



Fédération de l'Allier pour la Pêche et
la Protection des Milieux Aquatiques

Décembre 2020

Inventaire et expertise des annexes hydrauliques du fleuve Loire et propositions de gestion

Rapport final



N° dossier : 20A030156



La Région 
Auvergne-Rhône-Alpes



Acquisition, mise en forme, analyse des données et rédaction

Maylis DEBAYLE

Stagiaire Master II – Université Clermont Auvergne

Mickaël LELIEVRE

Directeur – Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

06 08 92 81 34 – fede03.lelievre@orange.fr

Pierre MAREY

Technicien - Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

fede03.marey@orange.fr

Thibaut ROSAK

Technicien – Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

fede03.rosak6@orange.fr

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1- <u>Contexte de l'étude</u>	5
1.1- Le fleuve Loire.....	5
1.1.1- Sa dynamique fluviale.....	5
1.1.2- Espace de mobilité.....	6
1.1.3- Incision du lit.....	6
1.1.4- Les barrages de Grangent et Villereest.....	7
1.2- Les annexes hydrauliques.....	7
1.3- La formation des annexes hydrauliques.....	7
1.4- Typologie des annexes hydrauliques.....	9
1.5- Le rôle des annexes hydrauliques.....	9
1.6- Secteur d'étude.....	10
1.6.1- Le climat.....	11
1.6.2- L'hydrologie.....	11
1.6.3- La dynamique fluviale du secteur d'étude.....	11
1.7- Concept d'indicateur biologique.....	12
1.8- Une espèce repère : le brochet.....	13
1.8.1- Habitat.....	13
1.8.2- Cycle biologique.....	14
1.8.3- Les caractéristiques des zones de fraies préférentielles.....	15
1.9- Objectif de l'étude.....	15
2- <u>Matériels et méthodes</u>	17
2.1- Les annexes hydrauliques recensées.....	17
2.2- Protocole terrain.....	17
2.2.1- Estimation de la fonctionnalité potentielle en tant que frayère à brochet.....	18
2.2.2- Détermination du fonctionnement hydraulique.....	20
2.2.3- Détermination des perturbations.....	21
2.2.4- Vérification de la fonctionnalité des sites par pêche électrique.....	21
2.3- Production potentielle en brochet du site.....	22
2.3.1- Estimation de la Surface Favorable à la Reproduction = SFR.....	22
2.3.2- Estimation de la population théorique de brochet (BROc/an).....	23
2.3.3- Estimation de la fonctionnalité du site.....	23
3- <u>Résultats</u>	24
3.1- Les annexes recensées.....	24
3.2- Les annexes prospectées.....	25
3.3- Localisation des annexes prospectées.....	26
3.4- Estimation de la fonctionnalité potentielle en tant que frayère à brochet.....	27
3.5- Détermination du fonctionnement hydraulique.....	29
3.6- Détermination des perturbations.....	29
3.7- Capacité d'accueil (=SFR) et fonctionnalité.....	31
4- <u>Discussion</u>	32
4.1- Impact des barrages.....	32
4.2- Analyse spatiale des annexes hydrauliques.....	32

4.3-	Analyse par typologie.....	33
4.4-	Le comblement.....	33
4.5-	Principales problématiques.....	34
5-	<u>Critiques et problématiques de la méthode</u>	36
5.1-	Limite de l’inventaire préalable.....	36
5.2-	Mode et période de prospection.....	36
5.3-	Pêche électrique.....	37
6-	<u>Perspectives</u>	38
6.1-	Période de prospection.....	38
6.2-	Etudes complémentaires à l’inventaire.....	38
6.3-	Mesures de gestion.....	39
6.4-	Aménagements des sites.....	39
	CONCLUSION.....	50
	BIBLIOGRAPHIE.....	51
	ABREVIATIONS.....	53
	LISTE CARTOGRAPHIES.....	54
	LISTE FIGURES.....	54
	LISTE PHOTOGRAPHIES.....	54
	LISTE GRAPHIQUES.....	55
	LISTE TABLEAUX.....	55
	ANNEXES.....	56

INTRODUCTION

Le brochet (*Esox lucius*) est un carnassier emblématique des cours d'eau calmes et des plans d'eau. Sa morphologie lui autorise des vitesses de nage remarquables, faisant de lui un super-prédateur, une espèce dite « clé de voute », permettant une bonne régulation dans la structuration du réseau trophique. Ses exigences sont telles pour réaliser son cycle biologique que lorsqu'une population est stable cela indique un écosystème fonctionnel. Ce fort intérêt écologique autour d'*Esox lucius* fait de lui une espèce repère pour la caractérisation des contextes cyprinicoles.

Autrefois bien présent en France, le brochet est aujourd'hui classé comme vulnérable sur la liste rouge des espèces en danger (UICN France et al, 2010). La cause principale est anthropique, par la dégradation du milieu qu'il occupe et notamment ses zones de reproduction, avec la mise en place d'aménagements modifiant la morphologie naturelle des cours d'eau (endiguement, cloisonnement, assèchement des zones humides par drainage, écrêtement des crues...)

La préservation et la restauration de ces milieux constituent des enjeux d'autant plus forts qu'ils sont généralement caractérisés par une richesse faunistique et floristique exceptionnelle. En d'autres termes, la protection des milieux de vie du brochet est favorable à la sauvegarde d'un ensemble d'espèces (poissons, batraciens, invertébrés, plantes, oiseaux, etc.). On parle alors d'espèce « parapluie ».

Malgré un dynamisme latéral toujours actif conduisant à la formation d'annexes hydrauliques, le fleuve Loire ne fait pas exception à cette chute des effectifs de brochet.

C'est pourquoi, à l'image de l'étude qu'elle a menée en 2016 sur le linéaire départemental de la rivière Allier, la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de l'Allier (FDPPMA 03) a initié un nouveau projet d'inventaire et d'expertise des annexes hydrauliques du fleuve Loire se trouvant sur son territoire.

Le protocole mis en place permet de caractériser les annexes et d'évaluer leur fonctionnalité, en prenant en compte leur potentiel d'accueil en tant que frayère à brochet, leur fonctionnement hydraulique ainsi que les perturbations anthropiques qu'elles subissent.

Les résultats obtenus lors de cette étude permettront à la Fédération de pêche de l'Allier d'engager des actions de gestion et de restauration en faveur des annexes hydrauliques du fleuve Loire, en ciblant les sites les plus intéressants.

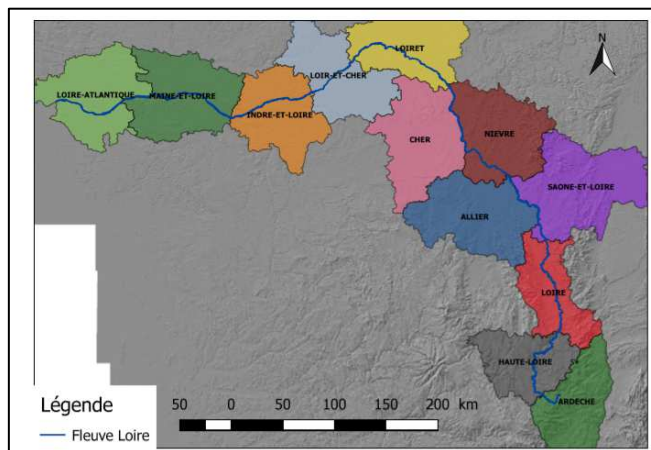
1- CONTEXTE DE L'ETUDE

Selon Amoros (1987), l'hydrosystème fluvial constitue un système à quatre dimensions : longitudinale (écoulement amont-aval du fleuve), transversale (relations entre le cours d'eau et sa plaine alluviale), verticale (interactions entre nappe aquifère alluviale et écosystème de surface) et temporelle (régime hydrologique, évolution des milieux). Cette étude s'intéresse plus particulièrement à la dimension transversale et notamment aux annexes hydrauliques présentes dans le lit majeur.

1.1- LE FLEUVE LOIRE

Le fleuve Loire est le plus long fleuve français (1012 kilomètres). Il prend sa source à 1420 m d'altitude au Mont Gerbier de Jonc dans le département de l'Ardèche. Son embouchure vers l'océan Atlantique se trouve dans le département de la Loire-Atlantique, proche de Saint-Nazaire. La totalité de son linéaire se situe en France et traverse 12 départements.

La Loire est un des seuls fleuves de cette taille en France, présentant, sur une aussi grande longueur et dans une gamme de pente aussi faible (en moyenne 0,05%), un style fluvial globalement méandrique et une activité dynamique (Figure 1).



Cartographie 1: Cartographie de l'ensemble du linéaire du fleuve Loire



Figure 1: Tracé méandrique du fleuve Loire vu sur photographiques aériennes (tronçon dans le département de l'Allier)

Le peuplement piscicole de la Loire est globalement composé de cyprinidés et on y trouve également des espèces de poissons migrateurs, telles que le saumon atlantique, l'alose, la lamproie marine, l'anguille, la truite de mer et le mulot porc.

1.1.1- Sa dynamique fluviale

Dans des conditions naturelles, les rivières tendent à établir une combinaison « dynamiquement stable » entre deux types de variables : les variables de contrôle qui s'imposent à la rivière et

contrôlent son évolution physique, et les variables de réponse qui permettent à la rivière de s'ajuster. Parmi les variables de contrôle, deux sont fondamentales et régissent en grande partie la dynamique fluviale : le débit liquide et le débit solide.

La rivière cherche son équilibre entre la charge en sédiment transporté et le débit liquide capable de l'évacuer. D'autres variables de contrôle interviennent également dans le processus de dynamique fluviale, comme la pente, la géométrie de la vallée, l'érodabilité des berges, ainsi que celle du lit du cours d'eau.

Les fluctuations des variables de contrôle entraînent un phénomène d'ajustement de la rivière, par la mise en place de variables de réponse, modelant ainsi sa morphologie. Ces variables peuvent être : la largeur du lit à plein bord, la profondeur moyenne, la pente du lit, la vitesse du courant, la sinuosité, la longueur d'arc des méandres. Ces dernières variables de réponse sont la conséquence d'une dynamique latérale (Malavoi & Souchon, 1996).

Cette dynamique latérale permet (DREAL Centre, 2014) :

- Une connexion hydraulique entre le cours d'eau principal et sa plaine alluviale essentielle au maintien de la forêt alluviale à bois tendres permettant une plus grande diversité de faune et de flore ;
- Une connexion hydraulique avec les annexes hydrauliques possédant un rôle écologique fondamental ;
- La création d'un patch d'habitats importants pour la biodiversité. Effectivement le processus de succession végétale permet une diversité maximale de la flore ;
- Stabilisation des ouvrages d'arts ;
- Des échanges sédimentaires entre la Loire et sa plaine alluviale, ainsi qu'un ajustement de la forme en plan et du profil en long, limitant ainsi l'incision du lit.

La dynamique latérale n'est possible que si le cours d'eau possède un espace de mobilité suffisant.

1.1.2- Espace de mobilité

Il faut dissocier deux notions : l'espace de mobilité fonctionnel, et l'espace de mobilité minimal.

L'espace susceptible d'être utilisé par les déplacements latéraux du chenal principal suite à l'érosion des berges est appelé l'espace de mobilité fonctionnel. A l'intérieur de celui-ci se trouve l'espace de mobilité minimal. Il s'agit de l'espace minimal à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement.

Si cet espace n'est pas respecté (endiguement, enrochements, zone d'extraction) on observe des modifications morphologiques du cours d'eau (DREAL Centre, 2014).

1.1.3- Incision du lit

Dans le cas du fleuve Loire, la construction des barrages de Villerest et Grangent ainsi que les extractions de granulats réalisées au cours de la deuxième moitié du XXème siècle (on estime près de 220 millions de tonnes entre 1949-1992.) (Source : La Houille Blanche, 1996), ont profondément modifié la dynamique sédimentaire induisant un enfoncement du lit.

L'incision du lit est d'1,5 m en moyenne sur le fleuve, avec des maximums de -3 à -4 m. Les conséquences de cet enfoncement du lit (DOCOB Réseau Natura 2000, 2010) sont:

- Une diminution de l'épaisseur de la nappe alluviale qui entraîne une perte à court terme de la ressource en eau potable en période d'étiage ;
- Une fragilisation des ouvrages d'art ;
- L'apparition, dans le lit mineur, du substratum marneux très défavorable à la faune, la flore et aux habitats aquatiques ;
- Il en résulte une augmentation de la différence de niveau topographique entre le cours d'eau principal et les annexes hydrauliques, entraînant un assèchement de ces dernières (NABET, 2014).

1.1.4- Les barrages de Grangent et Villerest

Le barrage de Grangent, construit entre 1955 et 1957 se trouve en aval d'Aurec-sur-Loire (Haute-Loire) et en amont de Saint-Just-Saint-Rambert (Loire). Il s'agit d'un barrage dont la fonction première était d'abord hydroélectrique mais il permet également une régulation du fleuve et un franchissement routier.

Le barrage de Villerest qui se trouve plus en aval du barrage de Grangent sur le territoire de Villerest et Commelle-Vernay à proximité de la ville de Roanne, a été mis en service en avril 1984.

Les barrages possèdent un rôle d'écrêteur de crue, c'est-à-dire qu'ils stockent de grands volumes d'eau, permettant ainsi de limiter la montée des eaux lors de crues. Ils permettent également lors de la période d'étiage de maintenir un débit minimal dans les cours d'eau.

De plus, les barrages empêchent le transit sédimentaire vers l'aval, ce qui limite les dépôts de limons dans la plaine alluviale. Il en résulte un enfoncement du lit du cours d'eau en aval du barrage.

1.2- LES ANNEXES HYDRAULIQUES

Les annexes hydrauliques ou également appelées annexes fluviales, sont une des composantes majeures de la dimension latérale de l'hydrosystème fluvial.

Ce sont des zones d'eau situées dans le lit majeur de la rivière c'est-à-dire dans le champ d'expansion naturel des crues. Elles peuvent être définies comme « l'ensemble des zones humides du lit majeur en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connexions soit superficielles, soit souterraines » (AEAG, 2016).

Ces milieux ont la particularité d'avoir des surfaces et des hauteurs d'eau dépendantes de l'hydrologie du cours d'eau. C'est la raison pour laquelle on les qualifie régulièrement de Milieux Temporairement Immergés (MTI) du fait des variations saisonnières du débit du cours d'eau.

1.3- LA FORMATION DES ANNEXES HYDRAULIQUES

La dynamique fluviale entraîne des processus naturels de migration latérale du cours d'eau. Celui-ci se déplace en érodant sa rive concave et en déposant des sédiments en transit sur la rive convexe engendrant ainsi la formation de méandres.

Lorsque les méandres atteignent un certain rayon de courbure, ils peuvent être recoupés naturellement à l'occasion de crues. La partie du méandre se trouvant dans la courbure ayant été recoupée devient alors un chenal secondaire qui va progressivement se combler par apports de sédiments et de matière organique provenant du lit majeur (Malavoi et Souchon, 1996) formant ainsi un bras mort (figure 2)



Figure 2: Photographies aériennes montrant la création du bras mort "Les Grands Verziaux"

Plusieurs mécanismes peuvent conduire à la formation d'un bras mort (Amoros & Petts, 1993) :

- Recouplement par déversement : lors d'une crue, un chenal de déversement se crée et court-circuite la boucle du méandre. Il devient alors le chenal principal et la rivière abandonne son ancien chenal ;
- Recouplement par tangence : ce type de recouplement est observé pour les cours d'eau de plaine. La dynamique de la rivière peut entraîner un resserrement de la base de la boucle d'un méandre et son recouplement par érosion. Une partie de la boucle du méandre est alors abandonnée et forme un bras mort ;
- Avulsion : elle consiste en « un changement radical du tracé en plan et au creusement d'un nouveau chenal à l'occasion d'une crue » (Le Cox, 2007).

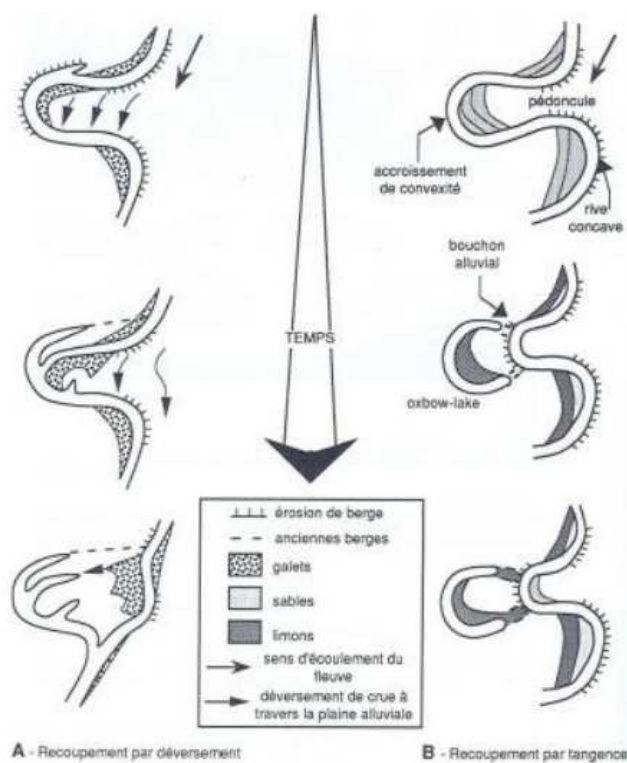


Figure 3: Les mécanismes de formation des bras mort (Amoros & Petts, 1993)

Les annexes hydrauliques se rapportent donc de manière générale « aux zones humides riveraines des cours d'eau, aux milieux aquatiques ou semi aquatiques dits péri-fluviaux. Il peut ainsi s'agir des bras secondaires, des bras morts, des mares, des marais inondés voire, si l'on donne à cette définition une acceptation large, les prairies inondables (dont certaines jouent un rôle important comme zones de frayères) ainsi que les gravières et sablières » (Dupieux, 2004).

