

RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DE LA MOUGE EN AMONT DU BOURG D'AZÉ : ÉTAT APRÈS TRAVAUX

2024 (ANNÉE N+3)



FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE

PÊCHE



RAPPORT INTERMÉDIAIRE

SAÔNE & LOIRE
DÉPARTEMENT



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

agence
de l'eau
RHÔNE
MEDITERRANÉE
CORSE

FÉDÉRATION NATIONALE
PÊCHE

Restauration morphologique de la Mouge en amont du bourg d'Azé

Rapport intermédiaire

Etat après travaux n+3 (2024)

Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
123, rue de Barbentane - Sennecé
71000 MACON

Auteur :

Camille MARCON – Technicienne Milieux aquatiques et Base de données
Julien MAUPOUX – Responsable technique (relecteur)

Avec la participation technique de :

Cédric GOUJON, Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
Benjamin BULLE, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
David FAVRICHON, Département de Saône-et-Loire
Membre de l'AAPPMA « Les Amis de la Mouge »
Agents techniques de MBA (Mâconnais-Beaujolais Agglomération)

Etude réalisée avec le concours financier de :

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
Fédération Nationale pour la Pêche en France

Table des matières

Résumé	6
Partie 1 : Introduction	7
Partie 2 : Méthodologie.....	8
2.1 Suivi physico-chimique ponctuel.....	10
2.2 Etude de la température de l'eau en période estivale	12
2.2.1 Acquisition des données thermiques	12
2.2.2 Analyse des données thermiques.....	12
2.3 Etude des peuplements piscicoles	13
2.3.1 Acquisition des données piscicoles	13
2.3.2 Analyse des données piscicoles	14
Partie 3 : Résultats.....	15
3.1 Résultats du suivi physico-chimique	15
3.1.1 Evaluation de la qualité physico-chimique selon le système d'évaluation de l'état des eaux 15	
3.1.2 Evaluation de la qualité des eaux en fonction des exigences de la truite fario	15
3.2 Résultats des mesures estivales de la température de l'eau	16
3.2.1 Conditions climatiques	16
3.2.2 Résultats des mesures de la température de l'eau.....	18
3.2.3 Interprétation des données thermiques 2024.....	21
3.2.4 Comparaison du régime thermique avant et après travaux	22
3.3 Résultats des inventaires piscicoles	23
3.3.1 Caractéristiques des stations d'inventaire et des opérations réalisées en 2024	23
3.3.2 Liste des espèces rencontrées et statuts juridiques	24
3.3.3 Effectifs, biomasses estimés et classes de taille des truites	25
3.3.4 Indice Poisson Rivière	26
3.3.5 Evolution des résultats avant et après travaux.....	29
3.4 Interprétation des résultats, discussion.....	32
Partie 4 : Conclusion	34
Partie 5 : Références bibliographiques	35
Partie 6 : Annexes	36

Table des Figures

Figure 1 : Données climatiques concernant les températures de l'air de la station de Mâcon en 2024, et les écarts par rapports aux normes saisonnières. (Infoclimat.fr et MétéoFrance)	16
Figure 2 : Données climatiques concernant les précipitations de la station de Mâcon en 2024, et les écarts par rapports aux normes saisonnières. (Infoclimat.fr et Météo France).....	17
Figure 3 : Evolution de la température de l'eau des différentes stations de mesure (période du 15 juin au 15 septembre 2024) : Températures instantanées.....	19
Figure 4 : Histogramme des classes de températures des 5 stations de la Mouge au cours de la période des 30 jours consécutifs les plus chauds de la période estivale 2024. (<17°C = préférendum thermique des juvéniles de truites, <19°C = préférendum des truites adultes, >25°C = température létale pour la truite).....	20
Figure 5 : Ecart moyen de la température moyenne de l'eau entre la station témoin amont (St1) et les autres stations au cours des 30 jours les plus chauds de l'été 2024.	21
Figure 6 : Evolution de la Tm30jmax (°C) des stations d'étude et comparaison avant/après travaux...	22
Figure 7 : Densités et biomasses estimées de poissons capturés sur les 3 stations de suivi en 2024. .	25
Figure 8 : Histogramme des classes de taille des truites fario capturées sur les stations St1, St2bis et St4 en 2024.....	26
Figure 9 : Scores de l'Indice Poisson Rivière et contribution des différentes métriques à ce score en 2024.....	27
Figure 10 : Histogramme des probabilités de présence théoriques des espèces selon l'IPR et les densités observées en 2024.	28
Figure 11 : Densités piscicoles estimées sur les stations de suivi avant-après travaux.	29
Figure 12 : Densité estimée en truitelle et en truite adulte sur chaque station d'étude depuis 2018.	30

Table des Cartes

Carte 1 : Localisation des stations étudiées avant et après travaux dans la Mouge. (Fonds de carte : BD Orthophoto 20cm IGN).....	9
---	---

Table des Tableaux

Tableau 1 : Liste des stations étudiées et des compartiments suivis sur chacune d'entre elles.	8
Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques étudiés avec le spectromètre Macherey-Nagel et limites de quantification.	10
Tableau 3 : Polluants les plus fréquents, effets sur la faune piscicole et seuils de toxicité (Alabaster et Lloyd, 1980 ; De Kinkelin et al., 1986 in Programme INTERREG IIIA, 2006 et Lepimpec et al.,2002)....	11
Tableau 4 : Condition de développement d'une population de truite fario selon la Tm30jmax.....	13
Tableau 5 : Métriques et variables environnementales utilisées pour le calcul de l'Indice Poisson Rivière et les classes de qualité associées.	14
Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur la Mouge et les classes d'état utilisées par le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (bleu = très bon, vert = bon, jaune = moyen, orange = médiocre et rouge = mauvais).....	15
Tableau 7 : Variables thermiques générales de la Mouge sur les 5 stations étudiées (période de mesure du 15 juin au 15 septembre 2024).	18
Tableau 8 : Valeurs de Tm30jmax (températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds) pour l'année 2024. (rouge = condition de développement de la truite défavorable, noir = très défavorable).....	20
Tableau 9 : Principales caractéristiques des stations d'inventaires piscicoles réalisées.....	23

Tableau 10 : Liste des espèces capturées, statut juridique et état de conservation en France (INPN). 24	
Tableau 11 : Evolution du nombre d'espèce par station entre 2018 et 2024. 30	
Tableau 12 : Evolution de l'IPR sur les stations d'étude depuis 2018. (Code couleur des classes de qualité piscicole : bleu = excellent, vert = bonne, jaune = moyenne, orange = médiocre, rouge = mauvaise). 31	

Table des Photographies

Photographie 1 : A gauche un photomètre PF12-Plus et son bloc chauffant Macherey-Nagel. A droite, un multiparamètre HI 98194 Hanna Instruments. 10	
---	--

Table des Annexes

Annexe 1 : Limites de classes d'état pour les paramètres physico-chimiques des cours d'eau (Guide technique 2023). 36	
--	--

Résumé

Le Conseil Départemental de Saône-et-Loire a réalisé en 2021, dans la cadre du Contrat des Rivières du Mâconnais, des travaux de restauration de la morphologie du lit de la Mouge en amont du bourg d'Azé aux lieux-dits « Fourgeau » et « La Bouzolle » sur un linéaire de 700 mètres environ.

En effet, le lit mineur de la Mouge avait été autrefois déplacé pour alimenter en eau un ancien moulin. Le but de ces travaux a été de remettre le cours d'eau dans son fond de vallée naturel pour une meilleure fonctionnalité.

Le ruisseau de Joux et le ruisseau des Prés de la Côte, deux petits affluents de la Mouge situés dans le secteur d'intervention, ont aussi été concernés par ces travaux dans leur zone de confluence.

Cet aménagement a permis également l'effacement, par contournement, d'un obstacle majeur à la continuité écologique implanté en travers de l'ancien lit de la Mouge.

La Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique et l'Office Français pour la Biodiversité ont décidé de porter une étude de suivi dont le but est d'évaluer l'intérêt de ces travaux.

Le suivi réalisé découle des préconisations du guide "Aide à la définition d'une étude de suivi" (NAVARRO et al., 2012). Le présent rapport présente les résultats des investigations menées après 3 ans de travaux en 2024. Il comprend l'étude de la faune piscicole, de la température de l'eau en période estivale et de la qualité de l'eau réalisés par la Fédération. La morphologie du cours d'eau (méthode Carhyce) sera mesurée en 2025. Enfin, un suivi de la macrofaune benthique sera réalisé par l'Office Français pour la Biodiversité en 2025.

Le suivi de la température de l'eau a permis de constater une élévation importante de la température de l'eau entre la station témoin amont (en zone forestière avec un ombrage dense) et les stations en aval (en zone pâturée sans ripisylve dense) qui perdure encore après les travaux. Les températures mesurées (hors station témoin) sont très préjudiciables à la truite fario.

Les inventaires piscicoles réalisés ont permis de constater la présence d'une population de truite fario (espèce sensible et indicatrice de bonne qualité du cours d'eau), avec une bonne densité implantée en amont de la zone de travaux (station témoin).

La recolonisation de la loche franche (bio-indicateur) sur les stations de la Mouge témoigne d'un effet positif des travaux de restauration de la continuité écologique, bien que cette espèce soit présente en faible abondance.

Le peuplement piscicole des stations restaurées est très décevant, avec une raréfaction des truites fario et une absence des espèces d'accompagnement de la truite (chabot, vairon) qui persiste. Sur la station la plus aval, le peuplement piscicole est dominé par une espèce tolérante aux altérations de son habitat, le chevesne.

Globalement le peuplement piscicole de la station de référence amont est légèrement perturbé, et les stations restaurées ont un peuplement piscicole qui reste dégradé malgré les travaux de restauration.

La campagne de suivi engagée sur la période après travaux se poursuivra en 2025 afin d'affiner les mesures pour constater le gain écologique apporté par la réalisation des travaux.

Partie 1 : Introduction

Le Conseil Départemental de Saône-et-Loire a réalisé, dans le cadre du Contrat des Rivières du Mâconnais, des travaux de restauration de la morphologie du lit de la Mouge en amont du bourg d'Azé aux lieux-dits « Fourgeau » et « La Bouzolle » sur un linéaire de 700 mètres environ.

En effet, le lit mineur de la Mouge avait été autrefois déplacé pour alimenter en eau un ancien moulin. Le but de ces travaux, réalisés en 2021, a été de remettre le cours d'eau dans son fond de vallée naturel pour une meilleure fonctionnalité.

Le ruisseau de Joux et le ruisseau des Prés de la Côte, deux petits affluents de la Mouge situés dans le secteur d'intervention, ont aussi été concernés par ces travaux dans leur zone de confluence.

Cet aménagement a permis également l'effacement, par contournement, d'un obstacle majeur à la continuité écologique implanté en travers de l'ancien lit de la Mouge.

Ce projet ayant été une action importante du Contrat des Rivières du Mâconnais, les partenaires de cette démarche ont décidé de mettre en œuvre une étude visant à évaluer l'intérêt des travaux effectués. La Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique et l'Office Français pour la Biodiversité ont décidé de porter cette étude de suivi. Cette démarche bénéficie de l'appui financier de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse et de la Fédération Nationale pour la Pêche en France.

Le suivi proposé découle des préconisations du guide "Aide à la définition d'une étude de suivi" (NAVARRO et al., 2012). Il comprend l'étude de la faune piscicole, de la macrofaune benthique (par OFB), de la température de l'eau du cours d'eau en période estivale, de la qualité de l'eau et de la morphologie du cours d'eau.

Un premier rapport finalisé en 2021 présentait les résultats de ces suivis mis en œuvre entre 2018 et 2021, avant travaux.

Ce rapport présente les résultats des investigations menées en 2024, soit 3 ans après les travaux :

- Des campagnes d'inventaire piscicole,
- Des mesures de la température de l'eau en période estivale,
- Du suivi ponctuel de la qualité de l'eau,
- Et d'une comparaison entre les résultats avant travaux (2018, 2019, 2020) et après travaux (2024) par la Fédération.

Ce suivi après travaux va permettre d'évaluer le gain écologique apporté par ces travaux.

L'étude de la morphologie du cours d'eau (méthode Carhyce) n'a pas pu être effectuée en 2024, elle sera faite au printemps 2025 par la Fédération de Pêche de Saône-et-Loire. Le suivi de la macrofaune benthique (méthode IBGN) n'a pas pu être réalisé en 2024 par l'Office Français pour la Biodiversité avant travaux, il sera fait en 2025.

