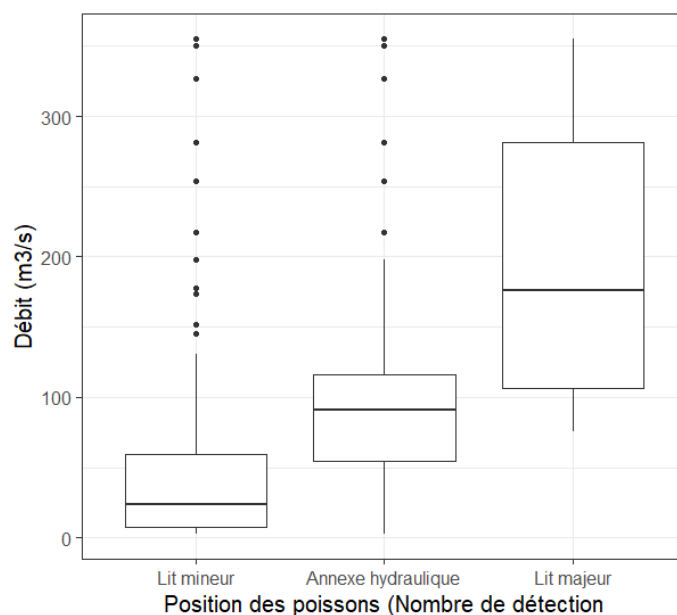


Figure 27 : Répartition des positions des brochets détectés dans le secteur d'étude en fonction du débit (3 888 détections)

2.3 Comportements des brochets au cours de la période « Printemps/été »

2.3.1 Déplacements longitudinaux

Durant la période « P/E » (définie partie 2.2.2), les comportements du brochet vont être principalement axés sur la recherche alimentaire et d'habitats. Afin d'observer les variabilités interindividuelles, des analyses ont été réalisées avec un échantillon composé de 19 brochets ayant vécu l'intégralité d'une période « P/E ».

Les distances moyennes et maximales parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage varient d'un individu à un autre (figure 28). Certains brochets ont tendance à se déplacer faiblement durant toute la période et présentent des distances moyennes et maximales parcourues entre deux campagnes de radiopistage faibles (ex : brochet n°8). D'autres se déplacent beaucoup et présentent en revanche des distances moyennes et maximales parcourues entre deux campagnes de radiopistage importantes (ex : brochet n°123). Enfin certains brochets parcourent généralement une faible distance entre deux campagnes de radiopistage mais effectuent ponctuellement des déplacements importants (ex : brochet n°23). Entre la distance moyenne et maximale parcourue entre deux campagnes de radiopistage, il existe en moyenne un facteur de 4,3 au cours des périodes « P/E ».

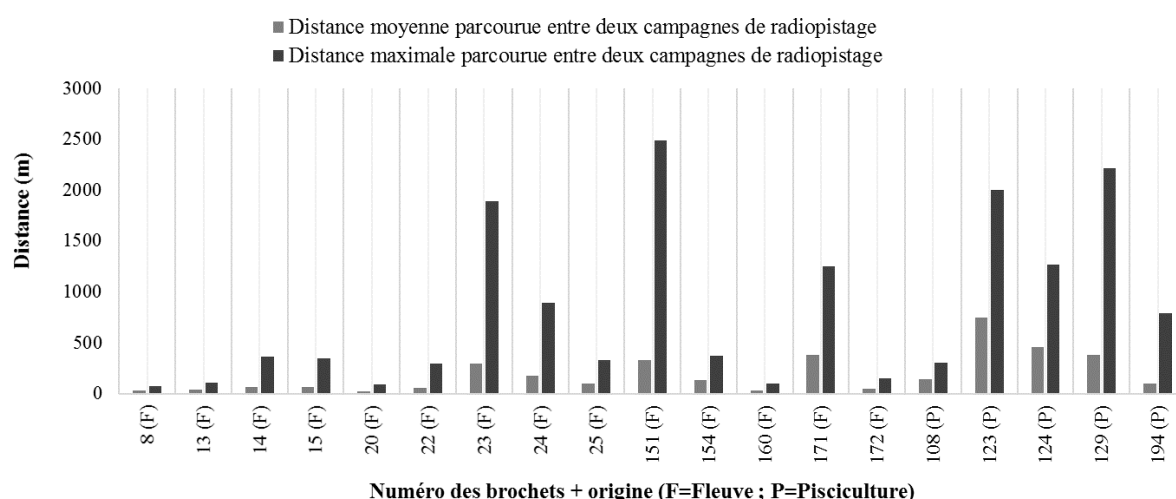


Figure 28 : Distance moyenne et distance maximale parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage durant la période « printemps/été » (nombre de détections par individu compris entre 21 et 23)

2.3.2 Habitats préférentiels

La détermination des habitats occupés par les brochets a été difficile à mettre en évidence en raison de la méthode employée pour détecter ces derniers. Grâce à la puissance du signal reçu, la technique du radiopistage permettait de déterminer plus ou moins facilement la position d'un poisson dans le lit mineur du cours d'eau. Après comparaison des données collectées entre opérateurs lors d'une même opération de radiopistage, il est apparu nécessaire d'écarter des données pour réaliser une analyse correcte des habitats occupés par les brochets marqués. Seules les données collectées avec une puissance de signal comprise entre -57 et -69 dB ont été

utilisées pour cette analyses, soit 105 données au total sur 31 brochets différents pendant les périodes « P/E ».

Pendant ces périodes, les brochets fréquentent préférentiellement des habitats présentant de la végétation aquatique (figure R29). Le second habitat utilisé par les brochets est composé de végétation surplombant le cours d'eau (ex. : les saules buissonnants qui bordent le fleuve Meuse). Enfin, pour un tiers des détections aucun habitat n'a pu être déterminé car ces derniers étaient soit inexistantes ou non visibles.

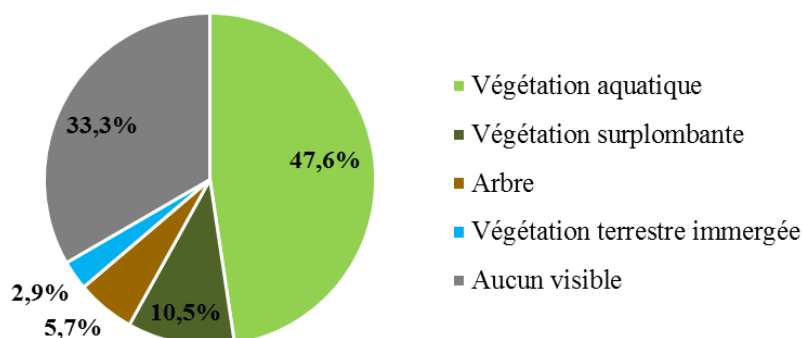


Figure 29 : Répartition des habitats fréquentés par les brochets pendant les périodes "printemps/été" à partir des détections sur tous les brochets vivants dans le secteur d'étude pour des signaux reçus avec une puissance supérieure à -70 dB (n= 105)

2.4 Comportement des brochets au cours de la période « Automne/hiver »

2.4.1 Déplacements longitudinaux

Durant la période « A/H » (définie partie 2.2.2), les déplacements des brochets vont être principalement influencés par le débit du fleuve. Les conditions hydrologiques ayant été radicalement différentes entre la période « A/H 2016/2017 » et « A/H 2017/2018 » il est nécessaire de les séparer pour analyser les variabilités interindividuelles des déplacements longitudinaux des brochets. Les observations portent sur un échantillon de 22 individus ayant vécu l'intégralité de la période « A/H 2016/2017 » et sur un de 21 ayant vécu l'intégralité de la période « A/H 2017/2018 ». Les brochets qui sont sortis définitivement du secteur d'étude pendant la durée des périodes observées (par dévalaison, montaison ou migration latérale dans les plans d'eau) n'ont pas été pris en compte pour cette analyse.

Les distances moyennes et maximales parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage varient d'un individu à un autre et il ne semble pas y avoir de différence liée à l'origine des poissons (figure 30 et 31). Majoritairement, les brochets ont tendance à parcourir de manière ponctuelle des distances relativement importantes alors que les déplacements moyens entre deux campagnes de radiopistage sont limités. Entre les distances moyennes et maximales parcourues entre deux campagnes de radiopistage, il existe en moyenne un facteur de 6,4 au cours de la période « A/H 2016/2017 » et de 9,3 durant la période « A/H 2017/2018 ». Cette différence s'explique probablement par le fait que durant la période « A/H 2017/2018 »

les brochets ont parcouru ponctuellement de plus longues distances pour accéder à des zones refuges et qu'ils sont restés plus longtemps dans ces dernières pendant les crues.

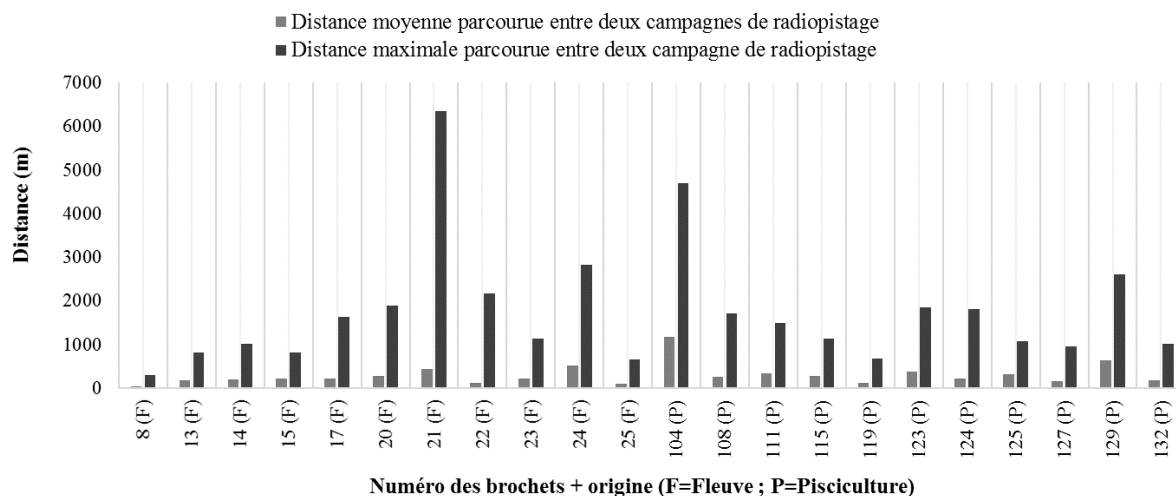


Figure 30 : Distance moyenne et distance maximale parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage durant la période « automne/hiver 2016/2017 » (nombre de détections par individu compris entre 30 et 43)

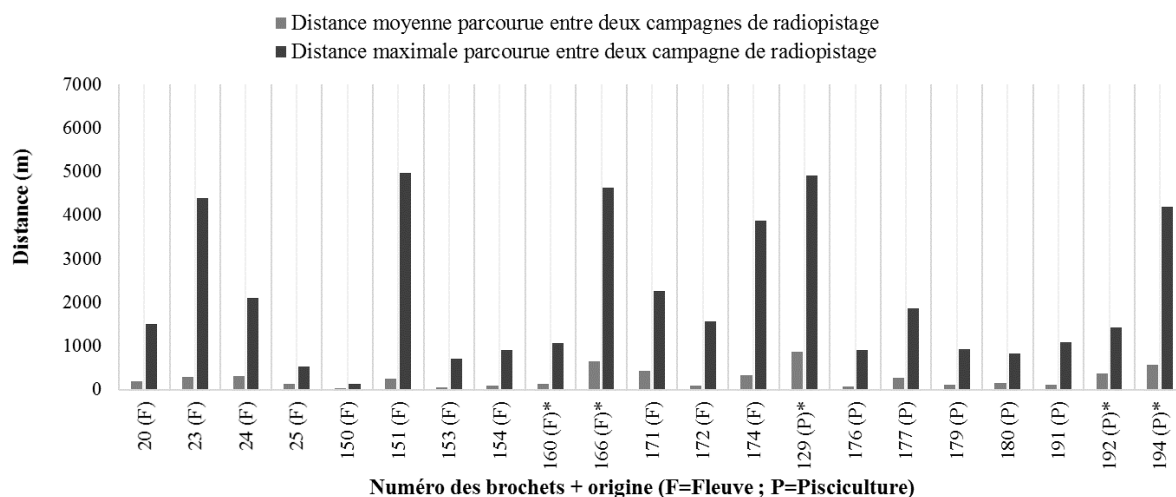


Figure 31 : Distance moyenne et distance maximale parcourues par les brochets entre deux campagnes de radiopistage durant la période « automne/hiver 2017/2018 » (nombre de détections par individu compris entre 56 et 75, excepté pour les brochets marqués d'un * qui ont réalisé des sorties temporaires amont et/ou aval du secteur d'étude)

2.4.2 Déplacements latéraux

L'analyse des déplacements latéraux des brochets a été réalisée avec l'ensemble des brochets marqués à partir de leurs positions (uniquement lorsqu'ils étaient vivants) déterminées lors des campagnes de radiopistage à l'intérieur du secteur d'étude (les ballastières ont été intégrées au secteur d'étude dans le laps de temps où elles étaient connectées au fleuve Meuse).

Il existe une très forte relation entre les déplacements latéraux des brochets (pourcentage de détections dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur) et le débit (modèle linéaire simple, p

$= 2 \times 10^{-16}$). Durant la période « A/H 2016/2017 », présentant des débits inférieurs aux valeurs moyennes enregistrées habituellement, les déplacements latéraux des brochets sont très fortement corrélés aux périodes d'élévation du débit. A chaque épisode de crues, une proportion plus ou moins importante de brochets a été détectée dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur, jusqu'à 48,4% de l'effectif (figure 32).

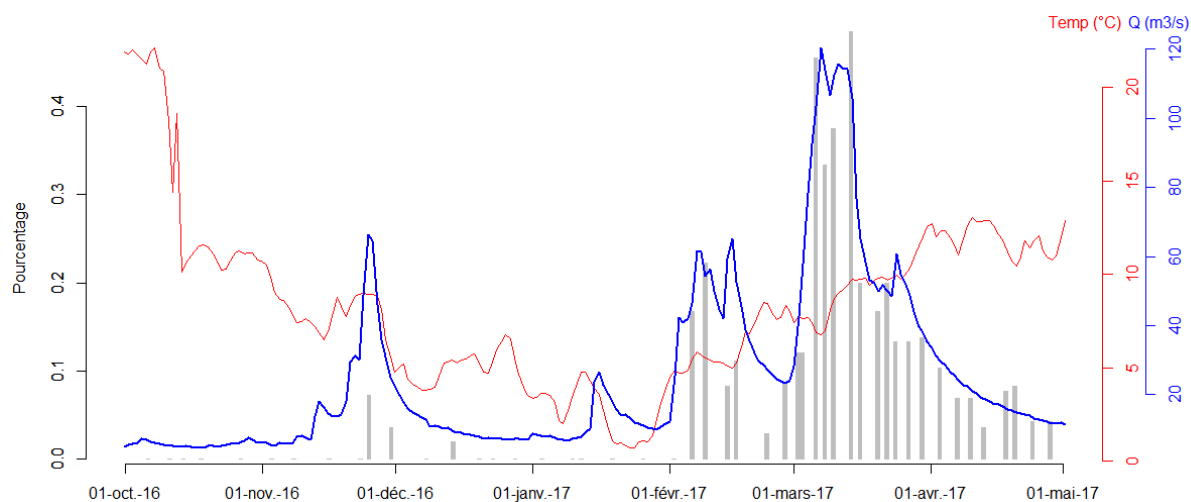


Figure 32 : Répartition du pourcentage de brochets (fleuve + pisciculture) marqués et vivants détectés dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur en fonction du débit du fleuve Meuse pendant la période « A/H 2016/2017 »

Durant la période « A/H 2017/2018 », les brochets se sont déplacés de manière importante dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur, jusqu'à 65,5% de l'effectif (figure 33). Le débit du fleuve durant cette période a été élevé pendant une longue période avec plusieurs épisodes de crues conduisant plusieurs brochets à rester positionnés dans les annexes hydrauliques pendant plusieurs campagnes de radiopistage successives.

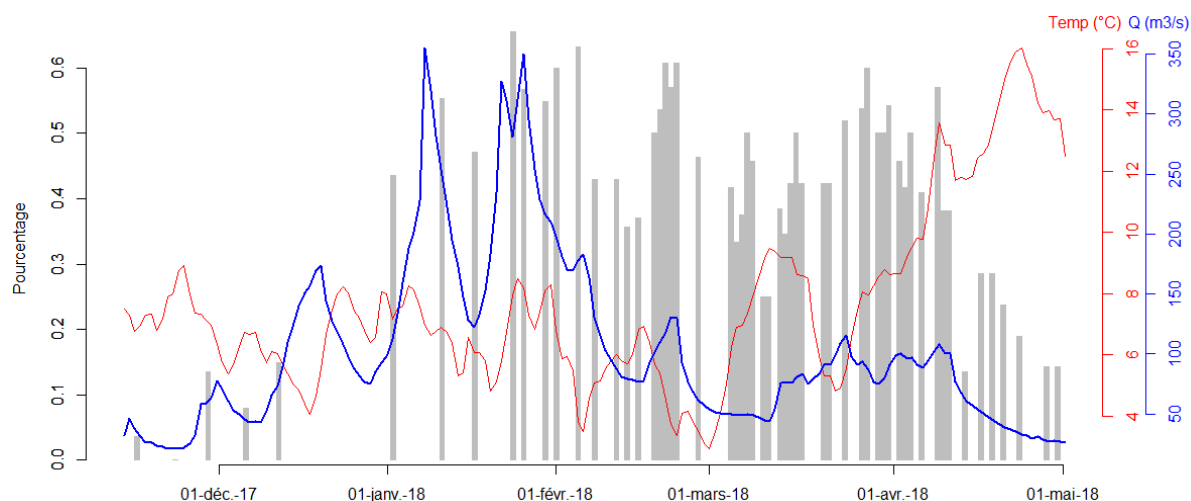


Figure 33 : Répartition du pourcentage de brochets (fleuve + pisciculture) marqués et vivants détectés dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur en fonction du débit du fleuve Meuse pendant la période « A/H 2017/2018 »

A l'échelle d'observation des périodes « A/H », il apparaît difficile de mettre en évidence une relation entre la proportion de brochets détectés dans les annexes hydrauliques ou le lit majeur et la température du fleuve (figure 32 et 33).

2.4.3 Différents types de migrations observées

Au cours des périodes « A/H », bon nombre de brochets ont effectué des déplacements longitudinaux et latéraux importants en dehors des zones qu'ils occupaient pendant les périodes « P/E ». Ces déplacements peuvent être qualifiés de migrations dont l'objectif semble varier en fonction de la période et des facteurs environnementaux. Plusieurs exemples de déplacements de brochets, détaillés dans cette sous-partie, permettent d'émettre des hypothèses sur l'objectif de ces migrations.

2.4.3.1 Reproduction

Au cours du suivi télémétrique, des brochets ont été observés et en train de frayer dans des annexes hydrauliques et dans le lit majeur. Ces observations, présentées dans le tableau 8, permettent de définir la période la plus propice pour la reproduction de l'espèce dans le site d'étude. Celle-ci se situe entre la fin du mois de février et la fin du mois de mars. Majoritairement les brochets ont été observés dans des annexes hydrauliques lorsque leur température était en augmentation et lorsque le débit du fleuve était relativement constant.

Date	Heure	Localisation	Numéro brochet	Température eau (T)	Tendance (T)	Débit du fleuve (Q)	Tendance (Q)
27/02/2017	9h03	Annexe hydraulique n°16	124	7,28 °C	↗	23,1 m³/s	→
27/02/2017	15h00	Annexe hydraulique n°16	124	8,08 °C	↗	22,8 m³/s	→
14/03/2017	11h33	Annexe hydraulique n°13	Sans émetteur	7,82 °C	↗	108,0 m³/s	→
15/03/2017	11h33	Annexe hydraulique n°13	Sans émetteur	8,67 °C	↗	76,8 m³/s	↘
22/03/2017	15h17	Annexe hydraulique n°3	Sans émetteur	9,77 °C	↗	49,1 m³/s	→
27/03/2017	12h19	Annexe hydraulique n°3	Sans émetteur	9,87 °C	→	49,1 m³/s	→
12/03/2018	10h15	Annexe hydraulique n°3	Sans émetteur	9,57 °C	→	43,9 m³/s	→
14/03/2018	16h22	Lit majeur	166	9,49 °C*	→	78,2 m³/s	↗
31/03/2018	12h15	Ballastière n°15	Sans émetteur			92,5 m³/s	↗
<u>Tendance température de l'eau</u> ↗ = Augmentation supérieure à 0,5 °C sur 48 h (à la même heure) ↘ = Diminution supérieure à 0,5 °C sur 48 h (à la même heure) → = Augmentation ou diminution inférieure à 0,5 °C sur 48 h (à la même heure) <u>Tendance du débit</u> ↗ = Augmentation supérieure à 10 m³/s sur 48 h ↘ = Diminution supérieure à 10 m³/s sur 48 h → = Augmentation ou diminution inférieure à 10 m³/s sur 48 h *Température prise dans le fleuve et non dans le lit majeur							

Tableau 8 : Compilation des observations de brochets en frai pendant la durée du suivi

Les déplacements du brochet n°23 entre la fin du mois de février et la fin de mois de mars, au cours des années 2017 et 2018, constituent un bon exemple de migration de reproduction. A plusieurs reprises aux mois de mars 2017 et 2018, cet individu s’est déplacé sur une zone située à environ 1 km en amont de la zone qu’il occupait majoritairement le reste de l’année (figure 34). Cette similarité des zones fréquentées au moment de la reproduction montre chez cet individu une relative fidélité interannuelle. On retrouve le même phénomène chez deux autres brochets originaires du fleuve qui ont vécu les 2 périodes de reproduction (2017 et 2018) à l’intérieur du secteur d’étude (cf. brochet n°20, figure 15). Le 29/03/2018, le brochet 23 a également été détecté dans une annexe hydraulique située à plus de 4 km en amont de la zone qu’il occupait majoritairement le reste de l’année.

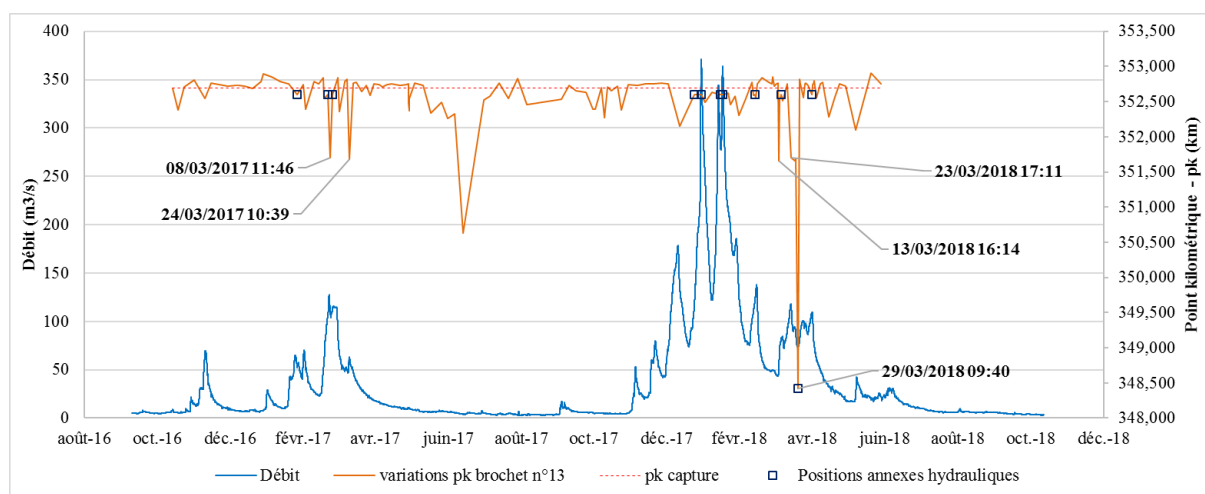


Figure 34 : Déplacements du brochet n°23 pendant la durée du suivi en relation avec le débit du fleuve Meuse

Pendant la période de reproduction, plusieurs brochets ont parcouru des distances importantes sur de courts laps de temps. En mars 2018, le brochet n°23 a parcouru par exemple plus de 4 km en une journée et le brochet n°166 a quitté une portion du canal de l’est (située en dehors du secteur d’étude) pour rejoindre une portion de prairie inondée dans le secteur d’étude en moins de 48h (parcours du brochet n°166 en ANNEXE 14). Il a alors été observé en train de frayer.

2.4.3.2 Repérage des sites de reproduction

La figure 35 présente les déplacements du brochet n°13 (originaire du fleuve Meuse) au cours de la période « A/H 2016/2017 ». Le 10/01/2017 et le 26/01/2017, cet individu a été détecté à environ 900 m de son lieu de capture, à proximité d’une annexe hydraulique qu’il a fréquentée le 14/03/2017 (au cœur de la période de reproduction). Il a réalisé ce déplacement en dehors d’une période de variations du débit du fleuve conduisant à supposer qu’il s’agissait d’une migration visant à « repérer » des sites potentiels pour la reproduction. Quelques brochets marqués ont eu un comportement similaire.

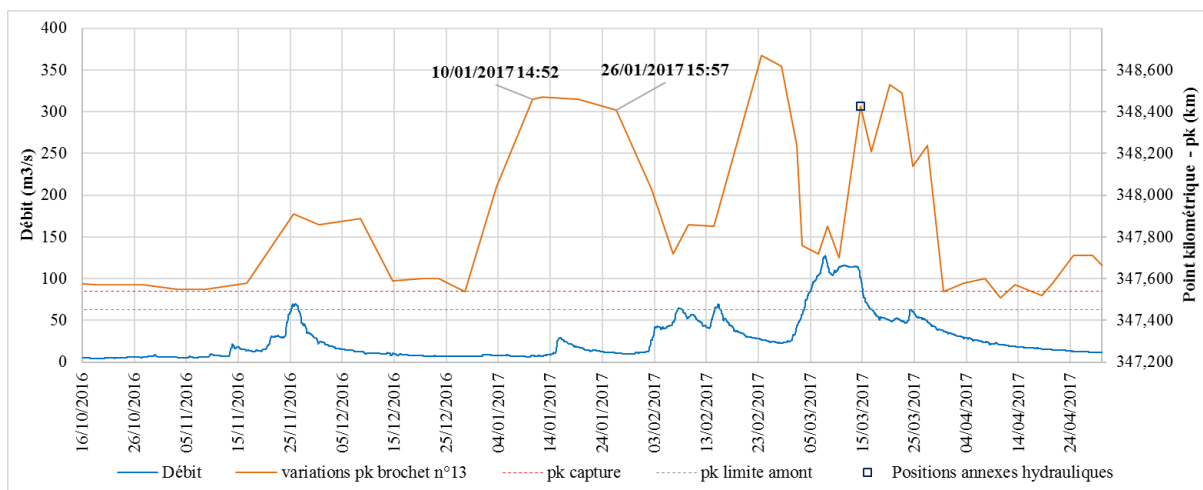


Figure 35 : Déplacements du brochet n°13 pendant la période « Automne/hiver 2016/2017 » en relation avec le débit du fleuve Meuse

2.4.3.3 Perte de l'habitat estival

Certains individus ont quitté la zone qu'ils occupaient durant la période estivale pour une autre zone à l'automne sans variation significative du débit. C'est le cas du brochet n°20 (brochet modèle) qui, en l'absence de variations significatives du débit, s'est déplacé d'une zone riche en végétation aquatique peu profonde vers une zone plus profonde entre le 29 octobre et le 3 novembre en 2016, puis entre le 13 et le 18 octobre l'année suivante en 2017 (figure 36). La perte de l'habitat estival, liée à la dégradation de la végétation aquatique, constitue une hypothèse pouvant expliquer ce type de déplacements.

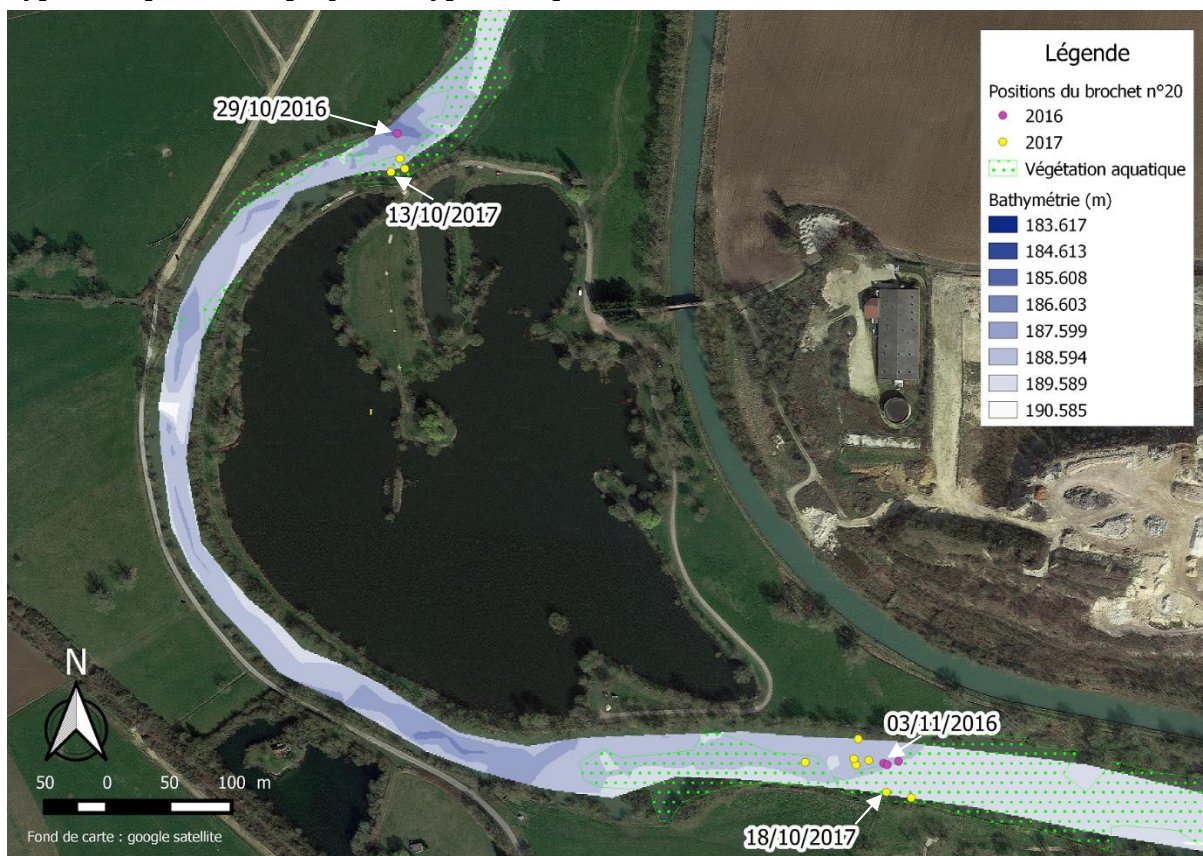
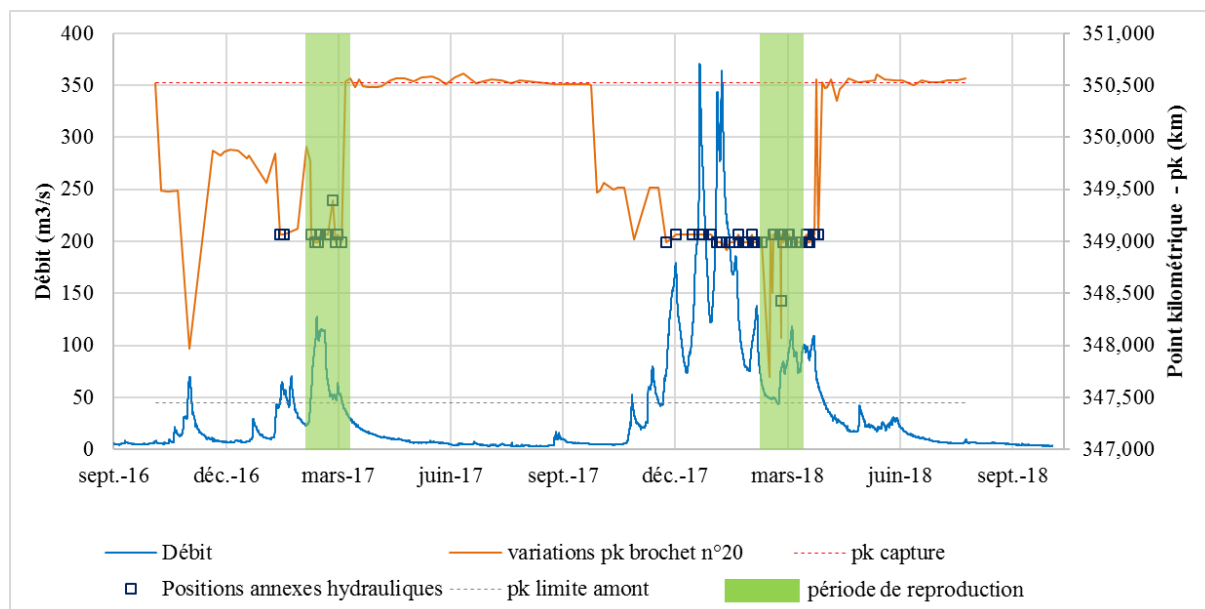


Figure 36 : Déplacements effectués par le brochet n°20 à l'automne 2016 en l'absence de crues

2.4.3.4 Refuge dans les annexes hydrauliques

En dehors de la période la plus propice pour la reproduction, des brochets ont effectué des migrations du lit mineur vers des annexes hydrauliques. Le brochet n°20 (brochet modèle) a régulièrement été détecté dans la noue de la Queue de Perche (annexe hydraulique n°4 et 5) lors des épisodes de crues (figure 37).



2.4.3.5 Exploration

Bon nombre de brochets ont effectué des déplacements importants pendant les périodes « A/H » à l'intérieur du secteur d'étude. Certains individus ont eu un comportement exploratoire plus important et sont sortis du secteur d'étude en franchissant en période de hautes eaux les ouvrages transversaux qui le bornaient. C'est le cas du brochet n°124 (issu de pisciculture) qui a franchi au minimum 5 fois les limites du secteur d'étude au cours de la période « A/H 2017/2018 » (figure 38) :

- dévalaison du seuil de Charny-sur-Meuse entre le 29/11/2017 et le 02/01/2018,
- montaison du seuil de Charny-sur-Meuse entre le 02/01/2018 et le 11/01/2018,
- montaison du barrage de Belleville-sur-Meuse entre le 11/01/2018 et le 15/01/2018,
- dévalaison du barrage de Belleville-sur-Meuse entre le 17/01/2018 et le 26/01/2018,
- dévalaison du seuil de Charny-sur-Meuse entre le 27/03/2017 et le 31/03/2018.

Les allers-retours que certains brochets ont effectués vers le barrage de Belleville-sur-Meuse pendant que ce dernier était en fonctionnement normal (barrage levé) renforcent l'idée d'un comportement exploratoire chez certains brochets (Cf. brochet n°20, figure 15).