1.4- TYPOLOGIE DES ANNEXES HYDRAULIQUES

Le terme d'annexe hydraulique englobe l'ensemble des zones humides se trouvant dans le lit majeur du cours d'eau. Cependant, elles peuvent être plus ou moins connectées au cours d'eau principal ainsi qu'à la nappe alluviale. De là en découlent plusieurs typologies (Allion et Lelièvre, 2016):

- **Confluence en lit majeur (C)** : affluent permanent ou temporaire situé en lit majeur ;
- **Chenal secondaire (CS)** : chenal connecté au cours d'eau par l'amont et l'aval, il détourne une partie de la rivière mais son débit est moins fort ;
- **Chenal tertiaire (CT)** : chenal connecté au cours d'eau par l'aval et dont une connexion par l'amont existe en période de moyennes eaux (module) ;
- **Chenal de crue (CC)** : chenal peu encaissé, organisé en réseau à travers le lit majeur ;
- **Bras mort (BM)** : Annexe connectée au cours d'eau uniquement par l'aval en période d'étiage et dont la connexion amont se fait en période de hautes eaux ;
- **Prairie inondable et marais (PI)** : prairie ou ancien chenal partiellement comblé par les sédiments où se développe une végétation hygrophile (c'est-à-dire la végétation se développant dans les milieux humides) ;
- **Morte (M)** : annexe complètement déconnectée du cours d'eau excepté lors des crues annuelles ou biannuelles ;
- **Zone artificialisée (ZA)** : annexe d'origine anthropique, creusée dans le lit majeur, le plus souvent dans le but d'extraire des granulats.

Du fait de la diversité des milieux qu'elles offrent, les annexes hydrauliques remplissent de multiples services écosystémiques.

1.5- LE ROLE DES ANNEXES HYDRAULIQUES

Ce sont des zones d'une grande diversité biologique, avec une succession écologique importante, qui servent de corridors pour bon nombre d'animaux, tel que les oiseaux. Elles sont également des zones de reproduction indispensables au cycle de vie de plusieurs espèces aquatiques dont le brochet, la bouvière (Bengen et al, 1992, Dumousset, 1999) ou encore la loche d'étang (Storck & Mougenez, 2004).

Elles constituent des zones de refuge en cas de perturbations (crue importante, pollution temporaire) du chenal principal pour les espèces inféodées au milieu aquatique (Pringle et al, 2000).

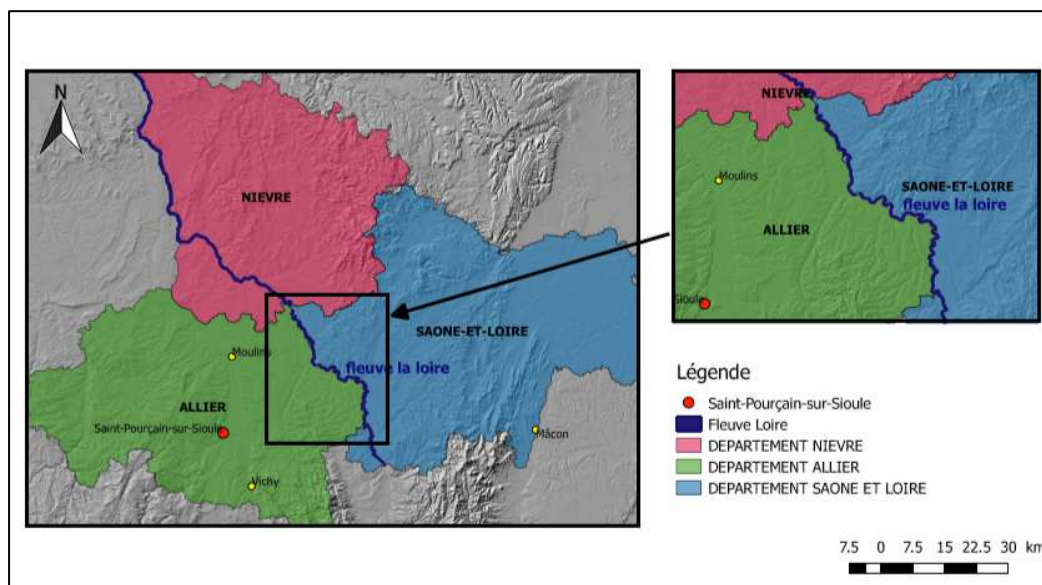
Les annexes hydrauliques sont également des zones tampons, avec un rôle d'épuration naturelle des eaux provenant de l'ensemble du bassin versant. Elles sont le siège du processus de dénitrification microbienne (Ruffini, 1994).

Elles possèdent également un rôle de régulation hydraulique (Dumousset 1999). Leur aptitude à stocker de grands volumes d'eau permet d'atténuer l'impact des crues (rôle d'écrêteur de crue). A l'inverse, elles soutiennent le débit lors de la période d'étiage.

De plus, ce sont des milieux très productifs, du fait du réchauffement rapide des eaux qui s'y opère et de la grande diversité d'habitats qu'ils contiennent. Couplé à une forte végétation, on y retrouve une forte production de biomasse, qui lors des crues, se retrouve dans le chenal principal de la rivière et permet ainsi un apport en nutriments et matières organiques. (Dumousset, 1999)

1.6- SECTEUR D'ETUDE

Le secteur étudié s'étend de la limite amont départementale entre la Saône-et-Loire et l'Allier à la limite aval entre l'Allier et la Nièvre. Le cours d'eau principal s'écoule sur 92,4 km.



Cartographie 2: Cartographie situant le linéaire d'étude du fleuve Loire

Ce linéaire inclut quatre sites Natura 2000 étroitement imbriqués ainsi que la Réserve Naturelle Régionale du Val de Loire Bourbonnais.

➤ Le réseau européen Natura 2000

Le réseau Natura 2000 constitue un outil de préservation de la biodiversité. Les sites visent une meilleure prise en compte des enjeux de biodiversité dans les activités humaines. Ils sont désignés pour protéger un certain nombre d'habitats et d'espèces représentatifs de la biodiversité européenne. Il n'y a pas d'acquisition foncière, ni une réglementation très stricte, mais un partenariat avec les propriétaires et les collectivités locales permettant de maintenir des activités humaines en accord avec la protection des espèces et habitats d'intérêt européen.

Le linéaire de la Loire comprend une **Zone de Protection Spéciale (ZPS)** ainsi que trois **Zones Spéciales de Conservation (ZSC)**

- **ZPS** : Il s'agit d'une zone de protection spéciale qui s'appuie sur la Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (=ZICO, soit l'inventaire de sites déterminants pour la conservation de l'avifaune française et européenne, au titre de la directive oiseaux).
- **ZCS** : visent à conserver ou rétablir dans un état favorable à leur maintien à long terme les habitats naturels et les populations des espèces de faune et de flore sauvages.

➤ La Réserve Naturelle Régionale

Les réserves naturelles régionales constituent un outil de protection des espaces naturels par une réglementation bien précise interdisant certaines activités. Une zone cœur est déterminée avec une réglementation stricte. **La Réserve Naturelle Régionale du Val de Loire Bourbonnais** a été créée le 30 juin 2015. Elle est située sur les Communes de Garnat-sur-Engièvre et Saint-Martin-des-Lais, et s'étend sur 308 ha, renfermant une très grande diversité de milieux et d'espèces.

1.6.1- Le climat

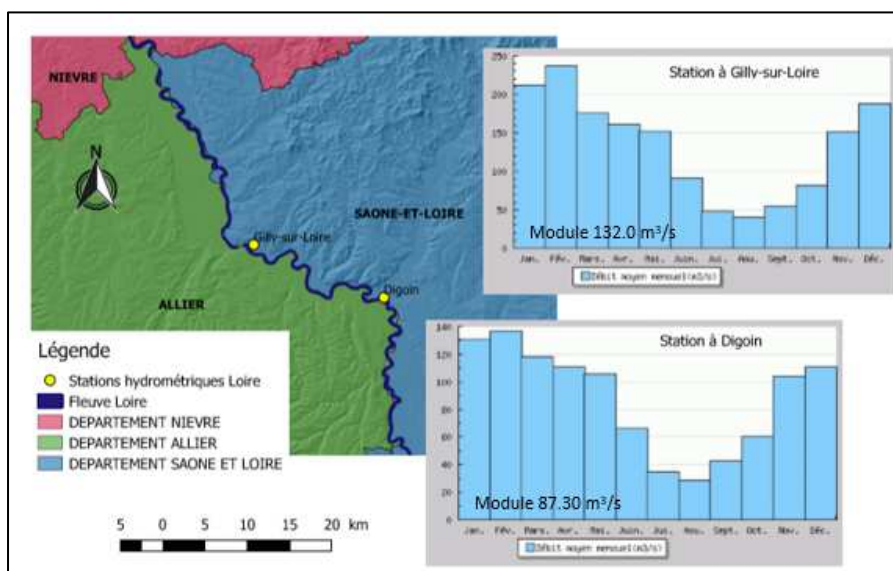
Le secteur d'étude est scindé en deux entités climatiques.

La partie à l'amont de Digoin, se caractérise par des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 804 mm à Saint-Yan. La proximité des reliefs du Massif Central au sud, du Morvan au nord et du Brionnais à l'est induit des circulations de masses d'air froid. Cela entraîne donc des températures hivernales très basses avec de nombreux jours de gel. La température moyenne du mois de janvier est de 1,4°C et celle de juillet de 18,9°C.

La zone allant de Digoin à Decize, en aval, est caractérisée par un hiver plus doux, avec peu de jours de gel. Les précipitations moyennes annuelles sont de 812 mm à Bourbon-Lancy, et sont globalement régulières tout au long de l'année. La température moyenne du mois de janvier est de 2,5°C et celle de juillet est de 19,1°C, soit un peu plus chaud qu'à l'amont.

1.6.2- L'hydrologie

Le cours d'eau se caractérise par un régime pluvial. Deux stations hydrométriques se trouvent sur le linéaire étudié, à Digoin et à Gilly-sur-Loire.



Cartographie 3: Localisation des stations hydrologiques de la Loire sur le secteur d'étude (source : Banque Hydro)

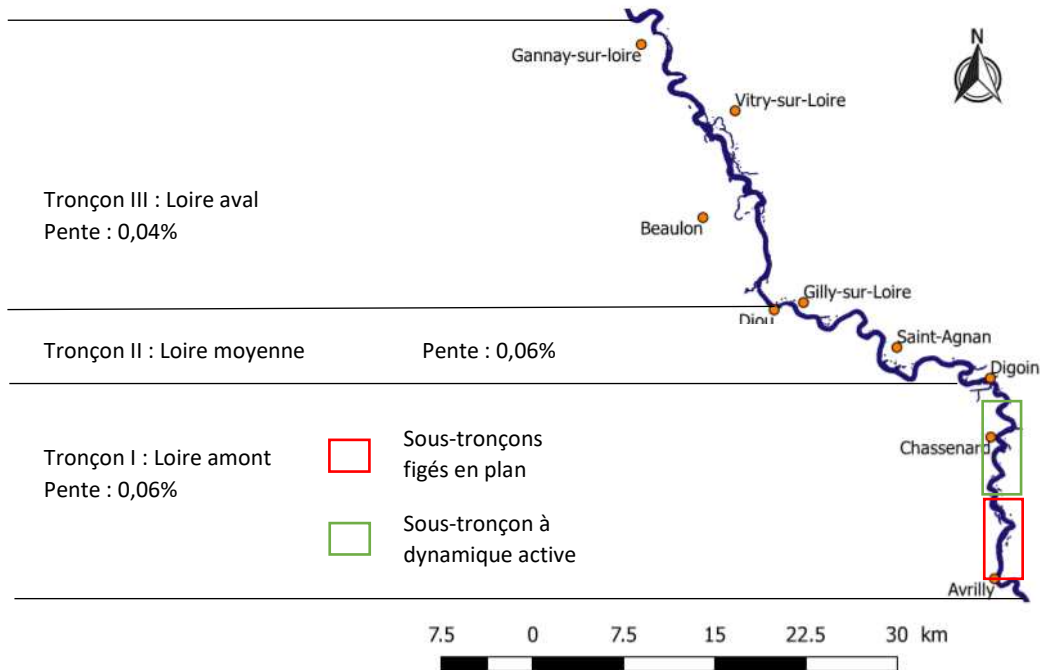
Le module correspond au débit moyen calculé sur plusieurs années au niveau de la station (Source : Banque hydro)

Lors d'une année hydrologique « moyenne », l'ensemble du linéaire possède une période d'étiage de juin à octobre et une période de hautes eaux de décembre à février.

1.6.3- La dynamique fluviale du secteur d'étude

Le fleuve Loire sur notre secteur d'étude traverse des matériaux meubles, permettant la migration latérale du fleuve à l'intérieur d'un espace de liberté. Le linéaire se caractérise donc par un style fluvial à méandres mobiles et une pente naturelle moyenne autour de 0,05%. Bien que cette dynamique occasionne des désagréments, elle reste essentielle pour la diversité écologique des habitats et des espèces (DOCOB N2000).

On trouve plusieurs secteurs plus ou moins dynamiques sur l'ensemble du linéaire d'étude.



Cartographie 4: Sectorisation du secteur d'étude de la Loire

Le tronçon I, s'étend d'Iguerande (Saône et Loire) à Digoin. Il possède une pente moyenne de 0,06% et une largeur en fond de vallée de l'ordre de 2-3 km (espace de divagation théorique du lit actif). Ce tronçon est globalement caractérisé par une dynamique fluviale, cependant il possède des sous-tronçons à dynamiques différentes (Cartographie 4)

Le tronçon II, s'étend de Digoin à Diou et représente probablement la portion la plus stable de la Loire au sein de la zone d'étude. Cette stabilité s'explique autant par des contraintes naturelles (affleurement de coteaux, seuil rocheux) que par des aménagements anthropiques réduisant l'espace de liberté du cours d'eau.

Le tronçon III, s'étend de Diou à Decize (Nièvre). Il possède globalement une forte dynamique fluviale, notamment à l'aval de Bourbon-Lancy. Compte tenu du fort développement des méandres, la pente du lit se réduit pour atteindre des valeurs de l'ordre de 0,04%.

1.7- CONCEPT D'INDICATEUR BIOLOGIQUE

L'étude de l'impact des activités anthropiques sur un écosystème nécessite de nombreuses mesures physiques, chimiques et écologiques. Mais elle ne permet pas de connaître l'impact sur les êtres vivants. C'est pourquoi la notion d'indicateur biologique fait partie des instruments les plus utilisés pour contrôler l'impact environnemental (Hering et al, 2006). Un indicateur biologique (ou bioindicateur) peut être défini comme un organisme ou un ensemble d'organismes qui permet de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence leurs modifications, naturelles ou provoquées (Blandin, 1986). Ce concept est basé sur le fait que chaque organisme est adapté à des conditions environnementales spécifiques qui le caractérisent (Southwood, 1977) et sa présence dans le milieu est le reflet de ces conditions.

La notion d'indicateur biologique pourrait être rapprochée de la notion d'espèce repère qui, par sa présence et son abondance, est représentative d'un équilibre ou d'un déséquilibre dans le fonctionnement du milieu. Ce principe est actuellement utilisé pour évaluer la fonctionnalité

biologique des cours d'eau en France. Chaque contexte piscicole, c'est-à-dire un ensemble hydrographique dans lequel les paramètres naturels du milieu, en l'absence de perturbations anthropiques, sont favorables à un type de peuplement, possède une ou plusieurs espèces indicatrices associées.

Dans le cas des grands cours d'eau dont le chenal principal est classé majoritairement dans le contexte cyprinicole, l'espèce repère indiquant le fonctionnement de l'écosystème est le brochet.

1.8- UNE ESPECE REPERE : LE BROCHET

Le brochet, *Esox lucius*, appartient à l'ordre des Clupéiformes, famille des Esocidés. C'est une des espèces de plus grande taille de nos eaux continentales qui se nourrit majoritairement de poissons, mais c'est une espèce assez opportuniste. Sa morphologie et l'aptitude à acquérir une vitesse remarquable en font un super-prédateur performant dans la structuration du réseau trophique, permettant une bonne régulation des niveaux inférieurs, faisant de lui une espèce « clé de voute ».



Photographie 1: Juvénile de brochet

C'est un poisson emblématique des eaux calmes, et très représentatif de la qualité de l'habitat qu'il occupe.

Les carnassiers en milieu aquatique sont dépendants des effectifs de leurs proies disponibles, elles-mêmes dépendantes de la capacité de production du milieu. La présence des prédateurs supérieurs peut donc être considérée comme un signe de bonne production de l'écosystème (Pimm, 1982). De plus, les exigences du brochet pour réaliser son cycle biologique sont fortes et une population stable sera indicatrice d'un écosystème fonctionnel. C'est pourquoi il est retenu dans le PDPG (Plan Départemental pour la Protection des milieux aquatiques et la Gestion de la ressource piscicole) comme espèce repère pour la caractérisation des grands cours d'eau de plaine.

La préservation et la restauration de ces milieux constituent des enjeux forts, d'autant plus qu'ils sont généralement caractérisés par une richesse faunistique et floristique exceptionnelle. En d'autres termes, la protection des milieux de vie du brochet est favorable à la sauvegarde d'un ensemble d'espèces (poissons, batraciens, invertébrés, plantes, oiseaux, etc.).

1.8.1- Habitat

C'est une espèce que l'on retrouve dans les eaux calmes, qui abritent un peuplement piscicole principalement composé de cyprinidés. Selon les niveaux typologiques de cours d'eau de Verneaux (1981), on retrouve le brochet dans deux niveaux, dans la zone à Barbeau (B7 et B8), ainsi que dans la zone à Brème (B9).

