
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Modélisation hydraulique du Thouet pour définir les conditions de connexion avec une annexe hydraulique

Entreprise : Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la
Protection du Milieu Aquatique

Adresse : 1280 rue de la Gachetière 49320 Brissac Loire Aubance

Tuteur entreprise :
Nicolas Chatard

Tuteur académique :
Michel Bacchi

Etudiant :
Maxime Garnault
Filière IMA
2024-2025



Table des matières

Remerciements	3
Introduction	4
1.Présentation de la structure	6
2.Caractéristiques du bassin versant du Thouet	7
2.1.Description	7
2.2.Statuts juridiques et réglementaires	9
2.3.Hydrologie	10
2.4.Contexte piscicole	12
2.5.Etat des masses d'eau	14
3.Présentation du site d'étude de la Tourdille	15
3.1.Localisation	15
3.2.Histoire	16
3.3.Connexion hydraulique	19
4.Matériels et Méthodes	21
4.1.Matériels	21
4.2.Méthodes	21
4.2.1.Construction du modèle numérique de terrain	21
4.2.2.Topographie	21
4.2.3.Bathymétrie	22
4.2.4.Le modèle numérique de terrain fusionné	23
4.2.5.Construction et calage du modèle HEC-RAS	24
5.Résultats	26
5.1.Etat actuel	26
5.1.1.Représentation du Thouet à 15m ³ /s	26
5.1.2.Représentation du Thouet à 5m ³ /s	27
5.1.3.Représentation du Thouet à 0,5m ³ /s	28
5.1.4.Répartition des débits	28
5.2.Objectifs	29
5.3.Propositions de scénarios d'aménagement	30
5.3.1.Scénario 1 : Augmentation de la cote de ligne d'eau	30
5.3.2.Scénario 2 : Diminution de la cote de la connexion amont	31
5.3.3.Scénario 3 : Augmentation de la cote du seuil de Bron	32
5.3.4.Scénario 4 : Augmentation de la cote des radiers	34
5.3.5.Scénario 5 : Alimentation du ruisseau de la Fontaine des Ermites	36
6.Discussion	36
6.1.Limites de l'étude	36
6.2.Choix du scénario	37
7.Conclusion	38
Bibliographie / Sitographie	39
Annexes	41

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Président Bernard Merlin ainsi que Madame la Directrice Stéphanie Fénéon de la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, pour m'avoir accueilli en stage au sein de leur structure.

Je remercie grandement mon tuteur professionnel, Nicolas Chatard, pour son accompagnement attentif et l'ensemble des connaissances qu'il m'a transmises au cours de ce stage ainsi que Camille Logie, chargée de mission et responsable du sud du département, avec qui j'ai eu l'opportunité de participer à plusieurs réunions et réflexions autour de ma zone d'étude. Mes remerciements vont également à Clément Martin, technicien piscicole du service technique, pour les nombreuses missions partagées sur le terrain.

Je tiens à remercier tout particulièrement Marc Garnier, administrateur de la Fédération et référent sur le Thouet, pour sa disponibilité et ses précieuses explications sur l'histoire de la Tourdille ainsi que pour son aide sur les relevés de niveaux d'eau.

Merci à l'ensemble de l'équipe technique pour m'avoir permis de découvrir les cours d'eau du Maine-et-Loire à travers diverses missions, telles que les campagnes d'Indice Poissons Rivière (IPR), le suivi des poissons migrateurs, ou encore les pêches de sauvetage. Ces expériences ont grandement enrichi mes connaissances sur les milieux aquatiques et leur biodiversité.

Un grand merci à toute l'équipe de la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique pour leur accueil chaleureux, leur bonne humeur, ainsi que pour tous les savoirs transmis.

Je souhaite également remercier mon tuteur universitaire, Michel Bacchi.

Enfin, je remercie David Laurendeau et Rémi Vercruysse, techniciens rivière et biodiversité de la Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire, pour leurs partages de bibliographie sur le Thouet et le prêt de matériel, notamment du GPS, qui m'a été d'une aide précieuse dans la réalisation de cette étude.

Introduction

D'ici l'horizon 2050-2070, les cours d'eau du territoire pourraient connaître une baisse significative allant jusqu'à 70% de leur débit minimum mensuel quinquennal (QMNA5) pour certains grands bassins versants français, selon les projections du projet Explore 2070 (2012). Dans un contexte de crise climatique, d'effondrement de la biodiversité et d'urbanisation croissante, la nécessité de gérer de façon intégrée la ressource en eau et les milieux aquatiques devient plus que jamais une priorité. Les impacts attendus du changement climatique sur les milieux aquatiques sont multiples : assèchement des zones humides, modification des habitats et de la répartition des espèces ainsi que des étiages plus longs et plus sévères.

Parmi les territoires les plus vulnérables à ces enjeux, le bassin versant du Thouet a été classé au niveau maximal (5/5) par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, concernant la disponibilité en eau, le bilan hydrique, la biodiversité et la capacité d'autoépuration des milieux (SAGE,2023). Ce classement souligne l'urgence d'intervenir pour préserver les fonctionnalités écologiques de cette rivière.

Il existe un document de planification de la gestion de l'eau et des milieux aquatiques appelé Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), déclinaison locale du SDAGE. Ce référentiel fixe des objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau et des milieux aquatiques afin de répondre à l'objectif de bon état des masses d'eau selon la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Le SAGE Thouet doit être compatible avec le SDAGE Loire-Bretagne (2022-2027). Deux objectifs généraux en rapport avec cette étude sont mis en évidence. L'objectif 7 : Restaurer conjointement la continuité écologique et l'hydromorphologie des cours d'eau pour en améliorer les fonctionnalités. Et également l'objectif 9 : Identifier, préserver, restaurer et valoriser les zones humides et la biodiversité.

Ainsi le contrat territorial Thouet 2024-2029, déclinaison opérationnelle du SAGE Thouet, doit répondre aux objectifs de la DCE (continuité piscicole et hydro-sédimentaire) et du SDAGE Loire-Bretagne tout en tenant compte des enjeux spécifiques au territoire. De ce fait, plusieurs objectifs stratégiques et opérationnels ont été définis sur les thématiques de gestion quantitative de la ressource en eau, des milieux aquatiques et humides et de qualité de l'eau.

Le Thouet est un cours d'eau de plaine situé dans l'ouest de la France. Il a connu de profondes transformations au fil des siècles, résultant des multiples usages anthropiques : clapets hydrauliques, ouvrages transversaux, drainage des parcelles ou encore mise en biefs de certains tronçons. Ces aménagements, souvent réalisés dans une logique de développement local, ont fortement altéré la dynamique fluviale tout en dégradant les habitats. La continuité piscicole et sédimentaire a également été fortement freinée. Des travaux de restauration pour rétablir la continuité ont été menés sur le Thouet ce qui a provoqué un abaissement de la ligne d'eau, une réduction de la largeur mouillée et donc une déconnexion des annexes hydrauliques, comme cela a été le cas sur la zone de la Tourdille au Coudray-Macouard.

Ce rapport répond à l'objectif de restaurer et de réhabiliter les annexes hydrauliques du Thouet présent dans le Contrat Territorial Eau Multithématique Thouet (2024-2029). Le pilotage de ce contrat est assuré par le Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet (SMVT) pour la partie située en Deux-Sèvres et la Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL) pour la partie en Maine-et-Loire en collaboration avec leurs partenaires incluant les Fédérations Départementales de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA 49 et 79).

À cette fin, la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique s'est portée maître d'ouvrage pour piloter une étude de reconnexion d'une annexe hydraulique, la Tourdille, située sur le Thouet dans la commune du Coudray-Macouard (49260). L'objectif spécifique de cette étude est de réaliser une modélisation hydraulique de la zone d'étude afin d'identifier les niveaux de connexion actuels de l'annexe hydraulique et de proposer des simulations d'aménagements. Ce projet s'inscrit dans une démarche de restauration écologique visant à identifier des mesures concrètes pour améliorer la qualité des habitats aquatiques. Ayant pour but de maintenir la connexion et de favoriser l'enneigement et l'exondation de la Tourdille durant la période de reproduction du brochet, un enjeu crucial pour la pérennité de l'espèce.

1. Présentation de la structure

Ce rapport de stage est le résultat d'un travail mené au sein de la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique située à Brissac Loire Aubance. Cette structure est une association loi 1901 reconnue d'utilité publique au titre du Code de l'Environnement (Art. L.434-4). Elle est également agréée au titre de la protection de l'environnement (arrêté préfectoral de juillet 1978).

Les 94 Fédérations Départementales adhèrent à la Fédération Nationale de la Pêche en France et de la protection du milieu aquatique (FNPF), créée par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) de 2006 et officiellement constituée le 5 février 2007. La FNPF succède à l'Union Nationale pour la Pêche en France (UNPF), qui avait été créée en 1947.

La Fédération du Maine-et-Loire coordonne les actions de 37 Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) ainsi que l'Association Départementale Agréée des Pêcheurs Amateurs aux Engins et Filets (ADAPAEF) du département regroupant plus de 34 000 pêcheurs.

Elle est composée d'un Conseil d'Administration de 12 membres (dont 6 forment le bureau : président, trésorier, secrétaire et vice-présidents) et emploie 12 salariés qui apportent leurs compétences au bureau fédéral et conduisent des actions en faveur du milieu aquatique et des pêcheurs :

- 1 Directrice
- 1 Secrétaire-comptable
- 1 Chargé d'études
- 1 Chargée de missions
- 1 Technicien piscicole
- 1 Chargé de développement communication
- 1 Chargé de développement tourisme
- 1 Chargée de développement éducation à l'environnement
- 1 Chargé de développement pêche
- 1 Chargé de développement garderie – réglementation police de la pêche
- 1 Apprentie – réglementation police de la pêche
- 1 Agent d'entretien

La Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a pour missions le développement du loisir pêche, l'éducation à l'environnement, la police de la pêche, ainsi que l'étude, la préservation et la restauration des milieux aquatiques du département. Elle doit assurer des missions d'intérêt général.

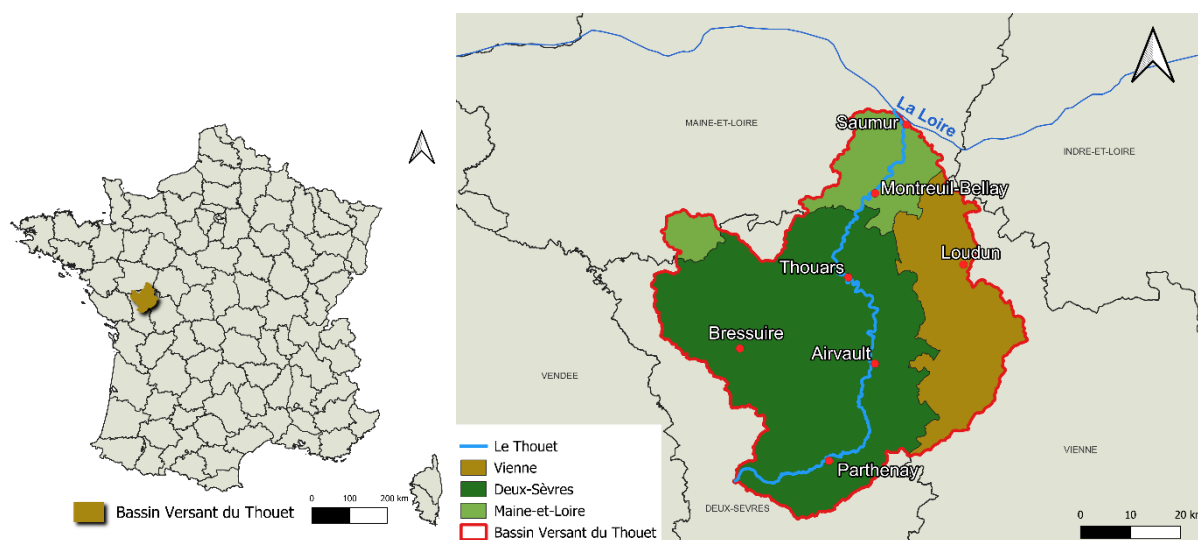
2. Caractéristiques du bassin versant du Thouet

2.1. Description

Situé à la confluence des territoires du Poitou, de l'Anjou et de la Touraine (Figure 1), le bassin versant du Thouet s'inscrit dans un paysage contrasté, alternant reliefs encaissés creusés dans les formations granitiques et vallées aux pentes plus douces, dominées par les grandes cultures et les vignobles. L'occupation du sol est majoritairement dédiée à l'agriculture, qui représente près de 85 % de la superficie totale du bassin versant (SAGE Thouet, 2023).

Le Thouet prend sa source à 223 mètres d'altitude sur les hauteurs granitiques de la Gâtine, dans la commune de Le Beugnon (Deux-Sèvres) (Figure 2). Ce cours d'eau s'écoule sur un linéaire de 152 kilomètres avant de rejoindre le plus long fleuve de France, la Loire, en rive gauche, en aval de Saumur à 25 m d'altitude. Son bassin versant couvre une superficie de 3 400 km² et se caractérise par une hydrographie dense, représentant près de 2 400 kilomètres de linéaire de cours d'eau, pour une pente moyenne de 0,35 ‰ (SAGE Thouet, 2023).

L'ensemble du bassin versant est situé dans le bassin Loire-Bretagne. Il s'étend sur deux régions administratives : la Nouvelle-Aquitaine et les Pays-de-la-Loire et concerne trois départements : les Deux-Sèvres (79), la Vienne (86) et le Maine-et-Loire (49) (Figure 2).



Sur le plan fonctionnel, les cours d'eau du bassin présentent un état dégradé. La plupart ont subi des modifications morphologiques importantes liées à l'aménagement du territoire et à la gestion hydraulique : ouvrages transversaux permettant le maintien de la ligne d'eau, mises en bief, élargissements et rectifications du lit mineur, drainage des parcelles agricoles. Ces altérations ont contribué à perturber le fonctionnement hydromorphologique naturel et la continuité écologique du réseau hydrographique.

La gestion du bassin s'organise autour de 11 Unités de Gestion Cohérente (UGC), couvrant 33 masses d'eau, selon la typologie définie par les instances de gestion de l'eau.

Le Thouet reçoit les eaux de quatre affluents principaux, de l'amont vers l'aval :

- Le Cébron, long de 30 km, drainant un bassin versant de 163 km²
- Le Thouaret, long de 52 km, pour un bassin de 309 km²
- L'Argenton, long de 71 km, drainant une surface de 780 km²
- La Dive, long de 73 km, avec un bassin de 1 037 km²

À ces affluents majeurs s'ajoutent de nombreux petits cours d'eau qui se jettent directement dans le Thouet. On retrouve notamment, en rive droite, la Viette, le Gerson, le Pont Buret, le Gâteau et la Losse ; et en rive gauche, le Palais, la Cendronne, le Jussay, les Ruaux, la Gravelle et le Douet (Figure 3).

Enfin, la multiplicité des structures de gestion et d'acteurs institutionnels sur ce bassin versant peut entraîner une division des approches et générer des discontinuités dans la gestion hydraulique et écologique.

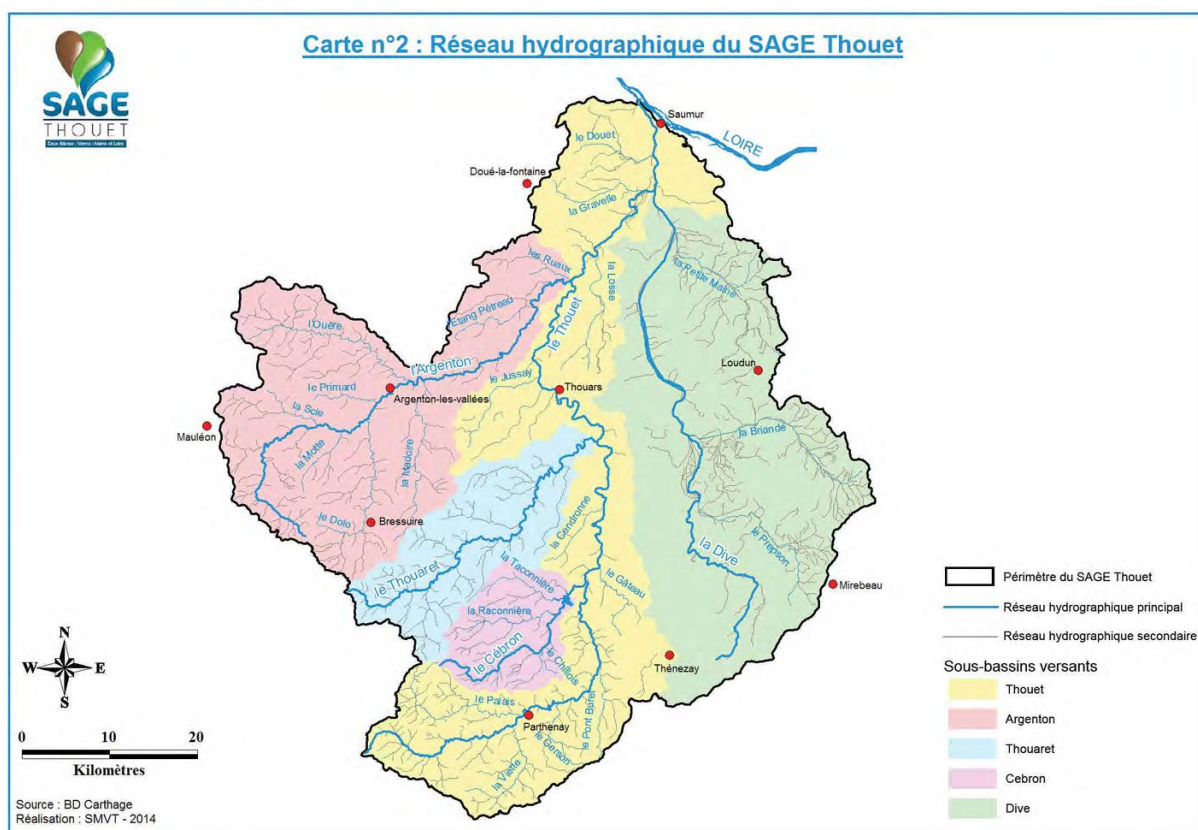


Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant du Thouet (Sage Thouet, 2023)

2.2. Statuts juridiques et réglementaires

Le Thouet est classé comme cours d'eau domanial dans le département du Maine-et-Loire, ce qui implique qu'il relève du Domaine Public Fluvial (DPF). La gestion courante de ce domaine est assurée par la Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL), qui en assure notamment l'entretien du patrimoine bâti (écluses, berges) ainsi que la maintenance des ouvrages hydrauliques.