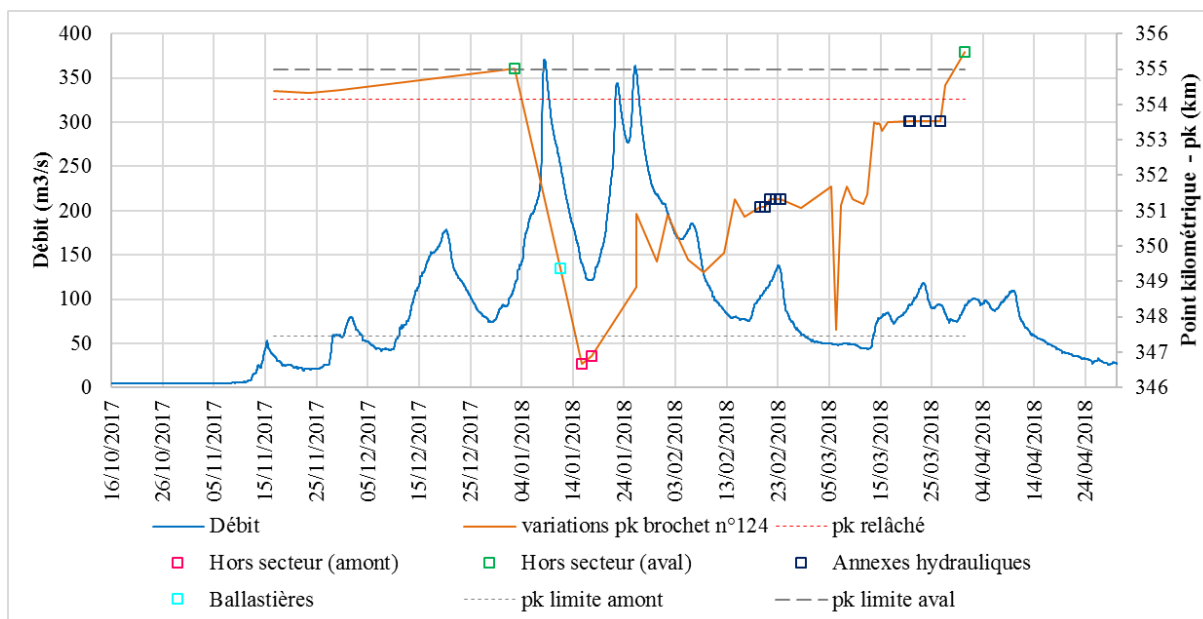


Figure 38 : Déplacements du brochet n°124 cours de la période « Automne/hiver 2017/2018 » en relation avec le débit du fleuve Meuse

2.5 Fonctionnalité des annexes hydrauliques

Les brochets marqués ont fréquenté les annexes hydrauliques pour se réfugier pendant les crues, trouver un habitat secondaire et se reproduire. Afin d'étudier la fonctionnalité des différentes annexes hydrauliques du secteur d'étude pour l'espèce brochet, plusieurs variables ont été analysées :

- le nombre de détections et le nombre de brochets adultes différents détectés dans une annexe hydraulique afin de mettre en évidence son attractivité pour les géniteurs ;
- le nombre de juvéniles capturés par point de pêche dans une annexe hydraulique afin de mettre en évidence sa fonctionnalité pour le développement des juvéniles.

2.5.1 Fonctionnalité pour les géniteurs de brochets

A partir des observations de brochets en frai durant les campagnes de radiopistage (tableau 8), une période de reproduction a été définie du 15 février au 14 avril afin de mettre en évidence le plus possible l'attractivité des annexes hydrauliques spécifiquement pour la reproduction de l'espèce.

Comme le laissent suggérer les figures 39 et 40, le nombre total de détections et le nombre de brochets différents détectés dans les annexes hydrauliques montrent une forte hétérogénéité entre les différents sites. Il y a un effet significatif des annexes hydrauliques sur ces deux variables (test Anova, $\text{Pr}(> F) = 0,002412$). Plusieurs annexes hydrauliques, comme A3, A4, A5 et A16, semblent plus attractives pour les brochets au cours des « périodes A/H » et plus particulièrement pendant la période de reproduction. D'autres possèdent une faible attractivité pour la reproduction, mais apparaissent plus favorables comme zone de refuge (A1 et A18).

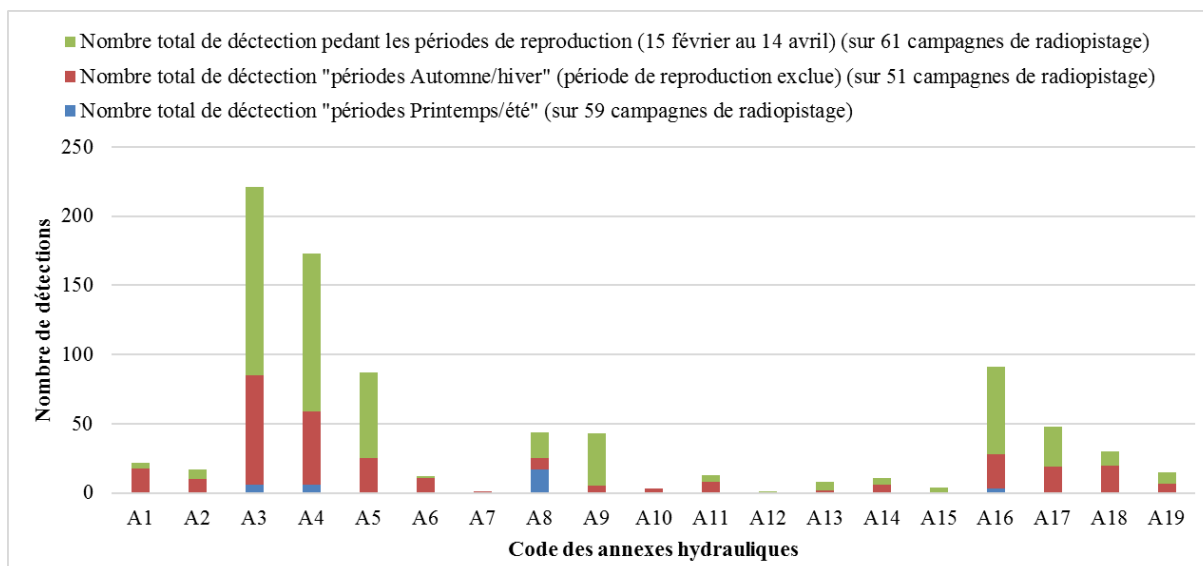


Figure 39 : Nombre de détections de brochets dans les différentes annexes hydrauliques sur l'ensemble de la durée de l'étude en fonction de la période

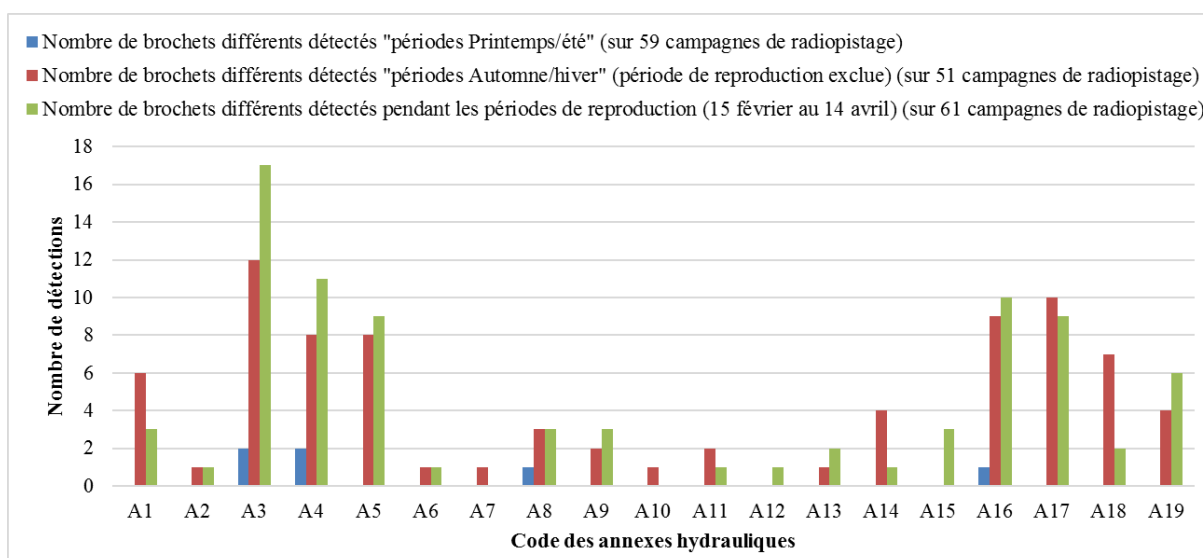


Figure 40 : Nombre de brochets différents détectés dans les annexes hydrauliques sur l'ensemble de la durée de l'étude en fonction de la période

Les noues ont été les annexes hydrauliques les plus attractives pour les brochets adultes. Elles ont concentré 81% des détections enregistrées dans ces milieux pendant les périodes de reproduction (2017 et 2018). Les annexes hydrauliques de type « noue » étant majoritaires sur le secteur d'étude, il est important de pondérer les résultats avec les surfaces efficaces des différentes annexes hydrauliques au moment de la période de reproduction. Avec la prise en compte de ce paramètre, les noues restent toujours les annexes hydrauliques les plus attractives (figure 41).

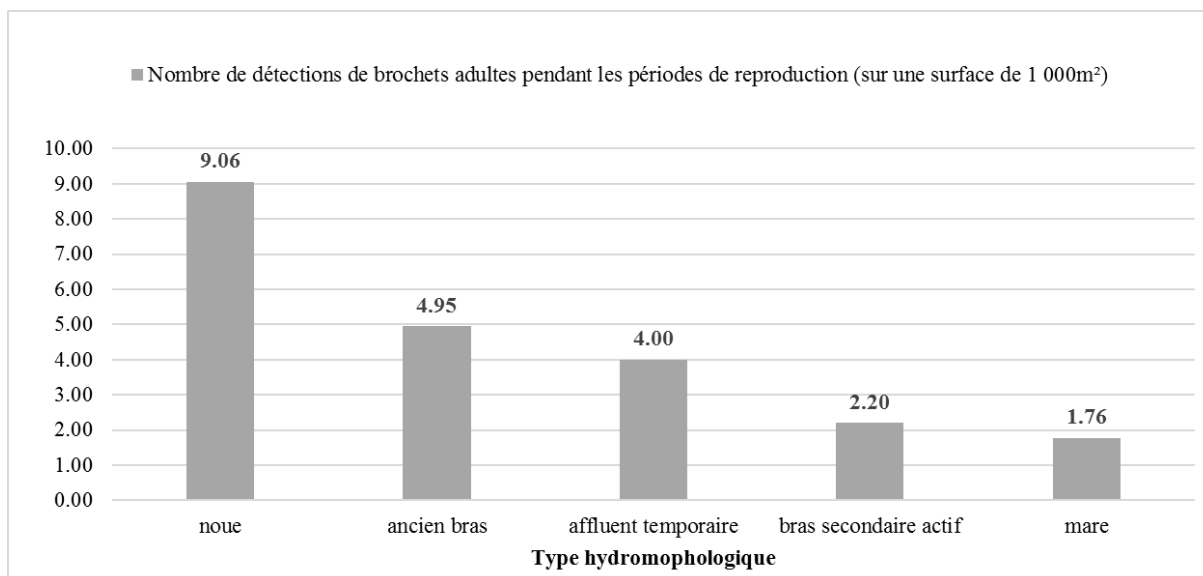


Figure 41 : Densité de détections de brochets adultes pendant les périodes de reproduction dans les annexes hydrauliques en fonction de leur type hydromorphologique

Parmi les annexes hydrauliques de type « noue », plusieurs variables quantitatives ont été testées afin de déterminer lesquelles expliquaient au mieux leur attractivité sur les géniteurs de brochets. Seule la surface terrestre submergée entre le débit d'étiage et le débit moyen au mois de mars présente un effet significatif (modèle linéaire simple, $p = 0,0019$) (figure 42). Plus la surface submergée augmente et plus la quantité de brochets différents détectés dans les annexes hydrauliques de type « noue » augmente.

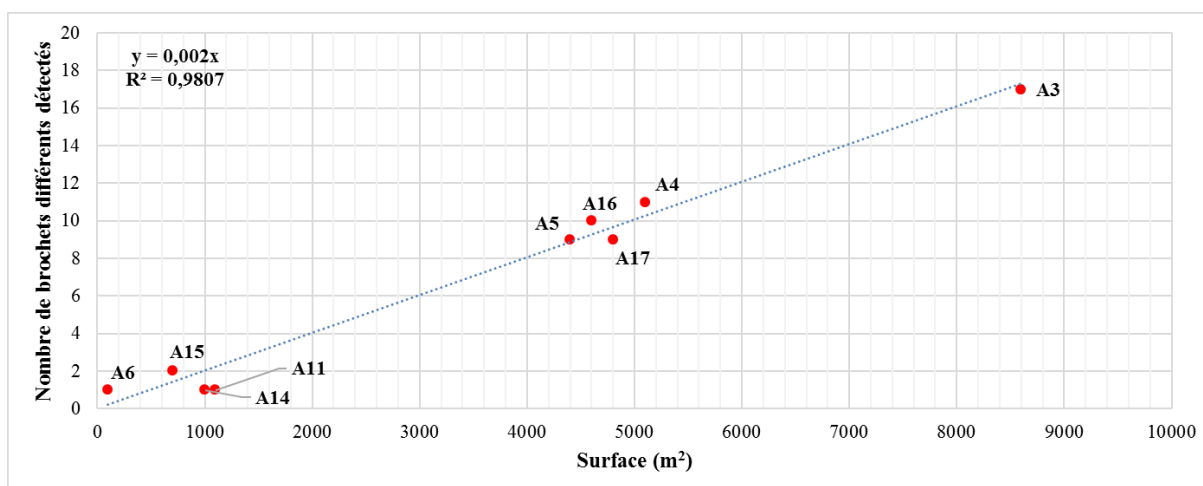


Figure 42 : Fréquentation des annexes hydrauliques de type « noue » par les brochets pendant les périodes de reproduction en fonction de leur surface terrestre submergée entre le débit d'étiage ($4,1\text{m}^3/\text{s}$) et le débit moyen au mois de mars ($73,2\text{m}^3/\text{s}$)

La diversité en habitats des annexes hydrauliques de type « noue » semble aussi jouer un rôle dans leur attractivité pour les brochets adultes. Entre 10 et 17 brochets adultes marqués différents ont été détectés au cours du suivi dans les noues A3, A4, A16, qui possèdent :

- une proportion de végétation arbustive et arborescente comprise entre 22 et 65% de leur surface totale ;

- une proportion de végétation basse comprise entre 8 et 28% de leur surface totale ;
- une proportion de milieux aquatiques comprise entre 25 et 61% de leur surface totale (figure 43).

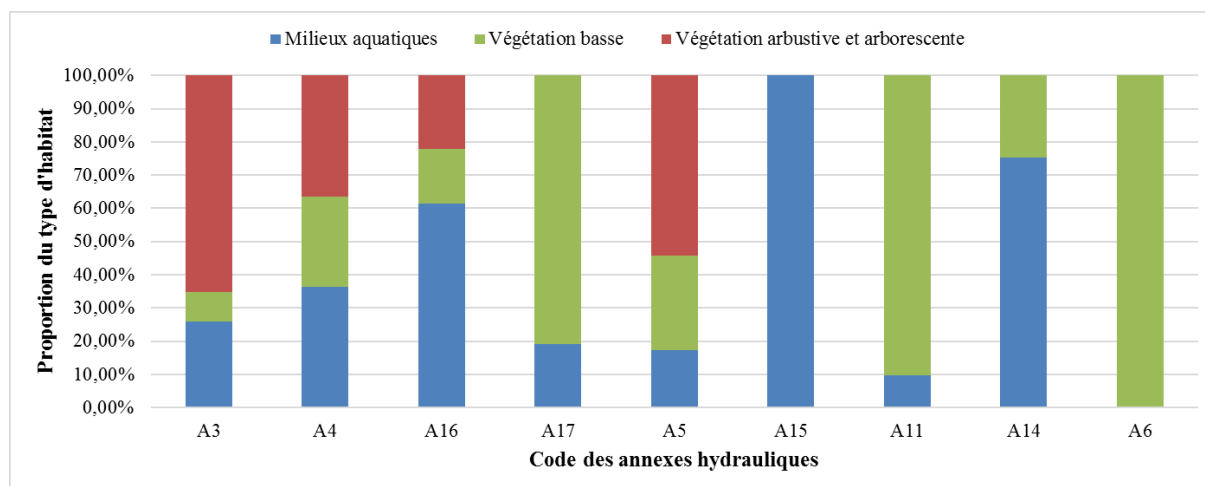


Figure 43 : Répartition de la proportion de recouvrement des grands types d'habitat dans les différentes noues du secteur d'étude

2.5.2 Fonctionnalité pour les juvéniles

La majorité des annexes hydrauliques du secteur d'étude a fait l'objet d'inventaires piscicoles au printemps 2018 (entre le 23/05/2018 et le 13/06/2018). Il n'apparaît pas de corrélation entre le nombre de brochets adultes détectés pendant la période de reproduction et la densité de juvéniles capturés au printemps dans les annexes hydrauliques (test de Pearson, p-value = 0,4817). Les annexes hydrauliques de type « ancien bras » et « affluent temporaire » ont fait l'objet de captures importantes de juvéniles alors que ce ne sont pas les milieux les plus attractifs pour les géniteurs pendant la période de reproduction (figure 44).

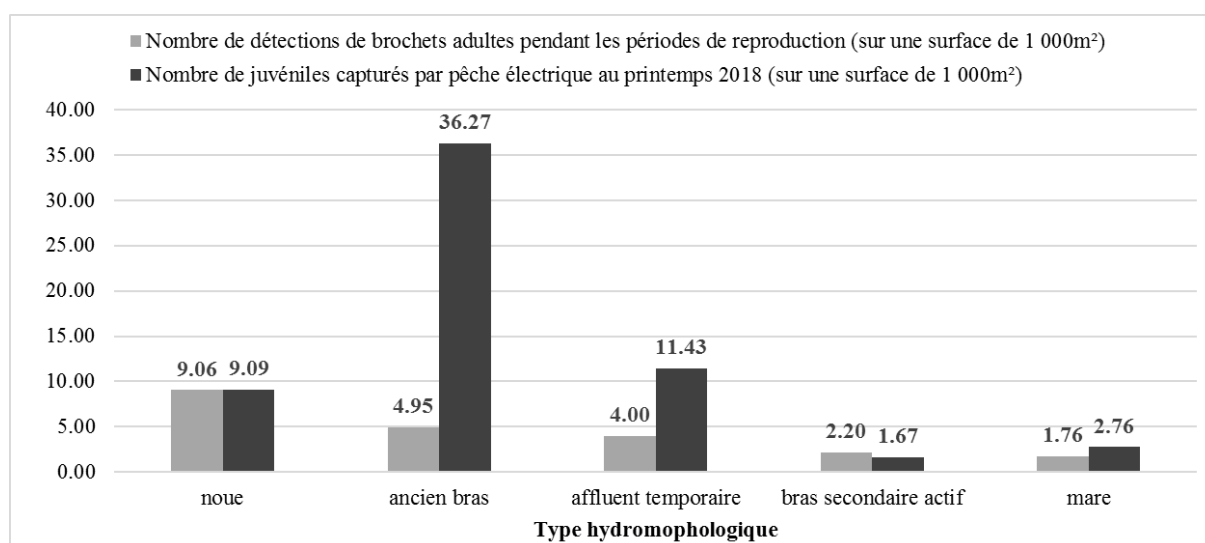


Figure 44 : Densité de brochets adultes détectés pendant les périodes de reproduction et densité de juvéniles capturés au printemps 2018 dans les annexes hydrauliques en fonction de leur type hydromorphologique

2.5.3 Influence du débit sur la fonctionnalité des annexes hydrauliques

Certaines annexes hydrauliques ont fait l'objet d'inventaires piscicoles au printemps sur deux années et elles ont toutes montré des densités de juvéniles de brochets plus importantes en 2018 qu'en 2017 (figure 45). Pour l'annexe hydraulique A13, la différence est extrême puisque la densité est passée de 0 juvénile/point de pêche en 2017 à 0,53 en 2018.

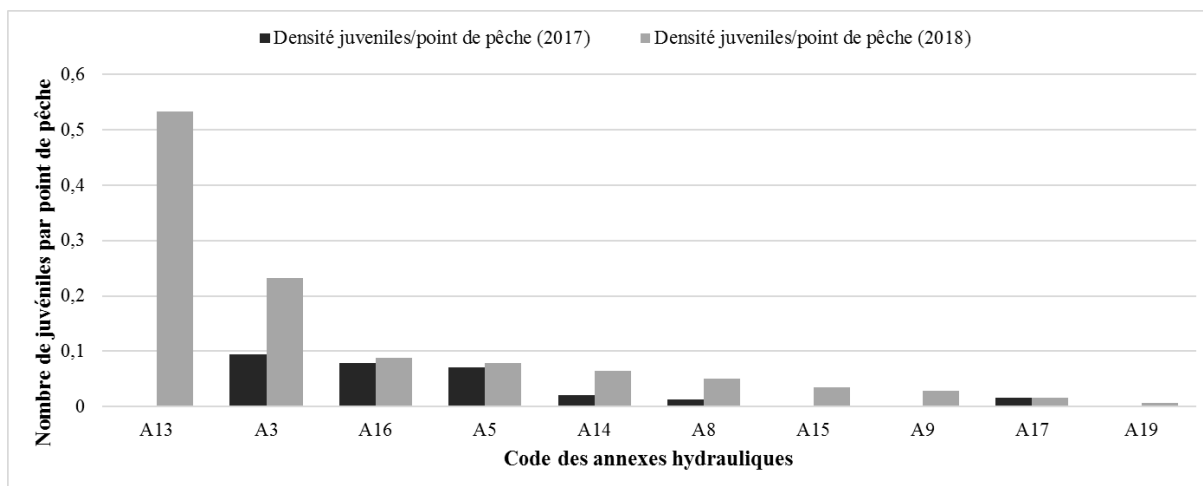


Figure 45 : Comparaison de la densité de juvéniles capturés par point de pêche dans les annexes hydrauliques lors des inventaires du printemps 2017 et 2018

Les conditions hydrologiques observées dans le fleuve entre le printemps 2017 et 2018 ont très probablement eu une influence sur le frai des brochets et le développement des juvéniles. Le débit a été majoritairement plus faible en 2017 qu'en 2018, provoquant une diminution de la hauteur d'eau dans les annexes hydrauliques. Dans l'annexe hydraulique A3, une différence de hauteur d'eau de l'ordre de 19 cm a été mesurée le 31 mai entre les années 2017 et 2018 (figure 46). Cette hauteur d'eau plus faible en 2017 au moment de l'inventaire piscicole a automatiquement engendré une diminution de la surface en eau de l'annexe hydraulique et explique probablement la plus faible densité de juvéniles cette année-là.

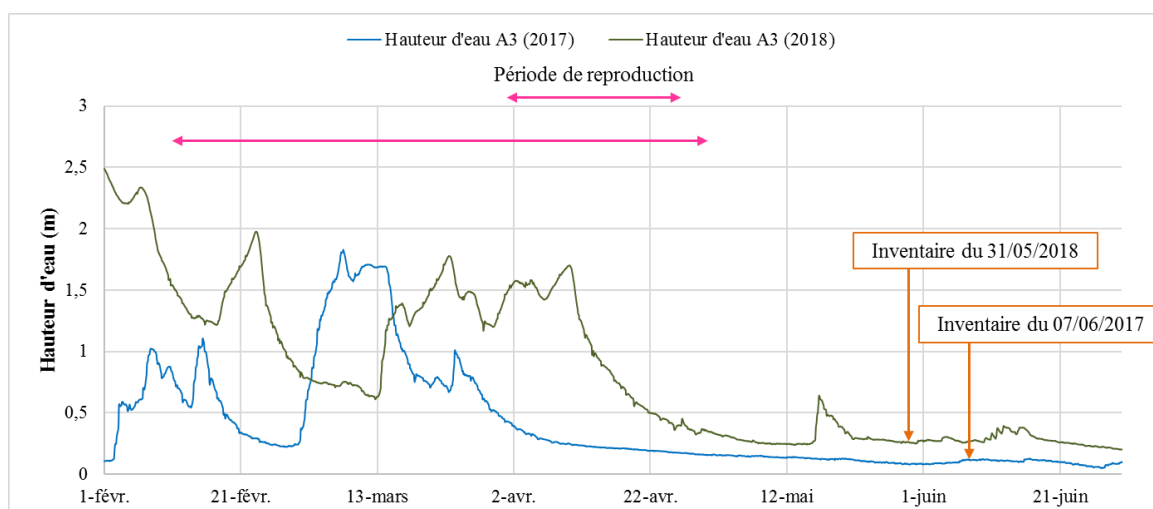


Figure 46 : Comparaison de la hauteur d'eau dans l'annexe hydraulique A3 entre 2017 et 2018 du début de la période de reproduction jusqu'à la fin de la période des inventaires piscicoles réalisés dans les annexes hydrauliques

Des sondages, réalisés par pêche électrique au printemps 2018, ont permis de mettre en évidence la présence de juvéniles de brochets dans le fleuve Meuse à proximité des zones de connexion avec des annexes hydrauliques (figure 47). Dans les annexes hydrauliques connectées au fleuve (comme l'annexe hydraulique A3), la densité de juvéniles est supérieure dans le fleuve par rapport à celle mesurée dans l'annexe hydraulique. Il est probable que les juvéniles aient commencé à migrer vers le lit mineur avant l'inventaire piscicole. En revanche, la densité de juvéniles est plus importante dans les annexes hydrauliques déconnectées du lit mineur (A12, A13 et A18) supposant que ces derniers aient été piégés et contraints de rester dans celles-ci.

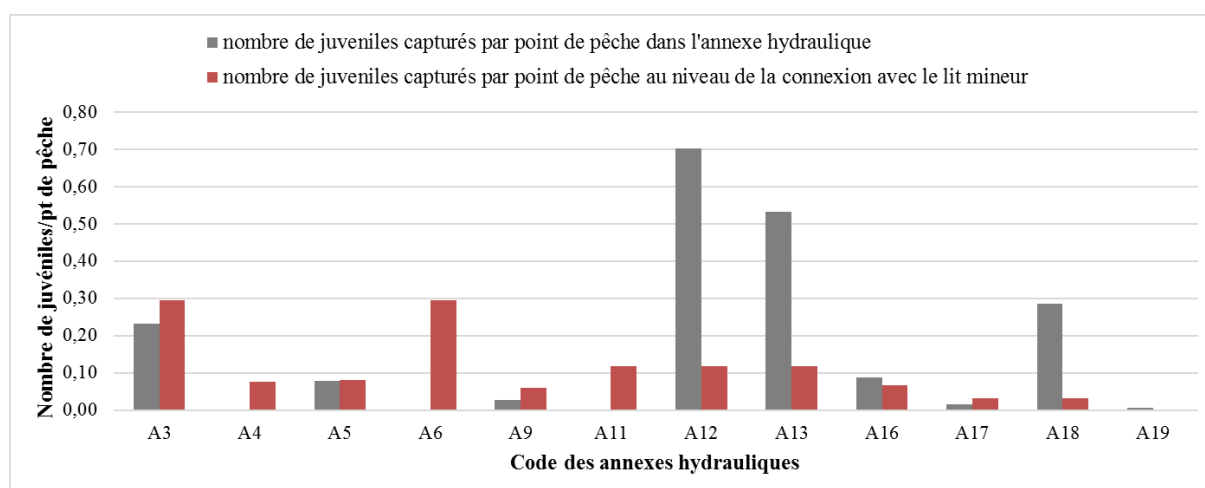


Figure 47 : Nombre de juvéniles capturés par point de pêche lors des inventaires du printemps 2018 dans les annexes hydrauliques et au niveau de leur connexion avec le lit mineur

Date de l'inventaire	15/06/2017	13/06/2018
Photographie		
Température de l'eau	28°C	16°C
Nombre de points de pêche	6	77
Espèces inventoriées	Carassin commun, loche d'étang, loche de rivière, tanche	Bouvière, brème commune, brochet (juvéniles), carassin commun, gardon, goujon, loche d'étang, loche franche, loche de rivière, perche, rotengle, tanche, vandoise

Tableau 9 : Synthèse des conditions et des espèces référencées dans l'annexe hydraulique A13 lors des inventaires piscicoles de 2017 et 2018

Le débit influence le niveau d'eau dans les annexes hydrauliques et indirectement leur température. C'est particulièrement remarquable dans celles qui se déconnectent rapidement du lit mineur. Ce facteur explique probablement la forte différence du peuplement piscicole

inventorié dans l'annexe hydraulique A13 entre les années 2017 et 2018 (tableau 9). En 2017, seules des espèces eurythermes et supportant des faibles concentrations en oxygène dissous étaient présentes dans celle-ci. Aucun juvénile de brochet n'avait été capturé alors que 41 l'ont été l'année suivante.

2.6 Devenir des brochets marqués et impacts anthropiques

Le protocole de suivi par radiopistage, les investigations complémentaires en dehors du secteur d'étude et l'implication des pêcheurs dans l'étude ont permis de comprendre le devenir de la quasi-totalité des brochets marqués et de mettre en lumière des impacts anthropiques sur la population de brochets du fleuve Meuse.

2.6.1 Devenir des brochets marqués

Après 28 mois de suivi pour 55 individus et 16 mois pour 45 autres, seuls 2% des brochets étaient toujours vivants dans le secteur étudié. 19% ont été classés comme morts, 16% comme ayant dévalé, 1% comme ayant franchi le barrage situé en amont du secteur étudié, 14% comme étant piégés dans des ballastières, 20% comme ayant été capturés, 25% comme ayant été probablement capturés, 1% comme ayant été prédaté et enfin 2% comme ayant disparu (figure 48).

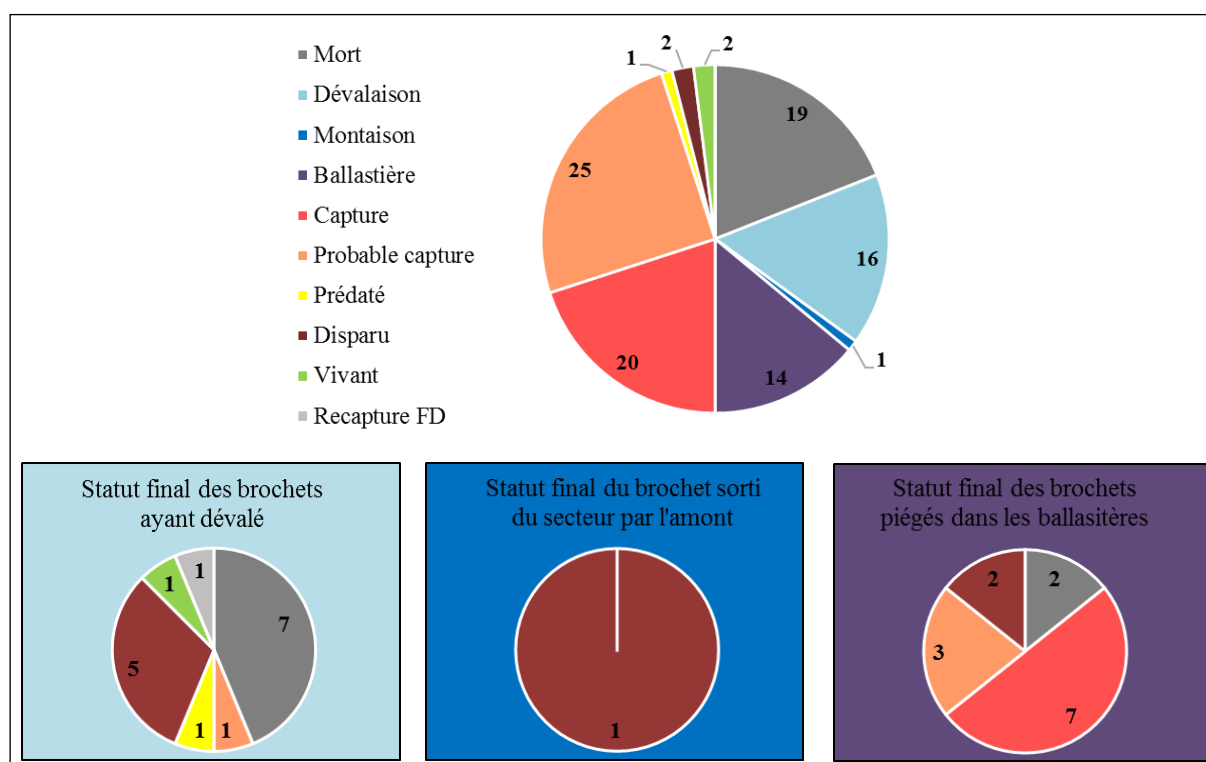


Figure 48 : Statut final des brochets marqués (n=100)

- **Les brochets morts**

La mort des brochets a pu être mise en évidence par l'observation de poissons morts, des détections avec un signal en 10 s pendant plusieurs campagnes de radiopistage successives, et des détections suspectes par la station fixe. 3 brochets sont morts peu de temps après le marquage (entre 1 et 32 jours). Les manipulations lors de la capture, l'opération de marquage ou la remise à l'eau ont peut-être compromis la survie de ces individus. Quelques poissons sont probablement morts après une capture par un pêcheur l'ayant relâché ensuite (1 à 4 individus). Les autres morts non expliquées sont certainement d'origine naturelle.

- **Les dévalaisons**

16 brochets ont franchi la limite aval du secteur d'étude qui était matérialisée par un seuil. Les dévalaisons ont été mises en évidence par des détections cohérentes par la station fixe et des campagnes de radiopistage mobile en aval du secteur d'étude. Ces dernières ont permis de connaître pour certains brochets leur statut final après dévalaison (7 morts, 1 probablement capturé par un pêcheur, 1 prédaté par un renard, 1 encore vivant à la fin de l'étude, 1 recapturé par pêche électrique par la FDPPMA 55 et 5 disparus).

- **Les montaisons**

Elles étaient considérées comme quasi impossibles avant le démarrage de l'étude en raison de la présence d'un barrage à aiguilles au niveau de la limite amont du secteur d'étude. Les crues importantes de l'hiver 2018 ont conduit VNF à « coucher » totalement le barrage pendant 22 jours entre le mois de janvier et février. Cette opération a permis à plusieurs brochets marqués de franchir l'ouvrage : 8 individus marqués différents, correspondant à 17% de l'effectif de brochets encore vivants dans le secteur d'étude à la période à laquelle ces franchissements ont eu lieu. La plupart des brochets marqués ayant franchi le barrage sont ensuite revenus dans le secteur d'étude. 1 seul est resté en amont et n'a plus été retrouvé ensuite car le secteur amont ne faisait pas l'objet de campagnes de radiopistage régulières.

- **Le piégeage dans des ballastières**

Les crues de l'hiver 2018 ont conduit à la mise en communication de plusieurs plans d'eau (ballastières) avec le fleuve. Durant cette période, plusieurs brochets sont sortis du lit mineur pour explorer le lit majeur du fleuve et certains sont allés dans une ou plusieurs ballastières. Lors de la baisse du débit du fleuve, 14 individus sont restés piégés dans 5 plans d'eau différents. Ce nombre est important car il correspond à 30% de l'effectif vivant et présent dans le secteur d'étude avant les périodes de crues de l'hiver 2018. La mise en évidence du piégeage des brochets dans les ballastières a été possible grâce à des campagnes de radiopistage depuis les berges et en bateau, ainsi qu'aux retours d'informations des pêcheurs. Ces données ont également permis d'évaluer le statut final des brochets après piégeage dans les plans d'eau. 7 ont été capturés par des pêcheurs, 3 ont probablement été capturés, 2 sont morts et 2 ont disparu.

- Les captures par les pêcheurs

20 brochets ont été capturés de manière certaine dans le secteur d'étude. Les captures par les pêcheurs ont été identifiables grâce aux éléments suivants :

- des détections étranges de la station fixe qui indiquaient un passage trop rapide du poisson dans le fleuve et qui correspondaient en réalité à un passage du poisson dans une voiture sur un pont situé à proximité de la station ;
- des détections d'émetteurs dans des voitures et maisons lors de campagnes de radiopistage mobile ;
- des retours d'émetteurs par les pêcheurs ;
- des émetteurs retrouvés par terre sur des zones de pêche ;
- des transferts de poissons dans des eaux closes en dehors de périodes de crues.

