

ÉTUDE DE LA QUALITÉ THERMIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ORBIEU

Résultats et interprétations du suivi des températures.



Sommaire :

Introduction :	3
1. Présentation de la méthodologie :	4
1.1 Zone d'étude et choix des stations.....	4
1.2 Matériel et Protocole de mise en place :	5
2. Analyse des résultats :	6
2.1 Enregistrements thermiques de la Sonde Amont (n°20966973) :	6
2.2 Enregistrements thermiques de la Sonde Aval (n°21016665) :	8
2.3 Variations thermiques à l'échelle du Bassin Versant :	11
3. Discussions :	14
Synthèse des éléments bibliographiques :	15

Liste des Figures :

Figure 1 : Profil altimétrique de l'Orbieu.....	4
Figure 2: Contexte piscicole de l'Orbieu.....	4
Figure 3 : Secteur d'implantation de la sonde amont sur l'Orbieu	6
Figure 4 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966973	7
Figure 5:.....	7
Figure 6:.....	8
Figure 7: Secteur d'implantation de la sonde aval sur l'Orbieu	9
Figure 8 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°21016665.....	9
Figure 9: Graphique de la température de l'eau de l'Orbieu au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique du Toxostome	10
Figure 10 : Graphique de la température de l'eau de l'Orbieu au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique du Brochet	11
Figure 11 : Comparaison de l'évolution thermique entre les sondes de l'amont et de l'aval du bassin versant de l'Orbieu de Février à Octobre 2021	12
Figure 12 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde amont sur l'Orbieu en 2021	13
Figure 13 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde aval sur l'Orbieu en 2021.....	13

Introduction :

Dans un contexte général de réchauffement climatique et de sécheresses estivales récurrentes, l'étude de l'évolution des températures des eaux douces de surface peut être considérée comme un élément primordial pour la compréhension des écosystèmes aquatiques.

En effet, la température influence directement la physiologie, le comportement et la répartition longitudinale des organismes aquatiques des cours d'eau du fait de leurs caractéristiques ectothermes. Par ailleurs, la température conditionne aussi la saturation ou solubilité de l'oxygène dissous dans l'eau, paramètre indispensable à la vie.

Ainsi, l'évolution déjà observée vers un réchauffement de la température globale des eaux de surface s'accompagne d'une modification des communautés piscicoles. Ainsi, les espèces thermophiles tendent à remplacer les espèces eurythermes (exigeantes en termes de température). Ceci se matérialise par une remontée progressive en altitude et en latitude des espèces réputées tolérantes voire invasives.

Au-delà du simple aléa climatique, plusieurs facteurs sont désormais reconnus comme des catalyseurs du réchauffement. Ainsi, la présence de barrages et / ou les effets cumulés d'un ensemble de retenues sur un cours d'eau aura pour conséquence une augmentation significative des températures. De cette façon, il est observé un bouleversement des communautés piscicoles et de macro-invertébrés en aval des barrages.

La dégradation du couvert végétal généralement associé à la strate arborée des ripisylves contribue aussi à aggraver les amplitudes thermiques en exposant les cours d'eau au rayonnement direct du soleil.

Les conséquences sont les mêmes vis-à-vis des déficits sédimentaires induisant l'absence de granulats dans les lits des cours d'eau et des affleurements de roches mères. Il est démontré que les sous-écoulements hyporhéiques (dans le substrat) limitent aussi l'élévation de la température de l'eau.

Le contexte piscicole de l'Orbieu est découpé en deux entités l'amont et l'aval. Le contexte piscicole amont a été évalué comme peu perturbé par le PDPG 11 avec un peuplement structuré autour de trois espèces (la truite fario, le barbeau méridional et le vairon) avec des densités relativement faibles. Ce peuplement évolue fortement vers l'aval et a été évalué comme très perturbé sur le contexte aval. En effet on n'y recense pas moins de 25 espèces principalement des cyprinidés rhéophiles, cependant leurs densités sont très faibles.

