



Université de Toulouse

MASTER 2 GEOMATIQUE

« **ScIences Géomatiques en environneMent et Aménagement** » (**SIGMA**)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

RAPPORT DE STAGE

ATLAS DES ANNEXES FLUVIALES DE LA GARONNE

PIERSON Alexandre



Maîtres de stage : FAGES Damien et SABRIE Yannick
Tuteur-enseignant : SHEEREN David (ENSAT)

Septembre 2017



ATLAS DES ANNEXES FLUVIALES DE LA GARONNE

IDENTIFICATION DES POTENTIELS D' ACTIONS
VIS-A-VIS DE L'ESPECE REPERE : LE BROCHET
(*Esox lucius*)

RAPPORT DE STAGE
PIERSON Alexandre

Maîtres de stage : FAGES Damien et SABRIE Yannick

Opération réalisée avec le concours financier de :

1^{ère} de couverture (de haut en bas) : Brochet *Esox lucius* L., 1758 (© MADELON Laurent), Brascif de Pescay (© PIERSON Alexandre).

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêts qu'elles m'ont fait vivre pendant six mois au sein de la Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de-Tarn-et-Garonne :

Claude DEJEAN (Président) et Guillaume PAULY (Directeur technique) pour m'avoir accueilli dans cette structure ;

Yannick SABRIE (Chargé d'études) et Damien FAGES (Chargé de missions) pour m'avoir accepté en stage, accordé leur confiance, avoir partagé leurs connaissances et leur expérience, et pour le temps qu'ils m'ont consacré tout au long de ce stage ;

L'ensemble des membres de la FDAAPMA 82 pour leur accueil et leur gentillesse.

J'adresse également mes remerciements aux personnes qui ont contribué à cette étude en acceptant de partager les données acquises par leurs structures :

Séverine Chauvin de l'Agence de l'Eau Adour Garonne ;
Isabelle DECOUDUN et Olivier MERCIER de l'Agence Française pour la Biodiversité ;
Jérôme COLLIE, Pascal COUGOULE et Emmanuel ROUX du Conseil Départemental du Tarn-et-Garonne ;
Nadine SAUTER du Conservatoire Botanique National Des Pyrénées et de Midi-Pyrénées ;
Pierre-Emmanuel RECH du Conservatoire des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées ;
Laurent HUMBER de la Direction Départementale des Territoires de Tarn-et-Garonne ;
Pascal LAFFAILLE du laboratoire ECOLAB ;
Johannes STEIGER du laboratoire GEOLAB ;
Nelly DAL POS de Nature Midi-Pyrénées ;
Fabienne SANS et Paul SIMON du Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne.

RESUME

Au cours du siècle dernier, les nombreux aménagements de l'Homme sur les cours d'eau ont entraîné de profondes perturbations du fonctionnement des milieux aquatiques. Sur la Garonne dans le Tarn-et-Garonne, ils sont à l'origine d'une perte de connectivité entre le fleuve et ses annexes fluviales. Ces annexes fluviales sont des zones humides connectées en permanence ou de façon périodique au cours d'eau et abritant une diversité faunistique et floristique exceptionnelle. Elles jouent un rôle important dans l'accomplissement des différentes phases du cycle biologique de nombreuses espèces piscicoles et, en particulier, du brochet (*Esox lucius* L., 1758) qui nécessite ce type de milieu pour assurer sa reproduction.

Portée par la Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Tarn-et-Garonne, cette étude avait pour but d'identifier, de caractériser et de hiérarchiser l'ensemble des annexes fluviales de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne. Au total, elle a permis l'identification de 60 annexes fluviales au moyen d'une méthode de détection des dépressions topographiques et d'un modèle numérique de terrain. Ces annexes fluviales ont ensuite été caractérisées à l'aide de paramètres relevés sur le terrain ainsi que d'indicateurs calculés grâce aux SIG, puis hiérarchisées selon leur potentiel fonctionnel pour la reproduction du brochet et leur potentiel d'aménagement futur. Les résultats obtenus ont servi à la réalisation d'un atlas et devraient aboutir à l'émergence de projets de restauration dans les années à venir.

Mots-clefs : annexe fluviale - Garonne - brochet (*Esox lucius* L., 1758) - fonctionnalité - frayère.

ABSTRACT

During the last century, numerous watercourses development have led to serious disturbances in the functioning of aquatic ecosystems. On the Garonne River in the Tarn-et-Garonne, they cause a loss of connectivity between the river and its floodplain wetlands. These wetlands are permanently or periodically connected to the watercourse and support an abundant wildlife diversity. They play an important role in the fulfillment of many species' life cycle and, especially, for the pike (*Esox Lucius* L., 1758) which requires these types of habitats to ensure its reproduction.

Carry out by the Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Tarn-et-Garonne, this study aimed to identify, describe and prioritize all floodplain wetlands of the Garonne River in the Tarn-et-Garonne. First, the study allows to identify 60 floodplain wetlands via a method to detect topographic depressions and a digital elevation model. Then these floodplain wetlands have been described using field parameters and GIS-based indicators and, finally, prioritized according to their ecological functionality and restoration potential. The outcomes have served as the creation of an atlas and will result in ecological restoration projects in the years to come.

Key words: floodplain wetland - Garonne - pike (*Esox lucius* L., 1758) - ecological functionality - spawning ground

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
SOMMAIRE	v
TABLE DES FIGURES	vii
TABLE DES TABLEAUX	viii
TABLE DES ANNEXES	viii
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION DU CONTEXTE DE L'ETUDE	2
II.1. LE TARN-ET-GARONNE	2
II.2. LA GARONNE	2
II.2.1. <i>A l'échelle du bassin versant</i>	2
II.2.1.1. Présentation du fleuve	2
II.2.1.2. Zonations écologiques et typologiques	3
II.2.2. <i>A l'échelle du secteur d'étude</i>	4
II.2.2.1. Présentation générale	4
II.2.2.2. Caractéristiques environnementales.....	5
II.2.2.2.1. Climatologie et hydrologie	5
II.2.2.2.2. Hydromorphologie	7
II.2.2.3. Activités humaines et impacts associés.....	8
II.2.2.3.1. Occupation et usages du sol.....	8
II.2.2.3.2. Aménagement et impacts sur l'évolution du fleuve	9
II.2.2.4. Gestion et mesures de protection	10
II.2.2.4.1. Espaces naturels remarquables.....	10
II.2.2.4.2. Organismes gestionnaires	11
II.2.2.5. Qualité du milieu	12
II.3. LES ANNEXES FLUVIALES	13
II.3.1. <i>Définition</i>	13
II.3.2. <i>Typologie des annexes fluviales</i>	14
II.3.3. <i>Genèse et évolution des bras-morts</i>	15
II.3.4. <i>Fonctionnalité des annexes fluviales</i>	16
II.3.5. <i>Menaces anthropiques</i>	17
II.4. L'ESPECE REPERE	17
II.4.1. <i>Définition</i>	17
II.4.2. <i>Le brochet : biologie et écologie</i>	18
II.4.2.1. Description, distribution et menaces	18
II.4.2.2. Cycle de vie et caractéristiques des sites de reproduction.....	19
II.5. OBJECTIFS ET PLANIFICATION DE L'ETUDE.....	20
III. MATERIEL ET METHODE	21
III.1. POINT SUR LES DONNEES DISPONIBLES	21
III.1.1. <i>Données d'inventaire des zones humides et des annexes fluviales</i>	21
III.1.2. <i>Données IGN</i>	21
III.1.3. <i>Autres données</i>	23
III.2. IDENTIFICATION DES ANNEXES FLUVIALES	24
III.3. CARACTERISATION ET DESCRIPTION DES ANNEXES FLUVIALES.....	26
III.3.1. <i>Période de prospection</i>	26
III.3.1.1. Période de reproduction du brochet.....	26
III.3.1.2. Période d'exondation des sites.....	27
III.3.2. <i>Paramètres relevés</i>	27
III.3.3. <i>Indicateurs calculés</i>	31
III.3.3.1. Pente des berges	31
III.3.3.2. Hauteurs des berges.....	32

III.3.3.3.	Longueur des annexes fluviales	33
III.3.3.4.	Largeur des annexes fluviales	33
III.4.	HIERARCHISATION DES ANNEXES FLUVIALES.....	34
III.4.1.	<i>Principes de hiérarchisation</i>	34
III.4.2.	<i>Potentiel fonctionnel actuel</i>	36
III.4.3.	<i>Potentiel d'aménagement futur</i>	38
III.5.	FICHE TYPE DE L'ATLAS.....	40
IV.	RESULTATS.....	42
IV.1.	LES ANNEXES FLUVIALES IDENTIFIEES	42
IV.2.	LES HIERARCHISATIONS	42
IV.3.	EXEMPLES DE FICHES DE L'ATLAS	45
IV.4.	LES DONNEES CREEES.....	47
V.	DISCUSSION	49
V.1.	METHODE D'IDENTIFICATION DES ANNEXES FLUVIALES	49
V.2.	METHODE DE CARACTERISATION DES ANNEXES FLUVIALES.....	50
V.2.1.	<i>Période de prospection et paramètres relevés</i>	50
V.2.2.	<i>Indicateurs calculés</i>	50
V.3.	METHODE DE HIERARCHISATION	51
VI.	CONCLUSION	52
VII.	SOURCES CONSULTEES	53
VIII.	ANNEXES	59

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION DES PRINCIPALES VILLES ET DES GRANDS COURS D'EAU DU TARN-ET-GARONNE	2
FIGURE 2 : LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE LA GARONNE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS.....	3
FIGURE 3 : LOCALISATION DES TRONÇONS HYDROMORPHOLOGIQUES DE LA GARONNE	4
FIGURE 4 : LOCALISATION DU SITE D'ETUDE.....	5
FIGURE 5 : DEBITS MENSUELS INTERANNUELS A LA STATION DE VERDUN-SUR-GARONNE (BANQUE HYDRO)	6
FIGURE 6 : DEBITS MENSUELS INTERANNUELS A LA STATION DE LAMAGISTERE (BANQUE HYDRO).....	6
FIGURE 7 : ZONES INONDABLES DE LA GARONNE	7
FIGURE 8 : OCCUPATION DU SOL DU SECTEUR D'ETUDE.....	8
FIGURE 9 : SURFACE DE CHAQUE TYPE D'OCCUPATION DU SOL (CORINE LAND COVER 2012).....	8
FIGURE 10 : LOCALISATION DES AMENAGEMENTS DE LA GARONNE DANS LE TARN-ET-GARONNE	9
FIGURE 11 : LOCALISATION DES ESPACES NATURELS REMARQUABLES DE LA GARONNE.....	10
FIGURE 12 : LOCALISATION DES LIMITES DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL ET DES AAPPMA DE LA GARONNE	11
FIGURE 13 : LOCALISATION DES MASSES D'EAU DE LA GARONNE	12
FIGURE 14 : LES 4 DIMENSIONS DE L'HYDROSYSTEME FLUVIAL (AMOROS & PETTS, 1993).....	13
FIGURE 15 : DIVERSITE DES ANNEXES FLUVIALES (ROUX, 1982)	14
FIGURE 16 : LES DIFFERENTES COMPOSANTES D'UN BRAS-MORT (ROLLET ET AL., 2005)	15
FIGURE 17 : LES MECANISMES DE FORMATION DES BRAS-MORT (AMOROS & PETTS, 1993)	16
FIGURE 18 : LE BROCHET ESOX LUCIUS L., 1758 (© LAURENT MADELON)	18
FIGURE 19 : CYCLE DE VIE DU BROCHET (FAGES, 2015).....	19
FIGURE 20 : IDENTIFICATION DES DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES (BRGM, 2007)	24
FIGURE 21 : COMPLEMENT DES DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES (BRGM, 2007).....	25
FIGURE 22 : COMPARAISON ENTRE LES MNT (BRGM, 2007).....	25
FIGURE 23 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR L'IDENTIFICATION DES DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES.....	26
FIGURE 24 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LA REPRESENTATION DES BERGES.....	31
FIGURE 25 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LA CREATION DES CLASSES DE PENTE	32
FIGURE 26 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LA CREATION DES PROFILS DES BERGES.....	32
FIGURE 27 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LA FUSION DES PROFILS DES BERGES	33
FIGURE 28 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LE CALCUL DES LONGUEURS DES ANNEXES FLUVIALES.....	33
FIGURE 29 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LA CREATION DES PROFILS EN TRAVERS.....	34
FIGURE 30 : CHAINE DE TRAITEMENTS POUR LE CALCUL DES LARGEURS DES ANNEXES HYDRAULIQUES	34
FIGURE 31 : PAGE 1 TYPE DE L'ATLAS DES ANNEXES FLUVIALES	40
FIGURE 32 : PAGE 2 TYPE DE L'ATLAS DES ANNEXES FLUVIALES	41
FIGURE 33 : LOCALISATION DES ANNEXES FLUVIALES DE LA GARONNE	42
FIGURE 34 : EXEMPLE DE FICHE DE L'ATLAS (PAGE 1)	45
FIGURE 35 : EXEMPLE DE FICHE DE L'ATLAS (PAGE 2)	46
FIGURE 36 : ERREURS DE DETECTION DE DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES	49
FIGURE 37 : SITUATION DE LA GARONNE A VERDUN-SUR-GARONNE EN 2017 (BANQUE HYDRO)	50
FIGURE 38 : ERREUR DU MNT LIEE A LA COUVERTURE VEGETALE ET A L'EAU	51

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I : PRESENTATION DES DONNEES IGN UTILISEES.....	22
TABLEAU II : PRESENTATION DES AUTRES TYPES DE DONNEES UTILISEES	23
TABLEAU III : PRESENTATION DES DIFFERENTS PARAMETRES RELEVES SUR LES ANNEXES HYDRAULIQUES	28
TABLEAU IV : NIVEAUX DE POTENTIEL FONCTIONNEL.....	35
TABLEAU V : NIVEAUX DE SCORES	35
TABLEAU VI : NIVEAUX DE POTENTIEL D'AMENAGEMENT	35
TABLEAU VII : LES DIFFERENTS CRITERES DE HIERARCHISATION UTILISES POUR L'EVALUATION DU POTENTIEL ECOLOGIQUE ACTUEL VIS-A-VIS DU BROCHET.....	36
TABLEAU VIII : LES DIFFERENTS CRITERES DE HIERARCHISATION UTILISES POUR L'EVALUATION DU POTENTIEL D'AMENAGEMENT FUTUR.....	38
TABLEAU IX : TABLEAU DES SCORES DU POTENTIEL FONCTIONNEL ACTUEL	43
TABLEAU X : TABLEAU DES SCORES DU POTENTIEL D'AMENAGEMENT FUTUR	44
TABLEAU XI : TABLEAU DES ATTRIBUTS DE LA COUCHE DES ANNEXES FLUVIALES	47
TABLEAU XII : TABLEAU DES ATTRIBUTS DE LA COUCHE DES ANNEXES FLUVIALES EN EAU AU DEBIT Q_{DCHF5}	48
TABLEAU XIII : TABLEAU DES ATTRIBUTS DE LA COUCHE DES ANNEXES FLUVIALES A L'ETIAGE.....	48

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Les principales zonations et typologies des cours d'eau (ONEMA, 2010)	60
Annexe 2 : Relevés de températures et de hauteurs d'eau sur la Garonne.....	62
Annexe 3 : Les espaces naturels remarquables.....	63
Annexe 4 : Les espaces naturels remarquables de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne	64
Annexe 5 : Localisation des annexes fluviales de type « paléopotamon »	65
Annexe 6 : Localisation des épis en rivière de la Garonne	66
Annexe 7 : Biologie et écologie du brochet	67
Annexe 8 : Diagramme de Gantt	69
Annexe 9 : DCHF et débit Q_{DCHF5}	70
Annexe 10 : Fiche de terrain.....	71
Annexe 11 : Cahier méthodologique	73
OUVRIR DES RASTERS AU CLIC.....	73
CREATION D'UN RASTER VIRTUEL.....	75
IDENTIFICATION DE DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES.....	76
CALCUL DE LA PENTE DES BERGES ET CLASSEMENT	77
HAUTEURS MOYENNES DES BERGES	79
LONGUEUR DES ANNEXES FLUVIALES	80
LARGEUR MOYENNE DES ANNEXES FLUVIALES	80
CREATION DE SYMBOLES SVG UTILISABLES DANS QGIS.....	80
PROFILS AVEC ALTITUDES.....	81
GEOCODAGE.....	82

I. INTRODUCTION

Les rivières forment des corridors écologiques essentiels faisant intervenir des interactions variées et complexes entre les composantes biotiques et abiotiques (ALLAN & CASTILLO, 2007). Elles évoluent tant longitudinalement que latéralement et verticalement (AMOROS & PETTS, 1993). La plaine alluviale des cours d'eau, zone formée par le dépôt d'alluvions et pouvant subir des inondations, est une des composantes de la dimension latérale. Elle comporte souvent des zones humides connectées en permanence ou de façon périodique au lit mineur (partie d'un cours d'eau compris entre les berges où l'eau s'écoule en temps normal). Ces zones humides particulières sont appelées des annexes fluviales ou hydrauliques. Elles jouent un rôle majeur dans la fonctionnalité des milieux aquatiques en participant au développement et au maintien d'une diversité floristique et faunistique importante.

Ce terme de fonctionnalité peut être défini comme « l'ensemble des fonctions écologiques nécessaires à la permanence des composantes d'un écosystème ou d'un habitat » (ATEN, 1998). Ainsi les communautés biologiques dépendent d'un certain nombre de fonctions écologiques nécessaires à leur reproduction, leur développement et leur survie mais aussi au maintien de leurs habitats. Depuis le début du siècle dernier, les différents aménagements de l'Homme sur les cours d'eau ont entraîné une perte de la fonctionnalité de leurs annexes fluviales. La Garonne ne fait pas exception à ce phénomène, notamment en aval de l'agglomération toulousaine où l'un des impacts est la déconnexion progressive entre le lit mineur et certaines de ses annexes fluviales (PAULY, 2007). La faune piscicole ou ichtyofaune apparaît comme l'une des plus touchée, notamment en raison de la disparition ou de l'inaccessibilité de ses sites de fraie. La protection de cette faune inféodée au milieu aquatique passe donc par l'étude, la conservation et la restauration de la fonctionnalité de ces milieux.

Au niveau national, les Fédérations Départementales des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FDAAPPMA) sont chargées de la mise en valeur, de la surveillance et de la protection de la faune piscicole et de ses habitats. Dans le Tarn-et-Garonne, la FDAAPPMA de Tarn-et-Garonne intervient pour remplir ces missions au moyen du Plan Départemental de Protection des milieux aquatiques et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG). Ce PDPG définit, entre autres, les orientations prioritaires de gestion pour les 5 prochaines années. La protection des zones de reproduction des « espèces repères » est l'un des axes privilégiés du PDPG car il cadre parfaitement aux orientations définies par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) et le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Adour-Garonne.

Ces espèces repères jouent le rôle d'espèces bioindicatrices. Elles permettent de diagnostiquer la fonctionnalité d'un milieu sans étudier l'ensemble des espèces de faune et flore présentes. Par conséquent, satisfaire les exigences vitales des espèces repères en restaurant la fonctionnalité permet aussi de favoriser la plupart des autres espèces de leurs milieux de vie.

En 2017, la FDAAPPMA de Tarn-et-Garonne a débuté la première phase d'une étude pluriannuelle s'attachant à évaluer la fonctionnalité de la Garonne vis-à-vis de son espèce repère : le brochet (*Esox lucius* L., 1758). La présente étude doit donc répondre à 3 grands objectifs : l'identification la plus exhaustive possible des annexes fluviales de la Garonne, leur caractérisation ainsi que leur hiérarchisation en fonction d'une part de leur potentiel fonctionnel pour la reproduction du brochet et, d'autre part, de leur potentiel d'aménagement futur. Concrètement, ces investigations devraient aboutir dans les années à venir à l'émergence de projets d'aménagement en faveur d'un retour de la fonctionnalité des annexes hydrauliques de la Garonne.

II. PRESENTATION DU CONTEXTE DE L'ETUDE

II.1. Le Tarn-et-Garonne

Le Tarn-et-Garonne (82) est un département français du Sud-Ouest de la France. Il appartient à la région Occitanie et faisait partie de la région Midi-Pyrénées. Il est limitrophe aux départements de l'Aveyron (12), de la Haute-Garonne (31), du Gers (32), du Lot (46), du Lot-et-Garonne (47) et du Tarn (81), et sa préfecture est Montauban. Au 1^{er} janvier 2016, l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques ou INSEE évaluait la population du département à 257 460 habitants (INSEE, a [en ligne]) pour une superficie de 3 718 km² (INSEE, b [en ligne]).

D'un point de vue plus hydrologique, le département du Tarn-et-Garonne se situe au sein du bassin Adour-Garonne. Il se caractérise par une zone de confluence entre 3 grands cours d'eau français : l'Aveyron, le Tarn et la Garonne (Figure 1).

Localisation des principales villes et des grands cours d'eau du Tarn-et-Garonne

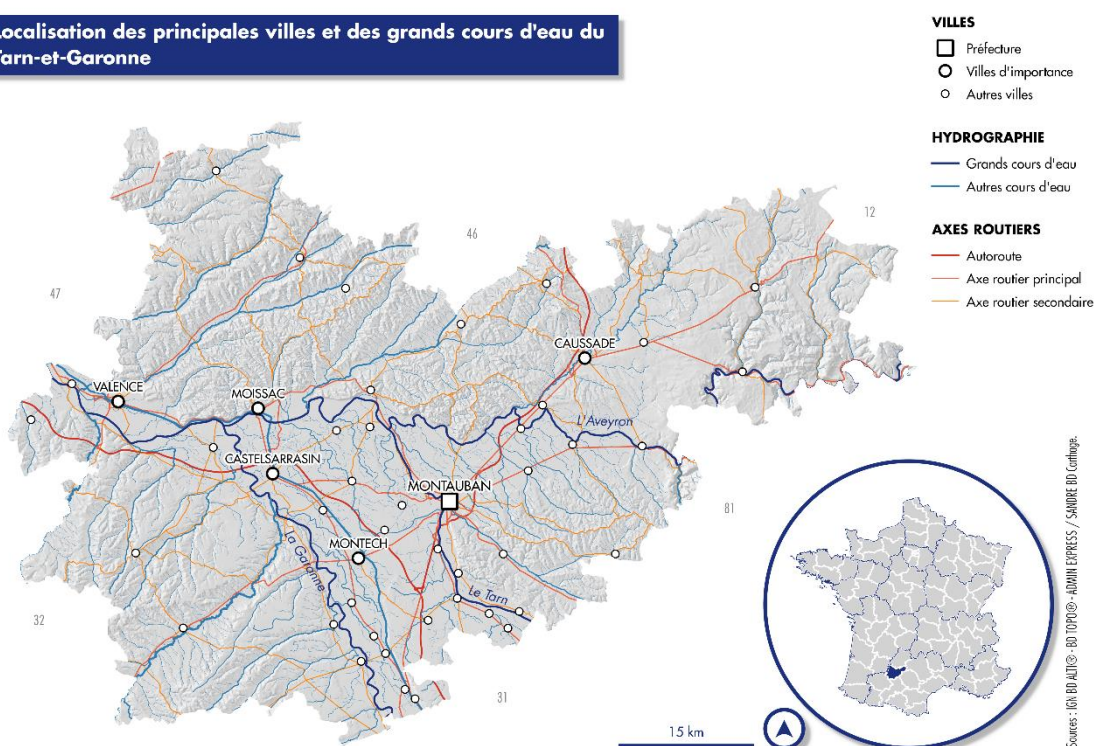


Figure 1 : Localisation des principales villes et des grands cours d'eau du Tarn-et-Garonne

II.2. La Garonne

II.2.1. A l'échelle du bassin versant

II.2.1.1. Présentation du fleuve

La Garonne est un fleuve du Sud-Ouest de la France qui mesure 575 km de long (BENGEN, 1992) dont 522,5 km en France (FDAAPPMA 82 [en ligne]). La désignation de la source du fleuve n'est pas unanime (STEIGER & CORENBLIT, 2000), trois sources distinctes sont reconnues. Pour les espagnols, la source véritable du fleuve se situe dans le haut Val d'Aran à 1 872 mètres d'altitude. Cependant en 1931, le spéléologue Norbert Casteret a mis en évidence la source dans le Massif de la Maladetta au sommet du Pic d'Aneto. Pourtant en considérant « qu'une source se trouve au bout du cheminement le plus long du réseau hydrographique », STEIGER & CORENBLIT (2000) situe la

source de la Garonne dans le cirque de Saboredo à une altitude de 2 858 mètres. Depuis sa source et après un cours d'environ 525 km, la Garonne rejoint la Dordogne pour former l'Estuaire de la Gironde puis se jette dans l'Océan Atlantique. Elle traverse ainsi 4 départements français (Haute-Garonne, Tarn-et-Garonne, Lot-et-Garonne et Gironde), 2 régions (Nouvelle-Aquitaine et Occitanie), est rejointe par plusieurs grandes rivières telles que l'Ariège, le Tarn ou le Lot (Figure 2) et draine un bassin versant d'une superficie de 56 000 km² (LAMBERT, 1982 ; SMEAG, a [en ligne]).

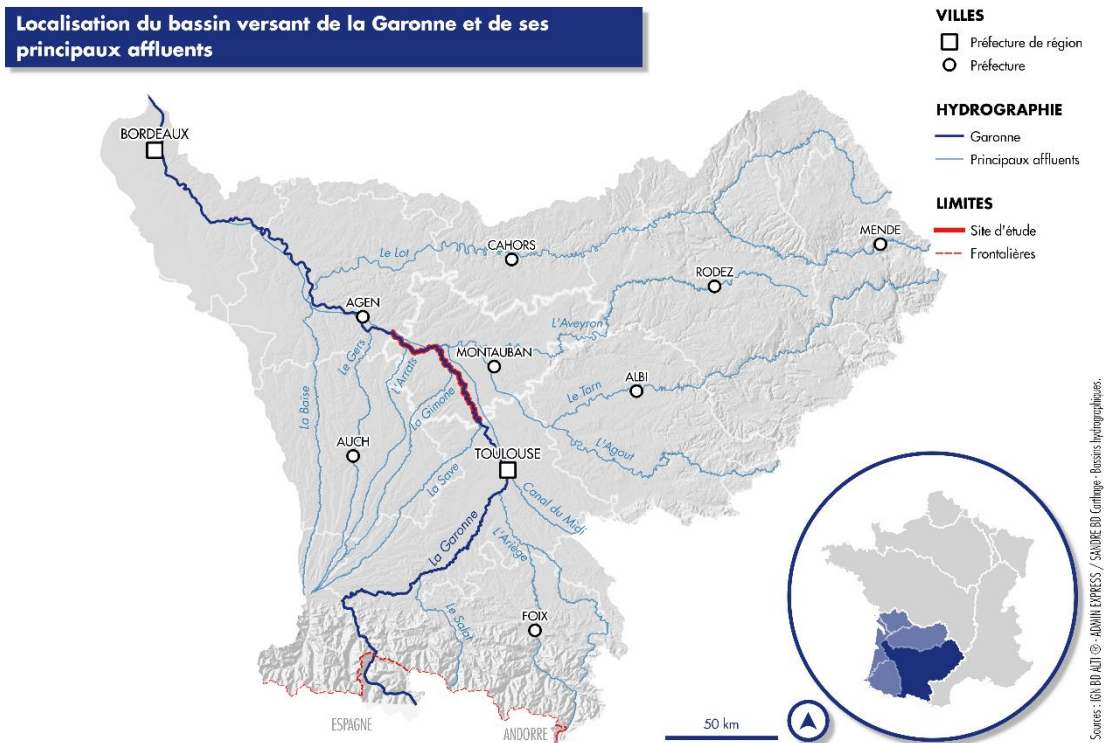


Figure 2 : Localisation du bassin versant de la Garonne et de ses principaux affluents

II.2.1.2. Zonations écologiques et typologiques

Il existe plusieurs typologies et classifications qui visent à décrire, d'amont en aval, l'organisation des espèces aquatiques dans les cours d'eau (Annexe 1). Dans le cadre des Plans Départementaux de Protection des milieux aquatiques et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG), les cours d'eau sont classés en contextes : des « espaces géographiques et hydrographiques dans lesquels une population de poissons fonctionne de façon autonome, en y réalisant les différentes phases de son cycle de vie » (FDAAPPMA 82, 2014). Pour chaque contexte est établi une espèce ou un peuplement repère. On observe ainsi 3 contextes :

- **Salmonicole** : zone biotypologique (VERNEAUX, 1973) B0 à B6 dont l'espèce repère est la truite fario (*Salmo trutta fario*) ;
- **Intermédiaire** : zone biotypologique B6 à B8 dont le peuplement repère est constitué par le vairon, le goujon, le chevesne, le barbeau fluviatile, le toxostome, la vandoise et le barbeau méridional ;
- **Cyprinicole** : zone biotypologique B8 à B9 dont l'espèce repère est le brochet (*Esox lucius*). Le contexte peut également être qualifié d'éso-cyprinicole en référence au brochet. Le tronçon étudié de la Garonne se situe au sein de ce contexte cyprinicole.

Il existe également une typologie directement appliquée à la Garonne (Figure 3). De l'amont vers l'aval, cette dernière a été découpée en 6 tronçons homogènes du point de vue des conditions hydrodynamiques et géomorphologiques (LAMBERT, 1988). Le découpage a été revisité en 1999 pour ne donner que 5 tronçons (SMEPAG, 1999) :

- **Garonne montagnarde** : ce tronçon se caractérise par un lit peu sinueux avec un fond de bloc ou de galet et une pente forte (supérieure à 3‰). La limite amont de la Garonne montagnarde correspond à son entrée en France au niveau du pont du Roy (mais peut être étendue jusqu'à sa source). La limite aval se situe à la confluence avec la Neste ;
- **Garonne de piémont** : comme son nom l'indique, cette zone se situe au pied des Pyrénées. La Garonne est rejointe par plusieurs affluents dont l'Ariège et sa limite aval correspond à sa confluence avec le Touch au nord de l'agglomération toulousaine ;
- **Garonne débordante** : sur ce secteur la pente de la Garonne s'atténue et décrit de larges méandres pour former une vaste plaine inondable avant de rejoindre le Tarn au niveau du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave ;
- **Moyenne Garonne** : à l'inverse de la Garonne débordante, la moyenne Garonne est caractérisée par une artificialisation importante du lit et des berges. En effet sur ce secteur, la Garonne est constituée par un chenal calibré limité latéralement par des digues ;
- **Garonne maritime** : ce tronçon de Garonne est soumis à l'influence de la marée et du mascaret (surélévation de l'eau d'un fleuve ou d'un estuaire suite à l'onde provoquée par la marée montante).

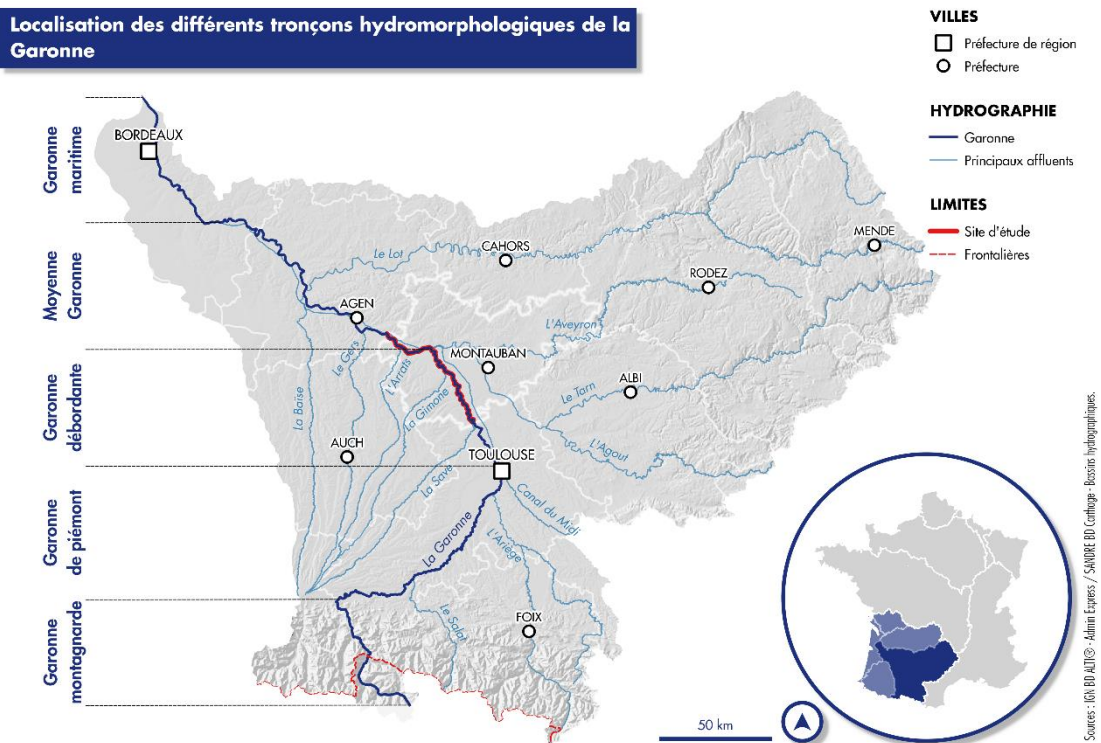


Figure 3 : Localisation des tronçons hydromorphologiques de la Garonne

II.2.2. A l'échelle du secteur d'étude

II.2.2.1. Présentation générale

Le site d'étude concerne l'ensemble du lit majeur de la Garonne de son entrée dans le département du Tarn-et-Garonne à Grisolles, à sa sortie à Lamagistère (Figure 4). Dans le département, la Garonne traverse 25 communes et s'étend sur 75,8 kilomètres de long (FDAAPPMA 82, 2014).

Localisation du site d'étude et des communes traversées par la Garonne

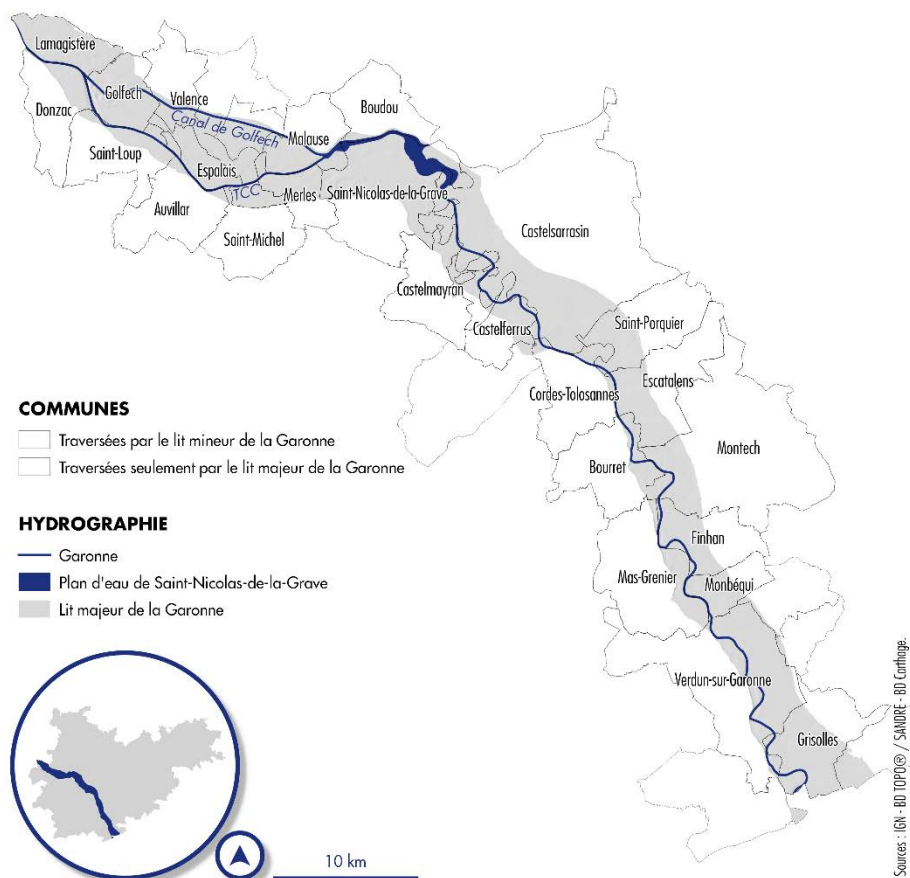


Figure 4 : Localisation du site d'étude

A son entrée dans le département, la Garonne draine un bassin versant de 13 000 km² (DDE 82, 1997) Après environ 50 km, elle est rejointe en rive droite par son principal affluent, le Tarn, au niveau du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave. Ce plan d'eau artificiel de 450 hectares a été créé en 1973 lors de la construction du barrage EDF de Malause et permet l'alimentation en eau de la centrale nucléaire de Golfech. Il marque le changement hydromorphologique de la Garonne entre la Garonne débordante méandrant dans sa plaine d'inondation et la moyenne Garonne chenalisée. La Garonne est ensuite scindée en 2 bras : le canal d'alimentation de la centrale ou canal de Golfech et le tronçon de Garonne court-circuité (TCC). Le TCC se caractérise par une succession de cinq seuils avant d'être rejoint par le canal d'alimentation de la centrale en amont d'un sixième seuil. Elle parcourt ensuite 5 km avant de sortir du département et d'entrer dans celui du Lot-et-Garonne.