- Les probables captures par les pêcheurs

L'association de plusieurs des éléments suivants laissent fortement supposer que 25 brochets ont été capturés par des pêcheurs :

- la localisation des dernières détections avant disparition, sur des zones fortement fréquentées par les pêcheurs ;
- la taille des poissons disparus (généralement supérieure à la taille légale de capture) ;
- les périodes de disparition correspondant principalement à des périodes de pêche (figure 49) ;
- des détections de poissons morts, avec un signal en 10 s, sur des sites de pêche pouvant indiquer que l'émetteur a été rejeté à l'eau après capture.

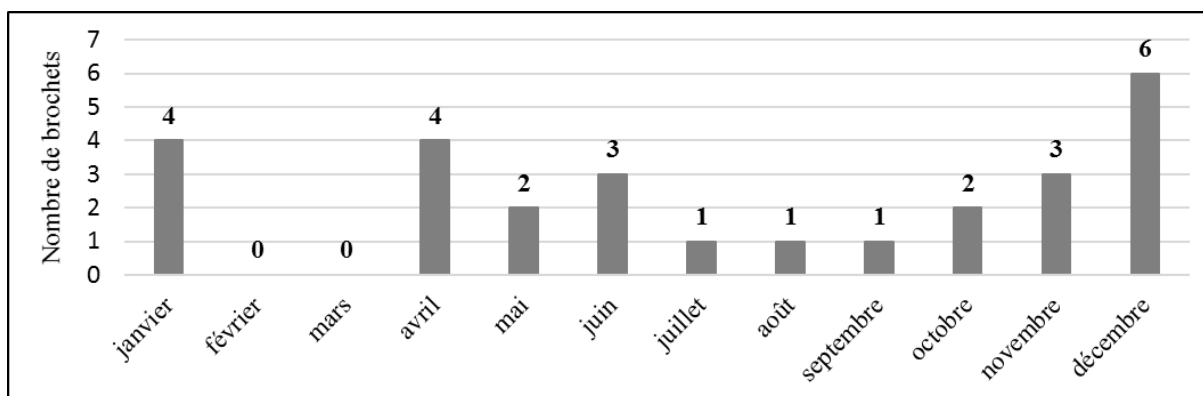


Figure 49 : Périodes de disparition des brochets classés en "probable capture"

- La prédation

1 brochet a été prédaté probablement par un renard. Des détections étranges lors d'une campagne de radiopistage mobile au mois de février 2018 ont permis de retrouver le poisson enfoui dans de la litière sans tête et avec des traces de morsures (figure 50).



Figure 50 : Photographies du brochet prédaté probablement par un renard

- Les disparus

2 brochets ont été qualifiés de « disparus » car aucune interprétation plausible n'expliquait leur disparition. Le brochet n°106, observé en mauvais état sanitaire le 13/04/2019, a disparu à partir du 21/04/2019. Le poisson a pu être récupéré par une personne ou prédaté. Le brochet n°156 a disparu pendant une période de crues. Il a peut-être franchi la limite amont du secteur d'étude ou été prédaté.

- Les brochets vivants

2 brochets étaient toujours vivants dans le secteur d'étude à la fin des campagnes de radiopistage (2 brochets marqués en 2017).

2.6.2 Différences entre les brochets du fleuve et les brochets de repeuplement

L'échantillon de poissons pour les deux lots étant faible, il a été difficile de faire une analyse convenable pour tester si l'origine des brochets avait une influence sur leur devenir (statut final). Cependant, il peut être mentionné qu'il n'y a aucun lien significatif entre le statut final et leur origine, et donc de différences notables de l'origine des poissons dans ce cas (figure 51). Un test de Chi² a été réalisé et ressort non significatif.

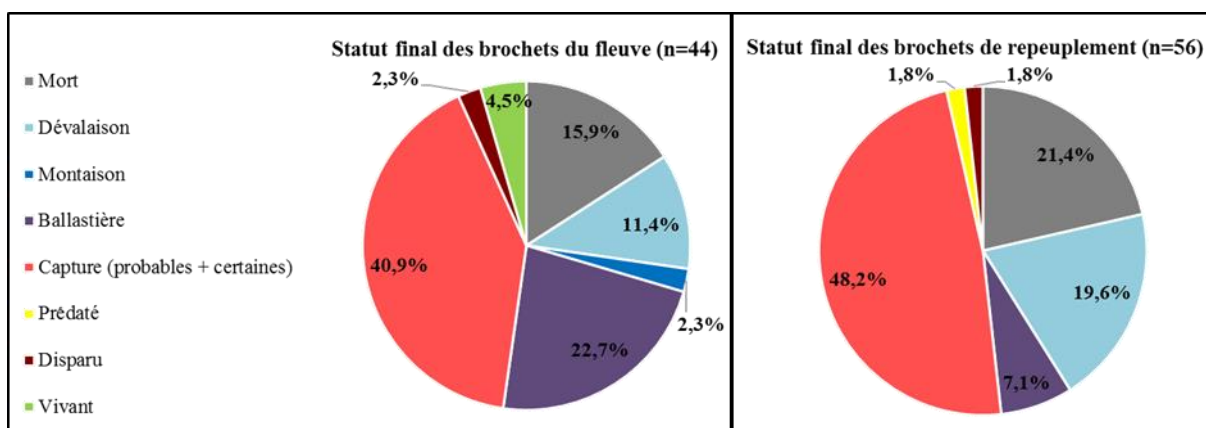


Figure 51 : Statut final des brochets marqués originaires du fleuve (n=44) et originaires du repeuplement (n=56)

Néanmoins, selon l'analyse du temps de présence dans le secteur d'étude en fonction de l'origine, il apparaît un effet significatif du « lot de brochets » (p-value < 0,05, test non paramétrique de Kruskal-Wallis). Celui-ci concerne seulement une différence entre les lots Fleuve 2016 et Pisciculture 2016 (test post-hoc de comparaison multiple). La représentation

graphique des boxplots du temps de présence en fonction des différents lots montre tout de même une tendance des lots piscicultures à rester un peu moins longtemps dans le secteur d'étude que les brochets provenant du fleuve (figure 52).

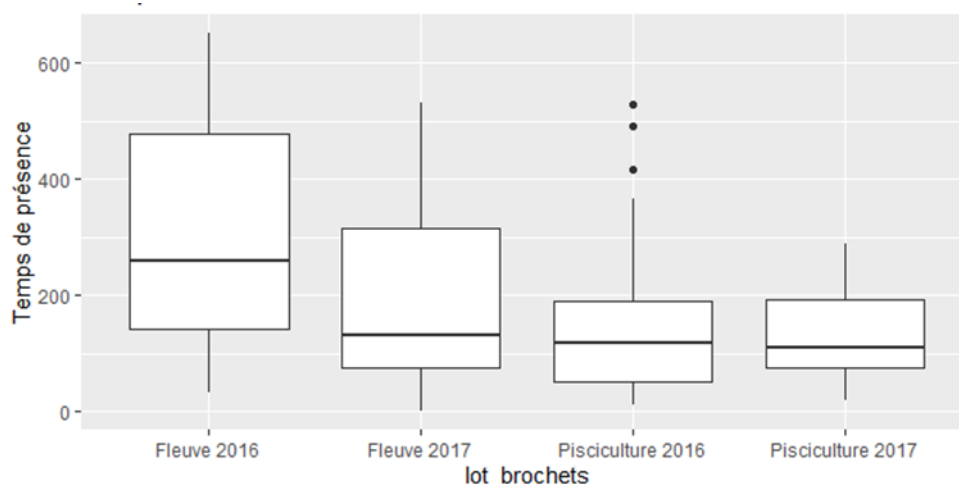


Figure 52 : Boxplots du temps de présence dans le secteur d'étude en fonction des lots de brochets marqués

Les pertes de brochets dans le secteur d'étude se font progressivement avec parfois des « paliers » (périodes où les pertes sont faibles) et à d'autres moments des accélérations (périodes où les pertes sont importantes) (figure 53). Les périodes de paliers correspondent principalement aux périodes estivales. Les pertes par dévalaison, montaison, piégeage dans les ballastières y sont faibles. La pression de pêche est également moins marquée pendant ces périodes. Pour les lots de poissons marqués en 2017 (fleuve et pisciculture), une accélération des pertes est constatée à partir du 64^{ème} jour et pendant une quarantaine de jour. Cette période correspond aux crues importantes de l'hiver 2018 où des brochets sont sortis du secteur d'étude par montaison, dévalaison et par migration latérale dans les ballastières.

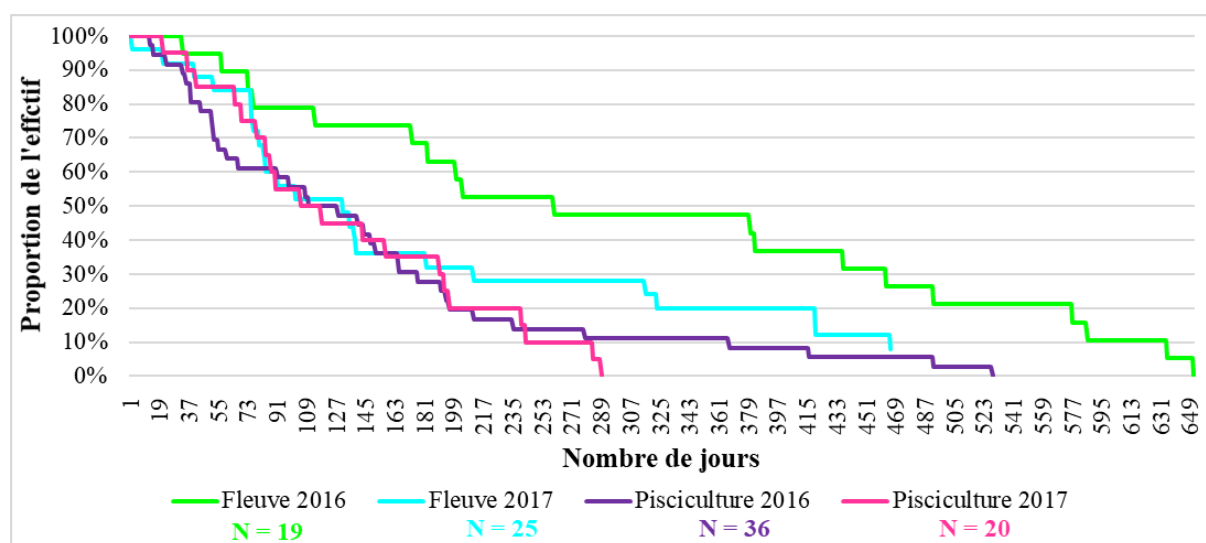


Figure 53 : Évolution de la proportion de brochets vivants des différents lots de poissons marqués dans le secteur d'étude en fonction du temps

2.6.3 Observations sur le comportement des pêcheurs

Le suivi par radiopistage des brochets a permis d'améliorer les connaissances sur le comportement de l'espèce mais également de mettre en évidence certaines pratiques des pêcheurs.

2.6.3.1 La pratique du No-Kill

Cette pratique, appelée aussi graciage, qui consiste à relâcher le poisson dans son milieu après sa capture, se développe depuis plusieurs années. Grâce à la présence de l'antenne de l'émetteur et la marque spaghetti, certains pêcheurs ont fait remonter l'information de la capture de brochets marqués. 38 pêcheurs ont signalé (directement ou indirectement) la capture d'un brochet et la moitié d'entre eux ont relâché leurs prises. Parmi les 19 brochets capturés puis relâchés, seuls 14 ont pu être correctement identifiés (certitude du numéro de l'émetteur forte à moyenne). Plusieurs d'entre eux ont été attrapés puis relâchés plusieurs fois et 2 l'ont été la même journée. Le suivi du devenir de ces brochets relâchés ne semble pas mettre en évidence une mortalité rapide après capture (Figure 54). Ces observations sont en adéquation avec la survie des brochets marqués suite à leur marquage au début du suivi (3 brochets sur 100 potentiellement).

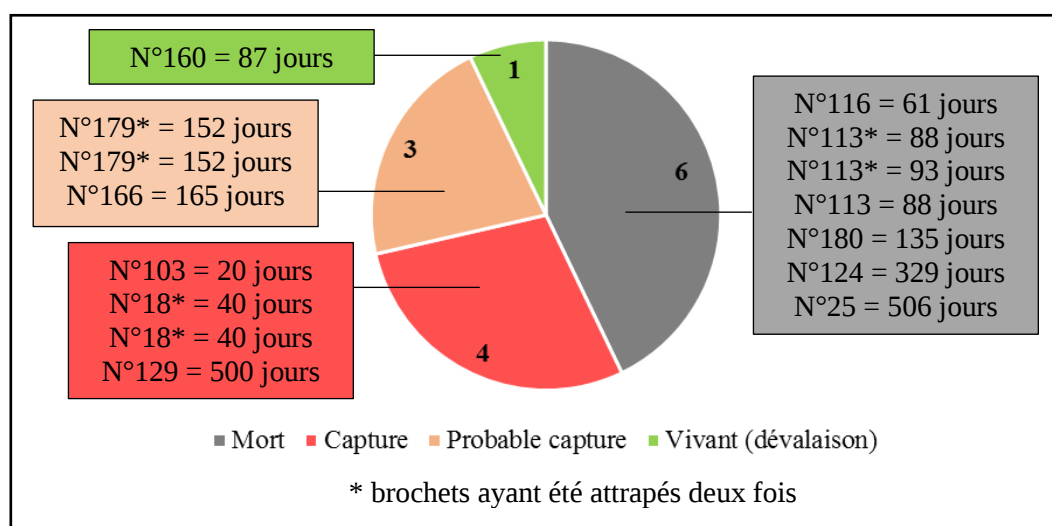


Figure 54 : Devenir des brochets capturés puis relâchés par des pêcheurs (n = 14)

Après leur capture par un pêcheur, certains brochets ont effectué des déplacements qui ne semblaient pas être influencés par des facteurs environnementaux (débit entre autres). Ce type de déplacements, souvent orientés vers l'aval et sur des distances de quelques centaines de mètres, a aussi été observé à plusieurs reprises suite au marquage des brochets issus du fleuve (figure 55) et suite à la tentative de recapture de brochets marqués par pêche électrique. Tous ces événements provoquent probablement un « stress » chez le poisson qui quitte temporairement sa zone habituelle.

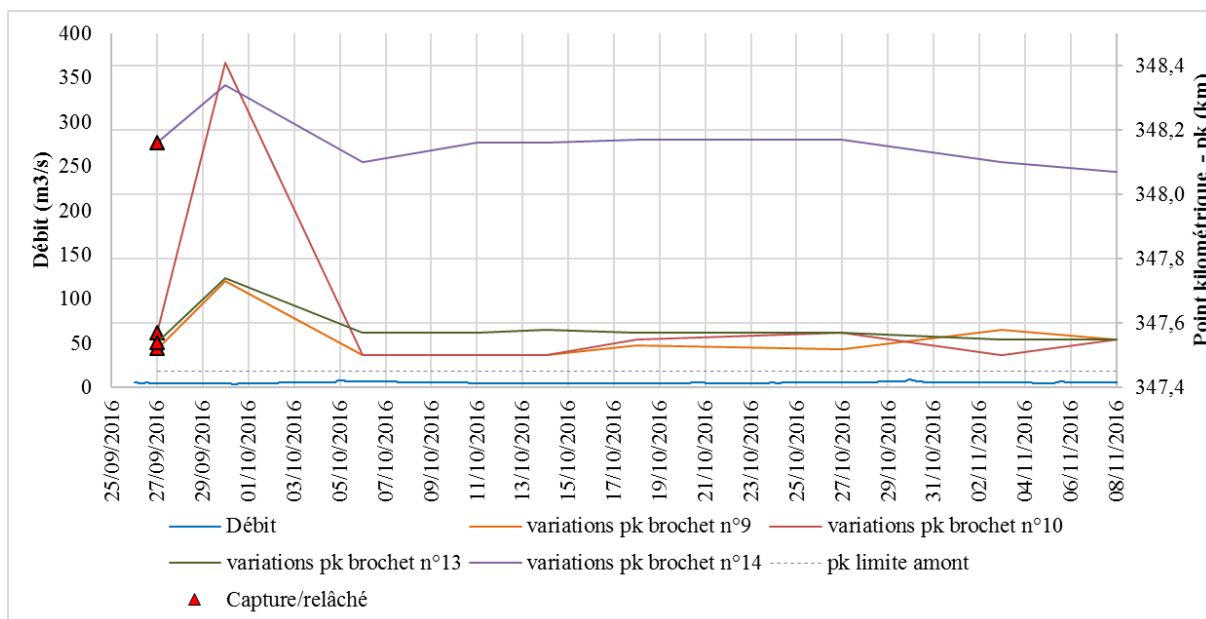


Figure 55 : Déplacements de quatre brochets capturés dans le fleuve les jours suivant l'opération de marquage

2.6.3.2 Le transfert de poissons

Le suivi des brochets par radiopistage a permis de mettre en évidence le transport et le déplacement de brochets vivants par les pêcheurs d'un milieu à un autre. Cette mise en évidence a été faite lorsque 2 brochets marqués n'ont plus été détectés dans le fleuve Meuse mais dans deux ballastières situées à proximité du fleuve. Ces observations ont été faites durant l'hiver 2017 dans conditions hydrologiques n'ayant pas permis de communication naturelle entre le fleuve et les plans d'eau (figure 56).

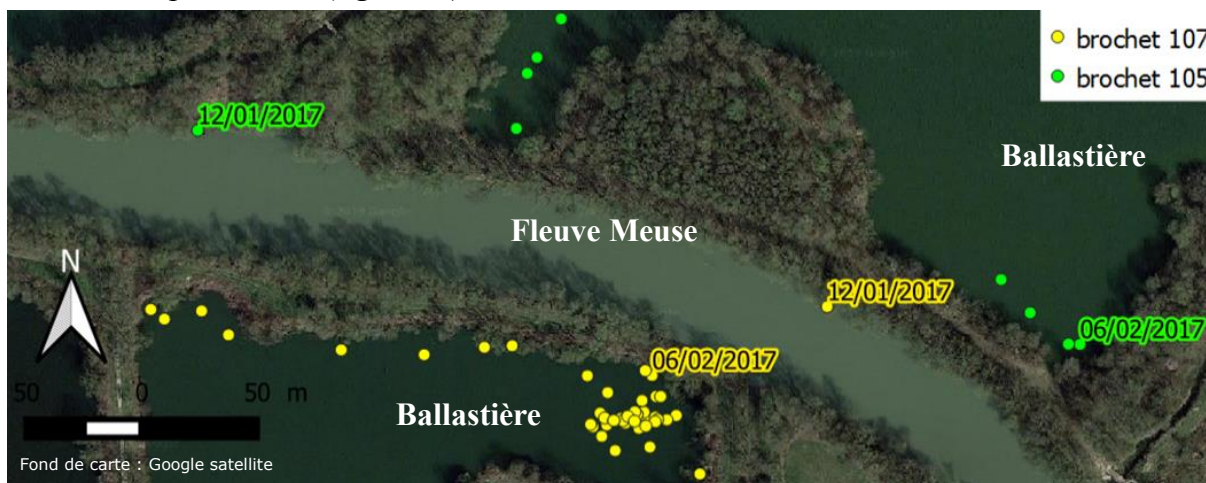


Figure 56 : Dernière position des brochets n°105 et 107 dans le fleuve Meuse et positions dans les ballastières

2.6.3.3 Le braconnage

Le braconnage a été mis évidence par la pratique de la pêche en dehors de la période légale de pêche de l'espèce et par la conservation de brochets ayant une taille inférieure à la maille réglementaire. 5 brochets dont le statut final est « capture » ou « probable capture » ont été prélevés en dehors de la période légale de capture (4 au mois d'avril et 1 au mois de février). Ces données sont en adéquation avec des observations de terrain montrant la présence de pêcheurs aux carnassiers durant la période de fermeture. 4 brochets, au minimum, ont été conservés par les pêcheurs alors que leur taille était inférieure à la limite légale (60 cm depuis le 1^{er} janvier 2017 dans le département de la Meuse) (tableau 10).

Numéro brochet	Date du marquage	Longueur totale lors du marquage	Date estimée de la capture	Durée de présence vivant
168	21/10/2017	435 mm	28/02/2018	130 jours
101	22/11/2016	433 mm	27/01/2017	66 jours
102	22/11/2016	467 mm	20/01/2017	59 jours
188	02/11/2017	467 mm	22/11/2017	20 jours

Tableau 10 : Données permettant de mettre en évidence la capture de quatre brochets ne faisant pas la taille légale de capture

2.6.3.4 Le « jeu » avec les émetteurs

Par méconnaissance ou par malveillance, certains pêcheurs ont manipulé des émetteurs après la capture d'un brochet et ont créé des artéfacts d'émissions de signaux. Les campagnes de radiopistage régulières et des investigations complémentaires ont permis de mettre en évidence ces fausses détections de poissons. Entre 1 et 7 émetteurs ont été rejetés à l'eau par des pêcheurs après la capture d'un poisson marqué. Les détections avec un signal en 10 s sur des zones fortement pêchées ont permis de mettre en évidence ce phénomène. 1 émetteur a été retrouvé sur une berge et un autre enfoncé dans le sol. Ces deux émetteurs ont été retrouvés car le signal d'émission envoyé par l'émetteur était inhabituellement puissant (car l'émetteur était en dehors de l'eau) et en 10 s. Enfin 4 émetteurs ont été retrouvés dans des voitures ou maisons à proximité du secteur d'étude grâce à des détections bizarres (10 s et/ou 3 s, désorientées par rapport au lit du cours d'eau). La figure 57 illustre la vie d'un de ces émetteurs avant et après sa capture par un pêcheur.



Figure 57 : Déplacements de l'émetteur du brochet n°21 avant et après sa capture le 15/07/2017

3. Discussion

3.1 Méthodologie, jeu de données et performances du système de radiopistage

3.1.1 Le site d'étude

Le site étudié était un tronçon d'environ 7,5 km de cours d'eau (fleuve Meuse) comportant une vingtaine d'annexes hydrauliques. Il présentait des caractéristiques favorables pour répondre aux objectifs de l'étude (forte densité d'annexes hydrauliques restaurées entre autres). Ses limites amont et aval, considérées initialement comme difficilement franchissables par la faune piscicole, ont été traversées à de multiples reprises par des brochets marqués. Cette situation a conduit à organiser ponctuellement des campagnes de radiopistage en dehors du secteur d'étude afin de confirmer l'origine des disparitions d'individus marqués. L'une d'entre elles a permis de détecter un brochet, probablement mort (signal en 10 s), à un peu plus de 20 km en aval du secteur d'étude. Sur l'Ill, un affluent du Rhin, une étude de radiopistage menée avec 52 brochets a montré une amplitude maximale de montaison de 20 km et de 16,2 km pour la dévalaison à partir du point de relâcher (Dubost et *al.* 2004). Un agrandissement de l'étendue de notre secteur d'étude aurait été nécessaire pour réaliser un suivi exhaustif de tous les brochets marqués. De même, les plans d'eau présents dans le lit majeur de la Meuse n'ont pas été considérés initialement comme faisant partie du secteur d'étude. Ils ont été réintégrés au cours du suivi, uniquement pendant les périodes d'inondation du lit majeur, car plusieurs brochets marqués ont été détectés dans ces milieux durant les crues. Une meilleure connaissance des connexions existantes entre les plans d'eau et le fleuve avant le démarrage de l'étude aurait pu permettre de suivre plus rapidement et plus efficacement les pertes de poissons dans ces milieux.

3.1.2 Paramètres suivis dans le fleuve et les annexes hydrauliques

Plusieurs paramètres (débit, hauteur d'eau, température, habitat) ont été suivis dans le fleuve et ses annexes hydrauliques afin de disposer de variables explicatives permettant d'interpréter les déplacements des brochets. D'autres facteurs, pouvant avoir une influence sur leurs comportements, n'ont pas été suivis ou l'ont été de manière superficielle. La bathymétrie du lit mineur du secteur d'étude a été réalisée avant le début de l'étude de manière succincte. Pour une exploitation approfondie de l'influence de ce paramètre sur les déplacements des brochets, il aurait été intéressant d'appliquer un protocole standardisé permettant d'avoir un maillage plus fin et plus complet de la bathymétrie dans le fleuve et ses annexes hydrauliques. L'importance de la profondeur d'eau à laquelle évoluent les brochets a particulièrement été mise en évidence chez les juvéniles où elle est dépendante de leur taille (Berg et *al.* 2012). Une cartographie précise des zones colonisées par la végétation aquatique en période estivale aurait permis de mieux mettre en évidence certains déplacements de brochets liés à leur présence/absence au fil des saisons. De nombreuses études soulignent l'importance de ce paramètre à toutes les étapes du cycle de développement du brochet (Skov et *al.* 2018). Chancerel (2003) estime que les capacités d'accueil pour le brochet sont optimales lorsque 25 à 75% des surfaces sont occupées en période estivale par la végétation aquatique. Des mesures de la turbidité auraient pu être

réalisées dans le fleuve et ses annexes hydrauliques car la transparence de l'eau conditionne la croissance des végétaux immergés (Chancerel 2003). Même si les œufs et larves de brochet sont partiellement protégés du fait de leur fixation au-dessus du fond, ils demeurent fortement sensibles aux dépôts (Chancerel 2003). Plusieurs études conduites sur l'espèce *Esox lucius* ont émis l'hypothèse que certains de leurs déplacements pouvaient être dus à un suivi des proies au cours des différentes saisons (Klober et *al.* 2008) ou en fonction du débit (Masters et *al.* 2002). Bien que difficile à mettre en œuvre, un suivi des déplacements des proies aurait peut-être permis de mieux comprendre certains comportements des brochets durant notre étude.

3.1.3 L'échantillon de brochets et l'opération de marquage

Une des difficultés de ce type d'étude est de constituer un échantillon assez important permettant d'avoir suffisamment de données à analyser. Plusieurs aspects ont permis de disposer d'un vaste échantillon de brochets pour ce suivi : la densité de brochets adultes du fleuve Meuse, la multiplication des techniques de capture (pêche électrique, pêche à la ligne), l'apport de poissons issus de pisciculture et la poursuite de l'étude pendant une année supplémentaire induisant de nouvelles campagnes de capture. Malgré la constitution d'un échantillon de 100 brochets, les pertes (mortalités, dévalaisons, captures...) ont conduit pour la majorité des analyses à travailler avec des sous-échantillons de tailles moins importantes. Par exemple, seulement 22/55 brochets ont pu être suivis pendant la période « A/H 2016/2017 » et seulement 4/55 ont vécu les deux périodes « A/H » (2016/2017 et 2017/2018). Ce constat, observé dans plusieurs suivis de ce type, conclut à la nécessité de constituer un vaste échantillon de départ et de consacrer un effort important à la phase de constitution de ce dernier, en particulier si des individus doivent être capturés dans le milieu naturel.

Plusieurs données ont été collectées sur les brochets marqués afin de fournir des variables explicatives permettant de comprendre leurs comportements : longueur totale, poids, âge. D'autres, ne l'ont pas été pour diverses raisons. Aucun brochet n'a été sexé par observation de l'orifice urogénital au moment du marquage car l'incertitude de la détermination était trop importante à cette période de l'année. Plusieurs études ont démontré l'influence du sexe sur les déplacements des brochets en période de reproduction (Skov et *al.* 2018, Koed et *al.* 2006), avec notamment la démonstration que les mâles accèdent aux zones de frayère avant les femelles (Carbine 1942, Clark 1950, Knight 2006). Les prélèvements de nageoires effectués sur les brochets au moment du marquage n'ont pas été exploités. Ces échantillons auraient pu faire l'objet d'analyses génétiques afin de déterminer si, parmi les brochets capturés dans le fleuve, certains avaient subi des modifications de leur patrimoine génétique du fait d'anciennes opérations de repeuplement (pollution génétique). La mise en évidence par Miller et *al.* (2001) de l'isolement reproductif de deux populations de brochets vivant dans le même milieu à partir du polymorphisme allélique démontre que le paramètre génétique peut avoir une influence sur le comportement de l'espèce.

3.1.4 Le radiopistage mobile

Pour Koed et *al.* (2000), les distances de déplacement déterminées à partir du radiopistage correspondent à des estimations minimales, car la méthode ignore les trajets exacts effectués entre deux pointages. Notre étude a mis en évidence cette limite lors d'une journée où trois campagnes de radiopistage ont été réalisées successivement (en période de reproduction). Les détections du brochet n°20 (brochet modèle), lors de ces passages successifs, ont permis d'observer un déplacement longitudinal de l'ordre de 1 km minimum et la fréquentation d'une annexe hydraulique (A3) jamais fréquentée auparavant par ce poisson. Ces deux événements seraient passés inaperçus sans la campagne réalisée en milieu de matinée où 3 positions différentes ont été enregistrées chez ce brochet qui était en cours de déplacement (figure 58).

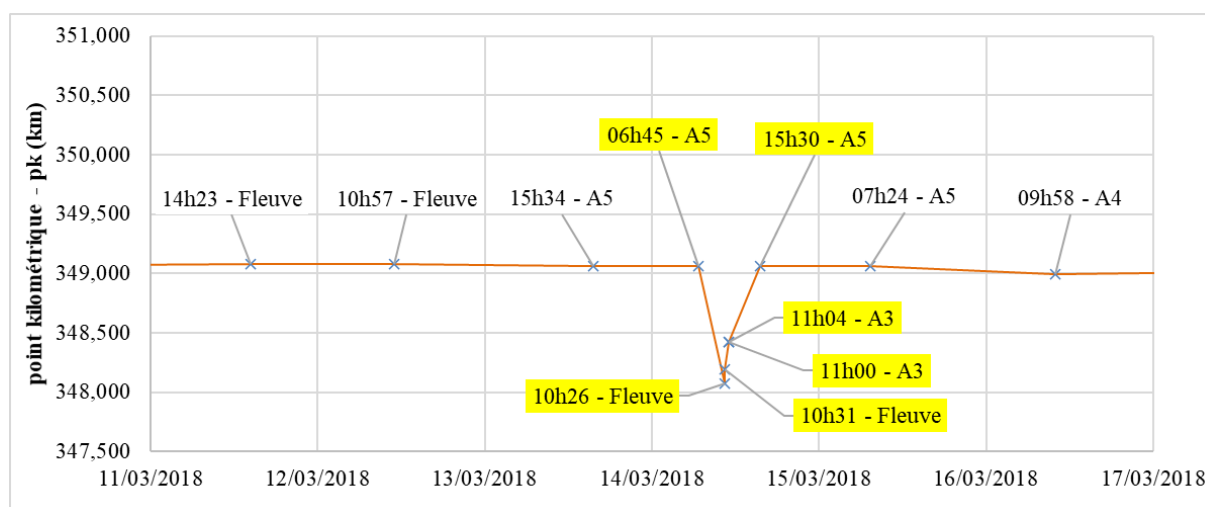


Figure 58 : Déplacements du brochet "modèle" (n°20) du 11/03/2018 au 16/03/2018 et mise en évidence de déplacements importants lors de 3 campagnes de radiopistage réalisées le même jour

En général, le brochet a une activité plus importante la journée et plus faible la nuit (Skov et *al.* 2018). Ce comportement explique probablement les faibles variations de positions observées chez certains brochets entre deux campagnes de radiopistage lorsque les paramètres environnementaux étaient constants.

L'acquisition des données par radiopistage comporte aussi des limites liées aux caractéristiques du terrain. Dubost et *al.* (2004) soulignent que des zones inondées de l'III n'ont pas pu être prospectées pendant toutes les périodes d'inondation, rendant impossible le repérage de certains poissons. Il en est de même au cours de notre suivi. Lorsque le fleuve Meuse inondait la vallée alluviale (sur une largeur d'environ 1 km par endroits), l'intégralité du linéaire étudié ne pouvait être parcouru. Durant ces périodes, des campagnes de radiopistage partielles ont été réalisées.

Pour le suivi d'animaux en milieux aquatiques, l'application des techniques de radiopistage pose certains problèmes d'utilisation qui n'existent pas pour les animaux terrestres. Le signal transmis par l'émetteur s'atténue plus rapidement dans l'eau que dans l'air, et ce d'autant plus que la profondeur est importante, que la conductivité électrique de l'eau augmente et que la

fréquence d'émission est élevée (Winter 1983). Au cours de notre étude, nous avons également observé que d'autres facteurs diminuaient la qualité de détection des signaux : la forte densité de la végétation rivulaire, la détérioration du câble reliant le récepteur à l'antenne et la forte densité de poissons marqués sur un espace réduit. La connaissance de l'ensemble de ces facteurs a permis d'améliorer au fil de l'étude le taux de détection des brochets.

3.1.5 Station fixe de radiopistage

La station fixe de radiopistage, située en aval du secteur d'étude, a permis de mettre en évidence plusieurs dévalaisons de brochets marqués et ainsi de comprendre l'origine de leur disparition. Les facteurs intervenant sur l'efficacité de la détection de ce système sont similaires à ceux du radiopistage mobile auquel il faut ajouter la continuité de l'alimentation électrique. Dans notre étude, la station fixe a cessé de fonctionner pendant 14,44% du temps du suivi, ce qui a entraîné des « ratés » dans la comptabilisation des dévalaisons. Des campagnes de radiopistage mobile en aval du secteur d'étude ont permis de combler en partie ces lacunes. L'absence d'installation d'une station fixe en amont du barrage de Belleville-sur-Meuse (limite amont du secteur d'étude) a été une erreur car plusieurs poissons ont réussi à franchir cet obstacle. D'autres stations fixes auraient pu être installées au niveau des chemins d'accès menant aux principaux sites de pêche du secteur d'étude afin de confirmer la disparition de poissons par les captures de pêcheurs. A la fin de notre suivi, une opération de ce type a été réalisée avec le déplacement de notre station fixe et le repeuplement de 15 nouveaux brochets marqués issus de pisciculture. Cette opération a permis la détection de plusieurs brochets marqués et d'affirmer que leur disparition était bien provoquée par des captures de pêcheurs.

3.1.6 Les inventaires piscicoles réalisés dans les annexes hydrauliques

Les inventaires piscicoles dans les annexes hydrauliques avaient pour objectif d'évaluer leur fonctionnalité pour la reproduction du brochet en comparant les densités de juvéniles présents dans ces dernières. La méthode de capture par pêche électrique est efficace pour capturer les juvéniles mais ne permet pas de quantifier efficacement leur densité dans les différentes frayères pour les raisons suivantes :

- la méthode de capture n'est pas efficace à 100% sur les surfaces prospectées et peut induire une fuite chez les poissons ;
- les différents appareils de pêche électrique n'ont pas tous la même efficacité ;
- les quantités de juvéniles présentes dans les annexes hydrauliques au moment de l'inventaire ne reflètent pas la quantité d'œufs éclos, en raison du fort taux de mortalité chez les jeunes stades de développement de l'espèce (Chancel 2003), ni même de la quantité de juvéniles qui colonisera le lit mineur, en raison de la migration rapide des alevins vers ce dernier (Carbine 1942 et Nilsson et *al.* 2014).

Pour mesurer des différences de capacité de recrutement de brochets entre les annexes hydrauliques, il aurait pu être envisageable d'en équiper certaines avec des pièges pour recueillir les juvéniles émigrant de la frayère (à proximité de leur connexion avec le lit mineur

par exemple). Avec un tel système, Nilsson *et al.* (2014) ont réussi à déterminer la quantité de juvéniles produite dans différentes zones de reproduction après des travaux de restauration.