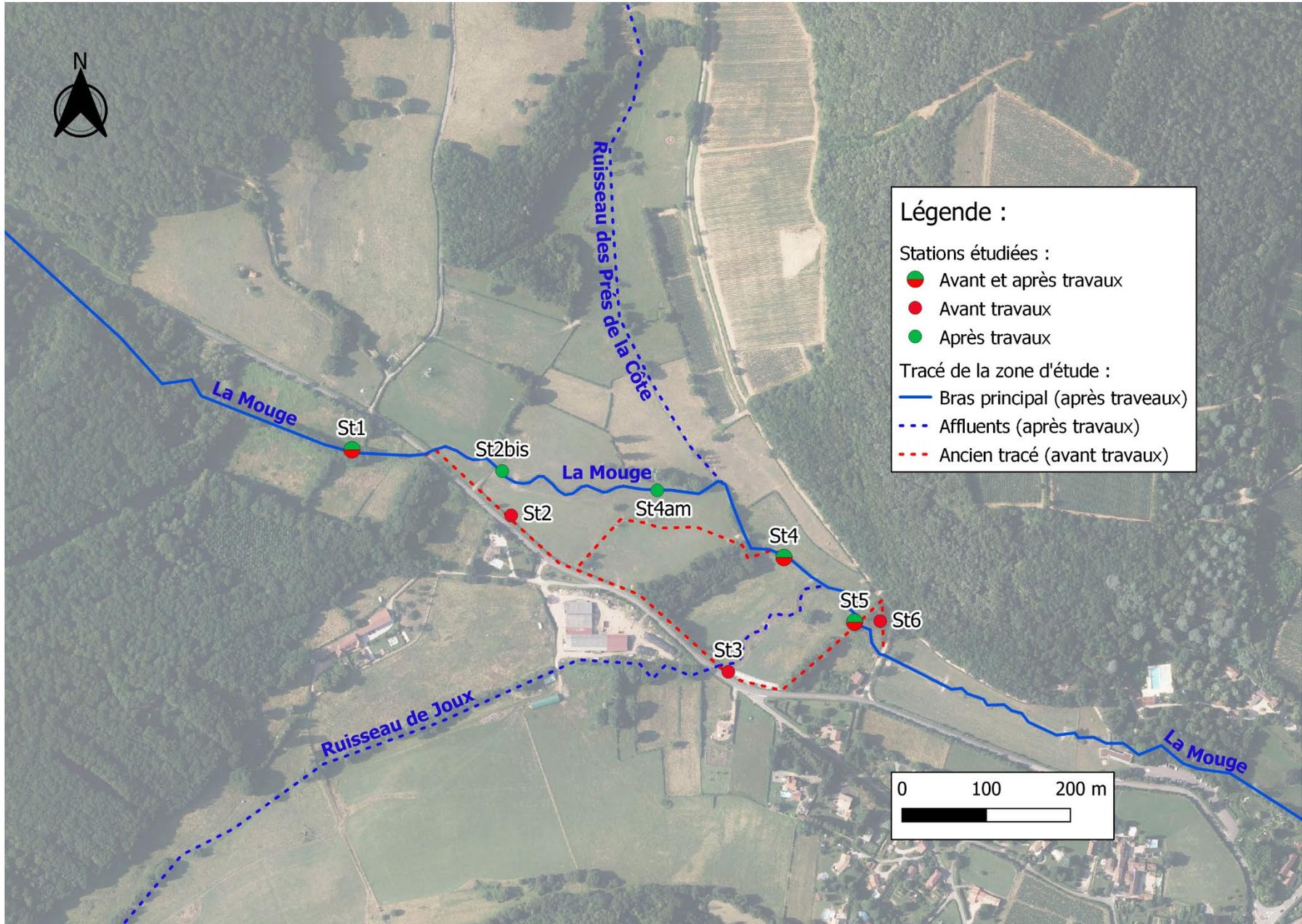
Partie 2 : Méthodologie

Les différents protocoles mis en œuvre avant et après travaux sur chacune des stations étudiées sont listés dans le Tableau 1 et la Carte 1.

Tableau 1 : Liste des stations étudiées et des compartiments suivis sur chacune d'entre elles.

Code Sandre	Code étude	Nom cours d'eau	Localisation	Coordonnées aval station en m (Lambert 93)		Mesures 2018 (n-2)	Mesures 2019 (n-1)	Mesures 2020 (n)	Mesures 2021 (n)	Mesures 2024 (n+3)	Remarque
				X	Y						
06000381	St1	la Mouge	Amont pont RD 15	834230,7	6595036,4	Inventaire piscicole, thermie, physico-chimie		IBGN	Inventaires piscicoles, thermie, physico-chimie, IBGN (OFB 2025)	Station de référence. Station en amont de la zone de travaux.	
						IBGN	Carhyce				
06000381	St2	la Mouge	Aval pont RD 15	834409,9	6594942,3	Inventaire piscicole, thermie		IBGN		Station située dans l'ancien lit. Le lit a été déplacé dans son talweg après travaux.	
						IBGN	Carhyce				
06000381	St2 bis	la Mouge	Tronçon restauré	834465,0	6594987,0				Inventaires piscicoles, thermie, Carhyce (2025), IBGN (OFB 2025)	Station en zone de travaux. Nouveau lit.	
06000381	St3	la Mouge	Aval confluence ruisseau de Joux	834653,2	6594780,4	Thermie				Station située dans l'ancien lit. Inexistante après travaux car le lit a été remis dans son talweg.	
06000381	St4am	la Mouge	Amont confluence ruisseau des Prés de la Côte	834559,4	6594991,9				Thermie	Station en zone de travaux. Nouveau lit.	
06000382	St4	la Mouge (bras secondaire)	Aval confluence Ruisseau des Prés de la Côte	834733,3	6594905,8	Inventaire piscicole			Inventaires piscicoles, thermie, Carhyce (2025)	Station en zone de travaux. Initialement sur un bras secondaire intermittent de la Mouge, cette station est désormais sur le cours principal de la Mouge après travaux.	
06000382	St5	la Mouge	Amont confluence bras secondaire	834832,4	6594852,9	Thermie			Thermie et physico-chimie	Station en zone de travaux. Nouveau lit	
06000382	St6	la Mouge	Aval confluence bras secondaire	834835,4	6594848,5	Thermie, physico-chimie				Station située dans l'ancien lit. A1:L12 Inexistante après travaux car le lit a été remis dans son talweg.	

En 2024, les stations St1, St2bis et St4 ont été étudiées car elles se trouvent sur le nouveau tracé de la Mouge après travaux. Les autres stations n'ont pas été étudiées car les travaux ont modifié le tracé de la Mouge (cf. Carte1), les rendant obsolètes.



Carte 1 : Localisation des stations étudiées avant et après travaux dans la Mouge. (Fonds de carte : BD Orthophoto 20cm IGN).

2.1 Suivi physico-chimique ponctuel

Une campagne ponctuelle de mesure de certains paramètres physico-chimiques est réalisée lors de chaque année de suivi en période estivale sur deux stations (Tableau 1 et Carte 1). Sans constituer une véritable étude de la physico-chimie de l'eau, pour laquelle il aurait fallu réaliser plusieurs prélèvements au cours de chaque année de suivi, ces mesures permettront d'aider à la compréhension des résultats.

Le multi paramètre HI 98194 (HANNA® instruments) (Photographie 1) a permis de faire les mesures des paramètres suivants : la conductivité, le pH, la teneur en oxygène dissous et le taux de saturation en oxygène. Un thermomètre de précision avec sonde déportée Checktemp®1 HI98509 (HANNA instruments) a permis de mesurer la température de l'eau.



Photographie 1 : A gauche un photomètre PF12-Plus et son bloc chauffant Macherey-Nagel. A droite, un multiparamètre HI 98194 Hanna Instruments.

Les autres paramètres sont mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre Macherey-Nagel PF12-Plus (Photographie 1). Des prélèvements d'eau sont réalisés et analysés directement sur le terrain afin d'éviter toute détérioration des échantillons. Pour les analyses d'ammonium, nitrates et nitrites, des tests « Visicolor » (Macherey-Nagel) sont utilisés. Un ou plusieurs réactifs sont ajoutés à l'échantillon d'eau. Après un temps de réaction, un changement de couleur dont l'intensité est reliée à la concentration peut être observé. L'intensité du signal est mesurée grâce au spectrophotomètre. Avant chaque mesure, un « blanc » est effectué (calibrage de l'appareil avec un échantillon d'eau sans réactif). L'analyse des orthophosphates, du phosphore total, de l'azote total, de la turbidité et de la demande chimique en oxygène nécessite de faire des tests dits « Nanocolor » (Macherey-Nagel). En complément de l'ajout de réactifs, les échantillons sont chauffés. Cela est réalisé à l'aide d'un bloc chauffant Macherey-Nagel Nanocolor vario C2. Après les avoir laissés refroidir, la concentration est mesurée à l'aide du spectrophotomètre.

Pour chacun des paramètres, le résultat est donné selon les limites de quantification (Tableau 2).

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques étudiés avec le spectromètre Macherey-Nagel et limites de quantification.

Type de test	Paramètres	Domaines de mesure	Fraction analysée
Visicolor	Nitrites	0,02-0,5 mgNO ₂ ⁻ .L ⁻¹	Eau filtrée
Visicolor	Nitrates	4-60 mgNO ₃ ⁻ .L ⁻¹	Eau filtrée
Nanocolor	Ammonium	0,05-3 mgNH ₄ ⁺ .L ⁻¹	Eau filtrée
Nanocolor	Azote totale	0,5-22 mgN.L ⁻¹	Eau filtrée
Nanocolor	Phosphore totale	0,05-1,5 mgP.L ⁻¹	Eau brute
Nanocolor	Orthophosphates	0,2-5 mgPO ₄ ³⁻ .L ⁻¹	Eau filtrée
Nanocolor	DCO	5-60 mgO ₂ .L ⁻¹	Eau brute

Les limites de classes de qualité, fixées dans l'arrêté du 09/10/2023, relatifs aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface, sont utilisées pour analyser les résultats (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 2023).

Concernant les espèces piscicoles, certains paramètres sont plus impactants que d'autres et toutes les espèces n'ont pas les mêmes exigences. Une distinction a été faite pour les seuils de toxicité dans les eaux salmonicoles (Tableau 3, page suivante).

Le cas de la truite fario est étudié plus précisément. Certaines valeurs optimales et seuils sont donnés dans la littérature :

- Le pH doit être compris entre 6 et 9. Un pH inférieur à 6 est néfaste pour la reproduction de la truite (Baglinière et al., 1991).
- La concentration en oxygène dissous ne doit pas être inférieure à 6 mg/L. Les truites ont besoin d'un milieu très oxygéné pour vivre.
- La concentration en matière en suspension (MES) ne doit pas être trop élevée, puisqu'en période d'étiage, elle entraîne une irritation branchiale et est source d'infections bactériennes. En hiver, elle est responsable du colmatage des frayères et de l'asphyxie des oeufs. Pour cela, Caudron (2006) fixe une valeur seuil de 30 mg/L de MES en période d'étiage hivernal et de 75 mg/L pour les autres périodes. Les résultats de diverses études indiquent que la mortalité des truites augmente lorsqu'elles sont exposées chroniquement à des taux de matières en suspension supérieurs à 100 mg/L (Fischnetz, 2004).
- Les nitrites présentent un effet toxique pour les truites à partir de 0,1 mg/L (Caudron, 2006 ; Lepimpec, 2002). Les alevins sont beaucoup plus sensibles que les adultes (Fishnetz, 2004). De fortes teneurs en nitrites provoquent des lésions branchiales (Télangiectasie des cellules pilastres des lamelles branchiales) et transforment l'hémoglobine en méthémoglobine. Cela induit une gêne respiratoire pouvant entraîner l'asphyxie (Caudron, 2006).
- Les orthophosphates et les nitrates, favorisent l'eutrophisation des rivières et ainsi leur concentration peut impacter la vie des truites. Des seuils de 20 mg/L de nitrates et de 0,3 mg/L de phosphates sont donnés pour les cours d'eau salmonicoles (Le pimpec, 2002 ; Caudron, 2006).

Tableau 3 : Polluants les plus fréquents, effets sur la faune piscicole et seuils de toxicité (Alabaster et Lloyd, 1980 ; De Kinkelin et al., 1986 in Programme INTERREG IIIA, 2006 et Lepimpec et al., 2002).

Composant	Origine	Effets sur les salmonidés	Valeur
NO₂⁻ (Nitrite)	Forme instable de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates, les nitrites résultent soit de l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit de la réduction des nitrates.	De fortes teneurs en nitrites provoquent des lésions branchiales et une transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine. Induit une gêne respiratoire pouvant aller jusqu'à l'asphyxie.	Effets toxiques à partir de 0,1 mg/L. Léthal à plus de 0,5 mg/L
NH₄⁺ (Ammonium)	Présent dans les eaux riches en matière organique en décomposition. Signe évident de pollution.		Néfaste dès 0,3 mg/L. Léthal à 1 mg/L
PO₄³⁻ (Orthophosphate)	Présent naturellement à de faibles concentrations (décomposition de la matière vivante, altération des minéraux). Indique plutôt une pollution (terres fertilisées, eaux usées, industrie chimique).	Favorise la prolifération algale et donc l'eutrophisation des milieux pouvant avoir des effets directs sur les organismes (mortalités des oeufs) ou indirects sur l'habitat (colmatage du substrat).	Nuisance à partir de 0,3 mg/L

2.2 Etude de la température de l'eau en période estivale

La température de l'eau est un élément prépondérant de la répartition des espèces piscicoles et doit être finement étudiée pour délimiter les zones de vie de chaque espèce. La température joue en effet un rôle fondamental sur la dynamique des populations puisque chaque espèce piscicole et chaque stade de développement (œufs, larves, juvéniles, adultes) possède un optimum thermique propre (BISHAI, 1960 ; HOKANSON *et al.*, 1973 ; EDSALL et ROTTIERS, 1976 ; CASSELMAN, 1978 *in* FAURE et GRES, 2008).

La truite fario, espèce repère du bassin versant de la Mouge, a des exigences très strictes vis-à-vis de ce paramètre physique des eaux. Pour cette espèce sténotherme d'eaux froides, les dangers sont liés essentiellement à une élévation des températures estivales. Le préférendum thermique de la truite s'étend de 4 à 19°C, (ELLIOT, 1975, ELLIOT et CRISP, 1996 *in* INTERREG III, 2006). Au-delà, la truite ne s'alimente plus, elle entre en état de stress physiologique. A partir de 25°C, le seuil léthal est atteint (ELLIOT, 1981 ; VARLET, 1967, ALABASTER et LLYOD, 1980, CRISP, 1986 *in* INTERREG III, 2006) (ce seuil peut être inférieur si la qualité d'eau est altérée). Au-delà de l'échelle individuelle, les valeurs influençant la réponse globale à long terme des populations de truite fario en milieu naturel sont à évaluer sur des périodes plus longues via le calcul de la moyenne des températures moyennes journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30jmax). Sur cette base la limite des 17,5-18°C influencerait en particulier le stade juvénile de l'année ou 0+ (mécanismes de mortalité, alimentation, croissance ; ELLIOT, 1995, ELLIOT et HURLEY, 1998, BARAN *et al.*, 1999, BARAN et DELACOSTE, 2005, *in* FAURE et GRES, 2008). Les poissons plus âgés (1+, 2+ et au-delà) seraient plus robustes et résilients vis-à-vis de la thermie en raison de la relation inversement proportionnelle entre la sensibilité au réchauffement du poisson et son rapport volume/surface.

La température a également un effet indirect sur d'autres paramètres physico-chimiques (comme l'oxygénation de l'eau), sur les invertébrés benthiques et sur les agents pathogènes (INTERREG III, 2006).

2.2.1 Acquisition des données thermiques

Des enregistreurs thermiques de type HOBO UA-001-64 sont installés dans l'eau en période estivale (du 15 juin au 15 septembre). La température est mesurée et enregistrée avec un pas de temps de 1 heure.