II.2.2.2. Caractéristiques environnementales

II.2.2.2.1. Climatologie et hydrologie

Le climat du secteur d'étude correspond au climat océanique altéré (METEO FRANCE [en ligne]) ou au climat du Bassin du Sud-Ouest selon des classifications plus récentes (JOLY *et al.*, 2010). Ce type de climat est caractérisé par des températures élevées l'été pouvant entraîner parfois des étiages prononcés. Les précipitations, quant-à-elles, sont faibles en hiver mais plus fortes en été

(précipitations orageuses) et peuvent augmenter rapidement les niveaux des cours d'eau et en particulier celui de la Garonne.

Globalement, l'hydrologie du site d'étude est influencé, à la fois, par la fonte des neiges des Pyrénées issues de sa partie amont et par les précipitations liquides provenant du Massif Central et apportées par le Tarn et l'Aveyron (GIRET, 2013 ; MAIRE *et al.*, 2013). Ainsi, sur le secteur étudié, la Garonne se caractérise par deux régimes :

- Un régime **pluvio-nival** marqué par des hautes-eaux au printemps de février à juin et une période d'étiage en été aux mois d'août et septembre (DDE 82, 1997) pour sa partie en amont de sa confluence avec le Tarn (Figure 5). Le module (débit moyen inter-annuel) de la Garonne sur ce tronçon est évalué à 191 m³/s ;

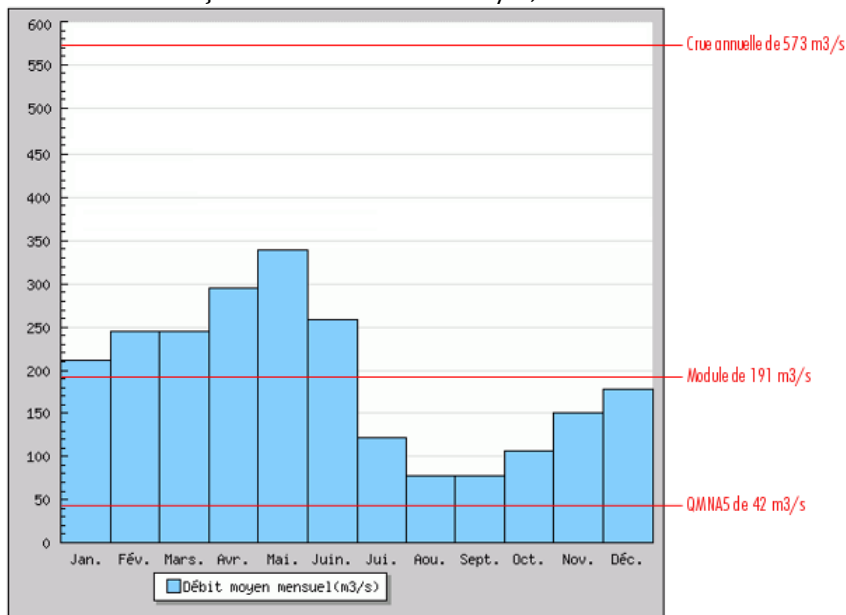


Figure 5 : Débits mensuels interannuels à la station de Verdun-sur-Garonne (Banque HYDRO)

- Un régime qualifié de **pluvio-thermal-océanique** dans sa partie en aval de sa confluence avec le Tarn où la Garonne double alors son module (STEIGER & CORENBLIT, 2000). La période de hautes-eaux, dues à des pluies, a lieu en hiver et les étiages en août et septembre (Figure 6). Le module de la Garonne sur ce tronçon est de 391 m³/s.

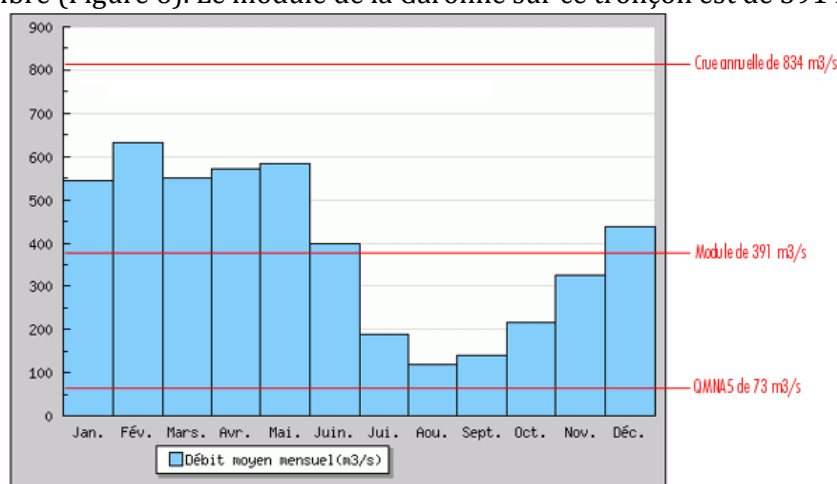


Figure 6 : Débits mensuels interannuels à la station de Lamagistère (Banque HYDRO)

Sur le tronçon étudié, le plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave, zone de confluence entre la Garonne et le Tarn, présente une hydrologie particulière. En effet cette zone se caractérise par une absence de marnage tout au long de l'année. En aval du plan d'eau, sur le TCC, l'hydrologie est

soumise à de brusques changements dus au barrage de Malause (Annexe 2). Le débit réservé de ce tronçon, c'est-à-dire le débit minimal à maintenir en permanence dans un cours d'eau au droit d'un ouvrage, est de 23 m³/s.

II.2.2.2.2. Hydromorphologie

Du point de vue hydromorphologique, le tronçon de Garonne situé à l'amont du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave présente une pente toujours inférieure à 1 ‰ (LAMBERT, 1988). Le fleuve s'écoule dans une plaine d'inondation comprise entre 2 et 4 km de largeur (STEIGER & CORENBLIT, 2000). Le lit mineur est alors large de 150 mètres en moyenne et l'indice de sinuosité moyen est de 1,3 (STEIGER *et al.*, 1998), ce qui fait de la Garonne sur ce tronçon un cours d'eau à méandre. La vallée alluviale a la particularité de présenter une forme dissymétrique (Figure 7) : la plaine d'inondation se développe principalement en rive droite, tandis qu'en rive gauche la Garonne « vient buter sur des falaises d'argile caillouteuses de plus de 15 mètres de hauteur » (DDE 82, 1997).

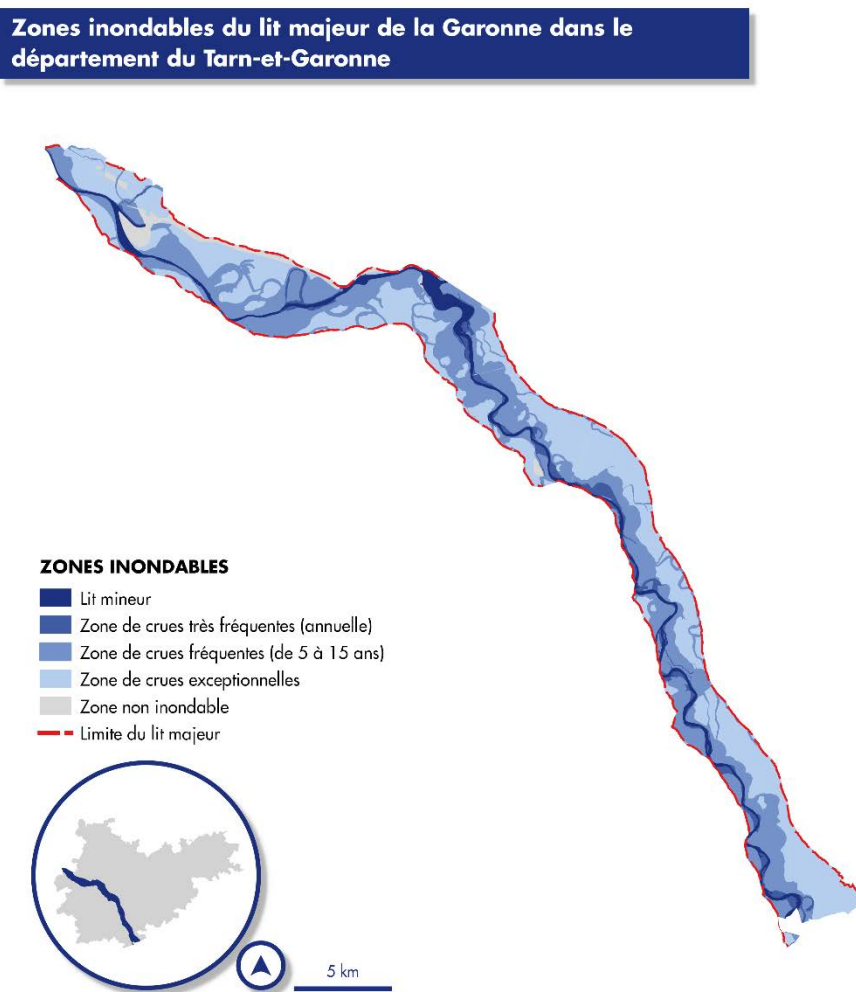


Figure 7 : Zones inondables de la Garonne

En aval de la confluence avec le Tarn, la pente de la Garonne est inférieure à 0,5 ‰. La forme du lit est artificielle depuis 150 ans en raison de la construction de la centrale nucléaire de Golfech et de l'utilisation du chenal pour la navigation fluviale au XIX^{ème} siècle (STEIGER & CORENBLIT, 2000).

II.2.2.3. Activités humaines et impacts associés

II.2.2.3.1. Occupation et usages du sol

Le Tarn-et-Garonne étant un département essentiellement agricole, la vallée de la Garonne fait l'objet d'une activité agricole importante (Figure 8). Elle concerne plus de 70% de la surface totale du lit majeur de la Garonne (Corine Land Cover 2012, Figure 9). Les cultures dominantes sont la céréaliculture (principalement maïs et blé), puis l'arboriculture (pommiers essentiellement). Sur la bande rivulaire de la Garonne, les saulaies et frênaies ont été remplacées par des plantations de peupliers privilégiés pour leur rapidité de croissance (DDE 82, 1997).

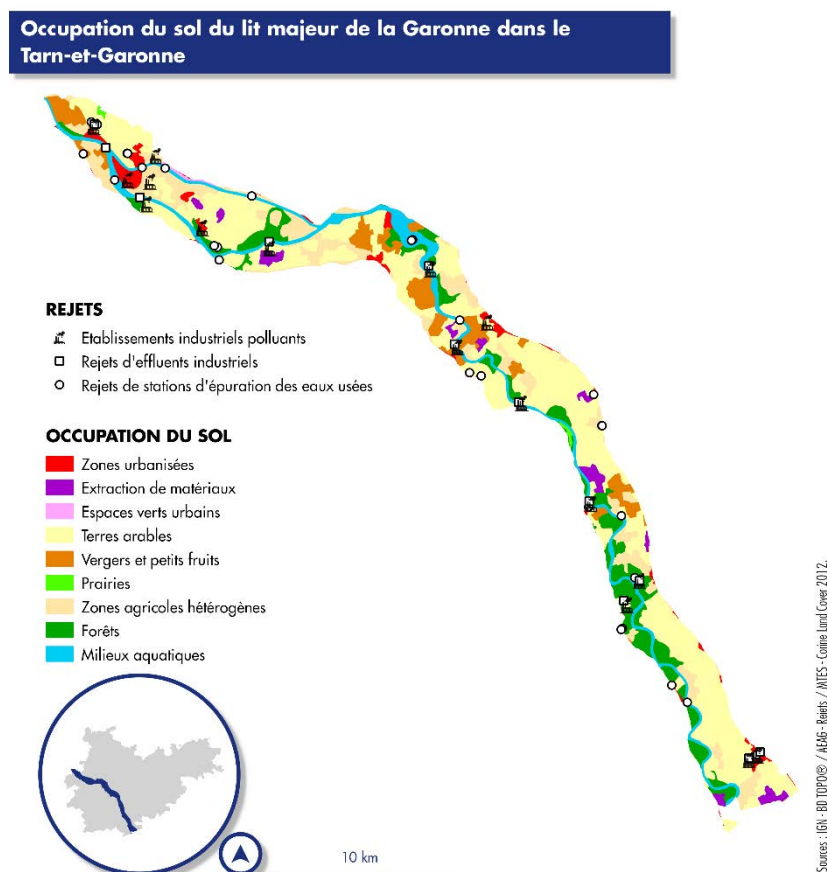


Figure 8 : Occupation du sol du secteur d'étude

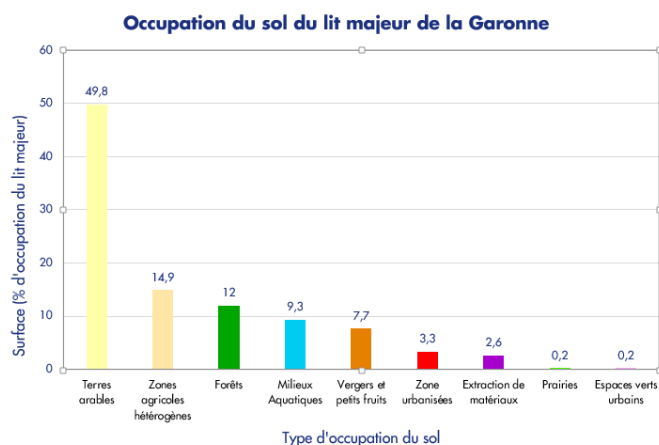


Figure 9 : Surface de chaque type d'occupation du sol (Corine Land Cover 2012)

Le SDAGE (AEAG, 2016a) et le PDM (AEAG, 2016b) identifient un certains nombres de pressions sur la ressource en eau telles que des pollutions domestiques ou diffuses agricoles.

A partir des années 1960, les extractions industrielles de granulats (matériaux alluvionnaires utilisés pour la construction) dans le lit mineur de la Garonne se développent et deviennent démesurées (STEIGER & CORENBLIT, 2000). Elles atteignent un pic dans les années 1980 (BEAUDELIN, 1989) puis se déplacent vers le lit majeur suite à leur interdiction dans le lit mineur dans les années 1990 (VALETTE *et al.*, 2014). Ainsi, aujourd’hui encore, on trouve différents sites d’extraction en activité le long de la Garonne mais également des traces d’anciens sites.

L’eau de la Garonne est déviée au niveau du barrage de Malause et utilisée pour refroidir les réacteurs de la centrale nucléaire de Golfech. Cette centrale a été mise en service entre 1991 et 1994, et s’étend sur 200 hectares à l’aval du plan d’eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave. Elle produit de 15 à 20 milliard de kWh par an et représente 4,75% de la production d’électricité nucléaire en France (EDF [en ligne]).

II.2.2.3.2. Aménagement et impacts sur l’évolution du fleuve

A la suite de la crue de février 1952 (plus forte crue du siècle), un programme de fixation du lit de la Garonne a été lancé. Ces travaux de chenalisation ont eu lieu principalement dans le Tarn-et-Garonne où la Garonne a été fixée à l’aide d’épis et d’enrochements le long des berges (Figure 10). Aujourd’hui, le taux d’enrochement est estimé à 50,7% du linéaire sur le secteur en amont de la confluence avec le Tarn (GEODES-GEOLOGUES CONSEILS, 2006).

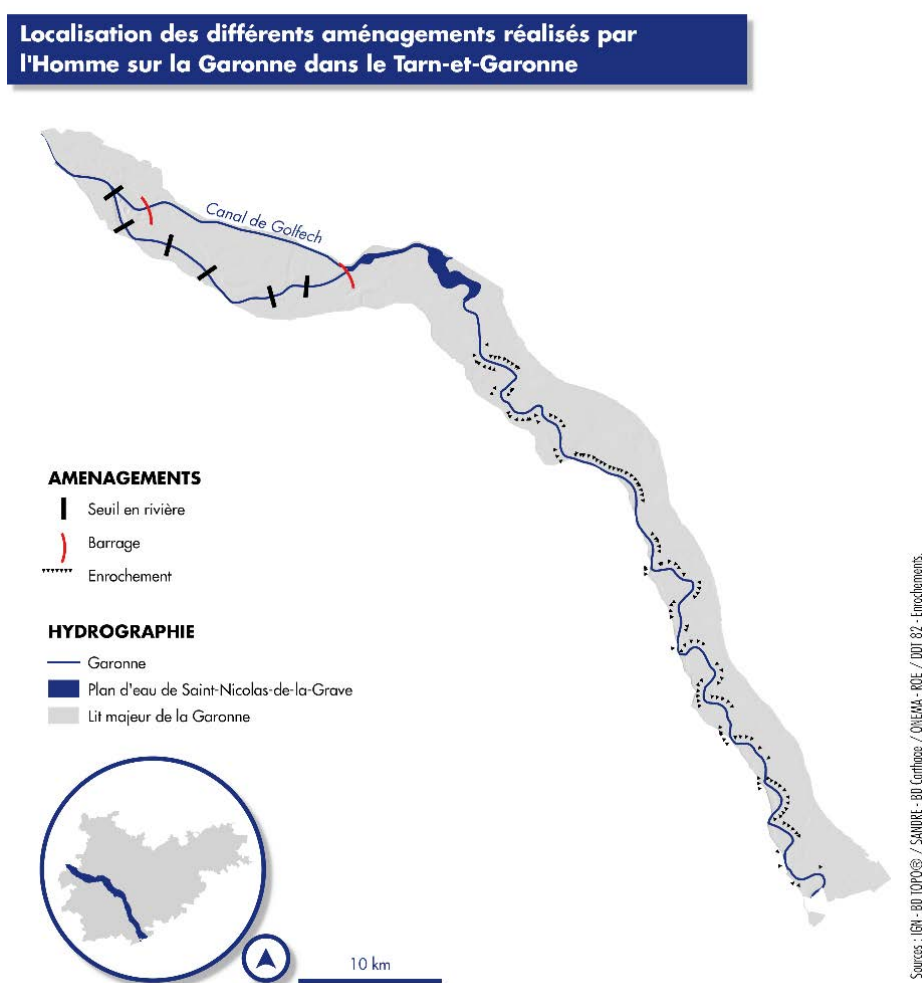


Figure 10 : Localisation des aménagements de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne

L'enrochement de la Garonne a été accompagné d'autres actions anthropiques telles que le rescindement artificiel de méandres, la construction de barrages en amont du secteur d'étude et l'extraction industrielle de granulats (STEIGER *et al.*, 2000). Tous ces impacts ont conduit à une modification de la dynamique de la Garonne et notamment à l'enfoncement important de son lit. Cet enfoncement est estimé à -1,5 mètres entre 1960 et 1985 (BEAUDELIN, 1989 ; STEIGER *et al.*, 2000). Une telle incision est à l'origine d'une déconnexion progressive de la Garonne avec ses annexes fluviales.

II.2.2.4. Gestion et mesures de protection

II.2.2.4.1. *Espaces naturels remarquables*

La Garonne et ses zones humides sont reconnues pour leur intérêt faunistique (axe de nidification et d'accueil des oiseaux migrateurs) et floristique. Le secteur d'étude est ainsi caractérisé par de nombreux espaces naturels remarquables (Figure 11) détaillés en Annexe 3. Certains de ces sites ont des statuts de protection plus restrictifs que d'autres. C'est le cas notamment des Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB) où les possibilités d'actions et d'aménagements peuvent être restreintes suivant la sensibilité du site et des espèces qui s'y trouvent.

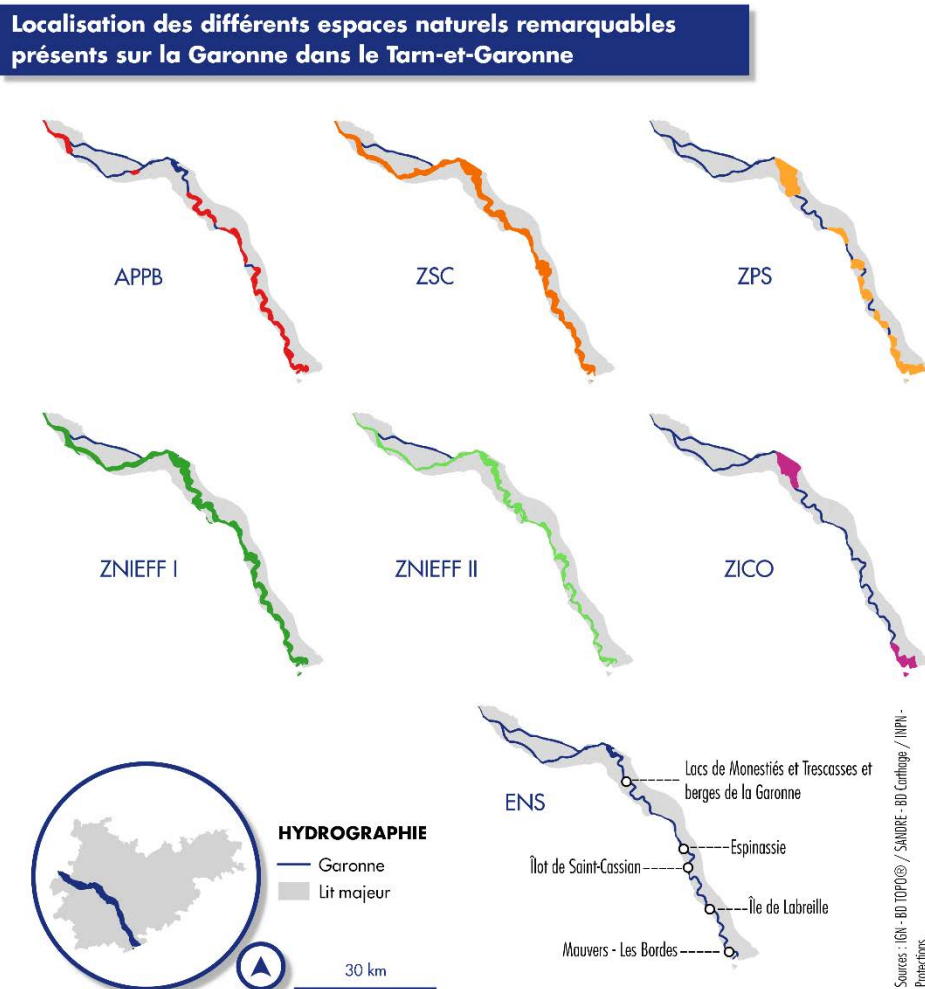


Figure 11 : Localisation des espaces naturels remarquables de la Garonne

II.2.2.4.2. Organismes gestionnaires

La Garonne est un cours d'eau domanial, c'est-à-dire que son lit et ses berges sont propriétés de l'Etat. Elle fait donc partie du Domaine Public Fluvial (DPF) qui est géré par la Direction Départementale des Territoires (DDT).

L'Etat a cédé les droits de pêche sur la Garonne à onze Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (ou AAPPMA, voir Figure 12). Par extension, ces droits de pêche et la gestion du cours d'eau sont également cédés à la Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FDAAPPMA).

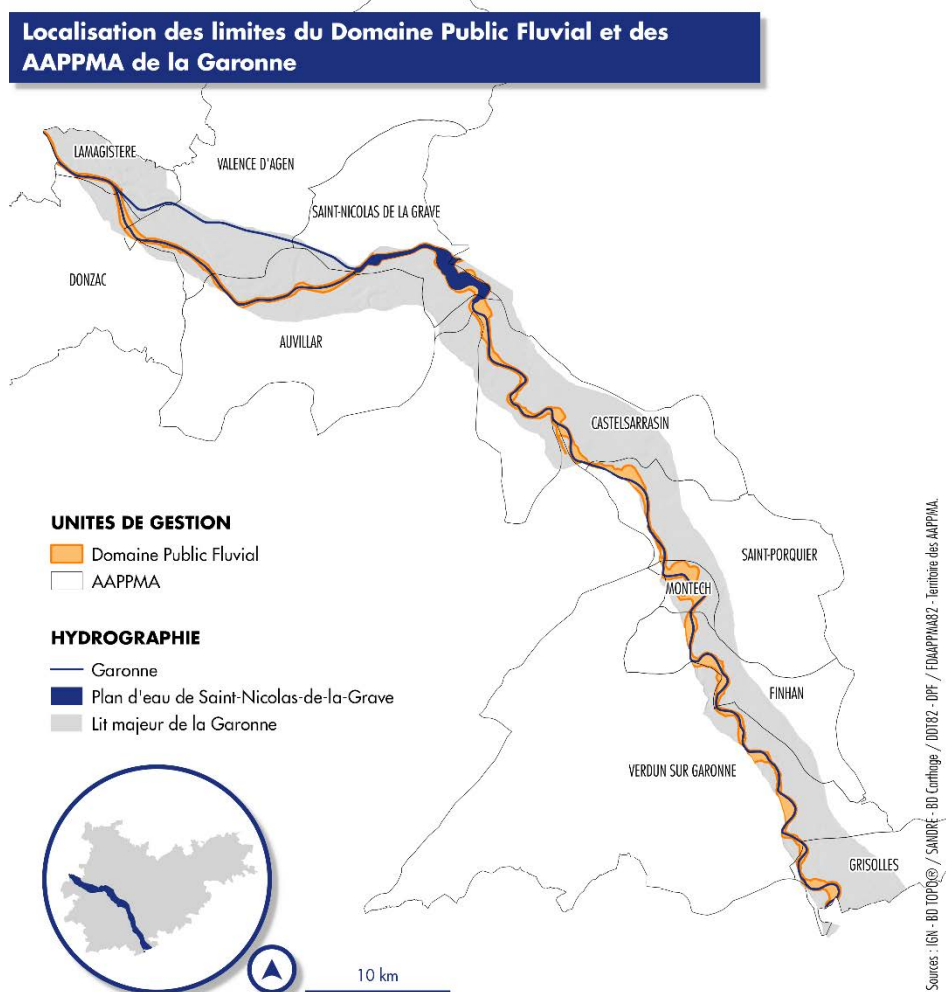


Figure 12 : Localisation des limites du Domaine Public Fluvial et des AAPPMA de la Garonne

De plus, l'Etat a confié la gestion de certains espaces naturels au Conseil Départemental ainsi qu'à l'association Nature Midi-Pyrénées via des autorisations d'occupation temporaire (AOT) du DPF. Le secteur étudié se situe au sein du périmètre d'action du Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne (SMEAG). Cette structure est un Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB). Elle contribue « à une gestion intégrée du bassin de la Garonne en préservant les ressources naturelles et en garantissant la cohérence et la solidarité des actions » (arrêté préfectoral du 5 février 2016 ratifiant les nouveaux statuts du SMEAG). Pour cela, le SMEAG participe à l'élaboration et à la mise en œuvre du SDAGE, à la sensibilisation des acteurs et du public ainsi qu'à la réalisation d'études et d'aménagements visant la gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que la préservation et la valorisation des milieux aquatiques et des paysages.

II.2.2.5. Qualité du milieu

La qualité de la Garonne est évaluée dans le cadre du SDAGE Adour-Garonne. Les SDAGE sont des documents de planification de la gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques (AEAG, 2016) institués par la loi sur l'eau de 1992. Ils ont ensuite évolué pour s'adapter à la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE) qui fixe des objectifs d'atteinte du bon état des masses d'eau. Ce bon état est atteint quand l'état écologique et l'état chimique sont au moins qualifiés de bons. Ainsi sur notre tronçon d'étude l'état écologique et l'état chimique sont évalués au niveau de trois unités appelées masses d'eau (Figure 13) :

- La Garonne du confluent de l'Aussonnelle au confluent du Tarn (code FRFR296A) ;
- La Garonne du confluent du Tarn au confluent de la Barguelonne (code FRFR300C) ;
- La Garonne du confluent de la Barguelonne au confluent du Gers (code FRFR300B), dont seule une partie est située dans le département du Tarn-et-Garonne.

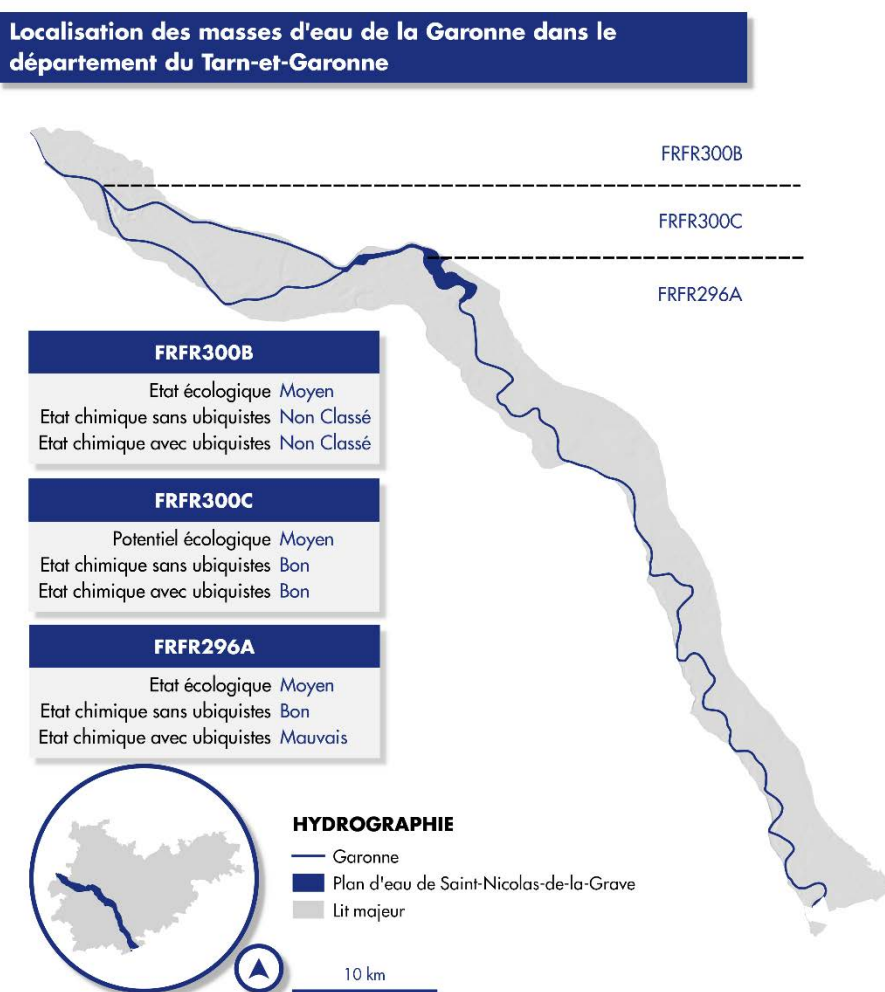


Figure 13 : Localisation des masses d'eau de la Garonne

On peut noter que l'état écologique n'est pas Bon et que certaines substances ubiquistes, c'est-à-dire persistantes, bioaccumulatrices et toxiques, font chuter l'état chimique qui peut passer de Bon à Mauvais. C'est le cas, par exemple, pour la Garonne du confluent de l'Aussonnelle au confluent du Tarn. De plus, pour chacune des masses d'eau, la pression par les pesticides est citée comme la plus significative. A ces pressions par les pesticides s'ajoutent des altérations de l'hydromorphologie c'est-à-dire des modifications du fonctionnement naturel de la Garonne (voir partie II.2.2.3.2.).

Le contexte « Garonne » est inscrit au Plan Départemental de Protection des milieux aquatiques et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG) comme un contexte éso-cyprinicole très perturbé (SABRIE, 2014) dû à une qualité d'eau et d'habitat dégradée. Cet état traduit les difficultés de reproduction du brochet, pourtant espèce repère du contexte « Garonne ». Ici encore les principaux facteurs impactant sont les activités humaines à l'origine de la déconnexion de la Garonne et de ses annexes fluviales (sites de fraie du brochet).

II.3. Les annexes fluviales

II.3.1. Définition

Les cours d'eau forment un système complexe, appelé hydrosystème fluvial, constitués de 4 dimensions (WARD, 1989 ; AMOROS & PETTS, 1993) :

- Dimension longitudinale : relation entre l'amont et l'aval d'un cours d'eau ;
- **Dimension latérale** : relation entre le cours d'eau et sa plaine alluviale ;
- Dimension verticale : relation avec la nappe d'accompagnement (nappe d'eau souterraine dont les propriétés hydrauliques sont liées à celles du cours d'eau) ;
- Dimension temporelle : évolution du cours d'eau et de ces milieux au cours du temps (cycle hydrologique).

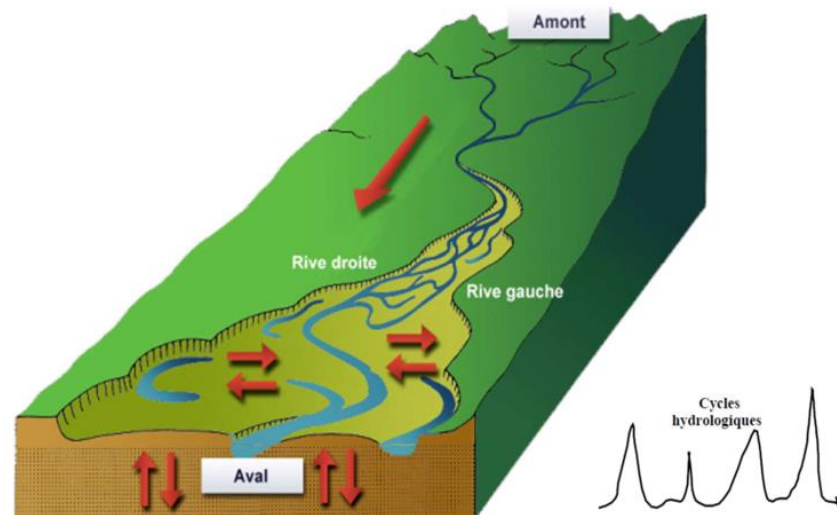


Figure 14 : Les 4 dimensions de l'hydrosystème fluvial (Amoros & Petts, 1993)

Les annexes fluviales ou hydrauliques sont une des composantes majeures de la dimension latérale de cet hydrosystème fluvial. Elles peuvent être définies comme « l'ensemble des zones humides du lit majeur en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant (lit mineur) par des connexions soit superficielles soit souterraines » (AEAG, 2016). Pour rappel, sont considérés comme des zones humides « les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année » (article L. 211-1 du Code de l'Environnement). Ces milieux présentent la particularité d'avoir des surfaces et des hauteurs d'eau dépendantes de l'hydrologie du cours d'eau. C'est pourquoi on les qualifie régulièrement de Milieux Temporairement Immergés (MTI) du fait des variations saisonnières du débit du cours d'eau avoisinant. Ainsi une annexe fluviale peut être définie comme un sous-ensemble de l'hydrosystème fluvial, adjacent au lit principal et connecté avec celui-ci de façon permanente ou temporaire suivant les conditions hydrauliques.