3.2 Déplacements dans le lit mineur et habitats du brochet

3.2.1 Périodicité des déplacements

En rivière, l'activité journalière des brochets semble être stable et plus faible l'été que les autres mois plus frais (Masters *et al.* 2005, Knight *et al.* 2009, Pauwels *et al.* 2014). Compte-tenu du caractère saisonnier de certains déplacements des brochets, deux périodes ont été définies dans le cadre de notre étude : « P/E » (du 1^{er} mai au 15 octobre) et « A/H » (du 16 octobre au 30 avril). Dubost *et al.* (2004) proposent dans le cadre d'un suivi télémétrique réalisé sur l'Ill un découpage, en 2 périodes, assez similaire à celui proposé dans notre étude : une période couvrant les mois de mai à novembre et une seconde s'étalant de décembre à avril. Pour cette dernière, la moyenne des amplitudes de déplacement (pk max - pk min) des brochets était de $3,7 \pm 3,9$ km alors qu'elle n'était que de $1,5 \pm 1,7$ km de mai à novembre. Dans le cadre de notre suivi, une différence significative a également été mise en évidence dans l'étendue des déplacements des brochets entre les périodes « A/H » (2016/2017 = $2,2 \pm 1,7$ km et 2017/2018 = $3,0 \pm 2,3$ km) et les périodes « P/E » (2017 = $1,2 \pm 1,0$ km et 2018 = $0,8 \pm 0,8$ km). La non prise en compte des individus ayant quitté le secteur d'étude (majoritairement par dévalaison) dans ce calcul conduit très probablement à minimiser ce résultat.

3.2.2 Domaine vital du brochet

L'exploitation de l'espace, comme la dispersion depuis un site d'origine ou l'adoption d'une taille particulière de domaine vital, peut être considérée comme un choix coûts/bénéfices, notion centrale dans l'écologie comportementale (Krebs *et al.* 1997). Par exemple, l'utilisation d'un grand domaine vital offre potentiellement de plus grands avantages en termes de ressources, comme des proies pour le brochet, mais nécessite également des coûts de locomotion plus élevés. Les débits importants de la Meuse pendant les périodes « A/H » ont permis de déterminer l'étendue du domaine vital des brochets à l'intérieur du secteur d'étude (pk max – pk min, sur la durée du suivi). Dans la rivière Frome (Angleterre), la taille de domaine vital des brochets a tendance à varier pendant les saisons (Knight *et al.* 2009). Hodder *et al.* 2007 ont également mis en évidence sur la rivière Frome que la taille du domaine vital n'était pas corrélée au débit durant les périodes où l'eau restait dans le lit mineur. En revanche, durant les inondations, les domaines vitaux étaient significativement plus grands. Dans notre étude, l'étendue du domaine vital a été inférieure à 3 km pour 2/3 des brochets (avec la limite de ne pas avoir intégré les brochets qui sont sortis du secteur d'étude). Ce résultat confirme que la plupart des brochets se déplacent sur des linéaires assez réduits. Dubost *et al.* (2004) ont trouvé des résultats assez similaires sur la rivière Ill avec 72% des brochets qui ont eu une amplitude de déplacements de moins de 5 km lors d'une étude menée par radiopistage.

3.2.3 Déplacements longitudinaux

Une forte variabilité interindividuelle a été mise en évidence chez les brochets en analysant l'étendue de leurs déplacements et les distances qu'ils ont parcourues entre deux campagnes de radiopistage. Cette variabilité a été démontrée dans plusieurs études en milieu lotique, lentique et saumâtre (Jepsen et *al.* 2001, Koed et *al.* 2006, Kobler et *al.* 2009, Jacobsen et *al.* 2017). Kobler et *al.* (2009) proposent que ces diversités comportementales réduisent la compétition intraspécifique et jouent un rôle dans la distribution spatiale des brochets.

L'étendue des déplacements des brochets dans le lit mineur de la Meuse est faiblement corrélée avec leur l'âge et leur taille. Skov et *al.* (2018) indiquent que ce type de relations est rarement observé à cause de la variabilité de comportement de l'espèce. Pourtant Dubost et *al.* (2004) ont également observé un effet de l'âge, de la taille et du poids des brochets sur leurs déplacements totaux mais en ne prenant en compte que les plus élevés (variant de 15,8 à 29,1 km) à partir d'un échantillon de 10 brochets suivis par radiopistage dans l'Ill. Ces résultats et ceux que nous avons obtenus semblent indiquer qu'en cours d'eau, les brochets les plus grands fréquentent des linéaires plus importants et possèdent un domaine vital plus vaste que les petits.

Au cours de notre suivi, l'étendue des déplacements des brochets était significativement plus importante durant les périodes présentant des débits élevés. Dubost et *al.* (2004) ont obtenu des résultats similaires sur l'Ill avec des brochets suivis pendant plusieurs années : les débits faibles en mars/avril 2000 ($Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$) ont coïncidé à des déplacements significativement réduits par rapport à ceux de l'année précédente (mars/avril 1999, $Q = 30 \text{ à } 60 \text{ m}^3/\text{s}$). Dubost et *al.* (2004) concluent que la crue semble constituer un facteur déterminant dans le processus de migration même lorsqu'elle survient tard dans la saison, comme en fin d'hiver.

L'orientation et l'amplitude des déplacements amont/aval des brochets, depuis leur point de relâcher, ont été variables d'un individu à l'autre au cours de notre suivi. Dubost et *al.* (2004) n'ont observé aucune différence significative entre l'amplitude moyenne des déplacements de montaison et de dévalaison sur l'Ill à partir de données collectées sur plus de 13 pointages (détectations) pour chaque brochet. Dans notre étude, nous avons toutefois constaté que les brochets relâchés aux abords des ouvrages transversaux ont majoritairement effectué des déplacements unidirectionnels dans le sens opposé à ces derniers. Ce résultat, combiné aux observations d'individus marqués faisant des allers-retours en aval du barrage de Belleville-sur-Meuse et aux confirmations de franchissement des limites de notre secteur d'étude pendant les crues, confirme une nouvelle fois que les ouvrages transversaux impactent les déplacements longitudinaux des brochets dans le fleuve Meuse. Par suivi télémétrique, Dubost et *al.* (2004) ont mis en évidence plusieurs types de comportement des brochets à proximité des barrages sur la rivière Ill : le stationnement au pied du barrage, le demi-tour au pied du barrage, le franchissement vers l'amont et vers l'aval (majoritairement aux périodes de reproduction, de pré-reproduction ainsi que pendant les crues de l'Ill). Les brochets semblent avoir des difficultés

à franchir les ouvrages transversaux et peut-être également les dispositifs de franchissement associés quand ils existent. Dubost et *al.* (2004) soulignent le faible nombre d'observations de brochets, entre la fin des années 1980 et la fin des années 1990, dans plusieurs dispositifs de montaison installés au droit de barrages dans le sud-ouest de la France.

3.2.4 Habitats de prédilection

Au cours de notre étude, les quelques données exploitées pour caractériser les habitats des brochets marqués semblent indiquer que ces derniers choisissent des zones présentant de la végétation aquatique comme habitat préférentiel. Pour Casselman et *al.* (1996), l'abondance des brochets adultes est en rapport avec l'étendue du couvert des macrophytes, qui est optimale dans une proportion de 35 à 80 %. Les petits brochets préfèrent une végétation dense alors que cette préférence diminue quand ils deviennent plus gros (Grimm 1983). Chancerel (2003) estime que les brochets adultes ont besoin de sites caractérisés par des interfaces végétation/pleine eau importantes pour se déplacer et se nourrir.

Une certaine fidélité par rapport au site occupé en dehors des périodes de reproduction et de crues a été observée chez certains brochets dans notre étude. Au cours d'un suivi télémétrique, Klober et *al.* (2008) ont déplacé 8 brochets entre 377 et 550 m de leur centre d'activité d'origine dans un petit lac de 25 ha en Allemagne et ont trouvé que tous les poissons étaient revenus sur leur site de prédilection entre 4 et 143 h plus tard. Durant cette même étude, il a été constaté en hiver une dispersion plus importante des brochets sur des sites qui étaient situés à l'extérieur leur centre d'activités estivales. Klober et *al.* (2008) supposent que ce phénomène soit lié à la perte d'habitats végétalisés car les macrophytes submergés se sont effondrés à la fin du mois d'octobre. Dans notre étude, une hypothèse similaire a été faite pour expliquer les changements de zone d'occupation de certains brochets dans le lit mineur, à l'automne, et en l'absence de variations significatives du débit. Ce phénomène conduit probablement le brochet à chercher de nouveaux habitats, tels que la ripisylve surplombant le cours d'eau, qui a été le type d'habitat le plus exploité par les brochets après la végétation aquatique. Un suivi par radiopistage dans la Sambre canalisée a mis également en évidence l'exploitation de ce type d'habitat pour 3 brochets sur les 7 suivis (Lautissier 2013). Klober et *al.* (2008) suggèrent aussi que la dispersion en hiver des brochets soit influencée par le déplacement des proies, , lesquelles seraient également impactées par l'effondrement des macrophytes submergés et par la baisse de la température.

Le choix de l'habitat des brochets est également fortement influencé par le débit dans les fleuves et les rivières (Skov et *al.* 2018). Dans la rivière Flathead (États-Unis), Dos Santos (1991) a établi que les brochets adultes préféraient des habitats présentant une vitesse d'écoulement de l'eau en dessous de 0,18 m/s avec comme moyenne 0,13 m/s. Dans notre étude, ce facteur pourrait expliquer certains déplacements de brochets qui ont rejoint des zones plus profondes ou calmes (lenticues) lors de l'augmentation du débit du fleuve.

3.3 Migration de reproduction, déplacements latéraux, et fonctionnalité des annexes hydrauliques

3.3.1 Période et migration de reproduction

A l'échelle de la France, la période de reproduction du brochet peut s'étendre de janvier, sur le littoral atlantique, au mois de mai dans les régions du nord-est (Chancerel 2003). Afin d'analyser le plus efficacement possible les comportements liés à la reproduction de l'espèce, une période plus restreinte de reproduction a été définie entre le 15 février et le 14 avril dans notre étude à partir des observations de frai. Ces résultats sont concordants avec ceux obtenus par Ovidio et *al.* (2003) sur la rivière Ourthe (Belgique) où l'arrivée des brochets sur leur site de frai a été constatée entre le 13 février et le 2 avril 2001.

L'activité des brochets matures augmente autour de la période de frai (Skov et *al.* 2018) et le taux élevé de mouvements au printemps semble associé à un comportement de migration plutôt qu'à la recherche d'alimentaire (Masters et *al.* 2005, Knight et *al.* 2009, Pauwels et *al.* 2014). Au cours de notre suivi, plusieurs brochets ont effectué des déplacements importants sur de courts laps de temps pendant la période de reproduction, jusqu'à plus de 8 km en moins de 2 jours. Ovidio et *al.* 2003 ont obtenu des résultats similaires sur l'Ourthe avec des déplacements de plus de 4 km/jour et des migrations qui ont commencé avec des débits importants lors de l'augmentation des températures de l'eau, allant de 6,7 à 8,7 °C (température moyenne quotidienne). Dans notre étude, les brochets observés en frai l'ont été majoritairement lorsque le débit était important et stable, avec des températures comprises entre 7,28 et 9,87 °C orientées à la hausse.

Au cours de notre suivi, quelques brochets marqués ont effectué des déplacements vers des zones de frayère en dehors d'une période de variation du débit du fleuve, puis sont revenus sur leur zone occupée initialement. Ces déplacements, réalisés entre le mois de décembre et janvier, constituent peut-être une forme de repérage des zones de frayère avant la reproduction. Knight (2006) a observé une bonne proportion de mâles fertiles dans des chenaux latéraux de la rivière Frome 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 40 cm), et il suggère qu'ils décident d'arriver tôt sur ces sites pour augmenter leur chance de se reproduire.

3.3.2 Déplacements latéraux des brochets

Il est fréquent d'observer chez le brochet des migrations de reproduction depuis les axes fluviaux vers les hydrosystèmes des plaines d'inondation (Keith et *al.* 2011). Dans notre étude, les taux de détections en dehors du lit mineur étaient plus importants pendant les périodes « A/H » : 11% en moyenne en 2016/2017 avec un débit moyen de 26,70 m³/s et 35,1% en moyenne en 2017/2018 avec un débit moyen de 89,78 m³/s. Le débit apparaît donc comme le principal facteur provoquant les migrations latérales chez les brochets. Leurs positions varient selon un gradient transversal allant du lit mineur au lit majeur en passant par les annexes hydrauliques qui occupent une position intermédiaire. Les migrations longitudinales effectuées

par les brochets marqués pendant la période de reproduction sont donc accompagnées de déplacements latéraux qui leur permettent d'accéder aux frayères (annexes hydrauliques et lit majeur).

En dehors de la période la plus propice pour le frai, des individus marqués ont également fréquenté des annexes hydrauliques, principalement durant les épisodes de crues. Masters et *al.* (2002), ont obtenu des résultats similaires sur la rivière Frome où les chenaux latéraux étaient largement utilisés bien avant la période de frai, en particulier lors de débits élevés en automne/hiver. Dans les environnements lotiques, les zones de calme semblent être le déterminant le plus important pour le brochet (Dos Santos 1991, Lamouroux et *al.* 1999). Les annexes hydrauliques constituent donc à ce titre des zones de refuges attractives pour l'espèce pendant les crues.

En dehors des périodes de hautes eaux et de reproduction, les annexes hydrauliques ont été très peu fréquentées par les brochets. Masters et *al.* (2005) ont fait le même constat sur la rivière Frome où pendant les mois d'été, les canaux latéraux étaient rarement occupés, même ceux qui restaient accessibles malgré la baisse du niveau d'eau.

Notre étude a mis en évidence que les plans d'eau situés dans le lit majeur de la Meuse constituaient un facteur majeur de la perte de brochets pendant les périodes de crues.

Les déplacements de brochets vers des plans d'eau situés dans le lit majeur de la Meuse ont été mis en évidence par notre suivi télémétrique lors de certaines crues. Durant la période « A/H 2017/2018 », 30% de l'effectif de poissons marqués, et toujours vivants, ont été piégés au moment de la décrue dans d'anciennes gravières. Peu d'études traitent de ce sujet qui impacte pourtant de manière non négligeable les stocks de brochets, et probablement d'autres poissons, des cours d'eau. Ce phénomène est simplement abordé par Dasnias (2002) qui indique que le peuplement en poissons des carrières alluvionnaires se fait spontanément lorsqu'elles sont reliées au cours d'eau, que ce soit de manière permanente ou pendant les crues.

3.3.3 L'attractivité des annexes hydrauliques

Bien que la méthode du radiopistage ne permette pas un suivi exhaustif de tous les déplacements des poissons, Dubost et *al.* (2004) ont observé sur l'Ill que 23% des brochets qui avaient visité des sites potentiels de frai étaient passés à proximité d'autres frayères potentielles sans apparemment s'y engager. Ce comportement a également été observé par Masters et *al.* (2005) dans la rivière Frome où certains brochets ont délaissé certains canaux latéraux. Des observations similaires ont été faites durant notre étude. Pendant la période de reproduction, les brochets ne fréquentaient pas forcément l'annexe hydraulique la plus proche de la zone qu'ils occupaient durant la période « P/E ». Ces résultats supposent que certaines annexes hydrauliques sont plus attractives que d'autres pour la reproduction de l'espèce. De plus, 3 des 4 brochets suivis pendant 2 périodes successives de reproduction (2017 et 2018) ont été détectés dans les mêmes annexes hydrauliques d'une année sur l'autre, ce qui suppose une certaine

fidélité pour l'utilisation des frayères. Miller et al. (2001) ont démontré de deux manières différentes l'existence d'une fidélité au site natal et au site de frai chez le brochet dans un lac du Minnesota (États-Unis). Premièrement par le marquage de 1 900 brochets dans deux sites de frai au cours d'une première année d'étude, suivi de la recapture de 23% de cet échantillon dans les frayères une à trois fois au cours des quatre années qui ont suivi. Deuxièmement en démontrant un isolement reproductif chez deux populations de brochets en comparant les fréquences des allèles à cinq marqueurs de microsatellites polymorphes chez les brochets de ce lac. Cet isolement reproductif ne pouvait être possible que si les individus frayaient sur le site de leur propre naissance et revenaient ensuite sur ce dernier. Dans un grand milieu, le brochet peut donc former plusieurs populations sympatriques, séparées par le comportement de homing, bien que les habitats d'alimentation se chevauchent.

A cours de notre étude, les annexes hydrauliques de type noue ont été les plus fréquentées par les brochets marqués lors des périodes de reproduction. Mangeot et al. (2009) avaient déjà mis en évidence que les noues du fleuve, dans le département de la Meuse, possédaient un intérêt pour l'espèce puisque 41 ha avaient été classés comme ayant un potentiel fort à très fort de frayère. Ce résultat avait été obtenu à partir des habitats considérés comme les plus favorables pour la reproduction du brochet (végétation hélophytique entre autres). La cartographie des habitats, actualisée en 2017, a permis de constater que leur diversité (mélange entre des milieux aquatiques, de la végétation basse et de la végétation ligneuse) permettait aussi d'augmenter l'attractivité des noues pour les brochets adultes. Casselman et al. (1996) suggèrent que les prairies inondables ainsi que les autres plantes terrestres semblent être les substrats préférés s'ils sont accessibles. Fortin et al. (1983) ont montré dans une rivière canadienne que le nombre maximal d'œufs pondus était retrouvé sur les prairies inondées, les pâturages, les zones d'herbacées et arbustives. Dans notre étude, une relation a été mise en évidence entre la surface des berges submergées dans les noues pendant la période de reproduction et la quantité de géniteurs différents détectés dans ces dernières. Ils sont plus nombreux lorsque les surfaces submergées sont grandes. Plusieurs études soulignent que la profondeur d'eau peut être un facteur encore plus important pour le frai que le type de substrat utilisé par les brochets (Alldridge and White 1980, Fortin et al 1983).

En plus des paramètres décrits précédemment, d'autres ont probablement aussi une influence sur l'attractivité des annexes hydrauliques pour les géniteurs de brochets. Larsson et al. (2015) proposent une synthèse des variables environnementales les plus importantes pour les frayères et les nurseries de l'espèce *Esox lucius* (tableau 11). Plusieurs de ces variables ont été mises en évidence au cours de notre suivi.

Végétation	Végétation terrestre temporairement inondée (touffe de graminées et de carex), fragmentée et modérément dense, créant des microhabitats. Végétation aquatique.
Profondeur d'eau	Profondeur d'eau de 10 à 70 cm (moyenne 20 à 50 cm), augmentant progressivement jusqu'au frai, puis se stabilisant ou baissant lentement jusqu'à la migration des alevins (dans les deux mois après le frai).
Exposition	Zone abritée, se réchauffant rapidement au début du printemps et recevant la lumière directe du soleil du sud ou de l'ouest.
Accessibilité	Petits chenaux accessibles (« passes à poissons ») à l'intérieur et en dehors de la zone humide pour l'accès des géniteurs et pour l'émigration des alevins.
Substrat	Les débris de végétaux bien oxygénés constituent de bons milieux pour l'enracinement des graminées et des carex. Aucune zone avec des sédiments libres pouvant être mis en suspension.
Brassage de l'eau	« Moyen », un brassage trop rapide pourrait contrer l'échauffement de l'eau.

Tableau 11 : Synthèse des variables environnementales les plus importantes pour les frayères et les nurseries de l'espèce *Esox lucius* (D'après Casselman et al. (1996), Nilsson et al. (2014), modifié par Larsson et al. 2015)

3.3.4 Productivité des annexes hydrauliques en juvéniles

Les inventaires piscicoles n'ont pas permis de définir précisément la productivité des annexes hydrauliques en juvéniles de brochets. Néanmoins, il a été observé des paramètres qui peuvent l'influencer. Dans notre étude, les faibles hauteurs d'eau dans les annexes hydrauliques au printemps 2017 ont entraîné une diminution de la densité de juvéniles capturés dans celles connectées au lit mineur et compromis la survie de alevins dans celles déconnectées, par rapport au printemps 2018. Si les niveaux d'eau sont instables après le frai et déclinent plus rapidement que d'habitude, les œufs attachés aux herbes vont sécher et la reproduction sera un échec (Threinen 1969). Les inventaires piscicoles que nous avons réalisés au printemps 2018 ont permis de constater la présence de juvéniles dans le lit mineur du fleuve, à proximité des annexes hydrauliques. Cette observation, répétée sur plusieurs sites, permet d'émettre l'hypothèse d'une sortie rapide des juvéniles des frayères. Carbine (1942) a observé des migrations d'alevins de brochets d'une taille moyenne de 19 mm, nés dans des fossés et marais à proximité du lac Houghton (États-Unis), dès le dixième jour après l'éclosion des œufs. En mer Baltique, des résultats similaires ont été obtenus avec un début de migration des alevins (nés dans des zones humides) pour retourner vers la mer dès qu'ils mesuraient 13 à 17 mm, et avec 80 à 95 % de l'effectif migrant à une taille inférieure à 60 mm (Nilsson et al. 2014). Pour Nilsson et al. (2014), cette migration précoce est sûrement une adaptation à la baisse rapide des niveaux d'eau mais aussi un moyen d'éviter le cannibalisme.

3.3.5 Impacts des travaux de restauration des annexes hydrauliques

L'ensemble des résultats obtenus au cours de notre étude permet de constater que les restaurations d'annexes hydrauliques, réalisées entre 2001 et 2016 sur le secteur étudié, ont eu une influence favorable sur la capacité de recrutement du brochet. Le plus souvent les travaux ont permis d'augmenter l'attractivité de ces milieux pour les géniteurs en améliorant une ou plusieurs des variables environnementales favorables à leur reproduction (définies dans le tableau 11) :

- la végétation, le substrat et l'exposition par le traitement raisonné de la végétation ligneuse ;
- la profondeur d'eau par augmentation par le terrassement de surfaces importantes avec des pentes douces ;
- l'accessibilité par la création de chenaux de connexion avec le lit mineur ;
- le faible brassage de l'eau en orientant majoritairement les opérations sur des annexes hydrauliques de type noue.

Les résultats obtenus sur la noue de Belleville (A3) illustrent parfaitement ce constat (figure 59). Cette annexe hydraulique non fonctionnelle pour la reproduction du brochet avant 2001 a été celle qui a comptabilisé le plus de détections de brochets marqués, le plus d'individus différents marqués pendant les périodes de reproduction et la plus grande densité de juvéniles parmi les annexes hydrauliques bénéficiant d'une connexion permanente avec le lit mineur.

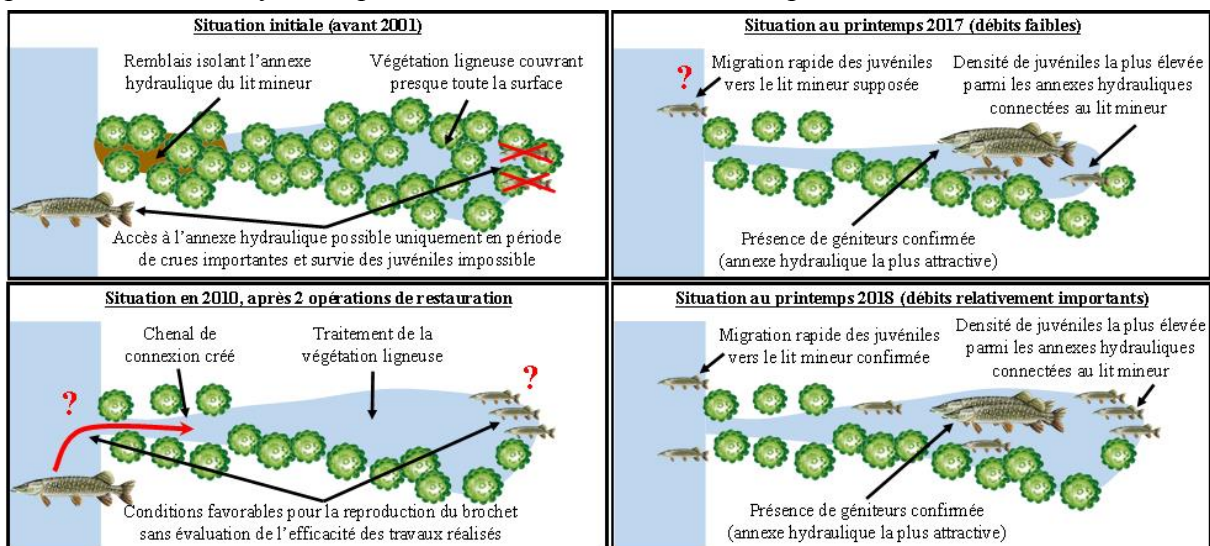


Figure 59 : Impacts de la restauration de la noue de Belleville sur la reproduction du brochet

Le PDPG 55 (2006) définit la capacité de recrutement en brochets comme le nombre d'adultes que le contexte peut produire en fonction de ses caractéristiques hydromorphologiques. La méthodologie de calcul quantifie la production de 100 m² de frayère fonctionnelle à 8 brochets adultes (âge ≥ 3ans). A partir des résultats de notre étude, il est possible de postuler que les surfaces fonctionnelles de frayères dans le secteur étudié étaient majoritairement composées des zones de végétation basse présentes sur berges submergées au printemps dans les annexes hydrauliques de type « noue ». En prenant comme référence le débit moyen au mois de mars (73,2 m³/s), la surface de frayères fonctionnelle est évaluée à 13 672 m² et la capacité de recrutement à 1 093 brochets adultes.

Les inventaires piscicoles réalisés dans la plupart des annexes hydrauliques du secteur d'étude ont également permis de mettre en évidence la diversité piscicole présente dans ces milieux. La loche d'étang, classée espèce « en danger » sur la liste rouge française de UICN, a par exemple été inventoriée dans plusieurs d'entre-elles dont certaines ayant fait l'objet de travaux de restauration. Il est également probable que les travaux menés sur ces zones humides

du fleuve Meuse aient eu un impact positif pour d'autres compartiments biologiques (odonates, amphibiens, etc.). Selon plusieurs auteurs, la restauration de la connectivité latérale présente plus d'avantages pour l'intégrité écologique des systèmes fluviaux de plaine que la réhabilitation des structures en cours d'eau (Buijse et *al.* 2002).

3.4 Opérations de repeuplements en brochets et pratiques halieutiques

3.4.1 Les déplacements des brochets du fleuve et de repeuplement

Peu de différences de comportement ont été observées entre les brochets du fleuve et ceux issus de repeuplements (originaires de pisciculture d'étang). Les deux catégories effectuent des déplacements latéraux similaires pour accéder aux annexes hydrauliques et au lit majeur en période de hautes eaux (exploitation comme zone de refuge et de reproduction). Aucune différence n'a également été mise en évidence sur l'étendue de leurs déplacements sur le linéaire étudié. Dubost et *al.* (2004) obtiennent un résultat similaire dans l'Ill avec 3 groupes de brochets différents (indigènes, déplacés et transplantés venant de pisciculture d'étang) sur l'amplitude des déplacements et ont conclu que la variabilité entre individus d'une même origine était plus importante. En revanche, au cours de notre suivi, une plus grande mobilité entre deux campagnes de radiopistage a été constatée chez les brochets de repeuplements par rapport à ceux du fleuve, sauf durant la période « P/E 2018 ». Ce résultat traduit peut-être un comportement de recherche d'habitats favorables par les brochets de repeuplement et de compétition avec ceux natifs du fleuve. Comme tous les animaux, le brochet peut être en compétition intraspécifique pour l'alimentation ou l'habitat conduisant à des déplacements de ces derniers (Skov et *al.* 2018). L'hypothèse d'une concentration moindre en brochets (originaires du fleuve et de pisciculture) sur le secteur d'étude à la fin du suivi, en raison des pertes de ces derniers et de l'absence de repeuplement par l'AAPPMA locale durant la durée de l'étude, explique peut-être que ce comportement n'ait pas été mis en évidence pendant la période « P/E 2018 ».

L'orientation (amont/aval) des déplacements des brochets de repeuplement n'a pas montré de différence avec celle observée chez les individus originaires du fleuve. Un taux de dévalaison du secteur d'étude supérieur a toutefois été observé chez les brochets issus de pisciculture. Dans la rivière Lot, un suivi par recapture de brochets de repeuplement n'a pas mis en évidence de préférence dans le sens de déplacement de brochets suite à leur déversement : 46 % des poissons ont été capturés à l'amont de leur point de déversement, 46% à l'aval de celui-ci et 8 % sont restés sur la zone de lâcher (+/- 100 m) (Guillerault et *al.* 2012). Il a néanmoins été observé au cours de cette étude que les brochets parcouraient de plus longues distances vers l'aval que vers l'amont.

3.4.2 Mortalité des brochets

En cours d'eau, les mortalités annuelles des brochets adultes dépassent communément 50% pour se situer entre 50 et 65 % lorsque les mortalités par pêche sont absentes ou modérées (Chancerel 2003). Au cours de notre étude, un suivi exhaustif de la nature des pertes des 100 brochets suivis par radiopistage a permis de déterminer plus ou moins précisément la mortalité naturelle. Elle se situerait entre 30 et 40 % sur une durée de suivi de 28 mois pour 55 individus et de 16 mois pour 45 autres (calcul à partir des poissons classés « mort » + « prédaté » ± « disparu » dans et en dehors du secteur d'étude). Ce résultat semble indiquer que la mortalité naturelle des brochets adultes sur le fleuve Meuse est relativement faible. La prédation naturelle sur les brochets marqués a été observée à 2 reprises (à l'intérieur et à l'extérieur du secteur d'étude) probablement par des renards et aucun acte de cannibalisme n'a été mis en évidence. Jespen *et al.* (2001) indiquent qu'il est fréquemment observé chez les juvéniles mais réduit pour des brochets mesurant plus de 50 cm.

Le brochet est une espèce vulnérable à la pêche ; sa capture est en effet plus facile que celle de la plupart des autres carnassiers (Chancerel 2003). Dans notre étude, les pertes de brochets marqués attribuées aux captures par les pêcheurs à la ligne (dans et en dehors du secteur étudié) sont estimées à 56 % de l'échantillon. Une étude menée sur un lac non pêché de 364 hectares en Ontario a montré qu'une pression de pêche à la ligne de 1,24 h/ha avait conduit à la capture de 1,4 kg de brochet/ha, soit 50 % de la production annuelle de brochets adultes du lac (qui était de 2,76 kg/hectare) (Mosindy *et al.* 1987). Bien qu'il s'agisse d'un exemple extrême, le fait est que la pêche au brochet peut éliminer une grande partie du stock en peu de temps (Skov *et al.* 2018).

3.4.3 Pratiques halieutiques

Pour être une stratégie de gestion et de conservation efficace, la pêche en no kill implique que les conséquences de la capture soient limitées sur l'état physique des poissons et qu'une large proportion d'entre eux survie après la remise à l'eau (Wydoski, 1977). Cette pratique tend à se développer depuis plusieurs années en France et a été appliquée par plusieurs pêcheurs sur le secteur d'étude. A partir de leurs retours d'informations sur quelques brochets marqués, il a été possible de mettre en évidence une absence de surmortalité post-capture. Dans une étude combinée en laboratoire et sur le terrain, Arlinghaus *et al.* (2009) ont noté sur l'espèce brochet qu'une exposition à l'air (de 300 secondes) et un exercice physique lors du combat de capture (pendant 60 secondes) n'entraînaient pas de mortalité post-libératoire au cours d'une période de surveillance de trois semaines. Arlinghaus *et al.* (2009) ont mis simplement en évidence que les facteurs de stress induits par la pêche provoquaient des troubles physiologiques et comportementaux, mais que la récupération du poisson était rapide (6 h pour tous les paramètres physiologiques examinés). Ce résultat et d'autres études confirment un changement léger à court terme dans le comportement des brochets pêchés puis relâchés par les pêcheurs (Skov *et al.* 2018). Au cours de notre étude, il a été observé chez plusieurs brochets marqués des déplacements de quelques centaines de mètres les jours suivant une capture par un pêcheur ou

après l'opération de marquage. Généralement un retour du poisson sur son lieu de capture était constaté après plusieurs jours. Jepsen et *al.* (2001) soulignent qu'après une opération de marquage dans le cadre d'un suivi télémétrique dans deux plans d'eau au Danemark, la plupart des brochets étaient restés dans des zones plus profondes non végétalisées et qu'ils sont ensuite progressivement revenus dans les zones où ils avaient été capturés (après une semaine). Notre suivi a permis de constater que certains brochets marqués ont été capturés à plusieurs reprises, dont 2 l'ont été deux fois pendant la même journée. Un suivi des captures de brochets issus de pisciculture, puis relâchés dans la rivière Lot, a mis également en évidence ce phénomène avec plusieurs individus dotés de marques spaghettis ayant été capturés une seconde fois par les pêcheurs dans des intervalles de temps très variables (de 3 à 197 jours) (Guillerault et *al.* 2012).

Notre étude a mis en évidence le braconnage et les divers déplacements d'émetteurs ou de poissons transférés par les pêcheurs (transfert de poissons dans d'autres milieux, conservation d'émetteurs dans les maisons et voitures, rejet d'émetteurs dans l'eau, etc.). Plusieurs études soulignent ce type de pratique comme Lautissier (2013) qui a détecté un émetteur de brochet dans une habitation.

4. Perspectives et orientations de gestion piscicole

4.1 Connaissance et gestion des milieux

4.1.1 Restauration de zones de frayère

La restauration de frayères naturelles, telles que les annexes hydrauliques, doit être poursuivie dans les contextes piscicoles où la capacité de recrutement en brochets est faible. Notre étude a démontré l'efficacité de ces travaux lorsque les variables environnementales favorables pour le frai sont présentes.

Dans les cours d'eau fortement dégradés, des projets de création de zones de frayère peuvent être envisagés. L'avantage de ce type d'opération est de pouvoir modeler le milieu de manière à avoir une configuration optimale pour la reproduction du brochet. Farrell et *al.* (2016) ont mis en évidence une production plus importante de brochets (650 juvéniles/ha) dans des frayères créées de poches d'eau connectées par des chenaux à la rivière que dans des sites existants restaurés.

La restauration de zones de frayère, par la mise en place d'un déversoir artificiel avec un seuil ajustable garantissant un maintien de l'eau au printemps, tend aujourd'hui à diminuer en France. Cette technique de restauration montre pourtant toujours de bons résultats pour la production de juvéniles de brochets. L'agrandissement de la surface d'une frayère dans une prairie inondée en Suède (passage de 0,5 ha avant les travaux à 3,2 après) a permis de comptabiliser plus de 100 000 juvéniles émigrant de cette frayère contre 3 000 auparavant (Nilsson et *al.* 2014). Cinq ans après la restauration de cette zone de frayère, l'émigration des

juvéniles était de l'ordre de 300 000/an et le nombre de brochets adultes y accédant de 3 100, contre 1 400 avant les travaux (Larsson et *al.* 2015). Dans un contexte de changements climatiques et de modification des régimes hydrologiques des cours d'eau, ce choix technique doit continuer à être étudié, en particulier dans les cours d'eau anthropisés.