La localisation des stations est visible dans le Tableau 1, Carte 1.

2.2.2 Analyse des données thermiques

Les données récupérées par les enregistreurs thermiques sont tout d'abord vérifiées et validées. Après la phase de validation, les données brutes sont analysées afin de calculer différentes valeurs de référence : température instantanée maximale (Ti max), température moyenne journalière maximale (Tmj max), amplitude thermique journalière maximale (Ajmax Ti), température moyenne de la période (Tmp).

Les résultats seront ensuite analysés en utilisant le préférendum thermique des truites juvéniles (valeurs inférieures à 17 °C), de la truite adulte (valeurs inférieures à 19 °C) et le seuil léthal pour cette espèce (25°C). Ces paramètres seront analysés au cours 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30jmax).

La Tm30jmax est analysée selon un barème de couleur représentant les conditions de développement de la truite fario (Chassignol 2024, inspiré de Grès, 2024).

Tableau 4 : Condition de développement d'une population de truite fario selon la Tm30jmax.

VMoyMoy30	Condition de développement
>19°C	Très défavorable
18,5 - 19°C	Défavorable
18 - 18,5°C	Faiblement favorable
17,5 - 18°C	Moyennement favorable
17 - 17,5°C	Assez favorable
16,5 - 17°C	Favorable
<16,5°C	Très favorable

La comparaison des résultats des différentes stations permettra enfin de mesurer l'importance des écarts de température entre chaque station et d'en comprendre les raisons.

2.3 Etude des peuplements piscicoles

2.3.1 Acquisition des données piscicoles

L'analyse des peuplements piscicoles est basée sur des inventaires piscicoles par pêche électrique. La méthode de pêche consiste à créer un champ électrique entre deux électrodes délivrées par un générateur (courant continu d'intensité de 0,5 à 1A). Dans un rayon d'action de 1 m autour de l'anode, des lignes électriques équipotentielles sont créées et ressenties par le poisson. La différence de potentiel entre la tête et la queue actionne les muscles du poisson qui adopte alors un comportement de nage forcée en direction de l'anode (zone d'attraction). A proximité de l'anode, ses muscles sont alors tétanisés ce qui rend le poisson capturable à l'épuisette (zone de galvanotaxie).

Le matériel utilisé est un groupe générateur fixe et une armoire électrique de marque « DREAM ELECTRONIQUE » et de type « Héron » sur lequel sont fixées entre une et trois anodes selon la largeur du cours d'eau.

Sur toutes les stations inventoriées dans le cadre de cette étude, les inventaires piscicoles sont réalisés selon la méthode de pêche électrique par épuisement (DE LURY, 1951). Deux passages successifs sont réalisés sans remise à l'eau entre les passages, les poissons capturés lors du premier et du second passage sont dissociés.

Tous les poissons capturés sont identifiés à l'espèce, puis dénombrés, mesurés et pesés individuellement ou par lot avant leur remise à l'eau sur la station.

Une description des stations est systématiquement réalisée. Elle permet d'apporter des renseignements portant sur le chantier de pêche (surface pêchée, conditions de pêche, ...) et la station en elle-même (faciès d'écoulement, profondeurs, substrats, végétation, et habitats piscicoles). Par

ailleurs, la localisation cartographique permet, à l'aide du logiciel Qgis et du Scan25 de l'IGN, de déterminer les limites et la surface du bassin versant drainée, la distance à la source, la pente et l'altitude pour chaque station.

Dans le cadre de cette étude, 3 inventaires piscicoles ont été réalisés (Tableau 1, Carte 1) le 13 juin 2024.

2.3.2 Analyse des données piscicoles

- ❖ Liste des espèces capturées et statuts juridiques

La liste des espèces capturées et leur statut juridique sera présenté.

- ❖ Evaluation des peuplements réels

Même en appliquant deux passages successifs, la méthode de pêche électrique ne permet pas de capturer l'ensemble des individus. Les pêches d'inventaire à deux passages successifs permettent néanmoins une estimation relativement précise du peuplement réel. Les estimations sont effectuées par la méthode de Carle et Strub (1978). L'estimation des peuplements réels permet une première analyse basée sur la diversité spécifique, la densité, la biomasse piscicole, ainsi que les classes de taille de truite.

- ❖ Calcul de l'Indice Poissons Rivière

L'analyse des inventaires piscicoles sera menée à l'aide du calcul de l'Indice Poissons Rivière selon la norme française NF T90-344 (CHAUVIN, 2011) et l'arrêté du 9 octobre 2023 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface (MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, 2023). L'Indice Poissons Rivière (IPR) permet de mesurer l'écart entre le peuplement d'une station à partir des résultats du premier passage de pêches électriques, et le peuplement attendu en situation de référence. Il prend en compte 7 métriques auxquelles il attribue un score en fonction de l'écart observé (Tableau 4). L'IPR est obtenu par la somme de ces 7 valeurs, et est égal à 0 lorsque le peuplement n'est pas perturbé. La situation de référence est déterminée par 9 variables environnementales. L'indice se présente sous la forme d'une échelle ouverte à laquelle correspondent 5 classes de qualité.

Basé uniquement sur les effectifs, cet indice ne prend en compte ni la biomasse, ni la structure des populations (classes d'âge). Il se révèle par conséquent relativement peu sensible dans les cours d'eau présentant une diversité naturellement pauvre (1 à 3 espèces, soient les biotypes B1.5, et B2) pour lesquels les altérations se manifestent en premier lieu par une altération de la structure des populations (BELLIARD et al., 2006).

Tableau 5 : Métriques et variables environnementales utilisées pour le calcul de l'Indice Poisson Rivière et les classes de qualité associées.

Métriques	Variables environnementales
Nombre total d'espèces	Surface du bassin versant (km ²)
Nombre d'espèces rhéophiles	Distance à la source (km)
Nombre d'espèces lithophiles	Largeur moyenne en eau (m)
Densité d'individus tolérants	Pente (‰)
Densité d'individus invertivores	Profondeur moyenne en eau (m)
Densité d'individus omnivores	Altitude (m)
Densité totale d'individus	Température moyenne de l'air en juillet (°C)
	Température moyenne de l'air en janvier (°C)
	Unité hydrographique

Note IPR	Classe de qualité
[0 - 5 [Excellente
[5 - 16 [Bonne
[16 - 25 [Moyenne
[25 - 36 [Médiocre
≥ 36	Mauvaise

Partie 3 : Résultats

3.1 Résultats du suivi physico-chimique

3.1.1 Evaluation de la qualité physico-chimique selon le système d'évaluation de l'état des eaux

Les mesures ont été réalisées le 20 août 2024.

Selon les limites de classes de qualité utilisées par le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux, pour l'ensemble des paramètres étudiés, la qualité de l'eau est « bonne » ou « très bonne ».

Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur la Mouge et les classes d'état utilisées par le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (bleu = très bon, vert = bon, jaune = moyen, orange = médiocre et rouge = mauvais).

Stations	St1	St5
Date	20/08/2024	
Température de l'air (°C)	21,5	19,7
Température de l'eau (°C)	17,3	20,2
pH	8,33	8,28
Taux de satur. en oxygène (%)	93	97
Oxygène dissous (mg O ₂ .L ⁻¹)	8,6	8,5
Conductivité (µS.cm ⁻¹)	422	446
Turbidité (NTU)	36	26
Dureté (ppm)	340	300
Ammonium (mg NH ₄ ⁺ .L ⁻¹)	<0,05	0,06
Nitrates (mg NO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	17,7	10,8
Nitrites (mg NO ₂ ⁻ .l ⁻¹)	0,16	0,06
Orthophosphates mg PO ₄ ³⁻ .l ⁻¹	0,2	<0,2
Phosphate total mg P.l ⁻¹	0,13	0,1
Azote total mg N.l ⁻¹	2,8	2,4
DCO mg O ₂ .l ⁻¹	9	<5

3.1.2 Evaluation de la qualité des eaux en fonction des exigences de la truite fario

Les stations de la Mouge ont toujours montré une très bonne oxygénation de l'eau.

Pour rappel, les nitrites présentent un effet toxique notable pour les truites à partir de 0,1 mg/L (Caudron, 2006 ; Lepimpec, 2002). La station de référence St1 mesurée en 2024 présente une valeur qui dépasse le seuil de tolérance et peut être pénalisante pour la population de truite fario avec 0,16 mg/L. La concentration en nitrites sur la station St5 est élevée mais ne dépasse pas la valeur seuil avec 0,06 mg/L.

Cette espèce a pu être directement impactée par les effets toxiques à forte dose de ce polluant. Au vu des faibles pressions présentes sur ce cours d'eau, il est possible que la station d'épuration (STEP) de Donzy-le-Pertuis puisse jouer un rôle dans la présence importante de nitrites. Cette hypothèse pourrait être vérifiée par un suivi de la qualité de l'eau amont-aval des lagunes de la STEP.

Les autres paramètres physico-chimiques présentent des valeurs optimales pour le développement de la truite fario.

3.2 Résultats des mesures estivales de la température de l'eau

3.2.1 Conditions climatiques

3.2.1.1 Conditions climatiques de l'année 2024

Selon InfoClimat France, pour la période estivale 2024, seul le mois d'août a été remarquable en termes de déficit pluviométrique, avec de forte chaleur et de fort ensoleillement sur la station météorologique de Macon (la plus proche d'Azé). Les mois de juin, juillet et septembre ont été plutôt pluvieux et proches des normes de températures saisonnières (Figure 1 et 2).

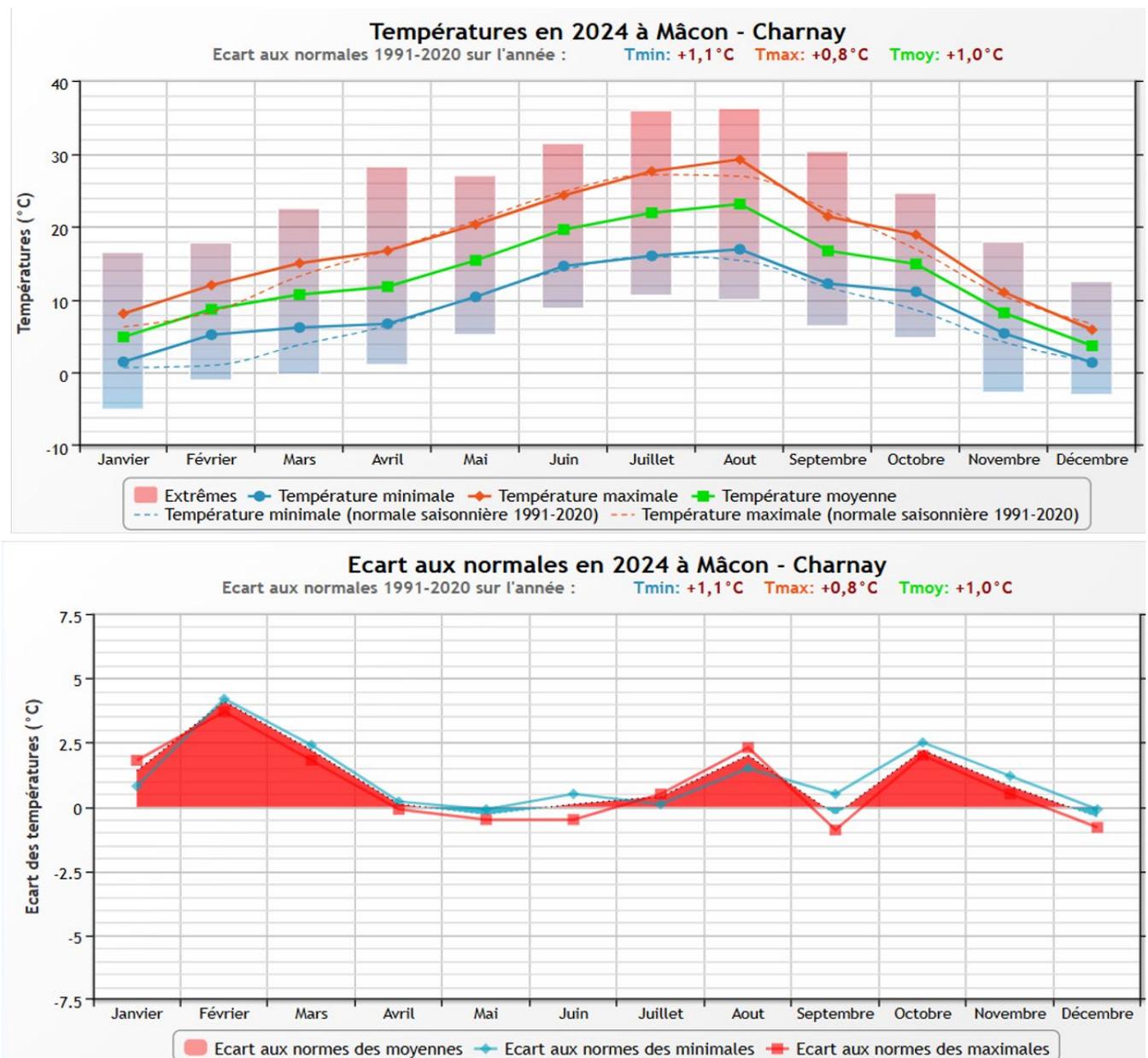


Figure 1 : Données climatiques concernant les températures de l'air de la station de Mâcon en 2024, et les écarts par rapports aux normes saisonnières. (Infoclimat.fr et MétéoFrance)