Sur le plan piscicole, le Thouet est classé en deuxième catégorie, conformément à l'article R.436-5 du Code de l'Environnement. Ce classement concerne les cours d'eau où prédominent les espèces de poissons d'eaux calmes, dites cyprinicoles.

Sur le plan réglementaire, le Thouet est concerné par l'arrêté du 10 juillet 2012, qui établit, pour le bassin Loire-Bretagne, la liste des cours d'eau mentionnés aux 1° et 2° du I de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement.

Dans le département du Maine-et-Loire, le linéaire du Thouet sous compétence de la CASVL est classé en Liste 2 au titre de cet article. Certains principaux affluents du Thouet sont également soumis à cette réglementation, comme le montrent les linéaires en rouge (Liste 1) et en bleu (Liste 1 et 2) sur la Figure 4.

- Les cours d'eau classés en Liste 1 visent au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique, « aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique »
- Les cours d'eau classés en Liste 2, exigent le rétablissement de la continuité écologique (sédiments et poissons migrateurs) pour tous les ouvrages dans les cinq ans suivant la prise de l'arrêté.

Cette réglementation différente au sein même de la rivière du Thouet illustre la complexité de la gouvernance hydrographique sur le bassin versant.

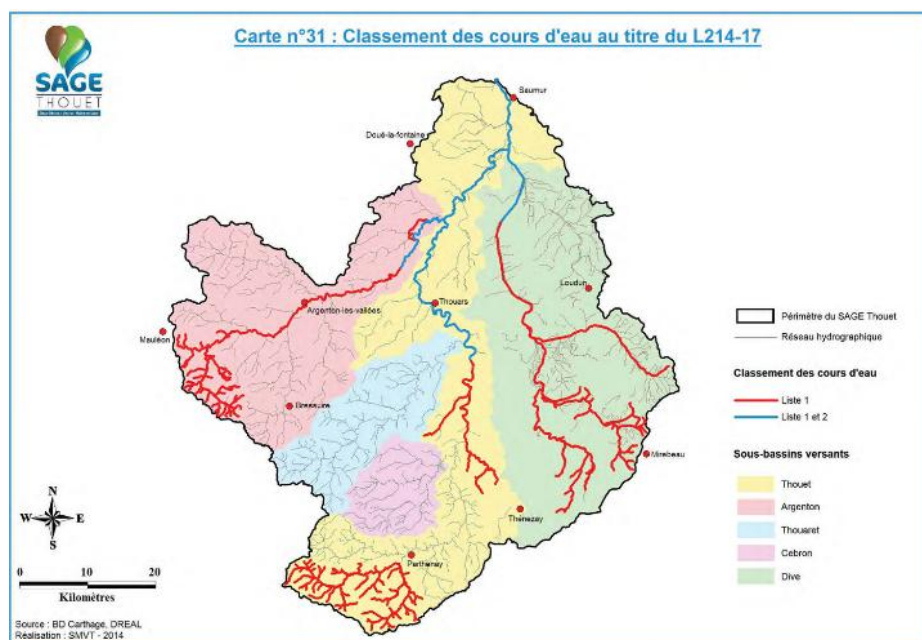


Figure 4: Classement des cours d'eau au titre L214-17 du bassin versant du Thouet (SAGE Thouet, 2023)

2.3. Hydrologie

Le Thouet subit des étiages très sévères en période estivale. Cet abaissement spectaculaire des débits est en partie dû au très faible soutien des nappes souterraines, qui s'assèchent au cours de l'été. Par ailleurs, les fortes sollicitations dont fait l'objet le cours d'eau, notamment à des fins d'irrigation, aggravent la situation. Le débit d'étiage peut alors être inférieur à $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en aval du cours d'eau. Certains cours d'eau du bassin peuvent se trouver à sec en période estivale. En période d'étiage, le Thouet est peu soutenu par ses affluents qui ont un débit moyen pour le mois de septembre de $0,516 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le Cébron, de $0,301 \text{ m}^3/\text{s}$ pour l'Argenton et de $0,562 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la Dive (SAGE du bassin du Thouet 2023).

La Figure 5 met en évidence la variabilité des débits moyens mensuels du Thouet sur la période de 2022 à 2024 entre l'amont (Le Talud) et l'aval (Montreuil-Bellay) (hydro.eaufrance). Les écarts de débit, particulièrement marqués hors période d'étiage, traduisent les apports progressifs des affluents tout au long du cours d'eau. En été, cette dynamique est fortement atténuée en raison de la faible contribution des rivières secondaires, elles-mêmes soumises à des débits résiduels très bas (Annexe 4).

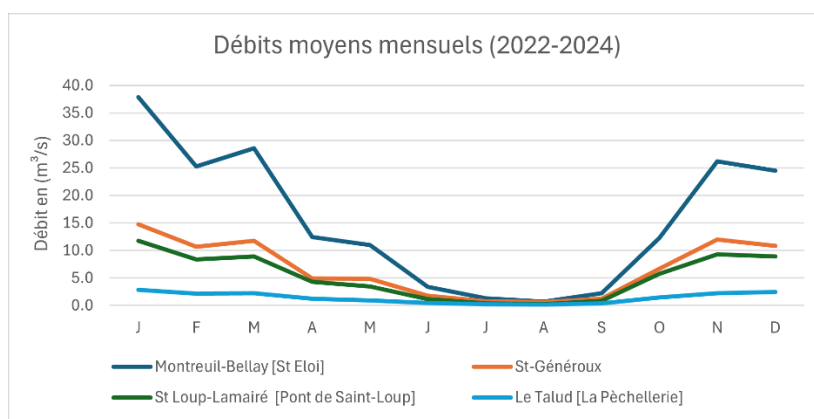


Figure 5: Débits moyens mensuels du Thouet 2022-2024 (hydro.eaufrance) @M. Garnault

L'hydrologie du bassin du Thouet est suivie grâce à 16 stations de mesure. La station de Montreuil-Bellay (Saint-Éloi) (code station : L840211002) a été retenue comme station de référence dans le cadre de ce rapport. En effet, située à un point nodal du réseau hydrographique, elle enregistre les débits en intégrant les apports cumulés des principaux sous-bassins versants du Thouet. Ce positionnement stratégique, également reconnu par le SAGE Thouet, lui confère une représentativité hydrologique élevée.

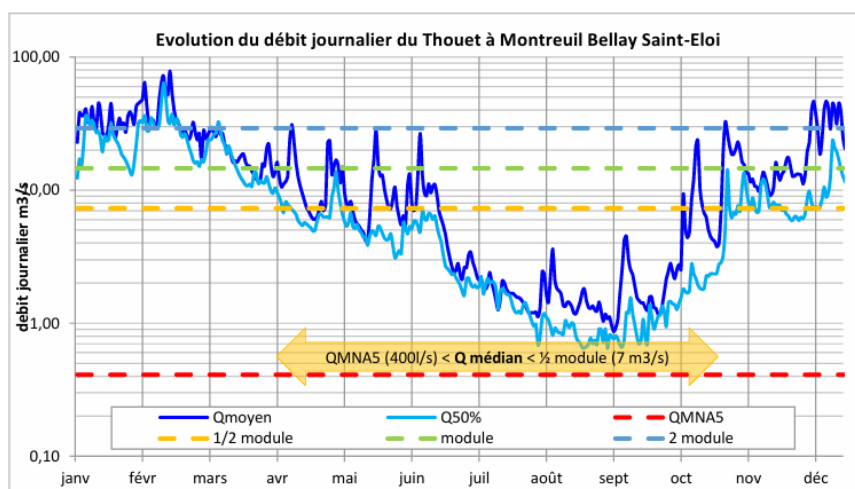


Figure 6: Évolution du débit journalier du Thouet à Montreuil Bellay St-Eloi (étude maîtrise d'œuvre moulin de la Motte)

Selon l'étude de maîtrise d'œuvre pour la restauration de la continuité écologique au moulin de la Motte (Lot 2) (2021), le débit médian se situe entre le QMNA5 (400 l/s) et ½ module (7 m³/s) (Figure 6).

Le Débit Objectif d'Étiage (DOE) représente la valeur du débit moyen mensuel à partir de laquelle l'équilibre entre les usages anthropiques (activités, prélèvements, rejets) et le bon fonctionnement écologique du milieu aquatique est assuré. Il caractérise ainsi le seuil de maintien des fonctionnalités écologiques et socio-économiques du cours d'eau. Sur le Thouet, cette valeur est évaluée à 0,5 m³/s.

Afin de gérer au mieux les étiages du Thouet, des débits-seuils ont été fixés pour ensuite définir différents niveaux d'alerte (Tableau 1) et les utiliser dans les arrêtés-cadre sécheresse.

Le Débit de Crise est le seuil critique de débit au-dessous duquel l'alimentation en eau potable et la survie des espèces aquatiques sont directement compromises. Il est impératif de préserver ce débit par des mesures préalables, incluant notamment des restrictions d'usages.

Tableau 1: Niveaux d'alerte hydrologique à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi @M. Garnault (hydro.eaufrance)

Niveaux d'alerte	Niveau 1 : Vigilance	Niveau 2 : Alerte	Niveau 3 : Alerte Renforcée	Niveau 4 : Crise
Débit du Thouet (m³/s)	0,9	0,6	0,3	0,2

Les étiages sévères du Thouet sont aggravés par les pressions anthropiques, notamment les prélèvements en eau. En 2018, le bassin a enregistré un volume total de prélèvements de 24,147 millions de mètres cubes (Mm³), d'après la BNPE. Ces prélèvements se répartissent entre les eaux superficielles (47,4 %) et les eaux souterraines (52,6 %). Les usages dominants sont l'eau potable (13,400 Mm³), suivie par l'irrigation (9,755 Mm³), et l'industrie (0,990 Mm³) (Figure 7), soulignant l'impact significatif de ces activités sur la ressource en eau disponible, particulièrement en période de faible débit.

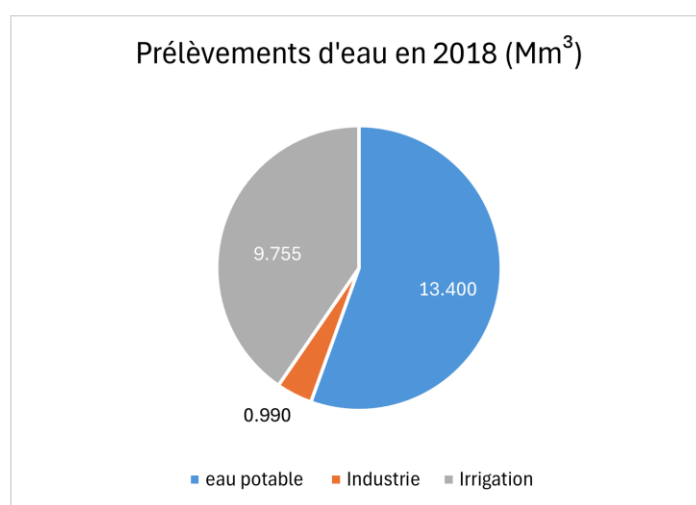


Figure 7: Prélèvements d'eau en 2018 sur le bassin versant du Thouet en Mm³ (BNPE)

2.4. Contexte piscicole

L'étude présentée dans ce rapport s'appuie sur le brochet, *Esox lucius*, dans le but de favoriser sa reproduction au sein d'une annexe hydraulique du bassin du Thouet. Cette espèce limnophile est le seul ésoциde de France (INPN). Il est emblématique des milieux aquatiques français et présente un fort intérêt patrimonial, écologique et halieutique.

D'après le Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG) du Maine-et-Loire, la partie de Thouet située dans ce département appartient au domaine cyprinicole (Huet,1949) (Figure 8) et est classée en zone piscicole B7 selon la biotypologie de Verneaux (1973) (Figure 8). Cette zonation est évaluée en fonction de la température, de la dureté de l'eau, de la section mouillée à l'étiage, de la pente et de la largeur du cours d'eau (Verneaux,1973). D'après ces données, le brochet est considéré comme espèce repère sur cette partie du cours d'eau (PDPG,2024), ce qui justifie le choix en tant qu'espèce de référence dans cette étude.

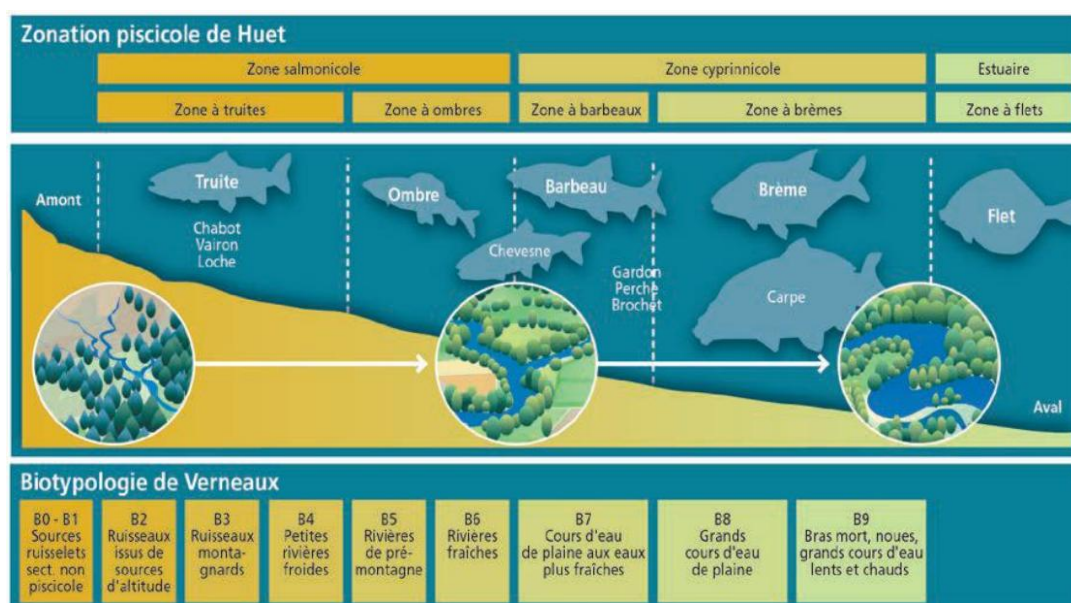


Figure 8: Zonation piscicole de Huet et biotypologie de Verneaux (Huet,1949) (Verneaux,1973)

La reproduction du brochet a lieu de janvier à mai, dans des zones végétalisées peu profondes de 10 à 80 centimètres, où la température de l'eau est comprise entre 6 et 12 °C (Chancerel, 2003 ; Keith et al., 2020). Les œufs, d'environ 2,3 mm, sont déposés sur une végétation aquatique dense de type graminées à laquelle ils adhèrent (Dorier, 1938 ; Bruslé & Quignard, 2013). Les cycles annuels de mise en eau et de ressuyage estival sont essentiels à la régénération des espèces végétales (INRA, 1983).

Après la fécondation, plusieurs stades se succèdent (Figure 9). La maturité sexuelle est atteinte à l'âge d'un été chez les mâles, et après deux à trois étés chez les femelles (INRA, 1983).

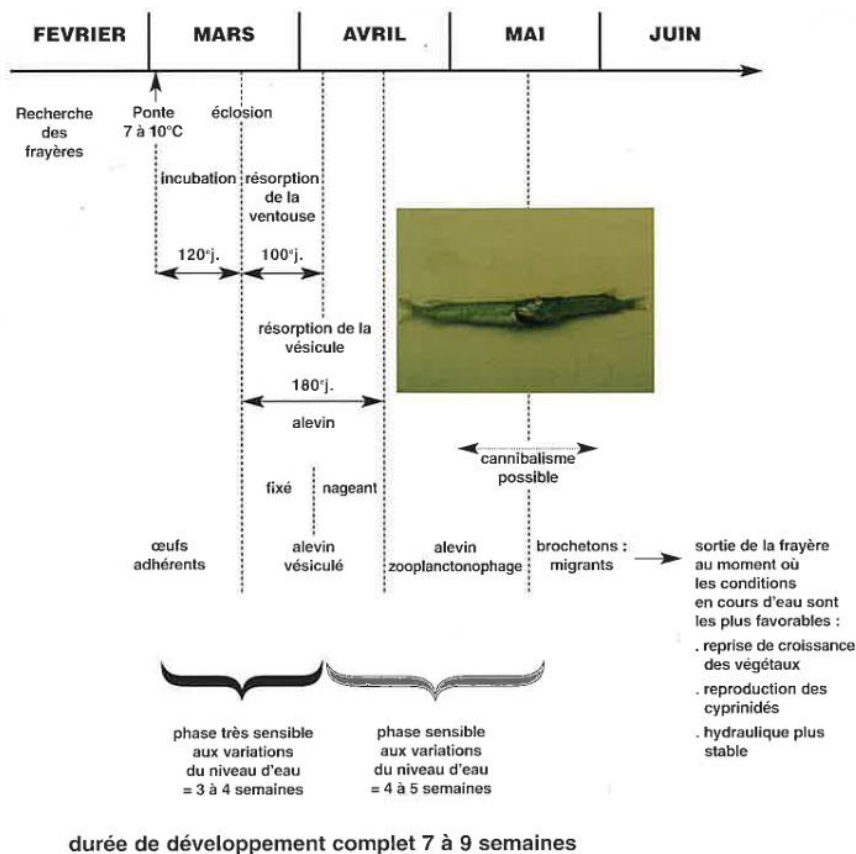


Figure 9: Cycle de reproduction théorique du Brochet (Chancereel, 2003)

Le Tableau 2 présente les valeurs seuils de lame d'eau et de vitesses d'écoulement maximales qui permettent le franchissement du brochet.