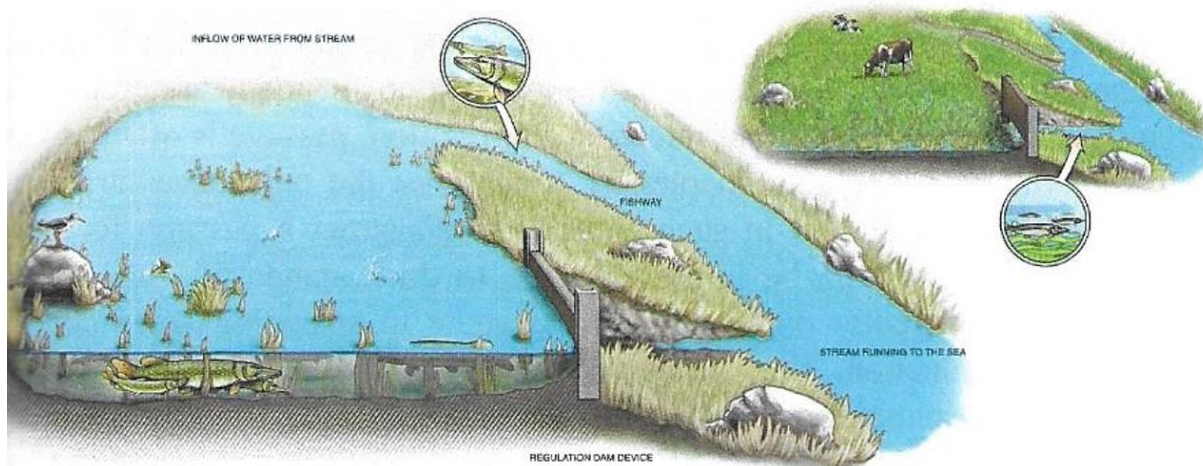


Figure 60 : Représentation schématique d'une frayère aménagée avec un système de régulation de la hauteur d'eau : remplie à gauche pendant la période de reproduction et vide à droite durant l'été (d'après Skov et *al.* 2018, illustration Ohlsson)

4.1.2 Etude et restauration des nurseries

Skov et *al.* (2018) soulignent qu'il est nécessaire de mieux comprendre l'écologie spatiale des juvéniles de brochets, en particulier dans les environnements où les habitats de frai et d'alevinage sont rares ou clairsemés. Casselman et *al.* (1996) considèrent que les nurseries pour les brochets 0+ et 1+ sont plus importantes que les frayères et qu'elles doivent être considérées en conséquence, bien qu'elles soient plus difficiles à gérer. Une bonne production de brochets dépend de la survie des larves pour accéder aux stades de vie plus âgés. Aujourd'hui, les connaissances acquises sur les zones de frai de l'espèce dans le fleuve Meuse semblent suffisantes (dans le département de la Meuse). En revanche, elles sont clairement déficientes concernant les nurseries fréquentées par les brochets dans le lit mineur (localisation, caractéristiques, fonctionnalité, etc.). Des études pourraient être menées afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ces milieux et pour suivre les déplacements des juvéniles dont une partie semble quitter rapidement les zones de frayère.

Malgré l'absence de données sur les nurseries dans un cours d'eau, il apparaît tout de même possible de réaliser des aménagements permettant d'améliorer la croissance des juvéniles de brochets en prenant en compte les connaissances disponibles dans la bibliographie. Skov et *al.* (2018), Bry (1996), Casselman et *al.* (1996) considèrent que les paramètres primordiaux pour une nursery sont sa proximité à la zone de frai et la présence d'un couvert végétal dense (40 à 90 %), composé de végétations submergées et de végétations émergentes. La hauteur d'eau semble aussi un facteur à prendre en considération. Les gros brochets ne peuvent pas se déplacer dans les zones peu profondes avec une végétation dense, ce qui en fait de bons abris pour les

petits brochets (Casselman et *al.* 1996). Ces zones protègent aussi les brochetons des perches qui vivent dans de la végétation, mais sur des zones plus profondes (Berg et *al.* 2012). Chancerel (2003) souligne que la variabilité du recrutement en subadultes (poissons de 2 ans) dépend de plusieurs facteurs dont la modification des cycles hydrauliques naturels. La diminution des temps de concentration de l'eau dans les zones humides, liée au développement de l'hydraulique agricole (curage, recalibrage, reprofilage...), conduit à avoir des pointes de crues importantes mais de courtes durées. Tout comme pour la restauration de frayères, les perturbations des régimes hydrologiques des cours d'eau doivent être prises en compte pour l'aménagement de nurseries pour les brochets.

Lors d'une opération de restauration d'une annexe hydraulique réalisée en 2018 à Charny-sur-Meuse par la FDPPMA 55, l'intégration de la problématique de migration rapide des juvéniles vers le lit mineur a été intégrée au projet. Afin de limiter ce phénomène, il a été ajouté au chenal de communication terrassé entre l'annexe hydraulique restaurée et le fleuve Meuse, des petites dépressions afin de permettre aux juvéniles de poursuivre leur grossissement dans ces zones avant de regagner le lit mineur (figure 61). Cette expérimentation, qui a permis de doubler le linéaire de berge de la rive droite du chenal, doit encore faire l'objet de suivis pour valider son efficacité.

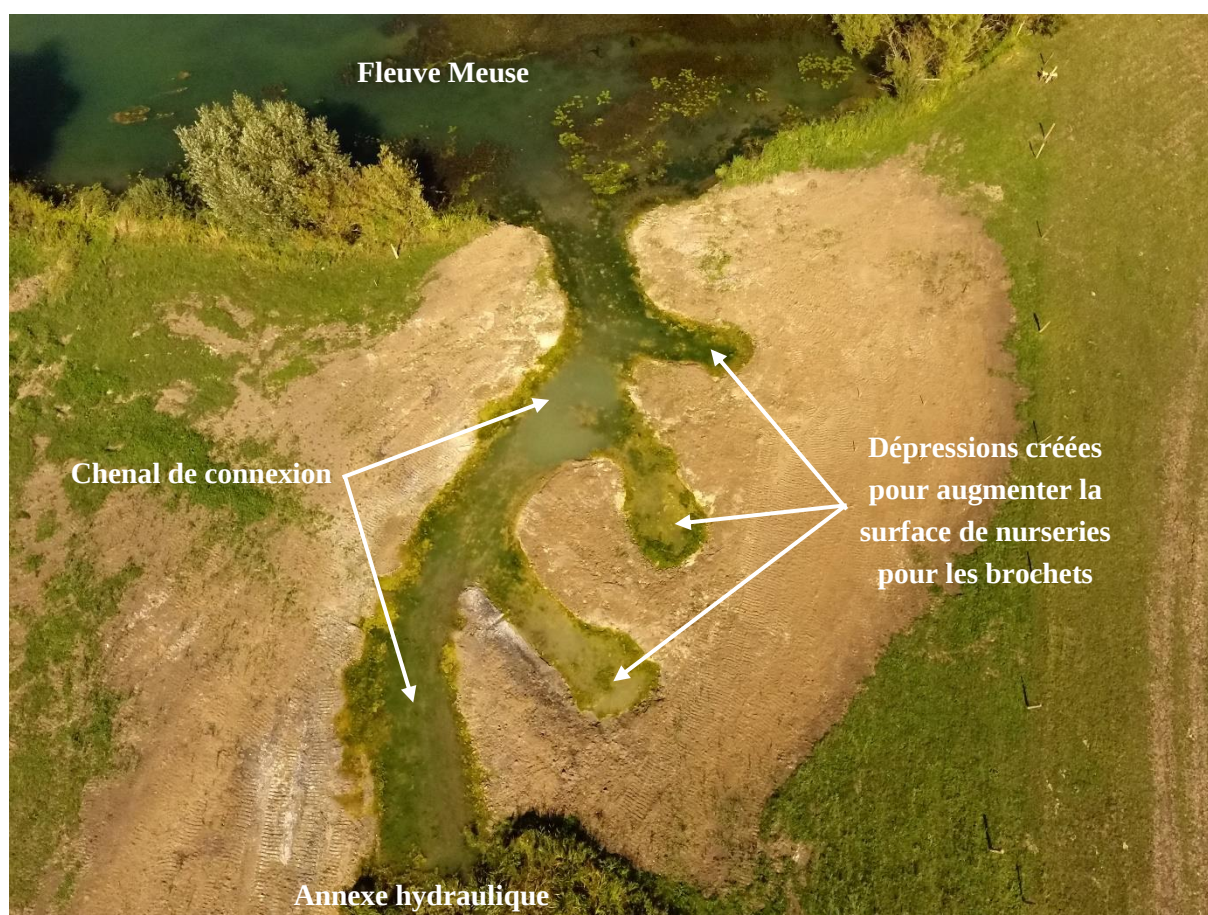


Figure 61 : Création de zones potentiellement favorables pour la nurserie des brochets lors d'une restauration d'une annexe hydraulique de la Meuse à Charny-sur-Meuse en 2018

4.1.3 Augmentation de la capacité d'accueil dans le lit mineur

Le PDPG 55 (2006) définit la capacité d'accueil potentielle pour le brochet comme le nombre d'adultes ($\text{âge} \geq 3$ ans) présents, en moyenne, sur la surface en eau d'un contexte. La méthodologie de calcul du PDPG 55 la quantifie à 22/ha ; ce qui équivaut pour le secteur étudié au cours de notre suivi à 538 brochets adultes ($\text{âge} \geq 3$ ans), en l'absence de facteur de perturbations, et à 376 en intégrant les pertes de fonctionnalité du contexte définies en 2006. La comparaison de cette capacité d'accueil avec la capacité de recrutement de 1 093 brochets adultes, déterminée sur ce même secteur du fleuve Meuse, indique que ce n'est pas la densité de frayères qui conditionne le nombre maximum de brochets adultes pouvant être présents dans cette zone. Dans une telle situation, les efforts de restauration et d'aménagement doivent être orientés de manière à augmenter la capacité d'accueil en brochets dans le lit mineur. Chancerel (2003) propose plusieurs types d'actions comme l'entretien de la ripisylve et la création d'anses propices au développement des hydrophytes. Grimm (1983) a suggéré que la présence d'abris pourrait influencer le nombre de brochets ≥ 54 cm dans les zones sans végétation. Il estime que le nombre et la biomasse de brochets peuvent être augmentés par la création ou l'élargissement des zones occupées par des types de végétation immergée subsistant au moins en partie pendant l'hiver, et par la construction d'obstacles en eau libre et profonde. Plusieurs structures associatives de pêche de loisir expérimentent aussi depuis quelques années l'utilisation de récifs artificiels en cours d'eau.

4.1.4 Restauration de la continuité écologique

Ce type d'opération de restauration est souvent associé à des enjeux liés aux déplacements des poissons migrateurs amphihalins et aux salmonidés. L'absence de libre continuité écologique constitue également une problématique pour le brochet qui est capable de réaliser plusieurs kilomètres pour se reproduire. L'effacement des ouvrages transversaux, ou l'installation de dispositifs de franchissement sur ces derniers, constituent des mesures favorables pour la préservation de l'espèce.

4.1.5 Gestion des plans d'eau en lit majeur

Notre étude a mis en évidence l'impact des plans d'eau situés dans le lit majeur sur les pertes de brochets présents initialement dans le fleuve Meuse. Leur classement administratif en eaux closes ne reflète pas la réalité du terrain, et une conversion en eaux libres de ces derniers, telle que définie par l'article L. 431-3 du Code de l'Environnement, serait plus représentative de leur mode de fonctionnement. Cette mesure permettrait l'application dans ces milieux de la loi relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles du 29 juin 1984 dont plusieurs mesures permettent de protéger l'espèce brochet (limitation du nombre de prises quotidiennes, taille limite de capture, fermeture de sa pêche pendant la période de reproduction).

Une gestion piscicole commune des rivières et des plans d'eau situés dans leur lit majeur permettrait une meilleure maîtrise de celle-ci en occultant aucun milieu participant à la vie du cours d'eau. Certains plans d'eau pourraient être reconvertis en zones de frayère ou de nurserie

pour les brochets. Pour Chancerel (2003), lorsqu'un cours d'eau présente peu de diversité, la réhabilitation de certains sites contigus (anciens sites d'extraction de granulats notamment) et leur mise en communication avec le système fluvial sont souvent intéressantes au plan piscicole. Une opération de ce type a été réalisée par la FDPPMA 55 en 2019 à Rouvrois-sur-Othain. Elle a consisté à transformer un étang d'une AAPPMA, qui causait des dysfonctionnements sur le cours d'eau, en une zone humide alluviale connectée à la rivière Othain. Les travaux ont été menés de manière à créer une zone de frayère ainsi qu'une zone de refuge accessible pour la faune piscicole en période d'étiage sévère (figure 62). Dans un contexte de changements climatiques, la transformation de certains plans d'eau, à l'image de ce qui a été fait à Rouvrois-sur-Othain, pourrait être une solution pour garantir la survie de poissons lors des sécheresses.

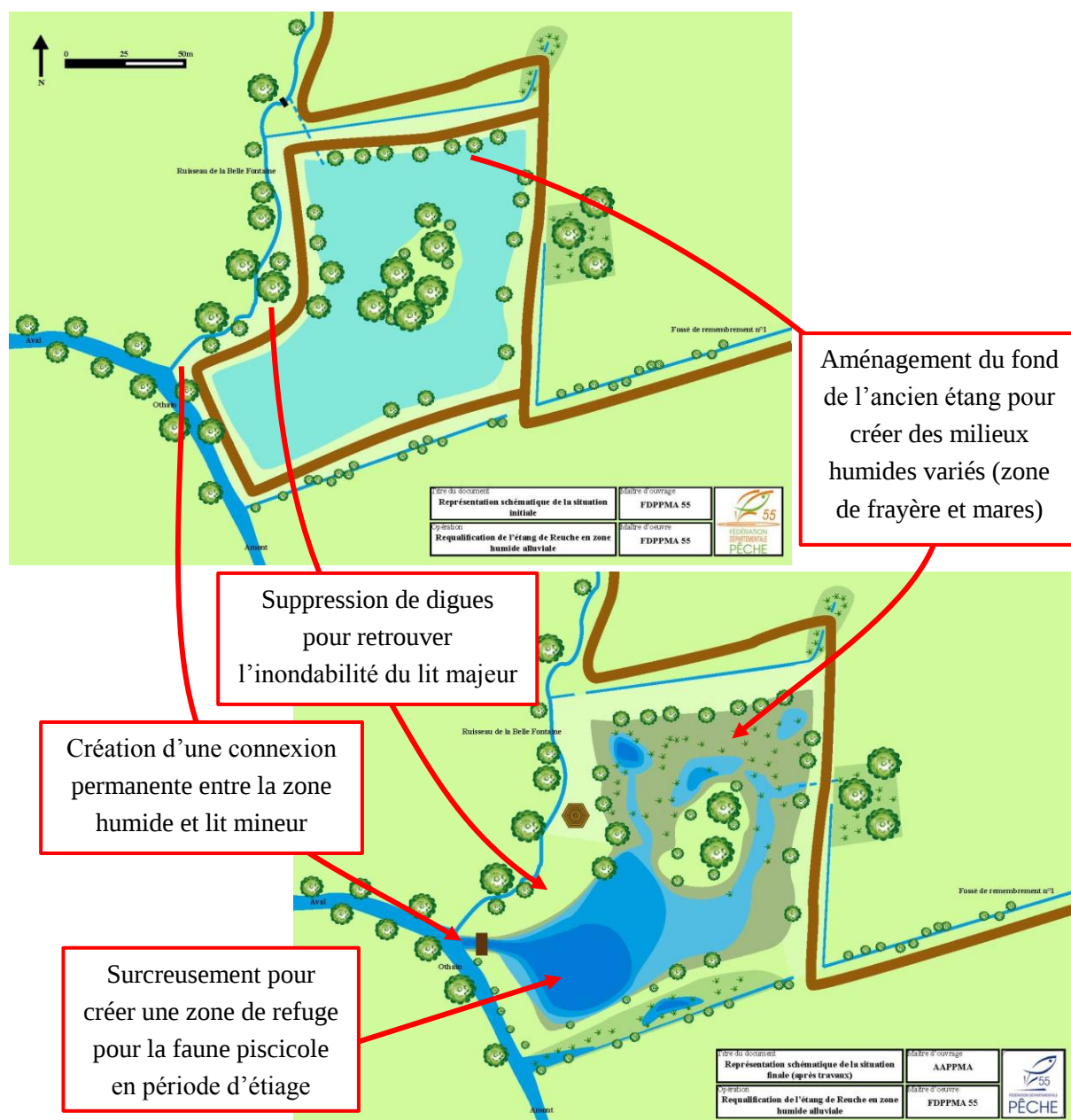


Figure 62 : Projet de requalification de l'étang de Reuche en zone humide alluviale (situation initiale en haut et après travaux en bas), un exemple d'une transformation d'un plan d'eau au bénéfice de la fonctionnalité d'un cours d'eau

4.2 Opérations de repeuplements

4.2.1 Généralités et situation du secteur étudié

Le repeuplement en brochets est une pratique courante des AAPPMA. L'apport d'individus supplémentaires apparaît souvent aux pêcheurs comme une opération simple, mathématiquement évidente et aux résultats assurés (Chancerel 2003). Pourtant, il est bien évident que les poissons de repeuplement sont soumis aux mêmes exigences que les poissons provenant du milieu naturel. Il n'est donc pas possible d'améliorer durablement les effectifs d'une population avec des introductions à un stade qui entraînera une confrontation aux facteurs limitant du milieu aquatique (Chancerel 2003). Sur le linéaire de 7 560 m de fleuve Meuse étudié durant notre suivi, l'AAPPMA locale déverse tous les ans des brochets à différents stades de développement. Ces repeuplements sont irréguliers, mais restent conséquents. Entre 2010 et 2013, 600 kilos de brochets adultes ont été relâchés, soit environ 500 individus. En comparant cette donnée à la capacité d'accueil du milieu (entre 376 et 538 brochets adultes), on peut se poser la question d'une surdensité de brochets dans le secteur d'étude. Certains déplacements observés chez des brochets de repeuplements marqués pourraient être provoqués par une interaction écologique de type compétition avec les brochets originaires du fleuve. Chancerel (2003) explique qu'un soutien des stocks de brochets donne en général des résultats très aléatoires et souvent décevants lorsqu'une population est déjà en place. Il indique également que des repeuplements excessifs peuvent même conduire au déclin de la population. Pour Chancerel (2003), les actions de repeuplement ne doivent être entreprises qu'à la suite d'une expertise du milieu à trois niveaux : l'aptitude à la production de brochetons, la capacité d'accueil pour les juvéniles et la capacité d'accueil pour les adultes. A partir de l'évaluation de ces trois niveaux sur le tronçon de Meuse étudié, il est possible de déterminer la nature des repeuplements qui peuvent être pertinents (tableau 12).

Niveau du milieu considéré	Evaluation sur le tronçon du secteur d'étude	Pertinence d'une opération de repeuplement et stade de développement associé
Aptitude à la production de brochetons	Satisfaisante (capacité de recrutement estimée à 1097 brochets adultes)	Alevin et fingerling Pas pertinent, car la capacité d'accueil en brochets adultes est très inférieure à la capacité de recrutement.
Capacité d'accueil pour les juvéniles	Inconnue	Fingerling et juvénile (20 à 30cm) Pas pertinent, car si la capacité d'accueil en juvéniles est forte, alors elle ne sera pas le facteur limitant la densité de brochets adultes. De même, si elle est faible, les poissons ajoutés à ce stade de développement ne pourront pas se maintenir étant donné la production importante de brochetons dans les frayères.
Capacité d'accueil pour les adultes	Limitée à 376 brochets adultes (évaluation faite à partir du PDPG 55 de 2006)	Subadulte et adulte (>300g) Moyennement pertinent, car elle peut permettre d'atteindre la capacité d'accueil de brochets adultes si la capacité d'accueil en juvéniles est inférieure à celle-ci et elle peut compenser les pertes par capture des pêcheurs. Néanmoins la capacité d'accueil d'adultes reste limitée, ce qui implique que le nombre de poissons relâchés doit rester faible.

Tableau 12 : Evaluation de la pertinence de repeuplement de brochets sur le secteur d'étude

4.2.2 Propositions de repeuplement

D'une manière générale, il apparaît que le renforcement des densités de brochets par repeuplement est difficile quel que soit le stade de développement utilisé pour les déversements (Chancerel 2003). Chancerel (2003) estime aussi qu'il est inutile de repeupler un milieu déjà saturé, même si les biomasses sont faibles dans le cas de milieux dégradés ou naturellement peu accueillants. Dans notre étude, les brochets de repeuplement adultes ont permis de soutenir artificiellement les effectifs sur une courte période. Plus de 80 % des brochets issus de pisciculture avaient quitté le secteur d'étude en moins de 200 jours. Au total environ 50 % des brochets de repeuplements suivis ont été capturés (de manière certaine ou probable) par les pêcheurs, ce qui démontre que cette pratique permet de répondre à une demande halieutique. La participation des brochets de repeuplement à la reproduction, observée au cours de notre suivi télémétrique, pose questions sur d'éventuelles pollutions génétiques dans la population de brochets du fleuve. Ces dernières années, plusieurs études ont montré l'influence de la génétique dans les différentes populations de brochets : présence de populations sympatriques, séparées par le comportement de homing, dans un lac du Minnesota (États-Unis) (Miller 2001) et découverte de différentes espèces sur le territoire français (Denys et *al.* 2014). La connaissance des éléments cités précédemment conduit à proposer, sur les cours d'eau où le brochet parvient à accomplir son cycle biologique, une gestion patrimoniale (sans repeuplement). Même avec des densités faibles, ce mode de gestion de l'espèce devrait être généralisé et associé à des mesures visant à limiter la pression de sa pêche ainsi qu'à augmenter naturellement ses effectifs. Dans les cours d'eau où une phase du cycle de vie du brochet est compromise, des repeuplements ciblés peuvent être envisagés après qu'une expertise du milieu ait été réalisée (sur l'aptitude à la production de brochetons, la capacité d'accueil pour les juvéniles et pour les adultes). Enfin, pour diminuer la pression de pêche sur les cours d'eau, il peut être envisageable de concentrer les opérations de repeuplement de brochets dans des eaux closes dédiées au développement halieutique et qui présentent un intérêt modéré pour la conservation de l'espèce.

4.3 Réglementation et pratiques halieutiques

4.3.1 Contexte et situation actuelle

En France, plusieurs dispositions du Code de l'Environnement relatives à la pêche en eau douce ont été prises pour protéger l'espèce brochet :

- fermeture annuelle de sa pêche entre le dernier dimanche de janvier et le dernier samedi du mois d'avril (dans les eaux de 2^{ème} catégorie piscicole),
- taille minimale de capture (prélèvement) de 50 cm et pouvant être portée à 60 cm par arrêté préfectoral,
- nombre de prises limité à 2 par jour,
- interdiction de certaines techniques de pêche (pêche à la traîne) et limitation du nombre de cannes (4 par pêcheur).

Les Structures Associatives de Pêche de Loisir (SAPL) sont gestionnaires de plus de 500 000 km de rives du réseau hydrographique français. Les pêcheurs acquièrent le droit de pêche sur les lots gérés par ces dernières en adhérant à une AAPPMA. Contrairement aux parcours de pêche privés et à certains modes de fonctionnement à l'étranger, les AAPPMA ne peuvent pas avoir recours à la limitation de l'effort de pêche par le contrôle du nombre de pêcheurs dans leur gestion halieutique. Cette composante a été prise en compte pour proposer d'autres mesures d'ordre réglementaire visant à limiter la pression de pêche sur l'espèce brochet.

4.3.2 Mise en place de zones de réserve

Des études ont mis en évidence que les pêcheurs semblent attraper les brochets ayant des types de comportement particuliers au sein de leurs populations, à savoir les individus les plus mobiles (poissons actifs, explorateurs et probablement les plus agressifs) (Skov et al. 2018). Au cours de notre étude, une forte variabilité interindividuelle a été observée dans les déplacements longitudinaux des brochets et plusieurs ont montré une importante mobilité avec un comportement exploratoire parfois perturbé par la présence des ouvrages transversaux. La création de réserves de pêche permanentes sur plusieurs centaines de mètres en aval des ouvrages transversaux peut être une mesure intéressante à mettre en place pour limiter la pression de pêche sur le brochet. Elle permettrait en particulier de préserver des individus possédant un comportement exploratoire et de limiter le prélèvement dans une zone de regroupement de poissons émanant principalement d'un ouvrage anthropique. De plus, les réserves de pêche peuvent constituer une population source depuis laquelle des individus non affectés par la pêche (stress ou sélection de traits comportementaux, par exemple) vont émigrer vers des zones de plus faible densité (Guillerault 2017). D'une manière indirecte, il est aussi possible de limiter les zones de pêche sur un tronçon de cours d'eau par la limitation de rampes de mise à l'eau ou l'absence d'entretien des berges par exemple.

4.3.3 Réorienter la pression de pêche sur d'autres espèces

Le brochet fait partie des espèces les plus recherchées par les pêcheurs de loisir (Arlinghaus et al. 2008, Derek et al. 2015). Au cours de notre suivi, 75 % des pêcheurs observés en action de pêche durant les campagnes de radiopistage utilisaient des techniques ciblant la capture du brochet (pêche au vif, pêche aux leurres). L'incitation à la pratique de la pêche sur d'autres espèces, moins recherchées aujourd'hui par les pêcheurs de loisir, peut être une solution pour diminuer les prélèvements de brochets. Les espèces ciblées pourraient être les suivantes :

- les poissons blancs (cyprinidés), car ces espèces présentent un niveau trophique inférieur à celui du brochet et possèdent donc une biomasse plus importante ;
- le silure glane (*silurus glanis*), car ses populations sont en expansion dans de nombreux cours d'eau (Guillaume 2012) ;
- les espèces exotiques envahissantes, telles que les écrevisses nord-américaines, car elles provoquent des déséquilibres biologiques.

La réorientation de la pression de pêche sur d'autres espèces nécessite obligatoirement des actions importantes de communication (panneaux, communication sur les réseaux sociaux...) et également le développement d'animations spécifiques qui peuvent être proposées par les SAPL (ex : initiation à la pêche à la balance, atelier culinaire sur le silure...) (figure 63).



Figure 63 : Dégustation gratuite de silure lors du concours de pêche « La Silurade » dans le Lot

4.3.4 Régulation des prélèvements de brochets

La régulation des prélèvements permet d'assurer la collecte de poissons par les pêcheurs tout en limitant les effets de la mortalité par pêche sur l'abondance des poissons (Guillerault 2017). Pour Rogers et *al.* (2010), cette mesure est efficace quand la mortalité par pêche est élevée (ce qui a été le cas du brochet dans notre suivi) et elle donne souvent de meilleurs résultats que les mesures visant à augmenter les stocks.

4.3.4.1 Interdiction de prélèvement

Le no kill associe la pratique de la pêche et l'interdiction totale de prélèvement. Mis en œuvre de manière volontaire par certains pêcheurs dans l'exercice de leur activité de loisir, il peut être imposé à tous. Les gestionnaires de lots de pêche ont la possibilité de demander la mise en place de parcours no kill réglementés par arrêté préfectoral sur des tronçons de cours d'eau. Pour le brochet, la remise à l'eau après capture permet de maintenir les individus les plus capturables (à très forte valeur halieutique) et les plus fertiles dans le milieu. Cette mesure possède néanmoins quelques limites :

- la nécessité de mise en place de bonnes pratiques de capture et de remise à l'eau des poissons (l'ANNEXE 15 expose des recommandations de bonnes pratiques pour minimiser les impacts sur les poissons pendant la capture et la remise à l'eau) ;
- la diminution du taux de capture de brochets avec des leurres artificiels due à l'apprentissage du poisson (démontrée par plusieurs études, même si après une période de quelques jours la vulnérabilité d'origine semble retrouvée (Kuparinen et *al.* 2010, Arlinghaus et *al.* 2017)) ;
- l'émergence de questions éthiques sur le bien-être animal.

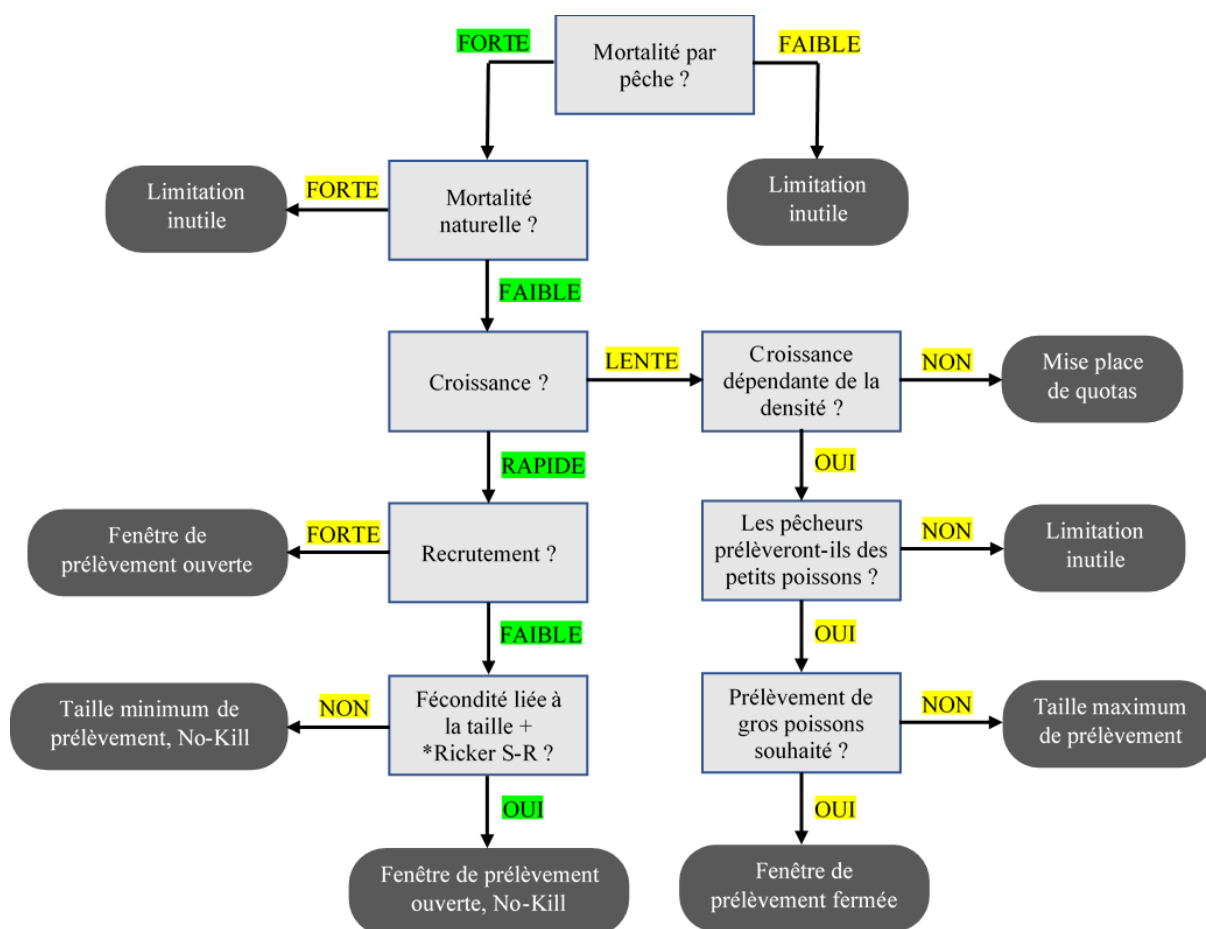
4.3.4.2 Limitation du nombre de prises

En France, le Code de l'Environnement limite le nombre de prises à 2 brochets par jour et par pêcheur. Pour Guillerault (2017), la limitation du nombre de captures par jour et par pêcheur peut avoir une efficacité limitée car cette mesure affecte rarement la mortalité totale. La mise en place de quotas, même très bas, ne limite que très peu la mortalité par pêche si la pression exercée par les pêcheurs est constante sur la saison de pêche (Guillerault 2017). Imaginons le cas extrême d'un pêcheur collectant 2 brochets tous les jours de l'année (soit environ 300 jours en prenant en compte les 3 mois de fermeture de pêche) sur le secteur étudié dans le cadre de notre suivi (7,6 km de cours d'eau). Etant donné que la capacité d'accueil de ce secteur est estimée à 538 brochets adultes (âge ≥ 3 ans) en l'absence de facteur de perturbation (d'après le PDPG de la Meuse, 2006), ce seul pêcheur dispose d'une autorisation de prélèvement de 600 brochets qui est supérieure à la population totale théorique de brochets adultes. Sachant que l'AAPPMA locale, détenant les droits de pêche sur le secteur d'étude, comptait 1535 adhérents en 2018, il est facile de comprendre le décalage existant entre ce type de quota (nombre de poisson par jour et par pêcheur) et les capacités d'accueil des milieux aquatiques, d'autant plus que les stocks réels de brochets sont souvent moindres que celles-ci. La mise en œuvre d'un carnet de prélèvements ou de bagues définissant un nombre de prises annuelles par pêcheur sont des mesures qui semblent plus adéquates pour limiter le prélèvement sur l'espèce brochet (ex : lac de Madine, lacs de La Forêt d'Orient). Elles restent néanmoins souvent déconnectées de la production annuelle du milieu, à l'instar des quotas appliqués dans les pêcheries commerciales en milieu marin au sein de l'Union Européenne. Guillerault (2017) estime que l'application de quotas annuels de prélèvements pour le brochet par masse d'eau semblerait plus pertinente pour limiter la mortalité liée à la pêche. Ceci impliquerait le contrôle du comportement des pêcheurs et une connaissance fine de la production annuelle de la masse d'eau considérée.

4.3.4.3 Limitation de la taille de capture

En France, le Code de l'Environnement fixe une taille minimale légale de capture pour le brochet (50 cm et pouvant être portée à 60 cm par arrêté préfectoral). Ce type de limitation du prélèvement ne tient pas compte de la démographie des populations de poissons et des caractéristiques des écosystèmes, ce qui peut être contre-productif (Johnson et *al.* 1995). De plus, s'il est souhaité un maintien de poissons trophées, des limites de taille ne donnent pas de bons résultats à des intensités d'effort de pêche élevées (Pierce 2010 ; Tiainen et *al.* 2017). D'autres types de limitation du prélèvement existent, comme la mise en place de fenêtres de capture (ouvertes ou fermées). Arlinghaus et *al.* (2016) ont proposé un arbre de décision permettant aux gestionnaires d'identifier la régulation la plus appropriée des prélèvements pour les parcours de pêche de loisir en général. L'application de cet arbre de décision pour le brochet (figure 64) suggère que la régulation des prélèvements est une option adaptée, uniquement si la mortalité par pêche est élevée et que la mortalité naturelle est modérée à faible. Ces conditions ont été démontrées lors de notre suivi et il est raisonnable de penser que l'arbre de décision proposé par Arlinghaus et *al.* (2016), à partir d'études en Allemagne, peut s'appliquer en

Meuse. En considérant que les populations de brochets suivent une fonction de recrutement-stock de Ricker avec surcompensation (nombre de recrues diminuant à cause des densités plus élevées du stock), la fenêtre de prélèvement ouverte maximisera non seulement le rendement numérique, mais permettra un rendement de biomasse maximisé ; ce qui était traditionnellement supposé être atteint par des réglementations de longueur minimale (Arlinghaus et al. 2016). En 2020, plusieurs départements en France se sont lancés dans la mise en place d'une fenêtre de capture ouverte, généralement comprise entre 60 et 80 cm, afin de limiter les prélèvements de brochets.



*Ricker S-R = populations de poissons suivant une fonction de recrutement-stock de Ricker avec surcompensation

Figure 64 : Arbre de décision permettant d'identifier la gestion des prélèvements la plus appropriée (FAO 2012 et Arlinghaus et al. 2016). Le scénario probablement le plus adapté pour la pêche du brochet est indiqué en vert

4.3.4 Fractionner les zones de pêche aux carnassiers

En utilisant des enregistrements expérimentaux de capture de brochets avec remise à l'eau dans un petit lac naturel en Allemagne, Kuparinen et al. (2010) ont constaté que la pression de pêche au cours des jours précédant un événement de pêche à la ligne avait une influence plus importante que les facteurs abiotiques (période de la journée, température de l'eau, vitesse du vent, phases lunaires) sur le taux de capture. Kuparinen et al. (2010) supposent qu'une pêche

intensive affecte négativement les taux de capture futurs, même en l'absence de conservation du poisson. Ce constat est observé par de nombreux gestionnaires de parcours de pêche sportifs. Espacer dans le temps les actes de pêche sur un milieu afin de maintenir son attractivité halieutique pourrait être une solution pour limiter ce phénomène. Il est possible d'envisager un découpage par tronçon d'une rivière avec des périodes d'ouverture différenciées, à l'image de ce qui se fait sur certains lacs (ex : zonage de pêche appliqué sur le lac de Madine en ANNEXE 16). L'application de ce type de mesures présente l'inconvénient de concentrer la pression de pêche sur une zone restreinte, mais elle induit souvent une attractivité accrue chez les pêcheurs aux périodes des ouvertures. Le fractionnement des zones de pêche aux carnassiers avec des ouvertures différenciées mériterait d'être testé et accompagné d'un suivi scientifique pour évaluer l'efficacité de cette gestion sur les populations de brochets ainsi qu'au niveau de la satisfaction des pêcheurs.

