

Suivis biologique et hydromorphologique de la Boivre restaurée à l'aval du viaduc LGV (86) CODEI E0086 – Suivi n + 8



Validé par le Président Francis Bailly

Fédération Départementale des Associations Agréées de la Pêche et la
Protection du Milieu Aquatique de la Vienne

4 rue Caroline Aigle

86000 Poitiers

1. Sommaire

2.	Contexte du suivi de la Boivre à l'aval du vider de la LGV.....	2
3.	Suivi piscicole	3
3.1	Résultats de la pêche électrique	3
3.2	Composition du peuplement piscicole.....	4
3.3	Analyse du peuplement piscicole.....	4
3.4	Conclusion sur l'état du peuplement piscicole	6
4.	Suivi des invertébrés macro-benthiques	8
4.1	Résultats de l'IBGN	8
4.2	Détail du peuplement d'invertébrés.....	9
4.3	Composition du peuplement macrobenthique.....	10
4.4	Analyse du peuplement macrobenthique.....	10
4.5	Conclusion sur l'état du peuplement macro-benthique.....	10
5.	Caractérisation hydromorphologique du cours d'eau (Carhyce)	12
5.1	Conditions d'application du CarHyCE.....	12
5.2	Renseignements de la station	12
5.3	Géométrie du lit	12
5.4	Dynamique sédimentaire	14
5.5	Substrat	17
5.6	Faciès d'écoulement.....	20
5.7	Calcul du débit à l'aide de l'exploration des champs de vitesse.....	22
6.	Conclusion du suivi.....	23

2. CONTEXTE DU SUIVI DE LA BOIVRE A L'AVAL DU VIDAUC **DE LA LGV**

Pour rappel, cette portion de la Boivre a été restaurée en 2016 dans le cadre des mesures compensatoires de la Ligne à Grande Vitesse Sud Europe Atlantique. Les travaux se divisaient en quatre volets : création d'habitats piscicoles et restauration du lit mineur, rétablissement de la continuité écologique, plantation d'une ripisylve plus cohérente et création d'une frayère à brochets.

Le suivi de ces travaux de restauration s'inscrit donc dans une volonté de prouver et de quantifier leur bénéfice écologique sur le long terme. 8 ans après l'intervention sur le milieu aquatique, les espèces qu'il abrite devraient avoir répondu positivement aux améliorations proposées et l'écosystème devrait avoir trouvé un équilibre.

Dans ce cadre, un protocole de suivi détaillé a été déployé incluant les poissons, les invertébrés aquatiques ainsi que la morphologie de la zone restaurée.

Le peuplement piscicole a été décrit à l'aide d'une pêche électrique permettant le calcul d'un Indice Poisson Rivière (IPR). L'IPR reflète l'écart entre le peuplement piscicole observé et un peuplement théorique optimal.

Le peuplement d'invertébrés aquatiques a été échantillonné en suivant le protocole de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) à 8 prélèvements. La finalité de l'IBGN est la détermination d'une note sur 20 intégrant à la fois la qualité de l'eau et l'habitabilité benthique de la station.

La description de la morphologie associée à la portion restaurée a été réalisée à l'aide du protocole CarHyCE (Caractérisation Hydromorphologique des Cours d'Eau). Il permet de créer un recueil de données sur la géométrie du lit, la puissance spécifique du cours d'eau, la qualité du substrat ainsi que l'état des berges et de la ripisylve.



Figure 1 : Déroulement de la pêche électrique sur la Boivre (source : FDAAPPMA 86).

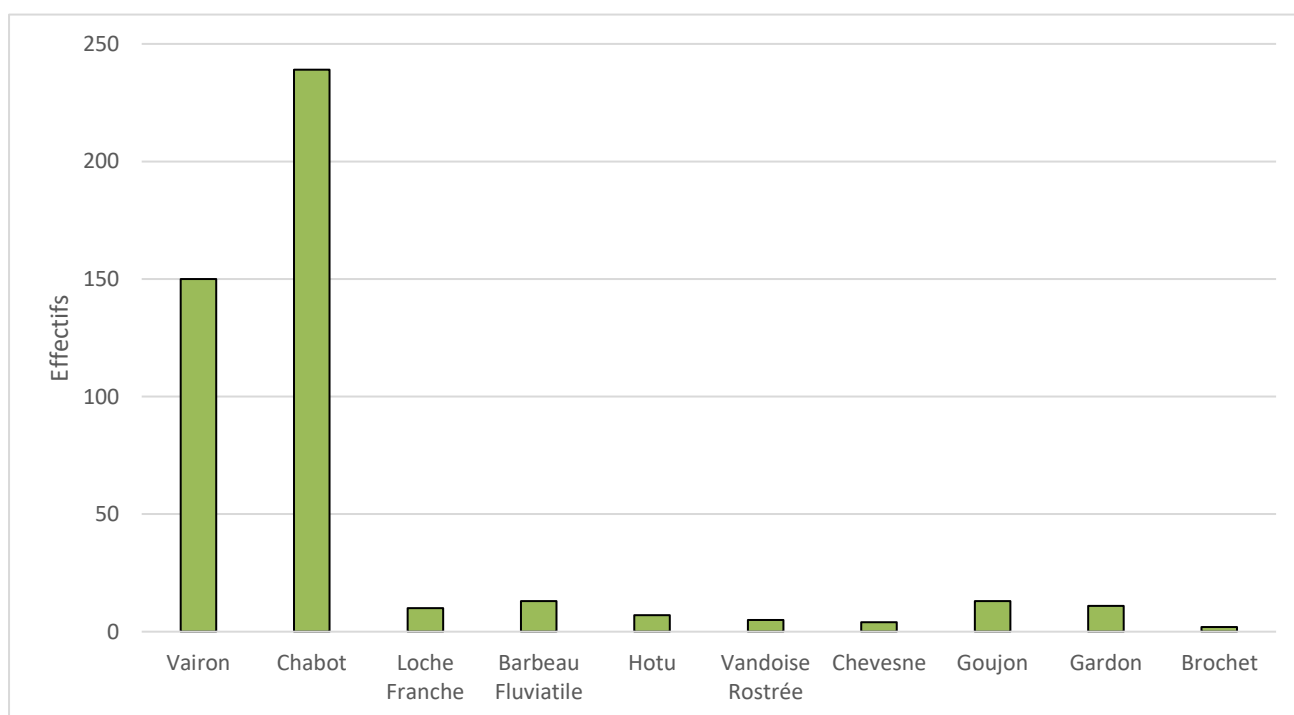
3. SUIVI PISCICOLE

3.1 Résultats de la pêche électrique

Surface prospectée = 455.34 m²

IPR = 7.221
Bon

RESULTATS DES PECHEs – DONNEES BRUTES						
ESPECES	EFFECTIF	DENSITE / 100 m ²	Classe de densité (/5)	%	TAILLE MINI	TAILLE MAXI
Vairon	150	32.94	3	33	42	66
Chabot	239	52.49	4	52.6	45	91
Loche Franche	10	2.2	1	2.2	55	72
Barbeau Fluvatile	13	2.86	3	2.9	55	173
Hotu	7	1.54	3	1.5	400	450
Vandoise Rostrée	5	1.1	2	1.1	305	310
Chevesne	4	0.88	1	0.9	216	250
Goujon	13	2.86	1	2.9	70	116
Gardon	11	2.42	1	2.4	130	250
Brochet	2	0.44	2	0.4	360	480
TOTAL	454	99.71	/	100		



3.2 Composition du peuplement piscicole

En comparaison aux suivis précédents, les espèces accompagnatrices de la truite fario (vairon, chabot, loche franche) dominant largement le peuplement piscicole (87.8 % contre 39 % en 2019). Dans cette logique, les proportions des autres cortèges de poissons ont diminué. Les cyprinidés de rivière (barbeau fluviatile, hotu, vandoise rostrée, chevesne et goujon) sont passés de 41 % à 9.3 % tandis que les espèces d’eaux calmes ne représentent plus que 2.8 % du peuplement contre 19 % en 2019.