Le Brochet est un poisson d'eaux peu profondes, notamment pour les premiers stades de sa vie où le préférendum est compris entre 0,5 et 2 m de profondeur. Ces eaux doivent être riches en végétation afin de constituer la nurserie et ainsi limiter le cannibalisme entre les cohortes, mais également pour servir de caches pour les proies vis-à-vis des prédateurs.

L'espèce est peu exigeante quant à la température (préférendum de 10 à 23°C) et la quantité d'oxygène dissous (Keith & Allardi, 2001), ainsi qu'à la salinité puisqu'on le trouve en mer Baltique. En ce qui concerne le pH, les brochets peuvent survivre à des pH relativement acides

(5, mais les mortalités d'alevins apparaissent en dessous de ce seuil). La limite basique acceptable est autour de 9,5 (Chancerel, 2003).

Le brochet n'est pas la seule espèce à profiter de ces milieux temporairement inondés pour se reproduire. De nombreux cyprinidés y déposent également leurs pontes, ce qui sert de nourriture pour les juvéniles de brochet.

1.8.2- Cycle biologique

Esox lucius est une espèce phytophile, c'est-à-dire qu'il utilise les végétaux comme support de ponte. Le chenal principal ne correspond donc pas à ses besoins, au vu de la trop forte vitesse de courant, il va donc réaliser une migration holobiotique transversale allant jusqu'à plusieurs kilomètres (Dubost et Vauclin, 2004), afin de rejoindre les annexes hydrauliques. Il repère les sites en février par la présence d'un gradient thermique entre le bras principal et les annexes et par les effluves provenant des transformations organiques dues à l'inondation des zones en lit majeur (Arrignon 1972).

La fécondité du brochet est fortement variable entre populations et entre individus en fonction de divers facteurs physiologiques et écologiques, notamment la disponibilité en nourriture qui favorise son augmentation ou la biomasse de la population qui a l'effet inverse. La fécondité varie ordinairement de 15 000 à 45 000 ovules par kg. Les femelles sont sensibles au stress et de mauvaises conditions peuvent bloquer le processus de maturation de façon irréversible et entraîner la résorption des ovules.

La période de fraie se réalise de fin février à mi-avril, avec une température comprise entre 7 et 10°C. Des températures trop basses ou trop élevées (13/14°C) pourraient conduire à l'arrêt de la ponte.

La ponte est déclenchée par la présence de végétation fraîchement submergée, correspondant à des périodes de hautes eaux et des températures en hausse.

La femelle fractionne la ponte en petites quantités d'ovocytes dispersés qui se fixent sur les végétaux submergés de types herbiers amphibies (carex, phalaris, glycérie, agrostis) et aquatiques immergés (myriophylle, callitriche) sur une période de 2 à 5 jours. Dans un second temps les mâles viennent féconder les œufs après l'expulsion.

Ensuite les géniteurs quittent la zone de reproduction. Les œufs sont incubés pendant une période de 120 degrés/jours (voir annexe 1).

Les larves se fixent aux végétaux par des papilles buccales. Lors de la résorption de la vésicule, au bout de 180 degrés/jours, les alevins deviennent nageant. Ils vont alors se nourrir de zooplancton (Hunt et Carbine, 1951) et effectuent une migration vers les zones de nurserie pour croître (Chancerel, 2003). Cette nurserie permet aux nouveau-nés de se développer en se protégeant dans la végétation du cannibalisme et des autres prédateurs. Les juvéniles 0+ migrent ensuite vers une zone de croissance pour devenir des subadultes.

Il faut donc que l'annexe hydraulique soit connectée au bras principal et en eau au bon moment pour permettre aux géniteurs de rejoindre les sites de fraie ainsi qu'aux juvéniles de retourner vers les habitats de grossissement (Chancerel, 2003).

Les eaux au sein des frayères doivent être stables durant 40 à 60 jours (INSKIP, 1982) afin que les brochetons terminent au mieux leur première phase de croissance pour atteindre 6 à 8 cm de longueur. Une fois cette taille atteinte, les subadultes rejoignent le lit mineur du cours d'eau pour entamer une seconde phase de croissance jusqu'à atteindre une taille adulte. (Figure 4)

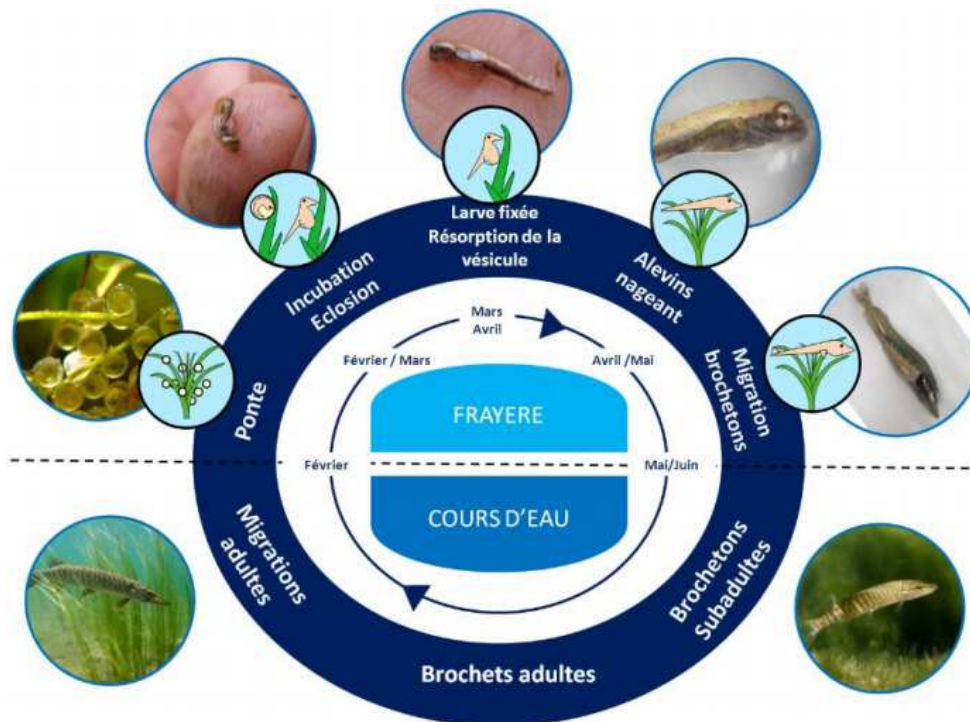


Figure 4: Cycle de vie du brochet (Fages, 2015)

1.8.3- Caractéristiques des zones de fraie préférentielles

Le brochet est une espèce exigeante sur son milieu de reproduction, ainsi les zones de fraie possèdent des caractéristiques particulières (Chancerel, 2003) :

- berges en pente douce végétalisées (support de ponte) ;
- végétation principalement amphibie et dense ;
- accès à la lumière permanent : faible turbidité, faible ombrage permettant une augmentation rapide de la température pour la croissance des juvéniles et du plancton ;
- connexion avec le bras principal du cours d'eau permettant, la migration des géniteurs vers les zones de fraie, puis aux juvéniles pendant leur croissance ;
- faible profondeur : entre 0,2 et 1 m sur au minimum 40 jours consécutifs entre février et début mars ;
- niveau d'eau stable, avec une faible vitesse de courant.

Selon Inskip (1982), pour que les annexes soient bien végétalisées, il est préférable qu'elles soient en eau seulement 1 à 2 fois en 5 ans. Cela permet à la végétation de se renouveler efficacement durant l'été.

1.9- OBJECTIF DE L'ETUDE

Autrefois bien présent en France, le brochet est aujourd'hui classé comme vulnérable sur la liste rouge des espèces en danger (UICN France et al, 2010). La cause principale étant la dégradation des zones qu'il occupe et où il se reproduit. Le brochet étant une espèce repère, sa présence et son abondance sont représentatives d'un bon équilibre dans le fonctionnement du milieu.

Dans ce contexte, la FDPPMA03 lance un projet d'inventaire et d'expertise des annexes hydrauliques de la Loire possédant un intérêt pour la fraie des brochets dans un but de gestion et/ou de restauration future.

Dans un premier temps, un recensement par bibliographie et par photographies aériennes a été réalisé avec pour but de lister les annexes possédant, à priori, un intérêt pour la reproduction du brochet.

Une phase terrain est ensuite réalisée, durant laquelle chaque annexe obtiendra une note afin de déterminer la potentialité en tant que frayère à brochet, le fonctionnement hydraulique ainsi que les perturbations anthropiques exercées.

Dans un dernier temps, après traitement et analyse des données, des propositions de gestion et/ou de restauration des sites à fort intérêt seront discutées.

2- MATERIEL ET METHODE

2.1- LES ANNEXES HYDRAULIQUES RECENSEES

En amont de la phase terrain, un premier recensement des annexes hydrauliques par bibliographie et photographies aériennes a été opéré en télétravail.

La bibliographie se compose des PDPG de 2007 et de 2020 rédigés par la FDPMA03, d'une couche Qgis transmise par le Conservatoire d'Espaces Naturels Allier, ainsi que du plan de gestion de la Réserve Naturelle Régionale.

L'étude des photographies aériennes a été accomplie sur Géoportail.

2.2- PROTOCOLE TERRAIN

La prospection sera pratiquée en premier lieu à pied. Une localisation des accès est faite en amont sur cartes IGN sur Géoportail.

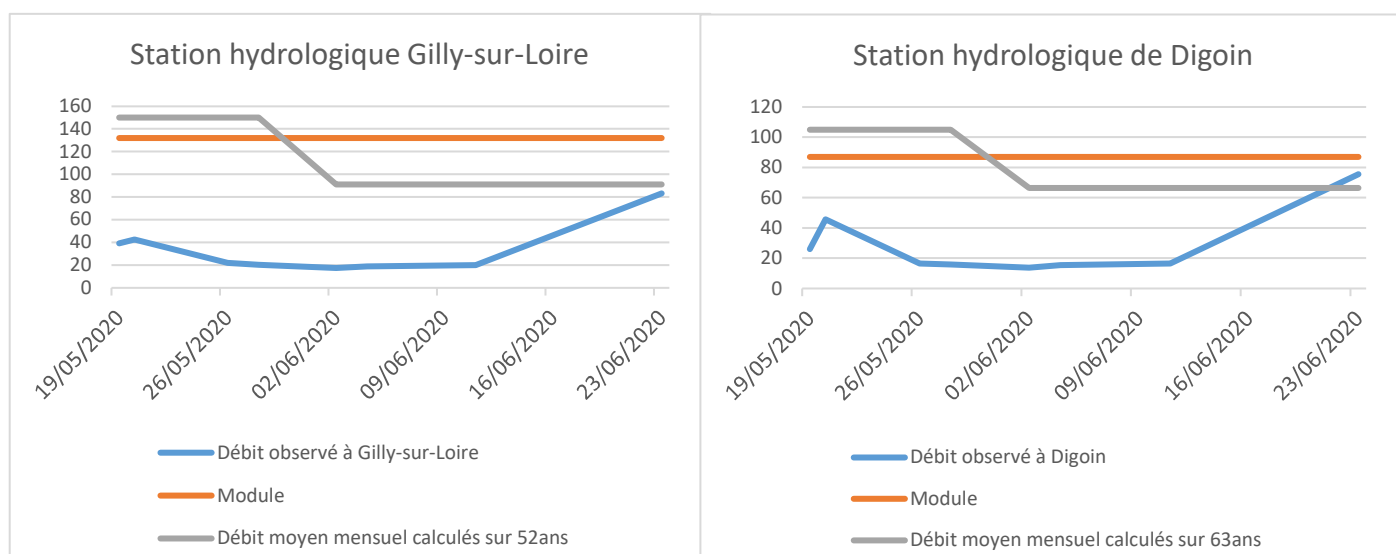
Si les annexes ne sont pas accessibles à pied, une prospection en canoë pourra être organisée.

A noter qu'un protocole a déjà été employé sur les annexes hydrauliques de l'Allier en 2016 par la FDPMA03, le protocole sera donc inspiré de celui-ci.

Les prospections terrain sont normalement réalisées entre avril et mai, quand le débit de la rivière est proche du module, permettant ainsi d'observer au mieux la pérennité des connexions entre les annexes hydrauliques et le bras principal de la rivière. De plus, cette période est également propice pour détecter, à vue ou par pêche électrique, la présence de juvéniles de brochets avant que ceux-ci ne migrent vers le cours d'eau.

Cependant, suite à la crise sanitaire entraînée par le Covid-19 entre mars et mai 2020, les dates de prospections terrain ont été décalées à fin mai et début juin.

A rajouter au contexte sanitaire particulier, les faibles précipitations entre les mois de mars et de mai, ont entraînés des débits particulièrement bas pour la saison.



Graphique 1 : Graphiques des débits enregistrés lors des journées de prospection sur les stations de Gilly-sur-Loire (à gauche) et Digoin (à droite)

Les graphiques (graphique 1) montrent le débit de la Loire mesuré lors des jours de prospection (8 jours entre le 19 mai et le 23 juin) par rapport aux débits moyens des mois de mai et de juin calculés sur plusieurs années disponible sur le site banque hydro. De plus, apparaît sur le graphique la valeur du module pour chaque station hydrologique, soit le débit moyen calculé, là encore, sur plusieurs années. On peut donc constater que le débit de la Loire lors des journées de prospection terrain a été particulièrement faible. Ceci provoquant une déconnexion complète d'un grand nombre d'annexes pour lesquelles il a donc été impossible de relever certains paramètres comme la vitesse de courant, la hauteur d'eau à l'intérieur de l'annexe ainsi que la hauteur d'eau à la connexion. C'est pourquoi le protocole mis en œuvre sur les annexes hydrauliques de l'Allier a dû être allégé.

La hauteur d'eau à la connexion, si présente, sera notifiée en commentaire pour chaque annexe. Les signes de connexion aval et amont des annexes seront également relevés dans les commentaires car cela peut être signe d'un potentiel courant à l'intérieur de celle-ci limitant ainsi la fonctionnalité en tant que frayère à brochet.

2.2.1- Estimation de la fonctionnalité potentielle en tant que frayère à brochet

La mesure de la fonctionnalité potentielle en tant que frayère à brochet de l'annexe se base sur les caractéristiques écologiques et biologiques du milieu qui sont essentielles au bon déroulement du cycle de vie du brochet. Pour cela, trois critères ont été retenus :

- La qualité du substrat de ponte

Cinq classes de végétation sont distinguées (Tableau 1):

- Amphibie : végétation qui se développe sur des zones exondées supportant d'être immergée pendant un certain temps ;
- Roselière et cariçaie ;
- Hydrophytes fixés à feuilles flottantes : végétation qui vit immergée dans l'eau, enracinée dans le sol possédant des feuilles flottantes (exemple : nénuphars) ;
- Ligneux, racines ;
- Jussie ;
- Hydrophytes libres flotteurs : végétation aquatique qui flotte librement à la surface de l'eau (exemple : lentille d'eau).

Une note sera attribuée entre 0 et 3 pour chaque classe de végétation suivant les exigences du brochet. Effectivement, la végétation de type amphibie est la plus favorable à la reproduction du brochet, c'est pourquoi elle sera noté 3/3. A l'inverse, les hydrophytes libres flotteurs sont défavorables à la ponte et seront donc affectés de la note 0/3.

Le type de végétation est un facteur important dans la ponte du brochet, tout comme leur densité. C'est pourquoi afin de mieux caractériser la qualité du substrat, le recouvrement par la végétation amphibie (substrat de ponte le plus favorable au brochet) ainsi que celui des roselières et cariçaies (bons substituants) sont relevés en cinq classes (Tableau 1).

Végétation dominante en zone aquatique	Note
Amphibie	3
Roselière et cariçaie	3
Hydrophytes fixés à feuilles flottantes	2
Ligneux, racines	1
Jussie	1
Hydrophytes libre flotteurs	0
Aucune végétation	0

Tableau 1 : Classes de végétation (à gauche) et classes de recouvrement de végétation amphibie, roselière et cariçaie (à droite).

Recouvrement végétation amphibie et cariçaie	Note	
	Amphibie	Cariçaie
>50%	3	3
25 à 50%	2	2
5 à 25%	2	2
<5%	1	1
0%	0	0

➤ Caractéristiques du milieu

Comme évoqué précédemment dans les caractéristiques environnementales essentielles au brochet, la hauteur d'eau à l'intérieur de l'annexe, la vitesse d'écoulement ainsi que l'ombrage sont des facteurs qu'il faut prendre en compte pour la fraie, cependant au vu de la situation, seul l'ombrage sera intégré dans la note (Tableau 2).

Ombrage	Note
Fort	0
Faible	1

Tableau 2 : Classes en fonction de l'intensité de l'ombrage observé.

➤ Les habitats de berges

Lors des crues, les berges sont les premiers habitats colonisés par le brochet pour la reproduction. Les berges sont caractérisées par la pente ainsi que le substrat (Tableau 3).

La pente et la végétation seront relevées séparément pour chaque rive. Effectivement suite aux prospections terrain, il s'est avéré que pour une majorité d'annexes, les berges de chaque rive ne possédaient pas la même pente, ni le même type de végétation. Ainsi, dans bon nombre de cas, le brochet ne peut utiliser qu'une seule des berges pour se reproduire.

Pente des berges	Note		Typologie végétation des berges	Note	
	Rive droite	Rive gauche		Rive droite	Rive gauche
0 – 5%	3	3	Prairie	3	3
5 – 20%	2	2	Mégaphorbiaie	2	2
20 – 40%	1	1	Roselière	2	2
40 – 70%	0	0	Friche	1	1
>70%	0	0	Arbuste	1	1
			Forêt	1	1
			Aucune	0	0

Tableau 3 : Classes de pente des berges sur chaque rive (à gauche) et classes en fonction de la typologie de végétation des berges (à droite).