4.4 Communication et sensibilisation

Les propositions de gestion piscicole et halieutique listées précédemment fonctionnent d'autant plus lorsqu'elles sont accompagnées d'actions de communication. Pour responsabiliser le pêcheur dans la pratique de son loisir, il est également important de le sensibiliser sur des aspects insoupçonnés concernant le brochet, tels que son mode de reproduction, l'état actuel de ses stocks, sa manipulation lors d'une capture, les problématiques liées aux repeuplements...

Un travail de vulgarisation scientifique doit également être mis en œuvre pour faire en sorte qu'un maximum de gestionnaires (AAPPMA, FDPPMA, collectivités, privés...) aient accès à la connaissance pour améliorer leur gestion piscicole. C'est dans ce cadre que cette étude a fait l'objet de la publication d'une plaquette visant à synthétiser les résultats obtenus (ANNEXE 17) et d'un documentaire « Sur les traces du brochet en vallée de Meuse ».

Conclusion

L'étude comportementale du brochet en vallée de Meuse confirme que les annexes hydrauliques du fleuve Meuse constituent des zones de frayère et de refuge pour l'espèce. La forte attractivité de certaines d'entre-elles vis-à-vis des géniteurs a mis en évidence les paramètres importants à prendre en compte pour leur restauration : type hydromorphologique, surface de berges submergées au printemps et diversité des habitats entre autres. Des opérations de ce type, réalisées depuis le début des années 2000, ont permis d'augmenter la capacité de recrutement du brochet, qui est aujourd'hui bien supérieure à sa capacité d'accueil. Sur des milieux possédant des frayères fonctionnelles suffisamment nombreuses, il semble donc nécessaire de concentrer à présent l'effort de protection et de restaurations sur les habitats du brochet dans le lit mineur. Ceci afin d'augmenter la capacité d'accueil de l'espèce. La migration rapide des alevins vers le lit mineur, après l'éclosion des œufs, suggère aussi d'améliorer les connaissances sur les zones de nurserie, et très certainement de proposer de nouveaux aménagements pour favoriser la survie et la croissance des juvéniles.

Notre étude a également permis de mettre en évidence des problématiques de continuités écologiques impactant l'espèce brochet. Celle de la continuité longitudinale, matérialisée par les seuils et les barrages, qui limite la dispersion des brochets pendant les périodes de crues et de reproduction. Mais également celle de la continuité latérale qui conduit au piégeage d'une part significative de la population de brochets du fleuve.

Enfin, les pêcheurs de loisir participent aussi à la diminution des stocks de brochets adultes dans le fleuve Meuse. Malgré la réglementation en vigueur sur sa pêche (période de fermeture annuelle, taille minimum de capture, nombre de prises limité à 2 par jour), la pression exercée par les prélèvements des pêcheurs reste trop élevée. Pour préserver l'espèce et pérenniser la pratique de sa pêche, il semble nécessaire que les Structures Associatives de Pêche de Loisir développent de nouveaux outils de gestion piscicole.

Références Bibliographiques

Alldrige, N.A., White, A.M. 1980. Spawning site preferences for northern pike (*Esox lucius*) in New York marsh with widely fluctuating water levels. *Ohio J. Sci.* 80 : 57-73.

Arlinghaus, R., Bork, M., Fladung, E., 2008. 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, 53–92.

Arlinghaus, R., Klefoth, T., Cooke, S.J., Gingerich, A., Suski, C. 2009 Physiological and behavioural consequences of catch-and-release angling on northern pike (*Esox lucius* L.). *Fish. Res.* 97 :223-233.

Arlinghaus, R., Lorenzen, K., Johnson, B.M., Cooke, S.J., Cowx, I. 2016. Management of freshwater fisheries. pp 557-579. In : J.F. Craig (ed.). *Freshwater fisheries ecology*. Chichester, U.K. : John Wiley & Sons, Ltd.

Agence de l'Eau Seine Normandie, 2019. Etat des lieux 2019 de la Seine et des cours d'eaux côtiers normands, Agence de l'Eau Seine Normandie, 200p.

Berg, S., C. Skov, J.S. Olsen and K. Michelsen. 2012. Lavt vand – en nødvendighed for geddeyngel. *Van og Jord* 3 : 117-119

Boucault J., Clement M., 2020. Tendances évolutives des populations de poissons du bassin Seine Normandie 1990-2018, Union de Bassin Seine Normandie, 148p.

Bry C. (1996) Role of vegetation in the life cycle of pike. In: Craig J.F. (eds) *Pike. Fish and Fisheries Series*, vol 19. Springer, Dordrecht

Buijse, A. D., Coops, H., Staras, M., Jans, L. H., Van Geest, G. J., Grift, R. E., Ibelings, B. W., Oosterberg, W., & Roozen, F. C. J. M. (2002). Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47(4), 889-907

Carbine, W. F., 1942. Observations on the life history of the northern pike, *Esox lucius* L., in Houghton Lake, Michigan. *Transactions of the American Fisheries Society* 71: 149–164.

Casselman JM, Lewis CA (1996) Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). *Can J Fish Aquat Sci* 53:161–174

Chancerel F., 2003. Le brochet - Biologie et gestion. Collection Mise au point, Conseil Supérieur de la Pêche, 199p.

Clark, C.F. 1950. Observations on the Spawning Habits of the Northern Pike, *Esox lucius*, in Northwestern Ohio. *Copeia* 4 : 285-288

Craig, John F., 1996. Pike – Biology and exploitation, Fish and Fisheries Series 19, Chapman & Hall, 298p.

Dasnias, P. 2002. Aménagement écologique des carrières en eau : Guide pratique, UNPG, Paris. 208pp

Denys G.P.J., Dettai A., Persat H., Hautecoeur M. et Keith P., 2014. Morphological and molecular evidence of three species of pikes *Esox* spp. (Actinopterygii, Esocidae) in France, including the description of a new species. C. R. Biologies, 337, 521-534.

Derek P. Crane, Loren M. Miller, James S. Diana, John M. Casselman, John M. Farrell, Kevin L. Kapuscinski & Joe K. Nohner (2015) Muskellunge and Northern Pike Ecology and Management: Important Issues and Research Needs, Fisheries, 40:6, 258-267

Donaldson M.R, Connie M. O'Connor, Lisa A. Thompson, Andrew J. Gingerich, Sascha E. Danylchuk, René R. Duplain & Steven J. Cooke (2011): Contrasting Global Game Fish and Non-Game Fish Species, Fisheries, 36:8, 385-397

Dos Santos JM, 1991. Ecology of a riverine pike population. In: Warmwater Fisheries Symposium I. *Ecology of a riverine pike population* [ed. by Cooper, J. L.], USA: US Forest Service General Technical Report, 155-159.

Dubost N., Vauclin V., 2004. Etude des déplacements et des migrations du Brochet (*Esox lucius* L.) par radiopistage dans l'Il (1997-2000). Bureau d'études DUBOST Environnement, 57p.

Farrell, J.M., Leblanc, J.P., Brown B.L., Avruskin, G.A. The St. Lawrence River Fish Habitat Conservation Strategy: Development and Evaluation of Novel Restoration Approaches. In: Fish Enhancement and Mitigation Research Fund Project/ Final Report: US Fish and Wildlife Service, New York Field Office, Cortland NY:317p.

FAO, 2012. Recreational Fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries 13, FAO, Rome, Italy.

FDPPMA 55, 2006. Etat des lieux des cours d'eau meusiens & Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles de la Meuse, 697p.

Fortin, R., P. Dumont et H. Fournier. 1983. La reproduction du grand brochet (*Esox lucius* L.) dans certains plans d'eau du sud du Québec (Canada). pp 39-51.

Grimm, M.P. 1983. Regulation of biomass of small (<41 cm) northern pike (*Esox lucius* L.), with special reference to the contribution of individuals stocked as fingerlings, *Aquacult. Res.* vol. 14, pp. 115–134.

Guillaume, Mathieu. Démographie et régime alimentaire du silure glane. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse ENVT, 2012, 76 p.

Guillerault, N., Martino L'Hostis, A., Azémar, F., Compin, A., Santoul, F. 2012. Étude des poissons carnassiers du LOT Rapport final / version courte. FDAAPPMA 46 et Ecolab, 48p.

Guillerault, N. 2017. Effets des mesures de gestion halieutique sur la conservation d'une espèce vulnérable : le brochet (*Esox lucius*). Thèse de doctorat Écologie, biodiversité et évolution. Université de Toulouse. 172p.

Headrick, M.R., Carline, R.F., 1993. Restricted summer habitat and growth of northern pike in two Southern Ohio impoundments. Transactions of the American Fisheries Society, 122: 228–236.

Hodder, K., Masters, J., Beaumont, W., Gozlan, R., Pinder, A.C., Rosten, C., Kenward, R. 2007. Techniques for evaluating the spatial behaviour of river fish. *Hydrobiologia*. 582. 257-269.

Huner, J.V., Lindquist, O.V., 1983. How Finland stocks her rivers and lakes. Fish Farming International, 10 : 10–11.

Jacobsen, L., Bekkevold, D., Berg, S. 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.

Jepsen, N., S. Beck, C. Skov and A. Koed. 2001. Behavior of pike (*Esox lucius* L.) >50 cm in a turbid reservoir and in a clearwater lake. *Ecology of Freshwater Fish* 10:26-34.

Johnson, B. M. & Martinez, P. J. 1995. Selecting harvest regulations for recreational fisheries: opportunities for research/management cooperation. Fisheries 20 (10), 22–29.

Kuparinen A., Klefoth T., Arlinghaus R. 2010. Abiotic and fishing-related correlates of angling rates in pike (*Esox lucius*). *Fisheries Research*. 105. 111-117.

Keith, P., Marion, L., 2002. Methodology for drawing up a Red List of threatened freshwater fish in France. Aquatic conservation, 12 : 169-179.

Keith P., Persat H., Feunteun E., Alladi., 2011. Les poissons d'eau douce de France. Biotope, Mèze ; Muséum d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 552p.

Klefoth, T. 2007. Behaviour of pike (*Esox lucius* L.) in response to angler-induced disturbance in a catch-and-release fishery in Lake Kleiner Döllnsee. Master Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin / Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin

Knight, C.M. 2006 Utilisation of off-river habitats by lowland river fishes. PhD thesis, University of Durham, Durham, UK.

Krebs, J.R. and N.B. Davies (eds.). 1997. *Behavioural Ecology : An Evolutionary Approach*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK.

Kobler A., Klefoth T., Arlinghaus R. 2008. Site fidelity and seasonal changes in activity centre size of female pike *Esox lucius* in a small lake. *Journal of Fish Biology*. 73. 584 - 596.

Kobler A, Klefoth T, Mehner T, Arlinghaus R. 2009. Coexistence of behavioural types in an aquatic top predator: a response to resource limitation? *Oecologia* 161(4):837-847

Koed A., K. Balleby, P. Mehner et R. Aarestrup. 2006. Annual movement of adult pike (*Esox lucius* L.) in a lowland river. *Ecology of Freshwater Fish* 15:191-199.

Knight, C.M., R.E. Kenward, R.E. Gozlan, K.H. Hodder, S.S. Walls and M.C. Lucas. 2009. Home range estimation within complex restricted environments : importance of method selection in detecting seasonal change. *Wildlife Res.* 36 :213-224.

Lamouroux N., Capra H., Pouilly M., Souchon Y., 2001. Fish Habitat Preferences in Large Streams of Southern France. *Freshwater Biology*. 42. 673 - 687.

Larsson, P., Tibblin, P., Koch-Schmidt, P., Engstedt, O., Nilsson, J., Nordahl, O., & Forsman, A. (2015). Ecology, evolution, and management strategies of northern pike populations in the Baltic Sea. *Ambio*, 44 Suppl 3(Suppl 3), 451–461.

Lautissier, A. 2013. Etude comportementale du brochet par radiopistage sur la Sambre canalisée (59) - Présentation des résultats de la saison 2012-2013. FDAAPPMA 59, 130p.

Mangeot P., Hamm A., Vallet M., Schwab T., 2009. Inventaire et caractérisation des annexes hydrauliques du fleuve Meuse dans le département de la Meuse (55). Rapport ONEMA-DIR Nord-est et FDPPMA 55, 118p.

Masters, J.E.G., Welton, J.S., Beaumont, W.R.C., Hodder, K.H., Pinder, A.C., Gozlan, R.E. & Ladle, M. 2002. Habitat utilisation by pike *Esox lucius* L. during winter floods in a southern English chalk river. *Hydrobiologia*, 483: 185-191.

Masters, J.E.G. & Hodder, Kathy & Beaumont, William & Gozlan, Rodolphe & Pinder, Adrian C & Kenward, R. & Welton, J.S.. 2005. Spatial behaviour of pike *Esox lucius* L. In the River Frome, UK.

Miller, L.M., Kallemeyn, L. & Senanan, W. 2001. Spawning site fidelity by northern pike in a large lake: Mark-recapture and Genetic Evidence. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 130: 307-316.

- Mosindy, T.E., Momot, W.T., Colby, P.J., 1987. Impact of angling on the production and yield of mature walleyes and northern pike in a small boreal lake in Ontario. *N. Am. J. Fish. Manage.* 7, 493–501.
- Nilsson, J., Engstedt, O., Larsson, P. 2014. Wetlands for northern pike (*Esox lucius* L.) recruitment in the Baltic Sea. *Hydrobiologia*. 721.
- Ovidio, M et R.E. Philippart. 2002. The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse Basin. *Hydrobiologia* 483 :55-69.
- Ovidio, Michael & Philippart, Jean. 2003. Long range seasonal movements of northern pike (*Esox lucius* L.) in the barbel zone of the River Ourthe (River Meuse basin, Belgium).
- Pauwels IS, Goethals PL, Coeck J, Mouton AM (2014) Movement patterns of adult pike (*Esox lucius* L.) in a Belgian lowland river. *Ecol Freshw Fish* 23:373–382
- Pierce, R. B. 2010. Long term evaluations of length limit regulations for northern pike in Minnesota. *North American Journal of Fisheries Management* 30, 412–432.
- Skov C., Koed A. 2004. Habitat use of 0+ year pike in experimental ponds in relation to cannibalism, zooplankton, water transparency and habitat complexity. *Journal of Fish Biology*. 64. 448 - 459.
- Skov C., Nilsson P.A., 2018. *Biology and Ecology of Pike*. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, 401p.
- Sutela, T., Korhonen, P., Nyberg, K., 2004. Stocking success of newly hatched pike evaluated by radioactive strontium (⁸⁵Sr) marking. *Journal of Fish Biology*, 64 : 653–664.
- Tiainen, J., Olin, M., Lehtonen, H., Nyberg, K., Ruuhijärvi, J. 2017. The capability of harvestable slot-length limit regulation in conserving large and old northern pike (*Esox lucius*). *Boreal Environment Research*. 22. 169–186.
- Tissot L., Souchon Y. 2010. Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécol. Appl.* Tome 17, pp.17–76
- Threinen, C.W. 1969. An evaluation of the effect and extent of habitat loss on northern pike population and means of prevention of losses. *Wis. Dep. Nat. Ressour. Bur. Fish. Mgmt. Rep.* 28
- Winter J.D., 1983 Underwater biotelemetry. In : *Fisheries techniques*. NIELSEN, L.A & JOHNSON, D.L. (EDS.) *American Fisheries Society*, Bethesda. 371-395.

Wolter C., Arlinghaus R., Grosch U.A., Vilcinskas A., 2003. Fische und Fischerei in Berlin. VNW Solingen, Germany : Verlag Natur & Wissenschaft, 148p.

Wydoski, R.S., 1977. Relation of hooking mortality and sublethal hooking stress to quality fishery management. In: Barnhart, R.A., Roelofs, T.D. (Eds.), Catch-and-release Fishing as a Management Tool. Humboldt State University, Arcata, CA, USA 43–87 pp.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Typologie des annexes hydrauliques (extrait de Mangeot et *al.* 2009)

ANNEXE 2 : Surfaces occupées par le fleuve dans le secteur d'étude pour un débit de 73,2m³/s à partir du modèle hydraulique de l'EPAMA

ANNEXE 3 : Carte de bathymétrie succincte du secteur d'étude

ANNEXE 4 : Cartographie des habitats des annexes hydrauliques du secteur d'étude réalisée en 2017

ANNEXE 5 : Principales caractéristiques de l'échantillon de brochets du fleuve

ANNEXE 6 : Principales caractéristiques de l'échantillon de brochets de pisciculture

ANNEXE 7 : Diaporama synthétisant l'exploitation des données de scalimétrie réalisée en partenariat avec le pôle sclérochronologie de l'Ifremer de Boulogne-sur-Mer

ANNEXE 8 : Protocole de marquage des brochets

ANNEXE 9 : Fiche de terrain utilisée lors des campagnes de radiopistage

ANNEXE 10 : Localisation des différentes stations de pêche inventoriées en 2017 et 2018

ANNEXE 11 : Flyer d'invitation au marquage des brochets

ANNEXE 12 : Plaquette d'information relative à l'étude

ANNEXE 13 : Articles de presse relatifs à l'étude

ANNEXE 14 : détection du brochet n°166 en mars 2018

ANNEXE 15 : Recommandations de bonnes pratiques pour minimiser les impacts sur les poissons pendant la capture et la remise à l'eau (FAO 2012)

ANNEXE 16 : Alternance de zones d'ouverture de pêche en barque sur le lac de Madine

ANNEXE 17 : Plaquette de présentation des résultats de l'étude à destination des gestionnaires de parcours de pêche et de milieux aquatiques

II.2. Méthodologie d'inventaire et de caractérisation des annexes fluviales

La démarche retenue en concertation avec les différents partenaires se veut proche de la méthode utilisée par l'EPAMA (Etablissement Public d'Aménagement de la Meuse et de ses Affluents) pour l'évaluation des impacts écologiques des ZRDC (Zones de Ralentissement Dynamique des Crues) (BCEOM, ESOPE & ULG, Etat de référence des zones d'études, 2007). De plus, le nombre de critères à relever ne doit pas être trop conséquent sous peine d'alourdir la méthodologie et le temps d'inventaire. Ainsi, les indicateurs de la typologie ont été regroupés en 4 grandes catégories descriptives du fonctionnement, de la structure et des potentialités écologiques associées aux annexes fluviales :

- l'**hydromorphologie** ;
- la **nature du couvert végétal** (détermination des habitats) ;
- les **potentialités écologiques** (liées au brochet, à la loche d'étang et aux habitats présents sur chaque annexe) ;
- les **atteintes** (niveau de perturbation et fonctionnalité).

Il est important d'ajouter qu'une note méthodologique plus complète a été réalisée pour les besoins de l'étude (soumise à validation par le comité de suivi). Par conséquent, une synthèse de la méthodologie est fournie dans le présent document.

II.2.1. Types hydromorphologiques relevés et critères de délimitation

La typologie globale proposée ci-dessous reprend divers travaux de classification des annexes hydrauliques (EPAMA, 2007 ; Adam et al., 2007 ; PIREN Rhône, 1982 ; Dupieux, 2004 ; Interagences, 2004) afin de caractériser au mieux les milieux présents dans la vallée de la Meuse. 11 types sont ainsi déterminés en intégrant les affluents en lit majeur (**Figure 9**). Certains sont illustrés par des « cas *in situ* » pris en vue aérienne d'ULM en mai 2008 ou lors des prospections de terrain.

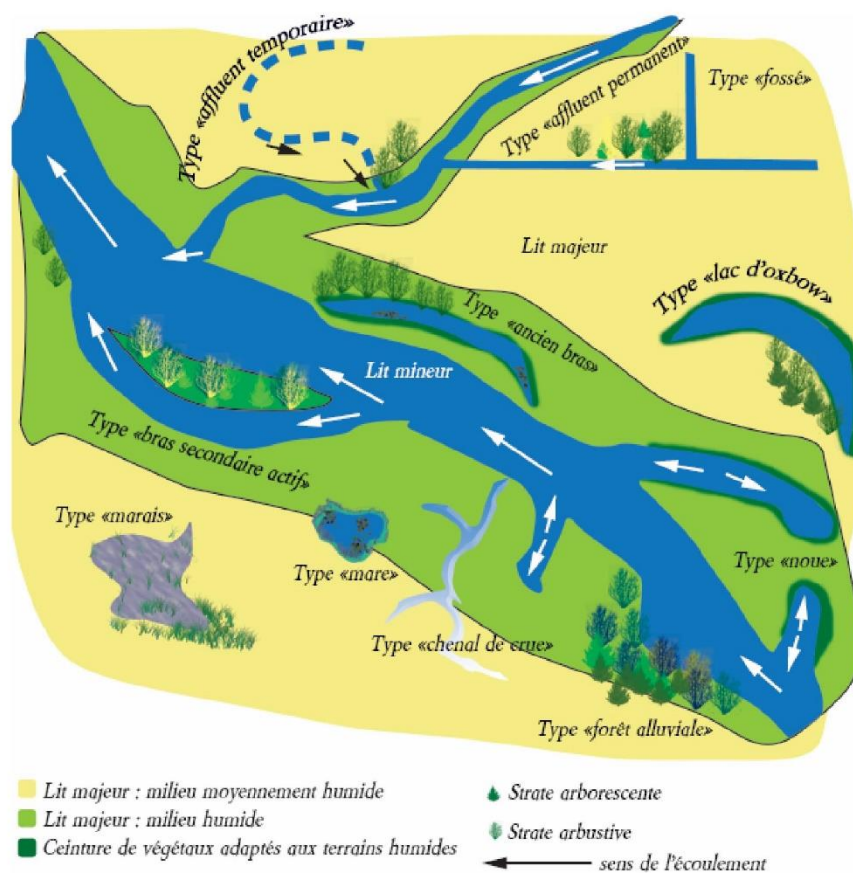


Figure 9 : Schéma des différents types hydromorphologiques d'annexes hydrauliques.

(adaptation du travail EPAMA (Pérez, 2007), Rémy Millet (infographiste FDPPMA 55), 2009)

Affluent permanent : affluent situé en lit majeur et en eau toute l'année. Les affluents recherchés ont un cours lentique à sédimentation plus ou moins organique. En effet, les affluents lotiques à fond graveleux présentent un intérêt réduit en terme d'annexe hydraulique et ne sont pas inventoriés dans le cadre de cette étude.

Affluent temporaire : affluent situé en lit majeur subissant un assec une partie de l'année. Le caractère temporaire peut être relevé sur le terrain (assec naturel ou anthropique visible) ou sur carte IGN (pointillés).

Bras secondaire actif : subdivisions latérales du chenal principal. Ils sont situés en dérivation par rapport au flux principal et sont connectés en permanence par l'amont et l'aval.



Noue : dépression naturelle du lit majeur connectée en permanence au lit mineur par l'amont ou l'aval. Cette reculée forme une zone calme par rapport au lit mineur.

Forêt alluviale : écosystème forestier naturel (ou aménagé ex : peupleraie) lié à la présence d'une nappe phréatique peu profonde et inondé de façon régulière ou exceptionnelle.



Ancien bras (en cours de déconnexion) : dépression naturelle du lit majeur, mais à la différence de la noue, il n'est pas nécessairement connecté au lit mineur en permanence et ne participe à l'écoulement qu'en période de hautes eaux (niveau plein bord ou supérieur).

Lac d'oxbow ou ancien bras déconnecté : dépression naturelle du lit majeur, mais à la différence de la noue et de l'ancien bras en cours de déconnexion, le « lac d'oxbow » n'est connecté au lit mineur que lors des crues annuelles ou supérieures. Il s'agit généralement d'un ancien méandre du cours principal totalement déconnecté et alimenté par la nappe.



Chenal de crue : chenaux peu encaissés, organisés en réseau à travers le lit majeur et alimentant les prairies inondables. Ces chenaux ne sont donc en eau qu'en période de débordement. Pour les besoins de l'inventaire, seuls les chenaux de crue les plus marqués topographiquement sont retenus.

Mare : petite cuvette dans le lit majeur en zone prairiale hygrophile à mésophile. Elle peut résulter d'une évolution naturelle d'un très vieux méandre ou éventuellement être creusée et aménagée par l'homme (abreuvement, piles de pont,...).



Marais : dépression fangeuse à un stade de sédimentation avancée, où la nappe d'eau est peu profonde et le terrain fortement végétalisé (principalement des hélophytes pour les herbacés). En fonction de leur alimentation, les marais peuvent être permanents ou temporaires.



Fossé : fossé de drainage artificiel, creusé le plus souvent entre les parcelles agricoles du lit majeur. Il est souvent rectiligne, relativement enfoncé (hauteur de berge > à 1 m voire 1,5 m) et homogène en terme de faciès et d'habitats.

La délimitation des divers sites inventoriés constitue une étape importante de l'inventaire des annexes fluviales et de leur cartographie. Pour éviter une part trop conséquente de subjectivité lors de ce travail, plusieurs critères sont croisés afin de cadrer au mieux la délimitation des sites. Les premières prospections de terrain (sorties « test ») ont permis d'identifier 4 critères déterminants pour cette délimitation :

- **la topographie** : suivi des dépressions et pentes naturelles du sol ;
- **l'hydrologie** : le débit de référence est au niveau du « plein bord », c'est-à-dire que l'observation de la connectivité et des submersions est optimale à ce niveau d'eau (notamment pour la reproduction du brochet) ;
- **la répartition des habitats** : le relevé de terrain a pour objectif la caractérisation des grands cortèges floristiques présents sur l'annexe fluviale (§ II.2.2.1.). La sectorisation du site en plusieurs entités d'habitats plus ou moins hygrophiles permet également de délimiter la surface fonctionnelle de l'annexe hydraulique lorsque les eaux sont basses.

Pour les sites en milieu prairial (chenaux de crues par exemple), on se contente de la partie la plus hygrophile de la prairie, en eau pour un débit équivalent au niveau plein bord ou légèrement supérieur,

- la fonctionnalité écologique : les sites sont évalués en partie pour leurs potentialités de frayères à brochet et d'accueil pour la loche d'étang. Par conséquent, ces critères ont également un rôle important dans la délimitation.

Cette délimitation (contour à pieds de l'annexe hydraulique) au niveau du site se fait sur le terrain à l'aide d'un GPS (Garmin © GPSMAP 60C). En effet, ce dernier permet d'enregistrer des points : coordonnées Lambert II « X et Y ». Ces points sont ensuite transférés et reliés sur un logiciel SIG (MapInfo) afin de bénéficier directement d'un polygone correspondant à la délimitation précise du site effectuée sur le terrain.

Ajoutons que pour permettre une aide à la décision du type d'annexe et assurer une compatibilité avec la méthode d'inventaire de zones humides de l'IFEN (Institut Français de l'Environnement, 2004), des critères relatifs à l'hydromorphologie et à l'hydraulique du site (connexion, submersion) sont également relevés.

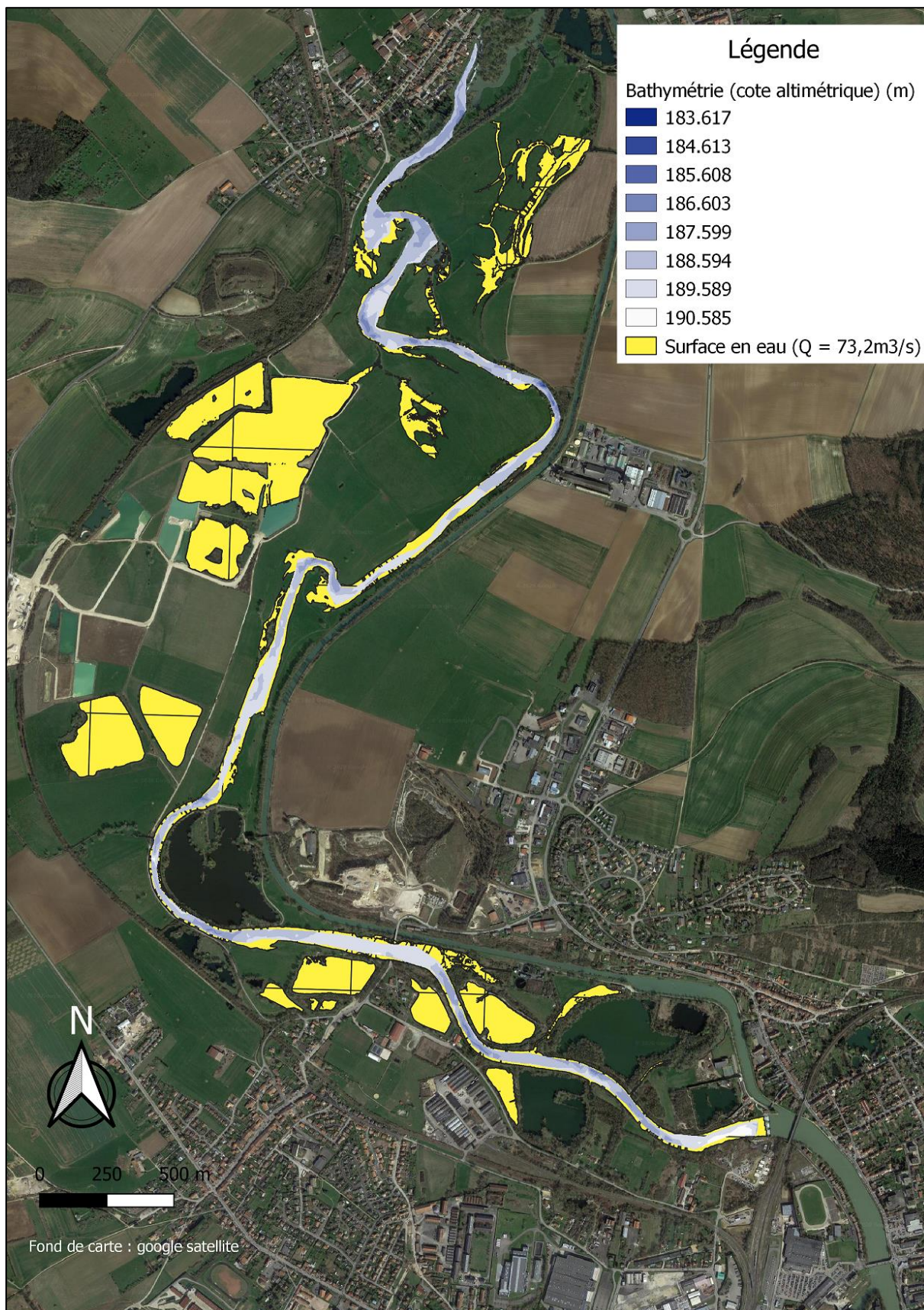
II.2.2. Définition des potentialités écologiques à l'échelle de l'habitat

II.2.2.1. Détermination du couvert végétal

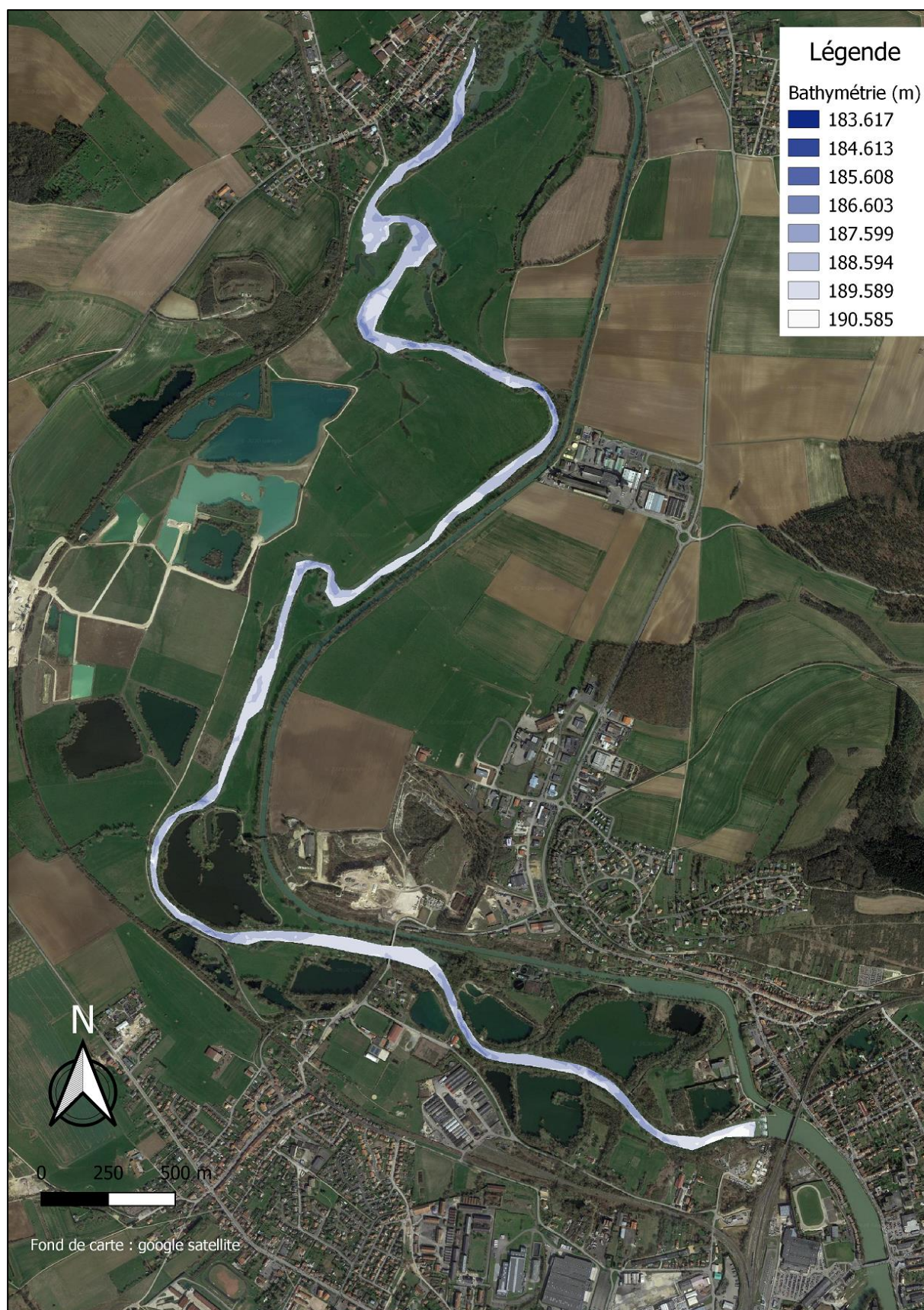
Les habitats composant une annexe hydraulique sont identifiés et décrits à partir d'espèces dominantes et de leur taux de recouvrement ($\neq$ approche phytosociologique, c'est-à-dire l'analyse des associations végétales et de leurs dynamiques (succession de végétation)). L'objectif de cette démarche est de faciliter l'identification des habitats, et ainsi, de réduire le temps de relevé sur le terrain. Les habitats ont ensuite nommés et caractérisés selon la typologie européenne « Corine Biotopes » (Rameau et al, 2002).