Tableau 2: Représentation des valeurs seuils permettant le franchissement selon différents critères (ONEMA, 2014)

Groupe ICE	Espèce	Tirants d'eau minimum nécessaire pour la nage (m)	V, Sprint Umax moyenne (m/s)
5	Brochet (<i>Esox lucius</i>)	0,15	4,25

La vitesse de croisière est la nage pour laquelle les poissons peuvent se déplacer pendant 200 minutes sans engendrer des modifications physiologiques profondes de l'organisme du poisson. L'écologiste G.B. Beach (1984) a défini la relation suivante pour des poissons inférieurs à 55 cm :

Avec :

- L la longueur du poisson en mètres
- Vcr exprimée en mètres par seconde (m/s)

$$V_{cr} = 0,15 + 2,4 * L$$

Le brochet est classé "vulnérable" sur la liste rouge nationale des espèces menacées (UICN et al., 2019). Dans le cadre du Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG), le brochet est considéré comme une espèce repère en domaine cyprinicole. Il est un bon indicateur de la qualité écologique des milieux, notamment en raison de son mode de reproduction particulière, lié à la nécessité et la fonctionnalité particulière des annexes hydrauliques.

Les annexes hydrauliques sont des zones humides telles que les bras morts, les prairies inondables, ou encore les forêts alluviales. Le brochet dépend de ces annexes pour sa ponte. Or, ces milieux sont en net déclin : en France, 64 % des zones humides ont disparu au XXe siècle, dont plus de 50 % entre 1960 et 1990 (CIEPP, 1994 ; MTE, 2022). Cette dynamique s'observe également sur le bassin du Thouet, où de nombreuses annexes sont aujourd'hui dysfonctionnelles ou complètement déconnectées du cours d'eau dû à une diminution de la largeur mouillée. Restaurer ces milieux est donc une priorité pour garantir des habitats fonctionnels à la reproduction du brochet (Chancereel, 2003 ; Keith et al., 2020).

2.5. Etat des masses d'eau

L'analyse de l'état des masses d'eau du bassin versant du Thouet révèle une situation préoccupante sur le plan écologique. D'après le volet Milieux de l'étude HMUC (2025) qui fait suite au SAGE Thouet, aucune des 33 masses d'eau recensées n'atteint le bon état écologique : 14 sont en mauvais état, 13 en état médiocre et seulement 6 en état moyen (Figure 10). Ce constat reflète des pressions hydromorphologiques fortes, affectant 29 masses d'eau sur le plan morphologique et 31 en matière de continuité écologique.

L'évaluation de l'état biologique, disponible pour 26 masses d'eau, confirme cette dégradation : 11 sont en mauvais état, 9 en état médiocre, 5 en état moyen, et une seule atteint un bon état. Cela indique une altération marquée des communautés biologiques, notamment des poissons, dont les populations sont dégradées dans environ 70 % des stations suivies.

En revanche, les indices relatifs aux diatomées et aux invertébrés benthiques (I2M2) présentent une situation plus contrastée, certaines stations affichant même un bon ou très bon état, témoignant de réponses biologiques différenciées selon les compartiments évalués.

En ce qui concerne les paramètres physico-chimiques, l'état est globalement moins altéré. Sur les 30 masses d'eau pour lesquelles ces données sont disponibles, 13 présentent un état moyen, 5 un bon état, 6 un état médiocre et 4 un mauvais état; deux masses d'eau seulement atteignent un très bon état. Ces paramètres ne suffisent toutefois pas à refléter pleinement les perturbations écologiques observées.

Enfin, l'état chimique des masses d'eau, selon les données les plus récentes du SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027, semble globalement meilleur que l'état écologique. Seules trois masses d'eau sont classées en mauvais état chimique, concentrées notamment sur des tronçons du Thouet médian et de la Dive du Nord.

Ainsi, l'ensemble des indicateurs convergent vers un constat d'altération globale de la qualité des eaux du bassin du Thouet, malgré certaines disparités entre compartiments. Cette situation souligne la nécessité d'engager des actions renforcées en faveur de la restauration des milieux aquatiques, notamment sur les plans morphologique, biologique et de la continuité écologique.

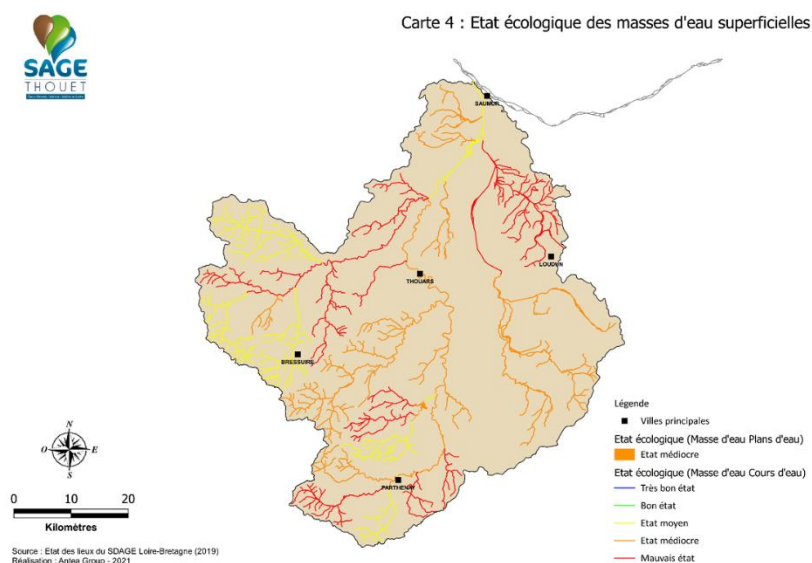


Figure 10: Etat écologique des masses d'eau superficielles du bassin versant du Thouet (SAGE Thouet, 2023)

3. Présentation du site d'étude de la Tourdille

3.1. Localisation

Le site d'étude de la Tourdille se situe à la limite des communes du Coudray-Macouard et de Saint-Just-sur-Dive, localisé sur la partie aval du Thouet, à environ 4,3Km en amont de la confluence avec la Dive et 16,5Km avec la Loire (Figure 11 et 13). À proximité immédiate de ce site se trouve l'ouvrage de Bron situé à quelques mètres de l'annexe hydraulique étudiée.

La station hydrométrique de référence, localisée à Montreuil-Bellay (St-Eloi) est implantée à 5,2Km en amont du site (Figure 13). Sa proximité garantit une fiabilité des débits mesurés dans le cadre de ce rapport. Le ruisseau de la Fontaine des Ermites, petit affluent du Thouet se situe entre la station de débit et la Tourdille mais son faible débit est considéré comme négligeable en comparaison du débit du Thouet, ce qui justifie son exclusion dans l'analyse hydrologique du site.

L'annexe hydraulique de la Tourdille, située en rive gauche du cours d'eau, présente une superficie d'environ 6000m² (Figure 12). Cette surface relativement importante est donc un atout majeur dans le développement de certaines espèces piscicoles et plus particulièrement du brochet. La rareté des frayères à Brochet (*Esox lucius*) sur le bassin du Thouet souligne la nécessité de réaménager cet espace afin de le rendre fonctionnel, c'est-à-dire ennoyé en eaux durant la période de reproduction généralement de mars à mai (OFB & INRAE, 2020), condition indispensable pour la reproduction et la pérennité de l'espèce.

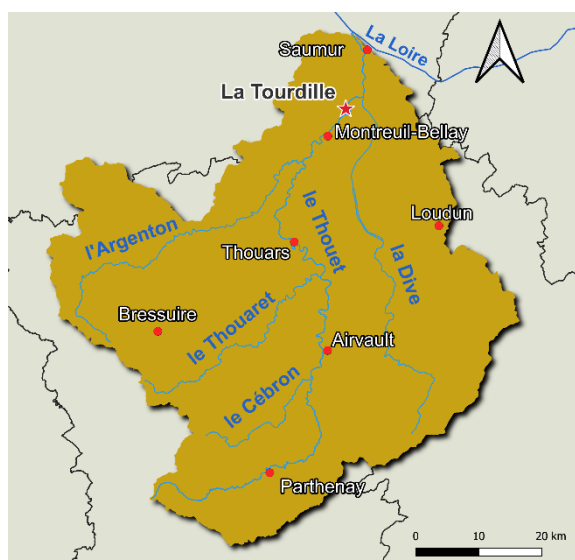


Figure 11: Localisation du site de la Tourdille
@M.Garnault



Figure 13: Limite communale de la zone d'étude
@M.Garnault

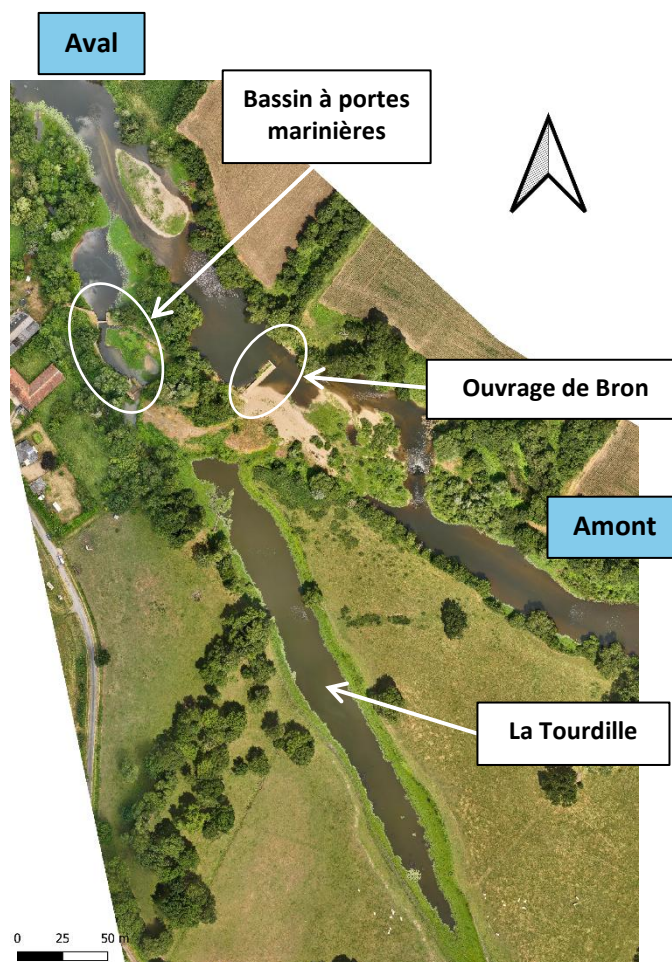


Figure 12: Vue aérienne du site de la Tourdille @M.Garnault

3.2. Histoire

La zone d'étude de la Tourdille située à Le Coudray-Macouard (49260) dans le hameau de Bron faisait partie d'un ensemble de seuils aménagés sur le Thouet. Le bassin à portes marinières également connu sous le nom « d'archéo-écluse de Bron » a été construit entre 1430 et 1603 et est désormais hors service (Figure 14). Cette infrastructure permettait de réguler et de maintenir une ligne d'eau suffisante pour les activités fluviales telles que la circulation des gabares, embarcations traditionnelles du Thouet, tout en permettant l'irrigation des prairies.

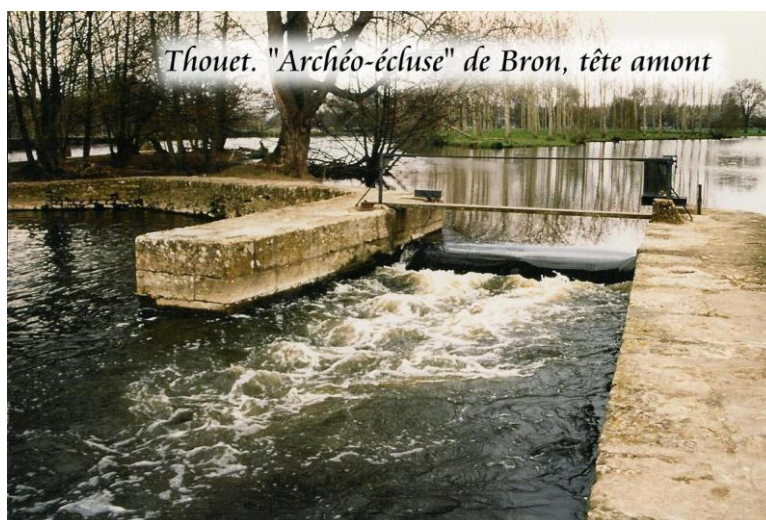


Figure 14: Archéo-écluse de Bron fonctionnelle @Charles Berg

Ce bassin marinier est lié au barrage de Bron qui traverse le Thouet (Figure 15). Il permettait ainsi de diriger le cours d'eau tout en ayant la fonction de chemin de halage entre les deux rives. Entre les années 1975 et 1977, le grand barrage de Bron a été arasé. À la suite de ces travaux, un barrage latéral avec une passerelle et un ouvrage de type clapet ont été reconstruits (Figure 16). Ce nouvel aménagement maintenait toujours une connexion entre le Thouet et l'annexe hydraulique de la Tourdille.

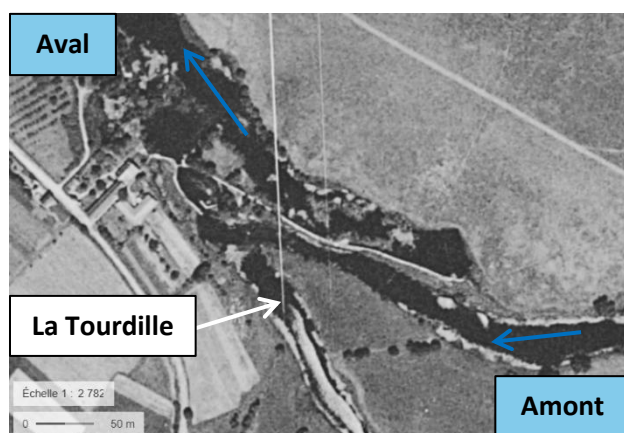


Figure 15: Photographie aérienne de Bron 1950-1965 (Géoportail)



Figure 16: Photographie de l'ouvrage de Bron @Jacques Sigot

Cependant, le clapet et l'écluse du bassin marinier de Bron ainsi que l'ouvrage de Rimodan situé à 2Km en amont (Figure 13) ont été détruits en 2014 dans le cadre du contrat territorial 2011-2016 porté par la Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL) (Figure 17 et 18), dans le but de restaurer la continuité écologique du cours d'eau. Des travaux d'ouverture partielle ont également été réalisés sur les ouvrages de Saumoussay, la Motte et Saint-Hilaire-Saint-Florent.



Figure 17: Archéo-écluse de Bron actuel
@M.Garnault



Figure 18: Ouvrage de Bron actuel @M.Garnault

L'objectif principal de ces interventions était de réduire le taux d'étagement du Thouet, passé de 100 % à 70 % aujourd'hui, afin de répondre à plusieurs enjeux : la continuité sédimentaire et piscicole ainsi que l'amélioration globale de la qualité du milieu et de la diversité des habitats. Le taux d'étagement traduit la perte de pente naturelle induite par les ouvrages transversaux; c'est un indicateur clé de l'altération morphologique d'un cours d'eau. Son abaissement permet en principe de rétablir une dynamique fluviale plus naturelle.

L'arasement de ces ouvrages a donc permis de restaurer la continuité longitudinale du Thouet. Toutefois, cette opération a également entraîné une baisse significative de la ligne d'eau, provoquant la déconnexion de certaines annexes hydrauliques, dont celle de la Tourdille, située à proximité immédiate de l'ancien seuil. Ce recul fonctionnel remet en question l'efficacité globale de l'opération.

En effet, si la suppression de l'ouvrage a permis une reconnexion physique du linéaire fluvial, elle a entraîné une perte de fonctionnalité latérale de l'hydrosystème. Cette déconnexion avec son annexe hydraulique est un dommage important pour le maintien de la biodiversité et la reproduction du brochet. Ce constat soulève une interrogation sur les limites des actions centrées exclusivement sur la continuité longitudinale, au détriment parfois de la complexité morphologique et de la diversité latérale, essentielles à de nombreuses espèces.

D'autres interventions hydrauliques ont également été menées à proximité de la zone d'étude. Historiquement, le ruisseau de la Fontaine des Ermites parcourait une distance d'environ 3,2 km avant de rejoindre la Tourdille par l'amont. Désormais, ce cours d'eau est directement dérivé vers le Thouet, à proximité immédiate (Figure 19), ce qui a entraîné une réduction de l'alimentation en eau de l'annexe hydraulique, estimée à environ 25 L/s (mesures de débit réalisées les 11 avril et 5 mai par la Fédération) (Annexe 5).



Figure 19: Travaux réalisés sur le Ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault

En août 2021, une période de forte chaleur a entraîné une importante mortalité piscicole dans la Tourdille. Ce phénomène était directement lié à l'augmentation de la température de l'eau et à la chute du taux d'oxygène. La prolifération de la jussie dans ces milieux déconnectés accentue d'ailleurs ce danger. Pour limiter les pertes piscicoles, une intervention d'urgence a été menée, impliquant l'utilisation d'une pelleteuse pour créer un chenal temporaire entre le Thouet et la Tourdille (Figure 20). Cet aménagement étant provisoire, la mise en place d'une solution durable est indispensable pour prévenir de futurs épisodes de mortalité.



Figure 20: Création du chenal temporaire en 2021 @Courrier de L'Ouest

3.3. Connexion hydraulique

La destruction du barrage de Bron en 2014 a causé une baisse de la ligne d'eau, entraînant ainsi d'importants dépôts de sédiments en amont du bassin marinier déconnectant peu à peu l'annexe de La Tourdille (Figure 20).



Figure 21: Évolution du dépôt sédimentaire sur le site de la Tourdille (Géoportail)

La nouvelle morphologie du Thouet, à la suite des travaux sur le barrage de Bron, a formé deux radiers composés de sédiments grossiers issus de la démolition du grand barrage. L'annexe hydraulique de la Tourdille est désormais connectée, d'une part, en amont par le radier situé en rive gauche du Thouet, et d'autre part, par l'aval au niveau du bassin marinier (Figure 22 et 23).