L'addition des notes des trois critères permet l'obtention d'une note totale qui permettra de caractériser la fonctionnalité potentielle de la frayère (Faible, Moyen, Fort).

A cette note finale sera multiplié un indice de pondération. Effectivement l'absence totale de végétaux est un critère rédhibitoire qui ne permet en aucun cas la reproduction du brochet. Afin de prendre en compte l'importance d'une absence de substrat de ponte dans la note finale, il sera attribué, « à dire d'expert », un indice de pondération basé sur végétation présente sous forme de coefficient pouvant valoir : 0%, 30%, 60%, 80% ou 95%.

L'indice de pondération final obtenu sera alors multiplié à la note totale obtenue.

Note total /17	Fonctionnalité potentielle
0	Nulle
1 à 8	Faible
9 à 13	Moyenne
14 à 21	Forte

2.2.2- Détermination du fonctionnement hydraulique

L'évaluation du fonctionnement hydraulique est basée principalement sur l'accès du site de reproduction par les géniteurs. La connexion entre le site et le bras principal est un élément déterminant.

Type de connexion	Note
Aval	2
Amont	1
Amont + Aval	1
Aucune	0

Tableau 4 : Classes en fonction des connexions hydrauliques possible.

Deux critères ont été retenus :

- La présence et la position de la connexion

L'absence de connexion se caractérise par l'absence d'un chenal (même hors d'eau) ou de signe montrant un passage fréquent d'eau lors de crues (végétation couchée, présence d'embâcles, absence de végétation).

Lorsqu'une ou plusieurs connexions sont présentes, leur position et leur nombre sont primordiaux (Tableau 4) :

- Une connexion aval (ou centrale) sont des connexions qui sont beaucoup plus pérennes. De plus, elles permettent la mise en place de zones d'abri, qui sont des zones très favorables pour les géniteurs.
- Une connexion amont ne permet pas au site d'être durable. Le ralentissement de la vitesse de courant entraîne un dépôt de matière en suspension, formant ainsi un bouchon alluvial. Il s'avère également qu'une connexion amont peut permettre une recapture du site par le bras principal et donc la disparition de l'annexe.
- La présence de deux connexions (amont et aval) peut entraîner la présence de courant à l'intérieur de l'annexe, ce qui est défavorable à la reproduction du brochet.

- La durabilité de la connexion : la durabilité de la connexion hydraulique est séparée en 3 classes, en prenant comme point de repère le module (Tableau 5).

Durabilité de la connexion	Note
Connexion continue	4
Déconnexion à l'étiage	2
Déconnexion au module	0

Tableau 5 : Classes en fonction de la durabilité de la connexion.

A noter que la hauteur d'eau sera seulement notifiée en commentaire pour les annexes possédant encore une bonne connexion hydraulique durant la période de prospection.

L'addition des notes des deux critères permet l'obtention d'une note totale qui permettra de caractériser la fonctionnalité potentielle de la frayère (Mauvais, Moyen, Bon).

Note final /6	Fonctionnement hydraulique
0 à 2	Mauvais
3 à 4	Moyen
5 à 6	Bon

2.2.3- Détermination des perturbations

Trois critères ont été choisis pour évaluer l'état de perturbation du site :

- L'état sanitaire des berges : l'évaluation de l'état sanitaire des berges est réalisée sur la base d'observations de trace d'érosion, de piétinement ou d'effondrement des berges.
- Le recouvrement par des végétaux exotiques envahissants : les végétaux envahissants peuvent être un support de ponte favorable à la reproduction du brochet, cependant leur grande capacité à croître rapidement et à se multiplier impacte le milieu :
 - Modification du cycle journalier de l'oxygène ;
 - Production importante de biomasse ;
 - Perturbation de la circulation piscicole ;
 - Concurrence avec les espèces indigènes.

Etat sanitaire des berges	Note
Bon	2
Moyen	1
Mauvais	0

Tableau 6 : Classes en fonction de l'état sanitaire des berges.

Recouvrement végétaux envahissants	Note
>50%	-1
25 – 50%	0
5 – 25%	1
0%	2

Tableau 7 : Classes en fonction du pourcentage de recouvrement par les végétaux envahissants.

Une estimation du pourcentage de recouvrement des végétaux aquatiques présents dans la surface en eau est alors réalisée (Tableau 7). Les espèces présentes en berges sont quant à elles seulement recensées.

- L'impact des perturbations sur le milieu : Il s'agit d'une évaluation de l'impact des perturbations anthropiques sur le fonctionnement de l'annexe.

Impact des activités/perturbations	Note
Important	0
Moyen	1
Nul	2

Tableau 8 : Classes en fonction de l'impact des activités sur le fonctionnement du milieu.

L'addition des notes de ces trois critères permet l'obtention d'une note totale qui permettra de caractériser la fonctionnalité potentielle de la frayère (Fortement perturbée, Moyennement perturbée, Non perturbée).

Note total /6	Perturbations
-1 à 2	Fortement perturbée
3 à 4	Moyennement perturbée
5 à 6	Non perturbée

2.2.4- Vérification de la fonctionnalité des sites par pêche électrique

Afin de confirmer la fonctionnalité d'une annexe par la présence de brochets au stade juvénile (environ 4 à 8 cm), des pêches à l'électricité peuvent être organisées.

Le principe de la pêche à l'électricité est l'utilisation d'un champ électrique dans l'eau (entre une anode et une cathode) qui va modifier le message nerveux transitant dans le système nerveux du poisson. Ainsi il va dans un premier temps le contraindre à nager vers l'anode : on parle d'électrotactisme. Une fois arrivé à proximité de l'anode, où le champ électrique est le plus élevé, le poisson va alors entrer dans un état d'électronarcose entraînant une immobilisation temporaire. Ce laps de temps permet aux opérateurs de capturer les poissons à l'épuisette et de les garder en vivier jusqu'à la réalisation de la biométrie.

La méthode utilisée pour les pêches à l'électricité dans des annexes hydrauliques est la méthode dite : pêche partielle par point, inspirée de la méthode EPA (Echantillonnage Ponctuel

d'Abondance). Entre 70 et 80 points de pêche sont répartis aléatoirement sur l'ensemble de l'annexe. Chaque point d'échantillonnage dure entre 15 et 30 secondes selon la présence ou non de poissons, et l'anode est uniquement déplacée sur un rayon d'un mètre.

Les pêches électriques sont effectuées à pied ou en bateau selon la profondeur du site (photographie 2). Le générateur électrique peut être fixe ou portable.



Photographie 2 : A gauche : Pêche électrique à pied. A droite : Matériel de pêche électrique en bateau

Les pêches sont réalisées entre mai et juin, afin de capturer les brochetons avant leur migration vers le bras principal de la Loire. Les dates d'interventions dépendent des conditions météorologiques et hydrologiques du cours d'eau.

Suite à la situation sanitaire exceptionnelle, et des dates tardives de prospection, le manque d'eau n'a pas permis la réalisation de ces pêches électriques.

2.3- PRODUCTION POTENTIELLE EN BROCHET DU SITE

2.3.1- Estimation de la Surface Favorable à la Reproduction = SFR (ou capacité d'accueil)

Pour chaque annexe, une estimation en pourcentage de la surface potentiellement favorable à la reproduction du brochet est faite par la personne en charge de la prospection. Cette estimation se base sur deux critères :

- La présence d'une végétation dense de types « végétaux amphibies », « roselière » ou « hydrophytes fixés à feuilles flottantes » ;
- Des conditions de milieu favorables (hauteur d'eau <1 m, peu d'ombrage, faible vitesse de courant).

Elle ne prend en compte aucun élément de perturbation ou de fonctionnalité hydraulique vu précédemment.

En multipliant le pourcentage par la surface de l'annexe (m²) cela nous donnera la Surface Favorable à la Reproduction (= SFR (m²))

2.3.2- Estimation de la population théorique de brochet (BROc/an)

La population théorique correspond au nombre théoriquement capturable de brochet. D'après un référentiel utilisé dans le PDPG de 2007 à partir des travaux de M. Chancerel, il s'avère que globalement 100 m² de surfaces favorables à la reproduction peuvent produire chaque année six individus capturables.

Pour chaque annexe, il est donc possible de calculer la population théorique (BROc/an)

$$= 0,06 \times \text{SFR (m}^2\text{)}$$

2.3.3- Estimation de la fonctionnalité du site

La capacité d'accueil estimée plus tôt ne prenant pas en compte la fonctionnalité et les perturbations, il a été de nouveau mis en place un indice de pondération permettant la prise en compte des paramètres défavorables. Cet indice de pondération qui se présentera sous forme de pourcentage sera une estimation de la fonctionnalité du site « à dires d'expert ».

Cette estimation peut avoir six valeurs : 0% ; 10% ; 25% ; 50% ; 75% ; 95%. L'expert se base sur les résultats obtenus sur le terrain.

Ce pourcentage est alors multiplié à la SFR (m²) afin d'obtenir la perte de SFR (m²), ainsi qu'à la population théorique de brochet capturable pour obtenir une estimation de la population réellement capturable après la prise en compte des perturbations et dysfonctionnements analysés sur le site.

3- RESULTATS

3.1- LES ANNEXES RECENSEES

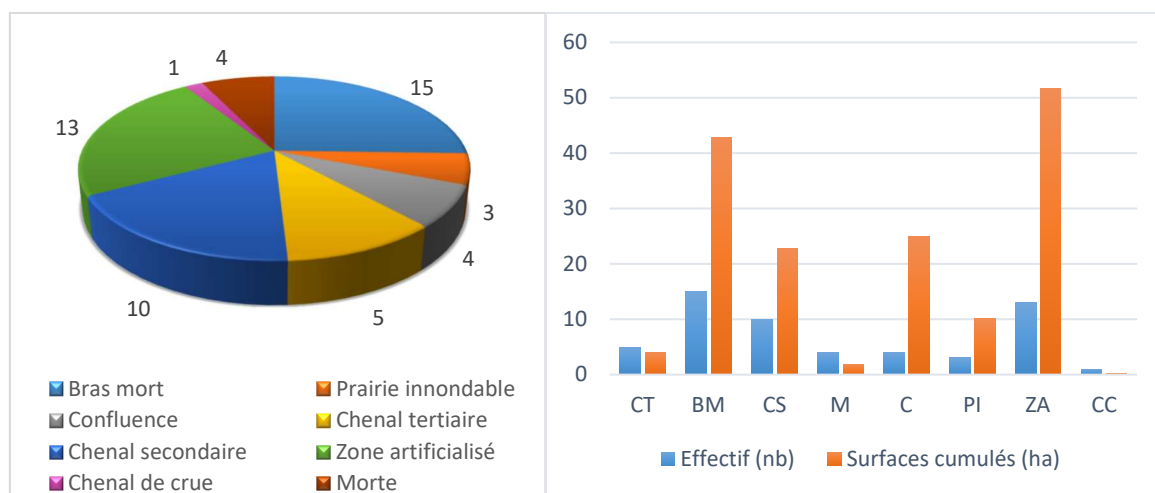
55 annexes ont été identifiées par bibliographie et par repérage sur photographies aériennes pour une surface totale en eau de 160 ha (surface mesurée avec Géoportail). Au vu de la période tardive et du temps de prospection terrain réduit, seules les annexes possédant un possible intérêt pour la reproduction du brochet ont été ciblées.

Les mortes trop éloignées du cours d'eau et qui ne montrent aucun signe de connexion n'ont pas été prospectées car peu intéressantes pour la reproduction naturelle du brochet. De même que les anciennes zones d'extraction de granulats ($n = 11$) à l'exception d'une : le Mont. Effectivement, cette dernière est présente le long d'un ruisseau (le ruisseau du Mont) offrant une possibilité aux géniteurs de brochet de remonter dans celui-ci. De plus, cette gravière est une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique). Elle a par conséquent été prospectée afin d'observer son potentiel en tant que frayère à brochet.

Au vu des observations sur le terrain, ainsi que des photographies aériennes, certains chenaux secondaires ($n = 5$) n'ont pas été prospectés. Effectivement, les chenaux secondaires possédant des signes d'un fort courant les traversant, ne sont pas des zones propices à la reproduction d'*Esox lucius*.

Les prospections ont été réalisées sur huit journées de terrain réparties entre le 19 mai 2020 et 23 juin 2020.

Les typologies les plus récurrentes sont les bras morts ($n = 15$) et les zones artificialisées ($n = 12$) (graphique 2).



Graphique 2 : A gauche : Nombre d'annexes par typologie recensées. A droite : Surfaces en eau cumulées par rapport aux effectifs par typologie des annexes hydrauliques recensées

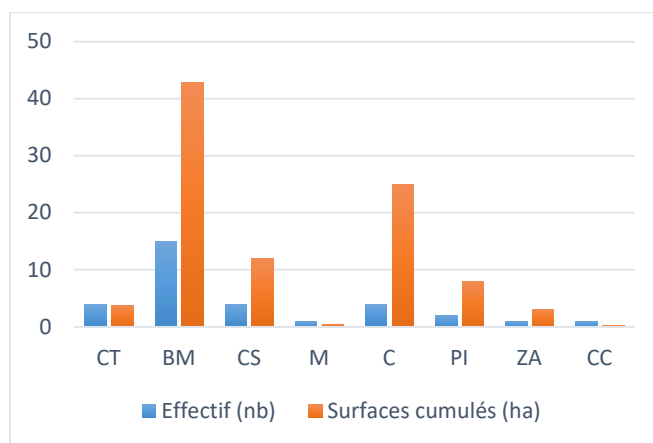
Les zones artificialisées représentent une surface en eau de 52 ha sur 159 ha, soit 32,5 % de la surface totale en eau des annexes (graphique 2).

Les autres typologies recensées sont des chenaux secondaires (n = 10), des chenaux tertiaires (n = 5), les confluences de cours d'eau (n = 3), et des mortes (n = 4). Enfin les prairies inondables ainsi que les chenaux de crue sont faiblement représentés puisqu'on en compte respectivement trois et un.

3.2- LES ANNEXES PROSPECTÉES

Sur les 55 annexes identifiées, seules 32 annexes ont été prospectées pour une surface totale en eau de 95 ha. L'ensemble des annexes sont répertoriées individuellement dans un atlas. Un exemple de fiche de l'atlas est présenté en annexe 2.

Deux mortes n'ont pas été retrouvées. Une annexe n'est plus présente. Et enfin une annexe était trop difficile d'accès.

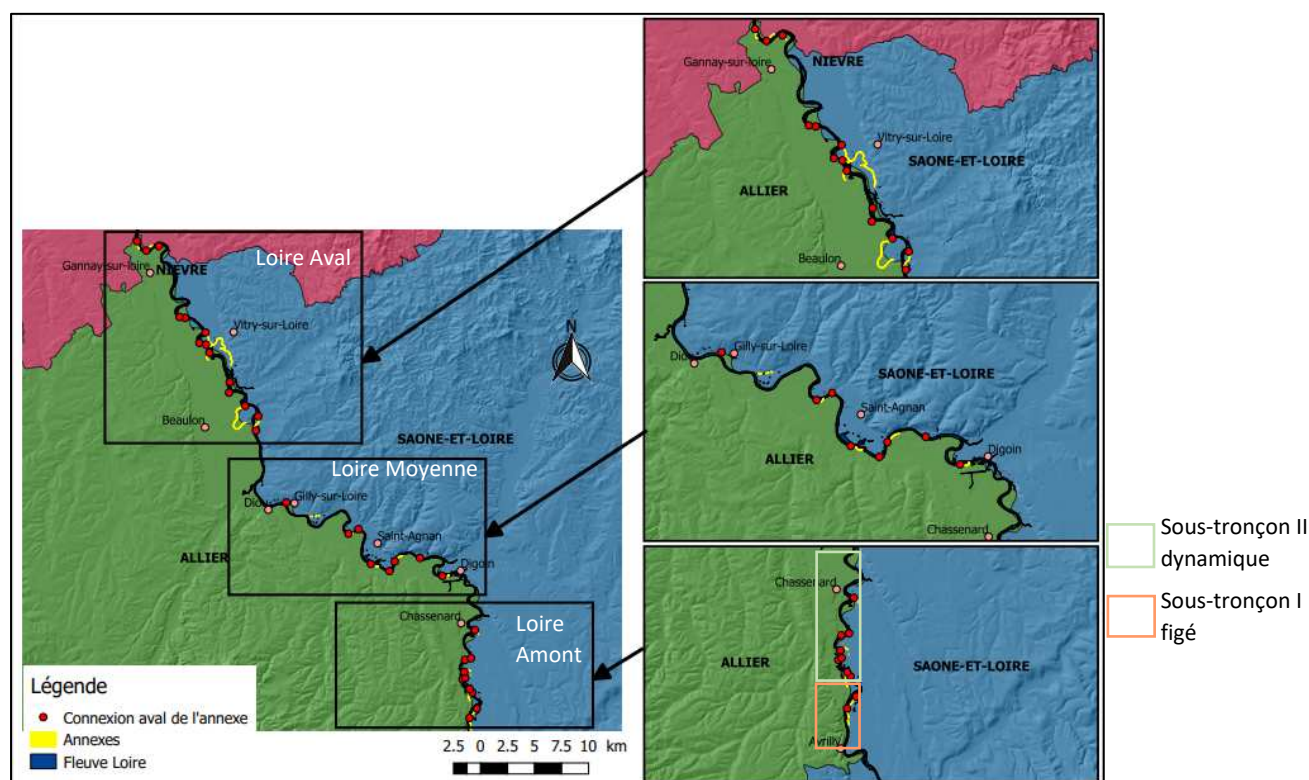


Graphique 3 : Effectifs et surfaces en eau cumulées pour les annexes hydrauliques prospectées

Les typologies d'annexes les plus prospectées sont les bras morts (n = 15), les chenaux secondaires, les confluences et les chenaux tertiaires (n = 4) (graphique 3).