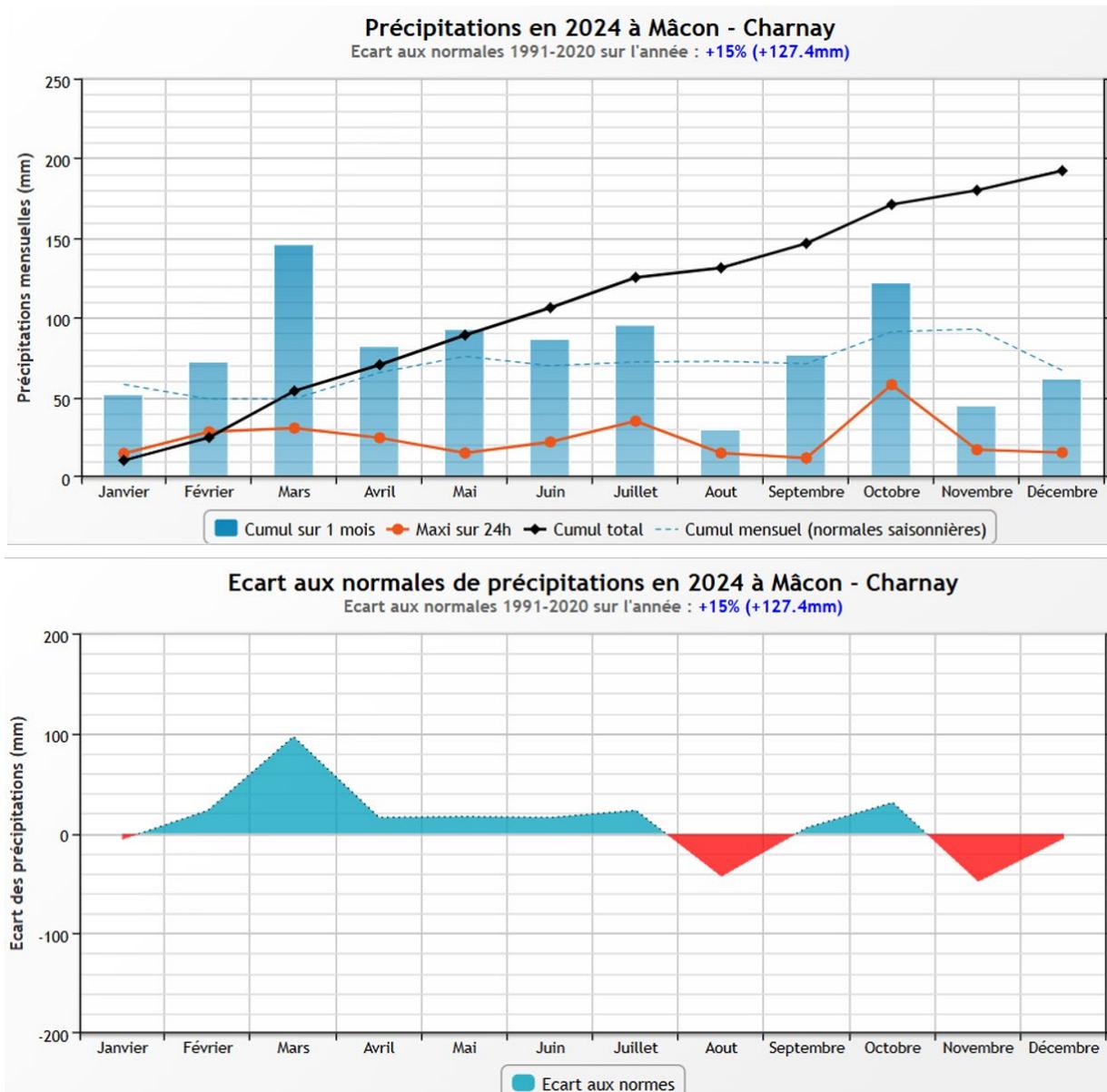


Figure 2 : Données climatiques concernant les précipitations de la station de Mâcon en 2024, et les écarts par rapports aux normes saisonnières. (Infoclimat.fr et Météo France)

3.2.2 Résultats des mesures de la température de l'eau

3.2.2.1 Variables thermiques générales

Les mesures réalisées dans la Mouge au cours de l'été 2024 ont permis de constater que la station St1 (station témoin située en amont), se distingue des autres par des valeurs de température plus faibles pour l'ensemble des variables thermiques étudiées (Tableau 5 et Figure 3, page suivante). Cette station est la seule qui se situe en milieu forestier, profitant de l'ombre d'un couvert arboré dense. La température maximale observée est de 21,5°C, soit 4,6°C de moins que la station la plus chaude du secteur (St4).

La station St2bis, dans la zone nouvellement restaurée, ne dispose d'aucune donnée. La sonde thermique n'a pas pu être exploitée.

A partir de la station St4am, un réchauffement important de l'eau est constaté avec une augmentation de l'ensemble des variables par rapport aux données de la station témoin (Tableau 5).

Pour les autres stations aval, les paramètres thermiques montrent que la température augmente encore vers l'aval mais de manière plus modérée.

Tableau 7 : Variables thermiques générales de la Mouge sur les 5 stations étudiées (période de mesure du 15 juin au 15 septembre 2024).

Année	Code équivalent station Pêche	Température instantanée maximale (°C)	Amplitude thermique journalière la plus élevée (°C)	Température journalière maximale (°C)	Température moyenne de la période (°C)
2024	St1	21,5	4,2	20	16,7
	St2bis	Pas de données (sonde inutilisable)			
	St4am	25,4	7,5	21,4	17,39
	St4	26,1	7,9	21,8	17,63
	St6	24,7	6,1	21,8	17,93

La valeur maximale mesurée dans la période estivale de 2024 est de 26,1 °C sur la station St4 dans la zone restaurée en aval du ruisseau des Prés de la Côte.

Puis la température instantanée maximale de la station aval St6 se rafraîchit un peu et passe à 24,7°C.

Une différence d'amplitude thermique journalière maximale est constatée entre la station amont (4,2 °C) et les stations aval (entre 6,1 °C et 7,9 °C). Les fortes amplitudes thermiques sont une signature typique du manque de ripisylve. Les résultats sont donc à mettre en lien avec le faible recouvrement du lit par la ripisylve.

Restauration morphologique de la Mouge en amont d'Azé : Etat après travaux n+3 (année 2024)

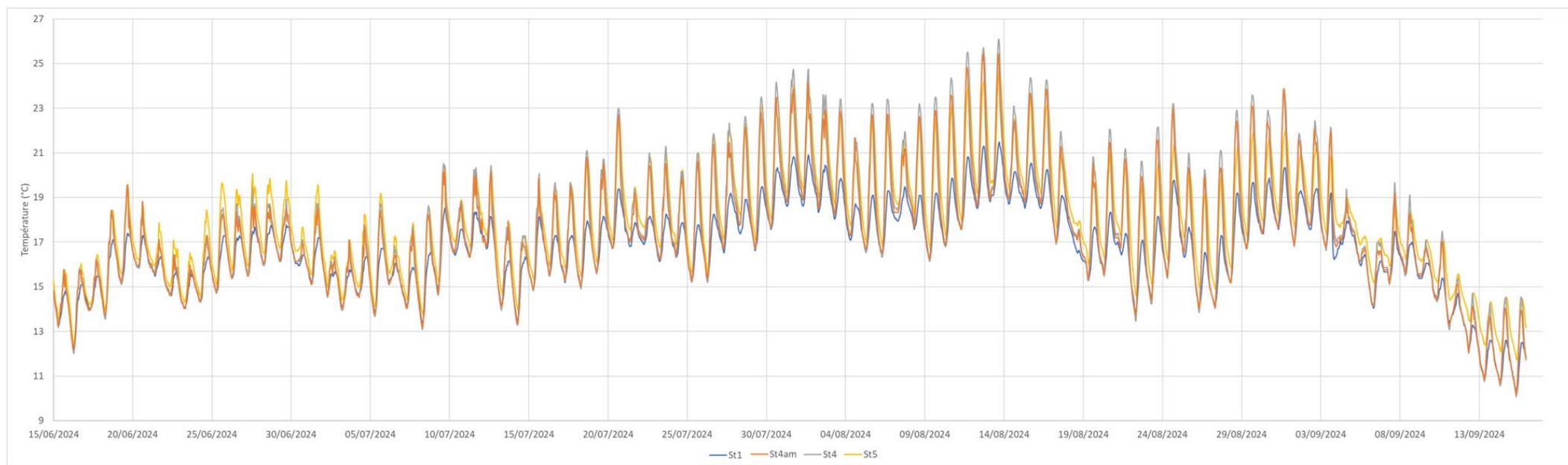


Figure 3 : Evolution de la température de l'eau des différentes stations de mesure (période du 15 juin au 15 septembre 2024) : Températures instantanées.

3.2.2.2 Variables thermiques en lien avec le préférendum thermique de la truite fario

Tableau 8 : Valeurs de Tmj30jmax (températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds) pour l'année 2024. (rouge = condition de développement de la truite défavorable, noir = très défavorable).

Stations	St1	St2bis	St4am	St4	St5
Tmj30jmax (2024)	18,33	Pas de données	19,39	19,78	19,91

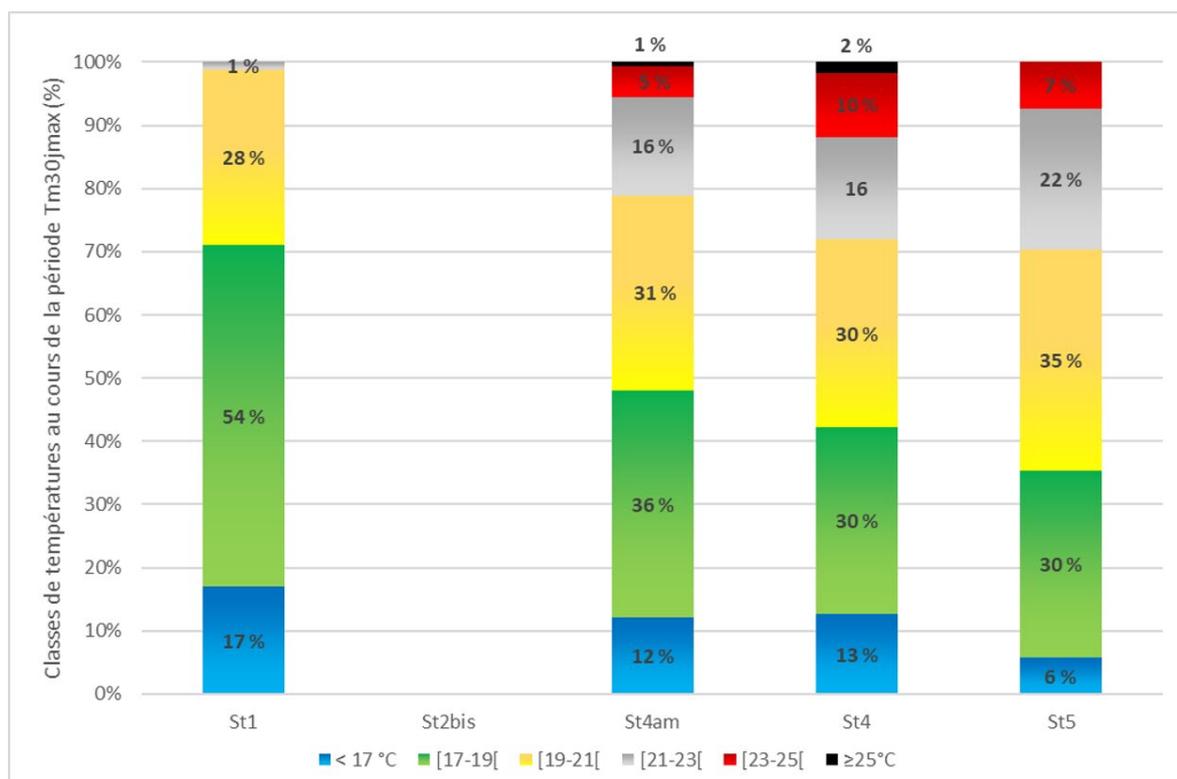


Figure 4 : Histogramme des classes de températures des 5 stations de la Mouge au cours de la période des 30 jours consécutifs les plus chauds de la période estivale 2024. (<17°C = préférendum thermique des juvéniles de truites, <19°C = préférendum des truites adultes, >25°C = température létale pour la truite).

Les variables thermiques en lien avec le préférendum thermique de la truite fario ont été étudiées au cours de la période des 30 jours consécutifs les plus chauds pour chaque station. Cette période est en effet la période la plus pénalisante pour cette espèce préférant les eaux fraîches.

En 2024, au cours des 30 jours consécutifs les plus chauds (mi-juillet à mi-août), le préférendum thermique de la truite fario a été dépassé plus de la moitié du temps sur les 3 stations aval (entre 53 et 64 % des mesures supérieurs à 19°C). Cette situation a été très pénalisante pour cette espèce, puisqu'au-delà de son préférendum, la truite entre en stress physiologique et ne s'alimente plus. La situation a été particulièrement préoccupante sur les stations St4am et St4 où le seuil létal pour la truite (25 °C) a été dépassé. Ces températures ont eu un impact négatif sur le maintien des truites sur

la station. En effet, la truite fario est une espèce mobile qui a la capacité de se déplacer le long d'un cours d'eau, notamment en période estivale pour fuir les secteurs les plus chauds.

La situation apparaît plus favorable sur la station St1 avec des gammes de températures sensiblement plus fraîches que sur les autres stations. C'est la station où les températures sont les plus favorables à la truite, bien que la $T_{m30jmax}$ soit tout de même déjà élevée avec $18,33^{\circ}\text{C}$. A partir de la station suivante, la situation devient nettement moins favorable et continue à se dégrader plus lentement jusqu'à la station la plus aval.

3.2.2.3 Evolution longitudinale de la température

La Figure 5 permet d'observer une augmentation importante de la température de l'eau entre la station St1 (station amont de référence) et les stations plus en aval au cours des 30 jours les plus chauds.

En 2024, l'écart de la température de l'eau est de $+1,06^{\circ}\text{C}$ entre la station témoin amont St1 (zone forestière) et la station dans la zone restaurée St4am (zone non-ombragée).

L'augmentation moyenne de la température de l'eau au cours des 30 jours les plus chauds de l'été est de $+1,58^{\circ}\text{C}$ entre la station amont et la station la plus aval (St5) sur un linéaire de 694 m, soit une augmentation moyenne de $+0,23^{\circ}\text{C}$ pour 100 m de cours d'eau.