II.3.2. Typologie des annexes fluviales

Dans le but de décrire au mieux les annexes fluviales de la Garonne, l'utilisation d'une typologie s'avère nécessaire. A ce jour, les typologies qui ont été proposées dans la bibliographie scientifique sont similaires et adaptées de celle décrite par le Programme Interdisciplinaire pour l'Environnement Rhône ou PIREN Rhône (ROUX, 1982). Elle a également été utilisée par le passé afin de caractériser les annexes fluviales de la Garonne dans le cadre de la *Contribution à la typologie fonctionnelle des bras morts de la Garonne* (BENGEN, 1992). Cette typologie classe les annexes fluviales en 4 ensembles fonctionnels selon leur fonctionnement hydrique et leur liaison avec le cours d'eau (Figure 15) :

- **Eupotamon (bras-vif)** : le chenal récemment recoupé communique avec le cours d'eau principal par l'aval et par l'amont, quel que soit le débit. Le fonctionnement hydraulique s'apparente un certain temps à celui d'un chenal secondaire.
- **Parapotamon (bras-mort)** : le bras est connecté par l'une de ses extrémités, généralement par l'aval du fait du dépôt massif d'alluvions et de bois morts à l'entrée de l'ancien chenal.
- **Plésiopotamon (bras déconnecté)** : pas de connexion nette par l'aval ni par l'amont. Mise en eau lors de la crue annuelle.
- **Paléopotamon (chenal de crue)** : le bras est complètement séparé du chenal. La mise en eau se produit lors des crues dépassant le débit de « pleins bords » (crue biennale et supérieure). Ces annexes sont souvent bien trop éloignées du cours d'eau et n'ont donc pas d'intérêts pour la faune piscicole. Elles n'ont pas été considérées dans cette étude mais ont été cependant identifiées (Annexe 5).

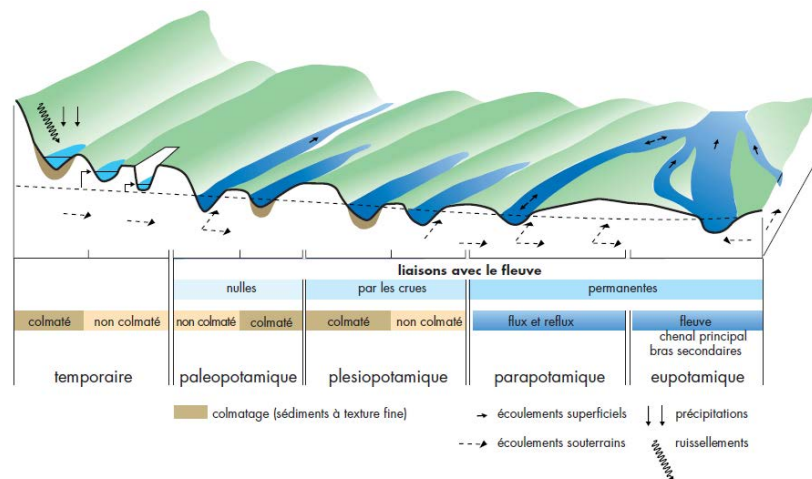


Figure 15 : Diversité des annexes fluviales (Roux, 1982)

Il existe néanmoins d'autres types d'annexes fluviales telles que les prairies inondables. Elles n'ont pas été considérées pour cet étude puisqu'elles sont absentes du lit majeur de la Garonne (PAULY, 2007 ; SABRIE, 2014).

En 2007, l'étude sur la *Fonctionnalité des frayères de l'ichtyofaune phytophile de la Garonne* (PAULY, 2007) s'était également intéressée aux berges végétalisées en tant qu'annexe hydraulique et site potentiel de fraie. Cependant, dans le cadre de cette étude, ces habitats n'ont pas été considérés et ce pour plusieurs raisons :

- La production de brochetons sur les berges végétalisées est très dépendante des facteurs de milieu les plus aléatoires que sont l'hydraulicité et la température (CHANCEREL, 2003). En effet, des périodes froides prolongées aux alentours de 5°C peuvent affecter le développement des œufs (HASSLER, 1970). Les eaux de la Garonne étant, au printemps, principalement issues de la fonte des neiges, de telles températures ont déjà pu être observées notamment en 2010 et 2011. De plus, l'hydrologie irrégulière de la Garonne peut également être dommageable au développement de l'œuf et de l'embryon pour des

raisons de vitesse d'écoulement (arrachages des œufs de leur support végétal) et de marnage (exondation des supports de pontes et des œufs).

- Surtout, après 2 études en 2007 et 2014 (PAULY, 2007 ; SABRIE, 2014) sur les sites de fraie potentiel du brochet, aucune reproduction n'a pu être observée sur les berges végétalisées de la Garonne.

Afin d'évaluer la fonctionnalité piscicole de la Garonne vis-à-vis de son espèce repère le brochet, d'autres zones potentielle de fraie ont cependant été intégrée à l'Atlas :

- **Confluence** : zone où deux cours d'eau se rejoignent. Ici, zone de connexion entre la Garonne et un de ses affluents.
- **Gravière connectée** : plan d'eau d'origine artificielle créé par extraction de granulats (SANDRE, 2005). Dans cette étude, seules les anciennes gravières connectées en permanence avec la Garonne sont considérées.
- **Épis en rivière** : Ouvrage placé perpendiculairement au cours d'eau sur une partie du lit mineur ou du lit majeur permettant de diriger le courant et de limiter l'érosion d'une berge (KREUTZENBERGER *et al*, 2014). Ce type d'aménagement peut être à l'origine de la création de zones lenticques. Cependant la production en brochetons sur ce type de zone est inconnue et semble très aléatoire puisqu'elle dépend de facteurs tels que l'hydrologie ou la température du cours d'eau. Les épis en rivières n'ont donc pas été considérés dans cette étude mais ont néanmoins été identifiés (Annexe 6).

Dans le contexte de la Garonne, les annexes fluviales les plus représentées sont les bras-morts.

II.3.3. Genèse et évolution des bras-morts

De façon schématique, les annexes fluviales appelées bras-mort sont composées de deux types de milieux (ROLLET *et al.*, 2005 ; LE COZ, 2007) :

- Zone humide péri-fluviale qui se caractérise par une zone aquatique, prenant l'aspect d'un plan d'eau, et souvent une zone de transition, dite écotonale, entre le milieu aquatique et le milieu terrestre ;
- Tronçon terrestre de l'ancien chenal qui peut correspondre soit à un bouchon alluvial créé par des dépôts obstruant le chenal, soit à un tronçon asséché par déconnexion hydraulique.

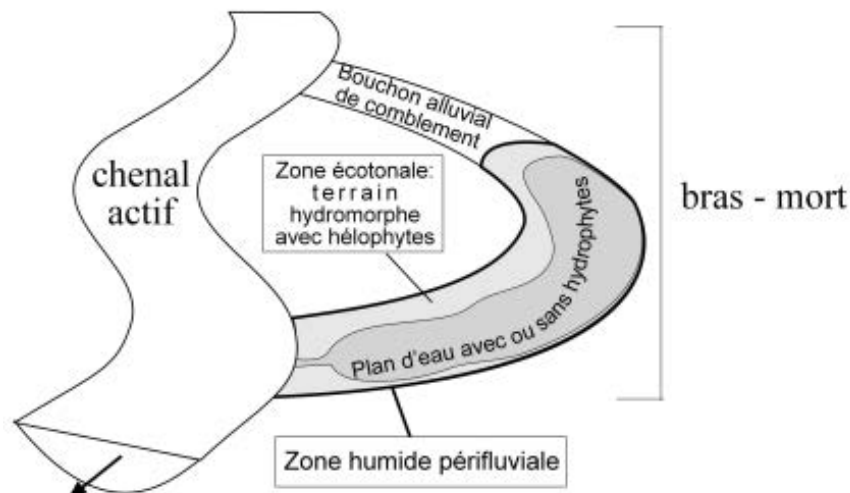


Figure 16 : Les différentes composantes d'un bras-mort (Rollet *et al.*, 2005)

C'est souvent suite à l'abandon du chenal principal ou secondaire par un cours d'eau que les bras-morts se forment. A partir de ce moment, ces bras-morts sont « soumis à un vieillissement caractérisé par la diminution progressive de leurs communications avec le fleuve allant jusqu'à l'isolement total » (BELAUD *et al.*, 1990).

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 parfois qualifié de lac d'oxbow ou oxbow-lake ;
- Avulsion : elle consiste en « un changement radical du tracé en plan et au creusement d'un nouveau chenal à l'occasion des crues » (LE COZ, 2007).

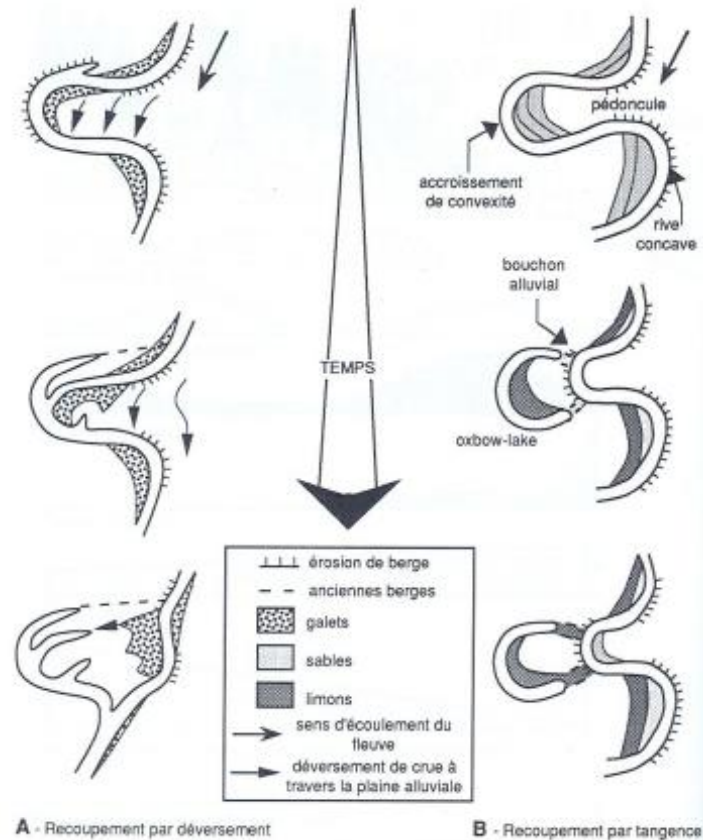


Figure 17 : Les mécanismes de formation des bras-mort (Amoros & Petts, 1993)

Mais les mécanismes naturels ne sont pas les seuls à l'origine de la formation de bras-mort. L'aménagement des cours d'eau par l'Homme peut également conduire à leur création (LE COZ, 2007). En effet les interventions humaines, telles que la construction d'épis ou d'ouvrages de franchissement, associées à la dynamique des rivières peuvent entraîner l'apparition d'atterrissement menant à la formation d'annexes hydrauliques comparables aux bras morts.

II.3.4. Fonctionnalité des annexes fluviales

La notion de fonctionnalité peut être définie comme « l'ensemble des fonctions écologiques nécessaires à la permanence des composantes d'un écosystème ou d'un habitat, qu'elles soient abiotiques, ou biotiques » (ATEN, 1998). Les annexes fluviales jouent un rôle important dans la fonctionnalité des milieux aquatiques puisqu'elles sont reconnues comme les composantes majeures de la biodiversité des hydrosystèmes fluviaux (GODREAU *et al.*, 1999).

En effet, les annexes fluviales participent au développement et au maintien de la flore et de la faune inféodées aux milieux aquatiques. Elles fournissent des habitats important pour la nutrition, la reproduction, l'hivernage et la migration d'une multitude d'espèces d'invertébrés (ex : odonates, mollusques), d'amphibiens et reptiles (ex : Crapaud commun, Couleuvre vipérine),

d'oiseaux (ex : Grande Aigrette, Héron pourpré) et de mammifères (ex : Vison d'Europe, Campagnol amphibie) (FRITZELL, 1988 ; MITSCH & GOSSELINK, 1993 ; WELLER, 1999 ; RITTENHOUSE & SEMLITSCH, 2007 ; WELLS, 2007 ; BATZER & BOIX, 2016). C'est parmi ces différents groupes faunistiques que sont choisies des espèces dites « repères » c'est-à-dire des espèces particulièrement exigeantes, indicatrice de la fonctionnalité des milieux.

Les annexes hydrauliques jouent un rôle fondamental pour l'ichtyofaune car elles assurent différentes fonctions :

- Fonction de **nutrition** pour la plupart des cyprinidés de par leur richesse en macrobenthos et en plancton qui s'y développe (REIMER, 1991) ;
- Fonction de **refuge** lors des épisodes de crues (HOLCIK, 1988 ; MÜLLER & MENG, 1990) ou des pollutions accidentelles (MÜLLER & MENG, 1990) ;
- Fonction de **reproduction** pour les espèces phytophiles grâce à l'immersion d'herbiers adaptés à leur ponte et à l'adhésion de leurs œufs (ANTIPA, 1911 ; COPP & PENAZ, 1988 ; SCOTT & NIELSEN, 1989) ;
- Fonction de **nurserie** pour les alevins (CARREL, 1986 ; SHEAFFER & NICKUM, 1988).

Les annexes hydrauliques, en tant que zones humides, rendent également de nombreux services aux sociétés humaines et contribuent à leur développement et à leur bien-être. Ces services sont appelés services écosystémiques. Ils sont définis comme « les avantages que l'Homme obtient des écosystèmes » (MEA, 2005). Par exemple, les annexes hydrauliques permettent d'améliorer la qualité de l'eau grâce à leur pouvoir épuratoire (DURAND *et al.*, 2000) et participent à la régulation des inondations en stockant l'eau puis en la redistribuant à l'étiage (ADAMUS & STOCKWELL, 1983 ; LARSON, 1990 ; WARD, 1992 ; BRINSON *et al.*, 1995)

II.3.5. Menaces anthropiques

Les rivières et les zones humides sont des écosystèmes souvent menacés (FINLAYSON & MOSER, 1991 ; MEA, 2005 ; RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT, 2016). L'homme, par ses actions sur l'environnement, tient une part de responsabilité importante quant à leur altération, dégradation voire leur disparition. Ainsi, ces milieux peuvent être touchés par une multitude d'impacts :

- La chenalisation des rivières ;
- Les obstacles à l'écoulement (barrages, seuils...) ;
- L'extraction de granulats ;
- Les pollutions ;
- L'assèchement et le drainage par l'agriculture et les infrastructures ;
- Les modifications de l'hydrologie et des flux sédimentaires ;
- L'altération du marnage naturel.

Toutes ces menaces participent à la dégradation de la fonctionnalité des annexes fluviales et celles de la Garonne n'y échappent pas. Il est donc nécessaire de les préserver, de les restaurer ou d'en créer de nouvelles afin de retrouver un certain nombre de fonctions favorables à la biodiversité des milieux aquatiques.

Afin d'évaluer la fonctionnalité d'un milieu, des indicateurs sont souvent utilisés. Ils sont basés sur la présence de certaines espèces dites « bioindicatrices » (BOUVRON *et al.*, 2010), telles que les espèces repères, ou sur le bon déroulement de certaines phases de leur cycle biologique.

II.4. L'espèce repère

II.4.1. Définition

Une espèce repère, ou espèce parapluie, est une espèce représentative de la qualité générale d'un milieu en terme de fonctionnalité. Elle est la plus exigeante vis-à-vis de son milieu et ses besoins recouvrent ceux de nombreuses autres espèces (GROOM *et al.*, 2006). Sa protection permet donc la

protection de la plupart des espèces qui partagent son habitat ou qui interagissent avec sa niche écologique.

Les espèces repères, tout comme d'autres espèces bioindicatrices, sont ainsi utilisées dans de nombreuses études pour diagnostiquer un milieu comme fonctionnel ou non. Ces espèces peuvent appartenir à différents groupes faunistiques : mammifères (ex : Vison d'Europe LODE, 2002), odonates (ex : Anax empereur, Petite Nymphé au corps de feu BULANKOVA, 1997), amphibiens (ex : Crapaud calamite BUZAM & GOLAY, 1992), oiseaux (ex : Héron pourpré COTIN MARTINEZ, 2012) ou encore poissons (ex : brochet COPP, 1989 ; COMPAGNAT & BARAN, 2002)...

La particularité de cette étude est de s'intéresser aux annexes fluviales de la Garonne et, notamment, aux populations de poissons qui les peuplent. Afin de réaliser une évaluation de la fonctionnalité de ce type de milieux, chaque espèce piscicole n'a pu être considérée indépendamment ; mais le peuplement de la rivière a été considéré par le biais de son espèce repère : le brochet (*Esox lucius* Linnaeus, 1758).

Sur la Garonne dans le Tarn-et-Garonne, le brochet est considéré comme l'espèce la plus sensible à l'état des milieux. Ses fortes exigences vitales recouvrent celles des espèces situées aux niveaux inférieurs dans la chaîne trophique. Ainsi s'il se développe dans de bonnes conditions, les autres espèces se développeront également aisément. A l'inverse, toute perturbation qui l'affectera, est susceptible d'impacter le peuplement en son entier.

II.4.2. Le brochet : biologie et écologie

II.4.2.1. Description, distribution et menaces

Le brochet (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), de la famille des Esocidés, est l'un des plus grands carnassiers des eaux douces françaises. Il se caractérise par un corps allongé et fusiforme, une nageoire dorsale unique très reculée et opposée à la nageoire anale, un museau plat en forme de bec de canard et une gueule imposante pouvant contenir près de 700 dents. La taille moyenne est estimée à 50-60 cm et peut atteindre 90-100 cm voire plus (KEITH *et al.*, 2011).



Figure 18 : Le brochet *Esox lucius* L., 1758 (© Laurent Madelon)

A l'échelle mondiale et à l'échelle européenne, le brochet (*Exos lucius* L., 1758) n'est pas menacé et est classé préoccupation mineure (LC). Néanmoins en France, il est classé comme espèce vulnérable (VU) sur la liste rouge de l'UICN (UICN FRANCE *et al.*, 2010). Les menaces qui touchent cette espèce sont celles qui impactent ses habitats de reproduction et notamment les annexes fluviales. Ainsi les populations de brochets régressent en raison de la pollution de l'eau, du drainage agricole et des aménagements empêchant à la fois les migrations longitudinales et transversales et modifiant les régimes hydrologiques des cours d'eau (KEITH *et al.*, 2011).

II.4.2.2. Cycle de vie et caractéristiques des sites de reproduction

Le brochet est un migrateur holobiotique transversal c'est-à-dire qu'il va effectuer, pour se reproduire, une migration du cours d'eau vers sa plaine alluviale. Il reste ainsi dans le même milieu mais va transiter de ces zones de croissance et de tenue à ces habitats de reproduction. Le brochet est également une espèce phytophile, c'est-à-dire qu'il utilise préférentiellement un substrat végétal comme support de ponte. Le support végétal optimal correspond à de la végétation herbacée graminéoïde (FABRICIUS & GUSTAFSON, 1958 ; DUBE & GRAVEL, 1978). Cependant, en absence de cette végétation particulière, le brochet peut s'accommoder d'autres supports si tant est qu'il soit végétal : hydrophytes, héliophytes, racinaires fins et débris ligneux (INSKIP, 1982 ; SOUCHON, 1983 ; CHANCEREL, 2003) ;

Les frayères à brochets se caractérisent par des milieux peu profonds, calmes, riches en végétation et se réchauffant vite. Elles correspondent généralement aux zones d'inondations, pour le réseau hydrographique, et en particulier aux annexes hydrauliques. Pour répondre au cycle de vie du brochet (Figure 19), elles doivent cependant assurer trois rôles majeurs (SOUCHON, 1983 ; CHANCEREL, 2003) :

- La fixation des œufs et des larves sur les végétaux ainsi que leur immersion durant toute la phase de développement de l'œuf à l'alevin nageant ;
- La protection contre les prédateurs ;
- La production de ressources alimentaires en quantité et qualité suffisantes.

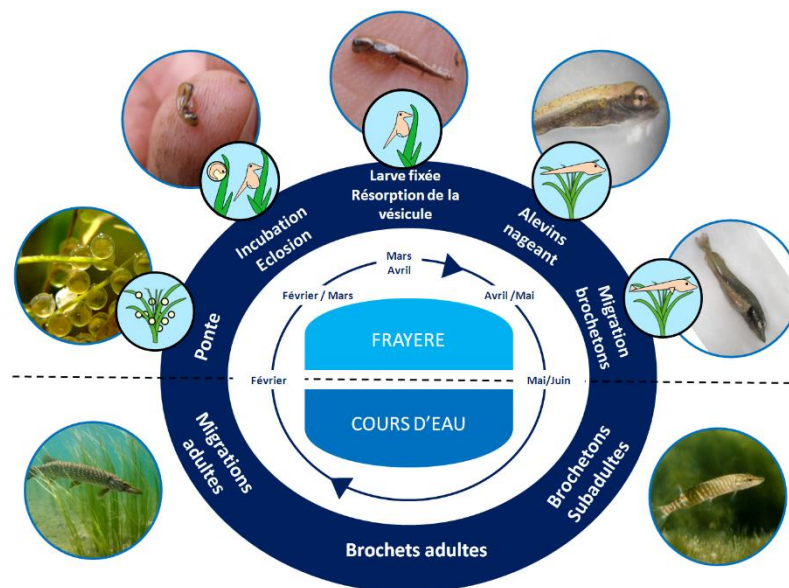


Figure 19 : Cycle de vie du brochet (Fages, 2015)

Afin de remplir ces fonctions, une frayère doit donc posséder un certain nombre de caractéristiques :

- Une zone inondable sous 0,2 à 1 mètre d'eau pendant 40 à 60 jours consécutifs (INSKIP, 1982) entre fin février et début mai ;
- Une surface de fraie comprise entre 1000 et 2000 m² par femelle pour éviter le stress et l'oppression (CHANCEREL, 2003) ;
- Un couvert végétal adapté à sa ponte ;
- Une physico-chimie particulière de l'eau avec notamment une turbidité faible évitant ainsi toutes conditions néfastes telles que l'anoxie (HASSLER, 1970) et le colmatage des supports de ponte, une oxygénation supérieure à au moins 3mg/l (FAGO, 1977) et un pH compris entre 5 et 9,5 (CHANCEREL, 2003) ;

- Un ensoleillement important permettant le développement du plancton et de la végétation aquatique ou herbacée lors de l'exondation ainsi que des températures d'incubation entre 4° et 22°C avec un optimum pour la croissance des juvéniles à 23°C (LINDROTH, 1946) ;
- Une connexion permanente ou temporaire avec le cours d'eau permettant le passage des géniteurs pour la ponte et la dévalaison des juvéniles.

D'autres paramètres peuvent concourir à l'amélioration de la qualité de la frayère, sans qu'ils soient obligatoires :

- Un assec en période estivale qui permet la colonisation et le bon renouvellement de la végétation, et en particulier pour la végétation herbacée graminéoïde ;
- Une mise en eau seulement 1 à 2 années sur 5 (INSKIP, 1982) qui limite le cannibalisme des poissons de l'année *n-1* sur ceux de l'année *n*.

II.5. Objectifs et planification de l'étude

Dans le Tarn-et-Garonne, des études sur les annexes fluviales et les zones humides de la Garonne ont déjà été réalisées par le SMEAG, la Direction Départementale de l'Équipement, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques ou encore le Conseil Départemental. D'autres investigations menées en 2007 et 2014 par la FDAAPPMA 82 (PAULY, 2007 ; SABRIE, 2014) ont identifié des zones favorables à la reproduction du brochet et ont confirmé la perte de fonctionnalité de certaines des annexes hydrauliques de la Garonne. Il est alors apparu nécessaire de réaliser une étude afin de localiser, de façon exhaustive, les sites potentiels pour la reproduction du brochet et d'évaluer leur fonctionnalité en vue de la restauration de certains d'entre eux. Cette étude se décompose en deux phases réparties sur deux années :

- La présente étude de 2017 : elle a pour objectifs l'identification, la caractérisation et la hiérarchisation en fonction de leurs potentiels écologique et d'aménagement de l'ensemble des annexes fluviales de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne. Elle s'accompagne de la réalisation d'un atlas présentant les sites identifiés ainsi que les données recueillies. La surface couverte par le secteur étudié étant importante (75,8 km de linéaire), l'utilisation d'une approche SIG s'est avérée nécessaire et constitue la particularité de cette étude.
- Etude de 2018 : à la suite du travail effectué en 2017, l'étude de 2018 aura pour objectifs l'évaluation de la fonctionnalité réelle et des possibilités d'aménagement des sites qualifiés en 2017 comme ayant le plus fort potentiel écologique et aménageable.

Plusieurs grandes étapes ont marqué l'étude de 2017 (Diagramme de Gantt en Annexe 8) :

- Etablissement d'une typologie des annexes fluviales ;
- Identification des annexes fluviales à l'aide de différentes méthodes ;
- Description et caractérisation des annexes fluviales par des mesures de paramètres sur le terrain et des calculs d'indicateurs sous SIG ;
- Hiérarchisation des différents sites identifiés en fonction, d'une part, de leur potentiel écologique actuel et, d'autre part, de leur potentiel d'aménagement ;
- Mise au point d'un atlas des annexes hydrauliques de la Garonne.

III. MATERIEL ET METHODE

III.1. Point sur les données disponibles

III.1.1. Données d'inventaire des zones humides et des annexes fluviales

Dans le cadre de l'atlas des annexes fluviales de la Garonne, plusieurs couches SIG liées aux zones humides et aux annexes hydrauliques ont pu être exploitées :

- **Zones humides du Tarn-et-Garonne (2017)** : cette couche SIG est issue de l'inventaire des zones humides du Tarn-et-Garonne. Cet inventaire, réalisé par le Conseil Départemental (CD 82), a été lancé en juin 2010 et vise à recenser le plus exhaustivement possible les zones humides du département. La couche transmise par le CD 82 est une couche vectorielle de polygones en Lambert 93 au format Shapefile ;
- **Frayères de l'ichtyofaune de la Garonne (2007)** : cette couche SIG est une couche vectorielle de polygones en Lambert 93 au format MapInfo TAB. Elle est issue de l'étude *Fonctionnalité des frayères de l'ichtyofaune phytophile de la Garonne* (PAULY, 2007) réalisée par la FDAAPPMA 82. Elle ne concerne cependant la Garonne que de l'entrée du département à Grisolles au plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave.
- **Frayères de l'Aveyron, du Tarn et de la Garonne (2014)** : couche vectorielle de point en Lambert 93 au format MapInfo TAB. Elle est issue de l'étude *Evaluation de la fonctionnalité de sites caractéristiques pour les espèces patrimoniales des grands milieux* (SABRIE, 2014). Elle concerne les trois grands cours d'eau du Tarn-et-Garonne (Aveyron, Tarn et Garonne) mais ne recense que certains sites de fraie.

III.1.2. Données IGN

L'IGN ou Institut national de l'information géographique et forestière est un établissement public à caractère administratif. Il a pour mission d'assurer la production, l'entretien et la diffusion de l'information géographique de référence en France. L'IGN est à l'origine de différentes données utilisées lors de cette étude et synthétisées dans le tableau I ci-dessous.

Tableau I : Présentation des données IGN utilisées

Données	Description	Date	Echelle et Format	Système de projection
RGE ALTI®	Modèle Numérique de Terrain maillé au pas de 1 mètre qui a pour vocation de décrire le relief français à grande échelle et qui couvre l'ensemble de la France métropolitaine et des DOM-TOM. Il est disponible pour le secteur étudié avec une précision altimétrique évaluée par l'IGN à 0,2 mètre . Il a été utilisé notamment pour identifier les annexes fluviales (partie III.2), les numériser et calculer des indicateurs (partie III.3.3).	2015 et 2017	1 : 3000 à 1 : 20 000 Raster au format ASCII Grid (ArcInfo)	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)
BD ORTHO®	Mosaïque numérique d'orthophotographies géoréférencées en couleurs couvrant l'ensemble du territoire français. La BD ORTHO® utilisée concerne le département du Tarn-et-Garonne, date de 2013, a un pas de 5 kilomètres et une précision de 50 centimètres . Elle a été utilisée pour identifier les annexes hydrauliques.	2013	1 : 2 000 à 1 : 5 000 Raster au format ECW	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)
ORTHO HR®	Mosaïque numérique d'orthophotographies géoréférencées en couleurs couvrant l'ensemble du territoire français. Les données ORTHO HR® utilisées concernent le département du Tarn-et-Garonne, datent de 2016, ont un pas de 1 mètre et une précision de 20 centimètres . Elle a été utilisée pour identifier les annexes fluviales ainsi que pour la création de l'atlas.	2017	1 : 1 000 à 1 : 2 000 Raster au format JPEG2000	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)
SCAN 25®	Mosaïque numérique d'images cartographiques géoréférencées en couleur et couvrant l'ensemble du territoire français. Les données SCAN 25® utilisées concernent le Tarn-et-Garonne, ont un pas de 10 kilomètres et une précision de 2,5 mètres . Ces données ont été utilisées pour localiser le nom du lieu-dit le plus proche de chaque annexe fluviale.	2007	1 : 10 000 à 1 : 50 000 Raster au format TIF	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)
BD TOPO®	Description vectorielle 3D des éléments du territoire national et de ses infrastructures. L'emprise géographique des données BD TOPO® utilisées s'étend à l'ensemble du Tarn-et-Garonne. Les couches qui ont été utilisées sont celles du découpage administratif par commune et des tronçons de cours d'eau .	2011	1 : 5 000 à 1 : 50 000 Vecteur au format Shapefile (ArcGIS)	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)
ADMIN EXPRESS	Découpage administratif du territoire métropolitain et ultra-marin. L'emprise géographique de ces données correspond donc à l'ensemble du territoire national. Les découpages administratifs par départements et par régions ont été utilisés ainsi que la localisation des préfectures .	2017	1 : 50 000 à 1 : 200 000 Vecteur au format Shapefile (ArcGIS)	RGF 93 Lambert 93 (EPSG : 2154)

III.1.3. Autres données

Tableau II : Présentation des autres types de données utilisées

Données SIG		
DPF	Contour du Domaine Public Fluvial de la Garonne au format Shapefile. Utilisé pour la hiérarchisation et les cartes.	DDT 82
Enrochements	Linéaire d'enrochement sur la Garonne aux formats Shapefile et TAB. Utilisé pour l'atlas et les cartes.	DDT 82 et SMEAG
Zones de protections et d'inventaires	Périmètres des différents espaces naturels remarquables (ZNIEFF, APPB, ZPS...) au format Shapefile. Utilisé pour la hiérarchisation, l'atlas et les cartes.	INPN [en ligne]
Obstacles à l'écoulement	Localisation (points) des obstacles à l'écoulement recensés dans le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE) au format Shapefile. Utilisé pour les cartes.	AFB
Corine Land Cover	Occupation du sol Corine Land Cover de 2012 sur le département du Tarn-et-Garonne au format Shapefile. Utilisé pour les cartes.	Ministère en charge de l'environnement
Habitats et Flore	Localisation des habitats naturels suivant la typologie CORINE Biotope et de la flore au sein du périmètre d'étude. Données au format TAB.	CBNPMP
Zones inondables	Atlas des zones inondables de la Garonne au format TAB. Utilisé pour les cartes, l'atlas et la délimitation du lit majeur de la Garonne.	DREAL Occitanie
Données de mesures et d'inventaires		
Débits	Données des débits de la Garonne mesurés par les stations de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Midi-Pyrénées (DREAL Midi-Pyrénées). Ces données sont disponibles au format CSV et téléchargeables sur le site de la Banque HYDRO. Utilisé pour le calcul des débits de prospection.	DREAL Midi-Pyrénées
Températures	Données thermiques de la Garonne issus du Réseau National Thermique (RNT). Utilisé pour le calcul des débits de prospection.	AFB
Pêches électriques	Résultats de pêches électriques réalisées sur certaines des annexes fluviales de la Garonne par la FDAAPPMA 82 ainsi que dans le cadre du travail de recherche <i>A multi-faceted framework of diversity for prioritizing the conservation of fish assemblages</i> (MAIRE <i>et al.</i> , 2013) impliquant plusieurs établissements (EcoLab, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse). Données reçues au format Excel.	MAIRE <i>et al.</i> , 2013 FDAAPPMA 82
Etudes et publications		
Plans de gestion	Plans de gestion de quatre annexes hydrauliques de la Garonne au format PDF : Mauvers, Saint-Cassian, Espinassie et île de Merles-Montardou. Utilisé pour la hiérarchisation.	Nature Midi-Pyrénées, CD 82
Etudes sur la Garonne	Rapport d'études sur la Garonne et sur ces annexes fluviales au format PDF. Utilisé pour l'identification des annexes fluviales ainsi que pour la hiérarchisation.	DDE 82, 1997 ; GEODES-GEOLOGUES CONSEILS, 2006...

III.2. Identification des annexes fluviales

L'identification des annexes fluviales de la Garonne a été réalisée à l'aide de l'outil SIG ce qui fait la particularité de cette étude. Diverses approches de détection des zones humides ont été étudiées afin d'utiliser la plus adaptée aux données disponibles, au contexte de l'étude et aux zones humides particulières que sont les annexes fluviales :

- Approches fondées sur la détection de la végétation hygrophile ou de l'humidité des sols : elles font appel à des indices permettant de détecter deux caractéristiques principales des zones humides à savoir la végétation particulière et l'hydromorphie. Ces indices sont calculés, notamment, grâce aux bandes infrarouges des images satellites. C'est le cas par exemple du Normalized Difference Vegetation Index ou NDVI (ROUSE *et al*, 1974), ou encore du Normalized Difference Water Index ou NDWI (GAO, 1996 ; MCFLEETERS, 1996) ;
- Approche fondée sur la détection de la géomorphologie : cette approche utilise, quant-à-elle, le Modèle Numérique de Terrain ou MNT. Elle permet d'identifier et de délimiter des zones humides à l'aide de la géologie, de l'hydrologie ou de la topographie.

Disposant d'un MNT précis (RGE ALTI®), la détection des annexes fluviales s'est orientée vers l'approche basée sur l'utilisation de MNT. La méthode utilisée s'inspire de celle développée par le BRGM pour identifier des zones humides dans le cadre de l'Atlas régional des zones humides de Guadeloupe (BRGM, 2007). Cette méthode consiste à rechercher des dépressions topographiques à partir d'un MNT.

Pour réaliser cela, la fonction « Fill sinks (wang & liu) » (WANG & LIU, 2006) présente dans le module SAGA de QGIS a été utilisée. Cette fonction permet :

- D'identifier comme dépression topographique un ou plusieurs pixels entourés par des pixels d'altitudes supérieures (Figure 20) ;

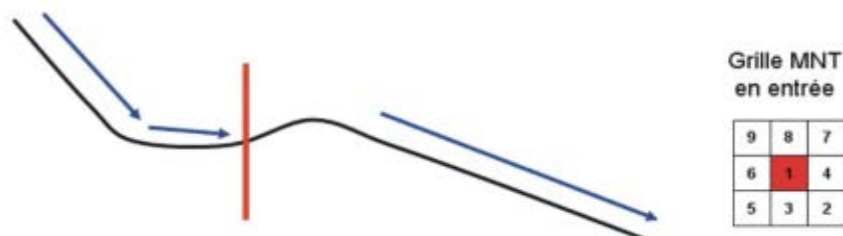


Figure 20 : Identification des dépressions topographiques (BRGM, 2007)

- De combler les dépressions identifiées après avoir trouvé leurs exutoires (Figure 21). Cette technique est appelée, par le BRGM, la technique du « bouche-trous ». Elle consiste à déterminer le pixel exutoire, c'est-à-dire le pixel le plus proche de la dépression et possédant une altitude inférieure au bord de la dépression, puis à affecter aux pixels de la dépression une altitude permettant l'écoulement vers cet exutoire.

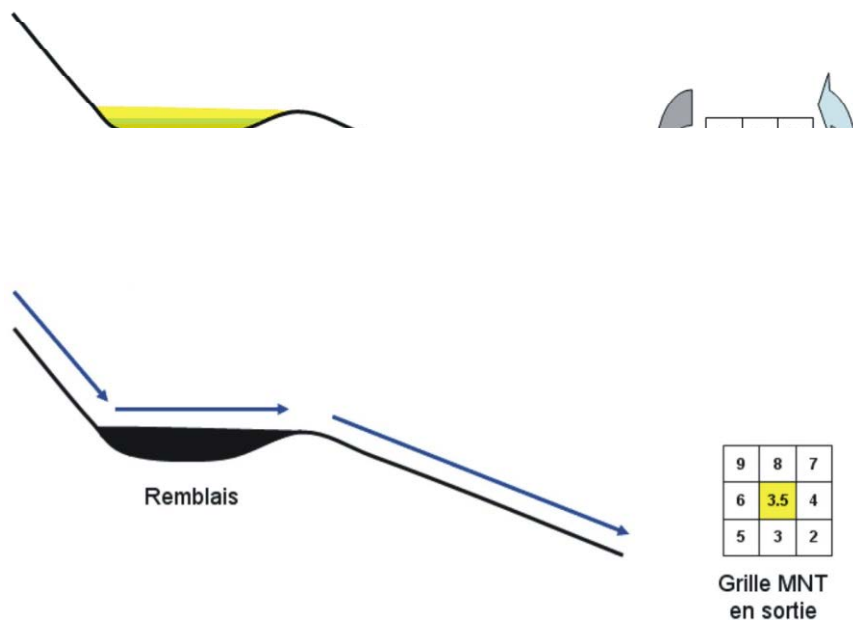


Figure 21 : Comblement des dépressions topographiques (BRGM, 2007)

Le résultat obtenu à la suite de l'utilisation de cet algorithme est un MNT dit « corrigé » dont les dépressions ont été comblées.