Figure 22: Morphologie et connexion de la zone d'étude @M.Garnault

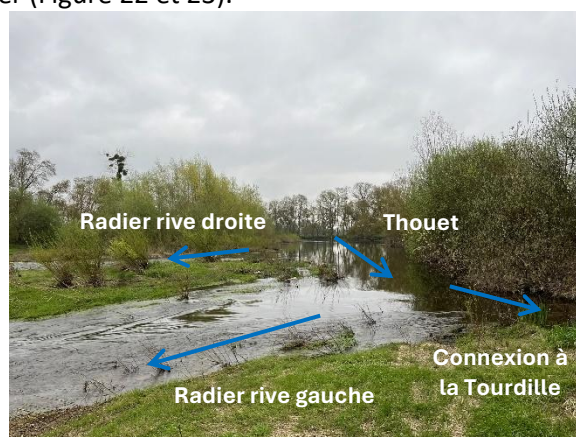


Figure 23: Répartition du débit du Thouet en amont de la zone d'étude à $11,2\text{m}^3/\text{s}$ – 27,57 m NGF à l'échelle de Bron @M.Garnault

Selon les observations de terrain, un débit du Thouet supérieur à $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Cote à 27,37mNGF à l'échelle de Bron) est nécessaire afin de connecter la Tourdille par l'amont et l'aval. Néanmoins, le brochet nécessite une lame d'eau minimum de 15cm pour se déplacer (ONEMA,2014). Ainsi le débit du Thouet doit être supérieur à $14,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Cote à 27,78 mNGF à l'échelle de Bron) par l'aval (Figure 25) et de $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Cote à 27,57 mNGF à l'échelle de Bron) par l'amont (Figure 26) afin que le brochet puisse se déplacer entre le Thouet et la Tourdille. À noter que les débits ont été relevés lorsque le clapet du canal de la Motte était abaissé.



Figure 24: Connexion de la Tourdille par l'aval $19,4 \text{ m}^3/\text{s}$ - 27,97mNGF @M.Garnault



Figure 25: Connexion de la Tourdille par l'aval $14,4 \text{ m}^3/\text{s}$ - 27,78 mNGF @M.Garnault



Figure 26: Répartition du débit du Thouet en amont de la zone d'étude à $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$ – 27,57 m NGF à l'échelle de Bron @M.Garnault

Les brochetons migrent de la frayère au cours d'eau principal à partir du milieu du mois de mai selon Chancerel (2003). La Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a remarqué que les brochets sur le département migrent entre mi-avril et mi-mai. Lors de l'année 2025, l'annexe hydraulique s'est déconnectée 1mois et demi avant (fin mars). Seul un épisode de pluie a permis de reconnecter la Tourdille durant 7 jours fin avril (Figure 27). Après cette date les brochetons ont de forte chance de rester bloqué dans l'annexe hydraulique jusqu'à la prochaine période de hautes eaux.

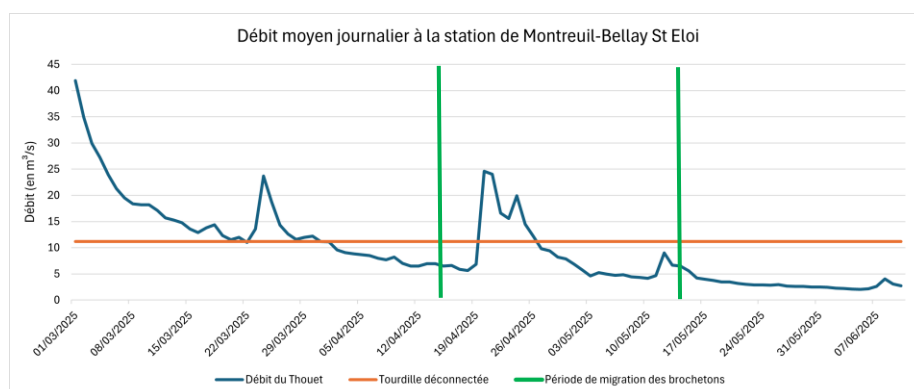


Figure 27: Débit moyen journalier à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi @M.Garnault

4. Matériels et Méthodes

4.1. Matériels

Pour la réalisation de cette étude, plusieurs équipements et logiciels ont été mobilisés afin de garantir la précision des données collectées et des modélisations effectuées (Annexe 8).

Les relevés bathymétriques ont été effectués à l'aide d'un GPS GNSS Stonex S800. C'est un matériel d'une forte précision planimétrique de l'ordre de 8 mm et de 15 mm pour l'altimétrie mais ayant des résultats moins fiables dans les environnements complexes tels que la végétation arborée.

En complément, un Deeper PRO+ a également été utilisé, configuré avec un angle de faisceau de 55° et une sensibilité de 70%. Cet appareil dispose d'une précision bathymétrique de l'ordre de 0,1m.

Les acquisitions topographiques ont été réalisées à l'aide d'un drone équipé d'un capteur LiDAR Yellowscan Mapper d'une précision planimétrique de 3 cm et de 4 cm pour l'altimétrie. Ce laser permet d'obtenir un modèle numérique de terrain fiable d'une résolution de 3cm/pixel.

Pour le traitement initial des données, la version 3.40.2 de QGIS a été utilisée. Ce logiciel a permis de traiter, analyser et visualiser l'ensemble des données et notamment de créer le Modèle Numérique de Terrain (MNT). L'intégration des relevés du GPS Stonex 800, du Deeper Pro+ ainsi que du LiDAR Yellowscan Mapper dans le logiciel QGIS a permis de générer une topographie fiable qui a servi de base à toutes les simulations hydrauliques.

Les simulations hydrauliques ont été effectuées à l'aide du logiciel HEC-RAS, version 6.6. Cet outil informatique de précision est reconnu à l'international comme logiciel de référence dans la modélisation hydraulique. Un modèle bidimensionnel (2D) a été mis en œuvre pour simuler les écoulements, permettant une représentation détaillée des dynamiques fluviales sur la zone d'étude.

Cette combinaison de matériels de haute précision pour l'acquisition de données ainsi que des logiciels spécialisés pour leur traitement et la modélisation a été essentielle pour atteindre les objectifs de l'étude.

4.2. Méthodes

4.2.1. Construction du modèle numérique de terrain

Afin de réaliser les simulations hydrauliques sur HEC-RAS, il est nécessaire d'avoir un Modèle Numérique de Terrain de qualité et le plus fiable possible.

Pour ce faire, la construction de ce MNT s'est déroulée en deux phases distinctes. Dans un premier temps, les zones émergées du cours d'eau ont été modélisées. Parallèlement, la partie immergée a fait l'objet d'une acquisition et d'un traitement séparés. Ces deux parties du MNT ont ensuite été fusionnées pour créer un modèle précis et complet.

4.2.2. Topographie

Pour la modélisation de la topographie, la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a eu recours aux services de l'entreprise Drone Expertise Centre. Leurs équipes ont réalisé le relevé le 6 juin 2025 en utilisant un drone équipé d'un capteur LiDAR Yellowscan Mapper, modélisant une surface de 40 hectares. Certaines couvertures végétales trop denses ont rendu le MNT imprécis nécessitant des corrections manuelles avec le logiciel QGIS.

4.2.3. Bathymétrie

Pour la modélisation de la bathymétrie, la construction du Modèle Numérique de Terrain (MNT) a été réalisée avec les données collectées par le GPS GNSS Stonex S800; 1520 points ont été relevés à partir de cette méthode. Le Deeper PRO+ a été utilisé en complément pour 230 points, notamment lorsque la profondeur excédait 1,6 mètre ou que les vitesses d'écoulement du Thouet ne permettaient pas la réalisation des mesures en toute sécurité.

Le traitement des données issues du Deeper a consisté à soustraire les profondeurs mesurées aux altitudes connues sur la berge, relevées précisément avec le GPS afin de déterminer la bathymétrie. Les mesures effectuées sur l'annexe hydraulique ont été réalisées depuis une embarcation de type float tube, en raison de l'important substrat vaseux qui caractérise cette zone.

L'ensemble de ces relevés a été mené sur trois jours, les 11, 12 et 13 juin 2025. Les données ont été acquises sous forme de transects réguliers (Figure 28), ce qui a ensuite permis de générer un MNT détaillé de la bathymétrie grâce au logiciel QGIS avec une interpolation de réseau triangulé irrégulier (TIN) d'une résolution de 3cm/pixel.

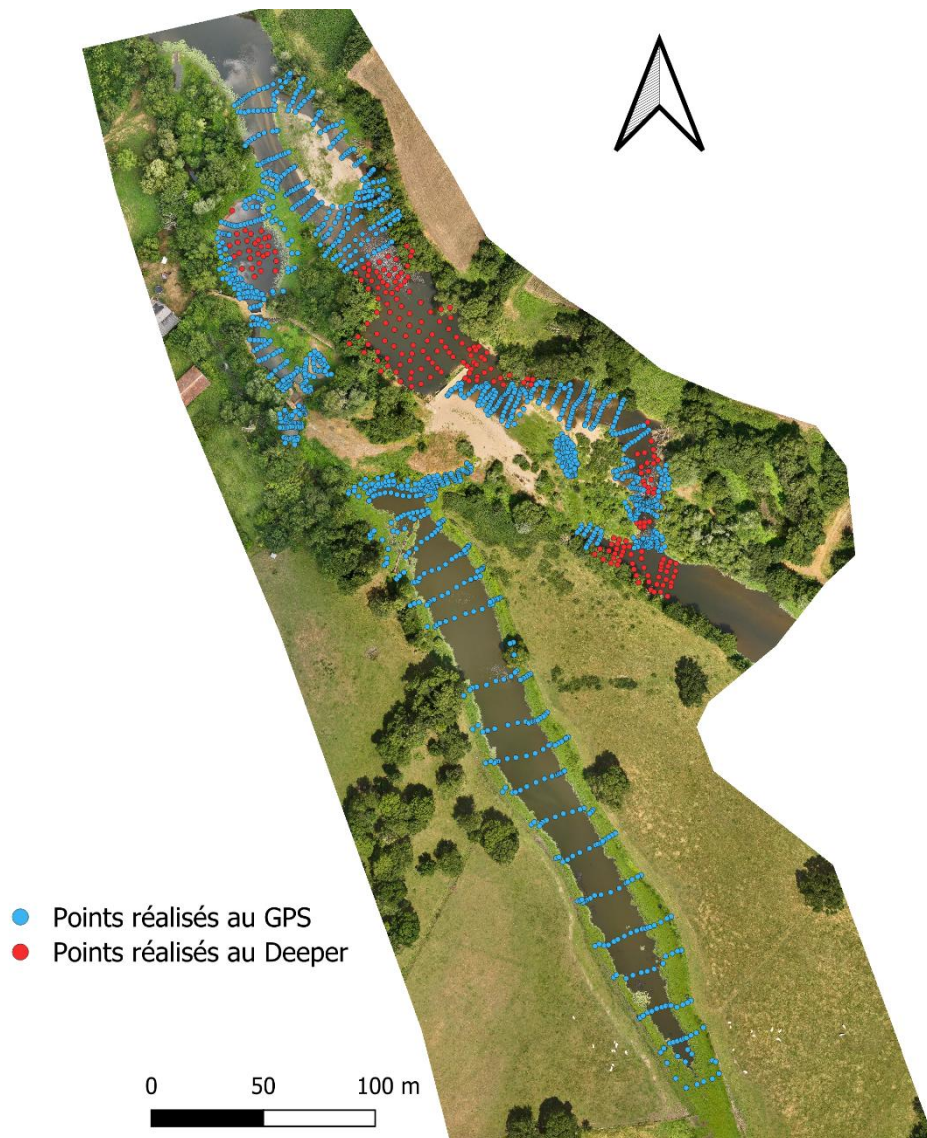


Figure 28: Carte des relevés réalisés au GPS et au Deeper @M.Garnault

4.2.4. Le modèle numérique de terrain fusionné

Une fois les données des zones émergées et immergées acquises et traitées séparément, ces deux Modèles Numériques de Terrain partiels ont été fusionnés pour constituer un MNT complet et homogène de la zone d'étude (Figure 29). Cette fusion a nécessité certains traitements afin d'éliminer les erreurs entre les limites de ces deux couches. Ce MNT final a ensuite été importé et traité avec le logiciel HEC-RAS pour toutes les modélisations hydrauliques qui ont suivi.

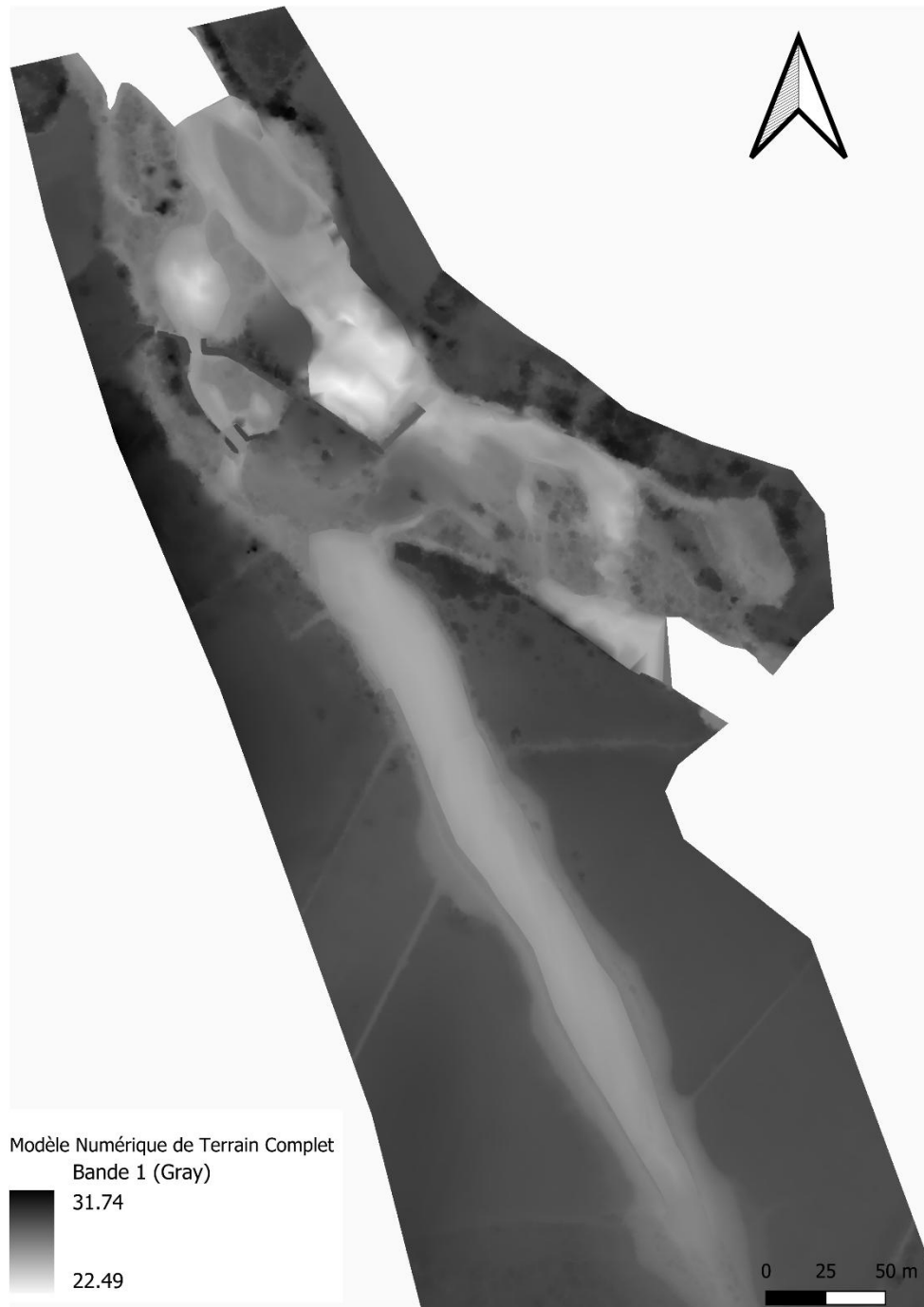


Figure 29: Modèle Numérique de Terrain Complet de la zone d'étude de la Tourdille @M.Garnault

4.2.5. Construction et calage du modèle HEC-RAS

Le modèle est calé à partir des mesures de lignes d'eau réalisées par la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (Tableau 3) :

- Le 05/05/2025, pour un débit de 5 m³/s
- le 11/04/2025, pour un débit de 6,9 m³/s
- le 02/04/2025, pour un débit de 10 m³/s
- le 14/03/2025, pour un débit de 14,8 m³/s

Tableau 3: Ecart entre les niveaux d'eau mesurés et les simulations HEC-RAS

Débit du Thouet (m ³ /s)	Mesure (m NGF)	Modèle (m NGF)	Delta (m)
5	27,15	27,14	0,01
6,9	27,22	27,22	0
10	27,45	27,3	0,15
14,8	27,77	27,44	0,33

De plus, le modèle est calé à partir des relevés des limites de connexion entre le Thouet et l'annexe hydraulique par l'amont et l'aval (Figure 22, Tableau 4). Cette limite de connexion est exprimée lorsque la lame d'eau est supérieure à 15 cm, hauteur minimale de déplacement pour le brochet (ONEMA, 2014).

Tableau 4: Ecart des limites de connexion du Thouet et de la Tourdille entre les relevés et la simulation HEC-RAS

Débit du Thouet pour la Connexion de la Tourdille (m ³ /s)	Relevé réel	Modèle	Delta (m ³ /s)
Amont	11,2	11,6	0,4
Aval	14,4	14,8	0,4

Enfin, le modèle est calé à partir des mesures de débits effectuées sur le radier rive gauche par la Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (Tableau 5). Et également, par la limite de connexion hydraulique du radier en rive gauche en fonction du débit du Thouet (Tableau 6).

Tableau 5: Écart des débits au niveau du radier rive gauche entre les relevés et la simulation HEC-RAS

Débit entrant du Thouet (en m ³ /s)	Débit du radier en rive gauche du Thouet (m ³ /s)		Delta (m ³ /s)
	Relevé	Modèle	
5	0,16	0,1	0,06
6,9	0,38	0,26	0,12

Tableau 6: Ecart des limites de connexion du radier rive gauche entre les relevés et la simulation HEC-RAS

Déconnexion du radier rive gauche	Débit du Thouet (m ³ /s)		Delta (m ³ /s)
	Relevé	Modèle	
	3	3,1	0,1

À partir des relevés au GPS, la pente moyenne du Thouet sur la zone d'étude a été définie comme étant de 2 ‰ soit 0,002 m/m.

Le maillage dans HEC-RAS est essentiel car il délimite les zones de calcul, permettant de résoudre les équations hydrauliques et de modéliser avec précision les écoulements de l'eau.

Ainsi, la taille du maillage a été définie selon plusieurs échelles de précision afin d'obtenir des résultats fiables tout en ayant un temps de calcul raisonnable.