En regardant de plus près, les effectifs de cyprinidés de rivière et de poisson d’eaux calmes ne sont pas si différents de ceux relevés en 2019. Leur baisse de représentativité dans le peuplement global est liée à l’augmentation significative des effectifs de vairons (37 à 150) et de chabots (32 à 239).

3.3 Analyse du peuplement piscicole

L’indice Poissons Rivière (IPR) calculé à partir du résultat de cet inventaire indique un peuplement piscicole de bonne qualité. La note est égale à 7.221.

Le tableau ci-dessous indique les scores des différentes métriques des IPR de 2019 et 2024.

Tableau 1 : Métriques des deux IPR réalisés sur la Boivre à l'aval du viaduc LGV en 2019 et 2024.

	La Boivre à l’aval du viaduc LGV													
Métrique	NTE 2019	NTE 2024	NER 2019	NER 2024	NEL 2019	NEL 2024	DIT 2019	DIT 2024	DII 2019	DII 2024	DIO 2019	DIO 2019	DTI 2019	DTI 2024
Etat de référence	12.3	12.3	3.8	3.86	4.4	4.35	0.2	0.13	0.295	0.276	0.054	0.054	0.76	0.75
Résultats observés	11	10	4	4	4	4	0.1	0.055	0.14	0.35	0.105	0.044	0.37	0.99
Scores métriques	0.842	1.633	1.174	0.985	1.853	2.041	1.111	0.511	2.523	0.306	2.254	1.233	1.539	0.512
Note IPR 2019	11.295 (BON)													
Note IPR 2024	7.221 (Bon)													

Lorsque l’on regarde le détail des calculs d’IPR, la principale évolution entre 2019 et 2024 réside à la fois dans l’augmentation de la densité totale de poissons (DTI) et dans l’augmentation de la densité d’individus insectivores (DII). Ces deux paramètres ont évolué positivement grâce à l’augmentation des effectifs de vairons et surtout de chabots. Les deux métriques DTI et DII sont plus proches des valeurs de référence et pénalisent donc légèrement moins l’IPR.

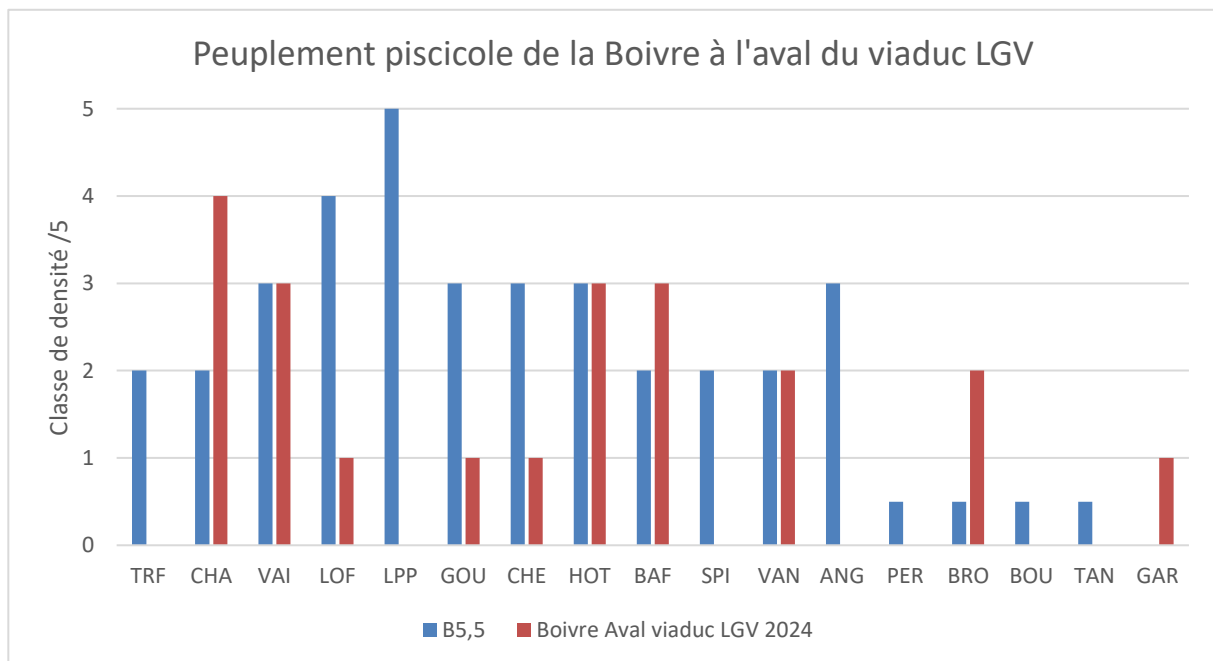


Figure 2 : Histogramme de comparaison des classes de densité de l'IPR réalisé en 2024 par rapport aux classes théoriques du biocénotype 5.5.

En comparant le résultat de la pêche de 2024 avec le peuplement référence du niveau biotypologique 5.5, il est facile de remarquer que 4 espèces manquent à l'appel. Il s'agit de la truite fario, de la lamproie de planer, de l'anguille et du spiralin. L'absence de la truite fario peut s'expliquer par le mauvais état à grande échelle de cette espèce sur le bassin du Clain. En effet, l'enchaînement de plusieurs années de sécheresses et de canicules records a largement diminué les effectifs de truites fario à l'échelle du département et la Boivre ne fait pas exception. En ce qui concerne le spiralin et la lamproie de planer, ils sont naturellement peu représentés sur cette portion de la Boivre. Enfin, les captures d'anguilles sont très aléatoires car elles dépendent des migrations de ce poisson.

Le chabot est particulièrement bien représenté et ses effectifs ont été multipliés par 7 en 5 ans. Plusieurs hypothèses peuvent être mises en avant : une excellente reproduction en 2023 et 2024 (compte tenu des classes de tailles), une amélioration de la qualité de l'eau et/ou une meilleure efficacité de la pêche électrique liée aux conditions de pêche (eau plus claire).

A noter que la capture de 2 brochets de 2 classes de tailles différentes est une bonne nouvelle. Il est très probable qu'ils soient issus de la frayère à brochets aménagés au droit de la station de pêche dans le cadre des mesures compensatoires de la LGV.