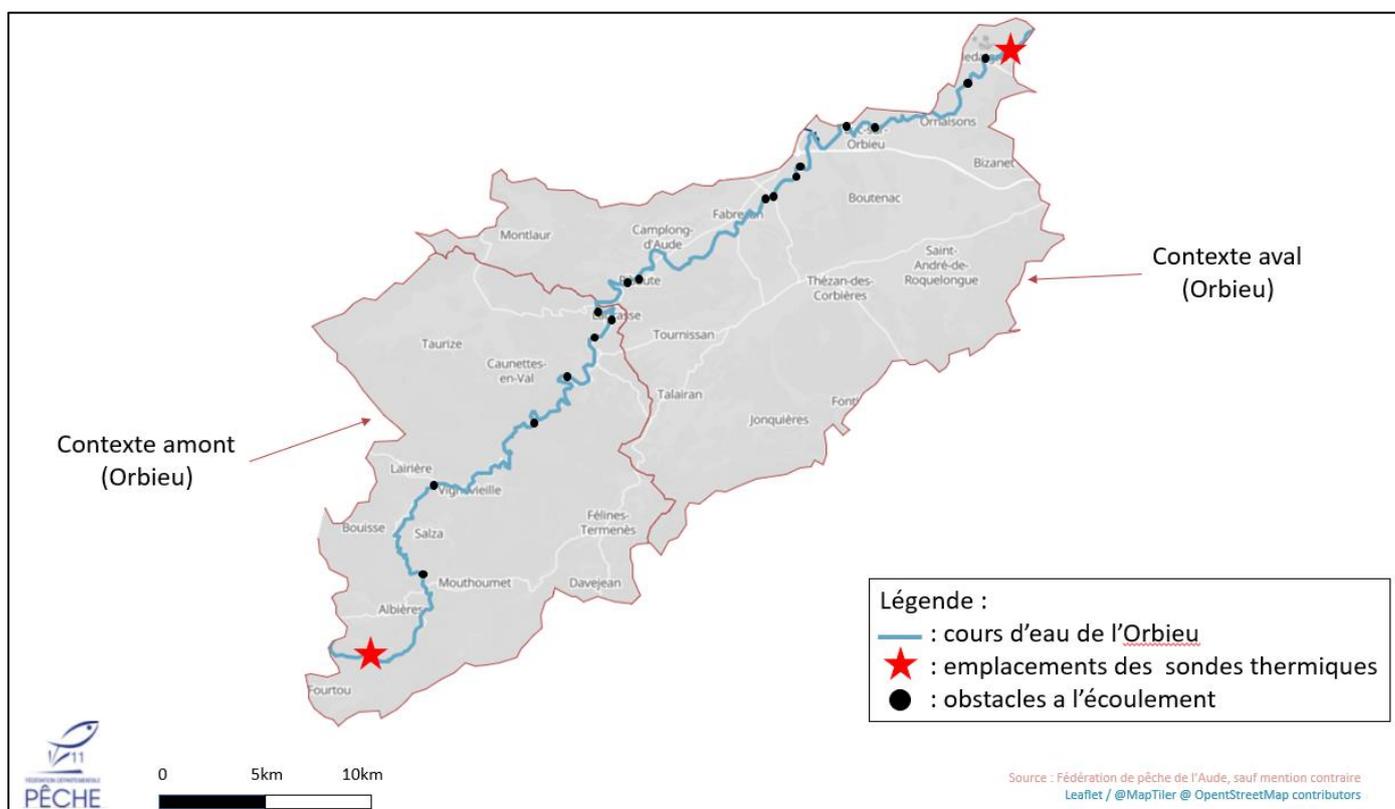
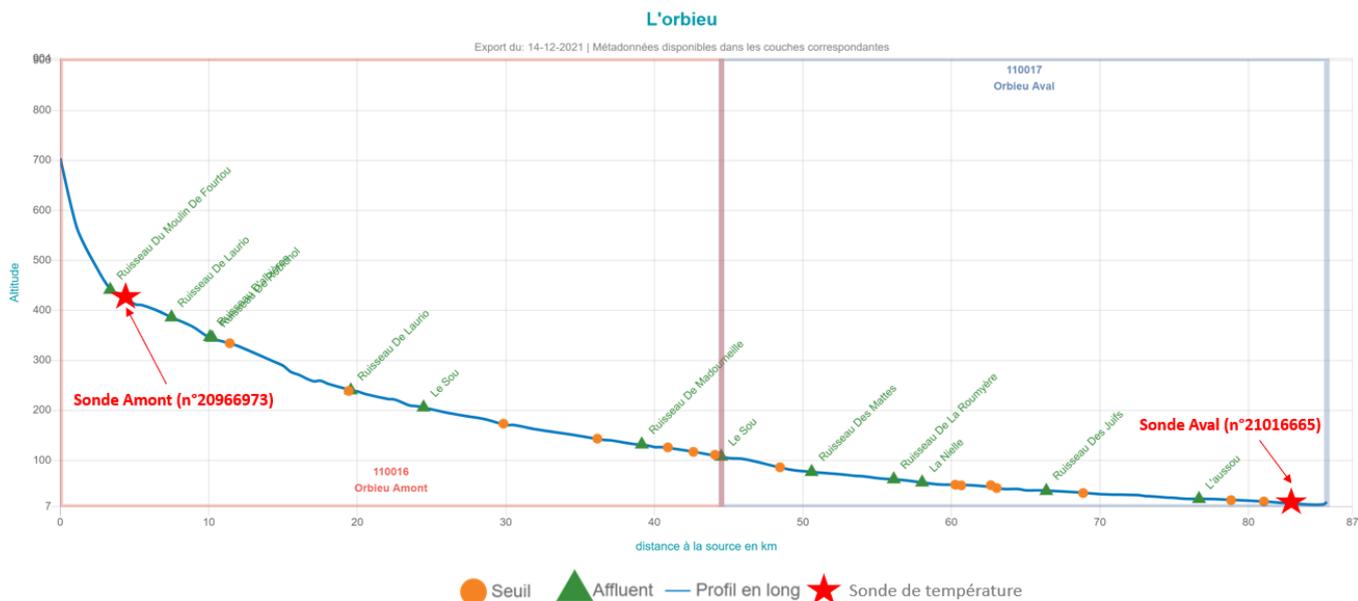
La présente étude a pour objectif d'acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement hydrologique complexe de l'Orbieu qui est caractérisé par un débit moyen faible. Il présente un étiage très marqué de juin à septembre, voire une absence d'écoulement sur les affluents et sur sa partie amont, aggravant les problèmes causés par les apports polluants (rejets de stations d'épuration, de caves de vinification,). Les assecs sont également favorisés par des phénomènes de pertes karstiques. En période automnale, les débits présentent des pointes liées le plus souvent à des phénomènes orageux. De plus, elle pourra mettre en évidence des variations du régime thermique du cours d'eau de l'amont vers l'aval potentiellement en lien avec les diverses pressions anthropiques. Une analyse des mesures sera réalisée afin d'apprécier leurs conséquences biologiques potentielles notamment pour l'espèce sensible que constitue la Truite fario et le barbeau méridional sur la partie amont et sur le Toxostome et le brochet pour la partie aval.