Les bras morts, représentent presque 43 ha sur 95 ha soit 45% de la surface en eau totale pour 15 annexes présentes sur le linéaire. Les confluences, comptent 4 sites, pour un total de 24 ha, soit 25% des 95 ha en eau. Les chenaux secondaires représentent une surface de 11 ha sur 95 ha, soit presque 12% de la surface en eau pour un total de 4 annexes. Les chenaux tertiaires quant à eux, ne représentent que 3,8 ha, soit seulement 4% des 95 ha.

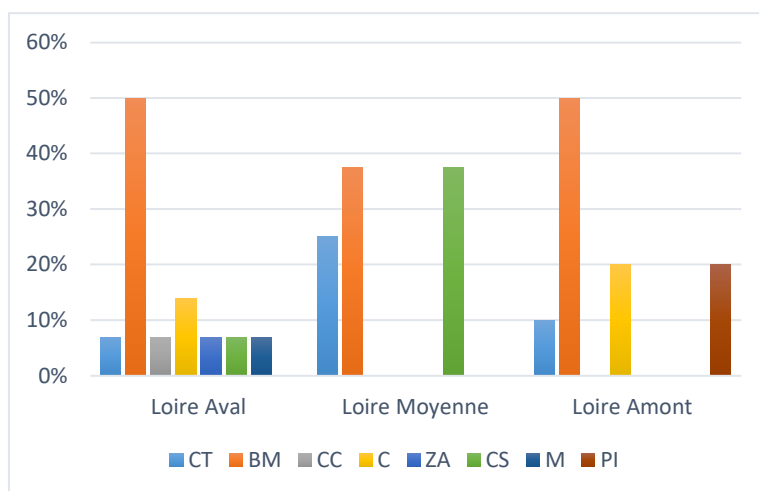
3.3- LOCALISATION DES ANNEXES PROSPECTEES



Cartographie 5: Localisation des annexes hydrauliques prospectées sur le secteur par contexte

A travers la localisation des annexes hydrauliques de la Loire, trois secteurs se différencient, correspondant parfaitement aux différents secteurs plus ou moins dynamiques de la rivière vus précédemment en cartographie 4.

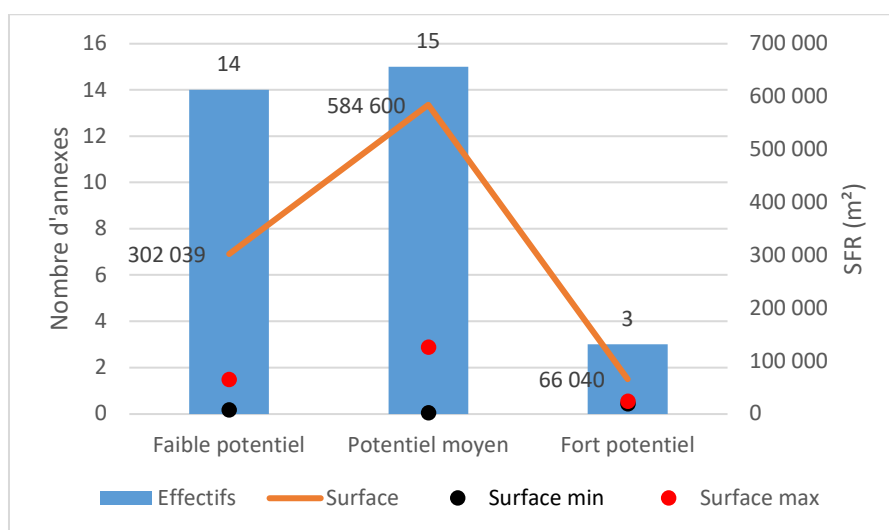
- Le secteur Loire amont, correspondant au tronçon I entre Avrilly et Chassenard. Il est majoritairement dynamique avec dix annexes recensées sur un linéaire d'environ 25 km. A l'intérieur de ce tronçon, des sous-tronçons se dessinent. Effectivement le sous-tronçon I est figé en plan. Il se caractérise par un tracé sinueux, mais reste le secteur le moins sinueux de l'ensemble du linéaire d'étude. Il ne compte que deux annexes sur un linéaire de 8 km, soit une annexe tous les 4 km.
Le sous-tronçon II se caractérise par un tracé méandriforme, il possède une dynamique active. Il compte huit annexes sur un linéaire de 17 km, soit une annexe tous les 2,12 km.
- Le secteur Loire moyenne correspond au tronçon II entre Digoin et Diou. Il possède un tracé méandriforme. Cependant c'est la portion la plus stable de notre secteur d'étude. Effectivement on ne comptabilise que huit annexes pour un linéaire de 29 km, soit une annexe tous les 3,62 km.
- Le secteur Loire aval, correspondant au tronçon III entre Diou et Gannay-sur-Loire, est caractérisé par un tracé très sinueux. Il est le tronçon le plus dynamique du secteur d'étude. Cela se traduit notamment par la présence de 14 annexes sur un tronçon de 39 km, soit une annexe tous les 2,79 km. On peut également noter sur le graphique ci-dessous (graphique 4) une plus grande diversité d'annexes sur ce secteur.



Graphique 4 : Répartition de chaque typologie d'annexes hydrauliques par contexte du secteur d'étude

3.4- ESTIMATION DE LA FONCTIONNALITE POTENTIELLE EN TANT QUE FRAYERIE A BROCHET

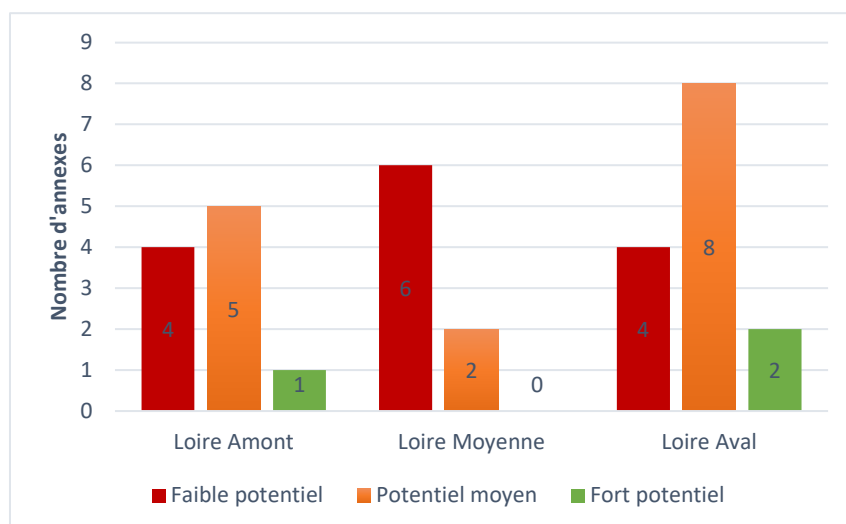
L'estimation de la fonctionnalité potentielle en tant que frayère à brochet apporte des informations sur la richesse piscicole associée. Effectivement le brochet étant une espèce dite « parapluie », une bonne reproduction de l'espèce sous-entend une bonne reproduction d'un ensemble d'espèces, notamment des Cyprinidés.



Graphique 5 : Répartition des annexes hydrauliques en fonction de leur note d'intérêt frayère à brochet

A l'échelle du secteur, sur les 32 annexes prospectées à pied, 14 (soit 43,7%) présentent un faible potentiel pour la reproduction du brochet (graphique 5). En termes de surface, elles représentent 30 ha (soit 31,5%). A l'inverse, 3 annexes seulement possèdent un fort potentiel en tant que frayère à brochet, et représentent 6,6 ha (soit presque 7%).

La majorité des annexes hydrauliques, 15 annexes (soit 46,8%), possèdent un potentiel moyen pour la fraie du brochet, et représentent une surface de 58 ha (soit 61%).

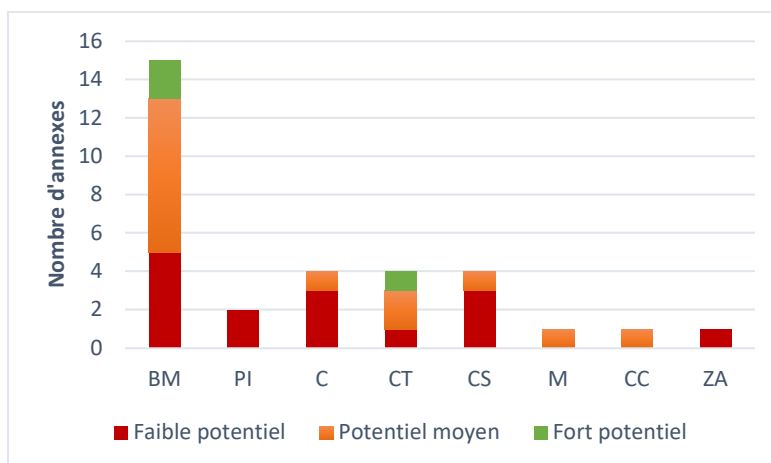


Graphique 6 : Potentiel en tant que frayère à brochet par contexte

Le graphique 6 montre que le contexte moyen, le moins dynamique, puisqu'il possède de nombreuses contraintes naturelles mais également anthropiques (enrochements), est le contexte qui compte le plus d'annexes hydrauliques (75%) avec un faible potentiel en tant que frayère à brochet. Il ne compte aucune annexe hydraulique avec un fort potentiel.

A l'inverse, le contexte aval, qui est le plus dynamique de notre secteur, est le contexte qui compte le plus d'annexes hydrauliques avec un fort potentiel pour la reproduction du brochet (2 annexes). Sur le secteur, 57% des annexes hydrauliques présentes ont un potentiel moyen pour la fraie du brochet et seulement 29% des sites possèdent un faible potentiel.

Le contexte amont, dynamique par endroit, mais tout de même moins dynamique que le contexte aval, possède 10% d'annexes hydrauliques avec un fort potentiel, 40% avec un faible potentiel, et la moitié des sites avec un potentiel moyen.



Graphique 7 : Potentiel en tant que frayère à brochet par typologie

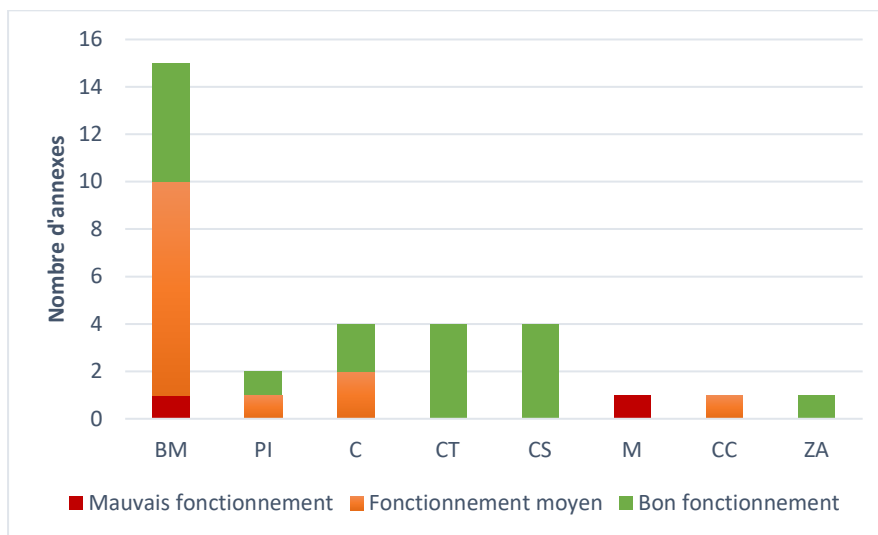
Les chenaux tertiaires, possèdent 50% des annexes hydrauliques avec un potentiel moyen en tant que frayère à brochet, 25% avec un faible potentiel, et 25% avec un fort potentiel. Ils sont proportionnellement les typologies qui offrent le plus d'intérêt pour la reproduction du brochet.

Pour les bras morts, 33,3% possèdent un faible potentiel, 53,3% un potentiel plutôt moyen, et 13,3% possèdent un fort potentiel (graphique 7). Contrairement aux confluences et aux chenaux

secondaires, qui sont des milieux ouverts sur le cours d'eau, donc plus sujets aux vitesses d'écoulements importantes limitant ainsi les habitats favorables pour la ponte de l'espèce.

3.5- DETERMINATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

Le fonctionnement hydraulique conditionne l'accessibilité du site par la faune piscicole. Sans une bonne fonctionnalité hydraulique, il n'est pas possible pour les géniteurs de rejoindre les annexes, ou encore aux juvéniles de retourner au cours d'eau principal pour croître.

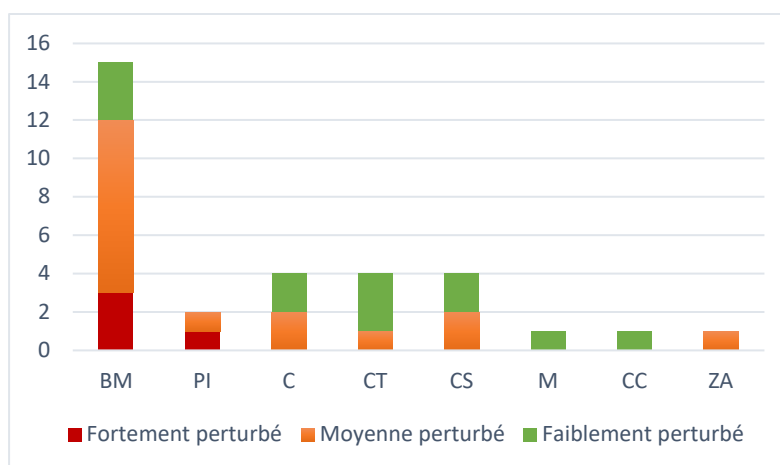


Graphique 8 : Fonctionnement hydraulique par typologie

La fonctionnalité hydraulique est plutôt bonne sur l'ensemble du secteur (graphique 8). Seulement 2 annexes possèdent un mauvais fonctionnement hydraulique (soit 6,25%), 40,6% possèdent un fonctionnement moyen, et plus de la moitié (53,1%) possède un bon fonctionnement hydraulique.

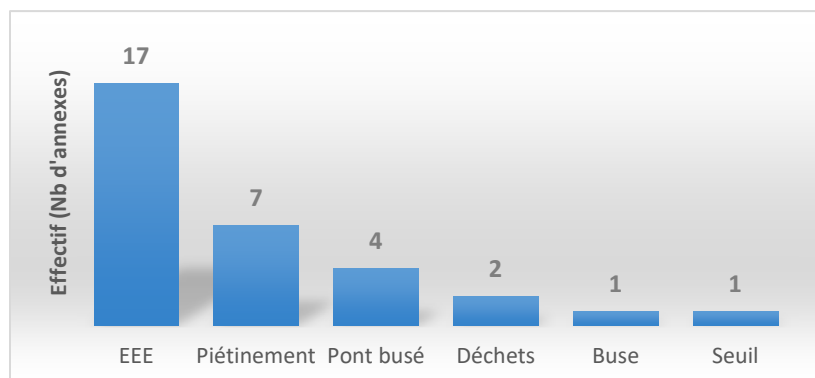
3.6- DETERMINATION DES PERTURBATIONS

Déterminer les perturbations permet d'obtenir une vue d'ensemble de l'état de chacun des sites. Les perturbations peuvent impacter le bon fonctionnement d'une annexe hydraulique, et donc la reproduction du brochet.



Graphique 9 : Détermination des perturbations en fonction de la typologie

Les annexes prospectées sur le terrain sont en majorité moyennement perturbées puisque 50% (16/32) possèdent une note comprise entre 3/6 et 4/6 (graphique 9). Seulement 12,5% (4/32) des annexes prospectées sont fortement perturbées. Il y a tout de même 37,5% (12/32) des annexes qui ne présentent pas de perturbations importantes dans le milieu.



Graphique 10 : Type de perturbations recensées au sein des annexes prospectées du secteur

La perturbation la plus importante reste la présence de végétaux envahissants avec 17 sites sur 32 concernés (soit 53%) (graphique 10). La Jussie est l'espèce exotique envahissante la plus souvent présente sur ces milieux d'eau stagnants.

Seules les annexes hydrauliques qui possèdent un recouvrement supérieur à 5% par les végétaux envahissant lors de la prospection sont comptabilisées sur le graphique 10.

Le piétinement, principalement par les bovins, est la deuxième source de perturbation majeure, avec 7 sites concernés sur 32 (soit presque 22%). Le piétinement avec un impact important concerne tout de même 4 sites sur 7. Il entraîne la destruction des supports de ponts présents sur les berges de l'annexe, mais il impacte également le lit de la rivière, par de la pollution, un élargissement du lit, une augmentation du colmatage. Il génère également une dégradation de la qualité physico-chimique des eaux, une augmentation de la turbidité liée à la remise en suspension des vases pouvant entraîner une diminution du taux d'oxygène dans le milieu, et une augmentation de la température de l'eau. De plus il augmente le risque d'apparition du phénomène d'eutrophisation, en raison de l'enrichissement important en matières organiques de l'eau (déjections).

La présence de ponts busés entraîne également de fortes perturbations. Effectivement, ce sont des obstacles à la continuité écologique, et notamment aux déplacements de l'ichtyofaune.



Photographie 3 : A gauche : Jussie. Centrale : Piétinement de bovins. A droite : Seuil sur l'annexe « Le Mont ».

3.7- CAPACITE D'ACCUEIL (=SFR) ET PERTE DE FONCTIONNALITE

Pour chaque contexte, la perte de fonctionnalité est soustraite à la SFR expertisée lors de la prospection afin d'obtenir la SFR évaluée.