Pour finir, cette station restaurée est toujours aussi attractive pour les cyprinidés rhéophiles (barbeaux, hotus et vandoises). La présence de vandoises rostrées est particulièrement intéressante car cette espèce est en très forte régression à l'échelle du bassin du Clain au même titre que la truite fario. Cette population de la Boivre a donc une grande valeur patrimoniale. Ce point mérite d'être souligné.

3.4 Conclusion sur l'état du peuplement piscicole

Les aménagements réalisés dans le cadre des mesures compensatoires LGV ont permis de dynamiser les écoulements et de diversifier les habitats de la portion restaurée. La faune piscicole a très bien répondu à ces améliorations. Le peuplement piscicole semble désormais bien établi et a très peu évolué depuis 2019. La pêche électrique a permis de mettre en évidence un peuplement piscicole mixte composé à la fois d'espèces sensibles, rhéophiles et affectionnant les eaux plus calmes. La densité piscicole est très intéressante et traduit la présence de nombreuses caches de types blocs, racinaires et fosses. La reproduction des barbeaux et la présence de vandoises rostrées montrent également que cette restauration a permis d'améliorer le recrutement et l'accueil de certaines espèces exigeantes d'un point de vue hydromorphologique malgré l'absence de la truite fario.



Figure 3 : Hotu capturé lors de la pêche électrique sur la Boivre de 2024 (source : FDAAPPMA 86).



Figure 4 : Barbeau fluviatile juvénile capturé lors de la pêche électrique sur la Boivre de 2024 (source : FDAAPPMA 86).



Figure 5 : Brochet capturé lors de la pêche électrique sur la Boivre de 2024 (source : FDAAPPMA 86).



Figure 6 : Vandoise rostrée capturée lors de la pêche électrique sur la Boivre de 2024 (source : FDAAPPMA 86).

4. SUIVI DES INVERTEBRES MACRO-BENTHIQUES

4.1 Résultats de l'IBGN

Année	05/2019	04/2024
Nombre de taxons	28	35
Classe de Variété	8	10
Taxon indicateur	<i>Ephemeridae</i>	<i>Goeridae</i>
Groupe indicateur	6	7
Habitabilité sur 20	15.6	16.38
Note IBGN sur 20	13	16
Robustesse de la note IBGN	13	15



Figure 7 : Photographie d'un Goeridae, taxon indicateur de l'IBGN 2024.

4.2 Détail du peuplement d'invertébrés

Tableau 2 : Résultats détaillés de l'IBGN réalisé sur la Boivre à l'aval du viaduc LGV en 2024.

N° Pnt		1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Abondance relative Pi	PP	Pi*logbinaire(Pi)
PLECOPTERES													
Leuctridae	LEU	1							1	2	0,001	2,61E-07	0,006
TRICHOPTERES													
Ecnomidae	ECN					2				2	0,001	2,61E-07	0,006
Goeridae	GOE				3					3	0,001	5,87E-07	0,008
Hydropsychidae	HYD	8	1		1	7		5		22	0,006	3,16E-05	0,042
Hydroptilidae	HDR								3	3	0,001	5,87E-07	0,008
Leptoceridae	LPT						1			1	0,000	6,52E-08	0,003
Polycentropodidae	POL							1		1	0,000	6,52E-08	0,003
Rhyacophilidae	RHY	2	1							3	0,001	5,87E-07	0,008
EPHEMEROPTERES													
Baetidae	BAE		4						17	21	0,005	2,88E-05	0,040
Caenidae	CAE	1		5	1					7	0,002	3,20E-06	0,016
Ephemerellidae	EPL	67	17	5	1	15		84	81	270	0,069	4,75E-03	0,266
Ephemeridae	EPH			7	2	2	5			16	0,004	1,67E-05	0,032
Heptagenidae	HEP							5	2	7	0,002	3,20E-06	0,016
HETEROPTERES													
Corixidae	CRX						5			5	0,001	1,63E-06	0,012
Mesoveliidae	MES				1					1	0,000	6,52E-08	0,003
COLEOPTERES													
Chrysomelidae	CHR				1					1	0,000	6,52E-08	0,003
Dyticidae	DIT	1								1	0,000	6,52E-08	0,003
Elmidae	ELM	10	4		8	161	1	17	5	206	0,053	2,77E-03	0,223
Gyrinidae	GYR	1								1	0,000	6,52E-08	0,003
DIPTERES													
Ceratopogonidae	CER	1				2	1			4	0,001	1,04E-06	0,010
Chironomidae	CHI	115	8		20	44	14	32	50	283	0,072	5,22E-03	0,274
Empididae	EMP					21		6	3	30	0,008	5,87E-05	0,054
Limoniidae	LIM					6		11		17	0,004	1,88E-05	0,034
Rhagionidae	RHA		1							1	0,000	6,52E-08	0,003
Simuliidae	SIM		4					1	3	8	0,002	4,17E-06	0,018
ODONATES													
Calopterygidae	CAL			14						14	0,004	1,28E-05	0,029
CRUSTACES													
Gammaridae	GAM	191	83	88	281	227	20	1180	485	2555	0,652	4,26E-01	0,402
Asellidae	ASE	1		8			1			10	0,003	6,52E-06	0,022
MOLLUSQUES													
Corbiculidae	CRB					14				14	0,004	1,28E-05	0,029
Sphaeriidae	SPH	1			2			2		5	0,001	1,63E-06	0,012
Hydrobiidae	HDB	2	3		13	96	19	29	7	169	0,043	1,86E-03	0,196
Limnaeidae	LMD					1	4			5	0,001	1,63E-06	0,012
Neritidae	NER	3		2	1	50	3	9	2	70	0,018	3,20E-04	0,104
Planorbidae	PLN	1			4	61	54	19	14	153	0,039	1,53E-03	0,183
HYDRACARIENS	HCR	2			1	1		1		5	0,001	1,63E-06	0,012
Total individus		408	126	129	340	710	128	1402	673	3916	1	0,442	2,097
Nbre U.S.		17	10	7	15	16	12	15	13	35			

4.3 Composition du peuplement marcobenthique

Le peuplement est composé de 35 taxons différents. Cette diversité taxonomique est plutôt bonne et reflète la très bonne note d'habitabilité benthique de la station (16.38/20). En revanche, même s'il est bien diversifié, le peuplement reste déséquilibré. En effet, 1 taxon représente à lui seul 65.5 % du peuplement. Il s'agit des Gammaridae. Les taxons plus sensibles (Plécoptères, trichoptères et éphéméroptères) constituent seulement 9.14 % mais ce chiffre a tout de même doublé depuis 2019.