L'interprétation des enregistrements a été réalisée au travers d'un script VBA sur Excel mis à disposition par la Fédération de pêche du Gard. Dès lors, l'ensemble des valeurs retenues en termes de seuils de confort et de seuils létaux selon les phases de développement sont le fruit d'un important travail initial de synthèse bibliographique. Les conclusions de ces recherches sont annexées au présent rapport.

1. Présentation de la méthodologie :

1.1 Zone d'étude et choix des stations

L'Orbieu est un affluent rive droite du fleuve Aude d'une longueur de 84km, il prend sa source à Fourtou dans le piémont pyrénéen à 710m d'altitude.



La géologie du contexte est constituée majoritairement de grès et d'alternances de marnes argilo-calcaires et ses caractéristiques hydromorphologiques (fortes pentes sur le secteur salmonicole,

concentration des écoulements, ripisylve dense) influencent fortement le régime hydrologique de l'Orbieu. Cela se traduit par des étiages très marqués en période estivale amplifiés par des pertes karstiques sur le secteur amont et des crues violentes liées le plus souvent à des orages. Par ailleurs, la présence de pas moins de 17 obstacles à l'écoulement peut être de nature à modifier le régime thermique naturel du cours d'eau ainsi que les flux biologiques.

Pour les besoins de notre étude, deux stations de mesures ont été sélectionnées sur le tronçon de l'Orbieu présentant les principaux enjeux piscicoles :

- La sonde amont n°20966973 (commune de Savignan) constituera la station de référence dans une section préservée des pressions anthropiques au sein d'un milieu forestier à environ 8km en amont du premier obstacle à l'écoulement.
- La sonde aval n°21016665 (commune de Raissac d'Aude), située environ 2km avant la confluence avec l'Aude. Cette sonde est située en dessous de l'ensemble des obstacles et des affluents du cours d'eau dont elle mesurera les effets.

1.2 Matériel et Protocole de mise en place :

Sur ce contexte les sondes ont été mises en place courant février 2021 et retirées fin 2021. L'étude en question permettra donc d'étudier la thermie sur une grande partie de l'année 2021. Les observations, quant à elles, seront focalisées sur la période estivale (de Juin à Septembre) afin d'apprécier la sensibilité accrue au réchauffement durant cette période. Dans le cadre de cette première approche, les données obtenues permettront d'apprécier les maximas thermiques qui restent le paramètre prépondérant en termes de sélection des espèces piscicoles eurythermes. C'est aussi lors de cette période que les impacts potentiels des aménagements et activités anthropiques sont les plus impactants.