Contexte	SFR expertisée		Perte de fonctionnalité		SFR évaluée	
	ha	%	ha	%	ha	%
Loire Amont	5,9	6,3%	2,9	50%	3	3,1%
Loire Moyenne	2,3	2,5%	1,5	66%	0,8	0,8%
Loire Aval	22,3	23,5%	12,0	54%	10,3	10,8%

Tableau 9 : Capacité d'accueil et perte de fonctionnalité par contexte

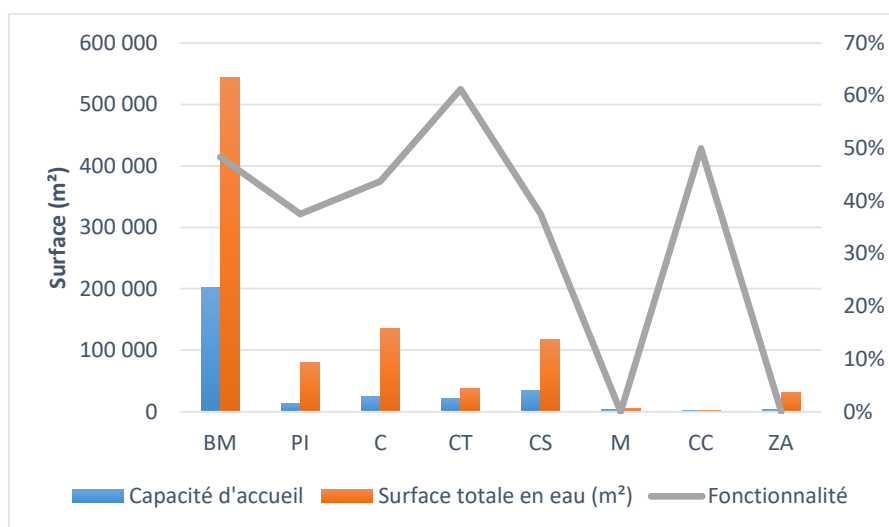
Pour rappel, la SFR expertisée lors de la prospection correspond à la surface de l'annexe favorable à la reproduction du brochet en prenant en compte l'ombrage, la présence de végétation favorable, la faible vitesse du courant.

A cette SFR expertisée est alors soustraite la perte de fonctionnalité du site (prenant en compte la fonctionnalité hydraulique ainsi que les perturbations) pour donner la SFR évaluée.

Le contexte Loire Amont, qui compte 10 annexes, compte une SFR évaluée de 3 ha, soit 3,1% de la surface en eau totale (tableau 9). Quant au contexte Loire Moyenne, qui compte 8 annexes, il ne possède une SFR évaluée que de 0,8 ha, soit 0,8% de la surface en eau.

Le contexte Loire Aval, qui est le contexte le plus dynamique, compte 14 annexes, une SFR évaluée de 10,3 ha, soit 10,8% de la surface totale en eau.

Il est nettement observé une perte de fonctionnalité plus importante pour le contexte Loire Moyenne (66%), qui est le contexte le plus contraint dans les déplacements du cours d'eau.



Graphique 11 : Capacité d'accueil et fonctionnalité par typologie

Les bras morts sont les annexes possédant le meilleur intérêt pour la fraie du brochet sur le secteur de l'étude avec une capacité d'accueil théorique totale 20,3 ha (graphique 11).

En termes de fonctionnalité, il semblerait que les chenaux tertiaires soient les plus fonctionnels, suivis par les bras morts avec une fonctionnalité proche de 50% (48,33%).

La perte de surface potentiellement utilisable par le brochet est plus faible pour les chenaux tertiaires que pour les bras morts.

4- DISCUSSION

4.1- IMPACT DES BARRAGES

Comme expliqué précédemment, les barrages, permettent d'écrêter les crues ainsi que de soutenir la période d'étiage. Il s'avère que ce rôle d'écrêteur de crue est un frein à la dynamique latérale de la rivière. Les crues sont le moteur même de la formation des annexes hydrauliques, par conséquent limiter les fortes crues impacte la formation des annexes hydrauliques.

De plus, les barrages impactent le transport sédimentaire naturel des rivières, ce qui engendre un déficit en sédiment à l'aval des barrages et entraîne donc un enfoncement du lit de la rivière et ainsi une déconnexion des annexes hydrauliques.

A l'impact des barrages viennent s'ajouter le changement climatique et l'irrigation importante des terres agricoles de plus en plus tôt dans la saison qui impactent profondément la quantité d'eau dans nos rivières et donc la connexion des annexes hydrauliques avec celles-ci.

4.2- ANALYSE SPATIALE DES ANNEXES HYDRAULIQUES

Les résultats reflètent parfaitement les trois contextes évoqués dans la partie 5.2.

Effectivement, le contexte Loire Aval, qui est le contexte le plus dynamique du secteur, est la zone qui compte le plus d'annexes hydrauliques, mais également le plus de diversité. Il présente 14 annexes au total, avec 7 typologies différentes (CT, BM, CC, ZA, C, CS, M) et possède 14% des sites avec un fort potentiel en tant que frayères à brochet, et seulement 29% avec un faible potentiel.

Le contexte Loire Moyenne ne comptabilise, quant à lui, que 8 annexes, avec seulement 3 typologies différentes (CT, BM, CS). Il contient 75% d'annexes avec un faible potentiel pour la reproduction d'*Esox Lucius*, et aucun site à fort potentiel.

Le contexte Loire Amont, majoritairement dynamique, mais possédant certaines zones à faible dynamique latérale, compte 10 annexes pour 4 typologies différentes (BM, CT, C, PI). Il possède des valeurs intermédiaires aux deux autres contextes, avec 40% des sites à faible potentiel en tant que frayères à brochet, et 10% à fort potentiel.

Avec une capacité d'accueil s'élevant à 10,3 ha, le contexte aval est le contexte pouvant produire le plus de juvéniles de brochet. Le contexte Loire Moyenne ne compte que 0,8 ha, et le contexte amont 3 ha.

En termes de perte de fonctionnalité, on voit que la perte s'élève à 54% sur le contexte Loire Aval pour une perte de fonctionnalité de 66% dans le contexte Loire Moyenne. A contrario, le secteur Amont obtient une perte de fonctionnalité de 47%.

La diversité, la densité ainsi que le bon fonctionnement des annexes hydrauliques semblent être liés à la morphologie du cours d'eau et de son espace de liberté. Plus l'espace de mobilité est réduit, plus la quantité, la diversité typologique des annexes hydrauliques, et la capacité d'accueil, sont faibles pour la faune piscicole, et en particulier le brochet.

4.3- ANALYSE PAR TYPOLOGIE

Les résultats montrent que proportionnellement les chenaux tertiaires présentent le plus d'intérêt et sont les plus fonctionnels pour la fraie du brochet avec 25% présentant un fort potentiel, 25% un faible potentiel, et 50% un potentiel moyen pour la reproduction du brochet. Les chenaux tertiaires sont des chenaux connectés au cours d'eau par l'aval mais qui possèdent une connexion par l'amont en période de moyennes eaux (module). Cette connexion lors de la montée des eaux entraîne généralement la présence d'un courant à l'intérieur de l'annexe ne permettant pas à une végétation favorable pour la reproduction du brochet de se développer. Cependant, au vu de la diminution des débits, le module est de moins en moins souvent atteint pour les cours d'eau (barrages, sécheresse). Il est donc possible que la connexion amont se fasse plus rare, permettant ainsi le développement d'une végétation favorable et par conséquent la reproduction du brochet. Les chenaux tertiaires pourront alors se comporter comme des bras morts.

Il s'avère que le bras mort est la typologie la plus récurrente sur ce secteur. Pour rappel, le bras mort est une annexe connectée au cours d'eau uniquement par l'aval. Les bras morts présentent également un fort intérêt en tant que frayère pour les brochets : 13,3% des bras morts possèdent un fort potentiel, 33,3% possèdent un faible potentiel, et la majorité (53,3%) ont un potentiel moyen. Leur éloignement du cours d'eau et leur protection du courant, permettent l'implantation et le développement d'une végétation amphibie dense et diversifiée. De plus, ce sont des milieux qui restent connectés avec le cours d'eau principal, permettant ainsi la migration de la faune piscicole (les géniteurs durant la période de reproduction, les juvéniles pour leur retour dans le lit principal).

Le fonctionnement hydraulique semble être globalement bon (56%) avec seulement deux annexes (soit 6,25%) possédant une mauvaise fonctionnalité. Cependant, les mortes, rarement connectées au cours d'eau, ne permettent pas le passage de l'ichtyofaune et par conséquent sont des milieux peu intéressants pour le brochet.

Concernant les perturbations, les bras morts sont les plus touchés, avec 30% des sites impactés. Il semble que les milieux les plus « fermés » (BM, PI) soient les plus sujets aux perturbations. A l'inverse, les typologies ouvertes sur le cours d'eau (CT, CS, C) sont des milieux moins perturbés. En effet, ce type de milieux est moins impacté par la présence de végétaux envahissants puisque le courant qui les traverse lors de la montée des eaux empêche leur implantation. De plus, les milieux « fermés » sont des milieux qui constituent en général un point d'eau pour l'abreuvement des troupeaux en pâturage. Effectivement, 5 des 7 annexes concernées par un piétinement intensif sont des bras morts. De même, 50% des prairies inondables recensées est impactée par le piétinement.

4.4- LE COMBLEMENT

Les observations terrains montrent que les milieux les plus fermés tels que les bras morts ou les mortes recensés via l'orthophotographie de 2016 sur le site Géoportail puis prospectés en 2020 sont en cours de fermeture. Effectivement, c'est notamment le cas de l'annexe ci-dessous, bien visible sur les photographies aériennes, qui est aujourd'hui complètement comblée sans signe de submersion.



Photographie 4 : A gauche : Carte IGN Géoportail. A droite : Photographie aérienne de 2016 sur Géoportail.

L'observation sur le terrain a également montré que l'incision du lit de la Loire ainsi que le manque d'eau impacte grandement les connexions des annexes hydrauliques, entraînant la fermeture des bras morts puis laissant place à des mortes.

Sans fortes crues, et sans formation de nouvelles annexes hydrauliques, ces milieux particulièrement intéressants pour la reproduction d'*Esox lucius* sont en danger de disparition.

4.5- PRINCIPALES PROBLEMATIQUES

L'étude a permis de mettre en avant la diminution des surfaces favorables à la reproduction du brochet de la rivière Loire. Elle a permis de mettre en lumière certaines problématiques du secteur d'étude, liées aux activités humaines.

Le piétinement par les bovins, la mise en place de ponts busés et de buses à l'intérieur des sites impactent le bon fonctionnement de ceux-ci. Cependant, ces activités ne concernent que 10 annexes sur les 32 prospectées.

La deuxième problématique soulevée est la présence de végétaux envahissants sur les annexes et principalement de la Jussie (*Ludwigia sp.*). Les taux de recouvrement de la Jussie peuvent atteindre 80-90% de la surface en eau de l'annexe hydraulique, créant ainsi des déséquilibres.

Cette espèce exotique originaire d'Amérique du Sud, a été introduite dans le Sud de la France au 19^{ème} siècle à des fins décoratives. Cependant, la Jussie fortement envahissante et colonisatrice s'est répandue sur l'ensemble du territoire.

La colonisation par cette espèce entraîne une perte de la diversité végétale. Effectivement, le développement important et très dense ne laisse que peu de place aux autres espèces végétales. De plus, sa répartition en surface de l'eau limite la pénétration de la lumière au sein de la colonne d'eau.

La plante étant très dense, il s'avère que lorsque le recouvrement est vraiment important dans la surface en eau, l'ichtyofaune ne peut se déplacer confortablement à l'intérieur de celle-ci. De plus, la dégradation de cette plante entraîne un apport très important en matière organique l'hiver, menant à un comblement encore plus rapide des annexes hydrauliques.



Photographie 5: Vu aérienne 2016 du Recul de Châtel de Neuve sur l'Allier

Cependant, suite à plusieurs observations sur le terrain et notamment lors de cette même étude réalisée sur les annexes hydrauliques de l'Allier, il semblerait que les poissons utilisent la Jussie comme caches pour se protéger et ainsi éviter le cannibalisme au sein des cohortes. Elle permet également aux juvéniles de se mettre à l'affût lors de chasses. Effectivement, le recul de Châtel de Neuve (photographie 5) est fortement colonisé par la Jussie, comme on peut le voir sur la photographie aérienne. Cependant, lors de la pêche électrique réalisée sur cette même annexe, 50 juvéniles de brochets ont été recensés. D'après les observations réalisées sur le terrain, les brochets se trouvaient majoritairement dans la Jussie et moins dans les zones herbacées. Au vu du nombre de brochets capturés et observés, le recul de Châtel de Neuve est une annexe

hydraulique considérée comme très fonctionnelle sur l'Allier en 2018 malgré une forte colonisation par la Jussie.

La question de l'impact de la Jussie sur la reproduction du brochet peut alors se poser. A ce jour, la quantification de l'impact de la Jussie est très complexe. Il est probable que la Jussie ait un impact négatif à partir d'un certain taux de recouvrement.

L'étude a permis également de soulever la problématique de l'incision du lit de la Loire. Effectivement, les observations sur le terrain montrent une différence de niveau entre certaines annexes et le fleuve Loire. Cette différence de niveau, due à l'extraction des granulats dans le passé ainsi qu'à l'impact des barrages de Grangent et Villerest sur le transit sédimentaire, entraîne sur le long terme une déconnexion des annexes hydrauliques de plus en plus régulière pour finir par la création de morte (photographie 6).



Photographie 6 : Différence de niveau entre la Loire et l'annexe hydraulique "Les Germaines"

5- CRITIQUE ET PROBLEMATIQUE DE LA METHODE

5.1- LIMITE DE L'INVENTAIRE PREALABLE

L'inventaire réalisé n'est pas exhaustif sur le secteur d'étude. Effectivement, l'inventaire étant réalisé à base de photographies aériennes, l'ensemble des zones inondables du lit majeur, tel que les prairies humides ou encore les forêts alluviales n'ont pas pu être inventoriées. De plus, les photographies aériennes présentes sur le site de Géoportail, ont été réalisées en 2016 et, au vu des hauteurs d'eau, probablement lors de la période d'étiage (entre juillet et septembre). Cela n'est donc pas représentatif des zones inondées lors de la période de reproduction du brochet (février, mars).

5.2- MODE ET PERIODE DE PROSPECTION

Déjà évoqué plus tôt dans le rapport, la période exceptionnelle en raison de la crise sanitaire du Covid-19 a tout de même impacté les résultats.

Les prospections ont donc été réalisées du 19 mai 2020 au 23 juin 2020. Les conditions hydrologiques étant difficiles de plus en plus tôt dans la saison, les prospections se sont déroulées en période de très faible débit : le débit moyen sur les huit journées terrains au niveau de la station hydrologique de Gilly-sur-Loire était de 32,85 m³/s, soit un débit peu représentatif des débits atteint lors de la période de reproduction du brochet en février et mars (respectivement pour l'année 2020 de 132,18 m³/s et 138,35 m³/s) (source : Banque Hydro).

Cette période de prospection a donc limité les données utilisables pour le protocole, mais également rendu difficile la lecture des résultats. Effectivement, plusieurs critères ont été difficiles à estimer. C'est le cas notamment de l'estimation de la connexion de l'annexe en période de reproduction. Ceci impactant la note du fonctionnement hydraulique.

Concernant la note de frayère à brochet, il s'avère que certains critères importants dans la reproduction du brochet n'ont pu être que partiellement pris en compte (hauteur d'eau à l'intérieur de l'annexe, hauteur d'eau à la connexion, vitesse de courant) en fonction des signes observés sur le terrain.

Le pourcentage de recouvrement par la végétation amphibie est également impacté par les faibles hauteurs d'eau. Effectivement, il est difficile d'estimer la hauteur d'eau en période de fraie du brochet, et ainsi le recouvrement de la végétation dans la zone en eau à cette époque. C'est notamment le cas pour l'annexe 8 « Les Sables » (photographie 7). En effet, lors de la période de hautes eaux, il semblerait que le champ, qui possède une végétation principalement composée de prairies hautes, soit submergé, laissant ainsi à disposition une grande quantité de végétation potentiellement utilisable par le brochet comme substrat de ponte. Cependant, sans observations sur le terrain, il est difficile de savoir si le champ est submergé tous les ans lors de la période de reproduction du brochet, ou seulement lors de crues importantes. C'est pourquoi dans l'atlas, l'annexe telle qu'observée lors de la prospection a été



Photographie 7: Photographie aérienne de l'annexe "Les Sables" Géoportail

notée. La note est par conséquent faible en tant que potentielle frayère à brochet, alors qu'il est possible que ce site fournisse un substrat de ponte intéressant et ainsi une bonne fonctionnalité lors de la période de hautes eaux.

Pour la note de détermination des perturbations, elle prend en compte les atteintes observées lors de la prospection sur les annexes hydrauliques. Cependant, il est parfois difficile d'évaluer l'intensité de l'impact observé. C'est le cas notamment pour l'impact lié au fort recouvrement de Jussie.

5.3- PECHES ELECTRIQUES

Au vu de la période tardive des prospections, et du peu d'eau présent dans les annexes, il n'a donc pas été possible de réaliser les pêches électriques pour confirmer la fonctionnalité de celles-ci. Ces inventaires auraient permis notamment une nouvelle fois d'observer l'impact d'un important recouvrement par la Jussie.