Par défaut, la zone d'étude définie a été paramétrée avec un maillage de 5 m. La zone d'étude jusqu'à l'entrée de l'annexe hydraulique correspond à un maillage de 1 m. Enfin, les aires les plus précises ont été calibrées à 0,5m, correspondant aux zones de radiers, aux connexions amont et aval de la Tourdille ainsi qu'à proximité immédiate de l'ouvrage de Bron (Figure 30)



Figure 30: Maillage de la zone d'étude @M. Garnault

La rugosité de Manning est un paramètre qui caractérise la résistance à l'écoulement de l'eau due aux frottements sur les parois du lit et des berges. Ce paramètre, essentiel dans le modèle HEC-RAS, a été défini de la manière suivante :

Tableau 7: Coefficient de Rugosité Manning (n) en fonction de la zone d'étude

Localisation	Coefficient de Rugosité Manning (n)
Lit mineur, banquettes de sables émergées	0,04
Lit majeur	0,08
Bassin marinier	0,07
Annexe hydraulique	0,06

5. Résultats

5.1. Etat actuel

5.1.1. Représentation du Thouet à 15m³/s

À 15 m³/s, la Tourdille est connectée hydrauliquement au Thouet avec une lame d'eau supérieure à 15cm (Figure 36, 37). La simulation HEC-RAS a été validée par les photos prises sur le terrain pour un débit de 15 m³/s (Figure 31 à 35).

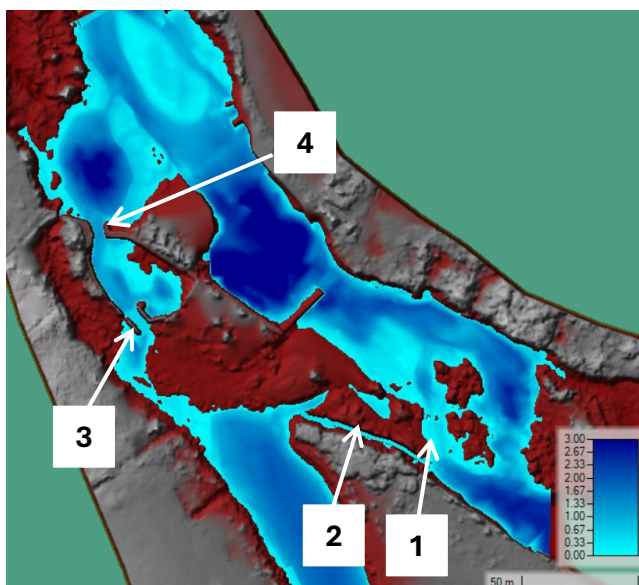


Figure 32: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 15m³/s à l'état actuel @M.Garnault



Figure 31: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault



Figure 33: Connexion amont entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault



Figure 34: Connexion aval entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault

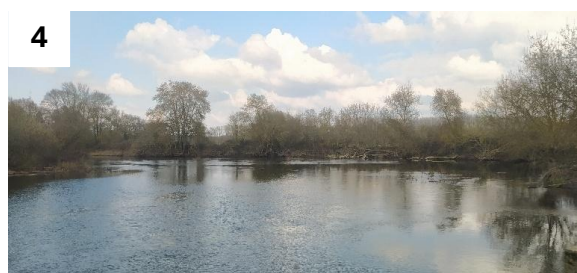


Figure 35: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault

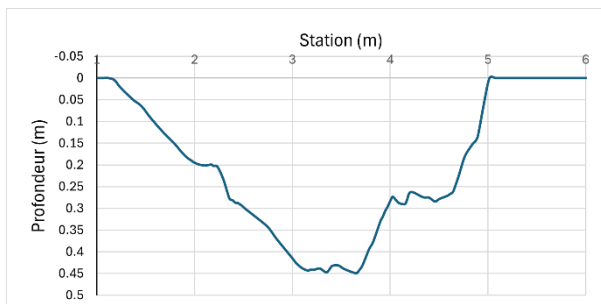


Figure 36: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Amont à 15m³/s à l'état actuel @M.Garnault

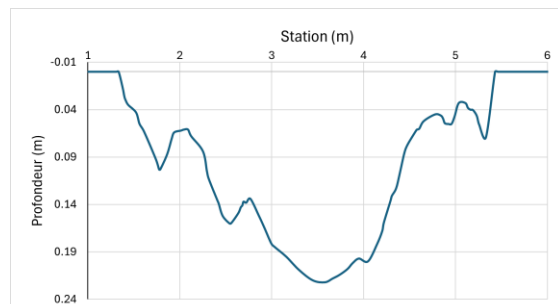


Figure 37: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Aval à 15m³/s à l'état actuel @M.Garnault

5.1.2.Représentation du Thouet à 5m³/s

À 5 m³/s, la Tourdille est connectée hydrauliquement au Thouet avec une lame d'eau inférieure à 15cm (Figure 39). Les photos de terrain pour un débit de 5 m³/s ont permis de valider les résultats de la simulation HEC-RAS. (Figure 38,40,41,42).

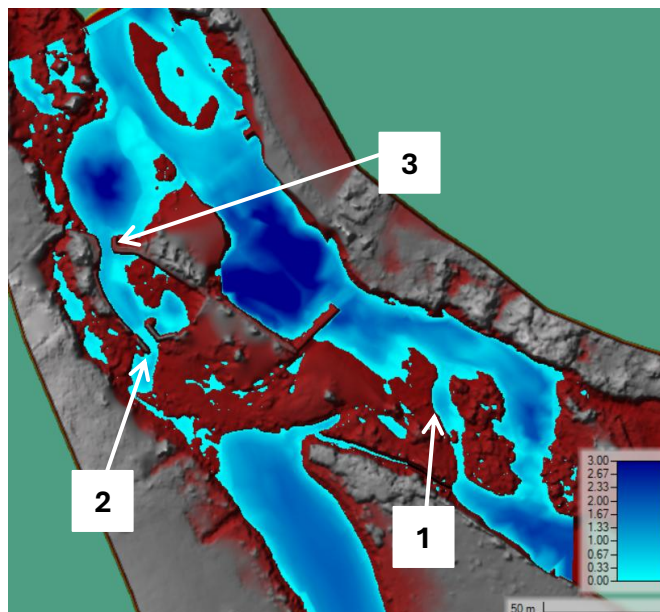


Figure 38: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 5m³/s à l'état actuel @M.Garnault

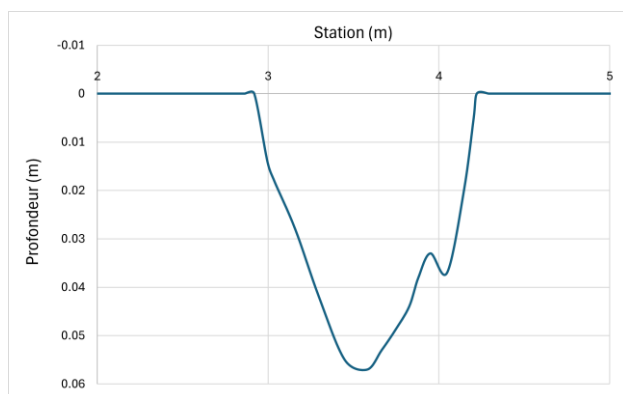


Figure 39: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Aval à 5m³/s à l'état actuel @M.Garnault



Figure 40: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault



Figure 41: Connexion aval entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault



Figure 42: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault

5.1.3.Représentation du Thouet à 0,5m³/s

À 0,5 m³/s, la Tourdille est déconnectée hydrauliquement du Thouet. Pour un débit de 0,5 m³/s, la simulation HEC-RAS est en accord avec les photos prises sur le terrain (Figure 43 à 45).

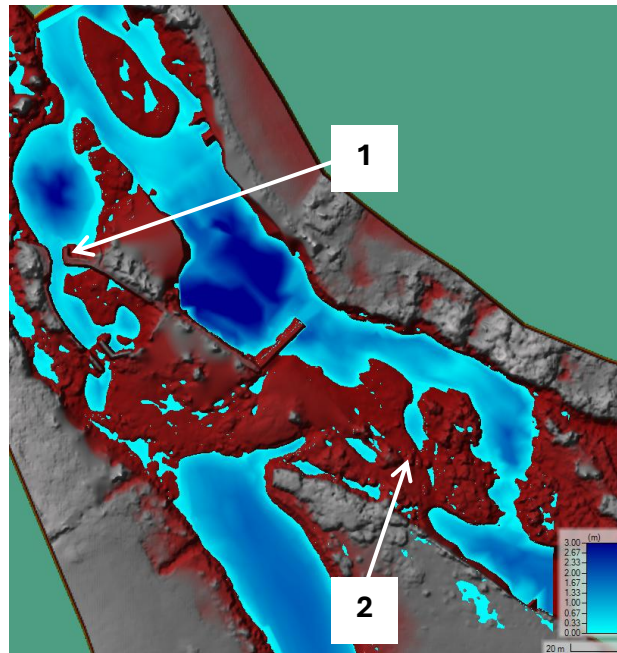


Figure 43: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m³/s à l'état actuel @M.Garnault



Figure 44: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault



Figure 45: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault

5.1.4.Répartition des débits

Le tableau 8 représente la répartition des débits du Thouet sur la partie amont de la zone d'étude (Figure 23) entre le bras du radier rive droite, rive gauche et la connexion à la Tourdille selon la simulation HEC-RAS. La connexion à la Tourdille se déconnecte hydrauliquement à partir de 8,9 m³/s, tandis que le radier en rive gauche se déconnecte à partir de 3,1 m³/s.

Tableau 8: Répartition des débits du Thouet (en m³/s) – simulation HEC-RAS

Débit Thouet (m ³ /s)	2	5	10	12	15
Radier rive droite	2	4,9	9,26	10,7	12,9
Radier rive gauche	0	0,1	0,73	1,25	1,96
Connexion à la Tourdille	0	0	0,01	0,05	0,14

5.2. Objectifs

L'objectif initial de cette étude visait à rétablir la connexion de la boire avec le Thouet spécifiquement pendant la période de reproduction du brochet, assurant ainsi la pérennité de l'espèce.

Cependant, les simulations et les propositions d'aménagements envisagées vont au-delà de cette reconnexion saisonnière, l'objectif final est d'instaurer une connexion permanente. Cette continuité hydraulique est cruciale pour l'ensemble des espèces piscicoles afin que les poissons ne se retrouvent pas piégés et exposés à des risques de mortalité. Ces risques sont accentués en période de fortes chaleurs caractérisées par le réchauffement de l'eau et le manque d'oxygène. La prolifération de la jussie dans ces milieux déconnectés accentue d'ailleurs ce danger.

Afin que les brochets puissent se déplacer librement, les scénarios d'aménagement doivent répondre aux critères de l'espèce cible. Ainsi, la lame d'eau doit être supérieure à 15 cm (ONEMA, 2014) (Tableau 2) et les vitesses d'écoulement ne doivent pas excéder 1,35 m/s, correspondant à la vitesse de croisière maximale du brochet pour un individu de 50 cm (G.B. Beach, 1984).

5.3. Propositions de scénarios d'aménagement

5.3.1. Scénario 1 : Augmentation de la cote de ligne d'eau

L'objectif du scénario 1 est d'augmenter et de maintenir la ligne d'eau à 27,55 mNGF tout au long de l'année soit à -22cm à l'échelle de Bron, ce qui représente une augmentation d'environ 40cm par rapport à la cote de maintient qui est actuellement fixée (27,15 mNGF soit - 62cm). Cet ajustement sera réalisable grâce au seuil en planches de bois et de son clapet, situés au moulin de la Motte d'Artannes, en aval de la zone d'étude. Cette augmentation de la ligne d'eau au niveau du bassin marinier permettra de reconnecter la Tourdille avec le Thouet par la connexion aval (Figure 47).

Afin de favoriser cette reconnexion, le scénario 1 propose de reprofiler cette partie du cours d'eau allant d'une cote de 27,00 mNGF à 26,75 mNGF au niveau de la connexion avec la boire (Figure 46, 48).

Le dimensionnement du cours d'eau aménagé (Figure 49) permettra une connexion de la Tourdille tout au long de l'année avec une profondeur suffisante dans le chenal afin de permettre la libre circulation des espèces piscicoles.



Figure 46: Linéaire de la connexion aval aménagée - Scénario 1 @M.Garnault

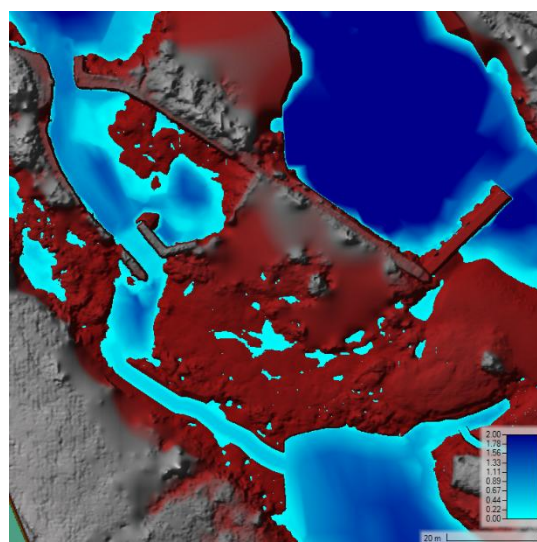


Figure 47: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de $0,5\text{m}^3/\text{s}$ - Scénario 1 @M.Garnault

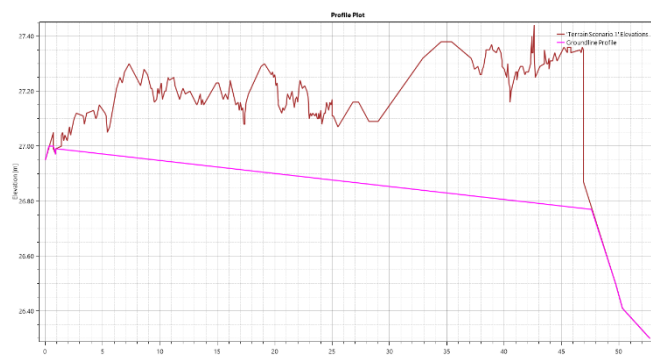


Figure 48: Modification du profil en long de la connexion aval - Scénario 1 @M.Garnault

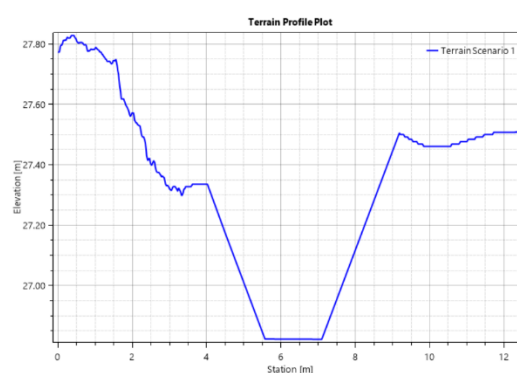


Figure 49: Coupe transversale de la connexion aval aménagée - Scénario 1 @M.Garnault

5.3.2.Scénario 2 : Diminution de la cote de la connexion amont

L'objectif du scénario 2 est d'abaisser la cote du linéaire de la connexion amont (Figure 50). Cet encaissement permettra de connecter le Thouet et la Tourdille de manière continue. Ainsi, la modification des cotes sera de 27,55 mNGF à 26,85 mNGF pour l'amont du linéaire et de 27,00 mNGF à 26,50 mNGF pour la partie aval avec une pente constante (Figure 51). Cet aménagement assurera une alimentation en eau de la Tourdille jusqu'à un débit du Thouet de 6,5m³/s pour ensuite rester un chenal en eau rendant possible la continuité piscicole (Figure 52). La modification du profil transversal (Figure 53) a permis d'obtenir une profondeur moyenne comprise entre 30 cm et 45 cm lors de débit du Thouet à 0,5 m³/s. Le débit de la connexion amont sera également plus important (Figure 54).



Figure 50: Linéaire de la connexion amont aménagée - Scénario 2
@M.Garnault

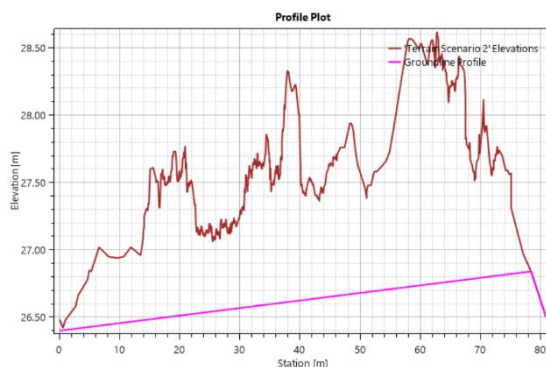


Figure 51: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 2 @M.Garnault

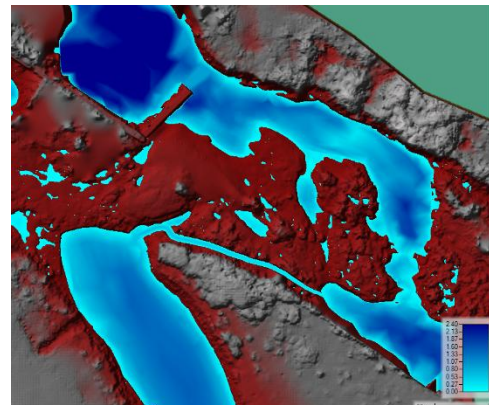


Figure 52: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m³/s - Scénario 2
@M.Garnault

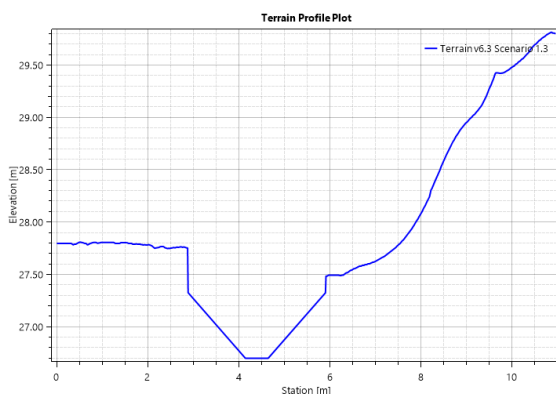


Figure 53: Coupe transversale de la connexion amont aménagée - Scénario 2 @M.Garnault

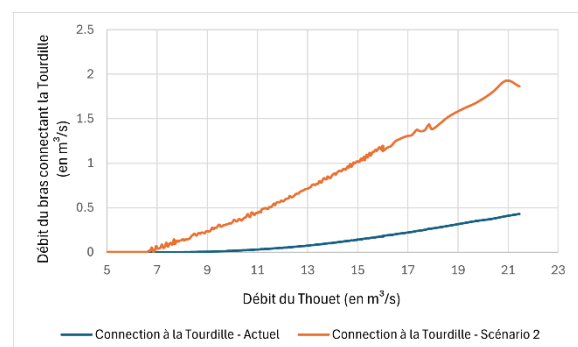


Figure 54: Comparaison des débits entre la situation actuelle et le scénario 2 dans la connexion amont
@M.Garnault

5.3.3.Scénario 3 : Augmentation de la cote du seuil de Bron

L'objectif du scénario 3 est de diriger tout ou partie le débit du Thouet vers l'annexe hydraulique en augmentant la cote du seuil immergé de l'ancien ouvrage de Bron (Figure 55) de 26,00 mNGF à 27,20 mNGF (Figure 56).