La deuxième étape consiste en une comparaison entre le MNT initial et le MNT corrigé (Figure 22). Pour cela, une simple soustraction est effectuée entre le MNT corrigé et le MNT initial à l'aide de la fonction « r.mapcalculator » présente dans le module GRASS de QGIS.

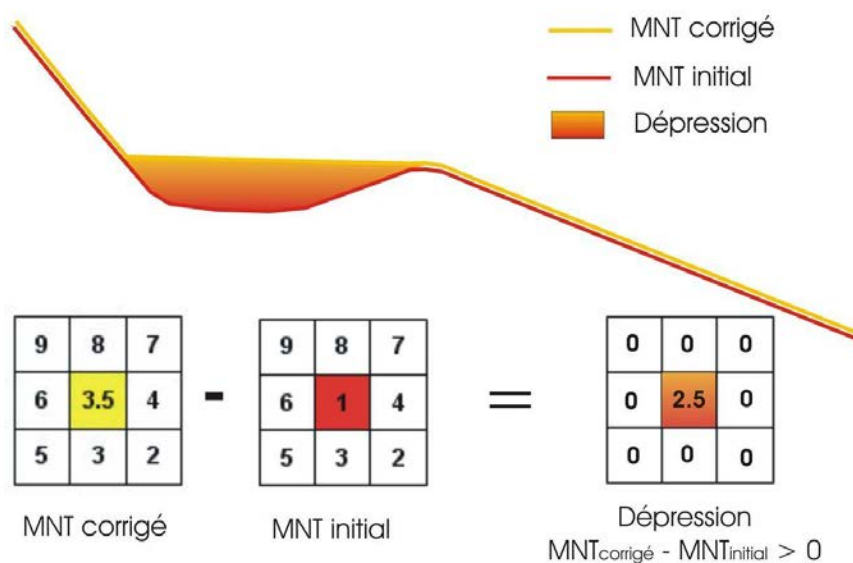


Figure 22 : Comparaison entre les MNT (BRGM, 2007)

La figure 11 montre la chaîne de traitement réalisée pour identifier les dépressions topographiques à l'aide du RGE ALTI®.

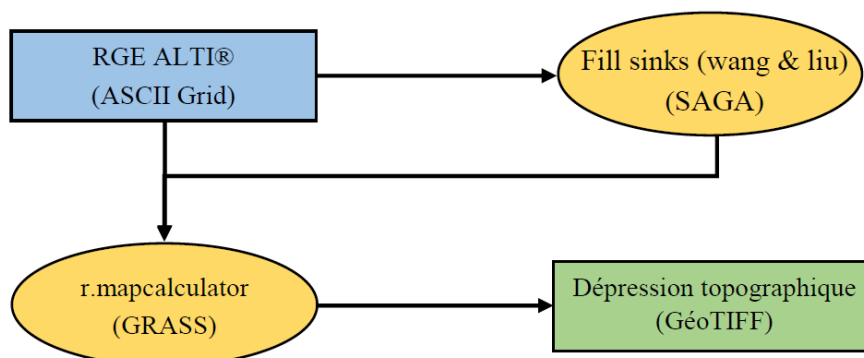


Figure 23 : Chaîne de traitements pour l'identification des dépressions topographiques

Une fois les dépressions topographiques identifiées, ces dernières ont été comparées aux données d'inventaires des zones humides (CD 82) et des annexes fluviales de la Garonne (DDE 82, 1997 ; PAULY, 2007 ; SMEAG, 2013 ; SABRIE, 2014) ainsi qu'aux orthophotos de l'IGN. En croisant les informations issues de toutes ces sources de données, l'identification des annexes fluviales a pu être effectuée de la manière la plus exhaustive possible.

III.3. Caractérisation et description des annexes fluviales

III.3.1. Période de prospection

Dans le cadre de cette étude et afin d'évaluer la fonctionnalité des annexes fluviales, deux périodes de prospection ont été choisies :

- La première période coïncide avec la reproduction du brochet. Elle permet d'évaluer différents paramètres dont les surfaces en eau ;
- La seconde période correspondant à la période d'étiage. Elle permet d'évaluer le niveau d'exondation des sites.

III.3.1.1. Période de reproduction du brochet

La migration de reproduction du brochet a lieu, en début d'année (février/mars), lorsque les débits et les températures augmentent (DES CLERS & ALLARDI, 1983 ; MASTERS *et al.*, 2002). Le déclenchement du processus de migration serait principalement dû à l'augmentation des débits (SOUCHON, 1983 ; LUCAS, 1992 ; MASTERS *et al.*, 2002 ; DUBOST & VAUCLIN, 2004) et celui de la ponte aurait lieu lorsque la température de l'eau atteint 8°C à 10°C (Chancerel, 2003).

Les annexes fluviales doivent donc être fonctionnelles dès le déclenchement de la migration puis pendant plusieurs semaines afin de permettre successivement :

- L'accès des géniteurs aux sites de fraie ;
 - Le dépôt des gamètes sur les substrats végétaux immergés ;
 - L'incubation des œufs durant 120°C/jours ;
 - La phase où l'alevin est fixé à la végétation (100°C/jours) ;
 - La phase alevin nageant avant le retour dans le lit mineur (80°C/jours).
- } 300°C/jours

Le bon déroulement de l'ensemble de ces phases nécessite que les annexes fluviales soient maintenues en eau. Le niveau d'eau de ces milieux étant dépendant du niveau d'eau dans le cours d'eau adjacent, il est important qu'un certain débit soit donc maintenu. La période durant laquelle ce débit doit être maintenu pour permettre la ponte et la survie des alevins de brochet jusqu'à leur retour dans le cours d'eau est appelée Durée Continue d'Habitat Favorable ou DCHF (PAULY, 2007). Elle est définie par simple analogie avec la Durée Continue d'Habitat Limitant ou DCHL (CAPRA *et al.*, 1995) afin d'étudier l'impact de l'hydrologie sur les populations de brochet.

Cette DCHF dépend du régime thermique du cours d'eau. INSKIP (1982) a estimé cette durée entre 40 et 60 jours consécutifs. A partir des chroniques de températures fournies par l'AFB, la DCHF de la Garonne a été évaluée (Annexe 9). Cette DCHF est équivalente à 40 jours consécutifs.

Une fois la DCHF calculé, le débit devant être maintenu pendant 40 jours consécutifs a été évalué. Ce débit doit, de préférence, avoir une fréquence de retour de 1 à 2 années sur 5 (INSKIP, 1982) afin de minimiser le cannibalisme et de permettre l'installation durable d'une végétation graminéoïde. Ce débit maintenu pendant 40 jours consécutifs et ayant une fréquence de retour comprise entre 1 et 2 années sur 5 est appelé Q_{DCHF5} (FAGES, 2015).

Après calcul (Annexe 9), il est apparu que plusieurs débits Q_{DCHF5} sont maintenus pendant 40 jours consécutifs sur la Garonne. La gamme de ces débits s'étend de 155 m³/s à 200 m³/s. C'est dans cette gamme que les prospections ont eu lieu. Elles se sont déroulées pendant environ un mois du 19 avril 2017 au 10 mai 2017. Pour certains jours, le débit de prospection n'a pas pu être respecté. En effet, il n'était pas possible de visiter dans cet intervalle l'ensemble des sites pré-identifiés notamment en raison des niveaux d'eau exceptionnellement bas de la Garonne à cette période. La gamme réelle des débits de prospection s'est étendue de 135 m³/s à 180 m³/s.

III.3.1.2. Période d'exondation des sites

Le support de ponte préférentiel du brochet correspond à de la végétation herbacée graminéoïde. Cette végétation nécessite que l'annexe fluviale soit en assec en période d'étiage pour se développer (FABRICIUS & GUSTAFSON, 1958 ; DUBE & GRAVEL, 1978). Pour cela, des prospections ont été réalisées en période d'étiage afin d'évaluer le niveau d'exondation des sites. Les débits d'étiage considérés ici sont inférieurs aux débits mensuels interannuels des mois d'août et septembre (respectivement 77,10 m³/s et 78,20 m³/s). Les prospections ont eu lieu pour des débits compris entre 40 m³/s et 65 m³/s du 17 juillet 2017 au 23 juillet 2017.

III.3.2. Paramètres relevés

Au cours de la phase de terrain, différents paramètres ont été relevés afin de caractériser les annexes fluviales. Ils sont présentés dans le tableau III ci-dessous et ont fait l'objet d'une fiche de terrain (modèle disponible en Annexe 10).

Tableau III : Présentation des différents paramètres relevés sur les annexes hydrauliques

Paramètres	Valeurs	Intérêts
Surface en eau	En mètres carrés (m ²)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surface de frayère nécessaire : entre 1000 m² à 2000 m² par femelle ; ▪ Exondées à l'étiage pour permettre le développement de la végétation herbacée graminéoïde, support préférentiel pour la ponte du brochet ? <p>Les surfaces en eau des annexes ont été mesurées après avoir été tracées sur SIG à l'aide de points contours au GPS effectués lors des prospections en avril-mai, des orthophotographies et du MNT. Les surfaces en eau à l'étiage (débits de 40m³/s à 65 m³/s) des sites considérés comme « intéressant » ont été mesurées de la même façon suite aux prospections du mois de juillet.</p>
Type et Surface de végétation	Graminoïdes Hélophytes Hydrophytes Chevelus racinaires Débris végétaux Algues	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traduisent le plus directement le potentiel de fraie pour les espèces phytophiles ; ▪ Ne présentent pas le même intérêt biologique et en particulier pendant la phase de reproduction ; ▪ Peut renseigner sur les fluctuations d'immersion des sites. <p>La végétation recensée n'est pas complètement représentative de celle qui pourrait être présente lors de la reproduction du brochet puisque la période de prospection ne correspond pas exactement à la période de reproduction du brochet. Cependant elle est un bon indicateur du type et des surfaces de végétation qu'il peut y avoir dans l'annexe à la bonne période.</p>
Type de la connexion	Amont/Aval Aval Amont Centrale Nulle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditionne l'accès des géniteurs lors de la reproduction, le développement et le retour dans le cours d'eau des juvéniles ainsi que le développement de la végétation ; ▪ Agit directement sur l'immersion du site et les vitesses d'écoulement.
Morphologie de la connexion	En mètres (m)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conditionne le niveau de connectivité et de fonctionnalité de l'annexe fluviale tout comme le type de connexion ; <p>Ainsi deux mesures ont été prises au niveau des connexions des annexes hydrauliques, une mesure de profondeur moyenne et une mesure de largeur.</p>
Morphologie des berges	Verticale/Sapé Effondré Pentue (>45°) Pente douce Composite	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Renseigne sur les possibilités d'immersion temporaire au gré des débits (hauteurs d'eau) ; ▪ Influe sur le développement de la végétation amphibie ou rivulaire ; ▪ Apporte des informations sur le potentiel aménageable des sites. <p>Différents types ont été utilisés pour caractériser les berges des annexes fluviales. Ils sont issus de <i>Fonctionnalité des frayères de l'ichtyofaune phytophile de la Garonne</i> (PAULY, 2007). Ce paramètre a été remplacé, par la suite, par des classes de pente et des hauteurs de berge calculées à l'aide du RGE ALTI®.</p>

Substrat	Limon/Vase (<0,0625 mm) Sable (de 0,0625 mm à 2 mm) Gravier (de 2mm à 16 mm) Cailloux (de 16 mm à 64 mm) Pierre (de 64 mm à 256 mm) Bloc (> 256 mm)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Structure les communautés vivantes et le fonctionnement du milieu (DUPIEUX, 2004). ▪ Un substrat de type fin traduit l'absence de courant dans la colonne d'eau ; ▪ Un substrat de type grossier est plutôt caractéristique de zones d'eau courante. <p>L'évaluation du substrat des annexes hydrauliques est basée sur une échelle granulométrique (MALAVOI & SOUCHON, 1989) adaptée de celle de Wentworth (WENTWORTH, 1922). Pour cette étude, deux types de substrats ont été renseignés : un substrat dominant et un substrat secondaire.</p>
Turbidité	Eau claire Eau mâchée Eau trouble Eau opaque	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Influence le développement végétal et planctonique en créant une barrière aux rayons lumineux ; ▪ Peut être létale en créant des conditions néfastes pour la ponte comme l'anoxie (HASSLER, 1977) ; ▪ Peut refléter un risque de colmatage compromettant l'adhésion des œufs sur les supports de ponte. <p>Pour ce travail, l'évaluation de la turbidité des annexes hydrauliques est basée sur des appréciations visuelles.</p>
Hauteur d'eau dominante dans la frayère	En mètres (m)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible profondeur essentielle pour la reproduction du brochet : de 0,2 à 1 mètre (CHANCEREL, 2003) ; ▪ Influe sur la pénétration de la lumière et donc sur le développement de la végétation aquatique et du phytoplancton ainsi que sur le réchauffement de l'eau.
Température	En degrés Celsius (°C)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradient thermique à l'origine de la migration des brochets vers ses sites de ponte (BILLARD, 1996) ; ▪ Augmentation plus importante des températures dans l'annexe par rapport au cours d'eau permettant l'incubation des œufs et le bon développement des alevins. <p>Les températures ont ainsi été mesurées à la fois dans l'annexe hydraulique et dans le cours d'eau à proximité.</p>
Ensoleillement	1 : milieu fermé 2 : rives ombragées avec quelques parties de la pièce d'eau au soleil 3 : moitié de la pièce d'eau ensoleillée 4 : un quart de la pièce d'eau ombragée 5 : milieu ouvert	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet le développement du plancton nécessaire pour l'alimentation des alevins et des invertébrés ; ▪ Permet le développement de la végétation aquatique permettant la nutrition, la reproduction et le refuge du brochet ; ▪ Permet d'atteindre des températures d'incubation favorables. <p>Dans le cadre de cette étude, l'ensoleillement des annexes fluviales est évalué à l'aide d'un indice compris entre 1 et 5. Un indice de 1 correspond à une zone totalement ombragée et un indice de 5 à une zone entièrement ensoleillée.</p>
Faciès de l'annexe	Lentique Lotique	Le faciès de renseigne sur la présence ou l'absence de courant au sein de l'annexe. Ainsi des annexes de type eupotamon (bras-vifs) caractérisées par une zone d'eau courante peuvent, dans certaines conditions, présenter des zones lenticques favorables au brochet.

<p>Faciès du cours d'eau</p>	<p>Chenal lentique Chenal lotique</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet l'évaluation de la capacité d'accueil du milieu récepteur ; ▪ Permet d'évaluer l'attractivité propre au site (rôle de refuge). <p>L'identification du faciès de la Garonne est effectuée à partir d'une clé de détermination (MALAVOI & SOUCHON, 2002) décrivant 11 types de faciès. Seuls deux types de faciès ont été rencontrés sur la Garonne : chenal lotique et chenal lentique. Cela s'explique par le fait que l'évaluation a eu lieu lors de la période de prospection des annexes alors qu'il est conseillé de réaliser cette identification en période d'étiage moyen (MALAVOI, 1989).</p>
<p>Obstacles</p>	<p>Bouchon vaseux Embâcle Buse Vanne Pont</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peuvent empêcher l'accès à tout ou partie des annexes fluviales. <p>Plusieurs types d'obstacles ont pu être rencontrés sur les annexes fluviales de la Garonne, certains impactant de façon plus importante le niveau de connectivité que d'autres.</p>
<p>Activités humaines</p>	<p>Populiculture Céréaliculture Arboriculture Extraction de matériaux</p>	<p>Le recensement des activités socio-économiques à proximité des sites permet de connaître les types de pressions susceptibles d'impacter la qualité des annexes hydrauliques.</p>

III.3.3. Indicateurs calculés

III.3.3.1. Pente des berges

Comme expliqué en partie III.3.2., la morphologie des berges renseigne sur les possibilités d'immersion temporaire et de développement de la végétation amphibie ou rivulaire. La pente et la hauteur des berges des annexes hydrauliques sont donc des facteurs importants influençant le potentiel écologique des sites, mais également les possibles aménagements futurs.

Les berges correspondent aux talus bordant le lit d'un cours d'eau. Pour cette étude, les berges étudiées correspondent à une zone de 5 mètres débutant à l'interface entre la surface en eau de l'annexe à moyenne et haute eaux et le pied de berge.

Afin de calculer les pentes des berges de chaque annexe fluviale, plusieurs étapes ont été nécessaires (Figure 24). La première étape a consisté à créer le polygone des berges à partir des contours d'immersion au débit Q_{DCHF5} . Pour cela, un tampon de 5 mètres a été appliqué à cette couche. Ensuite une simple différenciation a été effectuée entre la couche obtenue et la couche de départ afin d'obtenir une zone de 5 mètres entourant chaque annexe hydraulique. Afin d'obtenir la zone de berge réelle, une suppression manuelle des zones de connexion entre l'annexe et la Garonne a été réalisée. Pour la suite des traitements, une deuxième couche a été créée. Elle correspond au contour d'immersion en eau des annexes associé à un tampon de 6 mètres.

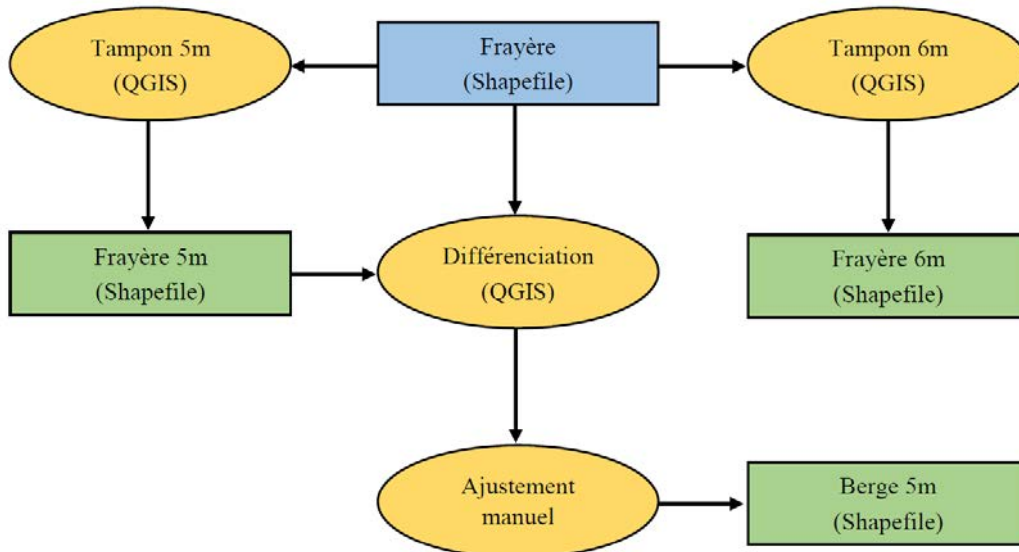


Figure 24 : Chaîne de traitements pour la représentation des berges

La deuxième étape concerne directement le calcul des pentes et s'appuie sur le RGE ALTI®. Dans un premier temps les pentes des dalles du RGE ALTI® ont été calculées à l'aide du module « Pente » de GDAL, présent dans la boîte à outils de QGIS. Les dalles ont ensuite été découpées suivant la couche tampon 6 mètres des frayères grâce à l'outil « Découper un raster selon une couche de masque » de GDAL. Les rasters obtenus sont fusionnés à l'aide de l'outil « Fusionner » de GDAL pour ne former qu'un seul raster.

Une fois un unique raster de pente obtenu, les valeurs des pixels ont été regroupées en trois classes (Annexe 11) à l'aide de l'outil `r.mapcalculator` de GRASS (Figure 25). Les 3 classes créées sont pente douce (valeur de 1), pente moyenne (valeur de 2) et pente forte (valeur de 3). Le raster des classes de pente a été ensuite converti en vecteur (fonction « `r.to.vect` » de GRASS) et une intersection a été effectuée avec la couche de berge de 5 mètres précédemment créée. Cette intersection permet de récupérer les identifiants des annexes hydrauliques nécessaires pour le

calcul des surfaces des classes de pente de chaque site. Ce calcul est effectué à l'aide de l'extension « Group Stats » et les résultats sont exportés au format CSV. Le pourcentage de surface occupée par chaque classe de pente pour chaque annexe hydraulique

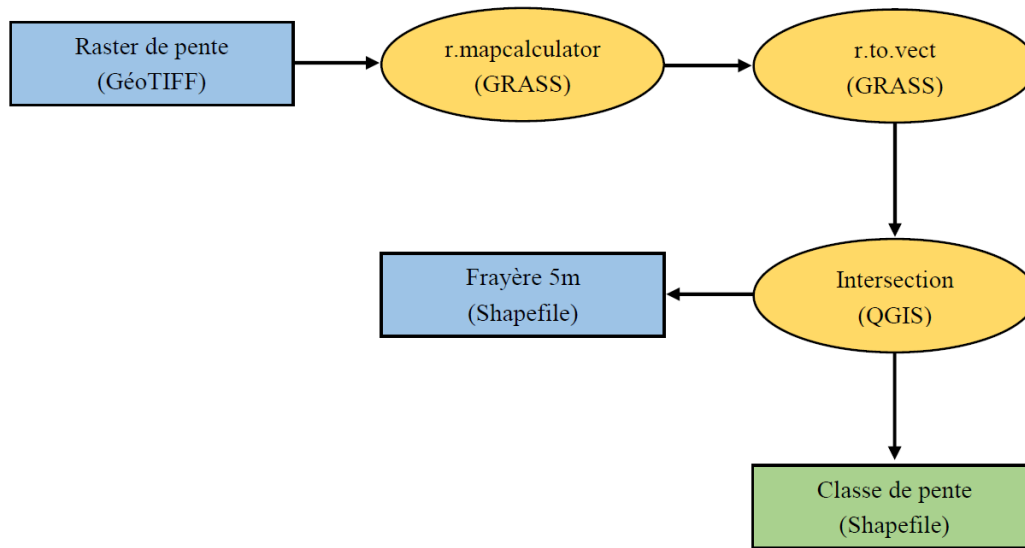


Figure 25 : Chaîne de traitements pour la création des classes de pente

III.3.3.2. Hauteurs des berges

Dans le but de calculer la hauteur des berges de chaque annexe, une couche de berges de 10 mètres a été créée de la même façon que la couche de berges de 5 mètres. Chaque polygone de cette couche a été découpé à l'aide des outils de numérisation avancée en deux parties : l'une représentant la rive gauche et l'autre la rive droite de la surface en eau au débit Q_{DCHF5} (Figure 26). La couche a ensuite été intégrée à la base de données PostGIS à l'aide de l'outil « Gestionnaire de base de données » puis la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » a été appliquée. Cette fonction permet de créer l'axe central des polygones de berges. Une fois cette étape effectuée, quelques corrections manuelles sont nécessaires pour éliminer des erreurs. Ensuite, des profils perpendiculaires de 5 mètres chacun sont créés tous les mètres à l'aide de l'outil « Cross profiles » du module SAGA-GIS. La particularité de cet outil est qu'il récupère de manière automatique les valeurs des altitudes des dalles du MNT. Ainsi on peut obtenir les altitudes des extrémités des profils perpendiculaires.

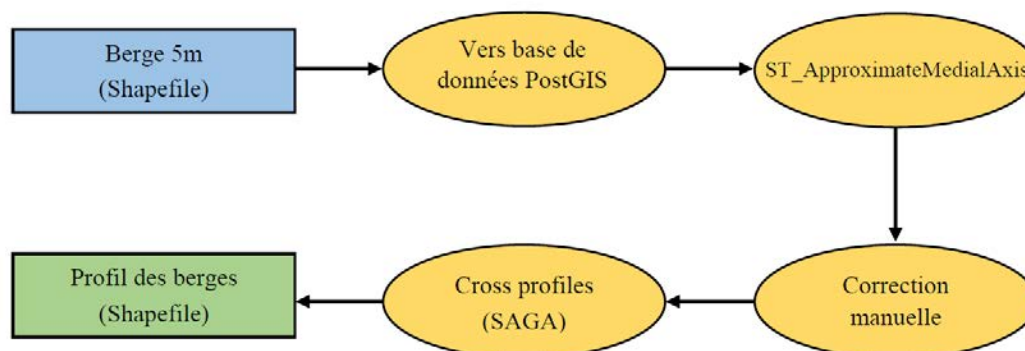


Figure 26 : Chaîne de traitements pour la création des profils des berges

Pour chaque dalle du MNT utilisée, des profils en travers sont créés. Il est donc nécessaire de les rassembler dans une seule et même couche Shapefile. Pour cela, la fonction « Fusionner les Shapefiles en un seul » a permis d'intégrer l'ensemble des profils dans une même couche (Figure 27). A l'aide de la calculatrice de champ, une soustraction entre les altitudes des extrémités amont et aval a été effectuée afin de connaître la différence d'altitude entre ces deux points. Une

l'intersection a ensuite été appliquée entre la couche de profils et la couche de berges pour récupérer les identifiants des annexes hydrauliques ainsi que les identifiants de berges (rive gauche ou rive droite). La moyenne des hauteurs de berges déterminées a ensuite été calculée pour chaque rive de chaque site à l'aide de l'outil « Group Stats ».

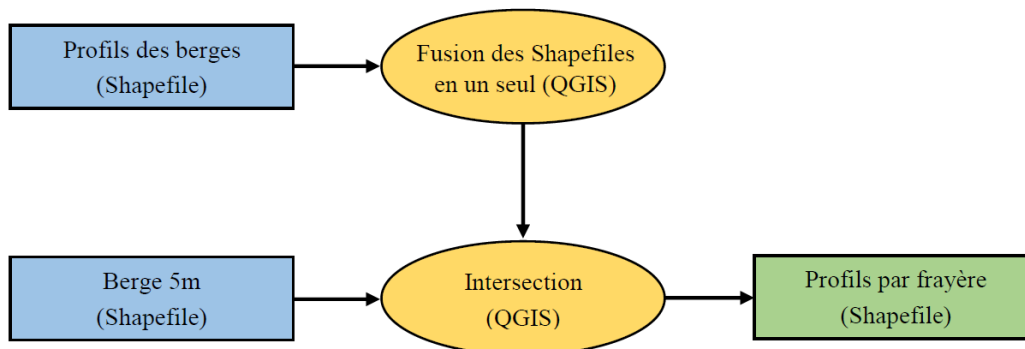


Figure 27 : Chaîne de traitements pour la fusion des profils des berges

III.3.3.3. Longueur des annexes fluviales

La longueur de l'annexe est un indicateur permettant de caractériser morphologiquement l'annexe hydraulique. Cette longueur se base sur la couche représentant la surface maximale des annexes hydrauliques. Tout comme pour le calcul des hauteurs de berges, la couche est intégrée dans une base de données PostGIS puis la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » est appliquée afin de tracer l'axe central des annexes fluviales. Des corrections manuelles sont ensuite effectuées afin de corriger des erreurs éventuelles. Une fois cette étape réalisée, la longueur des axes est calculée dans la table attributaire à l'aide de la calculatrice de champ et de la fonction « \$length ».

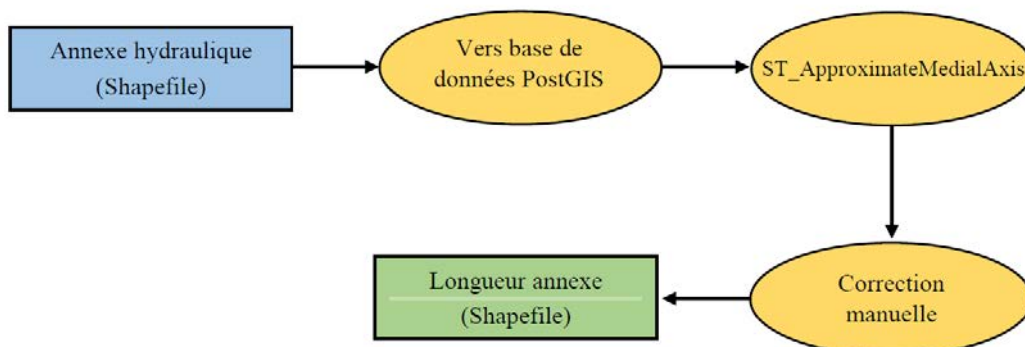


Figure 28 : Chaîne de traitements pour le calcul des longueurs des annexes fluviales

III.3.3.4. Largeur des annexes fluviales

Tout comme la longueur, la largeur moyenne de l'annexe permet d'apporter des informations supplémentaires sur la morphologie de l'annexe. Afin de calculer cette largeur moyenne, la couche des longueurs des annexes précédemment créée est reprise. L'outil « Cross profiles » est utilisé afin de tracer des profils perpendiculaire de 50 mètres tous les mètres (Figure 29).

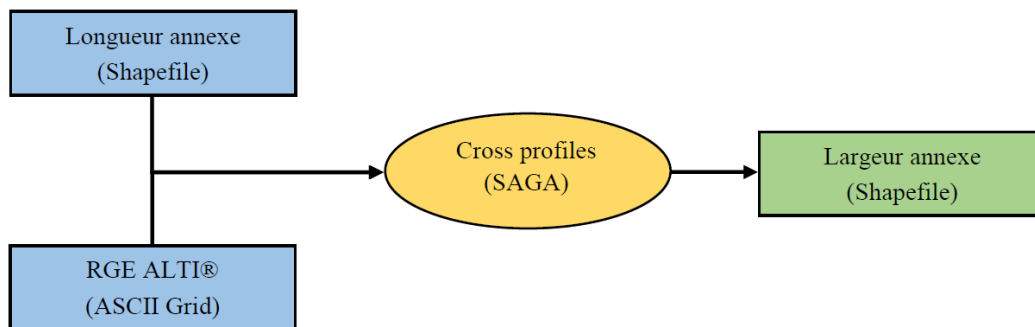


Figure 29 : Chaîne de traitements pour la création des profils en travers

Une fois les profils créés, ils sont fusionnés à l'aide de la fonction « Fusionner les Shapefiles en un seul ». Une intersection est ensuite réalisée avec la couche d'immersion des annexes hydrauliques à moyenne et haute eaux puis les éventuelles erreurs sont corrigées. Les longueurs de des profils sont ensuite calculées dans la calculatrice de champ grâce à la fonction « \$length ». La largeur moyenne de chaque annexe est, quant-à-elle, calculée à l'aide de l'extension « Group Stats ».

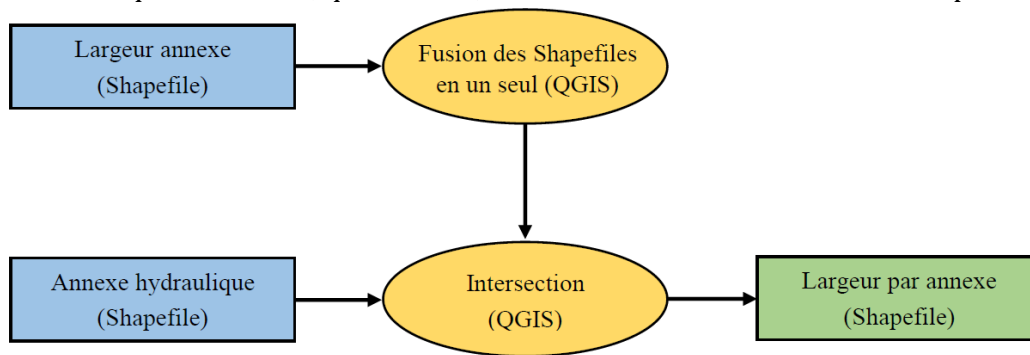


Figure 30 : Chaîne de traitements pour le calcul des largeurs des annexes hydrauliques

III.4. Hiérarchisation des annexes fluviales

III.4.1. Principes de hiérarchisation

La hiérarchisation des annexes fluviales est un des objectifs majeurs de cette étude. Elle conditionne notamment l'étude de 2018 en sélectionnant les sites à privilégier pour l'évaluation de leur fonctionnalité réelle et des aménagements possiblement réalisables.

Deux types de hiérarchisation ont été effectués :

- Evaluation du potentiel fonctionnel actuel de chaque site vis-à-vis de l'espèce repère : le brochet ;
- Evaluation du potentiel d'aménagement futur pour l'amélioration de la fonctionnalité de chaque annexe fluviale.

Pour chaque type de hiérarchisation, les annexes hydrauliques sont classées en cinq catégories d'importance (Tableaux V et IV). Ces hiérarchisations sont basées sur des critères évalués à l'aide de scores. Chaque critère peut prendre au maximum 5 scores différents (Tableau VI). Si un site obtient un score de -2 à un des critères, son potentiel est considéré comme Très Faible.