6- PERSPECTIVES

6.1- PERIODES DE PROSPECTION

Les observations réalisées sur le terrain ont montré que les annexes hydrauliques en assec possédaient un recouvrement plus important par la végétation amphibie favorable à la fraie du brochet. Effectivement, selon certains auteurs de littérature (Inskip, 1982 ; Fabricius & Gustafson, 1958) une alternance entre une période de submersion et une période d'exondation totale favoriserait le développement de la végétation amphibie.

La réalisation de deux périodes de prospections peut donc être intéressante. La première période est entre avril et mai (prospection choisie par la FDPPMA03). Durant celle-ci les débits restent théoriquement proches des débits de la période de fraie, permettant ainsi d'estimer assez facilement les différents paramètres pour février et mars. Cette période précédant la migration des juvéniles permet également de les observer et ainsi confirmer la reproduction effective de l'espèce.

La deuxième est lors de la période d'étiage, entre août et septembre. Cela permettrait d'observer les annexes connectées toute l'année, qui sont un avantage pour le passage des poissons, mais également d'observer le niveau d'exondation des annexes hydrauliques à cette période. Il semblerait selon certains auteurs de littérature, confirmé lors des prospections terrain, que la mise en assec des annexes de temps en temps en période estivale favoriserait le développement de la végétation amphibie.

6.2- ETUDES COMPLEMENTAIRES A L'INVENTAIRE

Avant de mettre en place des mesures de gestion et/ou de restauration, il est important d'approfondir les connaissances des annexes hydrauliques.

- Etudes topographiques et limnimétriques

Effectivement, il serait pertinent de vérifier la stabilité du niveau des eaux lors de la période de reproduction du brochet à l'intérieur de l'annexe hydraulique. Mais également d'observer s'il existe des périodes d'exondations de l'annexe.

De plus, les études topographiques permettraient l'observation des différences de niveau entre les annexes hydrauliques et le cours d'eau principal suite à l'enfoncement de la Loire.

- Etudes de la qualité de l'eau

Une étude de la qualité physico-chimique de l'eau permettrait la détermination des paramètres limitant la reproduction du brochet et le développement des juvéniles. Le pH, l'oxygène dissous sont des paramètres intéressants à suivre, mais le principal reste la température. Effectivement, il s'agit du paramètre qui impacte directement le déclenchement de la reproduction du brochet, mais également le développement des œufs et des juvéniles.

La pose de sondes de type Hobo Pendant® Temperature Data Logger serait pertinent sur les sites possédant un très bon potentiel frayère à brochet, tel que l'annexe en amont « Pré de l'Ile », et les deux annexes en aval « Les Germaines » et « Les Sapins ».

6.3- MESURES DE GESTION

Des mesures de gestion de type MAEC (= Mesures Agro-Environnementales et Climatiques) peuvent être appliquées pour les annexes hydrauliques fonctionnelles.

Des journées d'information auprès des agriculteurs pourraient être organisées afin de les informer et d'accompagner les volontaires dans la mise en œuvre de mesures de préservation des annexes hydrauliques.

Des contrats sous forme de MAEC engagent des propriétaires volontaires pour une durée de cinq ans. En contrepartie d'une rémunération annuelle par hectare, les agriculteurs s'engagent à respecter un cahier des charges contenant des actions qui ont pour objectif le développement de pratiques combinant performance économique et préservation de l'environnement.

Certains engagements unitaires présents sur le cahier des charges peuvent permettre de limiter la pression de pâturage sur les berges des annexes hydrauliques tel que les engagements Herbe_04 « ajustement de la pression de pâturage sur certaines périodes », ou encore Milieu_01 « Mise en défens temporaire de milieux remarquables ».

6.4- AMENAGEMENT DES SITES

Plusieurs méthodes d'aménagements sont proposées afin de répondre aux problématiques observées sur le terrain dans le but de protéger et restaurer ces milieux sensibles. Ces aménagements sont présentés dans les pages qui suivent.

A noter que les coûts indiqués sont donnés à titre indicatif mais peuvent varier en fonction de l'entreprise, du matériel mis à disposition, de la localisation du site, de son accessibilité.

Retalutage des berges

Objectif de l'opération :

La présence de supports de ponte est l'un des paramètres les plus importants conditionnant l'intérêt d'un site pour la reproduction du brochet et plus généralement pour la reproduction d'une multitude d'espèces.

Le retalutage des berges consiste à modifier la pente et la forme des berges pour obtenir un profil plus doux. Des berges en pente douce alternent des phases immergées et exondées en fonction des variations du niveau de l'eau favorisant ainsi le développement de la végétation amphibie, augmentant alors la surface favorable à la reproduction du brochet.

Période d'intervention :

La période la plus propice pour ce type de travaux est de mai à octobre, soit hors période de crue.

Étapes de mise en œuvre :

- Coupe de la végétation arbustive
- Curage des sédiments puis reprofilage des berges en pente douce à l'aide d'une pelle mécanique
- Plantation d'une végétation amphibie pour éviter l'implantation d'une végétation envahissante.

Sites concernés :

- **Annexe 1** : Terre des Chambons. Principalement au niveau de la connexion aval ;
- **Annexe 2** : Pré de l'Île. Reprofilage surtout de la berge en rive gauche qui possède une pente entre 20 et 40% avec une végétation de type arbustive. La berge en rive droite est déjà en pente douce (5-20%) ;
- **Annexe 7** : Le Giverdon. Pente des berges entre 20 et 40% sur les deux rives. Il est surtout intéressant de reprofiler la berge en rive droite car la rive gauche donne sur un champ de bovins ;
- **Annexe 9** : Les Bordes. Intéressant de retaluter surtout la berge en rive gauche qui possède une pente autour de 15% ;
- **Annexe 11** : La Broche. La végétation intéressante étant principalement sur les bords, reprofiler les berges des deux rives augmentera la surface favorable à la reproduction du brochet ;
- **Annexe 13** : Le Port Palissat. Berges possédant une végétation de type prairie sur les deux rives. Il serait alors intéressant de retaluter les deux berges en pente douce ;
- **Annexe 15** : Les Loges. La végétation amphibie est principalement sur les berges, diminuer la pente des berges permettrait d'augmenter la surface de substrat de ponte ;
- **Annexe 23** : Les Bassicots. Retalutage notamment de la berge en rive gauche pour faciliter encore plus la submersion des berges et l'utilisation de la végétation amphibie comme substrat de ponte.

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+2, N+5	Suivi du peuplement piscicole
N+2	Suivi de la végétation des berges

Restauration de la connexion

Objectif de l'opération :

Bon nombre de poissons utilisent les annexes hydrauliques pour s'y reproduire, mais c'est un milieu essentiel pour la reproduction du brochet.

Une bonne connexion hydraulique permet aux poissons géniteurs de remonter dans l'annexe pour se reproduire puis dans un second temps aux juvéniles de retrouver le lit principal pour s'y développer.

La restauration d'une bonne connexion permettrait une restauration de la continuité piscicole et ainsi de maintenir une reproduction naturelle chez le brochet.

Connexion amont ou aval ?

L'expérience montre que la pérennité d'une connexion par l'amont n'est pas assurée en raison des processus naturels de comblement. Une connexion par l'aval sera donc préférable car plus pérenne.

Période d'intervention :

Dépendant des contraintes liées au cycle de vie des différentes espèces peuplant les annexes, les travaux seront réalisés entre septembre et novembre.

Étapes de mise en œuvre :

- Coupe de la végétation arbustive ;
- Curage des sédiments au niveau de la connexion ;
- Extraction de la végétation et des sédiments du site ;
- Re plantation de végétation amphibie sur les berges dégradées par les engins.

Sites concernés :

Annexes concernées	Coût financier	Gain écologique	Remarques	Distance de curage
Annexe 13 : Le Port Palissat	+++	+		300m de curage
Annexe 19 : La Valatte	+++	+++	Morte complètement déconnectée mais présence d'un recouvrement important d'herbiers amphibies.	Entre 150-200m
Annexe 23 : Les Bassicots	+	++	Le piétinement a entraîné la formation d'un bouchon de vase à la connexion. Permet également de retenir l'eau en période d'étiage.	Bouchon d'une 30aine de mètres
Annexe 25 : Les Avoulards	+	+	Faible bouchon. Permet également de retenir l'eau à l'intérieur en période de basses eaux.	
Annexe 26 : La Motte Veillot	+	++	Début de formation d'un bourrelet alluvionnaire à l'intérieur de l'annexe.	Bouchon d'une 40aine de mètres
Annexe 29 : Les Gougniot	++	+++	Bouchon sédimentaire + végétal. Accès engins très difficile.	Curage d'une vingtaine de mètres environ.
Annexe 31 : La Motte aux Oies	+++	+	Curage dans le sable, risque de se combler de nouveau rapidement.	+ de 300m dans le sable
Annexe 30 : Champfort	+++	+++	Fort gain écologique, avec un recouvrement en végétation amphibie important et diversifié mais travaux importants.	Environ 160m de curage

Coût :

Curage du chenal	5€/m ³
Curage de bourrelet alluvionnaire (Comprend curage du bourrelet et régalinge des matériaux mobilisés)	5€/m ³
Végétalisation des banques du chenal fraîchement façonnées	2€/m ²

Il faut également ajouter le coût de l'installation du chantier et du suivi des travaux.

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+2, N+5	Etude topographique et limnimétrique de la connexion
N+1, N+5	Etude du peuplement piscicole

Gestion des embâcles

Objectif de l'opération :

Les embâcles sont des obstacles à la bonne circulation de l'eau ainsi que des organismes et notamment piscicoles. Cependant, ils permettent également de diversifier les habitats, parfois de limiter le courant, et de servir de cache pour les organismes.

Il est donc nécessaire de bien réfléchir avant d'enlever l'ensemble des embâcles présents dans une annexe.

Période d'intervention :

Pendant la période de basses eaux, entre juin et septembre.

Etapes de mise en œuvre :

- Couper les embâcles
- Extraction de la végétation du site

Sites concernés :

- **Annexe 8** : Les Gougniots – Le site possède un bouchon végétal au niveau de la connexion. L'enlever permettrait une meilleure mise en eau de l'annexe en période de hautes eaux, mais également une meilleure circulation piscicole ;
- **Annexe 12** : Les Pys – Gros tronc d'arbre au milieu de l'annexe (image ci-contre). Impacte la bonne mise en eau de l'annexe cependant, lors de période de crue, permet également de limiter le courant et sert de cache pour les poissons ;
- **Annexe 11** : La Broche – Bouchon végétal au niveau de la connexion. L'enlever permettrait là encore une meilleure continuité écologique ;
- **Annexe 2** : Pré de l'Ile – Présence d'embâcle au niveau du pont. Cependant faible impact des embâcles. Il se peut même qu'ils permettent de diversifier les écoulements et les habitats.



Photographie 8 : Embâcle présent dans l'annexe hydraulique 12

Suppression pont busé

Objectif de l'opération :

Les ouvrages tels que les ponts busés peuvent être un frein à la bonne circulation de l'eau mais également des organismes tels que les poissons. Supprimer ces aménagements permettrait de restaurer la continuité écologique et piscicole.

Période d'intervention :

La période d'intervention optimale entre septembre et novembre, hors période de crue.

Etapas de mise en œuvre :

- Extraction de la buse actuelle
- Remplacement par un autre aménagement, tel qu'un pont cadre (coût estimé : 10 000€) ou une passerelle (coût estimé : 5 000€)

Sites concernés :

- **Annexe 2** : Pré de l'Ile

Annexe traversée à l'intérieur par un pont busé empêchant les poissons de remonter jusqu'à l'amont de celle-ci. L'annexe possédant une note de 14,25/21 pour l'intérêt frayère à brochet, le gain écologique du remplacement du pont busé par un pont cadre sera important.

- **Annexe 8** : Les Sables

Annexe possédant une buse au niveau de la connexion amont. Cette buse empêche tout déplacement de poissons entre l'annexe et la rivière Loire par l'amont. Or la connexion amont étant en eau toute l'année contrairement à la connexion aval, il serait donc intéressant pour les poissons pris au piège lors de la période d'étiage d'avoir tout de même accès au cours d'eau par l'amont.

- **Annexe 21** : Les Grands Verziaux

Présence d'un pont busé au centre de l'annexe permettant le passage des voitures. Cependant, la buse possède une hauteur de chute d'eau importante permettant le passage des poissons de l'aval vers l'amont de l'annexe seulement en période de hautes eaux. Un pont cadre permettrait une meilleure continuité écologique.

Commentaire :

L'annexe 10 : Les Grands Verniaux possède également un pont busé pour le passage des bovins à l'intérieur de celle-ci. Cependant, au vu de l'impact du piétinement bovin sur la présence de substrat de ponte favorable à la ponte du brochet, il semblerait qu'actuellement le gain écologique soit trop faible pour réaliser les travaux de remplacement du pont busé par un pont cadre. Limiter le piétinement de l'annexe par les bovins reste la mesure à prendre en priorité pour ce site.

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+1, N+5	Etude du peuplement piscicole + marquage des brochets

Gestion de la ripisylve

Objectif de l'opération :

Pour une fonctionnalité optimale d'une annexe en tant que frayère à brochet, il est important que celle-ci ne soit pas trop sujette à l'ombrage. Effectivement, pour un réchauffement rapide de la température de l'eau au moment de la reproduction du brochet, il faut que celle-ci soit très ensoleillée.

Période d'intervention :

La période d'intervention la plus propice pour ce type de travaux est de septembre à novembre, hors période de crue.

Etapas de mise en œuvre :

- Marquage des arbres (Bombe de peinture ou griffage des arbres)
- Coupe et élagage des arbres
- Extraction des déchets verts hors du site pour compostage

Sites concernés :

- **Annexe 1** : La Terre des Chambons
- **Annexe 3** : Les Pointes – Taille des arbres notamment en rive droite ;
- **Annexe 9** : Les Bordes – Taille des arbres surtout au niveau de la connexion, où la végétation est la plus favorable à la ponte du brochet ;
- **Annexe 11** : La Broche
- **Annexe 12** : Les Pys
- **Annexe 14** : Les Rebleaudes – Principalement dégager les berges qui sont recouvertes par des petits saules pourpres ne permettant pas aux brochets d'utiliser les berges comme substrats de ponte ;
- **Annexe 18** : La Goutte aux Merles – Annexe un peu ombragée ;
- **Annexe 31** : La Motte aux Oies
- **Annexe 32** : Les Sapins – Elagage de la ripisylve et élimination des arbustes présents à l'intérieur de l'annexe.

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+1	Suivi thermique
N+1, N+5	Etude du peuplement piscicole

Gestion du piétinement

Objectif de l'opération :

Le piétinement par les bovins (notamment) est une perturbation fréquemment rencontrée sur les annexes hydrauliques. Le piétinement impacte la fonctionnalité d'une frayère, notamment par la destruction des supports de ponté présents sur ses berges. Cela impacte également le lit de la rivière, par de la pollution, un élargissement du lit, un colmatage, mais également une dégradation de la qualité physico-chimique des eaux, une augmentation de la turbidité liée à la remise en suspension des vases pouvant entraîner une diminution du taux d'oxygène dans le milieu et une augmentation de la température de l'eau.

En plus de ces impacts, se greffe le risque d'apparition du phénomène d'eutrophisation, en raison de l'enrichissement important en matières organiques de l'eau par les déjections.

Période d'intervention :

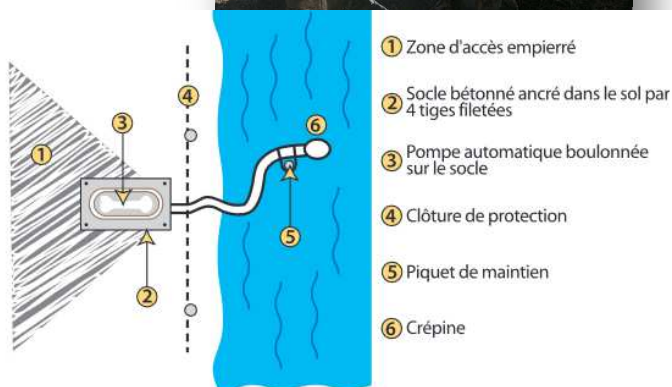
Lors de la période de mise en pâture des animaux.

Mise en œuvre :

- Mise en place de clôtures électriques ou barbelées ;
- Installation d'abreuvoirs à pompe (ou également appelé abreuvoirs à nez). Il s'enclenche lorsque l'animal fait pression sur le levier.

Sites concernés :

- **Annexe 4** : Lurcy Bas
- **Annexe 10** : Les Grands Verniaux
- **Annexe 13** : Le Port Palissat
- **Annexe 23** : Les Bassicots –
Principalement au niveau de la connexion.



Installation d'une pompe à nez (Source CATER Normandie)

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+2, N+5	Suivi du peuplement piscicole
N+2	Suivi de la végétation

Commentaire :

Il est également possible de réaliser des descentes aménagées en pierres ou en bois. Cependant leur efficacité est moindre, leur durée de vie variable et le piétinement des berges ne cesse pas, seul le piétinement à l'intérieur de l'annexe est limité. De plus, il s'agit d'un aménagement plus coûteux (entre 700 et 1100 euros H.T par unité) que la pompe à nez (entre 300 et 500 euros).

Gestion des espèces exotiques envahissantes (Jussie)

Gestion des sites non impactés

Objectif de l'opération :

L'objectif premier étant d'éviter que la végétation de type EEE (= Espèces Exotiques Envahissantes) telle que la Jussie ou la Renouée du Japon, ne s'implante et se développe dans une annexe qui n'est pas encore impactée.

Période d'intervention :

La période d'intervention la plus favorable est juin (avant la période de dispersion des végétaux).

Étapes de mise en œuvre :

- Campagnes de prospection terrain régulières ;
- Arrachage manuel des boutures ou herbiers inventoriés ;
- Stockage et extraction des déchets dans des sacs poubelles ;
- Utilisation d'une époussette pour retirer d'éventuelles boutures.