Afin de favoriser cette reconnexion, le scénario 3 propose la création d'un bras du cours d'eau permettant d'alimenter la Tourdille par l'amont, allant d'une cote de 26,50 mNGF à 26,45 mNGF (Figure 55, 57, 58). De même, la connexion aval sera reprofilée en long avec les mêmes cotes que le scénario 1 (Figure 48).

La morphologie du cours d'eau en amont et en aval a été dimensionnée (Figure 58, 59) afin de respecter une hauteur d'eau supérieure à 15 cm en permanence, même lors de très faibles débits (Figure 61, 62). Également, cet aménagement permet de garantir une franchissabilité pour le brochet puisque les vitesses d'écoulement n'excèdent pas 1,3m/s lors de débits de 5m³/s correspondant au début du mois de mai (Figure 60).



Figure 55: Linéaire du cours d'eau aménagé - Scénario 3 @M.Garnault

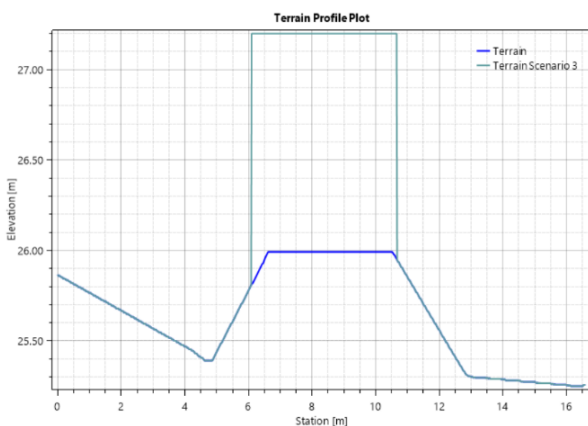


Figure 56: Modification du profil en long au seuil de l'ouvrage de Bron- Scénario 3 @M.Garnault

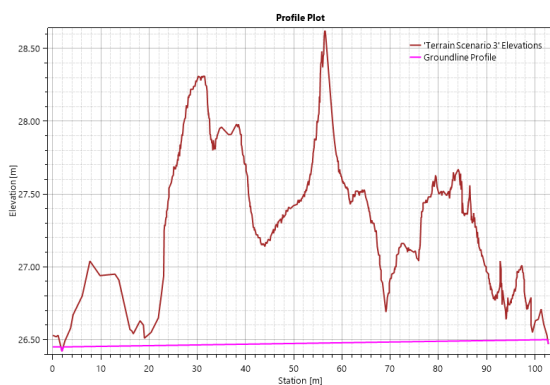


Figure 57: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 3 @M.Garnault

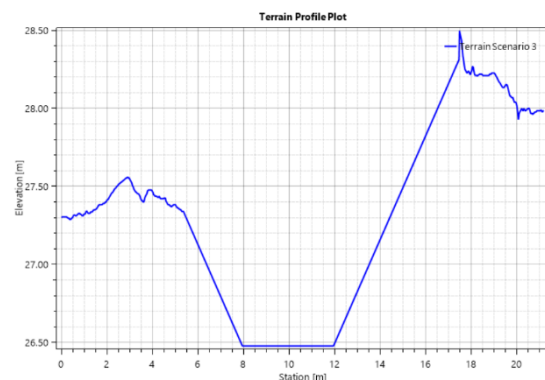


Figure 58: Coupe transversale de la connexion amont aménagée - Scénario 3 @M.Garnault

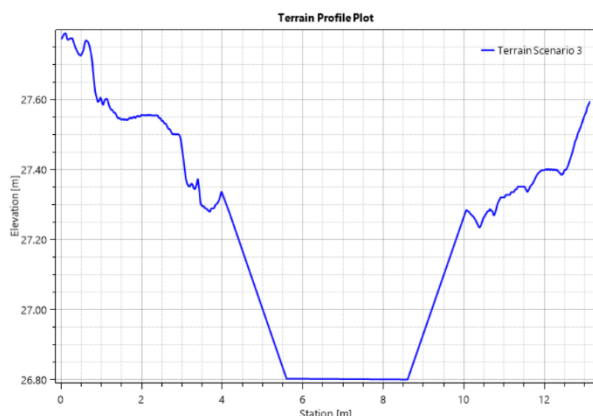


Figure 59: Coupe transversale de la connexion aval aménagée - Scénario 3 @M.Garnault

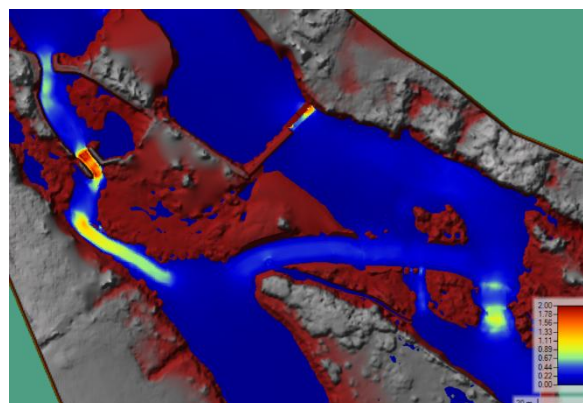


Figure 60: Modélisation des vitesses d'écoulement du Thouet pour un débit de $5\text{m}^3/\text{s}$ - Scénario 3 @M.Garnault

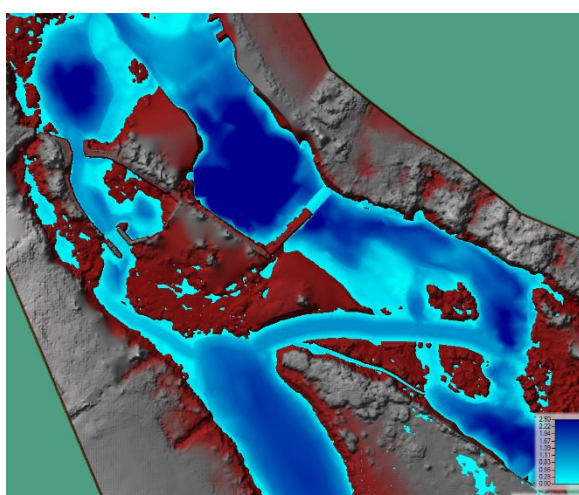


Figure 61: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de $10\text{m}^3/\text{s}$ - Scénario 3 @M.Garnault

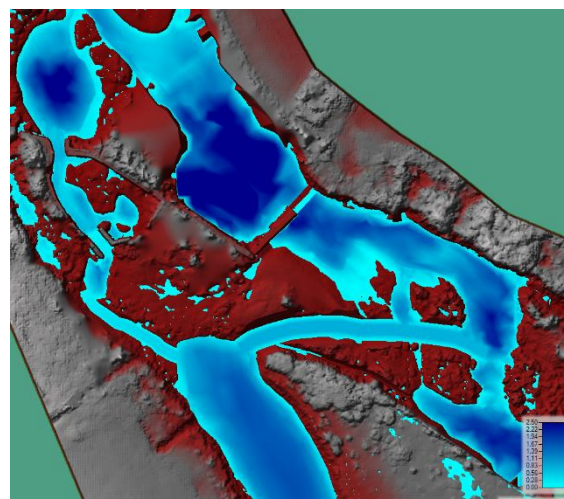


Figure 62: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de $0,5\text{m}^3/\text{s}$ - Scénario 3 @M.Garnault

Le tableau 9 représente la répartition des débits du Thouet entre le seuil de Bron et la connexion à la Tourdille selon la simulation 3 sur HEC-RAS. L'augmentation de la cote du seuil à 27,20 mNGF permettra de déconnecter ce bras lorsque le débit du Thouet atteindra $0,5\text{m}^3/\text{s}$.

Tableau 9: Répartition des débits du Thouet (en m^3/s) - Scénario 3

Débit Thouet (m^3/s)	1	2	3	5	10	12	15
Seuil de Bron	0.2	0.7	1.4	2.9	7.8	9.6	12.4
Connexion à la Tourdille	0.8	1.3	1.6	2.1	2.2	2.4	2.3

5.3.4.Scénario 4 : Augmentation de la cote des radiers

Le scénario 4 vise à modifier la topographie des radiers en rive gauche et droite dans le but de diriger tout ou partie le débit du Thouet vers l'annexe hydraulique.

Pour cela, la cote du radier en rive gauche sera relevée à 27,65 mNGF. Cette élévation permettra de déconnecter ce bras lorsque le débit du Thouet atteindra 5,3 m³/s (Figure 65).

De même, la cote du radier en rive droite sera à 27,55 mNGF, assurant ainsi sa déconnexion à un débit du Thouet proche de 1,3 m³/s (Figure 64 et 66, Annexe 7, 9).

Afin de favoriser cette reconnexion, le scénario 4 propose de reprofiler le cours d'eau de la connexion amont en allant de 27,10 mNGF à 26,40 mNGF (Figure 67) avec une modification du profil transversal (Figure 68). La connexion aval reprendra les mêmes cotes que le scénario 3 (Figure 48, 59).

Les modifications des profils transversaux des cours d'eau aménagés ont permis de maintenir une lame d'eau constamment supérieure à 15 cm (Figure 69,70) et des vitesses inférieures à 1,3 m³/s lors des débits de 5 m³/s, équivalent au début du mois de mai (Figure 71).

Cet aménagement permettra une alimentation en eau de la Tourdille de manière continue assurant ainsi une continuité piscicole tout au long de l'année (Figure 69 et 70, Annexe 9).



Figure 63: Linéaire du cours d'eau aménagé - Scénario 4 @M.Garnault



Figure 64: Radier en rive droite @M.Garnault

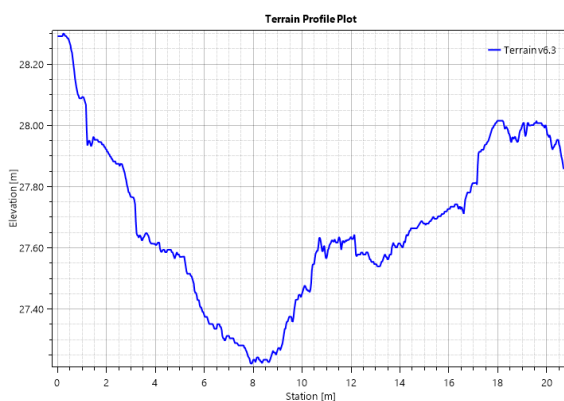


Figure 65: Coupe transversale du radier rive gauche à l'état initial @M.Garnault

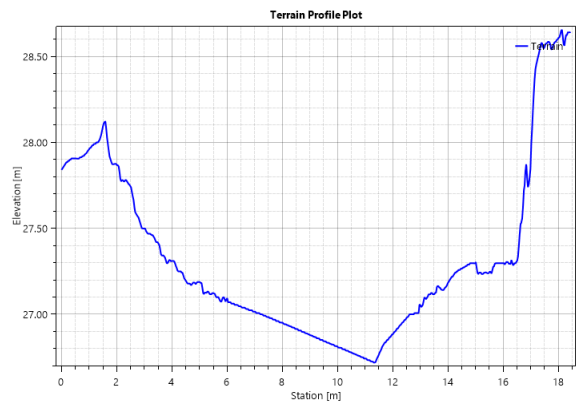


Figure 66: Coupe transversale du radier rive droite à l'état initial @M.Garnault

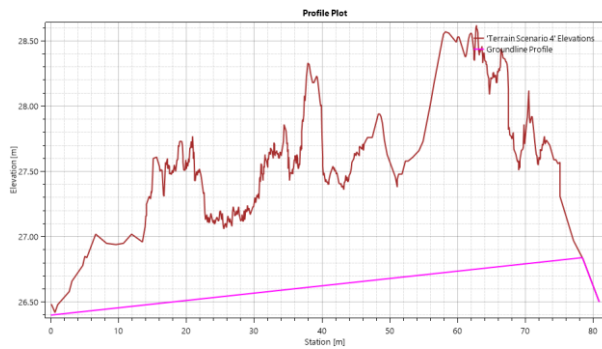


Figure 67: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 4 @M.Garnault

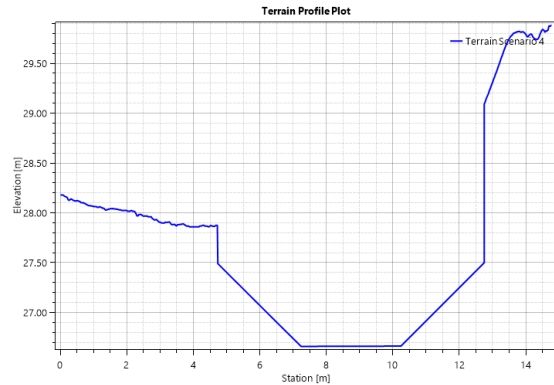


Figure 68: Coupe transversale de la connexion amont à la Tourdille aménagée - Scénario 4 @M.Garnault

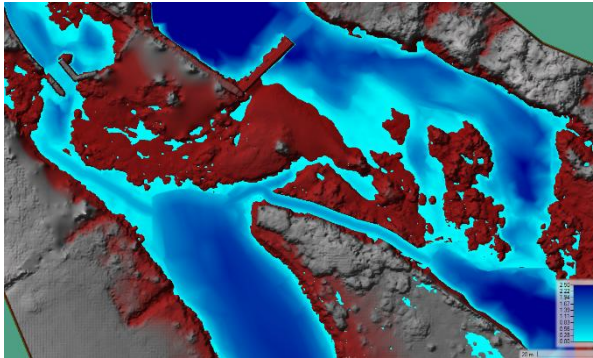


Figure 69: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 11m³/s - Scénario 4 @M.Garnault

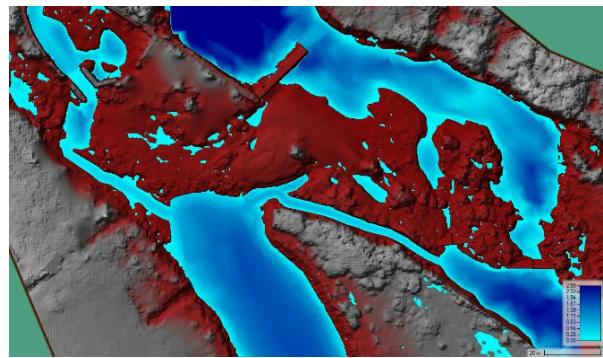


Figure 70: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m³/s - Scénario 4 @M.Garnault

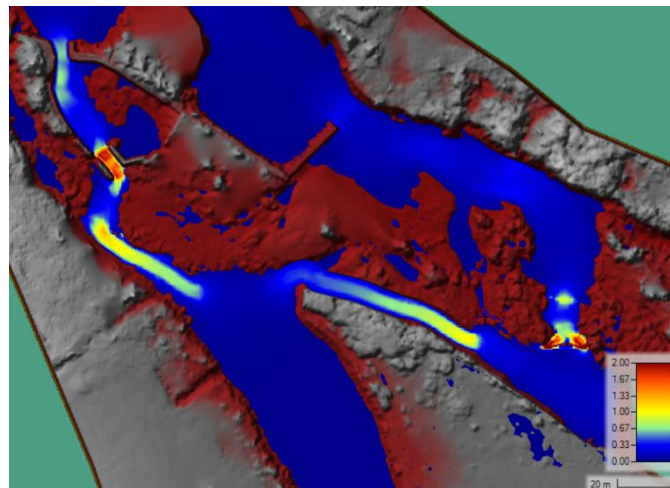


Figure 71: Modélisation des vitesses d'écoulement du Thouet pour un débit de 5m³/s - Scénario 4 @M.Garnault

Le tableau 10 illustre la répartition des débits du Thouet sur la partie amont de la zone d'étude (Figure 22) entre le bras du radier rive droite, rive gauche et la connexion à la Tourdille selon la simulation HEC-RAS. À partir de 1,3 m³/s, le débit transitera exclusivement par la Tourdille.

Tableau 10: Répartition des débits du Thouet (en m³/s) avec le scénario 4

Débit Thouet (m ³ /s)	1	2	3	5	10	12	15
Radier rive droite	0	0,3	1,1	2,8	7	8,5	10,7
Radier rive gauche	0	0	0	0	0,3	1,6	1,1
Connexion à la Tourdille	1	1,7	1,9	2,2	2,7	2,9	3,2

5.3.5. Scénario 5 : Alimentation du ruisseau de la Fontaine des Ermites

Le scénario 5 peut être un aménagement complémentaire aux scénarios précédents. Celui-ci consiste à reconnecter le ruisseau de la Fontaine des Ermites comme dans le passé (Figure 19) afin de permettre une alimentation en eau de la Tourdille toute l'année. Cette source d'eau située à 3,3 Km de la Tourdille permettra d'avoir un apport d'eau fraîche permanent circulant dans l'annexe hydraulique représentant environ 25 L/s pour les mois d'avril/mai selon des mesures de débit réalisées par la Fédération les 11 avril et 5 mai 2025. Au mois d'août, un débit d'environ 20L/s circule dans ce ruisseau.

6. Discussion

6.1. Limites de l'étude

Cette étude comporte certaines limites sur plusieurs aspects notamment techniques et financières.

Premièrement, la contrainte de temps a été un facteur déterminant pour la réalisation de cette étude. Le délai du projet était de 6 mois ce qui a influencé les choix méthodologiques, réduisant certaines analyses ou le nombre de simulations.