Les stations de mesures ont été identifiées en fonction de nos connaissances des tronçons subissant régulièrement des périodes d'assèchements des écoulements de surface. À ce titre, une consultation des détenteurs et gestionnaires des droits de pêche des locaux (structures associatives de la pêche de loisir) a été réalisée. Une information a aussi été délivrée aux communes concernées.

Des sondes thermiques de type « HOBO Pendant Temp Logger » ont permis l'enregistrement de la température des cours d'eau. Ces dernières ont été immergées dans les cours d'eau et fixées à des supports solides et vraisemblablement inamovibles, préférentiellement les systèmes racinaires de la végétation rivulaire.

Chaque pose de sonde a fait l'objet du renseignement d'une « fiche descriptive » établie à cet effet. Il y est notamment identifié le site (Commune / Cours d'eau / lieu-dit / rive), décrit le support de fixation, la profondeur d'immersion et les coordonnées géographiques.

Après installation dans le cours d'eau, des visites de contrôles ont été réalisées afin de s'assurer du bon fonctionnement des sondes et de leur totale immersion. Enfin, une campagne de relève a été effectuée en début d'automne préalablement aux potentiels épisodes méditerranéens et à la remontée des niveaux d'eau pour sauvegarder une partie de la donnée en cas de perte de la sonde.

2. Analyse des résultats :

2.1 Enregistrements thermiques de la Sonde Amont (n°20966973) :

La sonde amont a été implantée sur le haut bassin de l'Orbieu à environ 4.1 km de sa source, à proximité du village de Savignan soit environ 7km en amont du premier obstacle à l'écoulement dans un contexte dominé par des forêts de feuillus quasiment exemptes de pressions anthropiques. La sonde a été déposée en rive gauche sur un système racinaire protégée par un ensemble de blocs. C'est un secteur marqué par une forte pente, une granulométrie très grossière et très peu colmatée. Sur ce secteur les espèces repères sont la Truite Fario et le Barbeau Méridional qui sont des espèces retrouvées lors de chaque recensement sur cette tête de bassin.



Figure 3 : Secteur d'implantation de la sonde amont sur l'Orbieu

2021	Fiche station 20966973_orbieu		
	Date début suivi	04/02/2021	
	Date fin suivi	15/12/2021	
	Durée (en j)	315	
	Température moyenne de la période étudiée		
	11,8		
	Températures élevées	T°C instantanée maximale	21,2
		T°C moy jour max	19,5
		Date T°C maxi journalière	14/09/2021
		T°C des 30 jours les plus chauds	18,1
Date T°C 30 jours les plus chauds		12/06/2021	
Températures faibles	T°C instantanée minimale	4,8	
	T°C moy jour min	5,8	
	Date T°C min journalière	29/11/2021	
Amplitudes thermiques	Amplitude thermique globale maximale	16,4	
	Amplitude thermique journalière maximale	5,7	

Figure 4 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966973

Sur la période considérée, la sonde a connu un dysfonctionnement qui a corrompu les valeurs de températures enregistrées sur la période du 21 Juillet au 8 Septembre. La chronique de donnée est donc incomplète, nous présenterons donc les résultats obtenus sur la période enregistrée.