Tableau IV : Niveaux de potentiel fonctionnel

Score total	Niveau de potentiel
0	Très Faible
De 1 à 9	Faible
De 10 à 13	Moyen
De 14 à 15	Bon
De 16 à 17	Très Bon

Tableau VI : Niveaux de potentiel d'aménagement

Score total	Type de critère
0	Très Faible
De 1 à 9	Faible
De 10 à 11	Moyen
12	Bon
De 13 à 14	Très Bon

Tableau V : Niveaux de scores

Score	Type de critère
-2	Critère déclassant
-1	Critère défavorable
0	Critère neutre
1	Critère favorable
2	Critère déterminant

III.4.2. Potentiel fonctionnel actuel

Tableau VII : Les différents critères de hiérarchisation utilisés pour l'évaluation du potentiel écologique actuel vis-à-vis du brochet

Critère	Valeur	Score	Justification
Typologie	Plésiopotamon	-2	<ul style="list-style-type: none"> Totalement déconnecté du cours d'eau.
	Eupotamon	0	<ul style="list-style-type: none"> Zones d'eau courante.
	Confluence		
	Gravière connectée Parapotamon	2	<ul style="list-style-type: none"> Zones d'eau calme idéales pour la reproduction du brochet.
Connexion	Nulle	-2	<ul style="list-style-type: none"> Annexe complètement déconnectée.
	Amont et Aval	-1	<ul style="list-style-type: none"> Connexions souvent caractéristiques de milieux courant non favorables à la reproduction du brochet ; Ne permettent pas le réchauffement de l'eau alors que la température joue un rôle important pour la reproduction (LINDROTH, 1946 ; KIPLING & FROST, 1970).
	Amont	0	<ul style="list-style-type: none"> Ralentissement du courant ; Zone de dépôt des matières en suspension ou des embâcles (VECCHIO, 2010) ; Peut entraîner la déconnexion et/ou le colmatage de l'annexe (ADAM <i>et al.</i>, 2007).
	Aval ou Centrale	2	<ul style="list-style-type: none"> Permet de créer des zones d'eau stagnante aux températures augmentant facilement, et propice à la reproduction du brochet.
Morphologie de la connexion	Autre	0	<ul style="list-style-type: none"> Agit directement sur la fonctionnalité et le niveau de connectivité du site ; Plus la connexion est large et profonde, plus il est probable de trouver des juvéniles dans le bras-mort (RICHARDOT-COULET & GREENWOOD, 1993 ; PENCZAK <i>et al.</i>, 2003). <p>Ici la largeur moyenne correspond à la largeur moyenne de la surface en eau au débit Q_{DCHF5}</p>
	Largeur connexion \geq Largeur moyenne, et Hauteur connexion \geq 50 cm	1	
Situation	Moyenne Garonne	-1	<ul style="list-style-type: none"> Soumis à des changements hydrologiques dus au barrage de Malause (Annexe 2) ; Sites de fraie pouvant être inondés ou exondés à tout moment.
	Plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave	0	<ul style="list-style-type: none"> Non soumis à des marnages ; Ne permet pas le développement d'une végétation herbacée graminéoïde, support de ponte préférentiel du brochet (FABRICIUS & GUSTAFSON, 1958 ; DUBE & GRAVEL, 1978).
	Garonne débordante	2	<ul style="list-style-type: none"> Soumis à des marnages périodiques (Annexe 2).
Surface au débit Q_{DCHF5}	< 1000 m ²	-1	<p>Pour la reproduction du brochet, des surfaces en eau de 1000 m² à 2000 m² par femelle sont nécessaires (CHANCEREL, 2003).</p>
	De 1000 m ² à 5000 m ²	1	
	\geq 5000 m ²	2	

Surface à l'étiage	Surface étiage $\geq 90\%$ Surface Q_{DCHF5}	-1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nécessité de l'exondation en période d'étiage pour le développement des supports de ponte préférentiels du brochet ; ▪ Lorsqu'elles sont toujours en eau, les annexes hydrauliques offrent souvent de bonnes conditions d'accueil aux juvéniles et subadultes mais ne garantissent pas une production de brochetons (CHANCEREL, 2003).
	Surface étiage comprise entre 50% et 90% Surface Q_{DCHF5}	0	
	Surface étiage $< 50\%$ Surface Q_{DCHF5}	1	
Substrat	Grossier	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Des substrats grossiers sont caractéristiques d'eaux courantes, inadaptées à la reproduction du brochet ; ▪ Des substrats fins sont caractéristiques des eaux stagnantes.
	Fin	1	
Profondeur dominante de l'annexe fluviale	≤ 20 cm	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hauteurs d'eau de 20 cm à 1 m satisfaisantes ; ▪ Milieu moins productif si les profondeurs sont plus importantes (CHANCEREL, 2003).
	De 20 cm à 1 m	1	
	> 1 m	0	
Faciès de l'annexe hydraulique	Lotique	-1	Les annexes hydrauliques présentant uniquement des faciès lotiques ne sont pas adaptées car les œufs ne peuvent pas adhérer au substrat en zone courante.
	Lentique	1	
Morphologie des berges (hautes et pentues)	75-100% de l'annexe	-1	<p>Sur des rives basses et en pente douce :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Implantation rapide de la végétation terrestre ; ▪ Augmentation des surfaces enherbées potentiellement submergeables (CHANCEREL, 2003). <p>Ici les classes de pourcentages indiquées correspondent au pourcentage des berges de l'annexe caractérisées par une pente forte ($> 30\%$) et des hauteurs importantes (supérieure à 2,5 mètres).</p>
	50-75%	0	
	25-50%	1	
	0-25%	2	
Turbidité	Opaque	-1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Influence le développement végétal et planctonique ; ▪ Peut être néfaste pour la ponte (HASSLER, 1977) ; ▪ Peut refléter un risque de colmatage (et potentiellement d'anoxie) ou bien une productivité intéressante.
	Trouble	0	
	Machée		
	Claire	1	
Ensoleillement	< 3	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet le développement du plancton et de la végétation aquatique ; ▪ Permet des températures d'incubation idéales pour la reproduction du brochet.
	≥ 3	1	
Type de végétation	Algues filamenteuses	-1	<ul style="list-style-type: none"> • Inadaptée pour la reproduction du brochet ; • Peut être un signe d'eutrophisation du milieu. • Potentiellement utilisable par le brochet mais efficacité de la reproduction limitée. • Support végétal moins apprécié que les graminoides ; • Néanmoins utilisé par le brochet (BRY, 1996, SOUCHON, 1983). • Support végétal préférentiel pour la ponte (DUBE & GRAVEL, 1978 ; SOUCHON, 1983).
	Débris végétaux	0	
	Chevelus racinaires	1	
	Hydrophytes		
	Hélophytes		
Graminoides	2		

Surface de végétation	< 100 m ²	-1	<ul style="list-style-type: none"> • Surface occupée par la végétation primordiale pour la reproduction du brochet ; • Chaque femelle fractionne sa ponte sur une surface d'au moins 100 m² (CHANCEREL, 2003)
	De 100 m ² à 200 m ²	0	
	De 200 m ² à 500 m ²	1	
	> 500 m ²	2	
Obstacles	Passage difficile voire impossible	-1	Les obstacles peuvent entraîner des difficultés à accéder à tout ou partie de l'annexe.
	Aucun	0	

III.4.3. Potentiel d'aménagement futur

Tableau VIII : Les différents critères de hiérarchisation utilisés pour l'évaluation du potentiel d'aménagement futur

Critère	Valeur	Score	Justification
Gestion	Oui	-1	Ici le potentiel d'aménagement futur est évalué vis-à-vis de la FDAAPPMA 82. Ainsi les annexes hydrauliques déjà en gestion présentent un intérêt plus faible pour la mise en place de projets de restauration par la FDAAPPMA 82.
	Non	0	
Situation	Moyenne Garonne	-2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secteur soumis à de brusques changements hydrologiques dus au barrage de Malause ; ▪ Sites de fraie pouvant être inondés ou exondés à tout moment.
	Plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secteur non soumis à des marnages ; ▪ Ne permet pas le développement de la végétation herbacée graminéoïde.
	Garonne débordante	2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secteur soumis à des marnages périodiques.
Typologie	Autres	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zones soumises à des eaux courantes.
	Plésiopotamon	1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Types d'annexes non connectées au cours d'eau ; ▪ Leur aménagement pourrait permettre le gain de surfaces de fraie pour le brochet.
	Parapotamon	2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zones idéales pour la reproduction du brochet, à privilégier pour l'aménagement.
Connexion	Autres	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connexions à l'origine de zones soumises à des eaux courantes.
	Nulle	1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non connectées au cours d'eau ; ▪ Une réouverture de connexion peut être envisagée.
	Aval ou Centrale	2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet de créer des zones d'eau stagnante aux températures augmentant facilement, et propice à la reproduction du brochet.
Surface au débit Q_{DCHF5}	< 1000 m ²	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Des surfaces en eau de 1000 m² à 2000 m² par femelle sont nécessaires (CHANCEREL, 2003) ; ▪ Peu d'intérêt donc si la surface est inférieure à 1000 m² ; ▪ Intérêt important pour l'aménagement si les surfaces sont supérieures à 2000 m².
	De 1000 m ² à 2000 m ²	1	
	>= 2000 m ²	2	




Faciès de l'annexe hydraulique	Lotique	-1	Les faciès lenticques (eaux calmes) sont les plus adaptés pour la reproduction du brochet. Les aménagements sont donc à privilégier sur des annexes fluviales présentant ce type de faciès.
	Lenticque	1	
Surface maximale de l'annexe fluviale	Surface $Q_{DCHF5} > 50\%$ Surface maximale	0	Cet indicateur est important puisqu'il permet de connaître d'une part la surface maximale aménageable et d'autre part le pourcentage de surface occupé par l'eau.
	Surface $Q_{DCHF5} \leq 50\%$ Surface maximale	1	
Substrat	Grossier	0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Des substrats grossiers sont caractéristiques d'eaux courantes, inadaptées à la reproduction du brochet ; ▪ Des substrats fins sont caractéristiques des eaux stagnantes.
	Fin	1	
Obstacles	Obstacles importants	-1	Des sites présentant des obstacles importants tels que des buses ou des vannes ont un intérêt d'aménagement plus faible que des sites n'en présentant aucun.
	Embâcles	0	
	Bouchon vaseux	0	
	Aucun	1	
Aménagement antérieur	Oui	0	Les annexes fluviales qui ont été aménagées, par le passé, afin de regagner une partie de leur fonctionnalité ne sont pas à privilégier pour un réaménagement par la FDAAPPMA du Tarn-et-Garonne.
	Non	1	
APPB	Oui	0	Les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotopes imposent des restrictions et notamment l'interdiction de réaliser certains travaux d'aménagements tels que l'abatage d'arbres ou la modification des conditions hydrauliques en place. L'APPB de protection des poissons migrateurs n'est pas intégré à cette hiérarchisation puisqu'il concerne l'ensemble des annexes fluviales identifiées.
	Non	1	
Espaces Boisés Classés	Oui	0	Les EBC imposent tout comme les APPB des restrictions concernant la coupe et l'abattage d'arbres. Pour effectuer ces travaux, il est nécessaire d'effectuer une demande d'autorisation.
	Non	1	

III.5. Fiche type de l'atlas

Niveaux du potentiel fonctionnel et du potentiel d'aménagement

Localisation de l'annexe fluviale (commune, lieu-dit, rive)

Nom de l'annexe fluviale

Zoom sur l'annexe fluviale

Légende

Morphologie

Contexte hydromorphologique :
 Situation par rapport à la Garonne :
 Longueur : _____ Largeur moyenne : _____
 Surface maximale : _____
 Surface au QDCHF5 : _____
 Surface à l'étiage : _____
 Hauteur d'eau dominante : _____

Température, Ensoleillement et Turbidité

Différence entre l'annexe et la Garonne : _____
 Ensoleillement : _____ Turbidité : _____

Substrat

Dominant : _____ Secondaire : _____


Berges de la zone en eau

Hauteur rive gauche : _____ Hauteur rive droite : _____
 Pente douce % de
 Pente moyenne % de
 Pente forte % de

Végétation immergée (avril/mai)

Graminoïdes	% de recouvrement
Hélophytes	% de recouvrement
Hydrophytes	% de recouvrement
Chevelus racinaires	% de recouvrement
Débris végétaux	% de recouvrement
Algues filamenteuses	% de recouvrement

Echelle _____



Typologie

Connexion (au QDCHF5)

Type de la connexion : _____
 Largeur aval ou centrale : _____ Profondeur aval ou centrale : _____
 Largeur amont : _____ Profondeur amont : _____
 Obstacles : _____

Espaces naturels remarquables

ZPS : _____
 ZSC : _____
 ZNIEFF 1 : _____
 ZNIEFF 2 : _____
 ZICO : _____
 APPB : _____
 ENS : _____
 ZH : _____

Habitats CORINE Biotopes (CBNPMP)

**Localisation
de l'annexe
fluviale sur la
Garonne**

N°

Figure 31 : Page 1 type de l'atlas des annexes fluviales

Potentiel fonctionnel actuel		Potentiel d'aménagement futur	
Critère	Score	Critère	Score
Type d'annexe	Valeur	Gestion	Valeur
Type de connexion	Valeur	Situation hydromorphologique	Valeur
Morphologie de la connexion	Valeur	Type d'annexe	Valeur
Situation hydromorphologique	Valeur	Type de connexion	Valeur
Surface au débit QDCHF5	Valeur	Surface au débit QDCHF5	Valeur
Surface à l'étiage	Valeur	Faciès de l'annexe	Valeur
Substrat	Valeur	Surface maximale	Valeur
Profondeur dominante	Valeur	Substrat	Valeur
Faciès de l'annexe	Valeur	Obstacles	Valeur
Morphologie des berges	Valeur	Aménagement antérieur	Valeur
Turbidité	Valeur	APPB	Valeur
Ensoleillement	Valeur	Espaces Boisés Classés	Valeur
Type de végétation	Valeur		
Surface de végétation	Valeur		
Obstacles	Valeur		

Niveau de potentiel	<div style="width: 10%; height: 10px; background-color: #4CAF50;"></div>
---------------------	--

Niveau de potentiel	<div style="width: 10%; height: 10px; background-color: #4CAF50;"></div>
---------------------	--

Gestion

Activités humaines

Photo 1

Photo 2

Commentaires

N°

Figure 32 : Page 2 type de l'atlas des annexes fluviales

IV. RESULTATS

IV.1. Les annexes fluviales identifiées

Dans le cadre de ce travail, 60 annexes fluviales ont été identifiées sur la Garonne (Figure 33). Parmi ces annexes, on retrouve :

- 29 bras-morts ou parapotamon ;
- 19 bras-vifs ou eupotamon ;
- 13 bras déconnectés ou plésiopotamon ;
- 1 gravière connectée et 1 zone de confluence.

Localisation des annexes fluviales recensées sur la Garonne dans le Tarn-et-Garonne

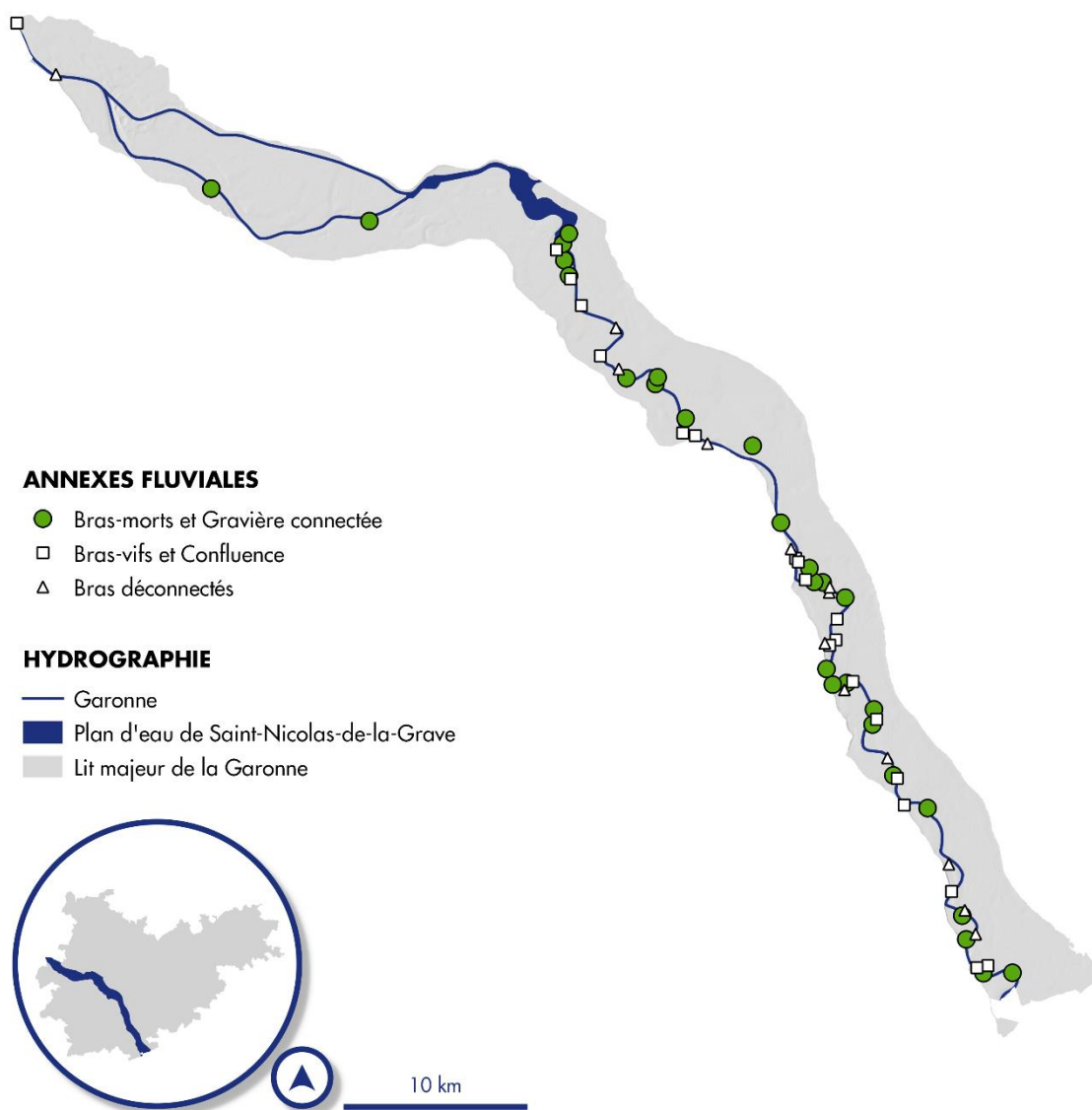


Figure 33 : Localisation des annexes fluviales de la Garonne

IV.2. Les hiérarchisations

Tableau IX : Tableau des scores du potentiel fonctionnel actuel

Nom de l'annexe	Score	Potentiel
Bras-mort de Brégnaygue	17	Très Bon
Bras-mort de Mauvers	17	Très Bon
Bras-mort de Saint-Pierre	17	Très Bon
Bras-mort de la Briffe	17	Très Bon
Bras-mort de l'Îlé	17	Très Bon
Bras-mort de la Picone	17	Très Bon
Bras-mort de Lascoufignes	16	Très Bon
Bras-mort de l'Ilôt	16	Très Bon
Bras-mort de l'Île Lizoun	15	Bon
Bras-mort de Larengade	15	Bon
Bras-mort de Terride	15	Bon
Bras-mort de Pescay	14	Bon
Bras-mort de le Vernet	14	Bon
Bras-mort de l'Espinassie	14	Bon
Bras-mort de le Pontet	14	Bon
Ancienne gravière de RUP	14	Bon
Bras-mort de Terre Fort	14	Bon
Bras-mort de Pupille	13	Moyen
Bras-mort du Champ de l'Aze	13	Moyen
Confluence de la Nadesse	13	Moyen
Bras-vif de Pescay	13	Moyen
Bras-mort de l'Ilôt de Granes	13	Moyen
Bras-mort de les Dittes	13	Moyen
Bras-vif de Mauvers	12	Moyen
Bras-vif de Sabatou	12	Moyen
Bras-mort de Granes	12	Moyen
Bras-vif de la Cassine	12	Moyen
Bras-mort de la Contreste	11	Moyen
Bras-mort de Sabatou	10	Moyen

Nom de l'annexe	Score	Potentiel
Bras-mort de Couchet	9	Faible
Bras-vif de Moncassy	7	Faible
Bras-vif de Bourret	7	Faible
Bras d'alimentation de la C.A.C.G.	6	Faible
Bras-mort de l'Île de Merles-Montardon	6	Faible
Petit bras-vif de Mauvers	5	Faible
Bras-vif de la Contreste	5	Faible
Bras-vif de Saint-Martin	4	Faible
Bras-vif de Saint-Cassian	4	Faible
Bras-vif du Champ du Prieur	4	Faible
Bras-vif de Fierard	4	Faible
Bras-vif de la Briffe	3	Faible
Bras-vif de la Fosse	3	Faible
Bras-vif de l'Île Doumerc	3	Faible
Bras-vif de Belleperche	3	Faible
Bras-vif de la Barraque-Belleperche	3	Faible
Bras-vif de Pech de Vila	2	Faible
Bras-vif de Laspeyres	1	Faible
Ancien bras de Fabas	0	Très Faible
Ancien bras de Saugnac	0	Très Faible
Ancien bras de Guiraudis	0	Très Faible
Ancien bras de Labat	0	Très Faible
Ancien bras de Sabatou	0	Très Faible
Ancien bras de Saint-Cassian	0	Très Faible
Ancien bras de Granes	0	Très Faible
Ancien bras de Lagravette	0	Très Faible
Ancien bras de l'Île Doumerc	0	Très Faible
Ancien bras de Belleperche	0	Très Faible
Ancien bras de Maniou	0	Très Faible
Ancien bras de Très-Cassés	0	Très Faible
Ancien bras de Ribet	0	Très Faible

Tableau X : Tableau des scores du potentiel d'aménagement futur

Nom de l'annexe	Score	Potentiel
Bras-mort de Brégnaygue	14	Très Bon
Bras-mort de l'Îlé	14	Très Bon
Bras-mort de la Picone	14	Très Bon
Bras-mort de le Pontet	14	Très Bon
Bras-mort de la Briffe	13	Très Bon
Bras-mort de le Vernet	13	Très Bon
Bras-mort de Larengade	13	Très Bon
Bras-mort de l'Ilôt	13	Très Bon
Bras-mort de Mauvers	12	Bon
Bras-mort de Saint-Pierre	12	Bon
Bras-mort du Champ de l'Aze	12	Bon
Bras-mort de Pescay	12	Bon
Bras d'alimentation de la C.A.C.G.	12	Bon
Bras-mort de Granes	12	Bon
Bras-mort de l'Île Lizoun	12	Bon
Bras-mort de les Dittes	12	Bon
Bras-mort de Lascouignes	12	Bon
Bras-mort de Terride	12	Bon
Bras-mort de Terre Fort	12	Bon
Bras-mort de Pupille	11	Moyen
Ancien bras de Fabas	11	Moyen
Ancien bras de Guiraudis	11	Moyen
Confluence de la Nadesse	11	Moyen
Ancien bras de Labat	11	Moyen
Bras-mort de Sabatou	11	Moyen
Ancien bras de Granes	11	Moyen
Bras-mort de l'Ilôt de Granes	11	Moyen
Ancien bras de Belleperche	11	Moyen
Ancien bras de Très-Cassés	11	Moyen
Bras-mort de l'Espinassie	10	Moyen

Nom de l'annexe	Score	Potentiel
Ancien bras de l'Île Doumerc	10	Moyen
Ancien bras de Maniou	10	Moyen
Bras-mort de la Contreste	10	Moyen
Ancienne gravière de RUP	10	Moyen
Bras-vif de Mauvers	9	Faible
Bras-vif de Pescay	9	Faible
Ancien bras de Lagravette	9	Faible
Bras-vif de Sabatou	8	Faible
Bras-vif de la Cassine	8	Faible
Ancien bras de Saugnac	7	Faible
Bras-vif de Saint-Martin	7	Faible
Bras-vif de la Briffe	7	Faible
Ancien bras de Sabatou	7	Faible
Ancien bras de Saint-Cassian	7	Faible
Bras-vif de la Fosse	7	Faible
Bras-vif de l'Île Doumerc	7	Faible
Bras-vif de Belleperche	7	Faible
Bras-vif de la Barraque-Belleperche	7	Faible
Bras-vif du Champ du Prieur	7	Faible
Bras-vif de Fierard	7	Faible
Bras-vif de la Contreste	7	Faible
Petit bras-vif de Mauvers	6	Faible
Bras-vif de Moncassy	6	Faible
Bras-vif de Saint-Cassian	5	Faible
Bras-vif de Pech de Vila	4	Faible
Bras-vif de Bourret	4	Faible
Bras-mort de l'Île de Merles-Montardon	0	Très Faible
Bras-mort de Couchet	0	Très Faible
Ancien bras de Ribet	0	Très Faible
Bras-vif de Laspeyres	0	Très Faible

IV.3. Exemples de fiches de l'atlas



Figure 34 : Exemple de fiche de l'atlas (page 1)

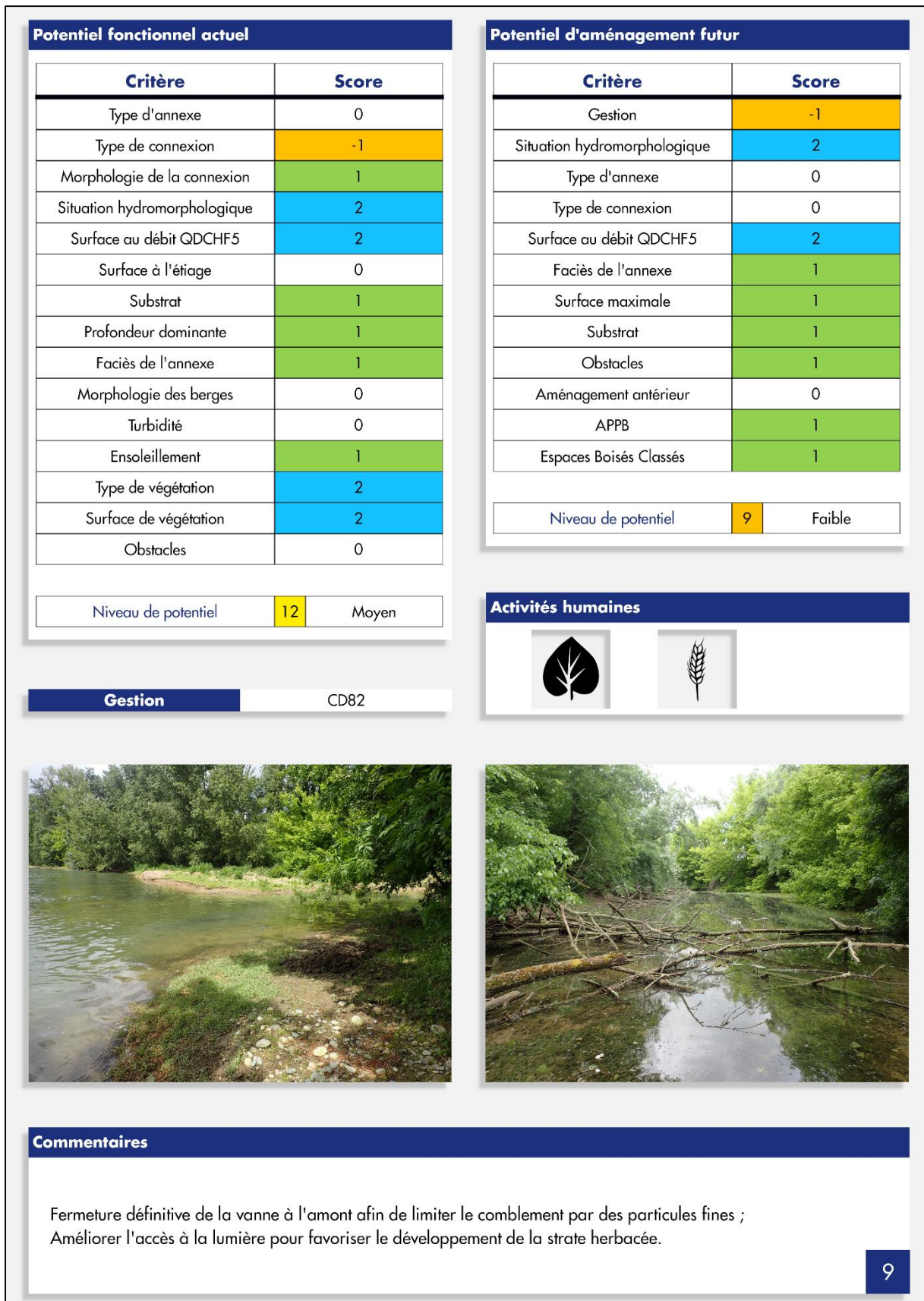


Figure 35 : Exemple de fiche de l'atlas (page 2)

IV.4. Les données créées

Dans le cadre de ce travail, 3 types de données ont été produites :

- Ensemble des annexes fluviales (Tableau XI) ;
- Annexes fluviales en eau au débit Q_{DCHF5} (Tableau XII);
- Annexes fluviales à l'étiage (Tableau XIII).

Le système de coordonnées de l'ensemble des données est le Lambert 93 (EPSG : 2154) et l'encodage l'UTF-8.

Tableau XI : tableau des attributs de la couche des annexes fluviales

Définition	Surface de la dépression topographique de chaque annexe fluviale	
Géométrie	Multi polygone	
Attributs	ID	Identifiant de l'annexe fluviale
	NOM	Nom de l'annexe fluviale
	PROSPECT	Date de la visite de terrain
	METEO	Météo lors de la visite de terrain
	SITUATION	Situation hydromorphologique
	COMMUNE	Commune
	LIEU-DIT	Lieu-dit le plus proche
	RIVE	Rive de la Garonne
	TYPO	Typologie de l'annexe fluviale
	SURF_MAX	Surface maximale de la dépression topographique
	SURF_DCHF5	Surface en eau au débit Q_{DCHF5}
	SURF_ETE	Surface en eau à l'étiage
	LONGUEUR	Longueur de l'annexe fluviale
	LARGEUR_AH	Largeur moyenne de l'annexe fluviale
	T_AH	Température de l'annexe fluviale
	T_CE	Température de la Garonne à proximité
	DIFF_T	Différence de température
	TURBIDITE	Turbidité de l'eau dans l'annexe fluviale
	SOLEIL	Indice d'ensoleillement
	CONNEXION	Type de connexion
	OBSTACLE	Obstacles à la connexion ou dans l'annexe fluviale
	SUBSTRAT1	Substrat dominant
	SUSBRAT2	Substrat secondaire
	H_AH	Profondeur dominante dans l'annexe
	H_AVAL	Profondeur dominante au niveau de la connexion avale
	H_AMONT	Profondeur dominante au niveau de la connexion amont
	LARGEUR_AV	Largeur de la connexion avale
	LARGEUR_AM	Largeur de la connexion amont
	P_DOUCE	Pourcentage de pente douce à proximité de la surface en eau
	P_MOY	Pourcentage de pente moyenne proche de la surface en eau
	P_FORTE	Pourcentage de pente forte proche de la surface en eau
	HAUTEUR_RG	Hauteur moyenne de la rive gauche
	HAUTEUR_RD	Hauteur moyenne de la rive droite
	GRAM	Pourcentage de recouvrement par des graminoides
	HEL	Pourcentage de recouvrement par des héliophytes
	HYD	Pourcentage de recouvrement par des hydrophytes
	RAC	Pourcentage de recouvrement par du chevelu racinaire
	DEB	Pourcentage de recouvrement par des débris végétaux
	ALG	Pourcentage de recouvrement par des algues filamenteuses
	FACIES_AH	Faciès dans l'annexe fluviale
	FACIES_CE	Faciès de la Garonne

HOM_1	Activité humaine 1 à proximité
HOM_2	Activité humaine 2 à proximité
HOM_3	Activité humaine 3 à proximité
OBS	Observations diverses
GESTION	Structure gestionnaire de l'annexe fluviale
AMENAGE	Aménagement antérieur de l'annexe fluviale
ZPS	Zone de protection spéciale
ZSC	Zone spéciale de conservation
ZICO	Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux
ZNIEFF1	Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique et Faunistique (I)
ZNIEFF2	Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique et Faunistique (II)
APPB	Arrêté Préfectoral de Protection de Biotopes
ENS	Espace Naturel Sensible
ZH_82	Zone humide du Tarn-et-Garonne
POT_FON	Potentiel fonctionnel
POT_AME	Potentiel d'aménagement

Tableau XII : tableau des attributs de la couche des annexes fluviales en eau au débit Q_{DCHF5}

Définition	Surface en eau au débit Q_{DCHF5} des annexes fluviales	
Géométrie	Multi polygone	
Attribut	ID	Identifiant de l'annexe fluviale
	NOM	Nom de l'annexe fluviale
	SURF_DCHF5	Surface de l'annexe fluviale

Tableau XIII : tableau des attributs de la couche des annexes fluviales à l'étiage

Définition	Surface en eau à l'étiage des annexes fluviales	
Géométrie	Multi polygone	
Attribut	ID	Identifiant de l'annexe fluviale
	NOM	Nom de l'annexe fluviale
	SURF_ETE	Surface de l'annexe fluviale

V. DISCUSSION

V.1. Méthode d'identification des annexes fluviales

La méthode d'identification des annexes fluviales basée sur l'utilisation d'un MNT s'est avérée efficace. Elle a permis d'identifier et de recenser l'ensemble des annexes fluviales sur les différents tronçons de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne : Garonne débordante, plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grace et Moyenne Garonne.

Lors de la phase d'identification, les données issues des travaux de la FDAAPPMA 82 (PAULY, 2007 ; SABRIE, 2014) mais aussi d'autres structures (DDE 82, 1997 ; SMEAG, 2013) ont permis de valider certains des résultats obtenus par SIG. Les autres résultats ont été validés soit à l'aide des orthophotos de l'IGN, soit lors de la phase de prospections.

La qualité de la méthode d'identification des annexes fluviales choisie a reposé en grande partie sur la qualité du MNT utilisé. Pour cette étude, l'identification a été effectuée à l'aide du RGE ALTI® de l'IGN. Ce dernier présente un pas de 1 mètre et une précision altimétrique de 0,2 mètres pour le lit majeur de la Garonne. Cette précision altimétrique peut être moins fine pour d'autres zones du département. Ainsi le niveau de précision a permis de localiser et de délimiter de façon précise les annexes fluviales de la Garonne. En effet, sur le tronçon étudié, la Garonne et ses annexes fluviales présentent la particularité d'être très incisées. Elles sont donc entourées de berges souvent hautes et abruptes, facilement détectables par la méthode d'identification choisie.

Les annexes hydrauliques de la Garonne partagent également une autre caractéristique. Elles sont souvent fermées par une strate arborée et sont donc, pour certaines, difficilement identifiables par simple photointerprétation d'images aériennes. L'intérêt de la méthode de détection des dépressions topographiques est qu'elle est applicable malgré le couvert végétal. Elle est, néanmoins, dépendante de la qualité et de la précision du MNT utilisé. Sur le secteur d'étude, le RGE ALTI® est issu de données LIDAR. Bien que la pénétration du faisceau LIDAR puisse être limitée par le couvert végétal, il est capable de le traverser et de rendre compte de façon acceptable la topographie située sous la végétation. Les dépressions topographiques situées sous le couvert végétal ont donc pu être identifiées malgré tout. Toutefois, il est arrivé que quelques dépressions topographiques détectées par la méthode retenue n'étaient en réalité que des erreurs d'altitudes du MNT entre zone arborée et zone herbacée (Figure 34). Elles ont été exclues après validation à l'aide des photos aériennes de l'IGN.



Figure 36 : Erreurs de détection de dépressions topographiques

La méthode de détection des dépressions topographiques associée à la précision du MNT utilisé ont donc été bien adaptées au contexte particulier du site d'étude et ont permis un recensement des plus exhaustifs des annexes fluviales de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne.

V.2. Méthode de caractérisation des annexes fluviales

V.2.1. Période de prospection et paramètres relevés

Le printemps 2017 a été caractérisé par des niveaux d'eau très bas et l'été 2017 a été marqué par des étiages sévères (Figure 35). Ainsi les prospections du printemps (avril/mai) n'ont pas toujours eu lieu dans la gamme de débits fixés (Q_{DCHF5}) mais à des débits inférieurs. Par conséquent, les surfaces en eau de certaines des annexes fluviales ont pu être sous-estimées tout comme d'autres paramètres liés à l'hydrologie de la Garonne (largeur et profondeur de la connexion, profondeur dominante dans l'annexe...).

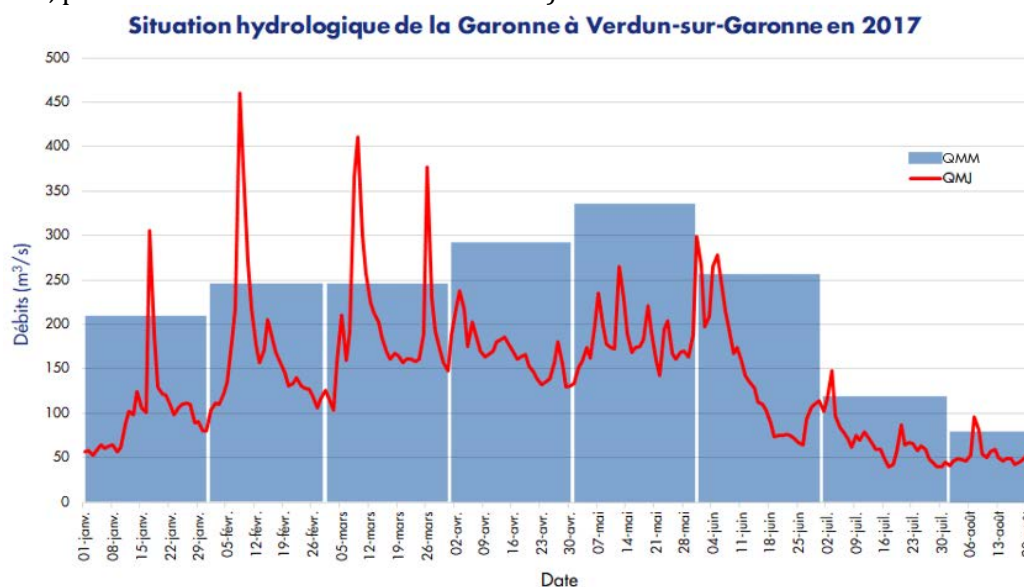


Figure 37 : Situation de la Garonne à Verdun-sur-Garonne en 2017 (Banque HYDRO)

La reproduction du brochet a lieu dès février et mars dans nos régions (SOUCHON, 1983). La période de prospection des annexes fluviales ne correspond donc pas exactement à la période de reproduction du brochet. Ceci peut être à l'origine de l'introduction d'un biais qu'en aux pourcentages de recouvrement de la végétation immergée présente sur chaque site. Néanmoins, elle reste un bon indicateur du type de végétation qui peut se développer dans chaque annexe fluviale. De plus, la phase de prospection n'aurait pas pu commencer plus tôt puisqu'elle nécessitait, premièrement, l'identification de l'ensemble des annexes fluviales du corridor garonnais dans le département du Tarn-et-Garonne et, deuxièmement, la préparation du protocole de relevés de paramètres sur le terrain. Cette phase de prospection des annexes fluviales s'est également étalée sur cinq semaines compte tenu du nombre important de sites (60 annexes fluviales) et des conditions hydrologiques de la Garonne. Sa durée a donc été supérieure à la durée de la période réelle de reproduction du brochet estimée à 40 jours pour la Garonne.