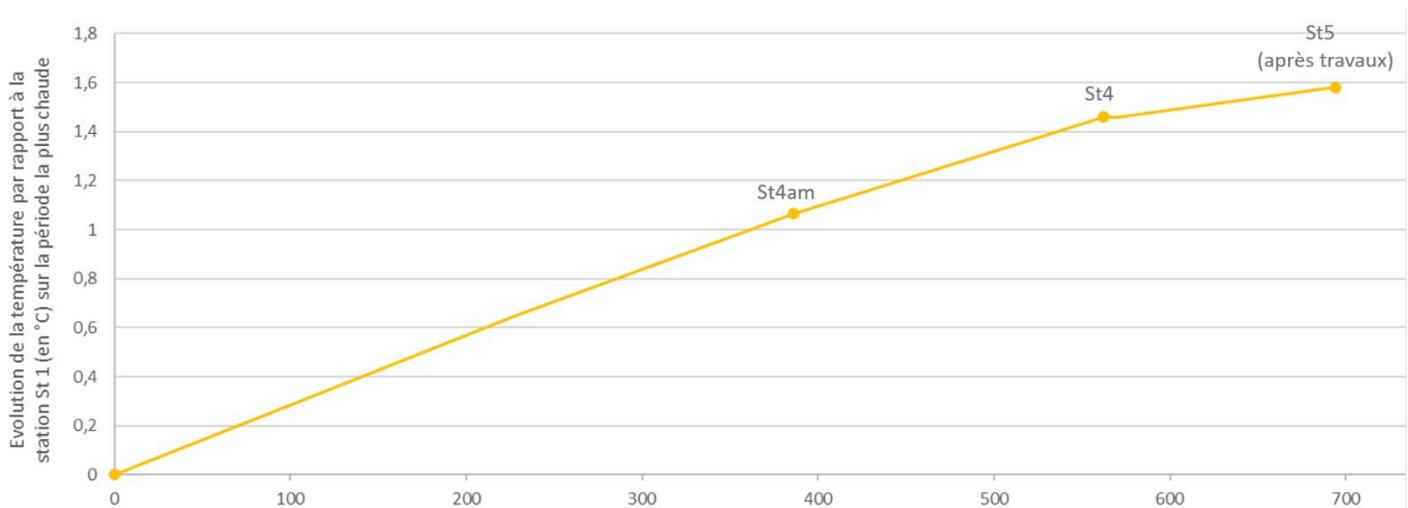


Figure 5 : Ecart moyen de la température moyenne de l'eau entre la station témoin amont (St1) et les autres stations au cours des 30 jours les plus chauds de l'été 2024.

3.2.3 Interprétation des données thermiques 2024

La relative fraîcheur observée sur la station de référence St1 est liée à une ripisylve continue sur la quasi-totalité du linéaire de la Mouge en amont de la station qui permet de maintenir un ombrage sur le cours d'eau.

L'augmentation de la température de l'eau à partir de la station suivante est à mettre en lien avec la disparition de la ripisylve dans un paysage pâturé. Bien que sur la station restaurée une nouvelle ripisylve fut plantée, elle reste pour le moment très jeune et clairsemée. Le fort ensoleillement et les

fortes chaleurs influent directement sur le régime thermique de ces stations. Avec les années, une végétalisation spontanée de la zone en défens pourrait également se développer, et constituer une vraie ripisylve avec des arbres qui borderont le lit de la Mouge et offriront de l'ombre au cours d'eau.

Par ailleurs, les deux affluents de la Mouge (le ruisseau des Prés de la Côte et le ruisseau de Joux) sont également dépourvus de ripisylve et peuvent apporter de l'eau réchauffée à la Mouge. La mise en assec plus ou moins longue de ces 2 affluents pourrait quant à elle expliquer la variabilité des résultats obtenus.

3.2.4 Comparaison du régime thermique avant et après travaux

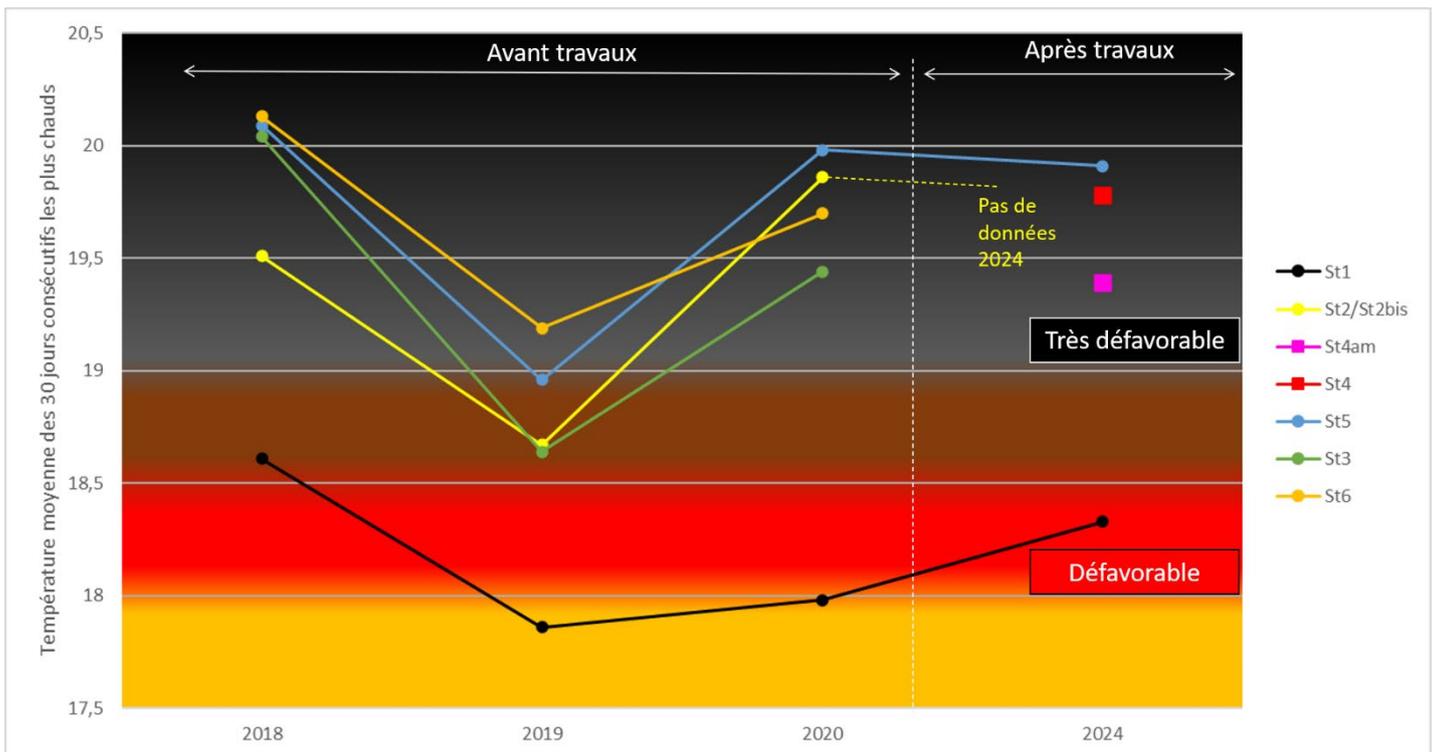


Figure 6 : Evolution de la $T_{m30jmax}$ (°C) des stations d'étude et comparaison avant/après travaux.

Les mesures réalisées en 2024 ne permettent pas d'observer d'évolutions notables du régime thermique de la Mouge imputable aux travaux réalisés. La Mouge dans le secteur restauré est toujours beaucoup plus chaude que sur la station de référence St1. Les écarts mesurés entre les stations aval et la station amont sont en effet du même ordre de grandeur avant et après travaux. Ce résultat s'explique par le fait que la ripisylve n'est pas encore bien développée dans le secteur restauré.

Globalement les $T_{m30jmax}$ observées avant les travaux indiquaient des conditions de développement des truites « défavorables » et « très défavorables ».

Après les travaux, les $T_{m30jmax}$ restent très élevées et « très défavorables » au développement des truites.

3.3 Résultats des inventaires piscicoles

3.3.1 Caractéristiques des stations d'inventaire et des opérations réalisées en 2024

Tableau 9 : Principales caractéristiques des stations d'inventaires piscicoles réalisées.

Station	Caractéristiques stations				Caractéristiques opérations					
	Distance à la Source (km)	Surface BV (km ²)	Pente(‰)	Altitude (m)	Date	Nombre de passages	Longueur (m)	Largeur moyenne (m)	Profondeur moyenne (m)	Surface échantillonnée (m ²)
St1	2,6	5,05	20,3	269	13/06/2024	2	60	1,34	0,17	80,4
St2bis	2,8	5,35	45	263	13/06/2024	1	72	1,05	0,23	75,6
St4	3,2	10,9	22,6	259	13/06/2024	2	73	0,96	0,28	70,08

❖ Description de la station St1 (la Mouge en amont de la RD 15) Station de référence

Sur cette station, la Mouge présente une majorité de faciès courant de type « plat courant » et « radier ». Bordé d'un côté par une forêt et de l'autre par un pré de fauche, le lit mineur ne subit pas d'altérations physiques importantes. La ripisylve y est quasi continue ce qui permet d'apporter un ombrage important au cours d'eau. Le substrat est diversifié avec à la fois des éléments grossiers (blocs, pierres, cailloux) et des éléments plus fins (gravier, sable). Les abris pour la faune piscicole sont nombreux et diversifiés avec la présence de sous-berges, de blocs, d'embâcles et de racines.

❖ Description de la station St2bis (station restaurée)

Après les travaux, le tracé de la Mouge a été modifié. La nouvelle station ne longe plus la route, mais traverse les champs pâturés en direction de la confluence avec le ruisseau des Prés de la Côte. Le début de la station se situe 200 mètres en aval de la route.

Bien que quelques petits radiers soient présents, la station est surtout représentée par des plats courants et des fosses de dissipation en aval de petites chutes. Le substrat est majoritairement constitué d'éléments fins (principalement du sable, un peu de graviers et des couches argilo-limoneuses), et dans une moindre mesure des dalles et des cailloux. La ripisylve a été récemment plantée et reste encore jeune (stade arbustif éparse), mais elle commence à faire un peu d'ombre de manière ponctuelle.

La station St2bis n'a quasiment pas d'abris, mis à part quelques rares sous-berges qui sont présentes, mais leur profondeur est très faible.

❖ Description de la station St4 (en aval de la confluence avec le ruisseau des Prés de la Côte)

Après les travaux, le nouveau tracé de la Mouge passe par la station St4, ce qui permet d'augmenter considérablement les débits de la station toute l'année. La station St4 n'a pas fait l'objet de travaux morphologiques direct et présente les mêmes caractéristiques qu'avant les travaux : granulométrie fine (sable et gravier, avec en 2024 la présence d'argile-limon), faciès lentique majoritaire, absence de ripisylve et toujours la présence de grands héliophytes (types Iris). De nouveaux abris sont présents, avec quelques sous-berges peu profondes et une souche d'arbre.

3.3.2 Liste des espèces rencontrées et statuts juridiques

Les inventaires piscicoles réalisés sur les 3 stations ont permis de recenser 5 espèces de poissons différentes (Tableau 9) : la truite fario, la loche franche, le chevesne, le goujon et le blageon.

Parmi ces espèces, deux espèces bénéficient de mesures de protection : la truite fario et le blageon.

Tableau 10 : Liste des espèces capturées, statut juridique et état de conservation en France (INPN).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille	Code	Espèces protégées ⁽¹⁾	Espèces susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques ⁽²⁾	Espèces exotiques envahissantes ⁽³⁾	Espèces inscrites à la Directive Européenne Habitat-Faune-Flore ⁽⁴⁾	Liste Rouge des espèces menacées en France ⁽⁵⁾
Truite commune	<i>Salmo trutta</i>	Salmonidae	TRF	X			Annexe II	LC
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	Nemacheilidae	LOF					LC
Blageon	<i>Telestes souffia</i>	Leuciscidae	BLN				Annexe II	LC
Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	Leuciscidae	CHE					LC
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	Gobionidae	GOU					LC

⁽¹⁾ Arrêté ministériel du 8 décembre 1988 fixant la liste des espèces de poissons protégés sur l'ensemble du territoire national (Article 1).

⁽²⁾ Article R 432.5 du Code de l'Environnement fixant la liste des espèces susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques.

⁽³⁾ Règlement d'exécution 2016/1141 de la commission européenne du 13 juillet 2016 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union.

⁽⁴⁾ Directive 92/43/CEE du Conseil de l'Union Européenne du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que la faune et la flore sauvages ;

Espèces inscrites en Annexe II : Espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation ;

Espèces inscrites en Annexe V : Espèces d'intérêt communautaire dont le prélèvement dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesure de gestion.

⁽⁵⁾ Liste rouge des espèces de poissons d'eau douce menacées en France (UICN France, MNHN, SFI & OFB, 2019).

EX : Eteint dans la nature, RE : Disparu de France métropolitaine, CR : En danger critique d'extinction, EN : En danger, VU : Vulnérable, NT : Quasi menacé,

LC : Préoccupation mineure, DD : Données insuffisantes, NA : Non applicable (taxon introduit, en limite d'aire, ...).

En France, la truite est menacée actuellement au niveau de l'abondance et de sa variabilité génétique. La dégradation de son habitat due aux activités humaines (colmatage, fragmentation, réchauffement des eaux...) a fait baisser ses densités, et les repeuplements avec des juvéniles d'élevage ont entraîné des échanges de gènes (introgressions génétiques), affaiblissant les adaptations locales. Elle bénéficie de mesures de protection européenne (Annexe II de la Directive Habitat-Faune-Flore) et nationale dans le cadre d'un arrêté de biotope (arrêté ministériel du 8/12/88).

Le blageon est un poisson autochtone du bassin du Rhône. Ses pontes sont sensibles au colmatage et plus généralement à la dégradation des cours d'eau. La pollution et les aménagements hydrauliques qui font obstacles à ses déplacements lui sont également néfastes. Le blageon bénéficie de plusieurs mesures de protection : classé à l'annexe III de la Convention de Berne, à l'annexe II de la Directive Habitats-Faune-Flore, et est une espèce déterminante ZNIEFF en Bourgogne (source INPN).