Sites concernés :

- **Annexe 8** : Les Sables ;
- **Annexe 29** : Les Goughniots – Présence mais très faible recouvrement.

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+2, N+4, N+6...	Campagnes de prospections et d'arrachages

Gestion des espèces exotiques envahissantes (Jussie)

Gestion des sites impactés (>50% de recouvrement)

Objectif de l'opération :

Le recouvrement très important par les EEE, et notamment la Jussie, peut limiter l'accès à la lumière pour d'autres types de végétaux, comme la végétation amphibie essentielle au cycle de vie du brochet.

De plus, la décomposition de la Jussie entraîne un comblement encore plus rapide de l'annexe. Limiter la quantité d'espèces exotiques envahissantes permettra d'améliorer l'habitat de reproduction du brochet, mais également de retarder le comblement du site.

Période et temps d'intervention :

Il y a deux périodes pour ce type d'opération. La première s'étend d'avril à mai/juin selon les conditions. Celle-ci correspond à une phase d'expansion de la Jussie.

La deuxième période est de juillet à octobre, durant laquelle les feuilles s'allongent et de grandes fleurs jaunes éclosent de part et d'autre des tiges aériennes.

Il faut compter une demi-journée maximum par site.

Etapas de lutte contre la Jussie :

- Mise en place d'un filet lesté ;
- Arrachage mécanique. L'arrachage se fait à partir de la berge quand cela est possible à l'aide d'une pelle mécanique (ou à l'aide d'un bateau adapté) ;
- Ramener les tiges et les boutures sur les berges. Il est important de récupérer l'ensemble des plantes coupées pour éviter le bouturage ;
- Stockage et extraction des déchets.

Commentaires :

Les méthodes d'arrachage manuel (début de colonisation) et d'arrachage mécanique (fort recouvrement) ne peuvent être efficaces qu'avec la réalisation d'un entretien régulier. L'évacuation des matériaux et le devenir de ces derniers sont des problématiques à intégrer dans la mise en place de l'intervention. La lutte contre la Jussie nécessite donc des moyens humains et financiers importants.

Sites concernés :

- **Annexe 11** : La Broche
- **Annexe 16** : La Champ Cornu
- **Annexe 23** : Les Bassicots
- **Annexe 25** : Les Avoulards
- **Annexe 26** : La Motte Veillot
- **Annexe 27** : La Ganche
- **Annexe 31** : La Motte aux Oies

Suivi :

ANNEE	TYPE DE SUIVI
N+1, N+5	Etude du peuplement piscicole
N+1, N+2, N+3...	Entretien régulier par arrachage manuel des boutures

Gestion des déchets

Objectif de l'opération :

L'objectif principal de l'opération est de supprimer les déchets d'origine anthropique afin de garantir une propreté du site. Effectivement, les déchets peuvent venir dégrader la qualité de l'eau, ou impacter physiquement le bon fonctionnement de l'annexe.

Période d'intervention :

Au printemps, après le passage des crues qui peuvent elles aussi emmener des déchets jusqu'aux annexes hydrauliques.

Mise en œuvre :

Organisation d'une journée de récolte des déchets (écoles, collectivités locales, bénévoles de l'AAPPMA).

Sites concernés :

- **Annexe 24** : Les Germain
- **Annexe 25** : Les Avoulards

CONCLUSION

Cette étude a permis l'évaluation des annexes hydrauliques de la Loire, en prenant comme espèce repère le brochet. Le brochet étant considéré comme un indicateur de bonne qualité biologique d'un milieu, sa présence et son abondance sont représentatives d'un équilibre ou d'un déséquilibre dans le fonctionnement du milieu. C'est pourquoi afin de caractériser au mieux le fonctionnement des annexes hydrauliques, l'évaluation a porté sur trois critères : le potentiel de l'annexe en tant que frayère à brochet, le fonctionnement hydraulique, et la détermination des perturbations.

L'étude a mis en évidence l'importance de l'espace de mobilité minimal de la rivière, espace permettant au cours d'eau de conserver sa dynamique naturelle. La dynamique latérale du cours d'eau est la clé de la formation des annexes hydrauliques. Une rivière sujette aux contraintes naturelles ou anthropiques sera impactée dans la quantité, la diversité typologique de ses annexes hydrauliques, mais également dans sa capacité d'accueil pour la fraie du brochet.

L'étude montre que les annexes hydrauliques de types chenaux tertiaires possèdent un intérêt important pour la reproduction du brochet. Ce résultat peut paraître étonnant puisque les chenaux tertiaires sont des annexes connectées en aval mais également en amont, entraînant la formation d'un courant en période de hautes eaux. Cependant, au vu de la diminution des débits annuels, il est probable que les chenaux soient de moins en moins souvent connectés par l'amont et par conséquent, ils se comportent comme des bras morts la majorité de l'année. On peut donc penser que les annexes hydrauliques de type bras morts sont la typologie qui possède le plus d'intérêt pour la fraie du brochet. En effet, ces milieux éloignés du cours d'eau sont relativement protégés du courant ce qui permet l'implantation et le bon développement d'une végétation amphibie dense et diversifiée. De plus, ce sont des milieux pouvant rester connectés avec le cours d'eau principal, ce qui permet la migration de la faune piscicole.

Le fonctionnement hydraulique, au vu de l'étude, semble majoritairement bon, et les milieux moyennement perturbés. Cependant ces résultats sont à prendre avec précaution, au vu de la situation hydrologique exceptionnelle dans laquelle cette étude a été menée.

Les annexes hydrauliques sont des milieux menacés et pourtant essentiels. L'homme par ses actions tient une part de responsabilité très importante sur cette altération, dégradation, voir disparition. Les pressions anthropiques sont nombreuses, la chenalisation, les obstacles à l'écoulement (barrages, seuils...), l'extraction de granulats, les pollutions, le drainage par l'agriculture... La gestion et la restauration des annexes hydrauliques contribueront à la sauvegarde de l'habitat du brochet et ainsi à la sauvegarde d'un cortège d'espèces.

Il serait intéressant dans un deuxième temps de réaliser une nouvelle campagne de prospection terrain en période de hautes eaux pour confirmer ou infirmer les informations relevées lors de cette étude et également approfondir les données.

La réalisation de cet atlas peut d'ores et déjà servir de base de travail pour cibler les annexes hydrauliques possédant l'intérêt écologique le plus important, et ainsi en concertation avec la Fédération de Saône-et-Loire pour la pêche et la protection des milieux aquatiques pour les annexes présentes sur leur territoire, mettre en place des mesures de gestion et de restauration de ces annexes.

BIBLIOGRAPHIE

Allion et Lelièvre, 2016. « Inventaire et caractérisation des annexes hydrauliques de la rivière Allier dans le département de l'Allier (03) ».

AEAG, 2016. – voir « AGENCE DE L'EAU ADOURGARONNE (2016a, b) ».

Amoros, C., 1987. « Evolution des écosystèmes aquatiques abandonnés par les fleuves : recherches méthodologiques appliquées à la gestion écologique des systèmes fluviaux », Thèse Université de Lyon 1, 42p.

Amoros C. & Petts G. E. 1993. « Hydrosystèmes fluviaux. Collection d'écologie ».

Beillard, J., et JM. Ditché, 2012. « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité ».

Bengen, D., Belaud, A., Lim, P., 1992. « Structure et typologie ichtyenne de trois bras-morts de la Garonne », *Annls Limnol.*, 28 (1) : 35-36.

Blandin P., 1986. « Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques ».

Chancerel, 2003. « Le Brochet : Biologie et gestion ».

DREAL Centre, 2014. « Espace de mobilité fonctionnel de la Loire de Saint-Hilaire-Fontaine au bec d'Allier ».

Dumousset, D., 1999. « Rôle des annexes hydrauliques dans la dynamique du brochet : cas d'un bras mort du Bec de Dore », CSP Délégation Régionale Auvergne, Limousin, 62p.

Dupieux, N., 2004. « Une proposition de protocole commun pour la description et le suivi des annexes hydrauliques du bassin de la Loire. Programme Loire nature, mission scientifique », 52p.

Fabricius E. & Gustafson K.J., 1958. "Some new observations on the spawning behavior of the pike (*Esox lucius* L.)"

Fages D., 2015. « Fonctionnalité piscicole de l'Aveyron vis-à-vis de l'espèce repère : le brochet (*Esox lucius*). Evaluation du potentiel, approche prospective et identification des actions à mener ».

FDPPMA03, 2020. « Plan départemental pour la Protection des milieux aquatiques et la Gestion des ressources piscicoles de l'Allier ».

Génération pêche. Site internet : <https://www.generationpeche.fr/176-regles-a-connaître.htm>

Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K. & Verdonschot P.F.M., 2006. "Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish; a comparative metric-based analysis of organism response to stress." *Freshwater Biology*.

Hunt, Burton P., et William F. Carbine. « Food of Young Pike, *Esox Lucius* L., and Associated Fishes in Peterson's Ditches, Houghton Lake, Michigan ». *Transactions of the American Fisheries Society* 80, no 1 (1 janvier 1951).

Inskip, 1982. "Habitat suitability index models: northern pike. *U.S FishWild*".

Keith, P., Allardi, J., 2001. « Atlas des Poissons d'Eau douce de France. Patrimoines Naturels », Paris, 287p, n°47.

Keith et al, 2011. « Les poissons d'eau douce de France ».

La Houille Blanche, 1996. « Les extractions de matériaux dans le lit mineur et le lit majeur de la Loire et de ses affluents ». N°6-7, pp. 108-113.

Le Coz J., 2007. « Fonctionnement hydrosédimentaire des bras-morts de rivière alluviale ».

Le réseau Natura 2000, 2010. « Vallée de la Loire entre Iguerande et Decize. Départements de Saône-et-Loire, Nièvre et Allier ».

Malavoi & Souchon, 1996. « Dynamique fluviale et dynamique écologique ».

Nabet, 2014. « Etude du réajustement du lit actif en Loire moyenne, bilan géomorphologique et diagnostic du fonctionnement des chenaux secondaires en vue d'une gestion raisonnée ».

ONEMA, 2008. « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité ».

Pierson A., septembre 2017. « Atlas des annexes fluviales de la Garonne ».

Pimm S.L., 1982. "Food webs"

Pringle C.M., Freeman M.C., Freeman B.J., 2000. "Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the New World: Tropical-temperate comparisons". Bioscience 50(9), pp 807–823.

Ruffini C., Gazelle F., Deconchant M., 1994. « Rôle des boisements riverains dans la prévention des pollutions azotées diffuses ». Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, N°spécial Ecologie et Gestion, pp 39-44.

Southwood T.R.E., 1977. "Habitat, the templet for ecological strategies".

Storck, F., Mougenez, S., 2004. « La Loche d'étang (*Misgurnus fossilis*) ». Synthèse bibliographique et répartition nationale, Conseil Supérieur de la Pêche, Délégation régionale n°3, 21p.

UICN France, MNHN, SFI & ONEMA, 2010. « La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine ».

Vecchio, 2010. « Retour d'expériences de restauration d'annexes hydrauliques dans le bassin Rhin-Meuse ».

WARD J. V., 1989. "The four-dimensional nature of lotic ecosystems. Journal of the north American benthological society".

ABREVIATIONS

AAPPMA	Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
BM	Bras Mort
BRO	Brochet (<i>Esox Lucius</i>)
C	Confluence
CC	Chenal de Crue
CEN	Conservatoire d'Espaces Naturels
CS	Chenal Secondaire
CT	Chenal Tertiaire
EEE	Espèce Exotiques Envahissantes
EPA	Echantillons Ponctuel d'Abondance
FDPPMA	Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
M	Morte
MAEC	Mesures Agro-Environnementales et Climatique
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
PDPG	Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles
PI	Prairie inondable
ZA	Zone Artificialisée
ZPS	Zone de Protection Spéciale
ZSC	Zone Spéciale de Conservation

LISTE DES CARTOGRAPHIES

Cartographie 1 : Cartographie de l'ensemble du linéaire du fleuve Loire.....	5
Cartographie 2 : Cartographie situant le linéaire d'étude du fleuve Loire.....	10
Cartographie 3 : Localisation des stations hydrologiques de la Loire sur le secteur d'étude.....	11
Cartographie 4 : Sectorisation du secteur d'étude de la Loire.....	12
Cartographie 5 : Localisation des annexes hydrauliques prospectées sur le secteur par contexte.....	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tracé méandriforme du fleuve Loire vu sur photographies aériennes (tronçon dans le département de l'Allier).....	5
Figure 2 : Photographies aériennes montrant la création du bras mort « Les Grands Verziaux ».....	8
Figure 3 : Les mécanismes de formation des bras mort (Amoros et Petts, 1993).....	8
Figure 4 : Cycle de vie du brochet.....	15

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : Juvénile de brochet.....	13
Photographie 2 : <u>A gauche</u> : Pêche électrique à pied. <u>A droite</u> : Pêche électrique en bateau.....	22
Photographie 3 : <u>A gauche</u> : Jussie. <u>Centrale</u> : Piétinement de bovins. <u>A droite</u> : Seuil sur l'annexe « Le Mont ».....	30
Photographie 4 : <u>A gauche</u> : Carte IGN Géoportail. <u>A droite</u> : Photographies aériennes de 2016 sur Géoportail.....	34
Photographie 5 : Vu aérienne 2016 du Recul de Châtel de Neuvre sur l'Allier.....	35
Photographie 6 : Différence de niveau entre la Loire et l'annexe hydraulique "Les Germaines".....	35
Photographie 7 : Photographie aérienne de l'annexe "Les Sables" Géoportail.....	36
Photographie 8 : Embâcle présent dans l'annexe hydraulique 12.....	43

LISTE DES GRAPHIQUES

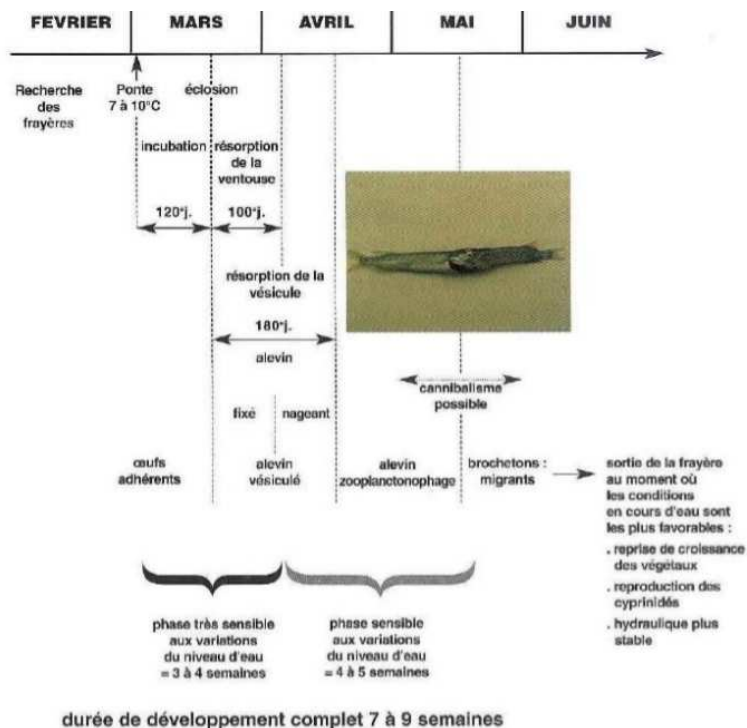
Graphique 1 : Graphiques des débits enregistrés lors des journées de prospection sur les stations de Gilly-sur-Loire (à gauche) et Digoin (à droite).....	15
Graphique 2 : A gauche : Nombre d'annexes par typologie recensées. A droite : Surfaces en eau cumulées par rapport aux effectifs par typologie des annexes hydrauliques recensées.....	22
Graphique 3 : Effectifs et surfaces en eau cumulées pour les annexes hydrauliques prospectées.....	23
Graphique 4 : Répartition de chaque typologie d'annexes hydrauliques par contexte du secteur d'étude.....	25
Graphique 5 : Répartition des annexes hydrauliques en fonction de leur note d'intérêt frayère à brochet.....	25
Graphique 6 : Potentiel en tant que frayère à brochet par contexte.....	26
Graphique 7 : Potentiel en tant que frayère à brochet par typologie.....	26
Graphique 8 : Fonctionnement hydraulique par typologie.....	27
Graphique 9 : Détermination des perturbations en fonction de la typologie.....	27
Graphique 10 : Type de perturbations recensées au sein des annexes prospectées du secteur.....	28
Graphique 11 : Capacité d'accueil et fonctionnalité par typologie.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classe de végétation (<u>à gauche</u>) et classe de recouvrement de végétation amphibie, roselière et cariçaie (<u>à droite</u>).....	16
Tableau 2 : Classes en fonction de l'intensité de l'ombrage observé.....	16
Tableau 3 : Classes de pente des berges (<u>à gauche</u>) et classes en fonction de la typologie de végétation des berges (<u>à droite</u>).....	17
Tableau 4 : Classes en fonction des connexions hydrauliques possible.....	18
Tableau 5 : Classes en fonction de la durabilité de la connexion.....	18
Tableau 6 : Classes en fonction de l'état sanitaire des berges.....	19
Tableau 7 : Classes en fonction du pourcentage de recouvrement par les végétaux envahissants.....	19
Tableau 8 : Classes en fonction de l'impact des activités sur le fonctionnement du milieu.....	19
Tableau 9 : Capacité d'accueil et perte de fonctionnalité par contexte.....	29

ANNEXES

ANNEXE 1 : SCHEMA SYNTHETIQUE DU DEVELOPPEMENT TEMPOREL CHEZ LE BROCHET



ANNEXE 2 : EXEMPLE D'UNE FEUILLE PRESENTE DANS L'ATLAS