V.2.2. Indicateurs calculés

L'une des particularités de cette étude est de proposer des indicateurs calculés à l'aide de l'outil SIG : longueur et largeur moyenne des annexes fluviales, et hauteur et pente de leurs berges. Ces différents paramètres, difficilement mesurables avec précision et rapidité sur le terrain, permettent cependant de décrire morphologiquement les annexes hydrauliques.

Dans les études de la FDAAPPMA 82 de 2007 et 2014, l'évaluation de la morphologie des berges reposait sur des critères subjectifs difficilement exploitables (pentue, sapée...). Avec l'utilisation d'un MNT, les pentes et les hauteurs des berges à proximité de la zone en eau ont permis de décrire plus fidèlement les annexes fluviales. Ces paramètres ont également pu être intégrés à l'évaluation du potentiel fonctionnel dans le cadre de la hiérarchisation des sites. Néanmoins, tout comme la méthode de détection des dépressions topographiques, le calcul des pentes et des hauteurs de berges est dépendant de la qualité du MNT utilisé. Ainsi il est arrivé que les valeurs de ces indicateurs soient biaisées notamment dans des zones où le faisceau LIDAR ne traversait ni la couverture végétale ni l'eau (le RGE ALTI® n'ayant pas vocation à décrire le sol immergé, Figure 36).

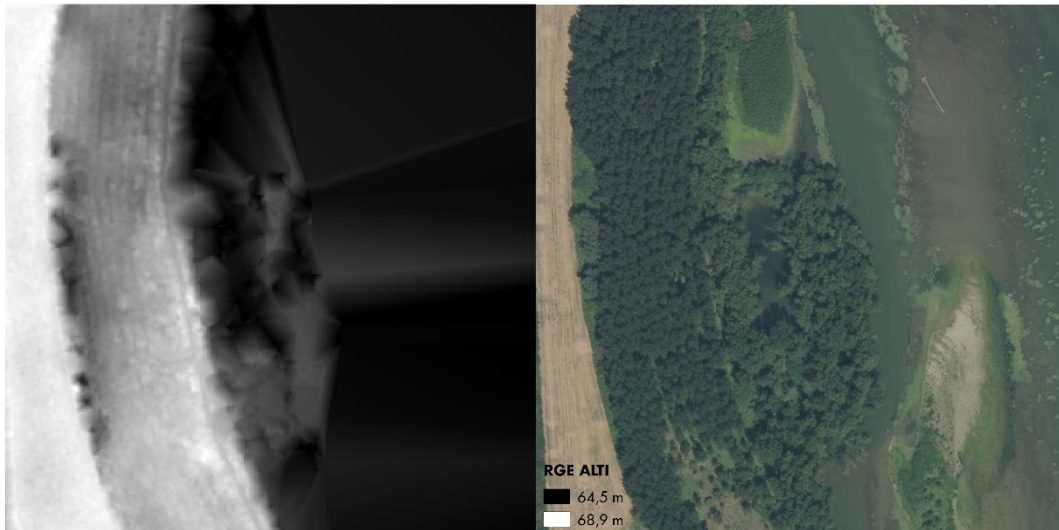


Figure 38 : Erreur du MNT liée à la couverture végétale et à l'eau

V.3. Méthode de hiérarchisation

Le protocole de terrain a été construit de façon à permettre la caractérisation rapide de la fonctionnalité de chaque annexe fluviale de la Garonne. Cette caractérisation devait permettre l'identification de sites d'intérêts nécessitant une étude plus approfondie, en 2018, de leur fonctionnalité vis-à-vis de la faune piscicole et en particulier du brochet.

La difficulté de mettre en place une méthode de hiérarchisation vient principalement de la manière d'attribuer des scores. En effet, ces scores doivent d'établir une hiérarchie la moins subjective possible. C'est pourquoi le choix a été fait de retenir une plage de valeur équivalente pour tous les critères (de -2 à 2) permettant de discriminer les annexes fluviales de la Garonne.

VI. CONCLUSION

S'inscrivant dans une étude plus large d'évaluation de la fonctionnalité de la Garonne vis-à-vis du brochet (*Esox lucius* L., 1758), cette première phase a répondu à différents objectifs que sont l'identification, la caractérisation et la hiérarchisation des annexes fluviales de la Garonne dans le département du Tarn-et-Garonne.

La méthode particulière d'identification des annexes fluviales par détection de dépressions topographiques a permis de recenser 60 annexes hydrauliques sur la Garonne dans le département du Tarn-et-Garonne. Ces zones humides péri-fluviales se répartissent, pour leur majorité, sur le tronçon « sauvage » de la Garonne appelé Garonne débordante.

Leur caractérisation a été réalisée au moyen de relevés de paramètres sur le terrain, dans des conditions hydrologiques spécifiques, ainsi qu'en utilisant des indicateurs calculés à partir des SIG. Cette caractérisation a conduit à la hiérarchisation des différents sites identifiés selon deux types de potentiels : un potentiel fonctionnel pour la reproduction du brochet et un potentiel d'aménagement futur.

Un atlas des annexes fluviales de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne a été créé pour synthétiser les résultats obtenus. Il servira de base à une étude, en 2018, visant à évaluer la fonctionnalité réelle et les possibilités d'aménagement des sites qualifiés comme ayant le plus fort potentiel écologique et aménageable.

VII. SOURCES CONSULTEES

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM P., DEBIAIS N. & MALAVOI J.-R. (2007). Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau. Typologie des opérations de restauration et éléments techniques. Agence de l'Eau Seine Normandie, 104p.
- ADAMUS P. R. & STOCKWELL L. T. (1983). A method for wetland functional assessment, Federal Highway Administration Report, US Department of Transportation, Washington DC, 181p.
- AEAG (2016a, b). – voir « AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE (2016a, b) ».
- AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE (2016a). Programme De Mesures du bassin Adour-Garonne 2016-2021. AEAG / ONEMA / DREAL, 192p.
- AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE (2016b). Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Adour-Garonne 2016-2021. AEAG / ONEMA / DREAL, 296p.
- ALLAN D. CASTILLO M. (2007). Stream Ecology: Structure and function of running waters, 2ed., Springer, 436p.
- AMOROS C. & PETTS G. E. (1993). Hydrosystèmes fluviaux. Collection d'écologie, Masson, Paris, 300p.
- ANTIPA G. (1911) Die biologie des inundationsgebietes der unteren Donau und des Dunaudeltas. Verhandlungen des VIII Internationalen Zoologen Kongresses zu Graz, 15-20: p163-208.
- ATELIER TECHNIQUE DES ESPACES NATURELS (1998). Guide méthodologique des documents d'objectif Natura 2000. Ministère de l'Aménagement du Territoire.
- ATEN (1998). – voir « ATELIER TECHNIQUE DES ESPACES NATURELS (1998) ».
- BALVAY G. (1983). L'alimentation naturelle des alevins de brochet (*Esox lucius* L.) durant leur premier mois de vie. In BILLARD R. (1983). Le brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage. INRA publication, Paris, p179-198.
- BATZER D. & BOIX D. (2016). Invertebrates in freshwater wetlands. An international perspective on their ecology. Springer, 189p.
- BEAUDELIN P. (1989). Conséquences de l'exploitation des granulats dans la Garonne. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, tome 60, fasc 4, p603-616.
- BELAUD A., BENGEND D. & LIM P. (1990). Approche de la structure du peuplement ichtyologique de six bras morts de la Garonne. Annales de Limnologie, 26(1) : p81-90.
- BENGEND D. (1992). Contribution à la typologie fonctionnelle des bras morts de la Garonne. Approches physico-chimique et ichtyologique. Thèse INP Toulouse. 124p.
- BILLARD R. (1996). Reproduction of pike: gametogenesis, gamete biology and early development. In CRAIG J. F. (1996). Pike: Biology and exploitation, Chapman and Hall, London, p13-43.
- BOUVRON M., TEILLAC-DESCHAMPS P., COREAU A. HERNANDEZ S., MEIGNIEN P., MORANDEAU D. & NUZZO V. (2010). Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France. Commissariat général au développement durable, Etudes & documents 20, 74p.
- BRGM (2007) – voir « BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (2007) ».
- BRINSON M. M., RHEINHARDT R. D., HAUER F. R., LEE L. C., NUTTER W. L., SMITH R. D. & WHIGHAM D. (1995). A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands. Wetlands Research Program Technical Report, US Army Corps of Engineers, 219p.
- BRY C. (1996). Role of vegetation in the life cycle of Pike. In CRAIG J. F. (1996). Pike: Biology and exploitation, Chapman and Hall, London, p45-68.
- BULÁNKOVÁ E. (1997). Dragonflies (Odonata) as bioindicators of environment quality. Biologia, Bratislava, 52(2): p177-180.
- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (2007). Atlas régional des zones humides de Guadeloupe – Inventaire de zones humides

- potentielles à partir de l'analyse du MNT. Rapport final. 32p.
- BUZAM S. & GOLAY N. (1992). La gravière, un habitat secondaire pour les associations pionnières alluviales et l'importance du Crapaud calamite (*Bufo calamita*) en tant que bio-indicateur de ce milieu. Actes de la Journée technique « Gestion et protection des amphibiens : de la connaissance à la prise en compte dans les aménagements ».
- CAPRA H., VALENTIN S. & BREIL P. (1995). Chroniques d'habitat et dynamique de populations de truite. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture 337/338/339 : p337-344.
- CARBINE W. F. & APPELGATE V. C. (1948). The movement and growth of marked Northern pike (*Esox lucius* L.) in Houghton lake and the Muskegon river (Mi., USA). Pap. Mich. Acad. Sci. 32 : p215-239.
- CARREL G. (1986). Caractérisation physico-chimique du Haut-Rhône français et de ses annexes : incidences sur la croissance des populations d'alevins. Thèse, Université Claude Bernard Lyon I, 144p.
- CASSELMAN J. M. & LEWIS C. A. (1996). Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53(1): p161-174.
- CHANCEREL F. (2003). Le brochet. Biologie et gestion. Collection Mise au point, CSP, 199p.
- COMPAGNAT P. & BARAN P. (2002). Fonctionnalité de trois frayères à brochets en Haute-Saône. CSP, 18p.
- COPP G. H. (1989). Electrofishing for fish larvae and 0+ juveniles: equipment modifications for increased efficiency with short fishes. Aquaculture & Fisheries Management 20: p177-186.
- COPP G. H. & PENAZ M. (1988). Ecology of fish spawning and nursery zones in the flood plain, using a new sampling approach. Hydrobiologia 169: 209-224.
- COTIN MARTINEZ J. (2012). Birds as bioindicators of pollution in aquatic and terrestrial environments. Thesis, Universitat de Barcelona, 327p.
- CUCHEROUSSET J. (2006). Rôle fonctionnel des milieux temporairement inondés pour l'ichtyofaune dans un écosystème sous contraintes anthropiques : approches communautaire, populationnelle et individuelle. Thèse, Université de Rennes I, 267p.
- DES CLERS S. & ALLARDI J. (1983). Efficacité de la reproduction naturelle et des repeuplements dans la Seine au niveau de Montereau *In* BILLARD R. (1983). Le brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage. INRA publication, Paris, p297-303.
- DDE 82 (1997). - voir « DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE TARN-ET-GARONNE (1997) ».
- DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE TARN-ET-GARONNE (1997). La réouverture des bras morts de la Garonne. Section comprise entre la limite avec le département de la Haute-Garonne et le confluent avec le Tarn. Dossier 1 : Diagnostic de l'état actuel ; Dossier 2 : Schéma de réouverture. Archives de la DDE Tarn-et-Garonne.
- DUBE J. & GRAVEL Y. (1978). Plan pilote d'aménagement intégré des ressources biologiques du territoire de la fraysère du ruisseau Saint-Jean, comté de Châteauguay, Québec. Ministère du tourisme, de la chasse et de la pêche, service de la recherche biologique (Montréal), 52p.
- DUBOST N. & VAUCLIN V. (2004). Etude des déplacements et des migrations du brochet (*Esox lucius* L.) par radiopistage dans l'Ille (1997-2000). Bureau d'études Dubost Environnement, 56p.
- 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. Etude et Gestion des Sols, 7(3): p207-218.
- DURAND P., GASCUEL-ODOUX C., KAO C. & MEROT P. (2000). Une typologie hydrologique des petites zones humides ripariennes.
- FABRICIUS E. & GUSTAFSON K. J. (1958). Some new observations on thye spawning behavior of the pike (*Esox lucius* L.) Ann. Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 39: p23-54.
- 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. Rapport de stage, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 102p.
- FAGO D. M. (1977). Northern pike production in managed spawning and rearing marshes. Tech. Bull. Wisc. Dep. Nat. Resour. 96: p1-30.
- FDAAPPMA 82 (2014). - voir « FEDERATION DEPARTEMENTALE DES ASSOCIATIONS AGREES POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES DE TARN-ET-GARONNE (2014) ».

- FEDERATION DEPARTEMENTALE DES ASSOCIATIONS AGREES POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES DE TARN-ET-GARONNE (2014). Plan Départemental pour la Protection des milieux aquatiques et la Gestion des ressources piscicoles du Tarn-et-Garonne. Plan des actions nécessaires 2014-2018. 149p.
- FINLAYSON C. M. & MOSER M. (1991). Wetlands. Facts on file LTD. Oxford, 224p.
- FRANKLIN D. R. & SMITH L. L. (1963). Early life history of the Northern Pike, *Esox lucius* L., with special reference to factors influencing the numerical strength of year classes. Trans. Am. Fish. Soc. 92: p91-110.
- FRITZELL E. K. (1988). Mammals and wetlands. In The ecology and management of wetlands. Springer, p213-226.
- FROST W. E. (1954). The food of pike *Esox lucius* L. in Windermere. J. Anim. Ecol. 23(2): p339-360.
- FROST W. E. & KIPLING C. (1967). A study of reproduction, early life, weight-length relationship and growth of pike, *Esox lucius* L. in Windermere. J. Animal. Ecol. 36: p651-693.
- GALHARAGUE J., ROBERT J., SAUVESTRE M. & MIEUSSENS C. (1980). Ressources en sables et graviers de la vallée de la Garonne dans le département de Tarn-et-Garonne. Centre d'études techniques de l'équipement du Sud-Ouest / BRGM, 47p.
- GAO B.-C. (1996). NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. Remote Sensing of Environment 58: p257-266.
- GEODES-GEOLOGUES CONSEILS (2006). Etude de la dynamique fluviale de la Garonne en amont du plan d'eau de St Nicolas de la Grave. Rapport décembre 2006. DDE 82, 65p + annexes.
- GIRET A. (2013). Crues et étiages en France au XX^{ème} siècle. Entre nature et aménagements. L'Harmattan, Paris, 280p.
- GODREAU V., BORNETTE G., FROCHOT B., AMOROS C., CASTELLA E., OERTLI B. CHAMBAUD F., OBERTI D. & CRANEY E. (1999). Biodiversity in the floodplain of Saône: a global approach. Biodiversity and conservation 8: p839-864.
- GRIMM M. P. & KLINGE M. (1996). Pike and some aspects of its dependence on vegetation. In CRAIG J. F. (1996). Pike: Biology and exploitation, Chapman and Hall, London, p125-156.
- GROOM M. J., MEFFE G. K. & CARROLL R. C. (2006). Principles of conservation biology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, 779p.
- HASSLER T. J. (1970). Environmental influences on early development and year-class strength of northern pike in Lakes Oahe and Scharpe, South Dakota. Trans. Am. Fish. Soc. 99: p369-375.
- HENRY C. P. & AMOROS C. (1995). Restoration ecology of riverine wetlands: I. A scientific base. Environmental Management Vol 19, No 6, p891-902.
- HOLCIK J. (1988). Influence of hydrological regime and water temperature on the activity and population density of fishes in the anabranches of the Danube. Prace Laboratoria rybarstva a hydrobiologie 6: p33-58.
- HUET M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweitz. Z. Hydrol. II(3-4) : p332-351.
- HUNT B. P. & CARBINE W. F. (1951). Food of young pike, *Esox lucius* L., and associated fishes in Peterson's ditches, Houghton Lake, Michigan. Trans. Am. Fish. Soc. 80: p67-83.
- ILLIES J. & BOTOSANEANU L. (1963). Problème et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout du point de vue faunistique. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 12 : p1-57.
- INSKIP P. D. (1982). Habitat suitability index models: northern pike. Whashington DC, US Dept Interior, Fish wildlife serv, (FWS/OBS – 82/10.17), 40p.
- JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVAILHES J., HILAL M. & WAVRESKY P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. Cybergeo: European Journal of Geography, cartographie, imagerie, SIG, 26p.
- KARAS P. & LEHTONEN H. (1993). Patterns of movement and migration of pike (*Esox lucius* L.) in the Baltic sea. Nordic J. Freshwat. Res. 68: p72-79.
- KEITH P. & DORSON M. (2003). Le Brochet : *Esox lucius* Linné, 1758. In PASCAL M., LORVELEC O., VIGNE J.-D., KEITH P. & CLERGEAU P. (2003). Evolution holocène de la faune de Vertébrés

- de France : invasions et extinctions. INRA / CNRS / MNHN. Rapport au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Paris, France, p127-128.
- KEITH P., PERSAT H., FEUNTEUN E. & ALLARDI J. (2011). Les poisons d'eau douce de France. Collection inventaires & biodiversité, Biotope/MNHN, 552p.
- KOED A., BALLEBY K., MEJLHEDE P. & AARESTRUP K. (2006). Annual movement of adult pike (*Esox lucius* L.) in a lowland river. Ecol. Freshwat. Fish. 15: p191-199.
- KREUTZENBERGER K., LÉONARD A., AUGU H. & ZEGEL P. (2014). Référentiel des Obstacles à l'Écoulement : Descriptif de contenu. Version 6.0, ONEMA, 30p.
- KUCSKA B., MULLER T., SARI J. BODIS M. & BERCSENYI M. (2005) Successful growth of pike fingerlings (*Esox lucius* L.) on pellet at artificial condition. Aquaculture 246: p227-230.
- LAMBERT R. (1982). Les crues de la Garonne. In GARRISSON-ESTEBE J. & FERRO M. (1982). Une histoire de la Garonne. Ramsay, Paris, p41-81.
- LAMBERT R. (1988). Atlas géomorphologique de la vallée de la Garonne. Université le Mirail, 44 planches au 1:25000.
- LARSON J. S. (1990). Adequacy of the science base for wetland restoration and creation. Bulletin d'écologie 21: p11-14.
- LE COZ J. (2007). Fonctionnement hydro-sédimentaire des bras-morts de rivière alluviale. Thèse, Ecole Centrale de Lyon, 308p.
- LINDROTH A. (1946). Zur Biologie der Befruchtung und Entwicklung beim Hecht. Mitt Anst. Binnenfischerei, Drottningholm 24, 173p.
- LODÉ T. (2002). An endangered species as indicator of freshwater quality: fractal diagnosis of fragmentation within a European mink, *Mustela lutreola*, population. Arch. Hydrobiol. 155(1): p163-176.
- LUCAS M. C. (1992). Spawning activity of male and female pike, *Esox Lucius* L., determined by acoustic tracking. Can. J. Zool. 70: p191-196.
- MAIRE A., BUISSON L., BIAU S., CANAL J. & LAFFAILLE P. (2013). A multi-faceted framework of diversity for prioritizing the conservation of fish assemblages. Ecological Indicators 34: p450-459.
- MALAVOI J.-R. (1989). Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture 315 : p189-210.
- MALAVOI J.-R. (2004). Etude géomorphologique de la basse vallée du Doubs. Rapport, Syndicat Mixte Saône et Doubs.
- MALAVOI J. R. & SOUCHON Y. (1989). Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute-Savoie). Revue de Géographie de Lyon 64 : p252-259.
- MALAVOI J.-R. & SOUCHON Y. (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture (2002), 365/366 : p357-372.
- MASTERS J. E. G., WELTON J. S., BEAUMONT W. R. C., HODDER K. H., PINDER A. C., GOSLAN R. E., LADLE M. (2002). Habitat utilization by pike *Esox lucius* L. during winter floods in a southern English chalk river. Hydrobiologia 483: p185-191.
- MEA (2005). – voir « MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) ».
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, 80p.
- MILLER L. M., KALLEMEYN L. & SENANAN W. (2001). Spawning-site and natal-site fidelity by northern pike in a large lake: mark-recapture and genetic evidence. Trans. Am. Fish. Soc. 130: p307-316.
- MITSCHE W. J. & GOSSELINK J. G. (1993). Wetlands. Fifth edition, New York, Van Nostrand Reinhold, 722p.
- MÜLLER R. & MENG H. J. (1990). The fate of the fish populations in the river Rhine after the Schweizerhalle accident. In KINZELBACH R. & FRIEDRICH G. (1990). Biologie des Rheins. Limnologie aktuell 1, Stuttgart, p405-421.
- Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (2010). Recueil d'expériences sur la restauration hydromorphologique des cours d'eau.
- ONEMA (2010). – voir « Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (2010) ».
- PAULY G. (2007). Fonctionnalité des frayères de l'ichtyofaune phytophile de la Garonne de

- Grisolles au plan d'eau de St-Nicolas-de-la-Grave (82). Aspects méthodologiques et synthèse des résultats. FDAAPPMA 82, Rapport de stage de master, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 40p.
- PENCZAK T., ZIEBA G., KOSZALINSKI H. & KRUK A. (2003). The importance of oxbow lakes for fish recruitment in a river system. *Arch. Hydrobiol.* 158, p267-281.
- RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT (2016). The fourth Ramsar strategic plan 2016-2024. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 5th edition, vol. 2. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, 54p.
- REIMER G. (1991). The ecological importance of floodplains for fish at the river March (Austria). *Archiv für hydrobiologie* 121: p355-363.
- RICHARDOT-COULET M. & GREENWOOD M. T. (1993). Chapitre 7, Invertébrés aquatiques. *In* AMOROS C. & PETTS G. E. (1993). Hydrosystèmes fluviaux. Collection d'écologie, Masson, Paris, p125-150.
- RITTENHOUSE T. A. G. & SEMLITSCH R. D. (2007). Distribution of amphibians interstitial habitat surrounding wetlands. *Wetlands*, Vol 27, No 1, p153-161.
- ROLLET A.-J., PIÉGAY H., LEJOT J., CITTERIO A. & DUFOUR S. (2005). Programme LIFE Nature – Conservation des habitats créés par la dynamique de la rivière Ain. Rapport technique, CNRS.
- ROSELL R. S. & MAC OSCAR K. C. (2002). Movements of pike, *Esox lucius*, in Lower Lough Erne, determined by mark-recapture between, 1994-2000. *Fish. Mgmt. Ecol.* 9: p189-196.
- ROUSE J. W., HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W. & HARLAN J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenware effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD, USA, NASA/GSFCT, Type 3, Final Report, 371p.
- ROUX, A. L. (1982). Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux. Etude d'un hydrosystème fluvial : le Haut-Rhône français. CNRS, Centre régional de publications Lyon, 116p.
- SABRIE Y. (2014). Evaluation de la fonctionnalité de sites caractéristiques pour les espèces patrimoniales des grands milieux. Aveyron, Tarn et Garonne. Espèce repère : le brochet. FDAAPPMA 82, 52p.
- SANDRE (2005). – voir « SERVICE D'ADMINISTRATION NATIONALE DES DONNEES ET REFERENTIELS SUR L'EAU (2005) ».
- SCOTT M. T. & NIELSEN L. A. (1989). Young fish distribution in backwaters and main channel borders of the Kanawha river, West Virginia. *Journal of fish biology* 35: p21-27.
- SERVICE D'ADMINISTRATION NATIONALE DES DONNEES ET REFERENTIELS SUR L'EAU (2005). Description des données sur les plans d'eau. Version 1. 44p.
- SHEAFFER W. A. & NICKUM J. G. (1986). Backwater areas as nursery habitats for fishes in pool 13 of the upper Mississippi River. *Hydrobiologia* 136: p131-140.
- SMEAG (1999, 2013). – voir « SYNDICAT MIXTE D'ETUDES ET D'AMENAGEMENT DE LA GARONNE (1999, 2013) ».
- SMEPAG (1989). – voir « SYNDICAT MIXTE D'ETUDE ET DE PROGRAMMATION POUR L'AMENAGEMENT DE LA GARONNE (1989). »
- SOUCHON Y. (1983). La reproduction du brochet (*Esox lucius* L., 1758) dans le milieu naturel. Revue bibliographique. *In* BILLARD R. (1983). Le brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage. INRA publication, Paris, p21-37.
- STEIGER J. & CORENBLIT D. (2000). Dynamique fluviale de la Garonne Toulousaine. Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.
- STEIGER J., CORENBLIT D. & VERVIER P. (2000). Les ajustements morphologiques contemporains du lit mineur de la Garonne, France, et leurs effets sur l'hydrosystème fluvial. *Annales de Géomorphologie*, Suppl.-Bd. 122, p227-246.
- STEIGER J. & GAZELLE F. (1994). Evolution contemporaine d'un paysage fluvial sous l'effet de la dynamique des crues et des impacts humains. Société hydrotechnique de France, crues et inondations, 23èmes journées de l'hydraulique, congrès de la société hydrotechnique de France, Nîmes, p289-296.
- STEIGER J., JAMES M. & GAZELLE F. (1998). Channelization and consequences on floodplain system functioning on the Garonne River, SW France. *Regulated Rivers: Research & Management* 14: p13-23.
- STRAHLER A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* 38(6): p3177-3188.

- SYNDICAT MIXTE D'ETUDE ET DE PROGRAMMATION POUR L'AMENAGEMENT DE LA GARONNE (1989). Schéma de protection contre les eaux de la Garonne. Monographie des crues de la Garonne (du Pont du Roy au bec d'Ambès). Tarbes 1, 168p.
- SYNDICAT MIXTE D'ETUDES ET D'AMENAGEMENT DE LA GARONNE (1999). Schéma Directeur d'Entretien Coordonné du Lit et des Berges de la Garonne. Elaboration et rédaction du Schéma Directeur. Etape 1 : Diagnostic de l'état initial. SMEAG, 118p.
- SYNDICAT MIXTE D'ETUDES ET D'AMENAGEMENT DE LA GARONNE (2013). Projet TFE : Analyse de la situation actuelle et diagnostic technique de la Garonne Débordante. SMEAG, AQUA Conseils LINDENIA, 15p.
- TALES E., BOËT P., BERREBI DIT THOMAS R. & RUMEAU A. (1996). Les peuplements de poissons de l'année de quelques types d'annexes fluviales dans la plaine de la Bassée (Seine). Bulletin français de la pêche et de la pisciculture, 343 : p189-202.
- UICN FRANCE, MNHN, SFI & ONEMA (2010). – voir « UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE, MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, SOCIETE FRANÇAISE D'ICHTYOLOGIE & OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES (2010) ».
- UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE, MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, SOCIETE FRANÇAISE D'ICHTYOLOGIE & OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES (2010). La liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France, 12p.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (2011). Livre blanc - Carrières & granulats, pour un approvisionnement durable des territoires, 132p.
- UNPG (2011). - voir « UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (2011) ».
- VALETTE P., CAROZZA J.-M., SALLES D., DAVID M. & SIMONET G. (2014). Construction géohistorique du « sauvage » de la Garonne toulousaine : quelle part de naturalisé dans les paysages fluviaux ? part. 1. Développement durable et territoire, réseau « Développement durable et territoires fragiles », 5(3) : 22p.
- VANNOTE R. L., MINSHALL G. W., CUMMINS K. W., SEDEL J. R. & CUSHING C. E. (1980). The River Continuum Concept. Can J. Fish Aquat. Sc. 37: p130-137.
- VECCHIO Y. (2010). Retour d'expériences de restauration d'annexes hydrauliques dans le bassin Rhin-Meuse. ONEMA, 40p.
- VEHANEN T., HYVARINEN P., JOHANSSON K. & LAAKSONEN T. (2006). Patterns of movement of adult northern pike (*Esox lucius* L.) in a regulated river. Ecol. Freshwat. Fish. 15: p154-160.
- VERNEAUX J. (1973). Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs - Essai de biotypologie. Thèse Ann. Sci. Univ. Besançon 3(9) : p1-260.
- VERNEAUX J. (1981). Le poisson et la qualité des cours d'eau. Annales scientifiques de l'Université de Franche-Comté Besançon, Biologie Animale 4 : P33-41.
- WANG, L. & H. LIU (2006): An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: p193-213.
- WARD D. (1992). Planning for wetland restoration in the United Kingdom. In Finlayson C. M. (1992). Integrated management and conservation of wetlands in agricultural and forested landscapes. Czechoslovakia, International waterfowl and wetlands research bureau special publication number 22, p74-78.
- WARD J. V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystems. Journal of the north American benthological society, 1989, 8(1): p2-8.
- WELLER M. W. (1999). Habitat resources and conservation implications. Cambridge University Press, 316p.
- WELLS K. D. (2007). The ecology and behavior of amphibians. Chicago University Press, 1400p.
- WENTWORTH C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 30: p377-392.

WEBOGRAPHIE

- Banque HYDRO [en ligne]. [consulté en mars 2017]. Disponible sur : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>
- EDF [en ligne]. Electricité de France. La centrale nucléaire de Golfech [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <https://www.edf.fr/groupe->

edf/producteur-industriel/carte-des-implantations/centrale-nucleaire-de-golfech/presentation

FDAAPPMA 82 [en ligne]. Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Tarn-et-Garonne. La Garonne « vive » [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <http://www.federationpeche82.com/le-domaine-piscicole-du-tarn-et-garonne-82/les-cours-d-eau-pour-pecher-tarn-et-garonne-82/la-garonne-vive>

INPN [en ligne]. Inventaire National du Patrimoine Naturel. L'inventaire ZNIEFF [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <https://inpn.mnhn.fr/programme/inventaire-znieff/presentation>

INSEE, a [en ligne]. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. Population par sexe et âge au 1^{er} janvier 2016. Comparaisons régionales et départementales [consulté en juin 2017]. Disponible sur : https://www.insee.fr/fr/statistiques/2012692#tableau-TCRD_021_tab1_departements

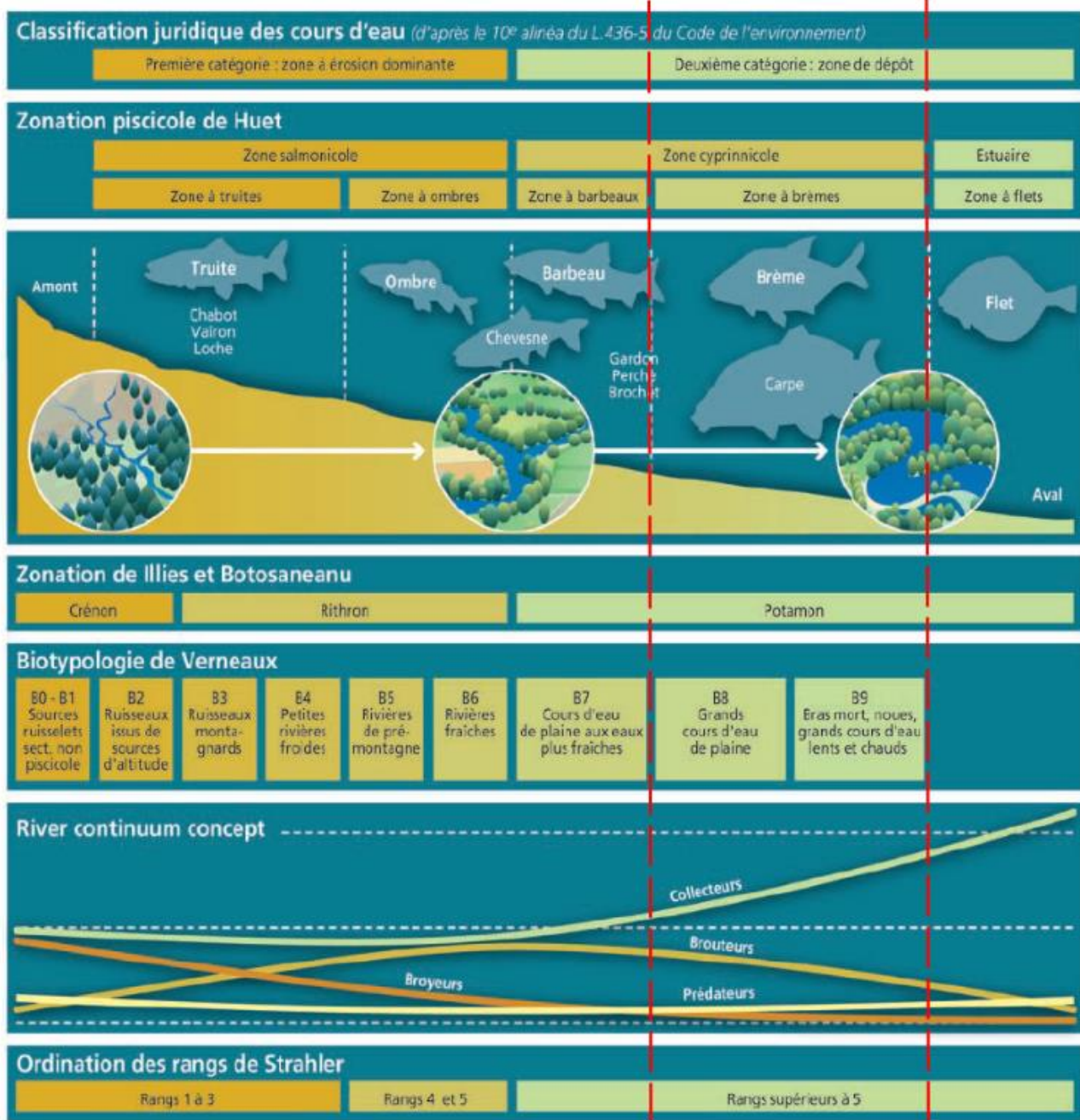
INSEE, b [en ligne]. Institut National de la Statistique et des Etudes. Comparateur de territoire. Département du Tarn-et-Garonne (82) Economiques [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=DEP-82>

METEO FRANCE [en ligne]. Le climat en métropole [consulté le 13 juin 2017]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole#>

SMEAG, a [en ligne]. Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne. Le bassin versant de la Garonne [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <http://www.smeag.fr/le-bassin-versant-de-la-garonne.html>

SMEAG, b [en ligne]. Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne. Le Sméag, pour l'équilibre Garonne [consulté en juin 2017]. Disponible sur : <http://www.smeag.fr/le-smeag-pour-lequilibre-garonne.html>

Annexe 1 : Les principales zonations et typologies des cours d'eau (ONEMA, 2010)