Aucune espèce observée n'est inscrite sur la liste rouge des espèces de poissons menacées en France (UICN France et al, 2019)

3.3.3 Effectifs, biomasses estimés et classes de taille des truites

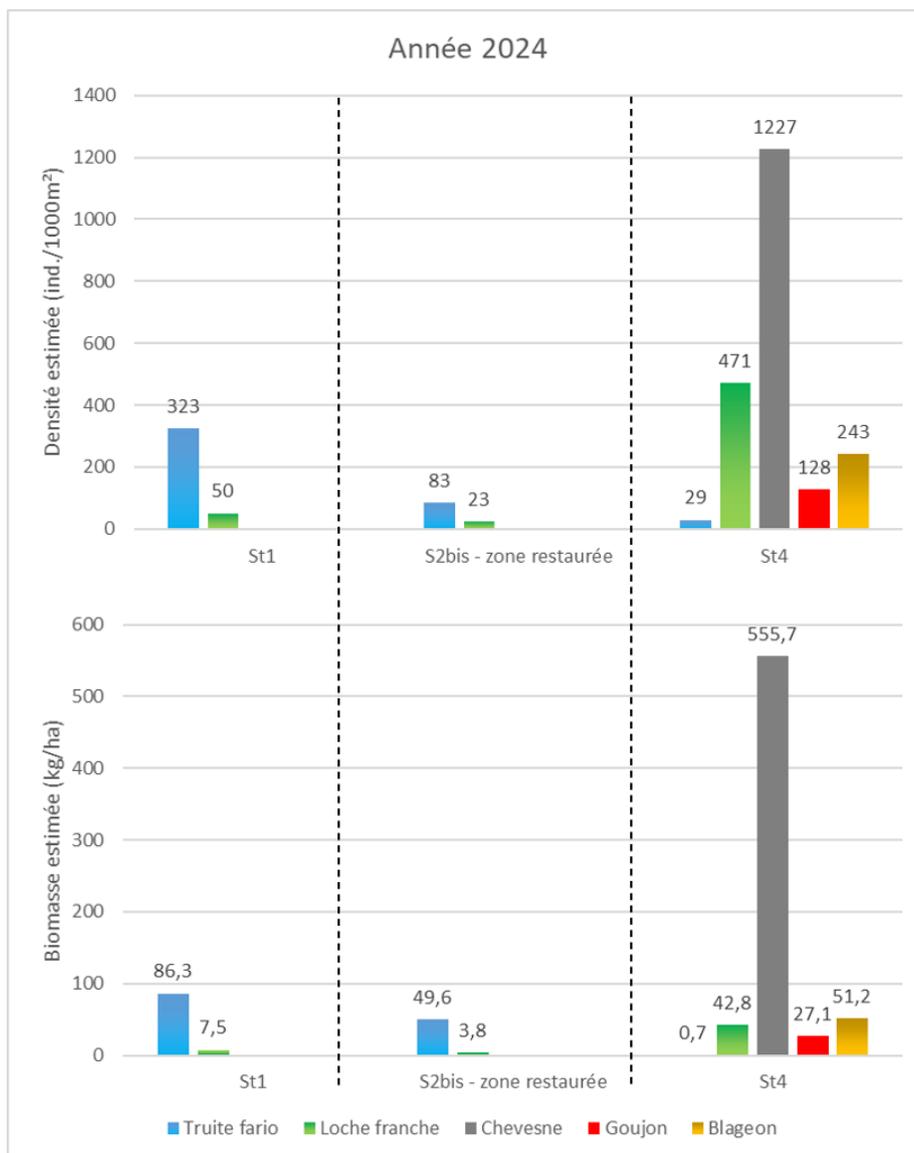


Figure 7 : Densités et biomasses estimées de poissons capturés sur les 3 stations de suivi en 2024.

En 2024, La richesse spécifique des différentes stations étudiées varie entre 2 espèces (St1 et St2bis) et 5 espèces (St4).

Sur la station St1, la densité et la biomasse estimées de loches franches est très faible avec 50 ind./1000m² et 7,5 kg/ha (soit seulement 4 individus observés). La densité et la biomasse estimée de truites sont modérées, avec 323 ind./1000m² et 86,3 kg/ha retrouvés sur la station.

Sur la station St2bis, la densité et la biomasse de truites et de loches franches sont très faibles. Trois ans après les travaux, en données brutes, seules 5 truites et une loche franche ont été capturées.

La station St4 a la richesse spécifique la plus forte avec 5 espèces observées en 2024. La truite s'y fait très rare, avec seulement 29 ind./1000m² et 0,7 kg/ha en 2024. Le peuplement piscicole est dominé par une espèce plus résistante au réchauffement de l'eau : le chevesne. Quelques loches franches, des goujons, ainsi que des blageons sont aussi présents en faible abondance.

Aucune autre espèce d'accompagnement de la truite fario, comme le vairon ou le chabot, pourtant présentes plus en aval dans le bassin, n'a été observée dans les trois stations. La lamproie de Planer n'a encore jamais été contacté dans le bassin de la Mouge.

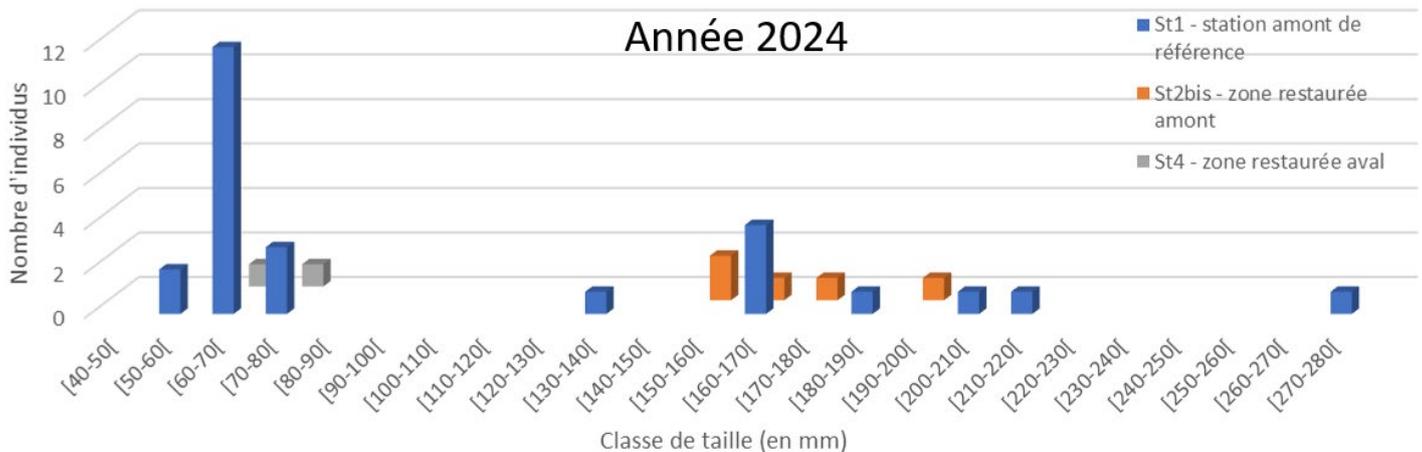


Figure 8 : Histogramme des classes de taille des truites fario capturées sur les stations St1, St2bis et St4 en 2024.

L'analyse des tailles de truites fario montre une répartition classique des classes de taille dans ce type de petit ruisseau, avec une majorité de juvéniles de l'année de petite taille (entre 40 et 100 mm), et un nombre d'individus de taille moyenne, ou de gros spécimen, beaucoup plus faible.

Cependant, en 2024 le nombre de truitelles (entre 40 et 100 mm) est très faible sur toutes les stations. Dès la station de référence St1, le nombre de truitelles observés est faible avec 17 truitelles (age 0+) sur un total de 26 truites capturées. Les stations restaurées présentent peu d'individus avec respectivement seulement 5 truites adultes sur la station St2bis et que 2 truitelles sur la station St4. La faible abondance de truitelle peut s'expliquer par la taille modeste du ruisseau. On note cependant, que les rares gros sujets (de taille supérieure à 23 cm) ont été pris uniquement sur la station St1. Les conditions hydrologiques de la période hivernale (reproduction) sont également un paramètre important dans le succès du développement de cette espèce. Les fortes précipitations des mois de Février-Mars, ont pu avoir un effet négatif sur le succès de reproduction de la truite en 2024.

3.3.4 Indice Poisson Rivière

La station témoin St1 indique une classe de qualité du peuplement piscicole « moyenne » en 2024 (à la limite du bon état). Les métriques les plus déclassantes sont le manque d'espèces rhéophiles et lithophiles (truite, chabot, vairon).

La station restaurée St2bis présente une note IPR « moyenne ». Les métriques qui pénalisent la note sont le manque d'espèces rhéophiles et lithophiles, et la très faible densité piscicole. D'ailleurs, au regard des rares poissons présents, la note obtenue n'est pas très sévère. Ce résultat ne reflète pas la situation actuelle de la station.

La station St4 présente la note IPR la plus « mauvaise » avec une note de 37,3 en 2024. Sur cette station où la diversité spécifique est plus forte, les métriques déclassantes sont : la trop faible présence d'espèces rhéophiles/lithophiles (une seule espèce présente, la truite fario), et la trop forte densité d'individus omnivores (chevesne) et tolérants (chevesne et loche franche).

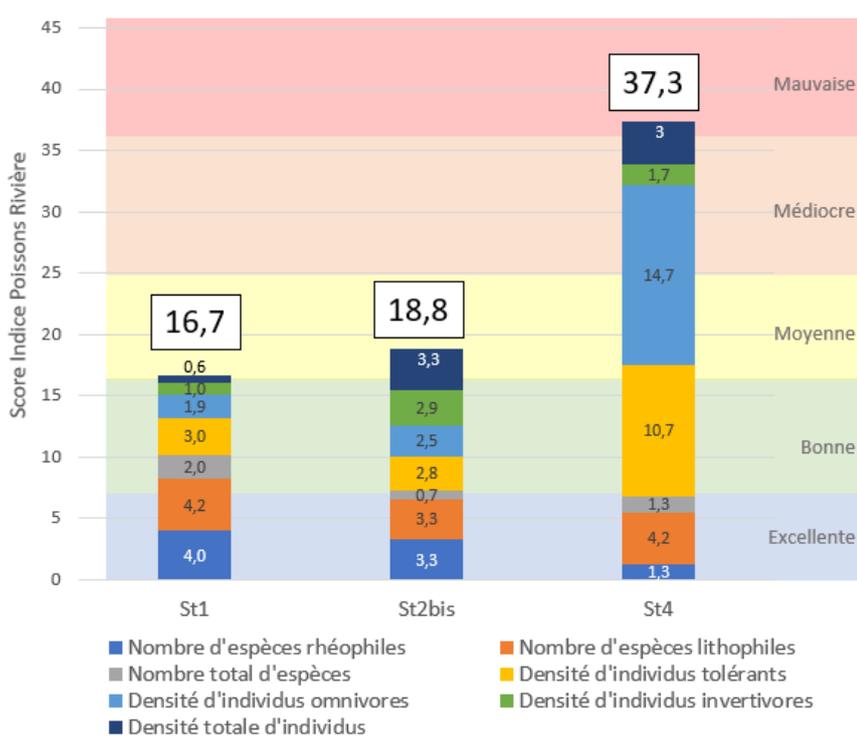


Figure 9 : Scores de l'Indice Poisson Rivière et contribution des différentes métriques à ce score en 2024.

❖ Probabilités de présence théorique selon l'Indice Poisson Rivière

L'Indice Poisson Rivière permet de calculer la probabilité de présence de chaque espèce de poissons sur les stations étudiées. La Figure 9 (ci-après) présente des probabilités de présence sur les stations St1, St2bis et St4 auxquelles sont confrontées les densités estimées observées lors de l'inventaire piscicole.

Lorsque l'on analyse les probabilités de présence des espèces selon l'IPR sur la station St1, on observe que 2 des 3 espèces dont la probabilité de présence est la plus importante (>0,5) sont présentes. Parmi ces espèces, il est intéressant de constater la présence d'une espèce sensible telle que la truite. En 2024, la truite a été contactée partout, mais la station témoin St1 présente la plus forte densité. La loche est également présente en faible densité. Plusieurs espèces attendues avec une probabilité forte sont toutefois absentes : chabot, vairon, blageon.

Sur la station St2bis, on observe qu'une espèce avec une probabilité de présence importante (>0,5) et qui est présente : la truite fario. La loche franche est également présente mais elle est faiblement attendue.

Enfin, sur la station St4, on observe que 3 des 5 espèces dont la probabilité de présence est importante (>0,5) sont présentes (truite, loche franche, blageon, mais en faible densité). On observe aussi, deux espèces peu attendues par l'IPR : le chevesne (en forte densité) et le goujon (en faible densité). Plusieurs espèces attendues sont absentes comme le chabot et le vairon.

L'inventaire piscicole de 2024 montre donc une qualité des peuplements piscicoles de la Mouge légèrement perturbée pour la station de référence St1, et une qualité dégradée pour les stations St2bis et St4.