De plus, des limites financières ont influencé le choix du matériel topographique. Le dernier relevé LiDAR HD (2025) réalisé par l'IGN a eu lieu en période de hautes eaux. Par conséquent, les banquettes qui ne sont visibles qu'à des débits plus faibles n'ont pas pu être cartographiées, rendant les données initiales insuffisantes. C'est pourquoi une entreprise spécialisée en topographie par drone LiDAR a été mandatée. Le budget alloué a eu un impact direct sur le choix du prestataire et du matériel utilisé. Un budget plus important aurait permis d'opter pour une entreprise disposant d'un équipement plus performant et d'une meilleure résolution. Un prestataire équipé de drones avec un LiDAR vert, capables de topographier la partie immergée aurait pu être choisi, ce qui aurait grandement amélioré la fiabilité des données.

Dans le cas présent, la précision de la bathymétrie est considérablement moindre. La densité de la couverture végétale a rendu le Modèle Numérique de Terrain imprécis à certains endroits, ce qui a nécessité des corrections manuelles.

Des limites liées à la précision des données ont également été relevées. Plusieurs interventions sur le seuil en planches du moulin de la Motte d'Artannes ont eu lieu pendant l'étude. Ces manipulations ont pu erroner les données de corrélation entre les relevés de hauteur d'eau au bassin marinier de Bron et le débit du Thouet. La modélisation HEC-RAS dans ce rapport ne tient pas compte des manœuvres des planches permettant le rehaussement de la ligne d'eau.

Par ailleurs, certains paramètres n'ont pas pu être intégrés dans la modélisation. Les précipitations directes dans l'annexe hydraulique, ainsi que l'évaporation de l'eau, n'ont pas été prises en compte, ce qui pourrait légèrement altérer la précision des résultats.

De plus, l'analyse du transport sédimentaire n'a pas pu être réalisée ce qui aurait pu confirmer la pérennité ou non des aménagements proposés. Enfin, l'étude ne contient pas l'évaluation du coût financier des différentes propositions d'aménagement ce qui pourrait avoir une influence sur le choix de scénarios retenu.

Néanmoins, les modélisations hydrauliques projetées sont suffisamment représentatives pour définir une solution technique fonctionnelle.

6.2. Choix du scénario

Malgré la faisabilité technique de chaque scénario et leur capacité à répondre aux objectifs fixés, une critique de chacun d'eux est nécessaire pour s'orienter vers la solution la plus pérenne, compte tenu des éléments disponibles.

Le scénario 1 (augmentation de la cote de ligne d'eau) va à l'encontre de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement puisque l'augmentation de la ligne d'eau sur cette partie du Thouet classé en liste 2 nécessitera un aménagement du seuil situé au moulin de la Motte d'Artannes et donc une augmentation du taux d'étagement. Or, aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique selon le Code de l'Environnement. Ce scénario d'aménagement ne peut donc pas être retenu.

Le scénario d'aménagement 2 (diminution de la cote de la connexion amont) ne permettra pas une connexion pérenne de la Tourdille. En effet, le Thouet étant une rivière avec un transport sédimentaire important, le risque de comblement lors des prochaines crues est élevé. Cela a été le cas pour le chenal créé en 2021 (Figure 20) qui n'est plus fonctionnel en termes de connectivité. Ce scénario d'aménagement ne peut donc pas être retenu.

Le scénario 3 (augmentation de la cote du seuil de Bron) permet une reconnexion de la Tourdille de manière durable dans le temps.

Néanmoins, celui-ci risquerait de créer un dépôt sédimentaire en amont de l'ouvrage causant un colmatage et une érosion en aval de ce dernier. À terme, cela pourrait provoquer une instabilité du barrage de Bron.

De plus, le tronçon de la connexion amont a une très faible pente (0,5 ‰) ce qui engendre une réduction de la vitesse d'écoulement (0,3 m/s pour un débit de 5 m³/s) cela pourrait favoriser le dépôt sédimentaire dans cette partie du cours d'eau et donc un comblement ou une réduction de la lame d'eau nécessaire. Ce scénario d'aménagement ne peut donc pas être retenu.

Le scénario 4 (augmentation de la cote des radiers) permet également une reconnexion de la Tourdille de manière durable. En effet, le débit continu passant dans le cours d'eau reprofilé avec des vitesses relativement importante (Figure 71, Annexe 9) permettra d'éviter les dépôts sédimentaires et à terme un comblement de ce bras.

De plus, l'aménagement de la connexion amont permettra de modifier les caractéristiques de ce tronçon. Ainsi, la pente deviendra plus importante (9 ‰) (Figure 67) et la section sera de faible dimension (Figure 68). Ces modifications auront pour conséquence l'augmentation de la puissance spécifique et donc la possibilité au cours d'eau de se réajuster si nécessaire. Ce scénario d'aménagement peut donc être retenu.

Le scénario 5 nécessite de réaliser une étude plus approfondie sur la faisabilité et la pertinence de ce projet afin de déterminer si le faible débit circulant dans le ruisseau peut être un apport non négligeable au regard des différents scénarios proposés.

Au terme de cette analyse, le scénario d'aménagement 4 a été retenu comme la solution la plus pertinente, répondant aux objectifs de l'étude. Ce scénario permet en effet de restaurer une connexion fonctionnelle et pérenne de l'annexe hydraulique avec le Thouet puisque sa conception minimise les risques de comblement et assure la durabilité de l'aménagement dans le temps, un aspect crucial sur un cours d'eau tel que le Thouet caractérisé par un fort transport sédimentaire.

7. Conclusion

Dans un contexte de forte vulnérabilité hydrologique mais également au changement climatique et aux usages, la restauration des fonctionnalités écologiques est devenue une priorité. La reconnexion de la Tourdille, suite à l'arasement de l'ouvrage de Bron, est un enjeu écologique majeur pour la reproduction du brochet, espèce "vulnérable" et indicatrice de la qualité du peuplement piscicole.

L'étude de la modélisation hydraulique de la Tourdille menée grâce au modèle HEC-RAS a permis de caractériser les conditions de connexion actuelles, soulignant la difficulté de maintenir un ennoisement suffisant pour la période de reproduction du brochet. Face à ce constat, une proposition de scénario d'aménagement a été retenue. Celle-ci permettra une connexion fonctionnelle et pérenne de l'annexe hydraulique. Cette étude s'inscrit dans une problématique plus large de gestion et de restauration des cours d'eau. La modélisation HEC-RAS a été un outil essentiel permettant de concevoir chaque scénario d'aménagement tout en évaluant leur fiabilité.

À l'avenir, il sera nécessaire d'étudier de manière plus approfondie les impacts et conséquences des effacements d'ouvrages. En effet, la continuité sédimentaire et piscicole est importante mais il ne faut pas que cela engendre des impacts sur les connexions latérales des cours d'eau puisque l'abaissement de la ligne d'eau est en lien direct avec la réduction de la largeur mouillée. Ces connexions sont importantes pour de nombreuses espèces comme le brochet, qui, dans son cycle de vie a besoin de se reproduire dans les annexes hydrauliques.

L'histoire de la Tourdille met en lumière l'importance de réaliser des études de simulation hydraulique en amont de travaux d'arasement d'ouvrage afin de détecter les possibles conséquences telles qu'un dépôt sédimentaire important pouvant créer une déconnexion des annexes hydrauliques.

En intégrant cette méthodologie, les gestionnaires de cours d'eau pourront garantir une restauration plus efficace, en conciliant les enjeux de continuité longitudinale et latérale pour la préservation de la biodiversité.

Bibliographie / Sitographie

Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2022). SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027.

AnteaGroup & SERAMA. (2013). Etude pré opérationnelle pour la réduction des impacts des ouvrages hydrauliques sur la rivière le Thouet (en Maine-et-Loire) Phase 2 : Concertation et étude approfondie du scénario d'intervention retenu.

Bacchi, M., & Colas, F. (2025). Étude Hydrologie Milieux Usages Climat (HMUC) sur le bassin du Thouet volet milieux (v3). CHI521. (104p.).

Baudoin, J.-M., Burgun, V., Chanseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., Sremski, W., Steinbach, P., & Voegtli, B. (2014). Informations sur la Continuité Écologique – ICE - Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons - Principes et méthodes (204 p.). Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA).

Beach, M. H. (1984). Fish pass design. Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fishes in rivers (Fish. Res. Tech. Rep. 78; 45 p.). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

Billard, R., & Institut national agronomique Paris-Grignon (Eds.). (1983). Le Brochet: gestion dans le milieu naturel et élevage. Hydrobiologie et aquaculture. Institut national de la recherche agronomique.

Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 5.0 (962 p.). US Army Corps of Engineers, CEIWR-HEC.

Bruslé, J., & Quignard, J.-P. (2013). Biologie des poissons d'eau douce européens (2e éd.). Lavoisier (Aquaculture - Pisciculture). (740p.).

Chancerel, F. (2003). Le brochet, biologie et gestion. Conseil Supérieur de la Pêche (199p.).

Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Premier ministre, & Commissariat général du Plan. (1994). Les zones humides – Rapport d'évaluation (396 p.). La Documentation Française.

Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire. (2021). Mission de maîtrise d'œuvre Relative à l'aménagement de 4 barrages permettant d'assurer la continuité piscicole et sédimentaire sur le Thouet Lot 2 : Moulin de la Motte, avant-projet. (133p.).

Dorier, A. (1938). À propos de l'œuf et de l'alevin de brochet. Bulletin Français de Pisciculture, (n°110).

Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. (2014). Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles.

Gayet, G., Baptist, F., Maciejewski, L., Poncet, R., & Bensettiti, F. (2025). GUIDE de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS (234 p.). Office Français de la Biodiversité (OFB).

Huet, M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 11(3-4), 332-351.

Keith, P., Persat, H., Feunteun, E., & Allardi, J. (2011). Les poissons d'eau douce de France. Biotope et Muséum national d'histoire naturelle (collection Inventaires et biodiversité). (552p.).

Larinier, M., Courret, D., & Gomes, P. (2006). GUIDE TECHNIQUE pour la CONCEPTION des PASSES « NATURELLES ». (Rapport GHAAPPE RA.06.05-V1).

Ministère de la Transition Écologique (MTE). (2022). Plan national milieux humides (28 p.).

OFB & INRAE. (2020). Le brochet : exigences écologiques et recommandations pour la restauration des frayères.

ONEMA. (2010). La restauration des cours d'eau – Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie.

Stollsteiner, P. (2012). Projet Explore 2070 – Evaluation de l'impact du changement climatique, rapport final (Vol. 1; BRGM/RP-61483-FR; 656 p.). Direction de l'eau et de la biodiversité du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet (SMVT), & Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL). (2023). SAGE du bassin du Thouet Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) (Version adoptée par la Commission Locale de l'Eau le 29 juin 2023).

Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet (SMVT), & Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL). (2016). Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin versant du Thouet, Atlas cartographique du SAGE Thouet.

Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet (SMVT), & Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL). (2023). CONTRAT TERRITORIAL MILIEUX AQUATIQUES (CTMA) THOUET 2017-2021 Phase I : Bilan - Evaluation / Synthèse (18 p.).

Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet (SMVT), & Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire (CASVL). (2023). CONTRAT TERRITORIAL THOUET 2024-2026 & 2027-2029 Stratégie territoriale.

Union des Fédérations pour la pêche et la protection du milieu aquatique du bassin Adour-Garonne. (2014). Guide technique pour la restauration des frayères à brochet (24 p.).

Verneaux, J. (1973). Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura) : recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie (Thèse de doctorat). Université de Franche-Comté, Besançon.

Sitographie :

fedepeche49.fr

hydro.eaufrance.fr

inpn.mnhn.fr

[structurae.net.fr](https://structurae.net/fr)

Annexes

Table des matières

1.Tables des figures	42
2.Index des tableaux.....	44
3.Glossaire	44
4.Graphique du débit moyen à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi	46
5.Ruisseau de la Fontaine des Ermites	46
6.Vue aérienne de l'ensemble de la zone d'étude.....	47
7.Photos complémentaires de la zone d'étude.....	48
8.Matériels utilisés	49
9.Simulations complémentaires du scénario 4	49

1. Tables des figures

Figure 1: Localisation du bassin versant du Thouet @M.Garnault	7
Figure 2: Limite départementale du bassin versant du Thouet @M.Garnault	7
Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant du Thouet (Sage Thouet, 2023)	8
Figure 4: Classement des cours d'eau au titre L214-17 du bassin versant du Thouet (SAGE Thouet, 2023).....	9
Figure 5: Débits moyens mensuels du Thouet 2022-2024 (hydro.eaufrance) @M.Garnault.....	10
Figure 6: Évolution du débit journalier du Thouet à Montreuil Bellay St-Eloi (étude maîtrise d'œuvre moulin de la Motte).....	10
Figure 7: Prélèvements d'eau en 2018 sur le bassin versant du Thouet en Mm ³ (BNPE).....	11
Figure 8: Zonation piscicole de Huet et biotypologie de Verneaux (Huet,1949) (Verneaux,1973)	12
Figure 9: Cycle de reproduction théorique du Brochet (Chancerel, 2003)	13
Figure 10: Etat écologique des masses d'eau superficielles du bassin versant du Thouet (SAGE Thouet,2023)	14
Figure 11: Localisation du site de la Tourdille @M.Garnault	15
Figure 12: Vue aérienne du site de la Tourdille @M.Garnault	15
Figure 13: Limite communale de la zone d'étude @M.Garnault	15
Figure 14: Archéo-écluse de Bron fonctionnelle @Charles Berg	16
Figure 15: Photographie aérienne de Bron 1950-1965 (Géoportail)	16
Figure 16: Photographie de l'ouvrage de Bron @Jacques Sigot	16
Figure 17: Archéo-écluse de Bron actuel @M.Garnault	17
Figure 18: Ouvrage de Bron actuel @M.Garnault.....	17
Figure 19: Travaux réalisés sur le Ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault	18
Figure 20: Création du chenal temporaire en 2021 @Courrier de L'Ouest	18
Figure 21: Évolution du dépôt sédimentaire sur le site de la Tourdille (Géoportail).....	19
Figure 22: Morphologie et connexion de la zone d'étude @M.Garnault	19
Figure 23: Répartition du débit du Thouet en amont de la zone d'étude à 11,2m ³ /s – 27,57 m NGF à l'échelle de Bron @M.Garnault.....	19
Figure 24: Connexion de la Tourdille par l'aval 19,4m ³ /s - 27,97mNGF @M.Garnault	20
Figure 25: Connexion de la Tourdille par l'aval 14,4m ³ /s - 27,78 mNGF @M.Garnault.....	20
Figure 26: Répartition du débit du Thouet en amont de la zone d'étude à 11,2m ³ /s – 27,57 m NGF à l'échelle de Bron @M.Garnault.....	20
Figure 27: Débit moyen journalier à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi @M.Garnault	20
Figure 28: Carte des relevés réalisés au GPS et au Deeper @M.Garnault.....	22
Figure 29: Modèle Numérique de Terrain Complet de la zone d'étude de la Tourdille @M.Garnault	23
Figure 30: Maillage de la zone d'étude @M.Garnault	25
Figure 31: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault	26
Figure 32: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 15m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	26
Figure 33: Connexion amont entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault	26
Figure 34: Connexion aval entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault	26
Figure 35: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault	26
Figure 36: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Amont à 15m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	26
Figure 37: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Aval à 15m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	26
Figure 38: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 5m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	27

Figure 39: Coupe transversale de la lame d'eau de la connexion Aval à 5m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	27
Figure 40: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault	27
Figure 41: Connexion aval entre le Thouet et la Tourdille @M.Garnault	27
Figure 42: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault	27
Figure 43: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m ³ /s à l'état actuel @M.Garnault.....	28
Figure 44: Partie aval du bassin marinier @M.Garnault	28
Figure 45: Radier rive gauche du Thouet @M.Garnault	28
Figure 46: Linéaire de la connexion aval aménagée - Scénario 1 @M.Garnault	30
Figure 47: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m ³ /s - Scénario 1 @M.Garnault.....	30
Figure 48: Modification du profil en long de la connexion aval - Scénario 1 @M.Garnault.....	30
Figure 49: Coupe transversale de la connexion aval aménagée - Scénario 1 @M.Garnault	30
Figure 50: Linéaire de la connexion amont aménagée - Scénario 2 @M.Garnault	31
Figure 51: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 2 @M.Garnault.....	31
Figure 52: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m ³ /s - Scénario 2 @M.Garnault.....	31
Figure 53: Coupe transversale de la connexion amont aménagée - Scénario 2 @M.Garnault	31
Figure 54: Comparaison des débits entre la situation actuelle et le scénario 2 dans la connexion amont @M.Garnault	31
Figure 55: Linéaire du cours d'eau aménagé - Scénario 3 @M.Garnault	32
Figure 56: Modification du profil en long au seuil de l'ouvrage de Bron- Scénario 3 @M.Garnault....	32
Figure 57: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 3 @M.Garnault.....	32
Figure 58: Coupe transversale de la connexion amont aménagée - Scénario 3 @M.Garnault	32
Figure 59: Coupe transversale de la connexion aval aménagée - Scénario 3 @M.Garnault	33
Figure 60: Modélisation des vitesses d'écoulement du Thouet pour un débit de 5m ³ /s - Scénario 3 @M.Garnault.....	33
Figure 61: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 10m ³ /s - Scénario 3 @M.Garnault.....	33
Figure 62: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m ³ /s - Scénario 3 @M.Garnault.....	33
Figure 63: Linéaire du cours d'eau aménagé - Scénario 4 @M.Garnault	34
Figure 64: Radier en rive droite @M.Garnault.....	34
Figure 65: Coupe transversale du radier rive gauche à l'état initial @M.Garnault	34
Figure 66: Coupe transversale du radier rive droite à l'état initial @M.Garnault	34
Figure 67: Modification du profil en long de la connexion amont - Scénario 4 @M.Garnault.....	35
Figure 68: Coupe transversale de la connexion amont à la Tourdille aménagée - Scénario 4 @M.Garnault.....	35
Figure 69: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 11m ³ /s - Scénario 4 @M.Garnault.....	35
Figure 70: Modélisation des hauteurs d'eau du Thouet pour un débit de 0,5m ³ /s - Scénario 4 @M.Garnault.....	35
Figure 71: Modélisation des vitesses d'écoulement du Thouet pour un débit de 5m ³ /s - Scénario 4 @M.Garnault.....	35
Figure 72: Débit moyen journalier à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi du 1 janvier 2025 au 11 août 2025 (source : (hydro.eaufrance) @M.Garnault	46
Figure 73: Ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault	46
Figure 74: Embouchure du ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault	46
Figure 75: Vue aérienne de la zone d'étude @Drone Expertise Centre	47
Figure 76: Bassin marinier @Drone Expertise Centre	48
Figure 77: Radier rive droite @M.Garnier.....	48