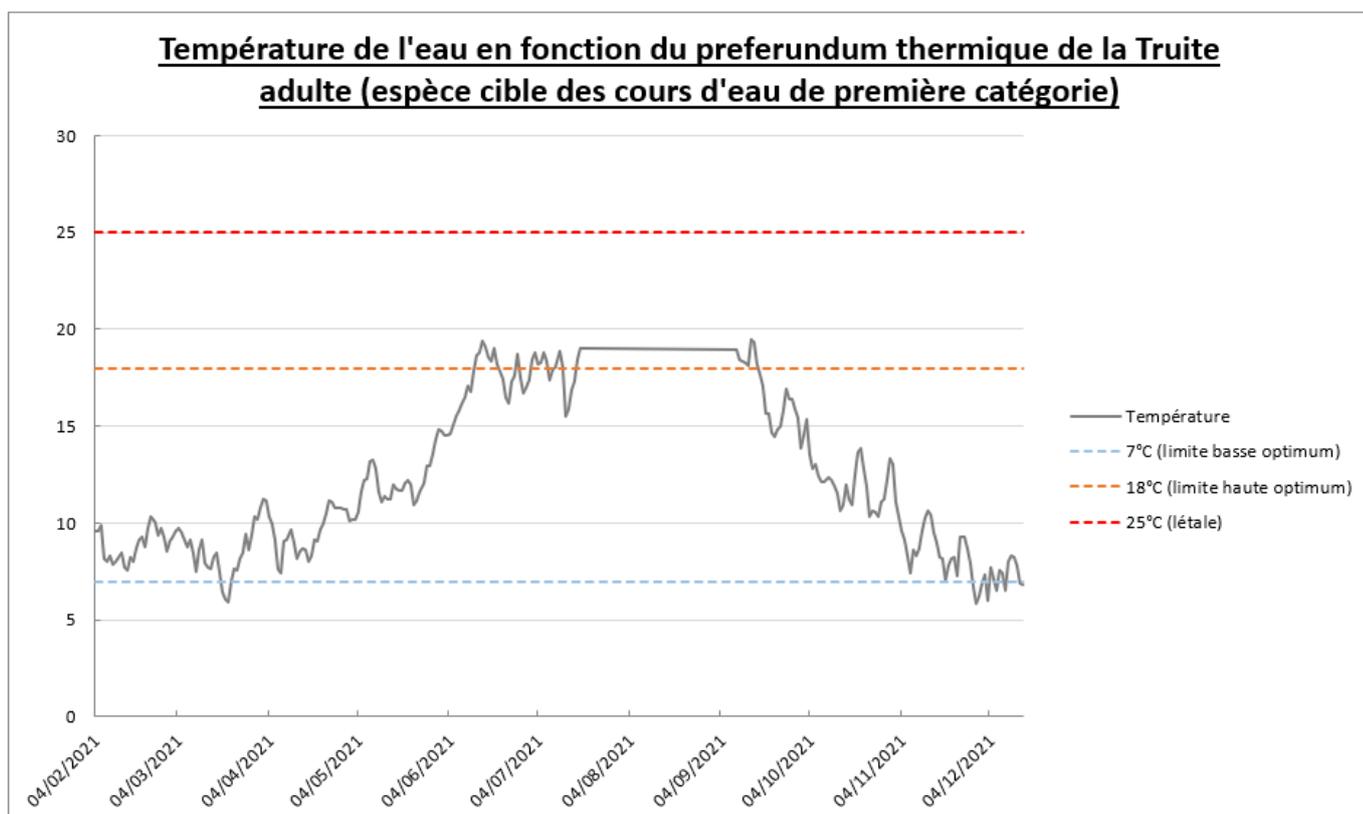


Figure 5:

La température moyenne de l'Orbieu au niveau de la station amont est de 11.8°C. La température a atteint au maximum 21.2°C le 14/09/2021 pour une température moyenne journalière de 19.5°C.

L'amplitude thermique journalière maximale sur la période étudiée est de 5.7°C. Enfin, la température des 30 jours les plus chauds est de 18.1°C à partir du 12 juin 2021.

Durant l'été 2021, la température de l'eau dépasse les 18°C au cours de 28 jours. Ces relevés indiquent une gamme de température peu adaptée au développement et au maintien de l'espèce repère, d'autant plus qu'il manque la donnée sur les mois censés être parmi les plus chauds (fin Juillet, Août et début Septembre).