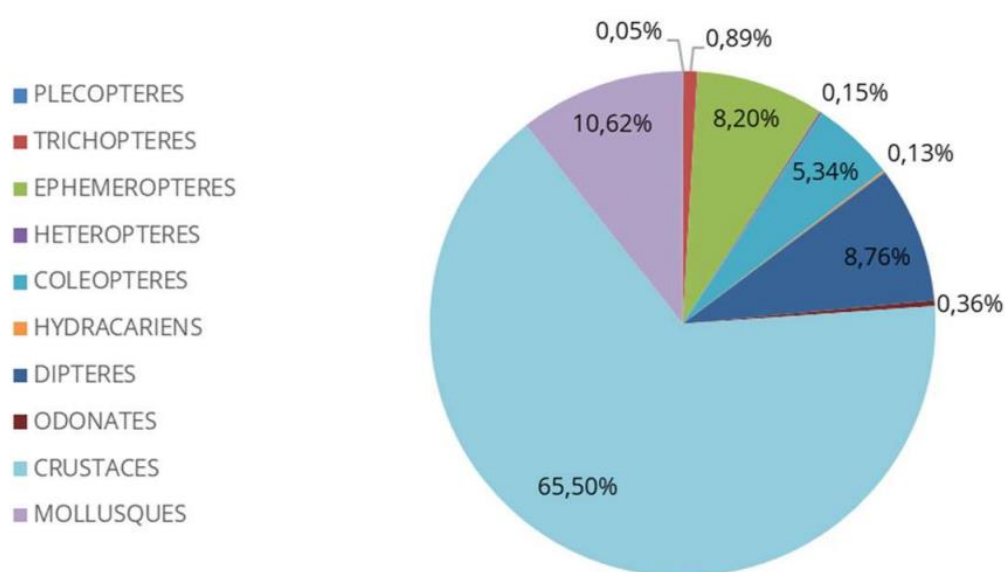


Figure 8 : Répartition des principaux groupes d'invertébrés sur la station de la Boivre à l'aval du viaduc LGV en 2024.

4.4 Analyse du peuplement macrobenthique

La bonne diversité taxonomique couplée avec la sensibilité du taxon indicateur indique un bon IBGN (16/20) et donc la bonne qualité du peuplement macrobenthique. Cependant, l'analyse plus poussée de la composition du peuplement montre un dysfonctionnement. La part des taxons sensibles à la qualité de l'eau est assez faible et la forte abondance des Gammaridae traduit un problème d'ordre trophique sur le milieu. L'enrichissement de la Boivre en nutriments et en matière organique favorise leur développement (consommateurs primaires) au détriment des autres taxons.

4.5 Conclusion sur l'état du peuplement macro-benthique

Le suivi de 2019 avait prouvé l'efficacité des travaux de restauration sur le peuplement d'invertébrés de la Boivre au droit de la station. Néanmoins, la conclusion indiquait que l'amélioration du peuplement macro-benthique serait probablement limitée par la qualité de l'eau de la Boivre sur laquelle les travaux n'avaient que très peu d'incidence. Pourtant, le suivi réalisé en 2024 indique une nette amélioration de cette qualité biologique d'une part par l'amélioration de l'habitabilité liée aux meilleures conditions hydrologiques et d'autre

part à une meilleur sensibilité du peuplement (proportion taxons ETP et sensibilité du taxon indicateur). Le retour d'une hydrologie normale pour une période de printemps a sans doute permis aux conditions de milieu de s'améliorer par rapport à celles observées lors du prélèvement de 2019 (faible autoépuration hivernale suivie d'une forte sécheresse).

5. CARACTERISATION HYDROMORPHOLOGIQUE DU COURS D'EAU (CARHYCE)

5.1 Conditions d'application du CarHyCE

Le protocole CarHyCE a été appliqué le 24 septembre 2024 sur cette station restaurée de la Boivre. Les conditions hydrologiques étaient favorables à l'observation et similaires à celles de l'étude de 2019. L'eau était assez claire, les faciès faciles à discriminer et le débit proche de sa moyenne mensuelle sèche interannuelle.

Pour simplifier l'analyse des données et les calculs hydrauliques, les points sont toujours décrits à partir de la rive la plus basse.

5.2 Renseignements de la station

Largeur de pleins bords

3 largeurs pleins bords ont été mesurées au niveau de 3 transects. Le premier transect était positionné au niveau du 1er radier aval qui matérialiserait l'origine de la station. Les deux autres transects étaient ensuite espacés chacun de 2 fois cette 1ère largeur mesurée. La moyenne des 3 mesures (lev-pb) a servi à déterminer la longueur de la station (L). Ces largeurs pleins bords ont été relevées rapidement à l'aide d'un décimètre entre les deux bords de berge et perpendiculairement à l'écoulement avec une précision de 10%.

$$\text{lev - pb} = (l\text{-pb } 1 + l\text{-pb } 2 + l\text{-pb } 3) / 3 = (11.1 + 11.4 + 11.7) / 3 = \mathbf{11.4 \text{ m.}}$$

Longueur de la station

La longueur de la station (L) a été déterminée en fonction de lev-pb.

$$\text{Ainsi } L = 14 \times \text{lev-pb} = 14 \times 11.3 = \mathbf{159.6 \text{ m.}}$$

Positionnement des transects de la station

Les mesures ont été effectuées sur 15 transects perpendiculaires à l'écoulement. Le premier transect était positionné sur le premier radier aval de la station et les 14 autres étaient répartis toutes les 1 fois la largeur évaluée pleins bords moyenne (lev-pb) vers l'amont.

5.3 Géométrie du lit

Evaluation de la largeur mouillée moyenne de la station (lev-m)

Ces mesures ont été réalisées pour déterminer l'espacement entre chaque point de mesure sur les transects. La largeur mouillée moyenne a été mesurée au niveau des 3 transects déjà utilisés pour déterminer lev-pb.

$$\text{lev-m} = (l\text{-m } 1 + l\text{-m } 2 + l\text{-m } 3) / 3 = (6.1 + 7.4 + 8.4) / 3 = \mathbf{7.3 \text{ m.}}$$

Espacement inter-points sur les transects

Sur chaque transect, les points de mesures ont été levés tous les 1/7^{ème} de la largeur mouillée moyenne (lev-m).

$$\text{Espace} \text{ inter-points} = \text{lev-m} / 7 = 7.3 / 7 = \mathbf{1.04 \text{ m.}}$$

Largeur et profondeur à pleins bords et rapport des deux

Le rapport de la largeur sur la profondeur moyenne à pleins bords est une caractéristique géométrique intéressante à plusieurs titres :

D'un point de vue hydromorphologique, c'est un paramètre typologique indicateur de l'activité géodynamique d'un cours d'eau. Ainsi, les cours d'eau à dynamique plutôt active, caractérisés par des processus érosifs latéraux importants et des apports solides assez élevés, ont des rapports l/p plutôt forts (20 ou plus). Les rivières en tresses ont souvent des rapports l/p proches de ou supérieurs à 100.