Figure 78: Zone amont du site d'étude @Drone Expertise Centre	48
Figure 79: Vue aérienne par l'aval de la zone d'étude @Drone Expertise Centre	48
Figure 80: Vue aérienne par l'amont de la zone d'étude @Drone Expertise Centre	48
Figure 81: Matériels utilisés pour la réalisation du MNT, de gauche à droite : Deeper Pro+, Drone avec LiDAR Yellowscan Mapper, GPS GNSS Stonex S800 @M.Garnault	49
Figure 82: Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement de la connexion aval de la zone d'étude sur le Thouet en fonction de différents débits @M.Garnault	49
Figure 83: Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement de la connexion amont de la zone d'étude sur le Thouet en fonction de différents débits @M.Garnault	50

2. Index des tableaux

Tableau 1: Niveaux d'alerte hydrologique à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi @M.Garnault (hydro.eaufrance)	11
Tableau 2: Représentation des valeurs seuils permettant le franchissement selon différents critères (ONEMA,2014)	13
Tableau 3: Ecart entre les niveaux d'eau mesurés et les niveaux d'eau issus du modèle	24
Tableau 4: Ecart des limites de connexion du Thouet et de la Tourdille entre les relevés et la simulation HEC-RAS	24
Tableau 5: Écart des débits au niveau du radier rive gauche entre les relevés et la simulation HEC-RAS	24
Tableau 6: Ecart des limites de connexion du radier rive gauche entre les relevés et la simulation HEC-RAS	24
Tableau 7: Coefficient de Rugosité Manning (n) en fonction de la zone d'étude	25
Tableau 8: Répartition des débits du Thouet (en m ³ /s) – simulation HEC-RAS	29
Tableau 9: Répartition des débits du Thouet (en m ³ /s) - Scénario 3	33
Tableau 10: Répartition des débits du Thouet (en m ³ /s) avec le scénario 4	35

3. Glossaire

AAPPMA = Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique

Bathymétrie = Mesure de la profondeur des cours d'eau

CASVL = Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire

CLE = Commission Locale de l'Eau

Continuité écologique = Circulation libre des espèces aquatiques et des sédiments

DCE = Directive Cadre sur l'Eau

Débit : quantité de fluide qui passe à travers un point donné en une unité de temps exprimé en m³/s

Deeper = Sondeur bathymétrique

DOE = Débit Objectif d'Étiage

DPF = Domaine Public Fluvial

FDPPMA = Fédérations Départementales de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique

FNPF = Fédération Nationale de la Pêche en France et de la protection du milieu aquatique

Frayère : zone où les poissons vont se reproduire et ainsi déposer leurs œufs

GPS = Global Positioning System

HEC-RAS = Hydrologic Engineering Center - River Analysis System

HMUC = Étude Hydrologie Milieux Usages Climat

Hydromorphologie = Caractéristiques physiques des cours d'eau

IGN = Institut national de l'information géographique et forestière

I2M2 = indice Invertébrés Multi-Métriques

IPR = Indice Poisson Rivière

LEMA = Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

LiDAR = Light Detection And Ranging

Limnophile = Espèce qui se reproduit dans des zones d'eau calme

MNT = Modèle Numérique de Terrain

ONEMA = Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PDPG = Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles

Piscicole : relatif aux espèces de poissons

QMNA5 = Débit minimum mensuel quinquennal

Radier = Fond d'un cours d'eau ou seuil immergé

Restauration = action de créer, d'améliorer ou de retrouver la fonctionnalité biologique d'un milieu.

SAGE = Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE = Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SMVT = Syndicat Mixte de la Vallée du Thouet

Taux d'étagement = Perte de pente naturelle induite par les ouvrages transversaux

Topographie = Description précise de la surface d'un lieu, incluant le relief, les altitudes et les formes du terrain

UNPF = Union Nationale pour la Pêche en France

Vitesse de croisière = Vitesse de nage qu'un poisson peut maintenir sur une longue période sans épuisement

QGIS = Logiciel de Système d'Information Géographique (SIG)

4. Graphique du débit moyen à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi

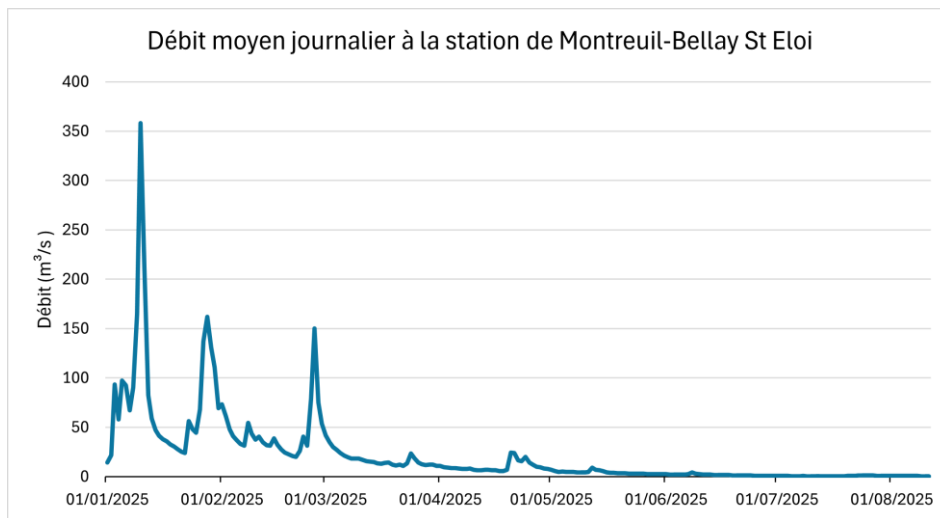


Figure 72: Débit moyen journalier à la station de Montreuil-Bellay St-Eloi du 1 janvier 2025 au 11 août 2025 (source : (hydro.eaufrance) @M.Garnault

5. Ruisseau de la Fontaine des Ermites



Figure 73: Ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault



Figure 74: Embouchure du ruisseau de la Fontaine des Ermites @M.Garnault

6. Vue aérienne de l'ensemble de la zone d'étude



Figure 75: Vue aérienne de la zone d'étude @Drone Expertise Centre

7. Photos complémentaires de la zone d'étude



Figure 76: Bassin marinier @Drone Expertise Centre

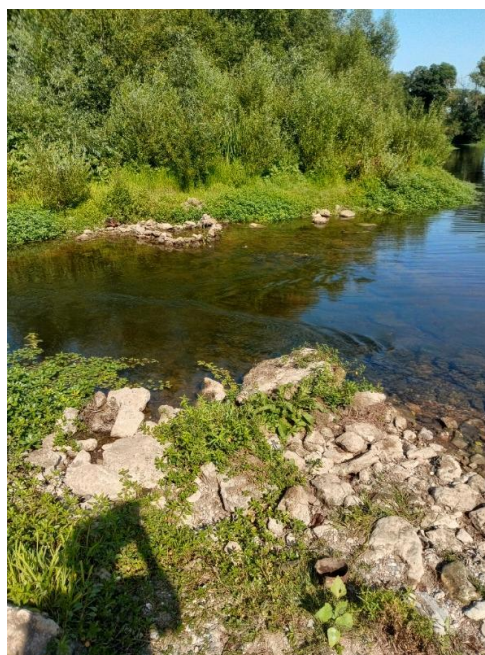


Figure 77: Radier rive droite @M.Garnier



Figure 78: Zone amont du site d'étude @Drone Expertise Centre



Figure 79: Vue aérienne par l'aval de la zone d'étude @Drone Expertise Centre



Figure 80: Vue aérienne par l'amont de la zone d'étude @Drone Expertise Centre

8. Matériels utilisés



Figure 81: Matériels utilisés pour la réalisation du MNT, de gauche à droite : Deeper Pro+, Drone avec LiDAR Yellowscan Mapper, GPS GNSS Stonex S800 @M. Garnault

9. Simulations complémentaires du scénario 4

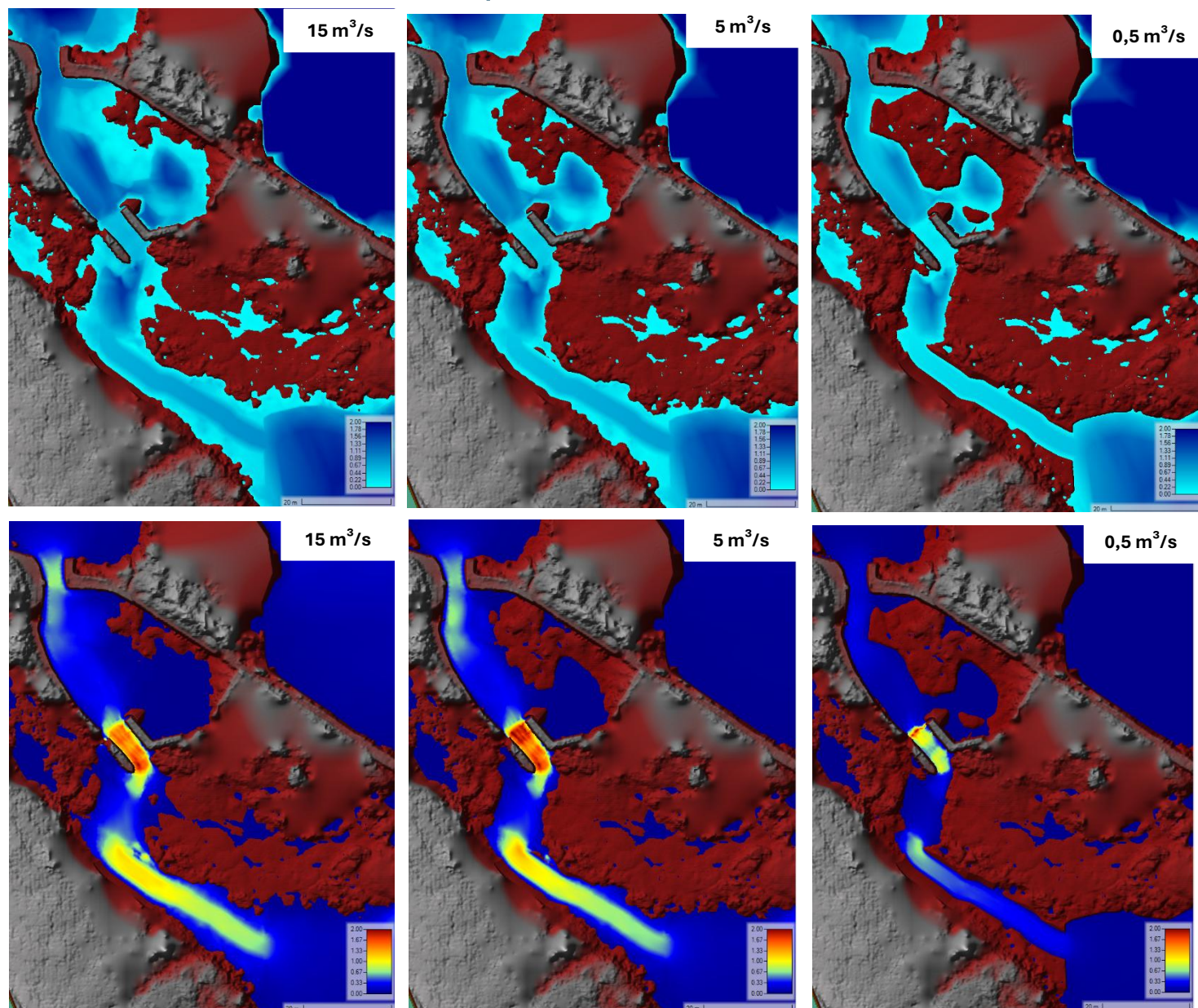


Figure 82: Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement de la connexion aval de la zone d'étude sur le Thouet en fonction de différents débits @M. Garnault

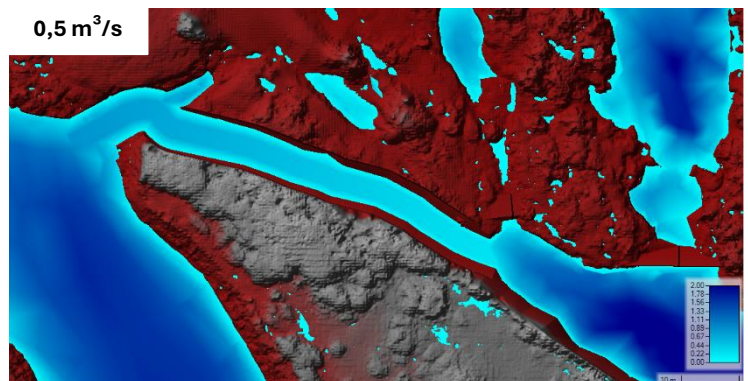
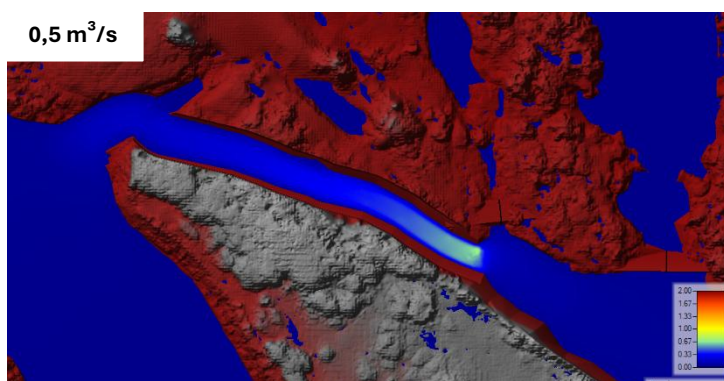
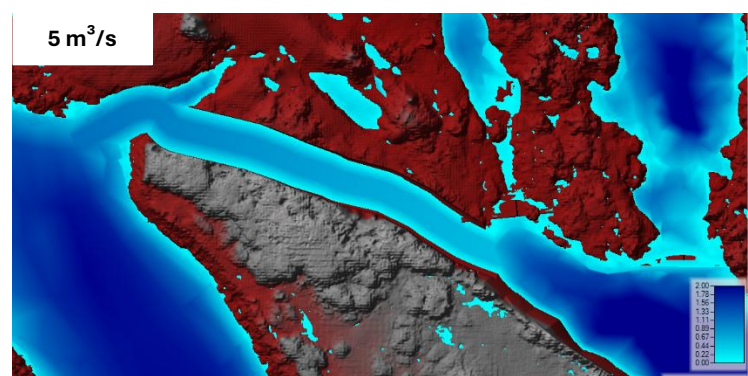
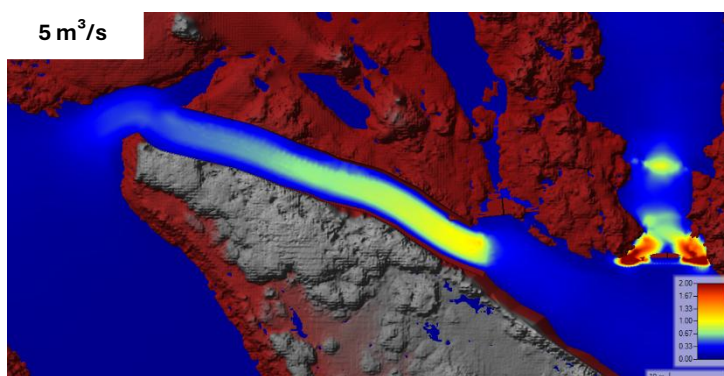
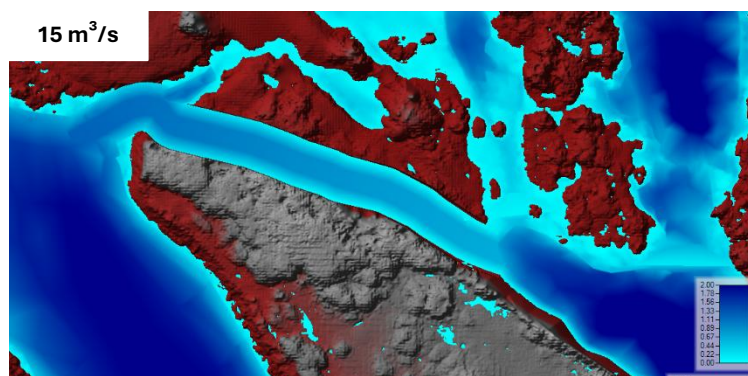
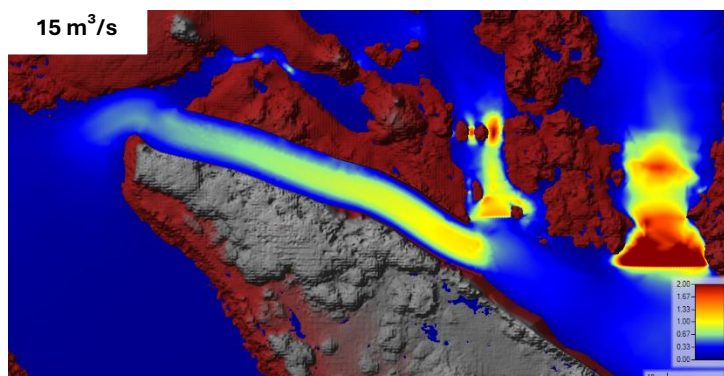


Figure 83: Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement de la connexion amont de la zone d'étude sur le Thouet en fonction de différents débits @M.Garnault



Hydraulic modeling of the Thouet River to identify connection conditions with a hydraulic annex

Abstract :

This report first presents the current state of the Thouet river and its connection to a hydraulic annex. Then, it proposes some different development scenarios to reconnect it permanently. This area is really important for the pike because he need this type of environment for his reproduction. Pike are classified as vulnerable on the IUCN red list of threatened species, that why it is important to reconnect this part of the river.

For this purpose, the numerical field model was created using QGIS software, then the hydraulic modeling was done with HEC-RAS.

Finally, simulations have shown that the best scenario is to raise the elevation of the riffle foundations to allow the flow to be directed to annex and connect it during all the year.

Key-words : QGIS, HEC-RAS, Hydraulic modeling, flow, pike, spawning ground, Hydraulic annex, river

Company: Fédération de Maine-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Address: 1280 rue de la Gachetière 49320 Brissac Loire Aubance

Company tutor : Nicolas Chatard

Academic tutor : Michel Bacchi

Student :

Maxime Garnault

Filière IMA

2024-2025