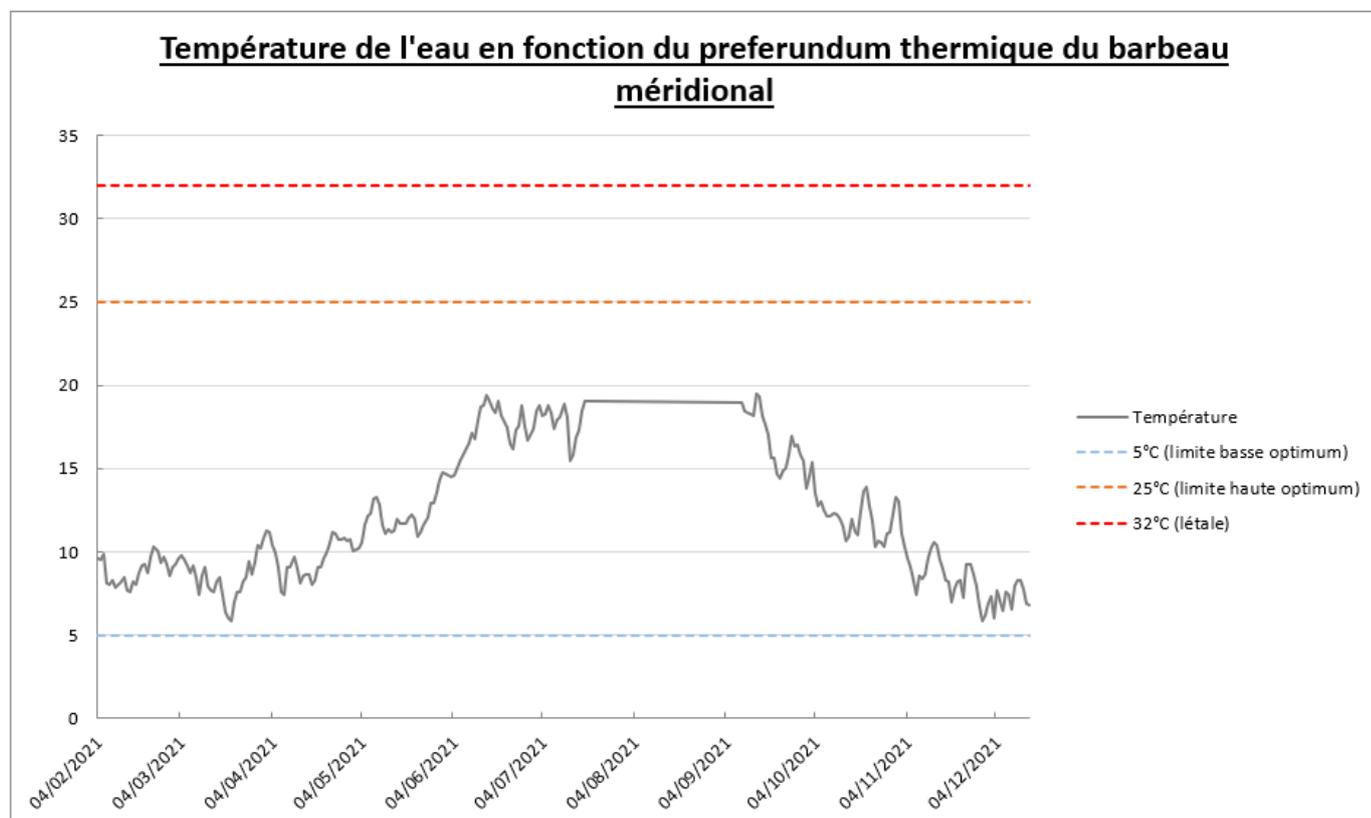


Figure 6:

Durant l'été 2021, la température de l'eau est optimale pour le barbeau méridional 100 % du temps. Ces relevés indiquent une gamme de température adaptée au développement et au maintien de cette espèce repère.

2.2 Enregistrements thermiques de la Sonde Aval (n°21016665) :

La sonde aval a été implantée sur la commune de Raissac d'Aude environ 1km avant sa confluence avec l'Aude. La sonde est en rive gauche, sur un système racinaire, profondément immergée sur un tronçon majoritairement composé de granulométrie fine (graviers et sables grossiers) sujets au colmatage. Sur ce tronçon, le cours d'eau dispose d'un bel espace de divagation avec une ripisylve dense.

Les données piscicoles disponibles pour ce secteur indiquent un peuplement piscicole particulièrement diversifié avec pas moins de 25 espèces recensées. Ce cortège est principalement structuré autour des cyprinidés rhéophiles et est complété par plusieurs espèces annexes avec deux espèces cibles : le Brochet et le Toxostome. Ce contexte est estimé comme très perturbé du fait de la densité piscicole très faible par rapport aux caractéristiques du bassin de l'Orbieu. De plus, la densité piscicole subit de grandes fluctuations en fonction des phénomènes hydrologiques (Crues importantes 2013 - 2014 et les étiages marqués). Cette faible abondance piscicole est particulièrement marquée dans les

inventaires les plus récents (2011, 2013 et 2015) avec de très faibles abondances pour quatre espèces : le Barbeau Fluvial, le Chevesne, le Toxostome et la Vandoise.



Figure 7: Secteur d'implantation de la sonde aval sur l'Orbieu

2021	Fiche station 21016665_oribieu_aval_07.01.21 données traitées			
	Date début suivi	20/02/2021	Température moyenne de la période étudiée	
	Date fin suivi	31/12/2021		
	Durée (en j)	315		17
	Températures élevées	T°C instantanée maximale		26,5
		T°C moy jour max		25,2
		Date T°C maxi journalière		16/06/2021
		T°C des 30 jours les plus chauds		23,1
		Date T°C 30 jours les plus chauds		17/07/2021
	Températures faibles	T°C instantanée minimale		8
		T°C moy jour min		8,3
		Date T°C min journalière		30/11/2021
Amplitudes thermiques	Amplitude thermique globale maximale		18,5	
	Amplitude thermique journalière maximale		3,3	

Figure 8 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°21016665

Sur la période considérée, la température moyenne de l'Orbieu au niveau de la station aval est de 17°C. La température a atteint au maximum 26.5°C le 16/06/2021 pour une température moyenne journalière de 25.2°C. L'amplitude thermique journalière maximale sur la période étudiée est de 3.3°C. Enfin, la température des 30 jours les plus chauds est de 23.1°C à partir du 17 juillet 2021.