Les habitats sont répartis dans le **tableau 2** :

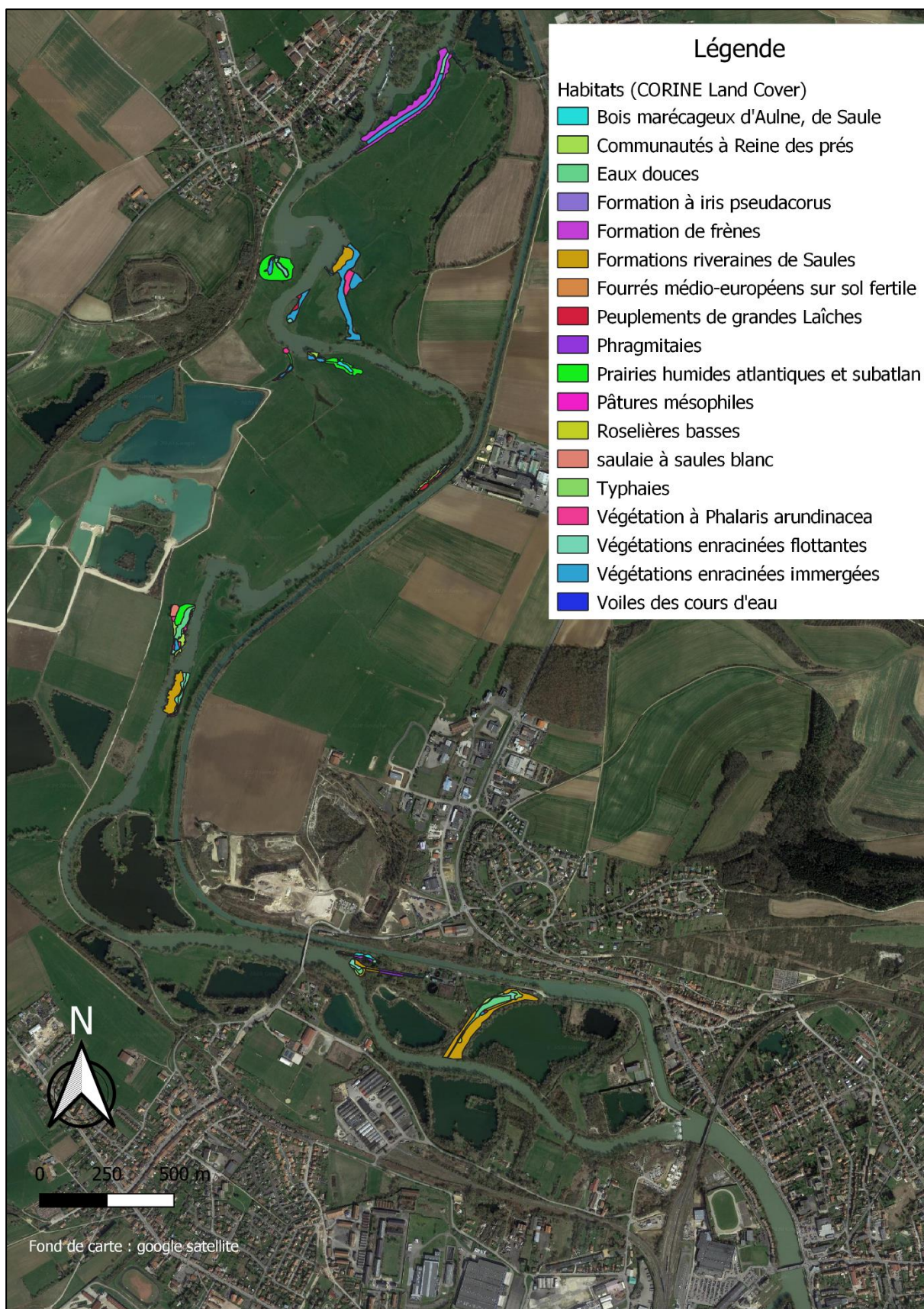
ANNEXE 2 : Surfaces occupées par le fleuve dans le secteur d'étude pour un débit de $73,2 \text{ m}^3/\text{s}$ à partir du modèle hydraulique de l'EPAMA



ANNEXE 3 : Carte de bathymétrie succincte du secteur d'étude



ANNEXE 4 : Cartographie des habitats des annexes hydrauliques du secteur d'étude réalisée en 2017



ANNEXE 5 : Principales caractéristiques de l'échantillon de brochets du fleuve

date de capture	heure de capture	type de capture	type d'habitat au moment de la capture	numéro émetteur	longueur totale	poids	sexe	âge	heure de remise à l'eau	pk	date de la perte	statut final
26/09/2016	17:10	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	7	637	1693	ND	4	17:52	350.830	15/12/2016	probable capture
27/09/2016	07:20	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	8	514	843	ND	3	10:47	354.190	31/01/2018	ballastiere
27/09/2016	11:37	Pêche électrique	Végétation aquatique	10	569	1211	ND	3	16:15	347.570	18/04/2017	probable capture
27/09/2016	11:41	Pêche électrique	Végétation aquatique	9	670	1988	ND	ND	16:15	347.520	14/04/2017	probable capture
27/09/2016	13:53	Pêche électrique	Végétation aquatique	12	582	1203	ND	3	16:15	350.590	08/12/2016	probable capture
27/09/2016	14:41	Pêche électrique	Végétation aquatique	13	536	1002	ND	3	17:10	347.540	14/10/2017	probable capture
27/09/2016	15:58	Pêche électrique	Végétation aquatique	14	476	704	ND	3	17:40	348.160	11/10/2017	mort
29/10/2016	08:50	Pêche à la mouche	Végétation aquatique	15	559	1242	ND	4	11:30	349.100	05/02/2018	ballastiere
29/10/2016	09:25	Pêche aux leurres	Végétation surplombante	16	617	1459	ND	3	11:05	350.620	30/11/2016	mort
29/10/2016	09:42	Pêche à la mouche	Végétation aquatique	17	615	1666	ND	4	11:30	349.060	29/04/2017	probable capture
29/10/2016	11:00	Pêche aux leurres	Aucun visible	18	711	2337	ND	5	12:20	349.930	24/12/2016	probable capture
29/10/2016	11:20	Pêche aux leurres	Végétation surplombante	19	653	1170	ND	4	13:20	353.320	19/02/2017	devalaison
29/10/2016	12:30	Pêche au vif	Aucun visible	20	598	1461	ND	4	15:05	350.520	10/08/2018	probable capture
29/10/2016	13:00	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	21	580	1322	ND	5	15:20	354.980	15/07/2017	capture
29/10/2016	14:00	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	22	455	636	ND	2	16:05	349.930	08/01/2018	ballastiere
29/10/2016	14:10	Pêche aux leurres	Arbre mort ou grosses branch	23	702	2144	ND	4	17:05	352.690	06/06/2018	probable capture
29/10/2016	15:30	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	24	656	1956	ND	ND	17:00	352.340	25/07/2018	mort
29/10/2016	15:35	Pêche aux leurres	Arbre mort ou grosses branch	25	556	1144	ND	3	17:55	348.620	28/05/2018	mort
29/10/2016	16:30	Pêche à la mouche	Aucun visible	26	492	703	ND	4	17:50	348.220	12/01/2017	mort
17/10/2017	11:00	Pêche électrique	Végétation aquatique	151	646	1657	ND	4	13:30	351.750	10/12/2018	probable capture
17/10/2017	11:20	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	150	550	1059	ND	3	14:00	349.070	04/09/2018	capture
17/10/2017	11:30	Pêche au mort posé	Arbre mort ou grosses branch	152	493	620	ND	3	14:05	348.080	18/10/2017	mort
17/10/2017	14:05	Pêche électrique	Arbre mort ou grosses branch	153	471	632	ND	3	16:35	348.340	15/05/2018	mort
17/10/2017	14:35	Pêche électrique	Végétation aquatique	154	541	863	ND	3	17:20	347.830	25/01/2019	probable capture
17/10/2017	15:15	Pêche électrique	Végétation aquatique	155	587	1224	ND	4	17:15	347.750	05/01/2018	montaison
17/10/2017	16:15	Pêche électrique	Végétation aquatique	156	815	3267	ND	6	17:45	348.940	07/12/2017	disparu
21/10/2017	08:05	Pêche aux leurres	Aucun visible	158	872	5332	ND	6	12:20	350.560	03/01/2018	ballastiere
21/10/2017	08:29	Pêche aux leurres	Arbre mort ou grosses branch	160	560	1067	ND	4	12:05	353.990	10/01/2019	devalaison
21/10/2017	08:50	Pêche aux leurres	Aucun visible	161	698	1951	ND	ND	13:10	350.760	11/01/2018	ballastiere
21/10/2017	09:18	Pêche aux leurres	Aucun visible	163	606	1295	femelle	3	13:10	350.790	15/04/2018	devalaison
21/10/2017	08:50	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	159	684	2008	ND	5	11:45	349.250	10/11/2017	probable capture
21/10/2017	09:40	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	157	667	1830	ND	4	11:45	349.430	04/03/2018	devalaison
21/10/2017	09:50	Pêche aux leurres	Aucun visible	162	660	1916	ND	5	13:05	350.900	02/02/2018	ballastiere
21/10/2017	10:00	Pêche aux leurres	Végétation surplombante	166	640	1582	mâle	5	13:50	349.510	29/06/2018	probable capture
21/10/2017	10:50	Pêche aux leurres	Aucun visible	167	552	1245	ND	4	14:30	351.830	30/01/2018	ballastiere
21/10/2017	10:55	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	168	435	545	ND	3	14:30	351.820	28/02/2018	capture
21/10/2017	11:05	Pêche aux leurres	Aucun visible	165	774	3102	ND	ND	14:30	351.830	30/11/2017	probable capture
21/10/2017	11:10	Pêche aux leurres	Aucun visible	164	746	2930	ND	5	14:30	351.840	20/03/2018	ballastiere
21/10/2017	11:40	Pêche aux leurres	Aucun visible	170	470	616	ND	2	16:20	351.900	03/04/2018	devalaison
21/10/2017	12:45	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	169	500	754	ND	2	16:10	350.600	06/02/2018	ballastiere
21/10/2017	14:23	Pêche aux leurres	Aucun visible	171	914	4915	ND	4	16:20	351.900	29/01/2019	vivant
21/10/2017	14:45	Pêche aux leurres	Végétation aquatique	172	476	666	ND	2	16:45	349.460	29/01/2019	vivant
21/10/2017	16:10	Pêche à la mouche	Végétation aquatique	173	604	1473	ND	4	17:45	354.890	03/01/2018	ballastiere
21/10/2017	16:50	Pêche à la mouche	Végétation aquatique	174	535	1027	ND	4	17:53	354.220	13/09/2018	probable capture

ANNEXE 6 : Principales caractéristiques de l'échantillon de brochets de pisciculture

date de marquage	Origine pisciculture	numéro émetteur	longueur totale	poids	sexe	âge	heure de remise à l'eau	pk	date de la perte	statut final
22/11/2016	Aquafarm Bynens	11	835	4366	ND	5	15:00	347.610	14/04/2017	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	27	660	1918	ND	4	15:00	347.610	04/12/2016	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	28	781	3827	ND	4	15:00	347.610	11/01/2017	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	101	433	499	ND	2	15:00	347.610	27/01/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	102	467	616	ND	2	15:00	347.610	20/01/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	103	712	2406	ND	4	15:00	347.610	31/05/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	104	755	3073	ND	4	15:00	347.610	20/06/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	105	596	1265	ND	3	15:00	347.610	12/01/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	106	671	1982	ND	4	15:00	347.610	21/04/2017	disparu
22/11/2016	Aquafarm Bynens	107	576	1415	ND	3	15:00	347.610	12/01/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	108	584	1150	ND	3	15:00	347.610	23/11/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	109	594	1381	ND	3	15:00	347.610	24/12/2016	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	110	596	1341	ND	3	15:00	347.610	29/12/2016	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	111	593	1208	ND	3	15:00	347.610	05/05/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	112	603	1502	ND	4	15:00	347.610	18/04/2017	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	113	746	2562	ND	6	15:00	347.610	10/04/2017	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	114	651	1798	ND	4	15:00	347.610	11/03/2017	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	115	609	1478	ND	4	15:00	347.610	17/05/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	116	777	3381	ND	4	15:00	347.610	20/02/2017	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	117	524	749	ND	3	18:00	354.160	27/02/2017	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	118	482	803	ND	3	18:00	354.160	14/12/2016	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	119	665	1975	ND	4	18:00	354.160	14/07/2017	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	120	693	2323	ND	4	18:00	354.160	09/03/2017	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	121	732	2891	ND	4	18:00	354.160	26/12/2016	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	122	610	1376	ND	4	18:00	354.160	29/12/2016	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	123	807	3848	ND	5	18:00	354.160	11/01/2018	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	124	768	3361	Femelle	5	18:00	354.160	28/03/2018	mort
22/11/2016	Aquafarm Bynens	125	671	1110	ND	4	18:00	354.160	03/06/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	126	630	1709	ND	4	18:00	354.160	15/01/2017	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	127	636	1823	ND	4	18:00	354.160	27/08/2017	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	128	683	2208	ND	5	18:00	354.160	03/04/2018	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	129	686	2242	ND	4	18:00	354.160	13/05/2018	capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	130	746	3015	ND	5	18:00	354.160	04/01/2017	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	131	500	818	Femelle	2	18:00	354.160	06/12/2016	devalaison
22/11/2016	Aquafarm Bynens	132	631	1619	ND	3	18:00	354.160	05/05/2017	probable capture
22/11/2016	Aquafarm Bynens	133	690	2315	ND	3	18:00	354.160	29/03/2017	devalaison
02/11/2017	Etang Haubois FD55	175	685	2370	ND	4	16:58	347.610	12/12/2017	mort
02/11/2017	Etang Haubois FD55	176	499	775	ND	3	16:58	347.610	05/07/2018	mort
02/11/2017	Etang Haubois FD55	177	641	1863	ND	4	17:14	354.160	10/05/2018	capture
02/11/2017	Etang Haubois FD55	178	736	2380	ND	5	17:14	354.160	05/01/2018	devalaison
02/11/2017	Etang Haubois FD55	179	525	935	ND	3	16:58	347.610	16/05/2018	probable capture
02/11/2017	Etang Haubois FD55	180	681	2028	ND	4	16:58	347.610	15/05/2018	mort
02/11/2017	Etang Haubois FD55	181	514	849	ND	3	17:14	354.160	03/03/2018	devalaison
02/11/2017	Etang Haubois FD55	182	585	1165	ND	3	17:14	354.160	09/01/2018	devalaison
02/11/2017	Etang Haubois FD55	183	596	1345	ND	3	16:58	347.610	01/02/2018	mort
02/11/2017	Etang Haubois FD55	184	626	1580	ND	4	16:58	347.610	14/02/2018	ballastiere
02/11/2017	Etang Haubois FD55	185	656	1780	ND	3	17:14	354.160	07/12/2017	probable capture
02/11/2017	Etang Haubois FD55	186	466	599	Femelle	2	17:14	354.160	27/02/2018	predat
02/11/2017	Etang Haubois FD55	187	692	1946	ND	3	16:58	347.610	26/03/2018	ballastiere
02/11/2017	Etang Haubois FD55	188	467	596	ND	3	16:58	347.610	22/11/2017	capture
02/11/2017	Etang Haubois FD55	189	629	1483	ND	4	17:14	354.160	27/01/2018	devalaison
02/11/2017	Etang Haubois FD55	190	520	916	ND	3	17:14	354.160	18/01/2018	ballastiere
02/11/2017	Etang Haubois FD55	191	545	965	ND	3	16:58	347.610	29/06/2018	capture
02/11/2017	Etang Haubois FD55	192	544	993	ND	3	17:14	354.160	17/08/2018	mort
02/11/2017	Etang Haubois FD55	193	693	2300	ND	3	17:14	354.160	07/04/2018	ballastiere
02/11/2017	Etang Haubois FD55	194	524	937	ND	3	16:58	347.610	03/10/2018	probable capture

ANNEXE 7 : Diaporama synthétisant l'exploitation des données de scalimétrie réalisée en partenariat avec le pôle sclérochronologie de l'Ifremer de Boulogne-sur-Mer



Contexte

- Projet qui s'inscrit dans le cadre de l'étude comportementale sur le brochet en vallée de Meuse



Objectifs :

- Créer le modèle de croissance du brochet en vallée de Meuse
- Comparer la croissance des brochets issus du fleuve avec la croissance des brochets issus du repeuplement

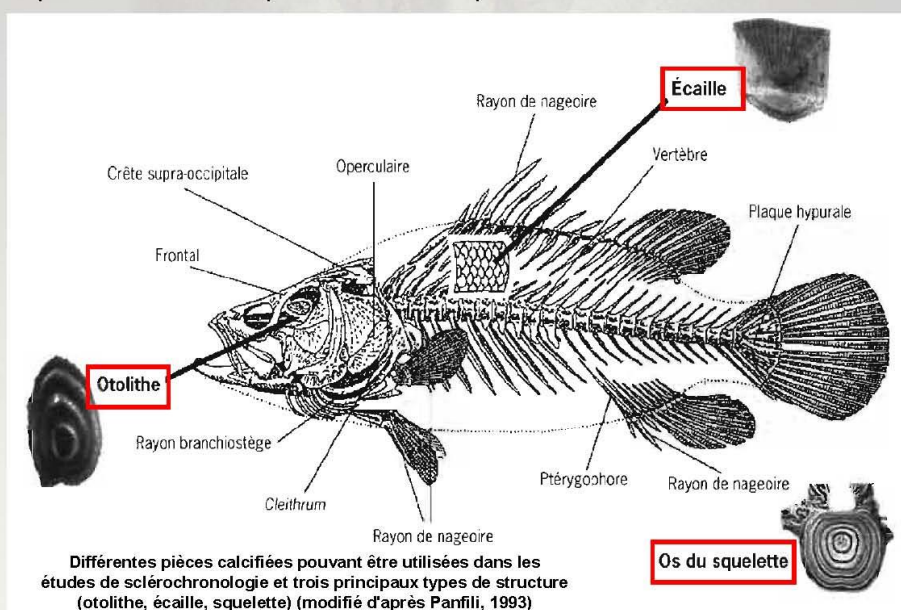
5 mm

2

Matériel et méthodes

- **Sclérochronologie** : discipline qui étudie les pièces calcifiées dans le but de reconstruire l'histoire vécue par les organismes vivants. Cette science permet notamment d'estimer l'âge et la croissance chez les poissons.

- Quelles pièces calcifiées peuvent être exploitées ?



Panfili, J., Pomuail H. (de), Trodec H., Wright P. J. (éd.), 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer-IRD, 464 p.

3

Matériel et méthodes

• L'échantillonnage sur les brochets



Prélèvement d'une dizaine d'écaillés sur le flanc du poisson



Période	Origine	Nb brochets
Automne 2016	Fleuve Meuse	24
Automne 2016	Pisciculture 1	36
Printemps 2017	Fleuve Meuse	61
Automne 2017	Fleuve Meuse	34
Automne 2017	Pisciculture 2	20
Printemps 2018	Fleuve Meuse	32
Total		207



Marquage des brochets



Pisciculture d'étang



Inventaires piscicoles dans les annexes hydrauliques

4

Matériel et méthodes

• La lecture des écailles

- Réalisée au pôle sclérochronologie de l'Ifremer de Boulogne-sur-Mer (du 04/02/2019 au 08/02/2019)
- Observation des écailles (immergées dans une solution aqueuse) sous loupe binoculaire avec une lumière transmise
- Chaque écaille a fait l'objet d'une image calibrée avec le logiciel TNPC



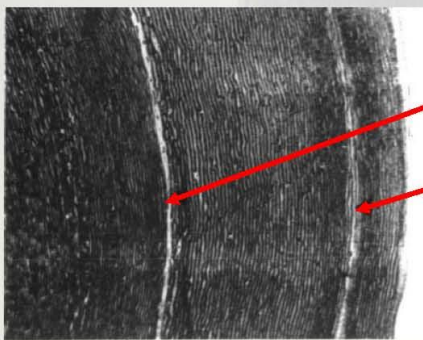
<https://archimer.ifremer.fr/doc/00180/29127/27533.pdf>

5

Résultats

• L'interprétation des structures d'âge

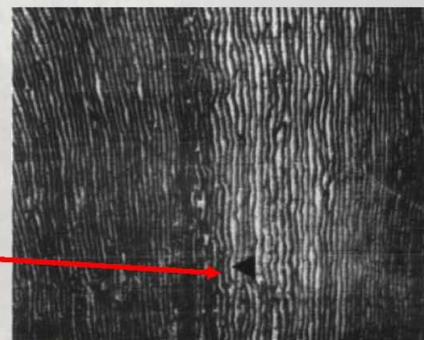
- Plusieurs observations ont été faites sur une même écaille ainsi qu'une comparaison entre plusieurs écailles d'un même poisson
- Mesures des radiales et du rayon des écailles
- Estimation de l'âge (date anniversaire fixée au 1^{er} janvier par convention) en suivant la formation des anneaux de croissance et les signes indiquant des arrêts de croissance :
 - Ligne claire hyaline entourant toute l'écaille (*exemple 1*)
 - Ligne claire plus étroite avec une série de fragments de circuli sous forme de points ou de traits courts (*exemple 2*)
 - Quelques circuli, rapprochés et discontinus (croissance lente), suivis de circuli complets et plus écartés (croissance rapide) (*exemple 3*)



Exemple 1

Exemple 2

Exemple 3



<https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/pdf/1987/03/kmae198730601.pdf>

<https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/pdf/1987/03/kmae198730601.pdf>

6

Résultats

• Lecture de juvéniles de l'année de brochets

07/06/2017
Lt = 78mm
Noue de Belleville



13/06/2018
Lt = 232mm
Annexe hydraulique les Petites Vaires



- Grande hétérogénéité dans les tailles des juvéniles (différentes pontes, température de l'eau, annexe hydraulique...)
- Croissance rapide dans les annexes hydrauliques (Un brochet de 23cm = juvénile de l'année)



7

Résultats

• Lecture de brochets

17/10/2017
Lt = 322mm
Fleuve Meuse



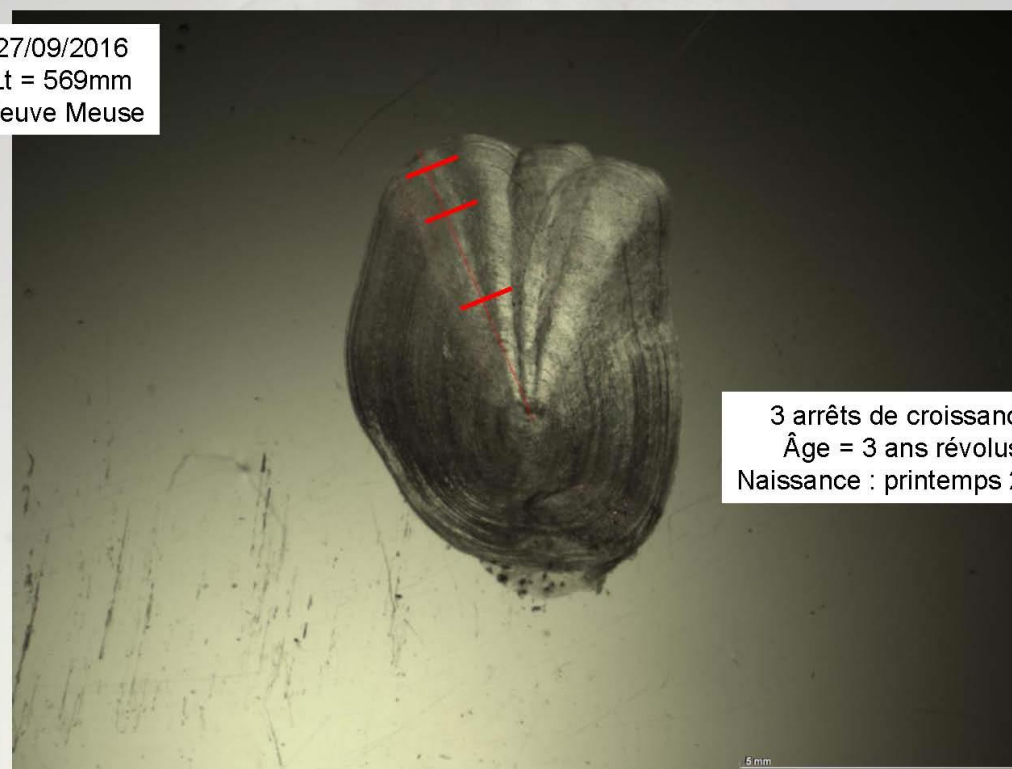
1 arrêt de croissance
Âge = 1 an révolu
Naissance : printemps 2016

8

Résultats

• Lecture de brochets

27/09/2016
Lt = 569mm
Fleuve Meuse



3 arrêts de croissance
Âge = 3 ans révolus
Naissance : printemps 2013

9

Résultats

• Lecture de broquets

23/05/2018
Lt = 950mm
Fleuve Meuse



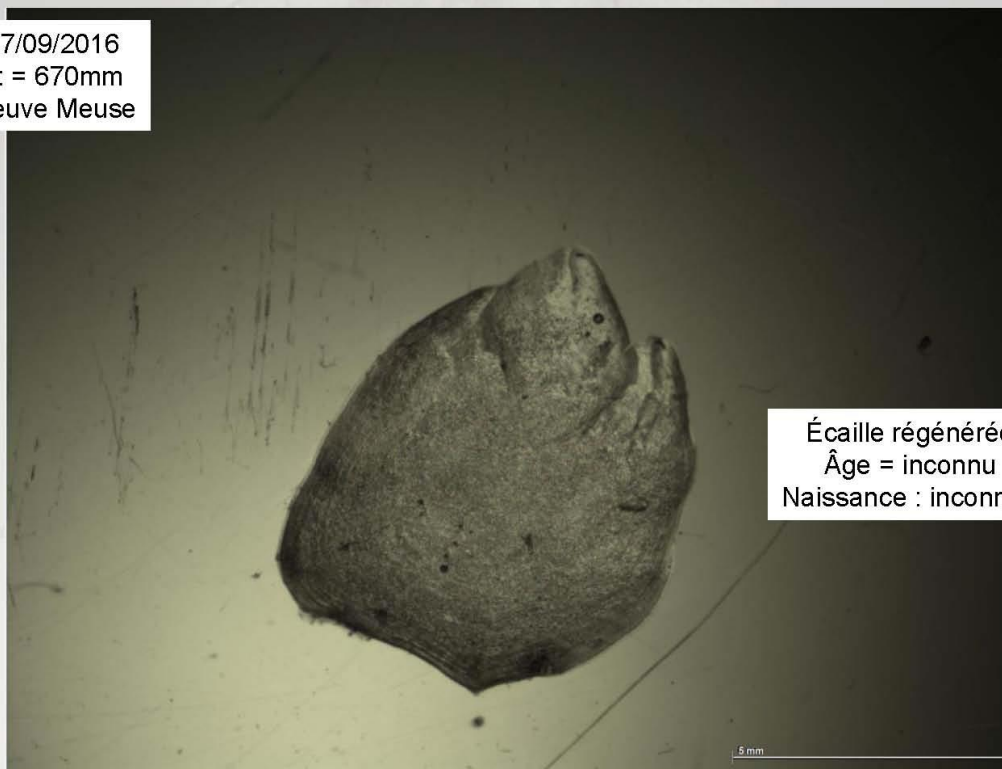
9 arrêts de croissance
Âge = 9 ans révolus
Naissance : printemps 2009

10

Résultats

• Lecture de broquets

27/09/2016
Lt = 670mm
Fleuve Meuse

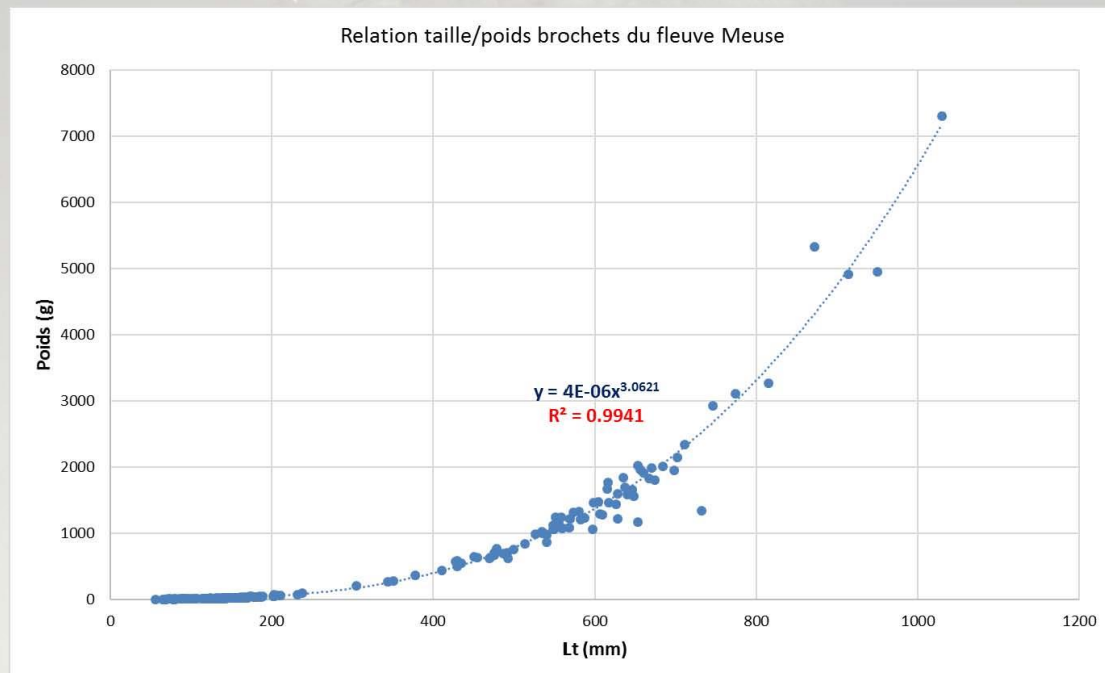


Écaille régénérée
Âge = inconnu
Naissance : inconnue

11

Résultats

• Relation taille/poids



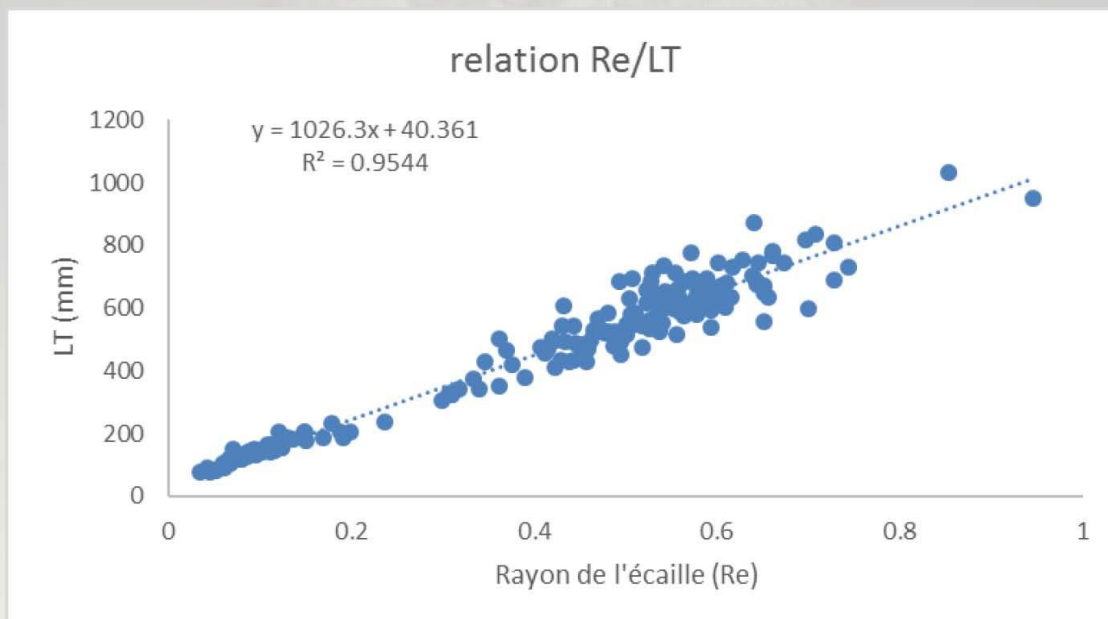
- Forte corrélation de type puissance entre la taille et le poids des brochets (coefficient de détermination sup à 0,99)

5 mm

12

Résultats

• Relation rayon des écailles/taille



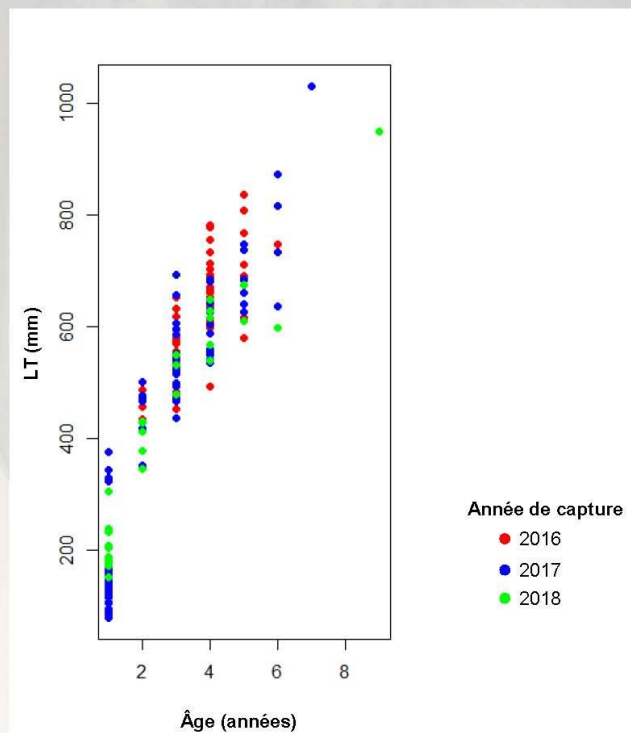
- Corrélation de type linéaire entre le rayon des écailles et la taille des brochets (coefficient de détermination sup à 0,95)

5 mm

13

Résultats

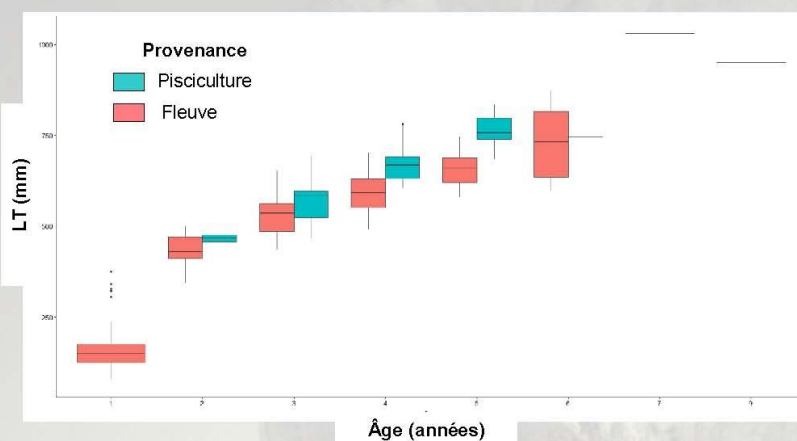
• Relation âge/taille brochets (fleuve + pisciculture)



14

Résultats

• Relation âge/taille brochets fleuve et pisciculture



• Pour un âge similaire les brochets de piscicultures semblent plus grands.

• Le milieu étang permet une meilleure croissance que le fleuve (meilleure production, milieu plus stable, température plus favorable...)