Le rapport l/p donne aussi des indications sur la cohésion des berges : plus celles-ci sont cohésives, plus les cours d'eau sont étroits et profonds et inversement, si les berges sont peu cohésives, les cours d'eau ont tendance à être plus larges et moins profonds. On retrouve ici les mêmes tendances que celles liées à la présence de végétation rivulaire, les 2 paramètres (végétalisation et cohésion) jouant dans le même sens en favorisant l'érosion verticale aux dépens de l'érosion latérale ou l'inverse.

$$\text{Dans notre cas, le rapport l/p} = \mathbf{10.53/1.16 = 9.08.}$$

La station étudiée de la Boivre est donc caractérisée par un faible rapport l/p. Ce résultat indique que cette portion de la Boivre présente une activité géodynamique limitée. Les processus d'érosion latérale sont faibles et les berges stables. Ce résultat reflète en partie les caractéristiques naturelles de la Boivre mais aussi certaines caractéristiques particulières de la station de suivi. En effet, la Boivre est un cours d'eau de taille intermédiaire dont la pente peut être très variable. Sur la portion étudiée, la pente est moyenne à élevée. Les processus d'érosion latérale vont donc être restreints et la largeur naturellement réduite. De plus, le recalibrage ancien de cette portion de la Boivre a nettement augmenté la profondeur pleins bords entraînant ainsi un déséquilibre du rapport l/p. La faible érosion latérale naturelle de la Boivre a donc été transformée en érosion verticale favorisant l'incision du lit mineur. Néanmoins, les travaux de restauration réalisée dans le cadre des mesures compensatoires de la LGV vont stabiliser ce phénomène d'incision par l'apport de substrat grossier et la création de faciès dynamiques. L'énergie de la Boivre se dissipera dans le transport de ces cailloux et blocs pour favoriser la diversité des écoulements.

Débit de pleins bords

Il est couramment admis que le débit de pleins bords d'un cours d'eau naturel en équilibre a une période de retour correspondant sensiblement à la crue journalière de fréquence 1.5 à 2.5 ans. Le calcul, même sommaire, de ce débit au droit d'une station permet donc en théorie de détecter une éventuelle altération (ex : recalibrage) si sa période de retour dépasse largement Q2ans (ex : Q5, Q10).

L'étude hydraulique réalisée préalablement aux travaux de restauration avait estimé **un débit pleins bords entre 3 et 4 m³/s sur la station.**

La station hydrométrique de Vouneil/ss/Biard indique **un débit de crue journalière de fréquence 2 égal à 7.39 m³/s.**

Cette valeur signifie donc que le calibre de la Boivre restaurée permet à la rivière d'atteindre très fréquemment (tous les ans mise à part année hydraulique exceptionnellement sèche) son débit pleins bords. Il s'agit du débit le plus morphogène permettant la création de nouveaux habitats ainsi que le décolmatage des zones sédimentées. Cette caractéristique hydraulique est indispensable à la reproduction de certains poissons (truites fario, chabots, barbeaux ...) dont la fraie nécessite un substrat grossier de qualité, oxygéné et surtout non colmaté.

5.4 Dynamique sédimentaire

Puissance spécifique de pleins bords

La puissance spécifique à pleins bords est un paramètre déterminant de la dynamique fluviale. Plus elle est élevée plus le cours d'eau a de capacité à éroder ses berges (si celles-ci ne sont pas cohésives) et à transporter ses alluvions.

Couplée aux caractéristiques du substrat et à l'hydrologie, elle permet aussi de déterminer la fréquence de mise en mouvement des sédiments et donc la stabilité temporelle du substrat, élément important du fonctionnement écologique.

Pour commencer, la puissance (Ω) doit être calculée comme suit :

$$\Omega = \gamma_{\text{eau}} \times Q \times J = 9810 \times 7.39 \times 0.0083 = \mathbf{601.7 \text{ watts / m.}}$$

Où γ est le poids volumique de l'eau (9810 N/m³), Q le débit (m³/s) (ici le débit journalier de crue de fréquence 2ans) et J la pente de la ligne d'énergie en m/m (calculée à partir d'un niveau laser).

Ensuite, la puissance spécifique (ω) de pleins bords est calculée comme suit :

$$\omega = \Omega / \text{lev} - \text{pb} = 601.7 / 11.4 = \mathbf{52.78 \text{ watts / m}^2}.$$

La puissance spécifique indique que cette portion de la Boivre présente une bonne capacité morphogène. D'après l'échelle de Brooke (1990), une puissance spécifique de 52.78 watts / m² correspond à la catégorie des rivières ayant la capacité de se méandrer et donc de diversifier ses écoulements et habitats.

Force tractrice et paramètre de Shields :

La force tractrice ou tension de frottement (τ) est la tension tangentielle exercée par la colonne d'eau sur les parois du chenal ; c'est la force résultant de la friction du liquide en mouvement sur les parois du chenal.

La force tractrice pleins bords de notre station est calculée comme suit :

$$\tau = \gamma_{\text{eau}} \times R_h \times I = 9810 \times 0.42 \times 0.0083 = \mathbf{34.2 \text{ N/m}^2}.$$

Où R_h est le rayon hydraulique (rapport de la surface et du périmètre mouillés).

Ensuite, le paramètre de Shields est un nombre non dimensionnel utilisé pour calculer l'initiation du mouvement des sédiments dans un écoulement de fluide.

Le paramètre de Shields est calculé comme suit :

$$\tau^* = \tau / (\gamma_{\text{solide}} - \gamma_{\text{eau}}) \times \text{diamètre grain}.$$

Pour un diamètre (d) de 5 cm, le paramètre de Shields vaut $34.2 / (((2650-1000) \times 9.8) \times 0.05) = \mathbf{0.042}$.

Pour un diamètre (d) de 10 cm, le paramètre de Shields vaut $34.2 / (((2650-1000) \times 9.8 \times 0.1) = \mathbf{0.021}$.

Tableau 3 : Classification de Ramette (mouvement des sédiments en fonction du paramètre de Shields).

- pour $\tau^* < 0,027$	le grain de diamètre d est au repos ; le fond est plat ;
- pour $0,027 < \tau^* < 0,047$	il y a apparition des tous premiers mouvements, mais pas assez pour générer un débit solide ;
- pour $0,047 < \tau^* < 0,062$	le grain est charrié sur fond plat ;
- pour $0,062 < \tau^* < 0,25$	le grain est charrié par dunes ;
- pour $0,25 < \tau^* < 2,5$	le grain est transporté par dunes en suspension ;
- pour $\tau^* > 2,5$ environ	le grain est transporté en suspension sur fond plat.

D'après la classification de Ramette (tableau 1), ce résultat signifie que la force tractrice de la Boivre à pleins bords est capable de mettre en mouvement une partie du substrat utilisé pour la restauration de son lit mineur. Les cailloux de petit gabarit (< 5cm) pourront être progressivement déplacés par charriage (roulement) à l'atteinte du débit morphogène. Les pierres plus grosses (>10cm) auront une fréquence de déplacement moins importante, elles seront beaucoup plus stables.

Pour apporter une précision supplémentaire, la mise en mouvement du sédiment nécessite que τ critique (force tractrice critique) $> \tau$.

Sachant que τ critique = Re^* (Nombre de Reynolds = 0.045) $\times (\gamma$ solide – γ eau) $\times D50$ (taille médiane des sédiments) :

τ critique $> \tau \Leftrightarrow 0.045 \times 16170 \times D50 > 34.2 \Leftrightarrow D50 > 34.2 / (0.045 \times 16170) \Leftrightarrow \mathbf{D50 > 0.047 \text{ m soit } 4.7 \text{ cm.}}$

La taille médiane des sédiments mis en mouvement sur la station se situe autour des 5 cm.