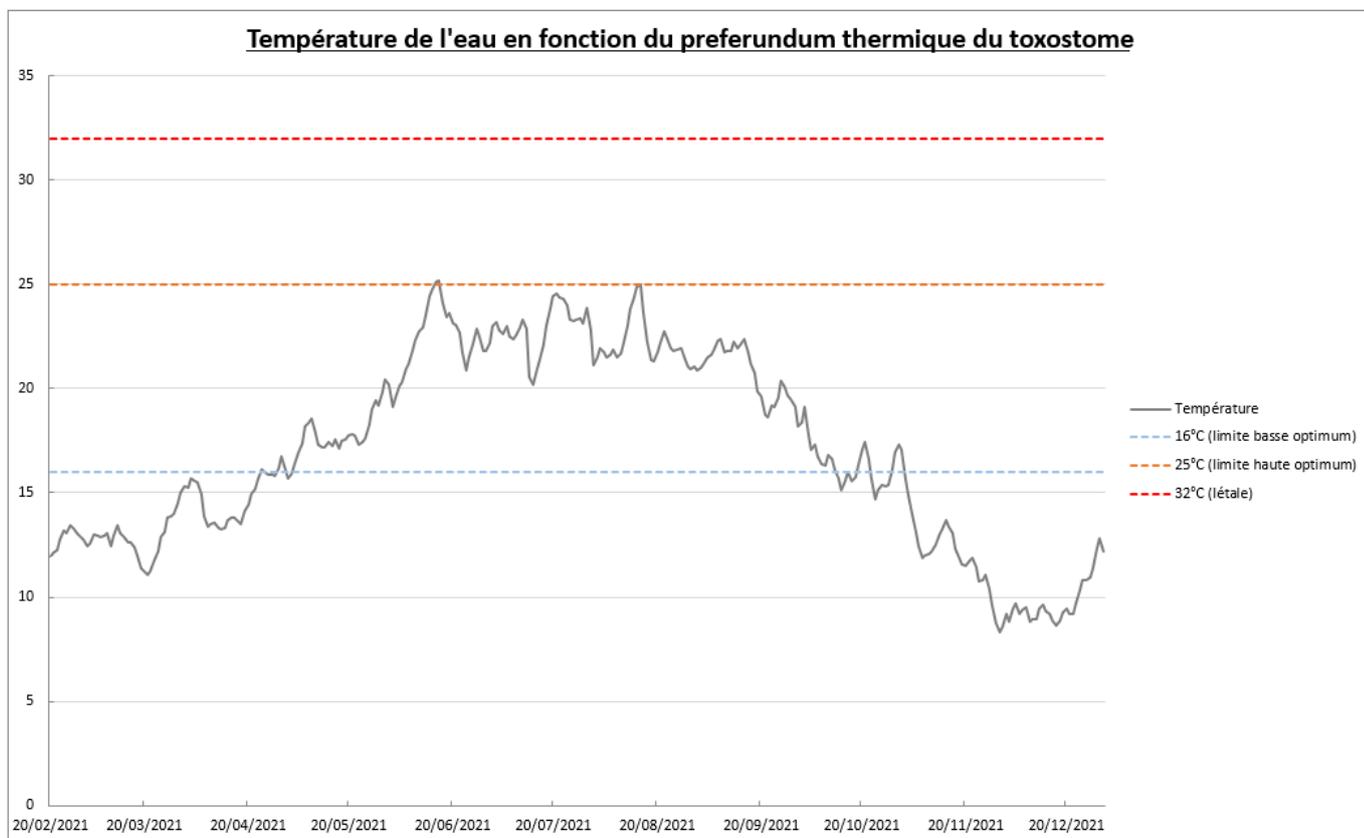


Figure 9: Graphique de la température de l'eau de l'Orbieu au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique du Toxostome

Durant l'été 2021 (Juin à Septembre 2021), la température de l'eau est optimale pour le Toxostome 99 % du temps. Ces relevés indiquent une gamme de température totalement adaptée au développement et au maintien de cette espèce repère. En effet la température du cours d'eau ne dépasse pas les 25°C hormis au cours de deux jours sur l'ensemble de la période estivale.