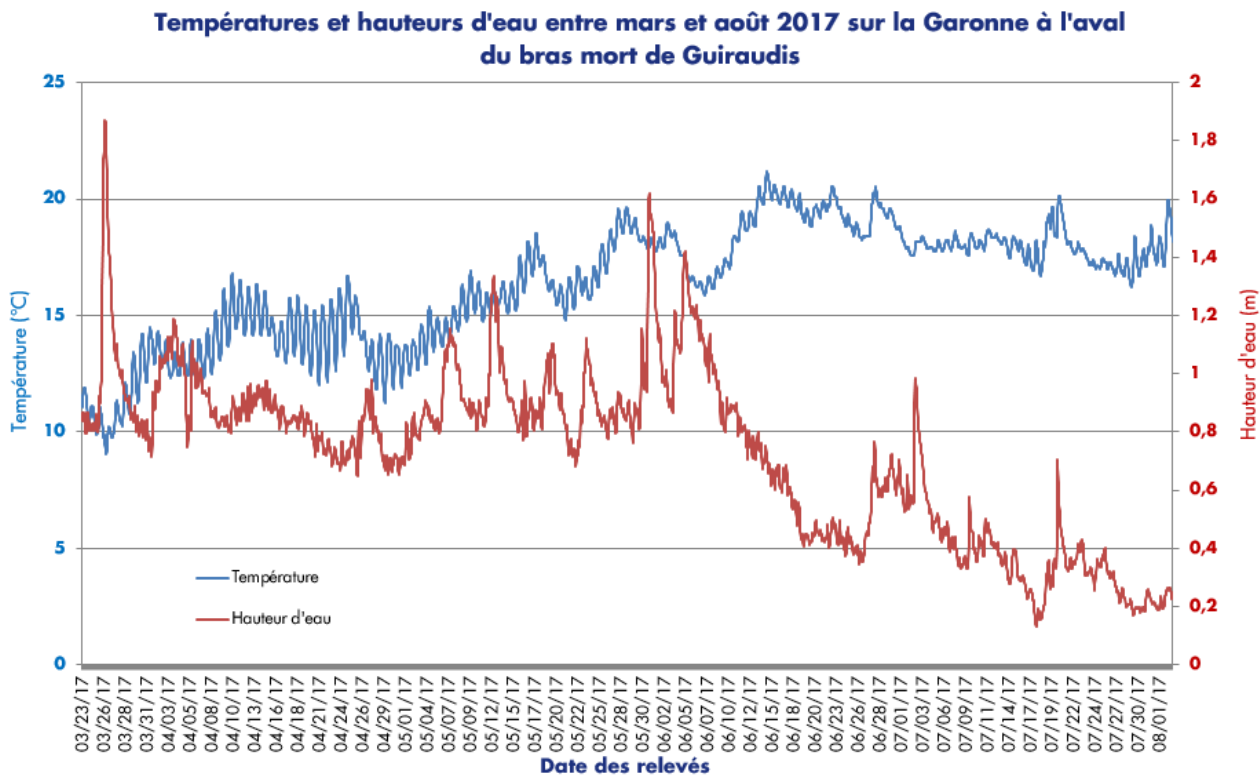


Situation de la Garonne

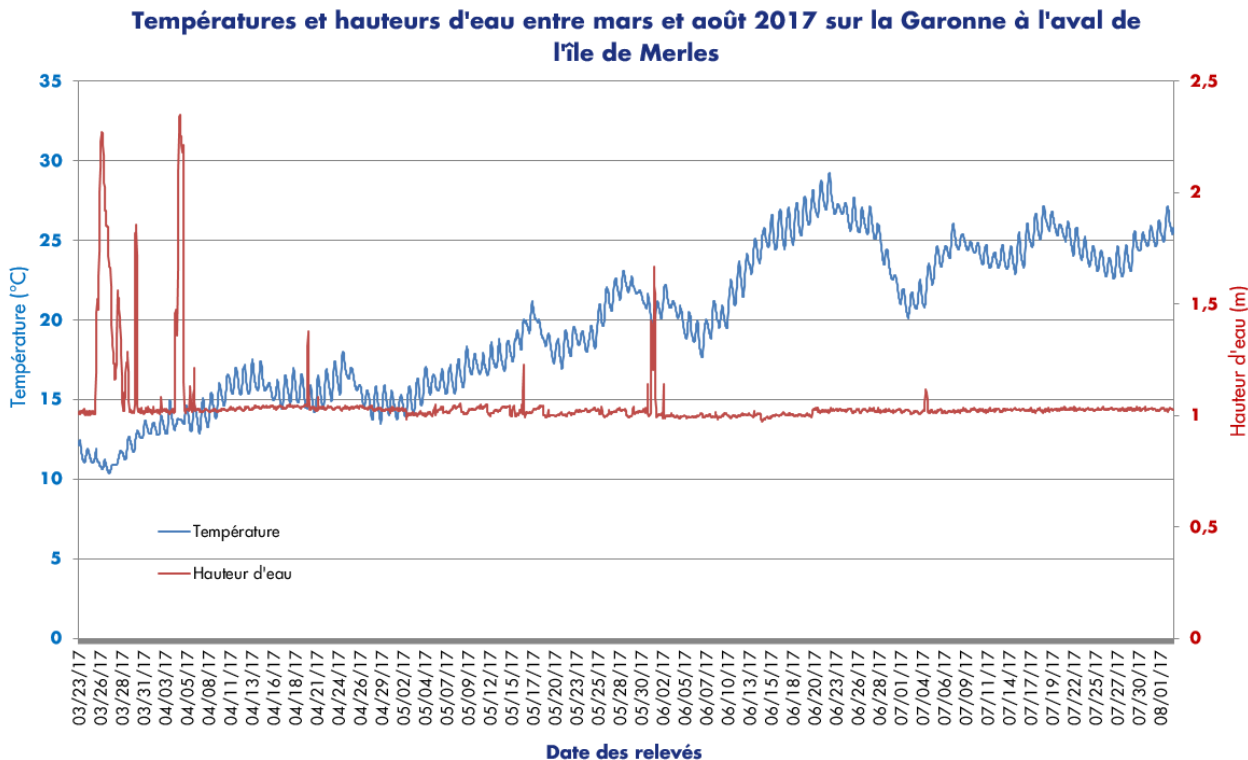
Type	Définition
Classification juridique des cours d'eau	<p>A l'article L. 436-5 du Code de l'Environnement, les cours d'eau sont classés en deux catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Première catégorie : cours d'eau peuplés de truites et dont il paraît important d'assurer la protection ; • Deuxième catégorie : par défaut, tous les autres cours d'eau.
Zonation piscicole de HUET (1949)	<p>Cette typologie établit un lien entre les populations piscicoles et des paramètres physiques des cours d'eau (pente, profondeur et largeur). Les cours d'eau sont ainsi divisés en trois grandes zones : salmonicole, cyprinicole, estuaire.</p>
Zonation de ILLIES ET BOTOSANEANU (1963)	<p>Cette zonation prend en compte les invertébrés benthiques. Trois zones universelles sont décrites : le crénon (zone de sources), le rhitron (cours d'eau supérieur à écoulement rapide) et le potamon (cours d'eau inférieur à écoulement lent).</p>
Biotypologie de VERNEAUX (1973)	<p>La structuration du cours d'eau (poissons et invertébrés) est définie en fonction de facteurs physiques et chimiques (température, dureté de l'eau, section mouillée à l'étiage, largeur du lit mineur et pente). Les cours d'eau sont ainsi découpés en 9 groupements socio-écologiques numérotés de B0 à B9 avec B pour biocénotype.</p>
River Continuum Concept de VANNOTE <i>et al.</i> (1980)	<p>Ce River Continuum Concept est basé sur le régime alimentaire des invertébrés qui sont classés en 4 groupes fonctionnels :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les broyeur qui se nourrissent de grosses particules peu décomposées ou de macrophytes ; • Les collecteurs qui récupèrent des particules plus fines issues d'une décomposition plus avancées ; • Les brouteurs qui se nourrissent des organismes aquatiques fixés à la surface des substrats ; • Les prédateurs. <p>Suivant la position longitudinale le long d'un cours d'eau, chaque groupe fonctionnel est plus ou moins abondant.</p>
Ordination en rangs de STRAHLER (1957)	<p>La méthode d'ordination de Strahler permet de calculer des indicateurs de l'importance d'un cours d'eau en se basant sur le niveau de ramification de son réseau hydrographique. En France, cette classification commence à 1 et va jusqu'à 8.</p>

Annexe 2 : Relevés de températures et de hauteurs d'eau sur la Garonne

Situation hydrologique du tronçon de Garonne débordante :



Situation hydrologique du tronçon de Moyenne Garonne :



Annexe 3 : Les espaces naturels remarquables

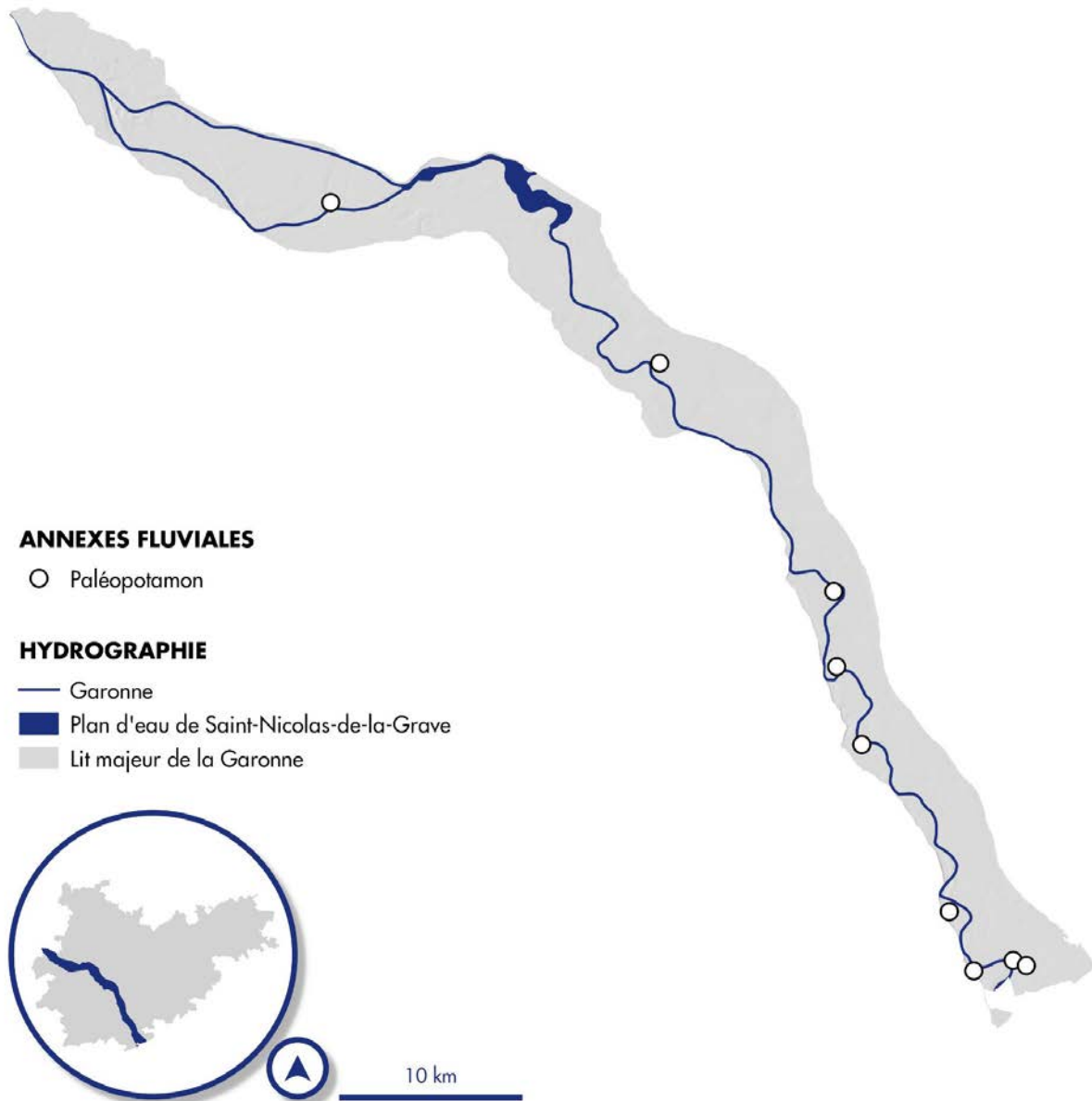
Type	Définition
Zones de Protection Spéciale (ZPS)	Zones désignées en application de la Directive « Oiseaux » (DO 79/409/CEE du 2 avril 1979) définie en faveur de la conservation des oiseaux sauvages et de leurs habitats.
Zones Spéciales de Conservation (ZSC)	Zones désignées en application de la Directive « Habitat Faune Flore » (DHFF 92/43/CEE du 21 mai 1992) assurant la conservation des habitats naturels et des espèces animales et végétales sauvages.
Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique et Faunistique (ZNIEFF)	Programme d'inventaires dont l'objectif est d'identifier et de décrire des espaces naturels présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. Ces ZNIEFF ne constituent pas des mesures de protection. Elles n'ont donc pas de portée réglementaire mais sont simplement des inventaires naturalistes et scientifiques. Deux types de ZNIEFF peuvent être distingués (INPN [en ligne]) : <ul style="list-style-type: none"> • Les ZNIEFF de type I : secteurs, généralement de taille réduite, de grand intérêt biologique ou écologique ; • Les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.
Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)	Zones issues d'un inventaire scientifique élaboré par l'ONG BirdLife International et visant à recenser les zones les plus favorables pour la conservation des oiseaux sauvages.
Arrêté Préfectoral de Protection de Biotopes (APPB)	Aire protégée à caractère réglementaire dont l'objectif est de prévenir la disparition d'espèces protégées.
Espaces Naturels Sensibles (ENS)	Espaces dont les objectifs sont « de préserver la qualité des sites, des paysages, des milieux naturels et des champs naturels d'expansion des crues, d'assurer la sauvegarde des habitats naturels » et de « mettre en œuvre une politique de protection, de gestion et d'ouverture au public » (article L. 142-1 du Code de l'Urbanisme). Ils sont au centre de la politique environnementale des départements et contribuent généralement à la Trame Verte et Bleue française, un programme national visant à sauvegarder les corridors écologiques.

Annexe 4 : Les espaces naturels remarquables de la Garonne dans le Tarn-et-Garonne

Echelon	Type	Intitulé
Européen	Natura 2000 - ZPS	Vallée de la Garonne de Muret à Moissac
	Natura 2000 - ZSC	Garonne, Ariège, Hers, Salat, Pique et Neste
National	ZNIEFF type I	La Garonne de Montréjeau jusqu'à Lamagistère
	ZNIEFF type II	Garonne et milieux riverains, en aval de Montréjeau
	ZICO	Vallée de la Garonne : Méandre de Grisolles Vallée de la Garonne : Moissac
Préfecture	APPB	Cours de la Garonne, de l'Aveyron, du Viaur et du Tarn
		Bras mort de Grisolles
		Verdun Saint Pierre
		Îles de Saint-Cassian
		Îles de Verdun-Pescay
		Bras mort de Cordes-Tolosannes
Conseil Départemental	ENS	Site de Mauvers – Les Bordes
		Île de Labreille
		Îlot de Saint-Cassian
		Site de l'Espinassie
		Lacs de Monestié et Trescasses et berges de la Garonne
	Zones humides	Inventaire des zones humides du Tarn-et-Garonne

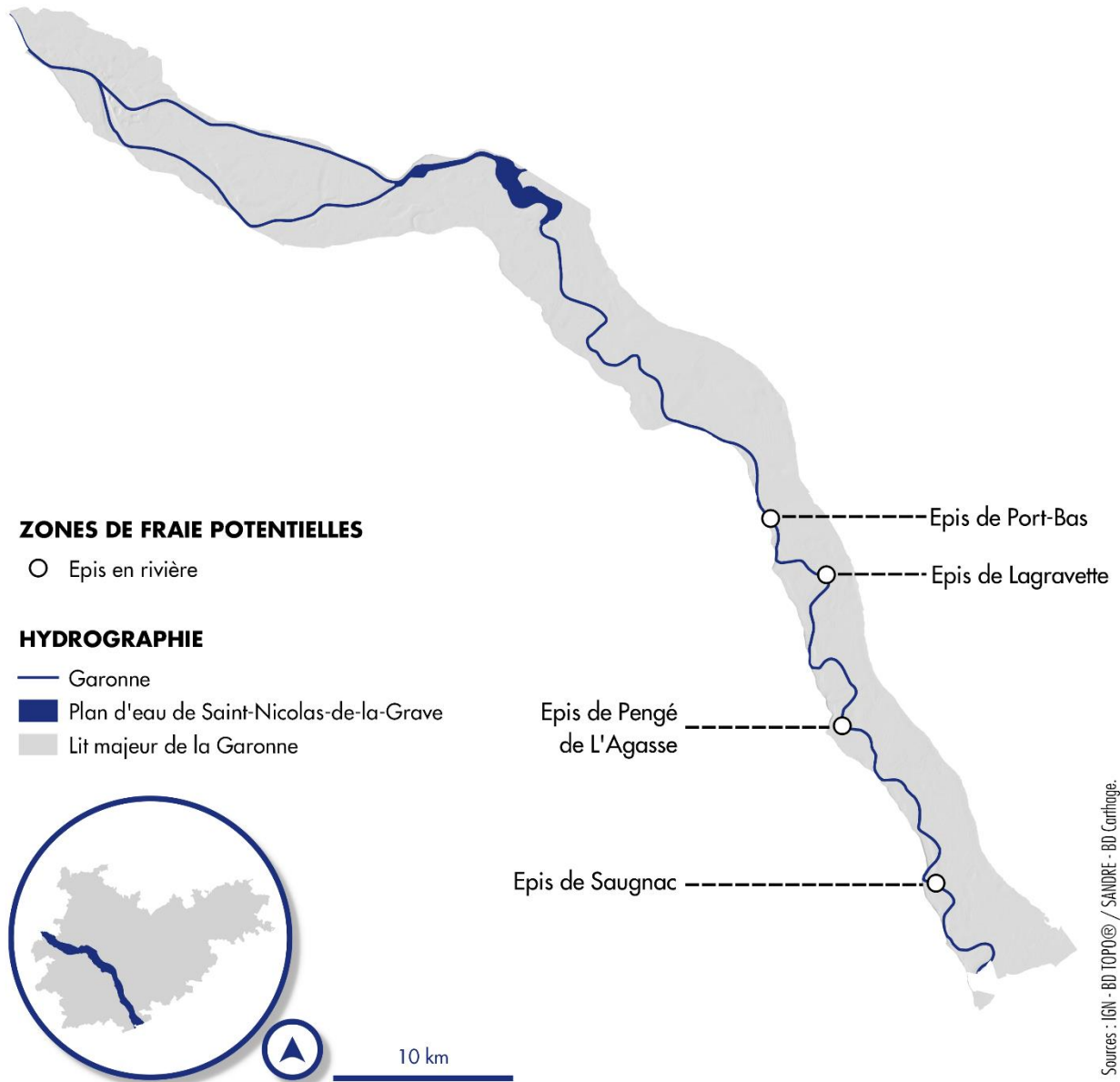
Annexe 5 : Localisation des annexes fluviales de type « paléopotamon »

Localisation des annexes fluviales de type "paléopotamon" recensées à moins de 300 m de la Garonne



Annexe 6 : Localisation des épis en rivière de la Garonne

Localisation des épis en rivière recensés sur la Garonne dans le Tarn-et-Garonne



Annexe 7 : Biologie et écologie du brochet

Distribution et habitat

L'aire de répartition du brochet s'étend à toutes les régions septentrionales de l'hémisphère nord (CHANCEREL, 2003), autant aux continents Européen et Asiatique qu'Américain. En Europe de l'Ouest, la limite nord concerne la Norvège et le nord de l'Ecosse et la limite sud se situe au Portugal, en Espagne et en Italie où le brochet a été introduit (KEITH *et al.*, 2011). En France, le brochet *Esox lucius* L. est une espèce indigène et commune à l'exception des régions méditerranéennes.

Esox lucius L. est une espèce limnophile c'est-à-dire qu'elle vit dans les zones d'eaux calmes des cours d'eau ou dans les eaux stagnantes. Ses habitats de reproduction et de nurserie se définissent comme de grandes zones d'eau calme et claire, riches en végétation et de faibles profondeurs (BILLARD, 1996 ; BRY, 1996 ; CHANCEREL, 2003). Ces frayères doivent présenter des caractéristiques particulières (voir partie II.4.2.2.) et notamment une végétation jouant le rôle de support de ponte ainsi que de protection vis-à-vis des autres espèces ou des congénères cannibales. Le support végétal permet aussi de lutter contre les paramètres abiotiques peu favorables telle que l'anoxie au niveau du substrat et attire une grande variété de proies potentielles pour le brochet (SOUCHON, 1983 ; GRIMM & KLINGE, 1996 ; CHANCEREL, 2003).

Reproduction et cycle de vie

Le brochet est un migrateur holobiotique transversal c'est-à-dire qu'il va effectuer, pour se reproduire, une migration du cours d'eau vers sa plaine alluviale. Il reste ainsi dans le même milieu mais va transiter de ces zones de croissance et de tenue à ces habitats de reproduction (annexes fluviales, prairies inondées...). La migration est déclenchée par la présence de végétation fraîchement développée ou immergée lorsque les débits et les températures augmentent (DES CLERS & ALLARDI, 1983 ; MASTERS *et al.*, 2002) en début d'année (février/mars). L'attraction vers ces sites serait influencée par des gradients thermiques et chimiques (BILLARD, 1996) et le déclenchement du processus de migration serait principalement dû à l'augmentation des débits (SOUCHON, 1983 ; LUCAS, 1992 ; MASTERS *et al.*, 2002 ; DUBOST & VAUCLIN, 2004). Ces déplacements de reproduction peuvent aller de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres (CARBINE & APPELGATE, 1948 ; ROSELL & MAC OSCAR, 2002 ; DUBOST & VAUCLIN, 2004 ; KOED *et al.*, 2006 ; VEHANEN *et al.*, 2006). La période de migration est courte, elle se déroulerait en moins d'une semaine (FRANKLIN & SMITH, 1963). La ponte a lieu lorsque la température de l'eau atteint 8° à 10°C (Chancerel, 2003) et les œufs (entre 20 000 et 30 000 œufs par kg de femelle) sont déposés sur des supports végétaux et conserveront leur adhésion quelques semaines pendant leur développement. Après la reproduction, les géniteurs se dispersent largement et ont tendance à revenir sur les mêmes sites de fraie, bien qu'il ne s'agisse pas d'un caractère de fidélité stricte aux sites (FROST & KIPLING, 1967 ; KARAS & LEHTONEN 1993 ; MILLER *et al.*, 2001 ; ROSELL & MAC OSCAR, 2002 ; VEHANEN *et al.*, 2006).

Une fois pondus, les œufs adhèrent aux substrats végétaux pendant 120°C/jours avant d'éclore (CASSELMAN & LEWIS, 1996). Les alevins vésiculés se fixent à leur tour à la végétation par une ventouse buccale et commencent à résorber leur vésicule. Parallèlement à cette résorption vésiculaire qui dure 180°C/jours (CHANCEREL, 2003), les nageoires se développent et les alevins deviennent nageant. A partir de 2 cm, ils sont capables de se déplacer plus aisément et peuvent quitter les zones de fraie pour rejoindre le lit mineur selon les conditions hydrologiques du milieu. A partir de 4 cm, les brochetons sont considérés comme « fingerling », leur morphologie est entièrement déterminée et seule leur taille globale sera croissante. Les juvéniles de brochet optent pour des stratégies individuelles d'utilisation de la nurserie différentes. Certains individus vont quitter la zone de nurserie très rapidement pour rejoindre le cours d'eau alors que d'autres, au contraire, optent pour une utilisation maximale jusqu'à l'exondation quasi complète (CUCHEROUSSET, 2006).

Alimentation

Les alevins fixés, une fois sortis de l'œuf, puisent dans les réserves nutritives de la vésicule vitelline pour se nourrir (FRANKLIN & SMITH, 1963). Une fois libérés de l'adhésion au support végétal, les alevins nageant se nourrissent de zooplancton. A partir de 30 mm et jusqu'à 100 mm, les alevins sont capables de se déplacer et de se nourrir plus facilement. Ils se nourrissent alors majoritairement de

macroinvertébrés (oligochètes, crustacés, larves d'insectes...) (FROST, 1954 ; BALVAY, 1983 ; HUNT & CARBINE, 1951). Aux environs de 60 mm (très variable selon les auteurs) les alevins commencent à se nourrir de proies plus importantes comme les têtards ou des petits poissons (début de l'ichtyophagie). Les subadultes et adultes deviennent ensuite principalement ichtyophages, et profitent de la présence de poissons fourrages dans les annexes hydrauliques ou les milieux temporaires pour chasser (FROST, 1954). Le brochet est aussi connu pour son cannibalisme. En effet, les juvéniles comme les adultes peuvent consommer régulièrement leurs congénères si la capacité nutritive du site n'est pas satisfaisante ou si la compétition pour la ressource se fait trop importante (KUCSKA *et al.*, 2005). Ce phénomène permet à certains individus de rester en vie mais peut contribuer à la diminution du recrutement.

Protection

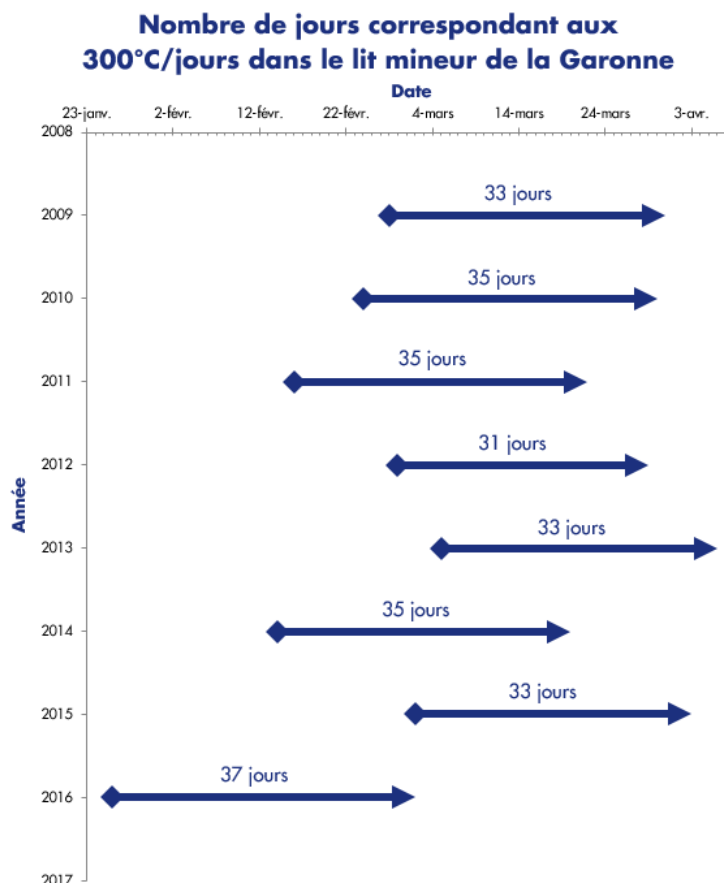
D'une manière générale, la destruction des zones de fraie, de croissance ou d'alimentation est réprimée par l'article L. 432-3 du Code de l'Environnement. De plus, le brochet fait partie des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national (article 1 de l'arrêté du 8 décembre 1988). Par cet arrêté, il peut localement bénéficier de mesures de protection dans le cadre d'arrêtés préfectoraux de protection de biotopes (KEITH & DORSON, 2003). Par ailleurs la pêche sur les cours d'eau de deuxième catégorie, telle que la Garonne dans le Tarn-et-Garonne, est limitée aux individus de plus de 50 cm. La Directive « Habitat Faune Flore » est également un outil pour sa protection. Elle ne le concerne pas directement mais permet le maintien dans un état satisfaisant de certains de ses habitats (CHANCEREL, 2003).

Annexe 9 : DCHF et débit Q_{DCHF5}

La DCHF : selon Inskip (1982), de 40 à 60 jours consécutifs.

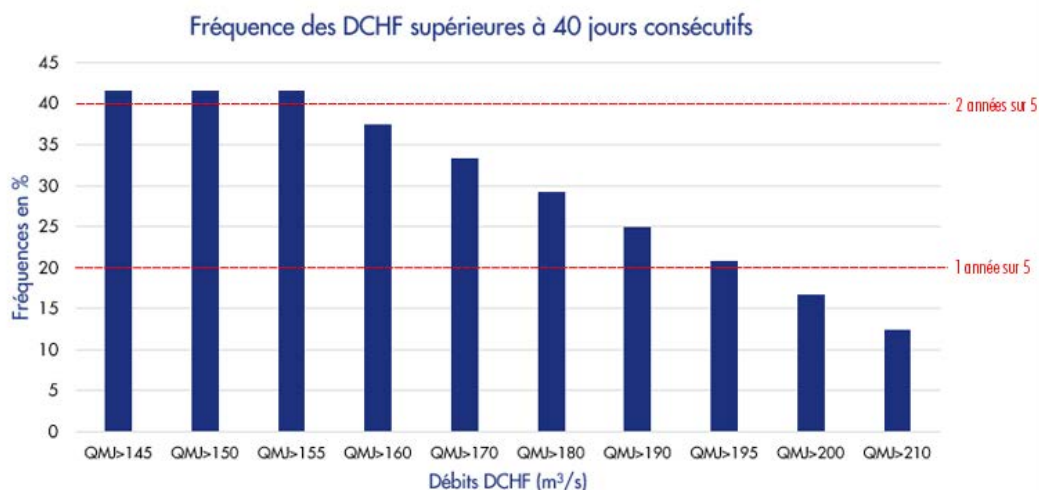
Elle comprend : l'incubation des œufs ($120^{\circ}\text{C}/\text{jours}$), la phase alevin fixé ($100^{\circ}\text{C}/\text{jours}$) et la phase alevin nageant ($80^{\circ}\text{C}/\text{jours}$) soit un total de $300^{\circ}\text{C}/\text{jours}$.

En moyenne sur la Garonne, cela correspond à 34 jours. Une DCHF de 40 jours semble donc la plus réaliste sur la Garonne.



Le débit Q_{DCHF5} : selon Inskip (1982), 1 à 2 années sur 5.

Recherche des événements de DCHF sur au moins 40 jours consécutifs entre Février et Avril sur les QMJ de 1988 à 2012.



Annexe 10 : Fiche de terrain

Fiche Annexes Fluviales



Observateur :		N° site :	
Date :	Heure :	N° premier relevé GPS :	
Commune :	Lieu-dit :	N° dernier relevé GPS :	
Rive :	Météo :	N° photos :	

Typologie et habitat			
<input type="checkbox"/> Eupotamon	<input type="checkbox"/> Parapotamon	<input type="checkbox"/> Plésiopotamon	<input type="checkbox"/> Paléopotamon
<input type="checkbox"/> Confluence	<input type="checkbox"/> Gravière connectée	<input type="checkbox"/> Epis en rivière	<input type="checkbox"/> Végétation rivulaire

Température et ensoleillement		
Cours d'eau (°C) :	Annexe fluviale (°C) :	Ensoleillement :/5

Turbidité			
<input type="checkbox"/> claire	<input type="checkbox"/> mûchée	<input type="checkbox"/> trouble	<input type="checkbox"/> opaque

Hauteur d'eau et connexion	
Hauteur d'eau dominante (m) :	Débit à Verdun-sur-Garonne (m³/s) :
Hauteur d'eau à la connexion (m) :	Largeur de la connexion (m) :
Connexion : <input type="checkbox"/> Continue <input type="checkbox"/> Aval/Centrale <input type="checkbox"/> Amont <input type="checkbox"/> Nulle	Obstacles :

Profils et habitat des berges		
<input type="checkbox"/> Vertical / Sapé %	<input type="checkbox"/> Effondré %	<input type="checkbox"/> Pentue (>45°) %
<input type="checkbox"/> Pente douce %	<input type="checkbox"/> Composite %	

Substrat		
<input type="checkbox"/> Limon/Vase (<0,0625mm)	<input type="checkbox"/> Sable (0,0625 à 2mm)	<input type="checkbox"/> Gravier (2 à 16mm)
<input type="checkbox"/> Cailloux (16 à 64mm)	<input type="checkbox"/> Pierre (64 à 256mm)	<input type="checkbox"/> Bloc (>256mm)

Végétation	Surface (%)	Espèces observées
Graminoïdes		
Hydrophytes		
Hélophytes		
Arbres, branches		
Algues		
Bryophytes		

Faciès du cours d'eau			
<input type="checkbox"/> Chanel lentique	<input type="checkbox"/> Fosse de dissipation	<input type="checkbox"/> Mouille de concavité	<input type="checkbox"/> Fosse d'affouillement
<input type="checkbox"/> Chanel lotique	<input type="checkbox"/> Plat lentique	<input type="checkbox"/> Plat courant	<input type="checkbox"/> Radier

Activités humaines

Schéma de la frayère

Mesures

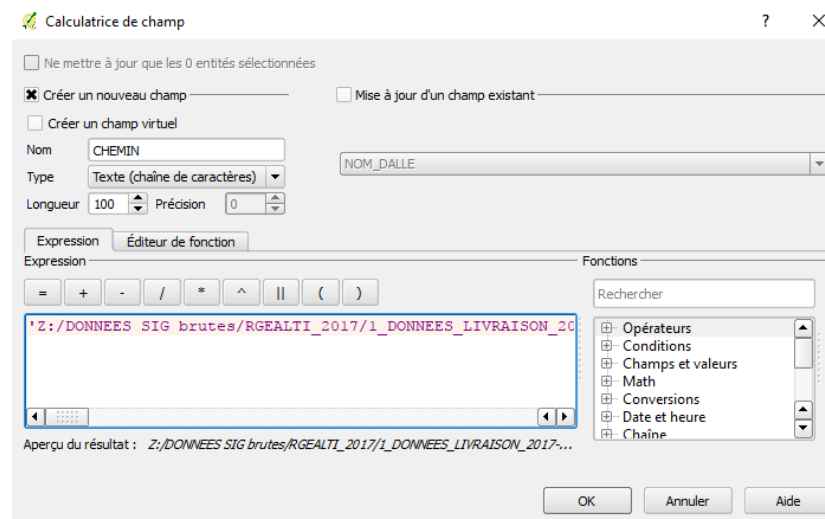
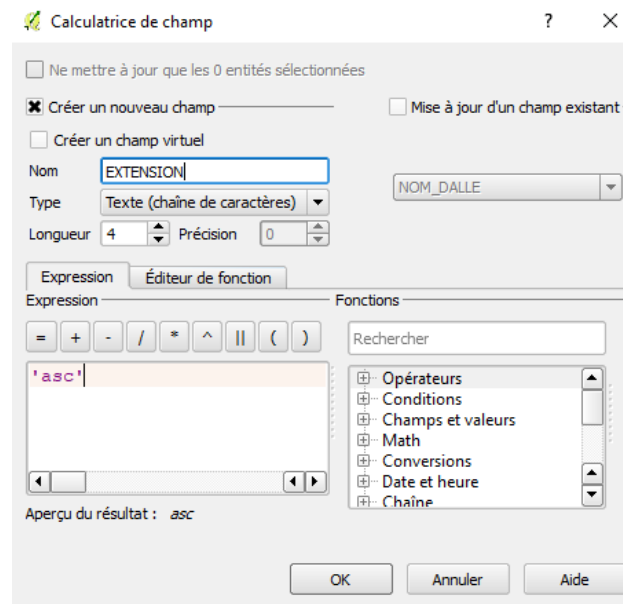
Remarques complémentaires

Annexe 11 : Cahier méthodologique

OUVRIR DES RASTERS AU CLIC

L'exemple présenté se base sur le RGE ALTI® de l'IGN. Dans chaque produit IGN se trouve un dossier appelé « SUPPLEMENTS_LIVRAISON ». A l'intérieur de ce dossier, une couche appelée « dalles » au format Shapefile est présente. C'est cette couche qui est utilisée.