Ce constat est positif. La moitié du substrat utilisé pour la restauration sera mobilisable et participera à la dynamique sédimentaire de la Boivre tandis que l'autre moitié dissipera l'énergie des écoulements et formera des banquettes plutôt fixes pour diversifier les habitats.

Les conclusions sur la dynamique sédimentaire du lit de cette station restaurée de la Boivre sont similaires à celles de l'analyse réalisée en 2019. Le bénéfice des travaux sur la morphologie est donc durable et stable dans le temps. Les légères différences de résultats sont uniquement liées à la valeur de débit de crue de fréquence 2 ans (mise à jour en fonction des débits mesurés entre 2019 et 2024 à la station hydrométrique de Vouneuil/ss/Biard) et au rayon hydraulique dont la très faible variation peut être associée à un petit décalage des transects de mesures entre 2019 et 2024.

5.5 Substrat

Deux types de données granulométriques seront recueillies, l'une sur les points de transects, l'autre sur le radier plus en aval pour une évaluation de la typologie et de la dynamique sédimentaire à l'échelle stationnelle.

Le substrat minéral sur les points de transects :

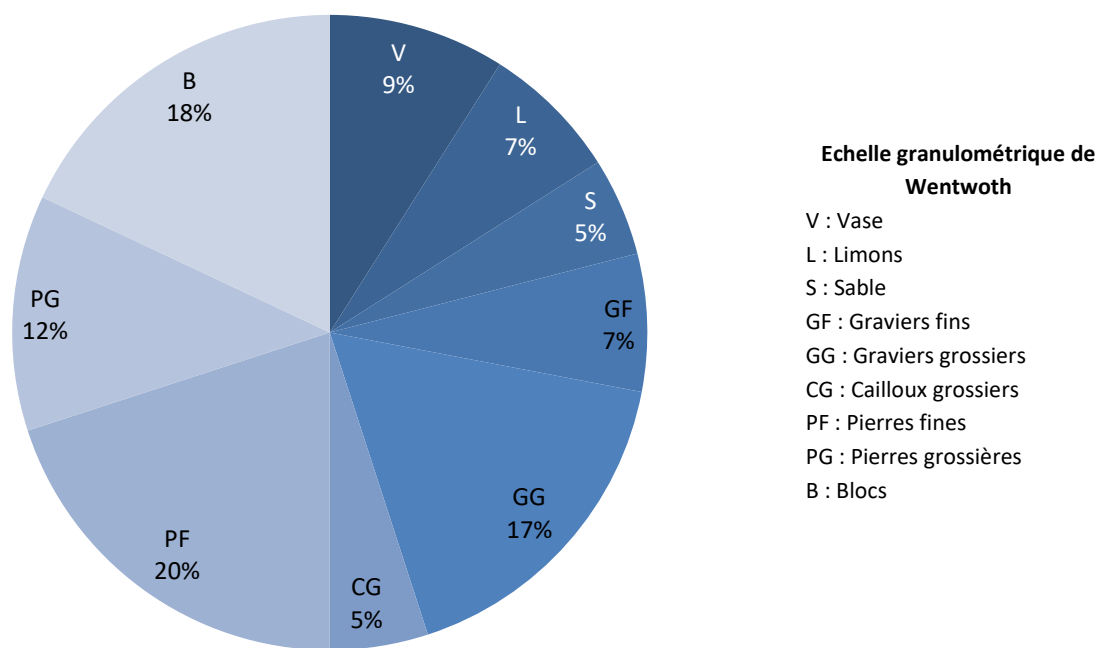


Figure 9 : Répartition des substrats relevés au niveau des points de transects.

Les substrats grossiers pouvant faire office de caches pour les poissons (Blocs et pierres grossières) représentent 30 % du relevé. Ce résultat est très intéressant et reflète notamment les belles densités de chabots et de vairons sur la station de pêche. Les blocs abritent quant à eux les vandoises, hotus et barbeaux capturés lors de la pêche électrique. Près de la moitié du substrat grossier prélevé était favorable à la reproduction des truites fario, des chabots et des cyprinidés rhéophiles (graviers grossiers à pierres grossières). La présence de sables, limons et vases est cohérente. Un cours d'eau fonctionnelle présente aussi des zones de sédimentation (fosses, abris dynamiques, zones d'érosion des berges...). En revanche, cette proportion de sédiments fins a légèrement diminué par rapport à 2019 (- 7 %) au profit des pierres et des graviers. Ce résultat corrobore les conclusions des analyses biologiques qui s'appuient sur une meilleure autoépuration (décolmatage, oxygénation du substrat grossier) du milieu ainsi que sur de meilleures conditions hydrologiques.

La conclusion reste la même qu'en 2019. La recharge granulométrique a permis de rétablir une dynamique sédimentaire durable et des refuges biologiques de qualité permettant l'installation pérenne des espèces piscicoles ciblées par les travaux.

Le substrat minéral relevé sur le radier (100 mesures réalisées) :