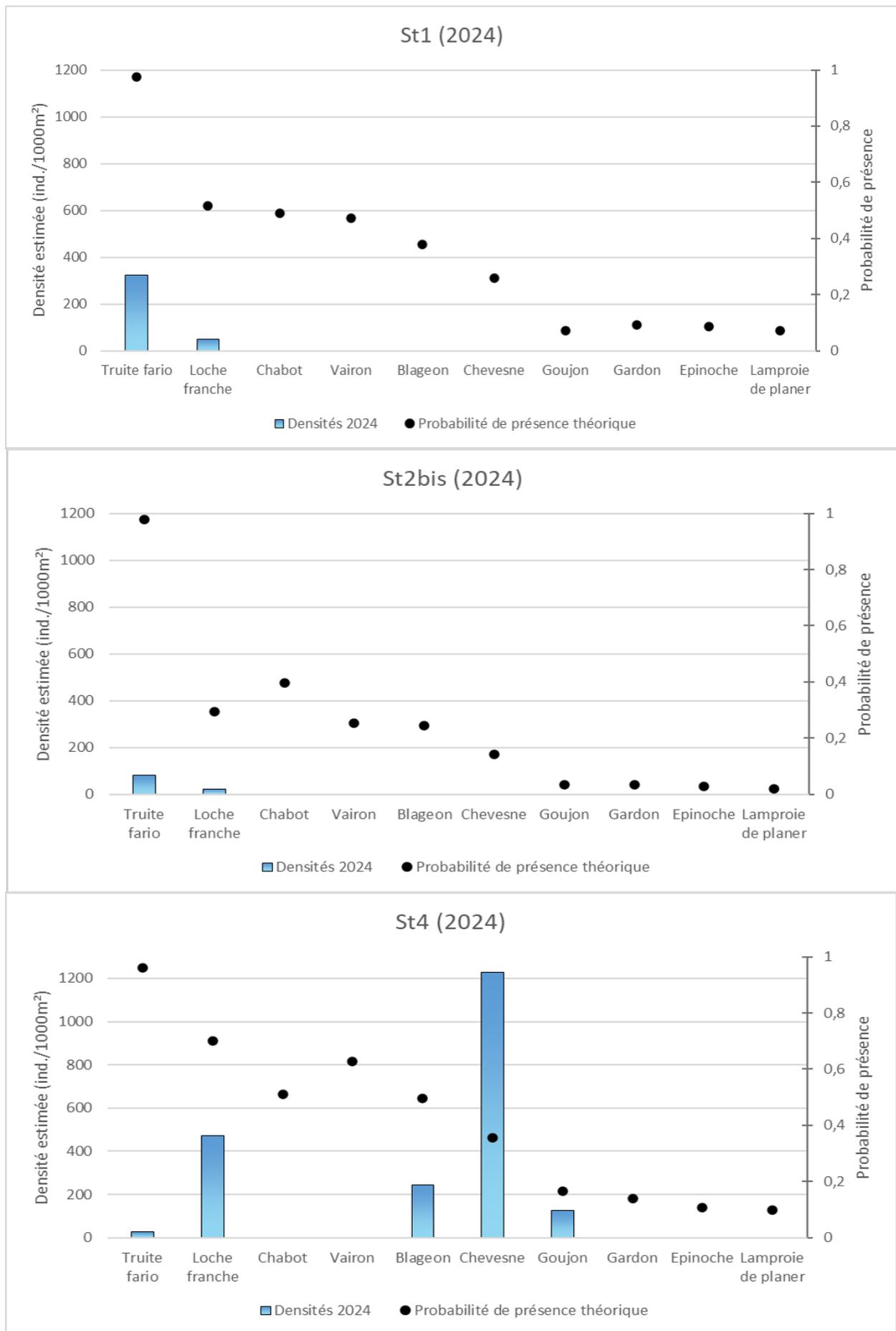


Figure 10 : Histogramme des probabilités de présence théoriques des espèces selon l'IPR et les densités observées en 2024.

3.3.5 Evolution des résultats avant et après travaux

❖ Effectifs et biomasses estimées

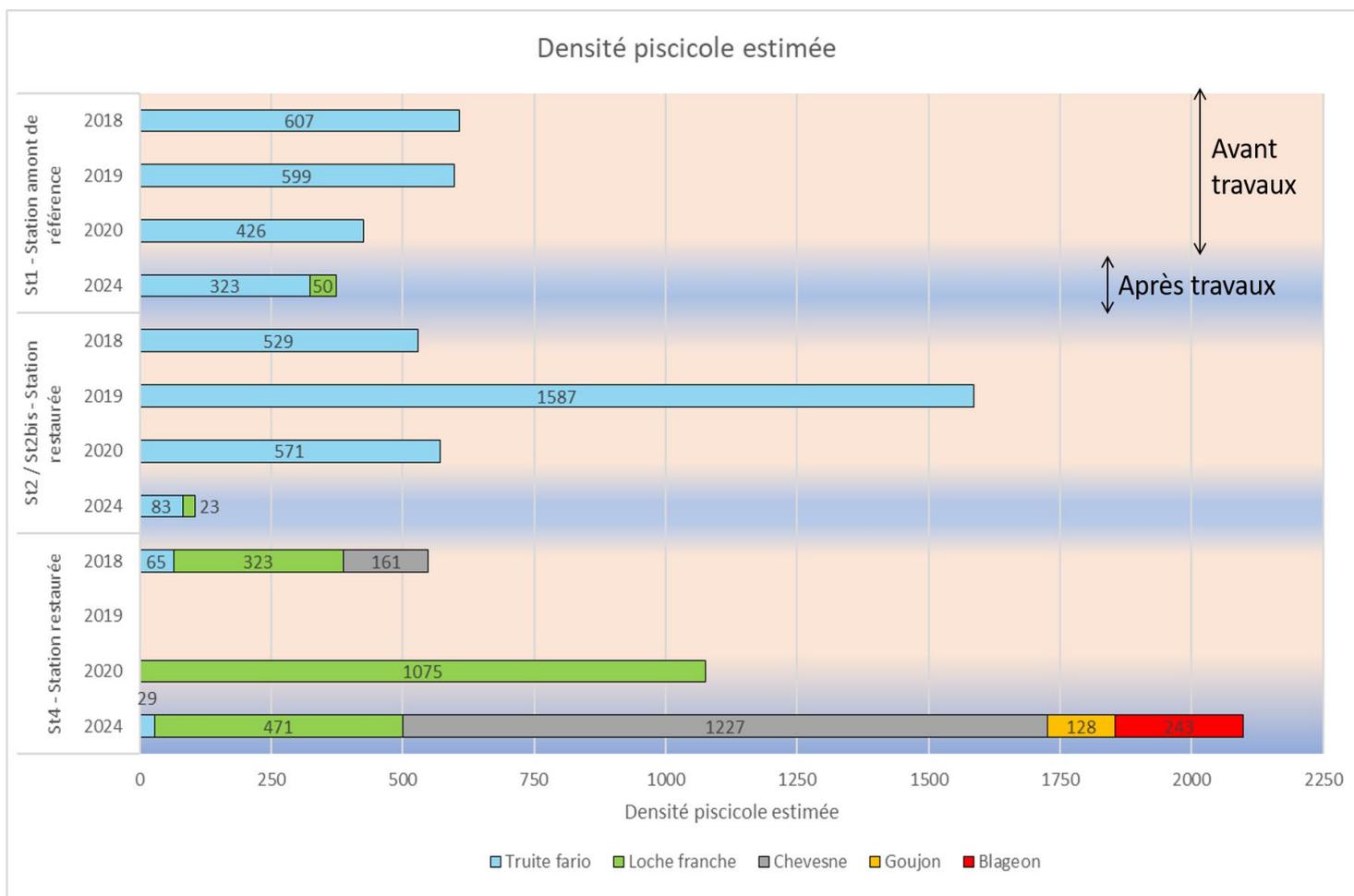


Figure 11 : Densités piscicoles estimées sur les stations de suivi avant-après travaux.

Sur la station St1, les densités estimées de truites ont diminué, passant en effet d'un maximum de 607 ind/1000m² (57 individus) en 2018 à 323 ind/1000m² en 2024 (26 individus). Alors qu'en termes de biomasses de truite, cette valeur augmente légèrement d'année en année. L'abondance en truite de la station témoin St1 varie en fonction des années mais maintient des densités satisfaisantes.

Lors des pêches avant-travaux, aucune loche franche n'avait été observée sur la station St1. Grâce au rétablissement de la continuité écologique, cette espèce a pu atteindre la station amont, même si son apparition reste encore très timide (seulement 4 individus en 2024).

En 2018 et 2020, la densité de truite de la station St2 (environ 40 truites) était du même ordre que celle observée sur la station St1. En 2019, la densité de truite avait explosé avec une densité très forte de 1600 indiv./1000m² (un record de 99 individus).

L'ancienne station abritait beaucoup plus de truites que la station nouvellement restaurée.

Tout comme pour la station témoin, la station St2bis a contacté une nouvelle espèce, la loche franche, lors de la pêche d'inventaire en 2024.

Avant les travaux, la station St4 était privée de la majeure partie de son débit, ce qui expliquait la très faible quantité de poissons présents. De plus, en 2019, la pêche d'inventaire n'avait pas pu avoir lieu car le débit était quasi-inexistant.

Après les travaux, en 2024, la totalité du débit passe désormais par la station St4 et la quantité de poissons a augmenté. Néanmoins, le peuplement piscicole est dominé par des espèces plus résistantes au réchauffement de l'eau comme le chevesne. Quelques loches franches et des truites sont présentes, et des goujons et des blageons font leur apparition, jusqu'alors non-observés dans ce suivi. Bien que les poissons présents ne soient pas des espèces attendues, la recolonisation piscicole dans cette station est un gain écologique pour la Mouge.

Tableau 11 : Evolution du nombre d'espèce par station entre 2018 et 2024.

Richesse spécifique	Avant travaux			Après travaux	Evolution
	2018	2019	2020	2024	
St1	TRF	TRF	TRF	TRF, LOF	↗
St2/St2bis	TRF	TRF	TRF	TRF, LOF	↗
St4	TRF, LOF, CHE		LOF	TRF, LOF, CHE, GOU, BLN	↗

❖ Densité en truite adulte et truitelle

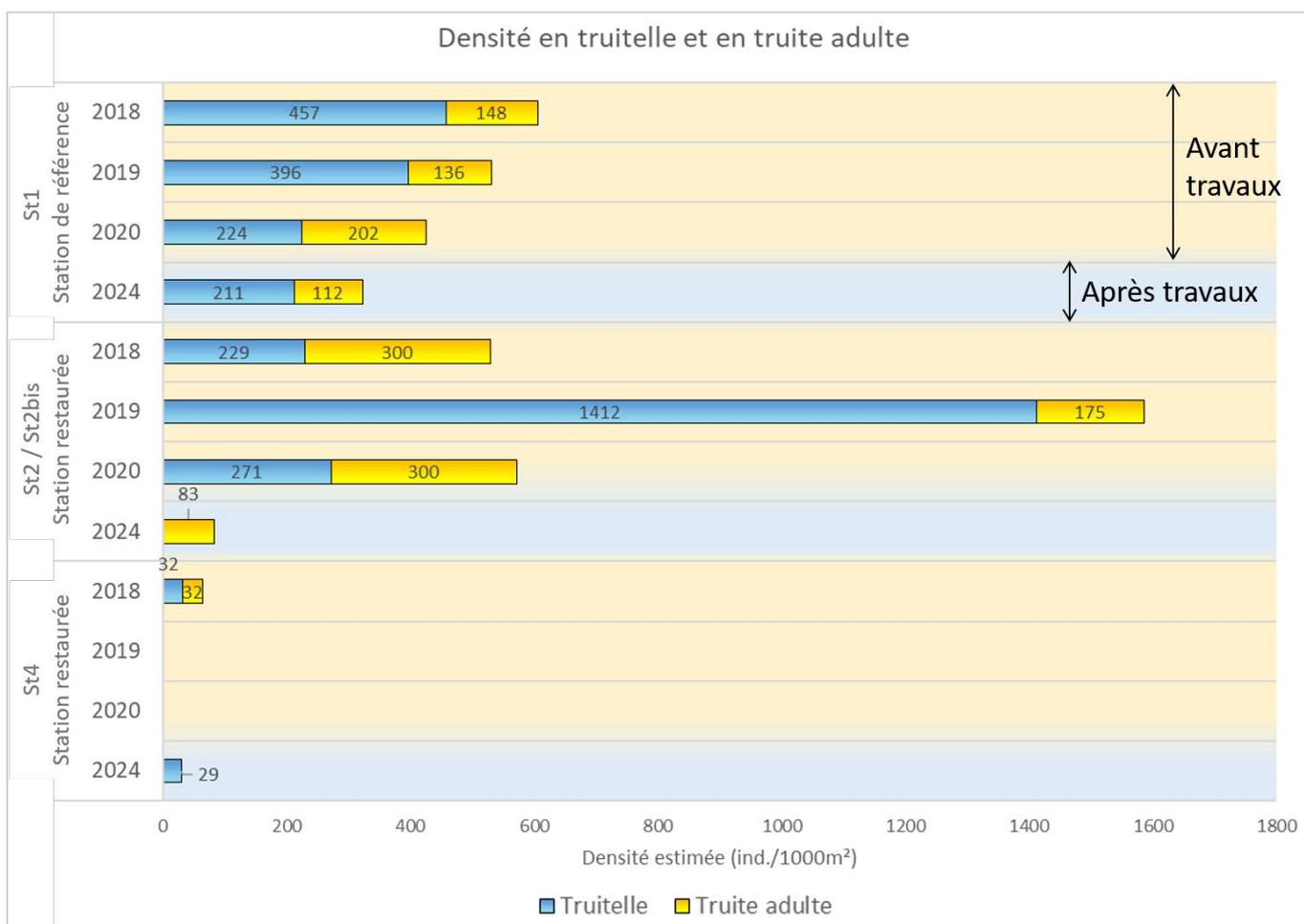


Figure 12 : Densité estimée en truitelle et en truite adulte sur chaque station d'étude depuis 2018.

Les densités de truitelles fluctuent naturellement d'une année sur l'autre en fonction des conditions hydrologiques de l'année. Les crues notamment au moment de l'émergence des truitelles peuvent engendrer des mortalités massives. Les faibles effectifs 2024 sur la station 1 sont donc à mettre en relation avec les conditions hydrologiques défavorables de l'année 2024.

L'ancienne station St2 en 2019 montrait un record de 88 truitelles (soit une densité estimée de 1412 ind./1000m²). Les autres années d'étude avant travaux, la station St2 présentait des densités de truite proche des attentes de la station témoin avec quasiment autant de truitelles que d'adultes.

Sur la nouvelle stations St2bis en 2024, aucune truitelle n'est retrouvée, très certainement lié aux conditions hydrologiques défavorables de l'année. La présence de seulement quelques rares adultes s'explique par l'absence d'abris et des températures défavorables.

Sur la station St4, la densité de truite était très faible toutes les années de suivis.

Les stations restaurées ne semblent pas montrer une grande capacité d'accueil pour les truites, ainsi qu'une température de l'eau très défavorable pour les espèces sensibles.

❖ IPR

Sur la station témoin St1 entre 2018 et 2024, les classes de qualité du peuplement piscicole oscillent entre « bonne » (avec des notes IPR situées toutefois en limite proche de la qualité moyenne), et « moyenne ». Les notes IPR restent plutôt stables dans le temps.

Sur cette station, ce sont les métriques liées au nombre d'espèces sensibles, trop faible, qui déclassaient la qualité du peuplement piscicole.

Avant les travaux sur la station St2, la classe de qualité était « moyenne » avec des notes entre 16,9 et 19,1. Les caractéristiques du peuplement piscicole sont cependant très proches de la station amont avec un déclassement lié au déficit du nombre d'espèces (présence de la truite fario uniquement).