Fleuve Meuse
(milieu changeant)

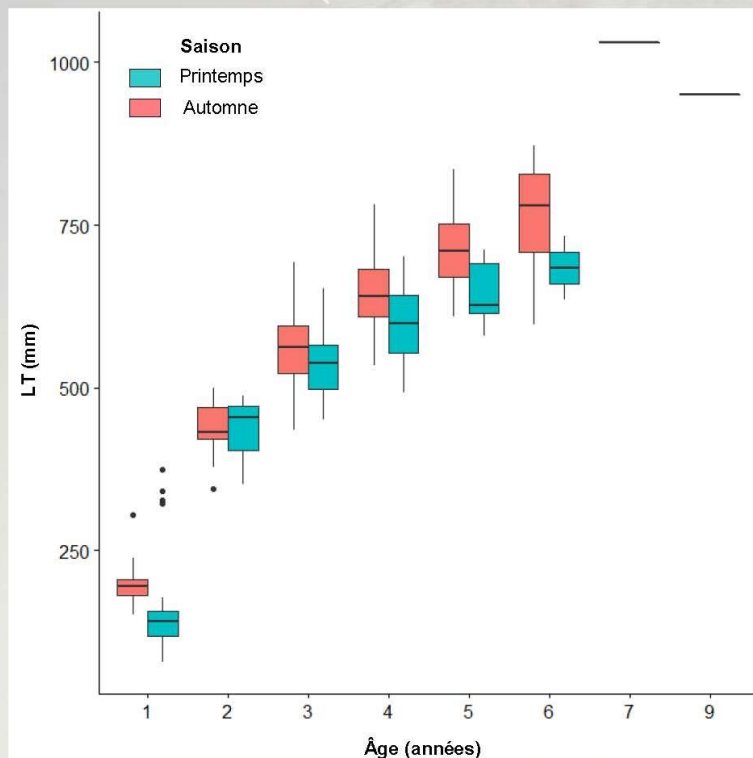


Étang (milieu stable)

15

Résultats

• Relation âge/taille des brochets du fleuve par période de capture



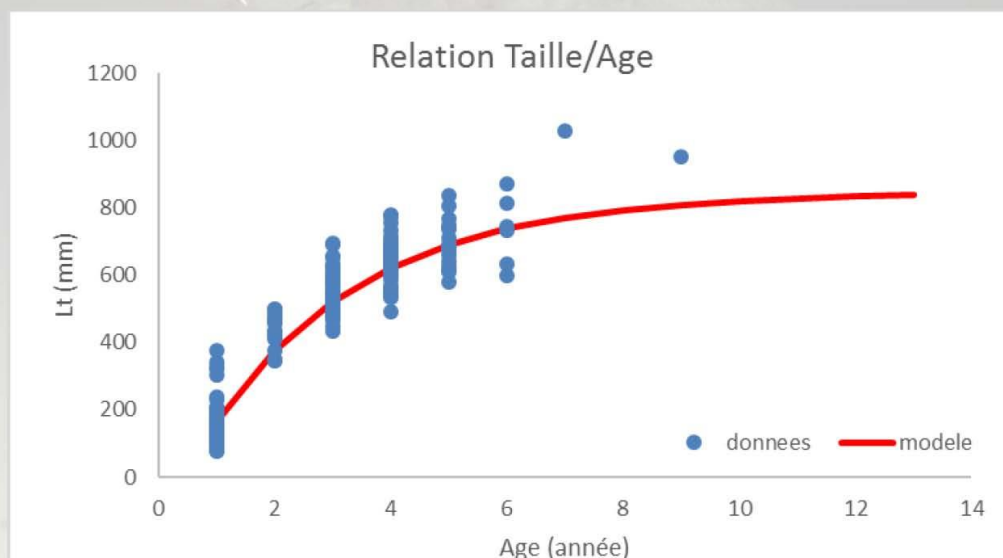
• Pour un âge similaire les brochets capturés à l'automne sont plus grands que les brochets capturés au printemps

• Croissance des brochets confirmée entre les deux périodes

16

Résultats

• Modèle de croissance



• Modèle de croissance de type $LT = L_{inf} - (L_{inf} - L_{t1ans}) * \exp(-k * (Age - 1))$

• Limites :

- Modèle regroupant les deux sexes
- Modèle pas cohérent pour des âges supérieurs à 6 ans (manque de données)

17

Discussion et perspectives

- Âge des brochets et taille légale de capture

<u>Âge</u>	<u>Lt (modèle)</u>	<u>Prélèvements possibles</u>	
		<u>Avant 2017</u>	<u>Depuis 2017</u>
2 ans	375 mm	Non	Non
3 ans	521 mm	Oui	Non
4 ans	621 mm	Oui	Oui
5 ans	691 mm	Oui	Oui

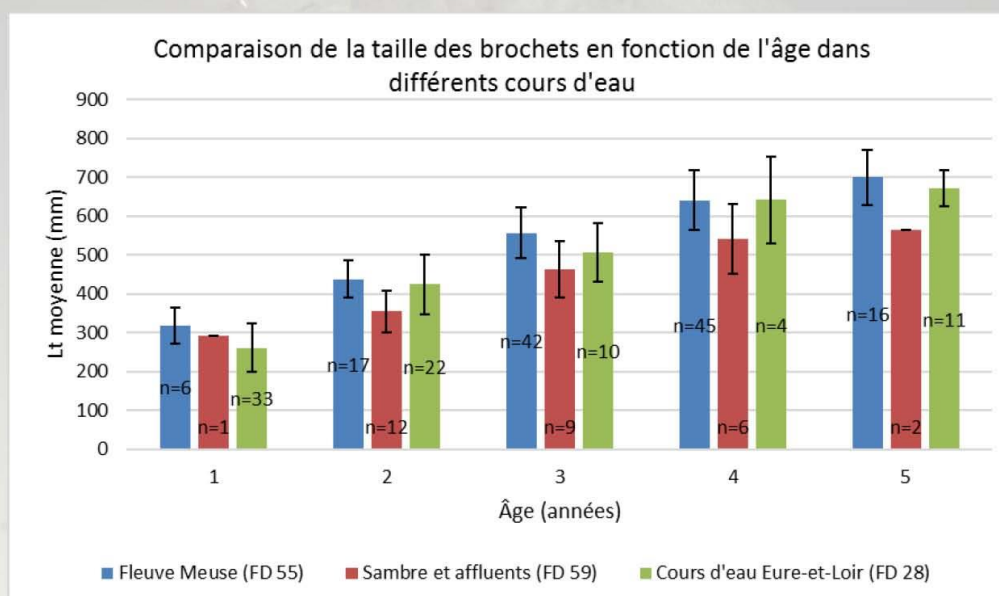
- L'augmentation de la taille légale de capture était justifiée (maturité sexuelle = 3 ans)
- Cette mesure permet aux brochets du fleuve d'accomplir au minimum un cycle de reproduction complet



18

Discussion et perspectives

- Comparaison de la croissance avec d'autres cours d'eau



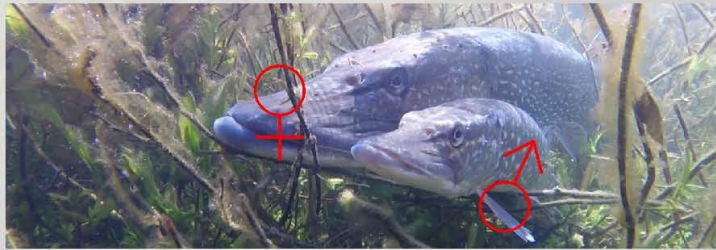
- Entre 1 an et 5 ans, la croissance des brochets dans le fleuve Meuse semble plus importante que dans deux autres bassins hydrographiques de France métropolitaine
- Fleuve Meuse = milieu favorable pour la croissance du brochet

19

Discussion et perspectives

- Le sexage des brochets serait nécessaire pour affiner le modèle

- La différence de croissance entre mâles et femelles est connue (scientifiquement et de tous les pêcheurs)



- Des écarts d'âge et de taille sont observables pour les quelques individus qui ont été sexés dans étude

21/10/2017
Lt = 606mm
Fleuve Meuse
Âge = 3 ans



21/10/2017
Lt = 640mm
Fleuve Meuse
Âge = 5 ans



- Les futurs prélèvements d'écailles doivent être associés à une connaissance du sexe (à minima pour les classes d'âge comprenant beaucoup de données)

5 mm

20

Discussion et perspectives

- Nécessité d'augmenter le nombre d'échantillons sur les brochets de plus de 5 ans (taille sup à 70 cm) pour affiner le modèle de croissance



- Collecter des écailles sur tous les brochets capturés dans le fleuve lors des opérations de pêche électrique (FD ou autres organismes)

- Associer les pêcheurs pour participer à la collecte (un seul retour sur la campagne 2017/2018)

Envie de connaître l'âge de vos gros brochets ?

Dans le cadre de l'étude menée par la Fédération sur l'espèce depuis 2016, nous vous invitons, à participer à la collecte d'écailles sur les brochets mesurant plus de 1m en appliquant le protocole ci-dessous. L'opération se déroule sur l'ensemble du département (cours d'eau, canaux, lacs).

1. Prélèvement d'une dizaine d'écailles sur un flanc du poisson (sous la nageoire dorsale)
2. Mettre les écailles prélevées dans une enveloppe et inscrire sur cette dernière les éléments suivants : date, lieu de capture, taille du poisson en cm, vos coordonnées
3. Mettre cette enveloppe dans une autre et l'envoyer à la Fédération



5 mm

21

Discussion et perspectives

- Collecte d'autres pièces calcifiées (otolithes principalement) pour aller plus loin dans les analyses

- Exemples :

- Déterminer la croissance journalière des juvéniles dans différentes annexes hydrauliques et dans le fleuve
- Comparer la croissance entre plusieurs bassins versants et plusieurs type de milieux (étangs, lacs, cours d'eau)
- Comparer la croissance de brochet de repêchage avec des brochets natifs du fleuve
- Etc...



22

Merci de votre attention



Remerciements pour l'aide technique et scientifique

Pour tous renseignements

Sébastien CORMONT

pdpg.peche55@gmail.com

03.29.86.15.70

23

ANNEXE 8 : Protocole de marquage des brochets

Les émetteurs SIGMA EIGHT TX-PSC-I-450 M ont été activés, paramétrés (délai d'émission de 3 s, passage à 10 s lorsque le poisson est stationnaire plus de 12 h, choix des ID) et testés. Ils ont ensuite été 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 0,7 ml/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 individu) pour limiter au maximum les traumatismes. Ensuite, le matériel de chirurgie est nettoyé avec de l'alcool à 95 % et rincé au sérum physiologique. Dès sa sortie du bac d'anesthésiant, le poisson est placé 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. 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 litres 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 sont relâchés dans le fleuve.

ANNEXE 9 : Fiche de terrain utilisée lors des campagnes de radiopistage

Opérateurs :

Date :

[illegible]

ANNEXE 10 : Localisation des différentes stations de pêche inventoriées en 2017 et 2018



ANNEXE 11 : Flyer d'invitation au marquage des brochets





**Lundi 26 septembre à Charny-sur-Meuse
(rue de l'abreuvoir) à partir de 9h30**

et

**Mardi 27 septembre à Belleville-sur-Meuse
(plan d'eau du Wameau) à partir de 9h30**



**Venez assister au démarrage d'une étude
comportementale sur le brochet en vallée
de Meuse**

Pêche électrique et marquage de poissons



Plus d'informations sur www.peche55.fr et Facebook



ANNEXE 12 : Plaquette d'information relative à l'étude



Étude comportementale du brochet en vallée de Meuse

Contexte

Le brochet est une espèce patrimoniale vulnérable (liste rouge de l'UICN) qui possède une grande valeur écologique et halieutique. Depuis plus de 15 ans, la Fédération de la Meuse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique mène des opérations de restauration sur des annexes hydrauliques afin d'augmenter la capacité de recrutement naturelle de l'espèce. Elle s'est particulièrement employée à développer ce type d'actions sur le fleuve Meuse où 574 zones humides alluviales ont été référencées dans le département.

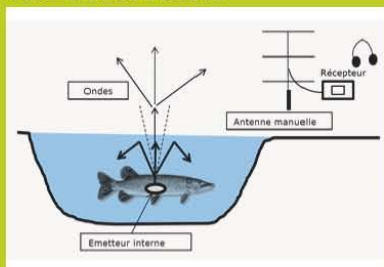


Objectifs de l'étude

Les objectifs principaux de l'étude sont les suivants :

- mesurer concrètement l'impact des travaux de restauration des annexes hydrauliques sur la capacité de recrutement de brochets.
- améliorer la connaissance des habitats du brochet dans le lit mineur pour permettre une meilleure prise en considération de ces derniers lors de travaux engagés sur les cours d'eau.
- mesurer l'impact des rempoissonnements sur les populations de brochets afin d'optimiser la gestion piscicole des AAPPMA.

Suivi des brochets



Le suivi des brochets dans le fleuve Meuse entre le barrage de Belleville-sur-Meuse et le seuil de Charny-sur-Meuse se fait par radiopistage. Une cinquantaine d'individus au total sont équipés d'un émetteur et d'une marque spaghetti externe. Afin d'observer les déplacements des brochets, le service technique de la Fédération réalise, à des fréquences variables, des sorties à l'aide d'un récepteur détectant individuellement les émetteurs des poissons. L'analyse des déplacements de ces derniers permettra de répondre aux objectifs de l'étude.

Si vous capturez un poisson muni d'une marque spaghetti, remettez le à l'eau rapidement pour le bon déroulement de l'étude. Pour plus de renseignements, contactez-nous au 03.29.86.15.70 ou par mail à secretariat.peche55@gmail.com



Suivez l'actualité de l'étude sur Facebook
Fédération de pêche de la Meuse et aappma La Gougonnière Meusienne



VERDUN ► sa région / Charny

Environnement La Fédération de pêche lance une étude comportementale sur le brochet en vallée de Meuse Brochets sous haute surveillance

SCALPEL, désinfectant, fil à recoudre... les brochets qui ont croisé ce lundi les pêcheurs de la Fédération de pêche sont véritablement passés sur la table d'opération. Cela dans le cadre d'une étude comportementale sur le brochet en vallée de Meuse», explique Sébastien Cormont, chargé de mission à la Fédération de la Meuse pour la pêche et la protection du milieu aquatique.

Première étape : capturer 25 spécimens issus du fleuve et 25 issus de rempoissonnement entre le barrage de Belleville et le seuil de Charny-sur-Meuse, « parce que c'est une zone ayant subi de nombreuses opérations de restaurations ». Une action menée en pêche électrique par des volontaires de la fédération et au leurre par les membres de l'AAPPMA la Goujonnère meusienne. Ramené au point central rue de l'Abreuvoir à Charny, « chaque brochet est pesé et mesuré », poursuit Sébastien Cormont.

Deuxième étape : s'il fait plus de 45 cm et pèse plus de 450 g, c'est un bon candidat à la pose de l'émetteur « car celui-ci ne doit pas être supérieur à 2 % du poids du poisson », détaille Romain Roy, directeur du bureau



■ Romain Roy du bureau d'études Profish insère un petit émetteur de 9 g dans chaque brochet de plus de 450 g. Photo ER

d'études Profish. Après avoir été endormi dans une eau contenant des huiles essentielles de clous de girofle, l'animal est opéré. Une petite incision juste sous les nageoires et l'émetteur est inséré. « On lui prélève également quelques écailles pour déterminer son âge et un bout de nageoire », précise le chargé de mission. Pour finir, Romain Roy le marque d'un « spaghetti », bague

comportant un numéro. Troisième étape : après être passé par la cuve de réveil, c'est-à-dire oxygénée, le poisson est rapidement remis à l'eau, là où il a été prélevé, tandis que son émetteur a été mis en marche.

Radiopisté durant un an
Cette étude a trois objectifs. Mesurer et observer les déplacements des brochets

« pour voir, entre autres, s'ils retournent sur les frayères aménagées », une tâche que la Fédération de pêche et la Goujonnère meusienne ont entreprise depuis 2001 sur cette zone. Mesurer l'impact de ces travaux de restauration des annexes hydrauliques « qui a pour but la reproduction naturelle de l'espèce ». Et enfin mesurer l'impact des rempoissonnements.

Avis aux pêcheurs

► La pose d'émetteurs sur brochets se poursuit encore aujourd'hui. Les pêcheurs et le public peuvent y assister en se rendant à Belleville, au plan d'eau du Wameau, de 9 h 30 à 17 h 30.

► Des pancartes expliquant l'intérêt de l'étude ont été apposées sur les bords du fleuve entre le barrage de Belleville et le seuil de Charny.

► Les pêcheurs qui sortiront de l'eau de cette zone un brochet muni d'une marque spaghetti sont priés de relever la couleur de la marque, mémoriser le lieu de la capture, remettre le poisson à l'eau et contacter la Fédération de pêche de la Meuse au 03.29.86.15.70 ou e-mail : secretariat.peche55@gmail.com

Chaque spécimen sera suivi grâce au radiopistage durant un an. « Pour cela nous circulerons une fois par semaine le long du fleuve pour les localiser car l'émetteur n'a une portée que de 100 mètres », souligne Sébastien Cormont.

« Si nous pouvons suivre trente des cinquante brochets marqués, ce sera bien. »

Christine CORBIER

ETAIN De nouveaux engagés volontaires au 3^e RHC

L'EST
RÉPUBLICAIN

Vendredi 6 avril 2018

LE JOURNAL DE
VERDUN



Photo ER

VACHERAUVILLE

Avec ses nouveaux
propriétaires,
le « Relais » continue
de se développer

> PAGE 5



Les aventures des brochets étudiées

NORD MEUSIEN

La Fédération de la Meuse pour la pêche et la protection du milieu aquatique réalise une étude
comportementale sur le brochet dans le fleuve Meuse. Photo Franck LALLEMAND

> PAGE 4

NORD MEUSIEN Environnement

Les petits et grands secrets des brochets

Depuis dix-huit mois, la Fédération de la Meuse pour la pêche et la protection du milieu aquatique réalise une étude comportementale sur le brochet dans le fleuve Meuse. Explications.

En septembre 2016 et pour un an, 100 brochets, dont 36 issus d'élevage ont été équipés d'un émetteur et d'une antenne afin de connaître les habitudes de vie de cette espèce et d'évaluer l'efficacité des travaux de restauration d'annexes hydrauliques effectués par les associations sur le fleuve Meuse. « Cette étude est importante pour Sébastien Cormont, chargé de mission à la Fédération de la Meuse pour la pêche et la protection du milieu aquatique. Le brochet est une espèce du patrimoine très porteuse dans la vallée de la Meuse. Elle entre aussi dans le cadre d'enjeux halieuti-

ques plus globaux, notamment en termes d'aménagement. »

Une espèce qui se porte bien

En dix-huit mois, Sébastien Cormont accompagné par deux étudiants, Guillaume Gonzales et Paul Massar, a analysé le comportement des brochets. Près de 140 opérations de radiopistage ont été réalisées sur plus de 1 000 km de fleuve et d'annexes hydrauliques parcourus en détection. « Sur les 100 brochets équipés, 52 sont encore vivants début avril, dont 23 sur notre secteur et 13 en ballastière. Plus de 30 ont disparu ou ont été capturés. » Lors de cette analyse, Sébastien Cormont a constaté également qu'il n'y avait plus qu'un seul brochet d'élevage dans la zone. « Ils ont tendance à se déplacer davantage et disparaître plus rapidement », observe-t-il.

« Aujourd'hui, le brochet est encore bien présent dans les eaux du fleuve Meuse. D'après nos analyses, cette espèce est pêchée en moyenne toutes les dix heures », constate Sébastien Cormont.

« Les travaux d'entretien et de restauration des annexes hydrauliques ont permis de diversifier les habitats (végétation aquatique, arbres morts, variation de



Munis d'un équipement dédié, les experts de la fédération de la Meuse pour la pêche et la protection du milieu aquatique peuvent suivre les mouvements des brochets équipés de capteur et d'une antenne. Photo Franck LALLEMAND

52 Sur les 100 brochets étudiés, 52 étaient encore vivants début avril.



Paul Massar et Guillaume Gonzales, stagiaires au sein de la fédération, ont apporté leurs connaissances à cette étude. Photo Franck LALLEMAND

Age des brochets : une future étude

Dans le cadre de cette étude sur le comportement du brochet, d'autres faits et gestes du brochet meusien devraient être analysés dans les mois à venir. Sébastien Cormont souhaite notamment travailler sur l'âge des brochets et leurs croissances dans les eaux du Nord meusien. « Je suis en train de travailler sur le sujet avec l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) de Boulogne-sur-Mer afin de réaliser cette étude. » Pour ce faire, il lance un appel à l'ensemble des pêcheurs. « Lorsque vous pêchez un brochet d'un mètre minimum, n'hésitez pas à prélever une grosse dizaine d'écaïlles et nous les transmettre par courrier à la Fédération de pêche. »

► Pour en savoir : pdpg.peche55@gmail.com

profondeur...) pour celui-ci. Ce qui lui permet aussi de se reproduire plus facilement », ajoute le chargé de mission.

Cependant, il a bel et bien constaté que les brochets issus de l'élevage survivent moins longtemps au milieu naturel contrairement aux espèces sauvages.

Pour corroborer ses dires, un film a par ailleurs été tourné et sera projeté dans les jours à venir.

Xavier CZAJA

Un documentaire à découvrir

- Samedi 7 avril, 14 h 30-16 h 30, Maison de la pêche et de l'eau de Nixéville-Blercourt : présentation des résultats de l'étude comportementale réalisée sur le brochet ; projection du documentaire « Sur les traces du brochet en vallée de Meuse » ; exposition photographique.

- Lundi 9 avril, 18 h, cinéma Carrousel Verdun : projection du documentaire « Sur les traces du brochet en vallée de Meuse » ; débat avec Sébastien Cormont, chargé de mission à la Fédération de pêche

- Mercredi 11 avril, 14 h-16 h 30, Belleville-sur-Meuse : séance participative de radiopistage des brochets (sur réservation au 03 29 86 15 70 ou pdpg.peche55@gmail.com)

Une annexe hydraulique en restauration

À Charny-sur-Meuse, la fédération travaille sur la restauration d'une annexe hydraulique de la carrière GSM dans le cadre d'un concours international « The quarry life award ».

L'objectif de ce challenge scientifique et éducationnel est de soulever l'attention sur la valeur organique des carrières d'exploitation et de partager les bonnes pratiques avec la communauté scientifique, les ONG, les autorités et les équipes opérationnelles.

Le projet meusien a retenu l'attention du jury et fait partie des six finalistes français. « Nous avons 8 mois pour le développer avec l'ensemble de nos partenaires afin de remettre un rapport en septembre 2018 qui sera pris en compte dans l'évaluation », expose Sébastien Cormont.

L'objectif est d'augmenter la capacité de reproduction du brochet du site (zones de frayères) et sa capacité d'accueil pour la loche d'étang (zone d'habitat).

Plusieurs opérations seront mises en œuvre :



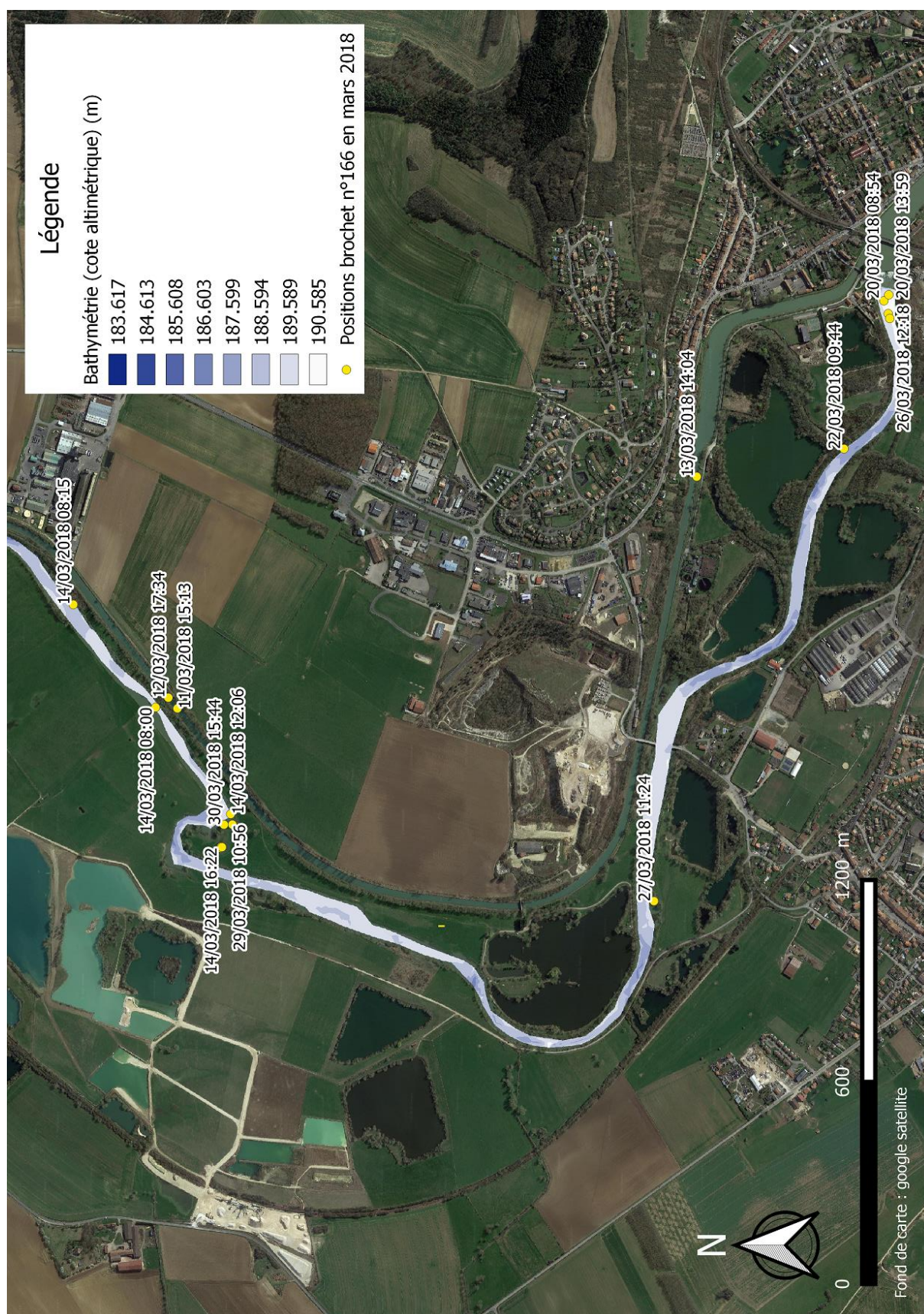
Sébastien Cormont présente le projet en lice pour un concours international qui verra le jour à l'annexe hydraulique de la carrière. Ph. F.L.

- création d'un large fossé herbé entre la ballastière et le fleuve Meuse pour permettre l'évacuation du surplus d'eau de la ballastière directement dans le fleuve ;
- terrassement d'un chenal en pentes douces d'environ 20 m de large et 50 m de long pour créer

- une connexion entre l'annexe hydraulique et le fleuve ;
- création d'une zone de forêt alluviale de 1000m2 entre l'annexe hydraulique et le fleuve ;
- présentation du projet et de ces enjeux aux salariés de la carrière pour les sensibiliser à ce type de milieu.

52804 - V1

ANNEXE 14 : détection du brochet n°166 en mars 2018

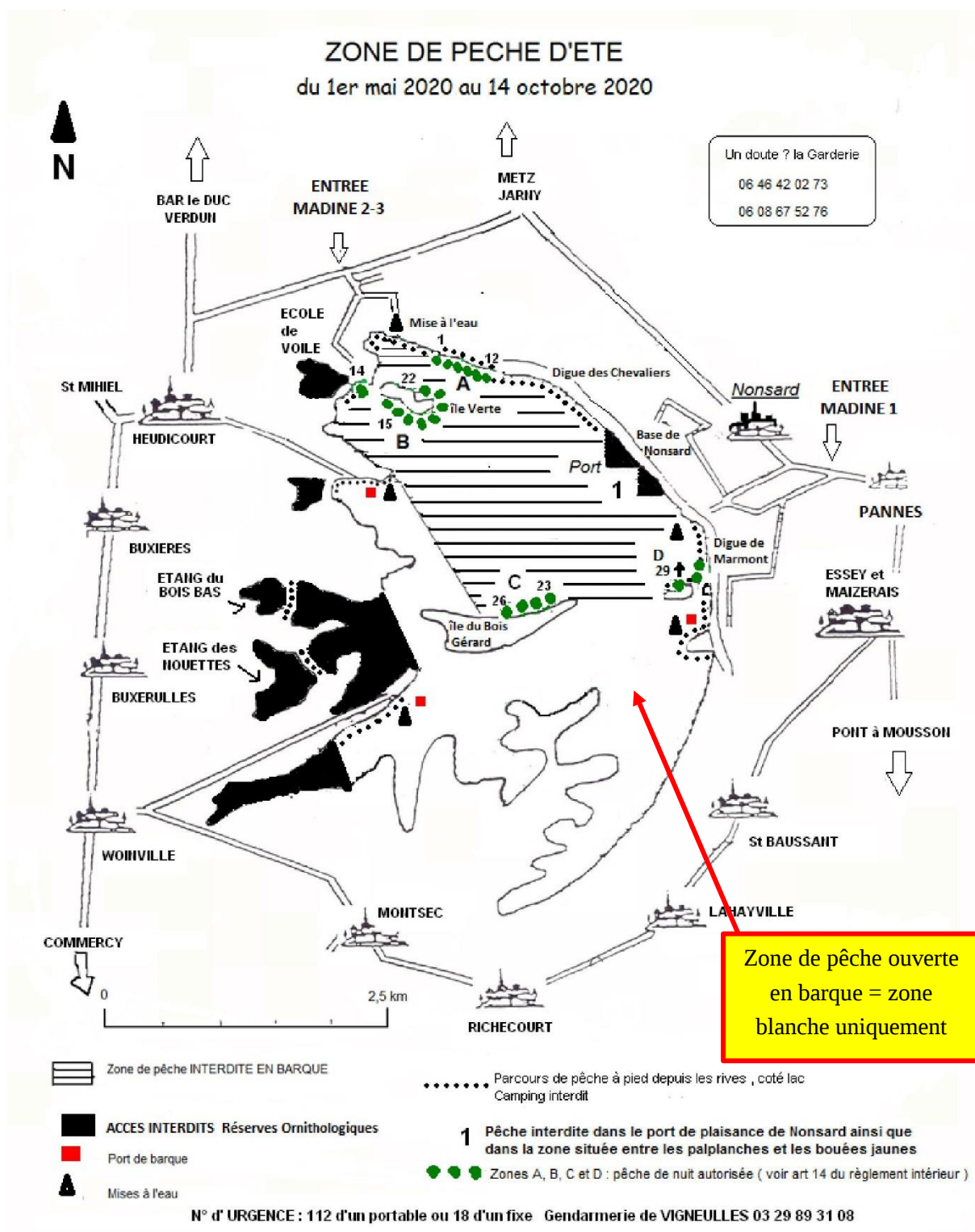


ANNEXE 15 : Recommandations de bonnes pratiques pour minimiser les impacts sur les poissons pendant la capture et la remise à l'eau (FAO 2012)

Figure 16
Overview of generalized best practices for catch-and-release of fish by rod and line



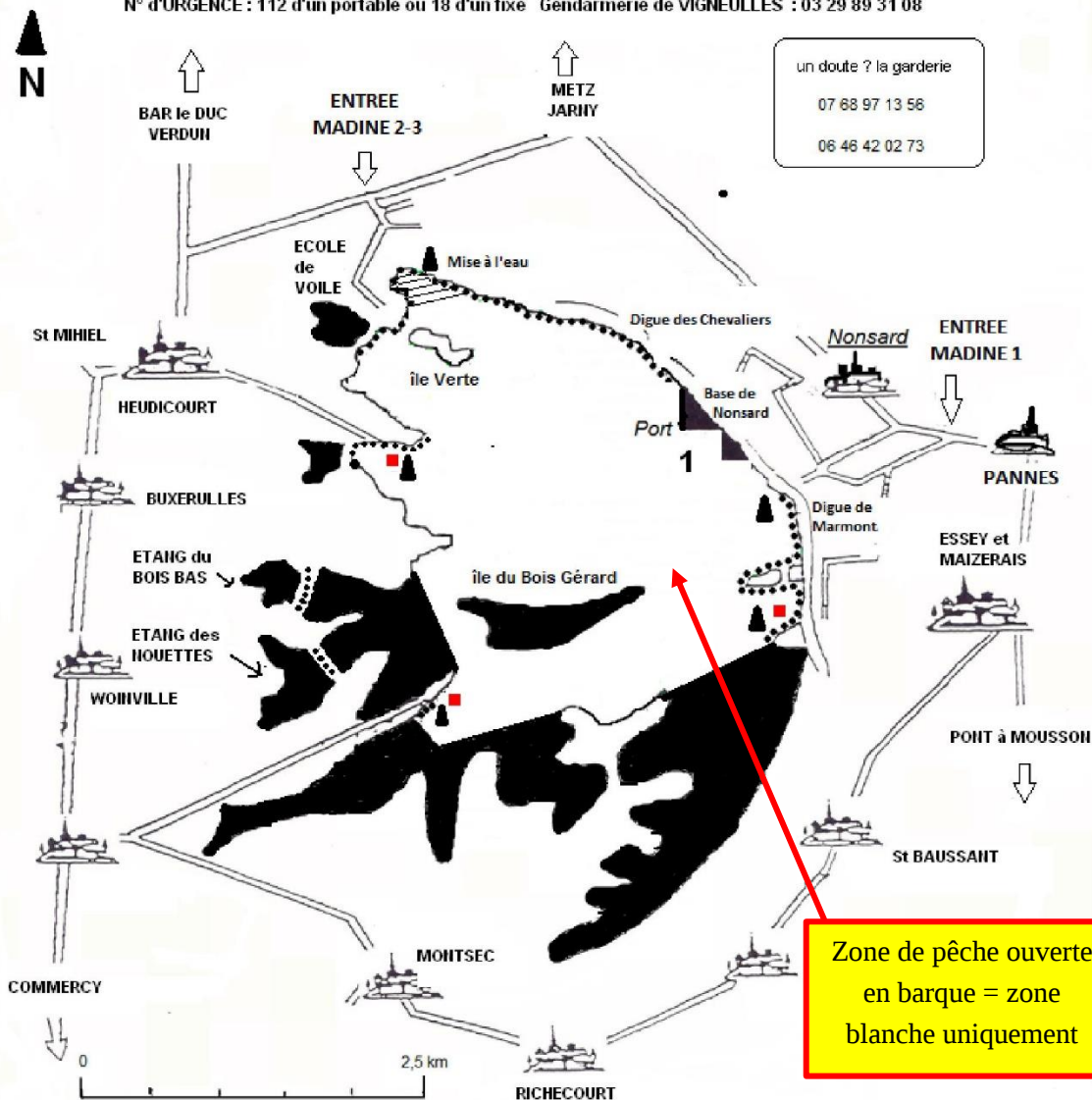
ANNEXE 16 : Alternance de zones d'ouverture de pêche en barque sur le lac de Madine



ZONE DE PECHE D'HIVER

du 15 octobre 2019 au 30 avril 2020 et du 15 octobre 2020 au 30 avril 2021

N° d'URGENCE : 112 d'un portable ou 18 d'un fixe Gendarmerie de VIGNEUILLES : 03 29 89 31 08



Zone de pêche INTERDITE en BARQUE
(Bassin à l'école de voile)

Port de barque

Mises à l'eau

1 Pêche interdite dans le port de plaisance de Nonsard ainsi que dans la zone située entre les palplanches et les bouées jaunes

ACCES INTERDITS Réserves Ornithologiques

Parcours de pêche à pied, depuis les rives, coté lac
Camping Interdit

Concernant les techniques de pêche et les espèces recherchées, se rapporter aux art 2, 4, 5, 6, 7 et 13 du règlement intérieur de l'AAPPMA

[illegible]