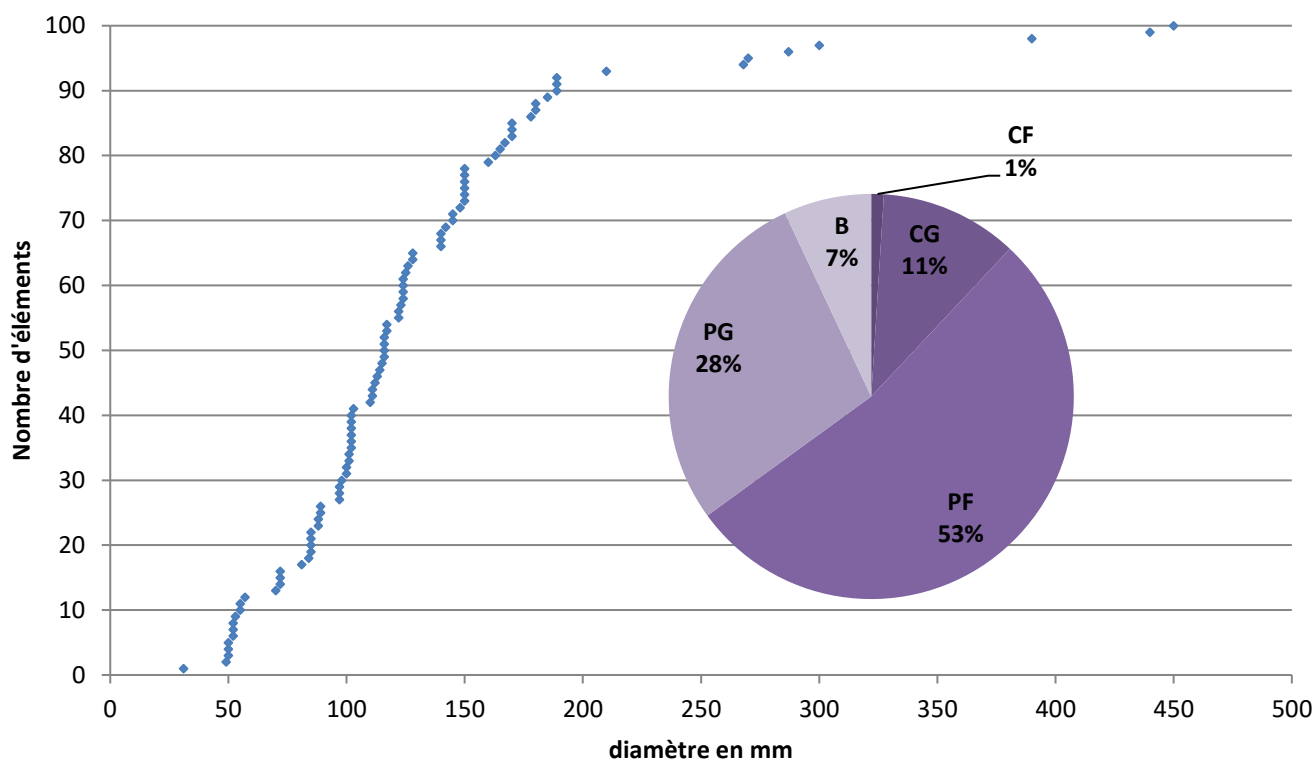


Figure 10 : Répartition du substrat sur le radier échantillonné.

L'analyse du substrat des radiers montre qu'il y a un tri. Le sédiment fin n'est pas représenté. Le radier n'est donc pas colmaté. La classe de taille la plus représentée est la classe 90 – 150 mm. Ce résultat confirme la valeur de notre paramètre de Shields qui indiquait qu'à partir de 10 cm, notre substrat devenait difficilement mobilisable. Les éléments inférieurs à 10 cm sont charriés plus facilement et sont légèrement moins représentés sur les radiers où la force tractrice est la plus contraignante. Il existe donc une dynamique sédimentaire efficace sur les radiers ce qui permet une sélection d'éléments grossiers et évite leur colmatage.

L'analyse de la composition de ce radier est très semblable à celle réalisée en 2019. La seule information apportée par ce résultat est l'existence d'un transport sédimentaire car malgré le déplacement « facile » des éléments < 10 cm, il y en a toujours sur les radiers 8 ans après les travaux. Il y a donc à la fois une érosion et un apport.

Colmatage du substrat :

Le colmatage se traduit par le dépôt plus ou moins épais de sédiments fins organiques ou minéraux sur le fond de la rivière. La présence de sédiments fins peut être tout à fait naturelle dans les zones de fosses où le ralentissement du courant favorise leur sédimentation. En revanche, lorsque les dépôts de matières fines viennent à colmater les zones courantes, ce phénomène traduit un dysfonctionnement du cours d'eau. Ce constat peut être lié à certains processus qui s'opèrent à l'échelle du bassin versant (érosion et ruissellement) ou à une altération de la géodynamique de la rivière qui n'arrive plus à évacuer les fines.

L'étude du colmatage d'un cours d'eau est indispensable pour appréhender son volet biologique. L'accumulation de matières fines peut être à l'origine de décompositions anaérobies néfastes pour les invertébrés aquatiques vivant sur les zones de courant. En plus de l'asphyxie causée par le colmatage, une dégradation anaérobie de la matière organique produit des substances toxiques telles que le sulfure d'hydrogène.

Il est possible d'appréhender l'intensité du colmatage du lit des cours d'eau en évaluant la profondeur d'oxygénation du substrat via le développement de bactéries sulfato-réductrices sur des supports en bois. Au contact des zones désoxygénées, ces substrats artificiels changent de couleur, passant du brun jaunâtre au noir. Ce changement de couleur est lié aux activités microbiennes stimulées par le substrat carboné. La couleur noire est sans doute attribuable à un dépôt de sels de manganèse.

Deux fois quatre piquets en bois ont donc été disposés sur deux têtes de radiers. Les supports en bois sont ensuite restés plantés 30 cm sous le substrat pendant 1 mois (du 4 juin au 8 juillet).

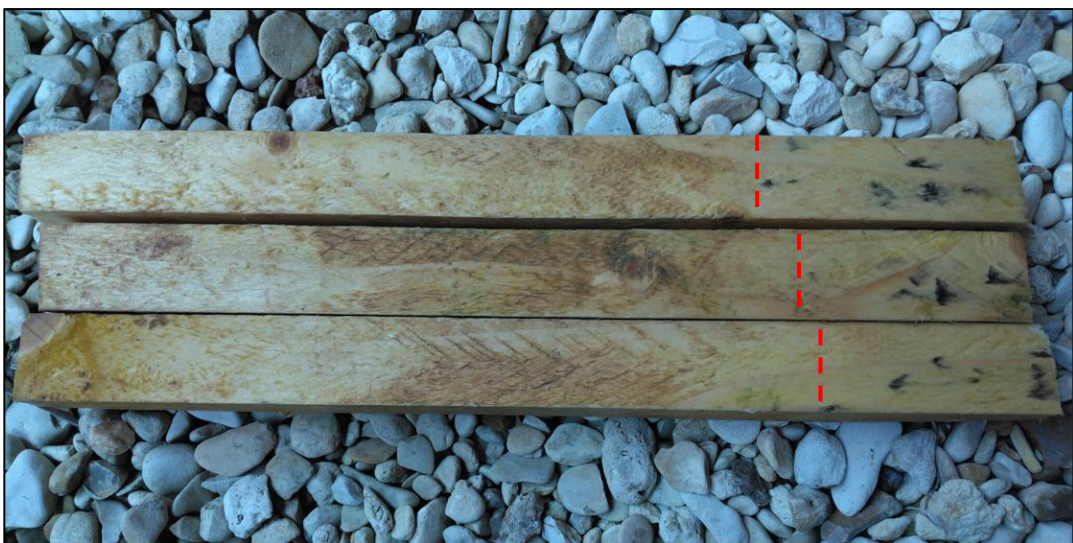


Figure 11 : Photographie des supports en bois relevés sur le premier radier (source : FDAAPPMA 86).

Sur les 8 piquets récupérés, seules quelques tâches noires discontinues de sulfato-réduction apparaissent sur les 8 derniers centimètres. Le substrat est donc parfaitement oxygéné sur ces 20 premiers centimètres d'épaisseur. Les derniers centimètres testés indiquent une petite activité de bactéries sulfato-réductrices qui décomposent la matière organique en anaérobiose. L'épaisseur du substrat grossier bien oxygéné est légèrement supérieure (+ 2 cm en moyenne) à celle relevée en 2019. Ce résultat est cohérent et va dans le sens d'une meilleure autoépuration du milieu.

5.6 Faciès d'écoulement

Les faciès d'écoulement sont des macro-descripteurs des habitats aquatiques. Leur description et leur hétérogénéité fournissent une aide pertinente à l'interprétation de la biologie. Ils peuvent aussi être indicateurs d'un certain niveau de dysfonctionnement hydromorphologique.