En 2024, la classe de qualité du peuplement piscicole est aussi « moyenne ». Du point de vue de l'IPR, aucune amélioration n'a été constatée après les travaux.

La station St4 présentait en 2018 une note IPR « médiocre » et en 2020 une note « mauvaise » avec un record de 41,7 (avec une quasi absence de poisson).

D'après l'IPR, aucune amélioration n'a été constaté après les travaux. Bien que dans les faits, un peuplement piscicole s'est installé, ce qui constitue un point positif par rapport à la situation antérieure.

Tableau 12 : Evolution de l'IPR sur les stations d'étude depuis 2018. (Code couleur des classes de qualité piscicole : bleu = excellent, vert = bonne, jaune = moyenne, orange = médiocre, rouge = mauvaise)

	Avant travaux			Après travaux	Evolution
	2018	2019	2020	2024	
St1	15,5	16,2	15,8	16,7	=
St2 / St2bis	17,1	19,1	16,9	18,8	=
St4	27,1		41,7	37,3	↘

3.4 Interprétation des résultats, discussion

Entre 2018 et 2024 sur la station témoin St1, la densité de truite diminue mais ce résultat est à mettre en relation avec les fluctuations naturelles des effectifs de truites dans ce type de ruisseau. Le résultat peut être expliqué par plusieurs hypothèses :

- La campagne de mesure ponctuelle de la qualité de l'eau a indiqué une qualité de l'eau globalement bonne (bon taux d'oxygénation, pH etc), sauf pour les nitrites qui dépassent le seuil de tolérance de la truite. Cette espèce a pu être directement impactée par les effets toxiques à forte dose de ce polluant.
- Des conditions météorologiques en 2024 peu favorables en période de reproduction. Des débits trop importants ont pu empêcher que les œufs se développent correctement, et entraîner un faible recrutement. Le régime thermique est certes plus frais que les stations aval, mais les températures sont en limite de tolérance pour la truite fario.

L'apparition de la loche franche en 2024, même en faible abondance, témoigne de l'effet positif des travaux entrepris dans ce secteur et du rétablissement de la continuité écologique.

Les résultats de l'inventaire piscicole de la station St2bis en 2024 ont été décevants. Alors qu'avant les travaux cette station abritait une bonne densité de truites, les premiers résultats post travaux ont permis de capturer seulement 5 truites adultes et 1 loche franche. Ils peuvent être expliqués par plusieurs hypothèses :

- L'ancienne station St2, bien qu'elle fût morphologiquement dégradée, présentait des effectifs en truites et truitelles satisfaisants grâce à ses nombreux abris (sous-berge). La station restaurée St2bis, est quant à elle, dépourvue d'abris. De plus, les crues morphogènes post travaux ont surcreusé et décapé les substrats du lit de la Mouge. Les graviers ont dévalé, laissant la station quasiment nue. Elle ne présente pas les paramètres morphologiques (abris, faciès, substrats) satisfaisants pour le bon développement de la truite.
- Les travaux ont peut-être été mal calibrés en termes de largeur du lit et de profondeur, et la pose « artificielle » de la granulométrie a été inefficace. La méthode Carhyce sera appliquée en 2025 et permettra de répondre à cette hypothèse.
- Comme pour la station amont, les conditions météorologiques ont pu impacter sur le succès de la reproduction des truites.
- Le taux de nitrites a pu également jouer un rôle dans la faible présence de truite en 2024.
- Aucune amélioration du régime thermique n'a été constatée après les travaux. Le cours d'eau subit toujours les effets directs du soleil par manque d'une ripisylve fonctionnelle, ce qui compromet le maintien des truites sur la station.

Comme pour la station St1, la présence de la loche franche, même en faible abondance, témoigne de l'effet positif du rétablissement de la continuité écologique.

D'un point de vue piscicole et thermique, les travaux n'ont pour le moment pas montré de gain écologique notable sur la station St2bis.

La station St4 a été modifiée par les travaux de 2021. En effet, le nouveau tracé de la Mouge a rendu l'ensemble du débit (autrefois dévié pour alimenter un ancien moulin) à cette station. Ce nouveau débit a contraint le lit de la Mouge à s'adapter naturellement. De nouveaux abris sont apparus, rendant la station plus accueillante pour la faune piscicole.

Avant les travaux, cette station présentait de très faibles débits, ou pouvait même tomber en assec en période estivale. Avec l'augmentation des débits post-travaux, un gain écologique positif a été constaté avec une recolonisation piscicole de la station. Le nombre d'espèces observées sur la station est passé d'un maximum de 3 espèces avant les travaux, à 5 espèces en 2024. Le peuplement piscicole est

majoritairement constitué de chevesne (espèces ubiquistes et tolérantes aux altérations du milieu aquatique), représentant 59% de la densité totale de la station. D'autres espèces tolérantes au réchauffement de l'eau sont également présentes, comme la loche franche, le goujon et le blageon. En ce qui concerne les espèces sensibles, seulement 2 truitelles ont été observées en 2024. Cette station reste donc perturbée. Comme pour la station St2bis, cette faible abondance de truite peut être expliquée par un régime thermique trop élevé (par manque de ripisylve), une granulométrie non adaptée (substrat sableux), des faciès lenticulaires et une mauvaise reproduction en partie dû à de mauvaises conditions météorologiques.

Une seule espèce accompagnatrice de la truite est présente sur ces stations en 2024 : la loche franche. Le vairon et le chabot n'ont jamais été observés dans ce secteur de la Mouge.

Cependant, des inventaires réalisés précédemment ont montré que le vairon est présent juste en aval de la zone de travaux (en amont du camping d'Azé en 2009, et dans le bourg en 2015). Le chabot est quant à lui présent beaucoup plus en aval, à partir de Saint-Maurice-de-Satonnay (en 2018) puis à Laizé (en 2020) et à La Salle (en 2019).

Ainsi, dans les prochaines années on peut espérer voir des vairons dans le secteur restauré de la Mouge. Le chabot a une capacité de déplacement très limitée et sa colonisation naturelle sur ces stations semble très peu probable.

Partie 4 : Conclusion

L'année 2024 marque donc le début des observations post-travaux. Bien qu'il manque les mesures morphologiques Carhyce, IBGN (OFB), les données thermiques et piscicoles permettent d'avoir un premier état des lieux après travaux (n+3) du secteur restauré de la Mouge en amont d'Azé.

La comparaison du régime thermique avant et après travaux n'a pas permis de constater une amélioration significative. Le suivi avant-travaux de la température de l'eau a permis de constater une élévation importante de la température de l'eau dès lors que la Mouge n'est plus en milieu forestier. Après travaux, cette situation persiste pour le moment. Le manque de ripisylve des stations situées dans les pâtures ne permet pas de protéger le cours d'eau du réchauffement de l'eau. Le régime thermique de ces stations, en période estivale, induit d'une dégradation de la qualité du milieu aquatique. Les températures dans la Mouge restaurée dépassent donc toujours le seuil de tolérance de la truite (et dépasse ponctuellement le seuil léthal), ce qui réduit grandement l'attractivité de ces stations. Si tout se déroule bien, une ripisylve dense devrait s'établir dans quelques années sur les secteurs restaurés et entraîner une amélioration du régime thermique de ces stations.

Les pêches d'inventaires 2024 ont permis d'observer des peuplements piscicoles légèrement perturbés sur la station témoin St1, et toujours dégradés sur les stations restaurées. Bien que la truite soit présente, elle est malheureusement contactée en trop faible abondance sur les secteurs restaurés. De plus, l'absence des espèces d'accompagnement de la truite (comme le vairon ou le chabot) est un signe de dégradation. Si sur la station la plus aval une importante colonisation piscicole a été constatée, elle est malheureusement dominée par le chevesne (espèce très peu sensible).

Comme cela était attendu et évoqué lors du précédent rapport avant travaux, le rétablissement de la continuité écologique a rendu possible le libre déplacement des poissons. La réapparition de certaines espèces comme la loche franche était attendue. Cette espèce est un bon bio-indicateur de la restauration de la continuité écologique. Les observations de cette espèce en 2024 attestent du gain écologique positif apporté par le contournement du seuil de l'ancien moulin de Fourgeau.

Les crues morphogènes survenues peu de temps après les travaux ont malheureusement eu un très fort impact sur les habitats des stations nouvellement restaurées.

L'analyse de la morphologie (méthode Carhyce) des stations St2bis et St4 de la Mouge sera réalisée en 2025. Elle permettra de vérifier le gain écologique apporté par les travaux sur ces stations.

Ce premier suivi post-travaux (n+3) a montré des gains écologiques très mitigés et décevant sur ce secteur de la Mouge :

- Un effet positif du rétablissement de la continuité écologique de la Mouge sur l'ensemble des stations, y compris la station de référence hors travaux. La présence de la loche franche est un bon bio-indicateur.
- Un gain écologique et piscicole limité sur les stations restaurées en raison de conditions habitationnelles et thermiques qui restent défavorables aux espèces les plus sensibles. Les abris sont très rares et le peuplement piscicole est très dégradé.

Le suivi de l'état de la Mouge en amont d'Azé « après travaux n+4 » se poursuivra en 2025, prenant en compte les mêmes paramètres de diagnostics écologiques.

Partie 5 : Références bibliographiques

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 2023. Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 138 p.

LACAVE J-M, 2018, 2019. Bulletin climatique, Bourgogne. Juin 2018, juillet 2018, août 2018, septembre 2018, juin 2019, juillet 2019, août 2019, septembre 2019. Météofrance, 4 p.

BELLIARD J., DITCHE JM, ROSET N., 2008. Guide pratique de mise en oeuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons. ONEMA, 23p.

BELLIARD J., ROSET N., 2006. L'indice poisson rivière (IPR) – Notice de présentation et d'utilisation. Conseil Supérieur de la Pêche, 24p.

CARLE F.L. & STRUB M.R., 1978. A new method for estimating population size from removal data. Biometrics, 34 : 621-630.

CHASSIGNOL R., 2024. Effet du réchauffement climatique sur la température estivale et les populations piscicoles des rivières et plans d'eau du département de Saone-et-Loire. Rapport. Fédération de Saône-et-Loire pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 47p.

CHAUVIN (Coord.) (2011). Norme française NF T90-344 – Qualité de l'eau : détermination de l'indice poisson rivière (IPR). AFNOR, 16p.

Données météorologiques pour la station de Macon <https://www.infoclimat.fr/stations-meteo/climato-globale-comparaison-annees.php?staid=07385>

GACON P., GAILLOT S., 2019. Observatoire piscicole du bassin versant Brévenne Turdine. Fédération du Rhône pour la Pêche et la Protection du milieu aquatique. 35p.

GRES P., 2024. Réseau départemental de suivi de la qualité des rivières de la Loire – Campagne 2023. Rapport bilan 2023. Fédération de la Loire pour la Pêche et la Protection du milieu aquatique, 181p.

KEITH Ph., PERSAT H., FEUNTEUN E., ALLARDI J. (2011). Les Poissons d'eau douce de France. Biotopie Editions, Publications scientifiques du Muséum, 552 p.

Le Pimpec P. coord., 2002. Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques. CEMAGREF éditions. 160p.

MARCON. C, MAUPOUX. J, 2021. Restauration morphologique de la Mouge en amont du bourg d'Azé : état initial avant travaux : années 2018 à 2020. Rapport final. Fédération de Saône-et-Loire pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 49 p.

MARTINET (Coord.) (2003). Norme européenne NF EN 14011 – Qualité de l'eau : échantillonnage des poissons à l'électricité. AFNOR, 13p.

MAUPOUX J., VALLI J., 2010. Etude piscicole et astacicole des rivières du Mâconnais. Fédération de Saône-et-Loire pour la pêche et la protection du milieu aquatique, Fédération du Rhône pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 180 p.

MAUPOUX J. 2015. Etat des lieux de la faune piscicole de la Mouge à Azé. Fédération de Saône-et-Loire pour la pêche et la protection du milieu aquatique. 35p.

PREFET DE SAONE-ET-LOIRE, 2003. Arrêté préfectoral relatif au classement en deux catégories piscicoles des cours d'eau, canaux, et plans d'eau du département de Saône-et-Loire, 13 fév. 2003, art. 1.

Programme INTERREG III A, 2006. Identification, sauvegarde et réhabilitation des populations de truites autochtones en Vallée d'Aoste et en Haute Savoie. Rapport final.

RIOURY (Coord.) (2008). Normalisation française XPT90-383 – Qualité de l'eau : échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau. AFNOR, 14p.

TAMISIER V., GOB F., BILODEAU C., THOMMERET N., 2017. Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français (Carhyce) - Valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau. Rapport final. CNRS, Université Paris 1, Université Paris 7, CNAM-ESGT. 96 p.

UICN Comité français, MNHN, SFI & AFB (2019). La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France, 16p.

https://www.shna-ofab.fr/fr/fiches-especes/blageon-telestes-souffia_45_T67335.html#:~:text=Le%20Blageon%20est%20class%C3%A9%20C3%A0,b%C3%A9n%C3%A9ficier%20de%20mesures%20de%20protection.

Partie 6 : Annexes

Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau

Paramètres par élément de qualité (unités)	Code	Valeur de comparaison	Limites des classes d'état			
			Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Bilan de l'oxygène¹						
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	1311	P10	8	6	4	3
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	1312	P10	90	70	50	30
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	1313	P90	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C/l)	1841	P90	5	7	10	15
Température²						
Eaux salmonicoles	1301	P90	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles			24	25,5	27	28
Nutriments						
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ /l)	1433	P90	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg P/l)	1350	P90	0,05	0,2	0,5	1
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	1335	P90	0,1	0,5	2	5
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ /l)	1339	P90	0,1	0,3	0,5	1
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ /l)	1340	P90	10	50	*	*
Acidification¹						
pH minimum	1302	P10	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum		P90	8,2	9	9,5	10
Salinité						
Conductivité	1303	*	*	*	*	*
Chlorures	1337	*	*	*	*	*
Sulfates	1338	*	*	*	*	*
¹ acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon état, le pH min est compris entre 6,0 et 6,5 ; le pH max entre 9,0 et 8,2.						

Annexe 1 : Limites de classes d'état pour les paramètres physico-chimiques des cours d'eau (Guide technique 2023).