- Ouvrir la couche « **dalles.shp** » dans QGIS ;
- Ouvrir la **table attributaire** ;
- Passer en mode édition, ouvrir la **calculatrice de champ** et créer un nouveau champ « **EXTENSION** ». Ce champ doit être de type « **texte** » et avoir une longueur équivalente au nombre de caractère du nom de l'extension. Dans notre cas l'extension est « .asc », la longueur du champ est donc de **4**. Indiquer dans le cadre « Expression » le nom de l'extension **entre apostrophe** ('.asc') puis cliquer sur OK ;
- Ouvrir à nouveau la calculatrice de champ et créer un champ « **CHEMIN** ». Ce champ doit être de type « **texte** » et doit avoir une **longueur importante** (par exemple 100). Il correspond au chemin menant au dossier dans lequel se trouve les images rasters. Dans les produits IGN, les images sont stockés dans un sous-dossier du dossier « DONNEES_LIVRAISON ». Copier ce chemin, coller le dans le cadre « Expression », **ajouter une apostrophe au début et à la fin** et **remplacer les antislash** (« \ ») par des slash (« / »). Cliquer sur OK ;
- Ouvrir une troisième fois la calculatrice de champ et créer un champ « **LOCALISATION** » de type « **texte** » et de **longueur importante** (exemple 200). Ecrire dans le cadre « Expression » : "CHEMIN" || "NOM_DALLE" || "EXTENSION". Cliquer sur OK, enregistrer les modifications et fermer la table attributaire ;



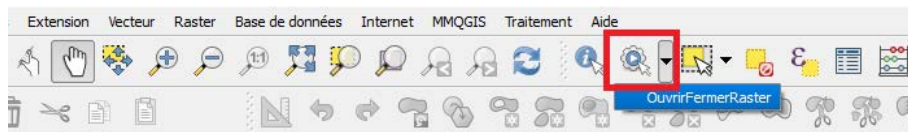
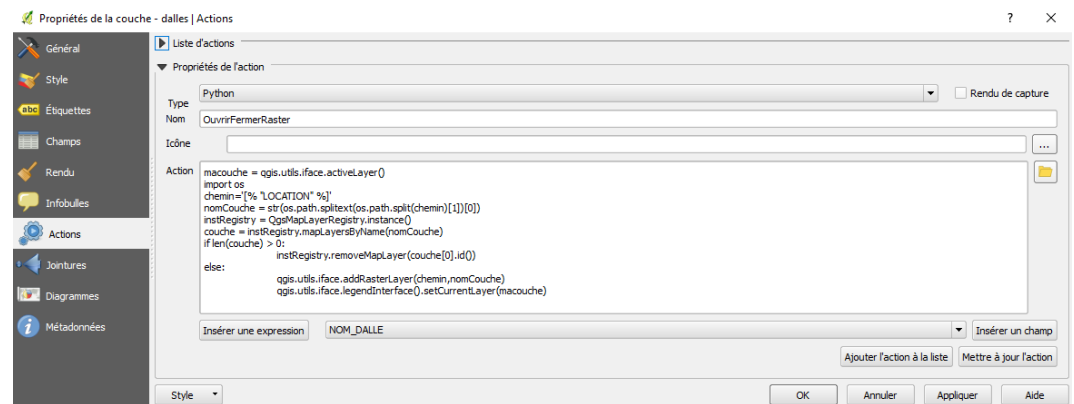
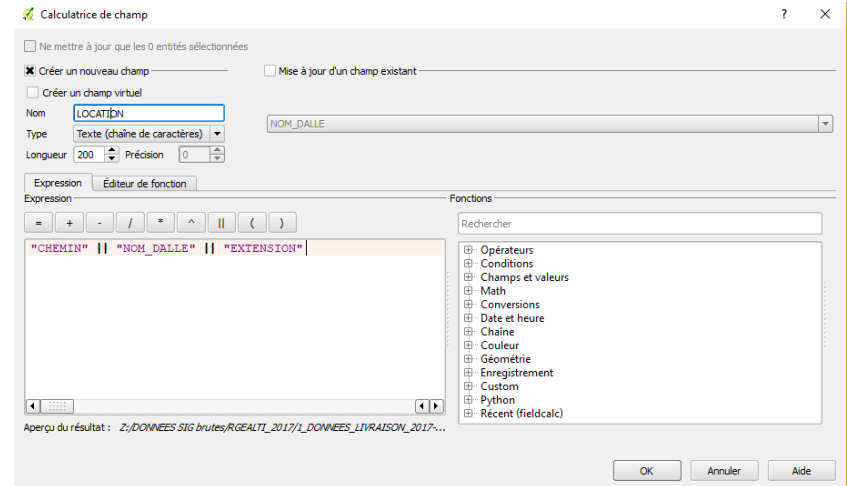
- Ouvrir les propriétés de la couche et cliquer sur l'onglet « Actions ». Dans « Propriétés de l'action », choisir « **Python** » pour le type, écrire un nom dans « Nom » (exemple **OpenCloseRaster**) et dans le cadre « **Action** » écrire le code ci-après. Cliquer sur « Ajouter l'action à la liste » puis sur OK.

CODE :

```
macouche = qgis.utils.iface.activeLayer()
import os
chemin='[% "LOCATION" %]'
nomCouche = str(os.path.splitext(os.path.split(chemin)[1])[0])
instRegistry = QgsMapLayerRegistry.instance()
couche = instRegistry.mapLayersByName(nomCouche)
if len(couche) > 0:
    instRegistry.removeMapLayer(couche[0].id())
else:
    qgis.utils.iface.addRasterLayer(chemin,nomCouche)
    qgis.utils.iface.legendInterface().setCurrentLayer(macouche)
```

NB : Attention de bien respecter la tabulation après « if len(couche) > 0 » et « else ».

- En sélectionnant la couche et en cliquant sur le bouton d'action ressemblant un engrenage, les images rasters devraient apparaître à chaque clic sur la couche.

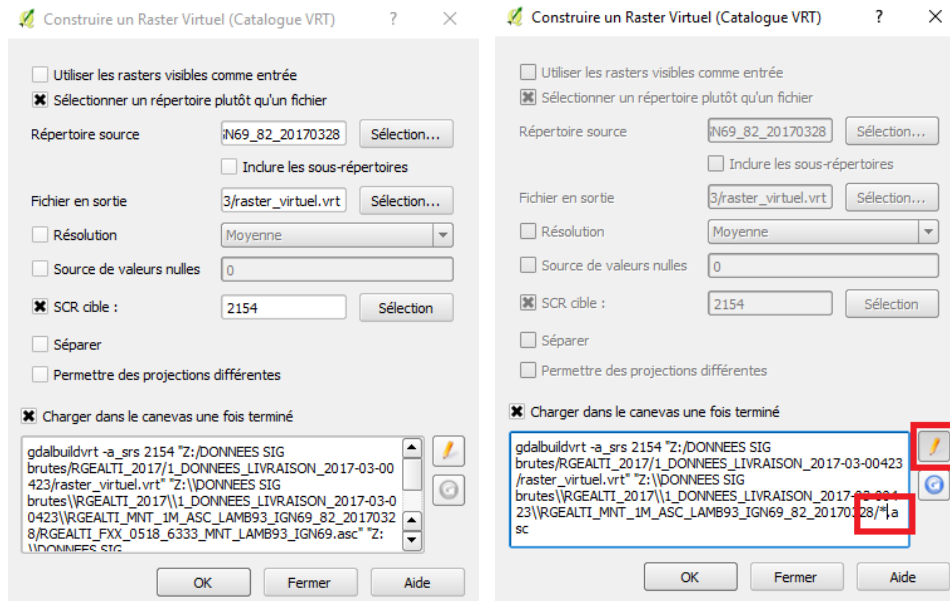


CREATION D'UN RASTER VIRTUEL

Afin de faciliter l'utilisation de plusieurs couches rasters, il est possible de construire un raster virtuel (VRT). Ce raster virtuel correspond à un assemblage de plusieurs rasters et est souvent plus légers à utiliser que plusieurs couches rasters séparées.

- Ouvrir la fonction « **Construire un Raster Virtuel (Catalogue VRT)** » dans l'onglet « Raster », « Divers » de QGIS ;
- Cocher suivant les besoins soit « utiliser les rasters visibles », soit « sélectionner un répertoire » et indiquer le chemin vers le répertoire ;
- Indiquer le fichier en sortie ainsi que le SCR (EPSG : 2154 pour du Lambert 93) et cliquer sur OK.

- Avant de cliquer sur OK, **sélectionner le crayon** afin de modifier le code ;
- **Ne garder que les premières lignes et ajouter une étoile** (« * ») à la place du nom du premier raster (voir exemple) ;
- Cliquer sur OK pour terminer.

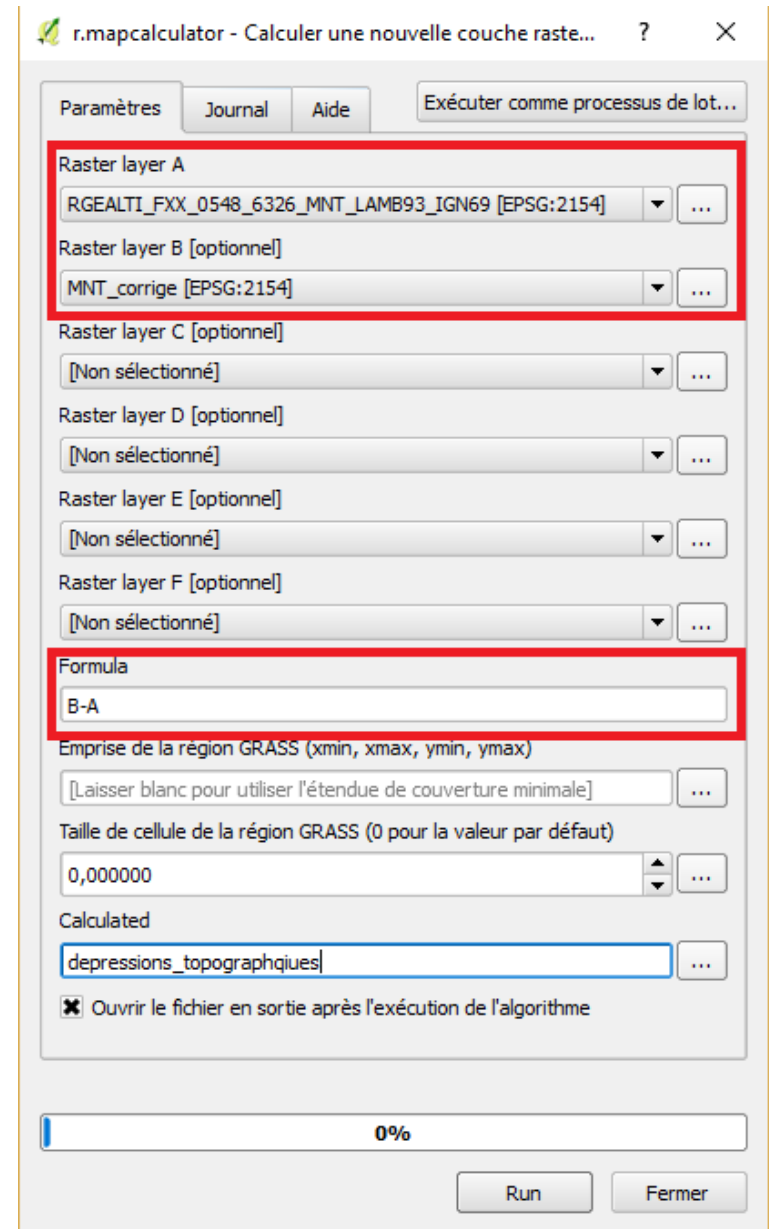
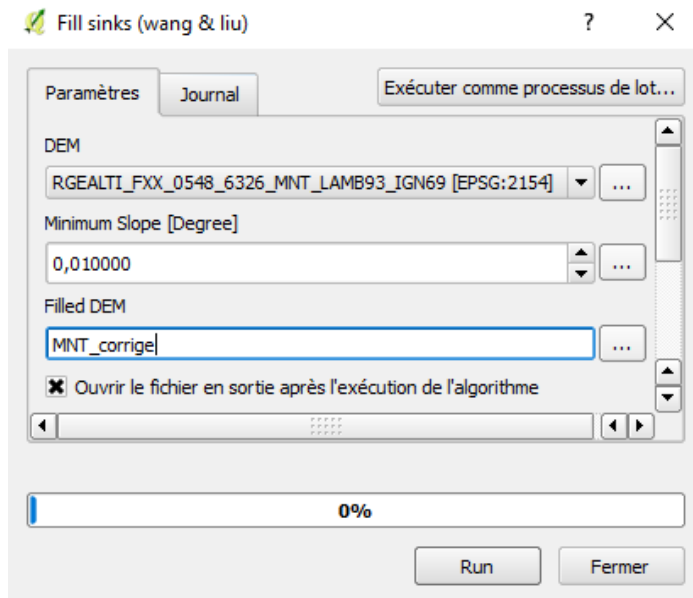


NB : Si le nombre de rasters est trop important, il est possible que la création d'un VRT échoue. Il faut donc refaire les étapes précédentes mais ne pas cliquer à la fin.

IDENTIFICATION DE DEPRESSIONS TOPOGRAPHIQUES

L'identification des dépressions topographiques se base sur la publication *Atlas régional des zones humides de Guadeloupe* (BRGM, 2007).

- Créer un MNT corrigé c'est-à-dire avec les dépressions topographiques comblées en utilisant la fonction « Fill sinks (wang & liu) » de SAGA présent dans la « Boîte à outils » ;
- Réaliser une différence entre le MNT corrigé et le MNT de départ à l'aide de la fonction « r.mapcalculator » de GRASS ;
- Laisser tourner la machine et aller boire un café ;



CALCUL DE LA PENTE DES BERGES ET CLASSEMENT

Le calcul de la pente des berges est effectué à partir de deux couches : la couche des berges et la couche de tampon autour des berges. Ce tampon permet, lors de la découpe du raster des altitudes, d'inclure les pixels adjacents aux polygones de berges.

- Découper le raster par le tampon des berges en utilisant la fonction « Découper un raster selon une couche de masque » de GDAL (utiliser les paramètres par défaut). Cette fonction est disponible dans la « Boîte à outils » de l'onglet « Traitement » de QGIS ;
- Calculer les pentes du raster découpé à l'aide de l'outil pente de GDAL (utiliser les paramètres par défaut) ;
- Transformer les valeurs de pente en classes de pente à l'aide de la fonction « r.mapcalculator » de GRASS. Pour cela choisir le raster de pente en tant que « Raster layer A » puis entrer une formule dans « Formula » (voir code et tableau de classe de pente). Dans cet exemple, 3 classes de pente : douce (valeur de 1), moyenne (valeur de 2) et forte (valeur de 3).

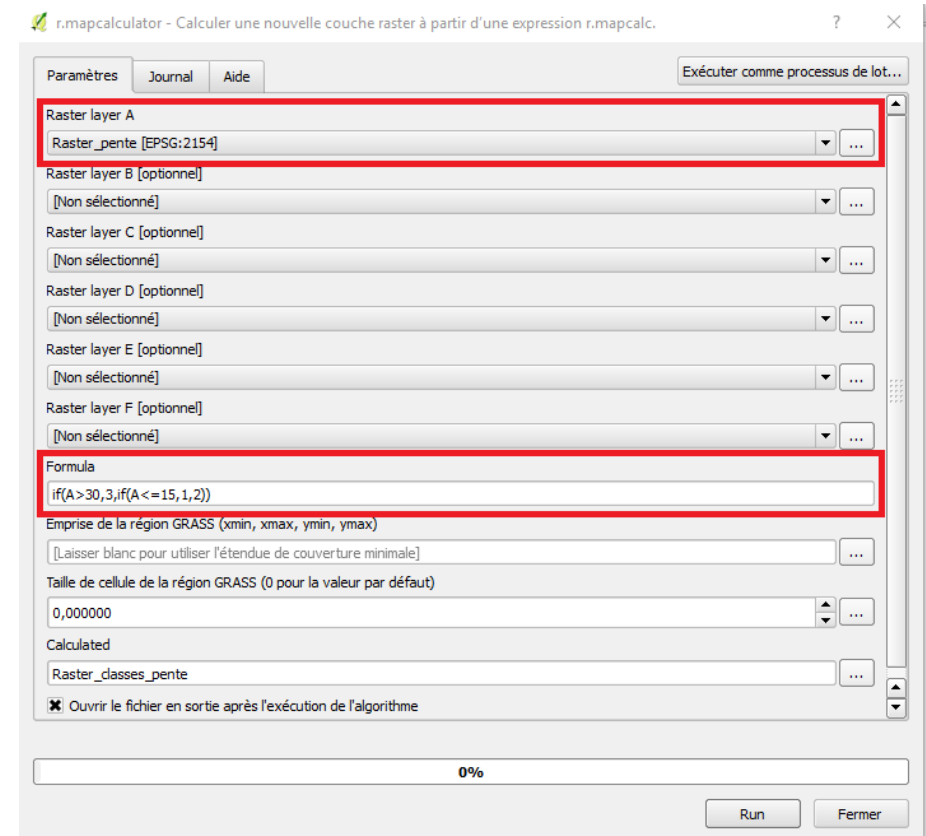
CODE :

`if(A > 30, 3, if(A <= 15, 1, 2))`

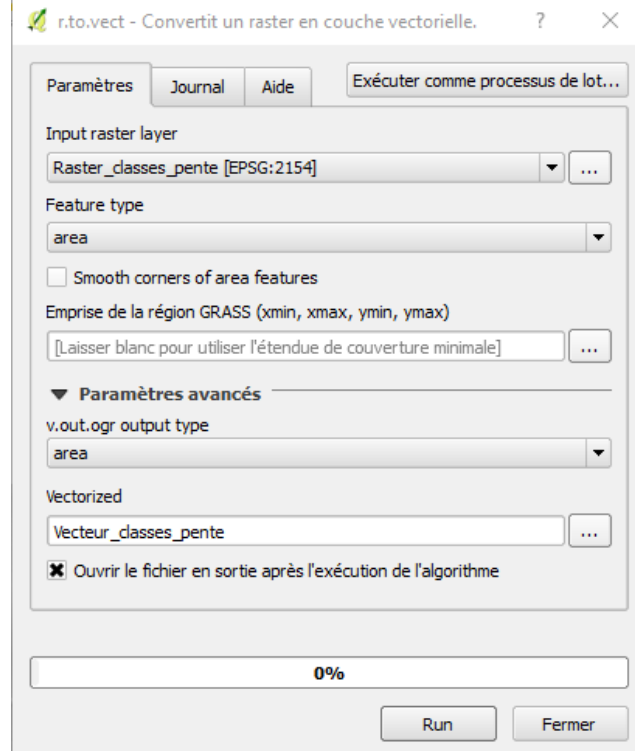
Tableau des classes de pente utilisées

Classes retenues	Classes (Bertrand, 2007)	Valeurs (%)
Pente douce	Pente nulle	0 à 3
	Pente faible	4 à 8
	Pente douce	9 à 15
Pente modérée	Pente modérée	16 à 30
Pente forte	Pente forte	31 à 40
	Pente excessive	41 et plus

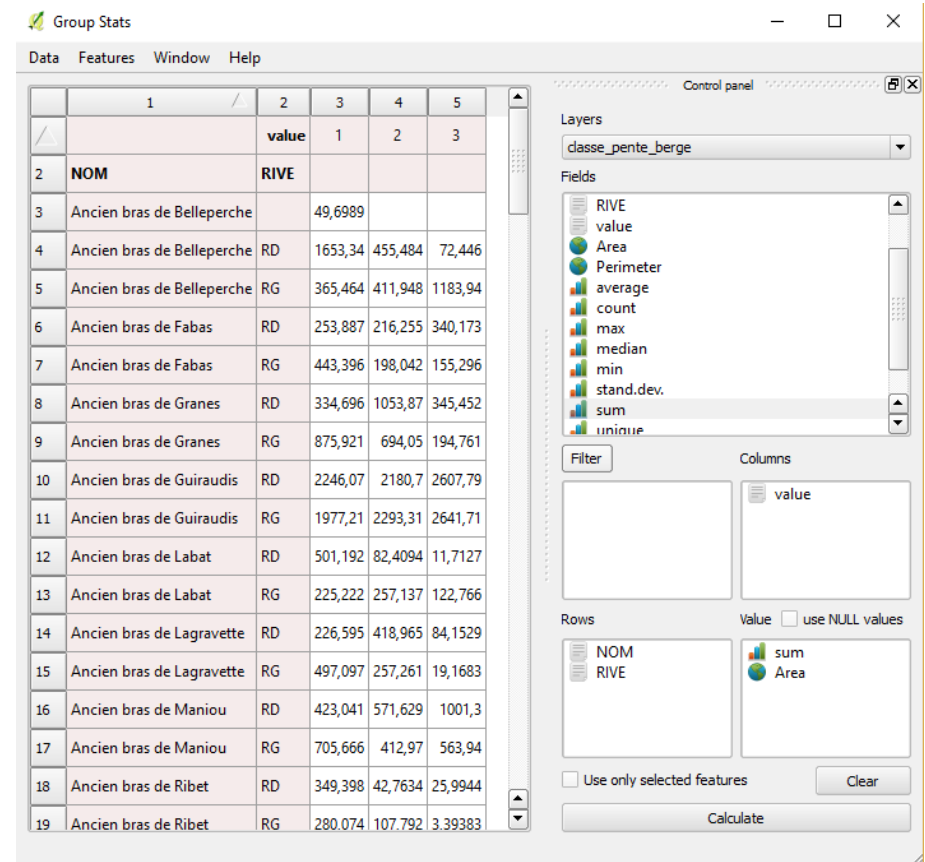
Issues de Bertrand N. (2007). Importance et caractéristiques des milieux forestiers riverains et humides au Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 70p.



- Transformer le raster de classes de pente en vecteur de classes de pente à l'aide de l'outil « r.to.vect » de GRASS. Pour cela choisir le raster de classes de pente en entrée, area pour « Feature type » et area dans les paramètres avancés ;



- Intersecter la couche des classes de pente avec la couche des berges afin de récupérer les identifiants des berges pour chaque classe de pente ;
- A l'aide de l'extension « Group Stats » fonctionnant sur le principe d'un tableau croisé dynamique, récupérer les classes de pente pour chaque berge de chaque annexe hydraulique. Pour cela, choisir les champs du nom et des berges en ligne, le champ des classes de pente en colonne et les champs de calcul d'aire « area » et de somme « sum ».



HAUTEURS MOYENNES DES BERGES

Dans cet exemple, la hauteur des berges a pour une zone de 10 mètres.

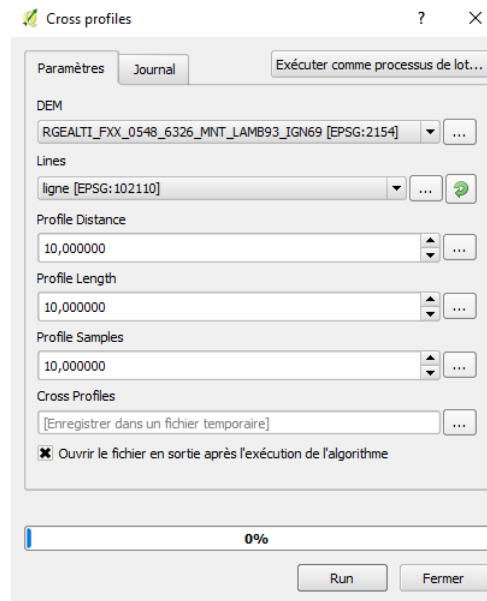
- Importer la couche dans une base de données PostGIS à l'aide de l'outil « Gestionnaire de base de données » présent dans l'onglet « Base de données » de QGIS ;
- Utiliser la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » (voir code) et charger la couche dans QGIS. Cette fonction permet de tracer l'axe central des polygones de berges ;

CODE :

```
SELECT *, ST_ApproximateMedialAxis(geom) FROM couche_de_berges
```

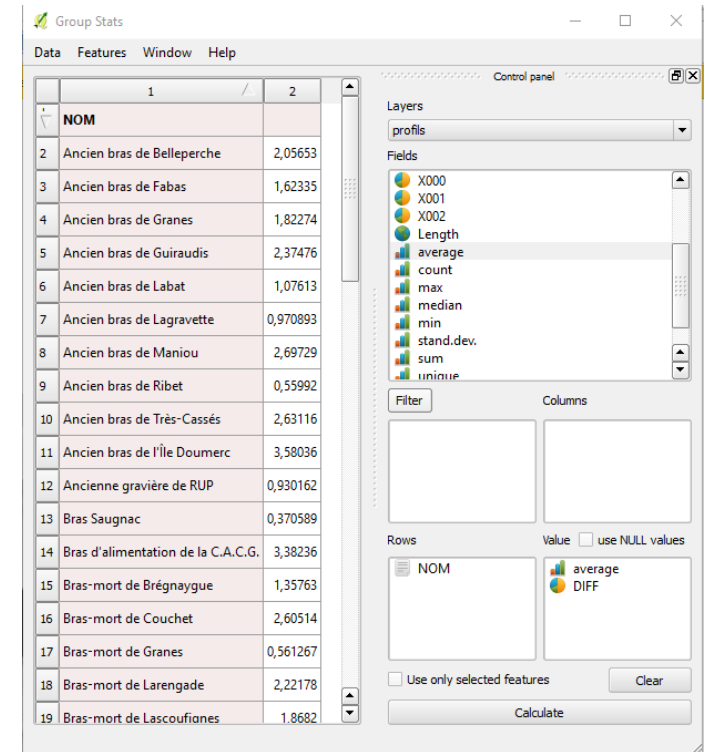
NB : L'utilisation de PostGIS et de la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » nécessite l'installation de PostgreSQL, un système de gestion de base de données. Néanmoins il est possible de se passer de cette fonction en traçant manuellement une couche vectorielle de lignes à partir de laquelle seront créés les profils.

- Corriger manuellement la couche créée pour éliminer certaines erreurs ;
- Tracer ensuite des profils perpendiculaires à l'aide de la fonction « Cross profiles » de SAGA dans la boîte à outil de QGIS. Cette fonction permet de tracer des profils perpendiculaires à la ligne créée ainsi que de récupérer des valeurs d'altitudes. Ici le but est de récupérer une altitude en pied de berge et une en haut de berge. La distance entre les profils est éditable (« Profile Distance ») ainsi que la longueur des profils (« Profile Length ») et le nombre de points de calcul d'altitude (« Profiles Samples ») ;



- Ouvrir la table attributaire de la couche de profils créée puis la calculatrice de champs. Créer un nouveau champ de type « **Nombre décimal** » et calculer la différence de hauteur entre la première altitude et la dernière altitude (voir code). Dans cet exemple, le champ contenant la première altitude est « X000 » et le champ contenant la dernière « X002 » ;

CODE :
"X002" - "X000"



- Intersecter la couche de profils avec la couche de berges afin de récupérer les identifiants des berges pour chaque profil ;
- A l'aide de l'extension « Group Stats », récupérer la hauteur moyenne de chaque berge. Pour cela, choisir le champ de regroupement (ici « NOM »), le champ de calcul de hauteur (ici « DIFF ») et ajouter la fonction « average » pour faire une moyenne.

LONGUEUR DES ANNEXES FLUVIALES

Dans cet exemple, la longueur des annexes fluviales a été calculée à l'aide de la couche des annexes hydrauliques.

- Importer la couche dans une base de données PostGIS à l'aide de l'outil « Gestionnaire de base de données » présent dans l'onglet « Base de données » de QGIS ;
- Utiliser la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » (voir code) et charger la couche dans QGIS. Cette fonction permet de tracer l'axe central des polygones des annexes hydrauliques ;

CODE :

```
SELECT *, ST_ApproximateMedialAxis(geom) FROM couche_de_berges
```

NB : Tout comme pour la hauteur moyenne des berges, l'utilisation de la fonction « ST_ApproximateMedialAxis » nécessite l'installation de PostgreSQL et de PostGIS.

- Corriger manuellement la couche créée pour éliminer certaines erreurs et faire coïncider les extrémités des lignes avec les extrémités des polygones ;
- Ouvrir la table attributaire puis la calculatrice de champ. Créer un champ de type « Nombre décimal » et écrire dans le cadre « Expression » : \$length. Ceci permet de calculer automatiquement la longueur de chaque ligne.

LARGEUR MOYENNE DES ANNEXES FLUVIALES

Dans cet exemple, la largeur moyenne des annexes fluviales a été calculée à l'aide de la couche de longueur précédemment créée. Actuellement, il n'existe pas d'outils sous QGIS capables de créer de façon simple des lignes transversales. C'est pour cela que l'outil « Cross profiles » de SAGA a été utilisé. Il nécessite cependant en entrée un MNT ce qui n'est pas utile dans le cadre de cette utilisation.

- Ouvrir l'outil « Cross profiles » de SAGA et indiquer une longueur de profil supérieure aux largeurs des annexes hydrauliques ;
- Intersecter la couche obtenue avec la couche des annexes fluviales afin de récupérer les identifiants ;
- Ouvrir l'extension « Group Stats » et utiliser la comme pour les hauteurs de berges. A noter que les longueurs des lignes peuvent être calculées directement dans l'outil « Group Stats » grâce à la fonction « length ». Il est également possible de créer un nouveau champ contenant la longueur de chaque profil.

CREATION DE SYMBOLES SVG UTILISABLES DANS QGIS

Exemple sous Inkscape.

- Créer ou importer une image SVG ;
- Sélectionner l'image puis cliquer sur « Chemin » et « Objet en chemin » ;
- Enregistrer l'image en tant que « SVG simple » et fermer Inkscape ;
- Ouvrir l'image à l'aide du bloc-note, WordPad ou Notepad++ ;
- Placer la ligne de code ci-après entre chaque balise <path/> et avant la ligne « d=""... ».

CODE :

```
fill="param(fill) #FFF" stroke="param(outline) #000" stroke-width="param(outline-width) 1"
```

- Supprimer les lignes contenant « style=""... » ;
- Enregistrer le fichier. L'image peut alors être utilisée dans QGIS.

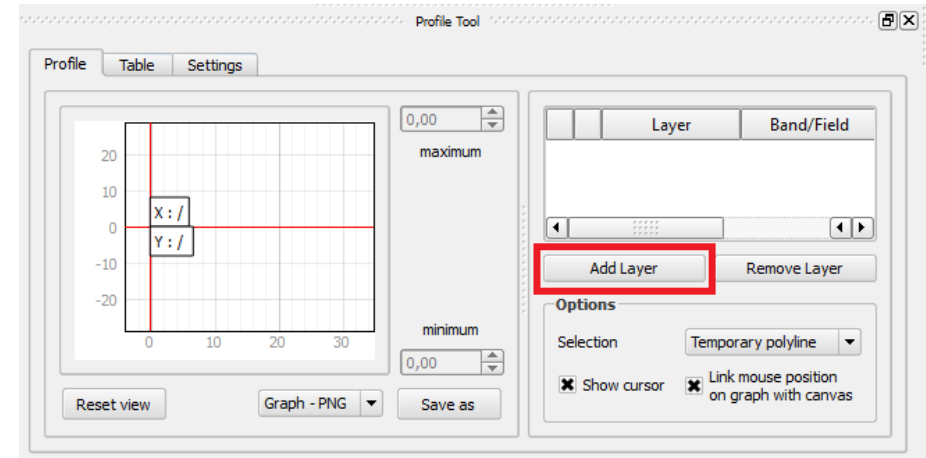
<https://www.sigterritoires.fr/index.php/comment-rendre-un-symbole-svg-modifiable-couleurtrait-dans-qgis/>

PROFILS AVEC ALTITUDES

A l'aide de l'extension Profile tool

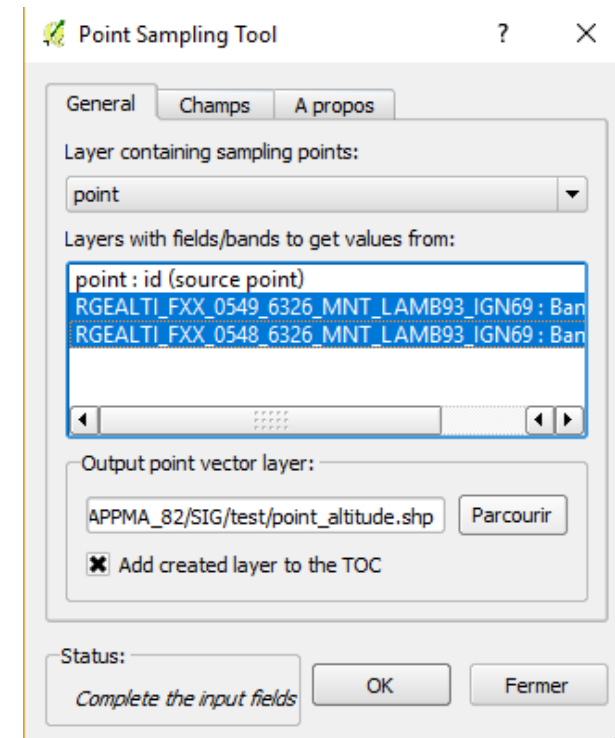
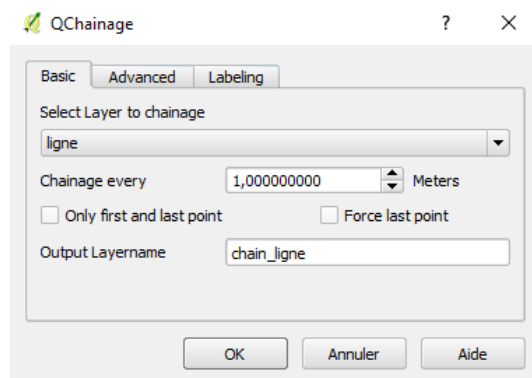
- Installer l'extension Profile tool ;
- Activer l'extension et tracer une ligne correspondant au profil. Un clic gauche permet de réaliser un nœud, deux clic gauche permettent de valider le tracé et un clic droit efface le tracé ;
- Cliquer sur le raster d'altitude puis sur le bouton « Add Layer » de la fenêtre « Profile tool ».

NB : Plusieurs rasters d'altitude peuvent être ajoutés.



A l'aide des extensions QChainage et Point sampling tool

- Installer les extensions QChainage et Point sampling tool ;
- Créer une couche vecteur de lignes et tracer le ou les profil(s) ;
- A l'aide de l'extension « QChainage », tracer des points équidistants pour lesquels l'altitude sera relevée (exemple tous les mètres) ;
- A l'aide de l'extension « Point sampling tool », récupérer les altitudes de chaque point créé. Pour cela, sélectionner la couche de point dans « Layer containing sampling points » puis les rasters d'altitude dans « Layers with fields/bands to get values from ». Choisir la couche en sortie et cliquer sur OK.



GEOCODAGE

Le géocodage décrit ici se base sur un fichier de type CSV dans lequel l'adresse, le code postal et la ville sont dans des colonnes. Si le séparateur n'est pas la virgule et l'encodage UTF-8, il se peut que l'encodage échoue notamment avec MMQGIS.

A l'aide de l'extension MMQGIS

- Installer l'extension « MMQGIS » ;
- Dans l'onglet « MMQGIS », sélectionner « Geocode » puis « Geocode CSV with Google / OpenStreetMap » ;
- Sélectionner le CSV des adresses, puis les différents champs le Web Service (Google ou OpenstreetMap) puis le nom en sortie ;
- Le fichier en sortie est un Shapefile dont le SCR est le WGS84 (EPSG : 4326).

A l'aide de la Base Adresse Nationale

- Se rendre sur le site du gouvernement : <https://adresse.data.gouv.fr/csv>
- Suivre les différentes étapes ;
- Le fichier en sortie est un fichier CSV ;
- Pour ouvrir le CSV dans QGIS, aller dans l'onglet « Couche », « Ajouter une couche » et « Ajouter une couche de texte délimité » ;
- Choisir les différents champs tels que dans l'image.

1. Choisir un fichier

adresse.csv (ou glisser un autre fichier, ou choisir)

2. Aperçu du fichier et vérification de l'encodage

Nom	Prenom	Adresse	CP	Ville
BOUSQUET	Gilles	2735 rte de l'aveyron	82000	MONTAUBAN
TUR	Balth	50 faubourg du Moustier	82000	MONTAUBAN
DUGAIT	David	201 rte de fronton	82170	GRISOLLES
MAZET	Romain	10 RUE DU PONT D'ASPACH	68520	BURNHAUPT-LE-HAUT

S'il y a des caractères non reconnus dans l'aperçu, vous pouvez essayer un autre encodage: windows-1252

3. Choisir les colonnes à utiliser pour construire les adresses

Nom | Prenom | Adresse | CP | Ville

4. Paramètres avancés (optionnels)

Colonne contenant le code INSEE : Autre
Colonne contenant le code postal : CP

Lancer

Web Service Geocode

Input CSV File (UTF-8)
D:/Universite/Stage/FDAAPPMA_82/SIG/test/adresse.csv

Address Field: Adresse
City Field: Ville

State Field: (none)
Country Field: (none)

Web Service: Google Maps
Google API Key (optional): (none)

Output Shapefile: D:/Universite/Stage/FDAAPPMA_82/SIG/test/adresse.shp

Not Found Output List: C:\PROGRA~2\QGIS2~1.14\bin\notfound.csv

OK Annuler

Créer une couche depuis un fichier à texte délimité (CSV)

Nom de fichier: D:/Téléchargements/adresse.geocoded.csv

Nom de la couche: adresse.geocoded
Codage: windows-1252

Format de fichier: CSV (virgule) délimiteurs personnalisés expression régulière

Enregistrements: Nombre de lignes à ignorer: 0 en-têtes en 1ère ligne

Options des champs: Réduire les champs Ignorer les champs vides Virgule en séparateur décimal

Définition de la géométrie: point Well known text (WKT) Pas de géométrie (juste la table)

Champ X: longitude Champ Y: latitude Coordonnées DMS

Paramètres de la couche: Index spatial Index des sous-ensembles Surveiller le fichier

	Nom	Prenom	Adresse	CP	Ville	latitude	longitude	
1	BOUSQUET	Gilles	2735 rte de l'aveyron	82000	MONTAUBAN	44.057061	1.338018	2735 Route de
2	TUR	Balth	50 faubourg du Moustier	82000	MONTAUBAN	44.013188	1.356607	50 Faubourg du
3	DUGAIT	David	201 rte de fronton	82170	GRISOLLES	43.829266	1.305609	Route de Front
4	MAZET	Romain	10 RUE DU PONT D'ASPACH	68520	BURNHAUPT-LE-HAUT	47.743794	7.119817	10 ZI DU PONT

OK Annuler Aide