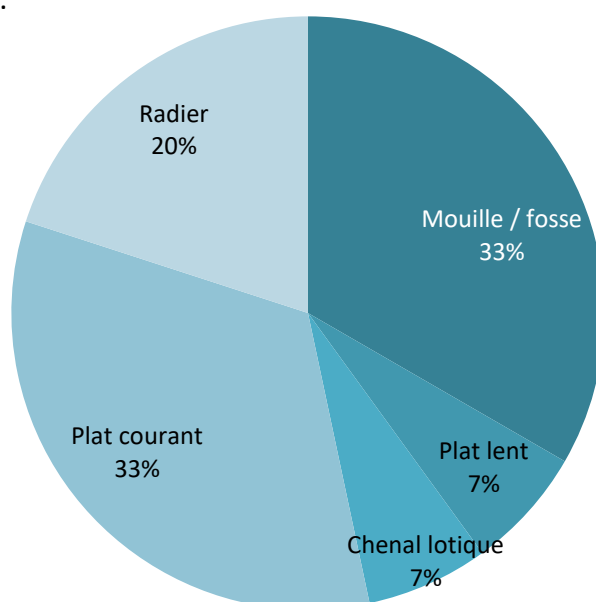


Figure 12 : Description des faciès d'écoulement relevés sur la station.

L'analyse des faciès montre une portion de rivière très dynamique avec une dominance de faciès courants et dynamiques. Ce résultat peut être corrélé avec la présence d'une belle densité de poissons appréciant les courants mise en évidence lors de l'inventaire piscicole. La description de zones plus calmes et plus courantes est très cohérente vis-à-vis de la typologie de la Boivre. Ces fosses abritent des espèces d'eaux calmes telles que le brochet et participent à la diversité des habitats de la station.

Le suivi de 2024 montre qu'il n'y a pas eu de modification de faciès sur la station.

La restauration morphologique a donc permis de rétablir un équilibre entre faciès rapides et calmes. Cette diversité est reflétée au travers des résultats de pêche qui décrivent un peuplement piscicole mixte composé à la fois d'espèces d'eaux vives et d'espèces d'eaux calmes.

5.7 Calcul du débit à l'aide de l'exploration des champs de vitesse

Tableau 4 : Détail du calcul du débit à l'aide de l'exploration des champs de vitesse.

Transect n°1	P0 (m)	V0 (m/s)	P1 (m)	V1 (m/s)	P2 (m)	V2 (m/s)	P3 (m)	V3 (m/s)	P4 (m)	V4 (m/s)	P5 (m)	V5 (m/s)	P6 (m)	V6 (m/s)	P7 (m)	V7 (m/s)	P8 (m)	V8 (m/s)
0,2*P	0	0	0,048	0,1	0,068	0,1	0,066	0,4	0,062	0,45	0,088	0,1	0,102	0,15	0,084	0,05	0	0
0,6*P	0	0	0,144	0,1	0,204	0,2	0,198	0,7	0,186	0,45	0,264	0,35	0,306	0,2	0,252	0,1	0	0
0,8*P	0	0	0,192	0,1	0,272	0,25	0,264	0,65	0,248	0,4	0,352	0,4	0,408	0,2	0,336	0,1	0	0
Profondeur	0		0,24		0,34		0,33		0,31		0,44		0,51		0,42		0	
Q unitaire 1	0		0,0024		0,0034		0,0132		0,01395		0,0044		0,00765		0,0021		0	
Q unitaire 2	0		0,0096		0,0204		0,0726		0,0558		0,0396		0,0357		0,0126		0	
Q unitaire 3	0		0,0048		0,0153		0,04455		0,02635		0,033		0,0204		0,0084		0	
Q unitaire 4	0		0,0024		0,0085		0,02145		0,0124		0,0176		0,0102		0,0042		0	
Somme Q unitaires (m2/s)	0		0,0192		0,0476		0,1518		0,1085		0,0946		0,07395		0,0273		0	
Largeur (m)	0		0,5		1,5		2,5		3,5		5,5		6,5		7,2		9,1	
Q section (m3/s)	0		0,0048		0,0334		0,0997		0,13015		0,2031		0,084275		0,0354375		0,025935	
Q total (m3/s)																		

Le 30 octobre 2019, le débit de la station a été mesuré à 0.617 m³/s. Ce résultat est cohérent puisque la station hydrométrique de Vouneuil/ss/Biard indiquait pour la même date un débit de 0.61m³/s.

6. CONCLUSION DU SUIVI

8 ans après la restauration de la Boivre, les suivis confirment les bénéfices écologiques et morphologiques des travaux sur le long-terme.

L'inventaire piscicole remet en évidence un peuplement piscicole en bon état avec la présence d'un cortège de poissons rhéophiles mais aussi le développement significatif des espèces accompagnatrices de la truite fario (notamment chabot et vairon). Des brochets ont également été capturés et prouvent l'influence positive de la frayère sur le milieu.

En revanche, la truite fario est absente du résultat de pêche. Cette espèce subit la modification des conditions de milieu à grande échelle avec notamment la baisse des débits d'étiage et l'augmentation des températures de l'eau. Cette partie aval de la Boivre a beaucoup évolué concernant ces deux caractéristiques abiotiques depuis 2016. En 2022, les températures de l'eau au niveau de la station de suivi ont dépassé les 23 °C pendant plusieurs semaines. Désormais, la recolonisation de ce secteur aval de la Boivre par la truite fario devient de moins en moins probable malgré la réalisation de travaux de grande ampleur. Son absence au droit des travaux ne doit pas être vu comme un échec de la restauration mais résulte de modifications inéluctables imputables au réchauffement climatique et aux usages de l'eau à l'échelle du bassin-versant.

L'amélioration du peuplement piscicole doit maintenant être analysée par le biais des espèces sensibles telles que la vandoise rostrée, le barbeau fluviatile, le vairon et le chabot.

Les résultats de l'IBGN sont positifs et montrent que le potentiel hydrobiologique n'avait pas encore été atteint en 2019. Le retour d'une hydrologie favorable et d'épisodes de crues morphogènes ont permis d'améliorer la qualité de l'eau et du substrat. L'augmentation de 3 points de la note IBGN entre 2019 et 2024 traduit ce constat encourageant et reflète la bonne capacité de résilience de la Boivre.

Les résultats du suivi morphologique confirment les conclusions déjà dressées en 2019. La restauration a permis à la Boivre de retrouver des faciès diversifiés, des écoulements dynamiques et des eaux oxygénées adaptés à la faune aquatique ciblée dans le cadre de cette mesure compensatoire. Une dynamique sédimentaire est en place avec un équilibre entre les zones de dépôt et d'érosion au niveau des radiers. Il n'y a donc pas de problématique d'incision ni d'envasement sur la station. Ce suivi 8 ans après les travaux montre que ce bénéfice semble acquis et pérenne.

Ce suivi réalisé en 2024 confirme que la restauration du lit mineur de la Boivre est sans le moindre doute une réussite ainsi qu'une plus-value écologique importante pour la Boivre et les espèces patrimoniales qu'elle accueille.