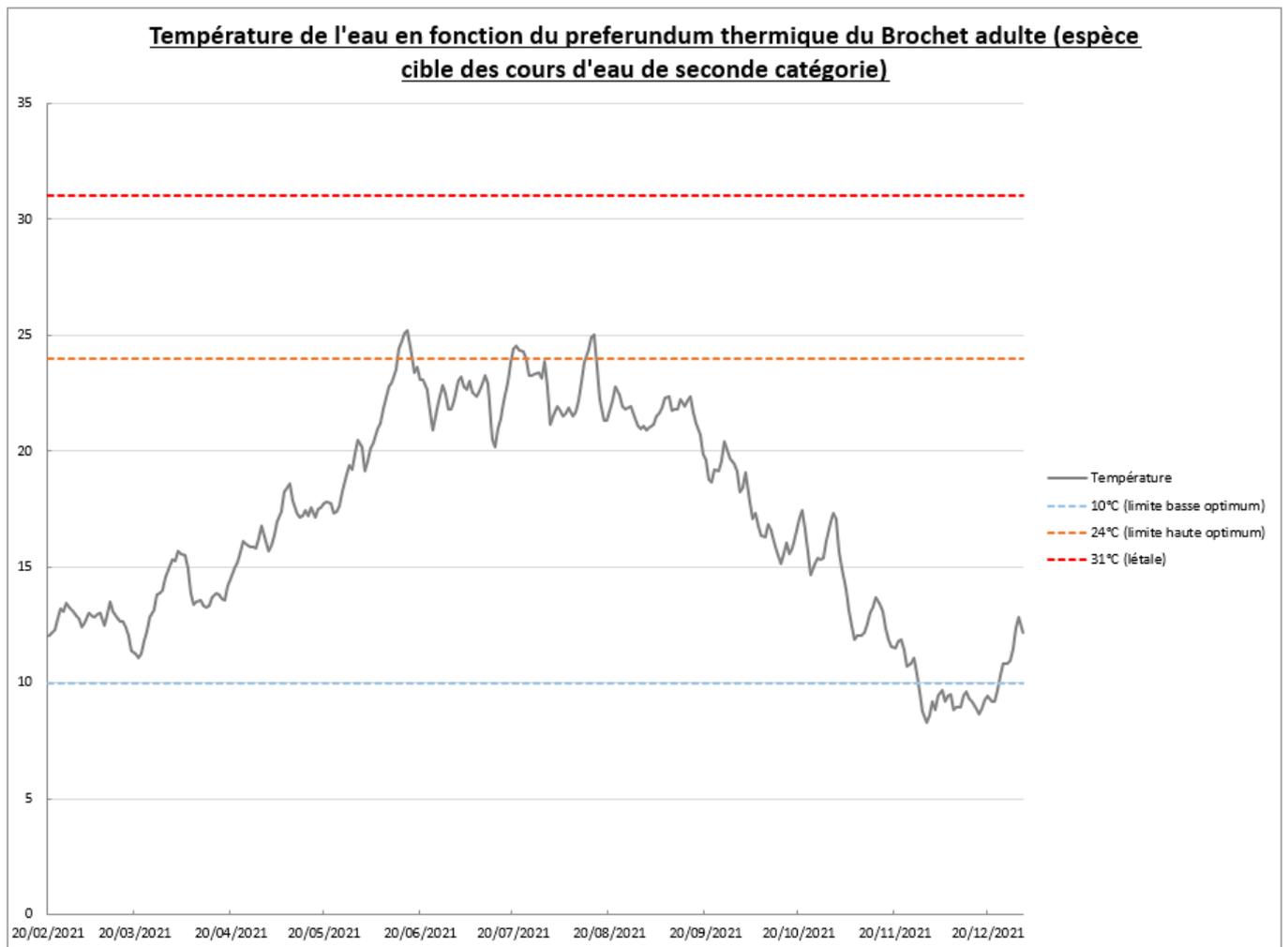


Figure 10 : Graphique de la température de l'eau de l'Orbieu au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique du Brochet

Durant l'étiage 2021 (Juin à Septembre 2021), la température de l'eau n'est pas particulièrement adaptée à l'espèce du Brochet. En effet au cours de la période d'étiage la température dépasse pendant plus de 12 jours la valeur haute de l'optimum thermique de cette espèce à savoir 24°C. On reste toute de même très loin de la température létale de 31°C avec un maximum enregistré à 26.5°C le 16 Juin.

2.3 Variations thermiques à l'échelle du Bassin Versant :

La comparaison des données thermiques de la sonde amont et aval fait apparaitre une concordance des courbes de données permettant d'écarter tout dysfonctionnement d'une des deux sondes au cours de la période étudiée.

Concernant les plages de températures on observe un delta moyen de l'ordre de 2.83°C sur la période étudiée pour une inter distance de l'ordre de 78km. Un écart de température qui se maintient tout au long de l'année entre l'amont et l'aval. Les amplitudes journalières sont légèrement plus importantes à l'amont du cours d'eau et sont cohérentes entre l'amont et l'aval.

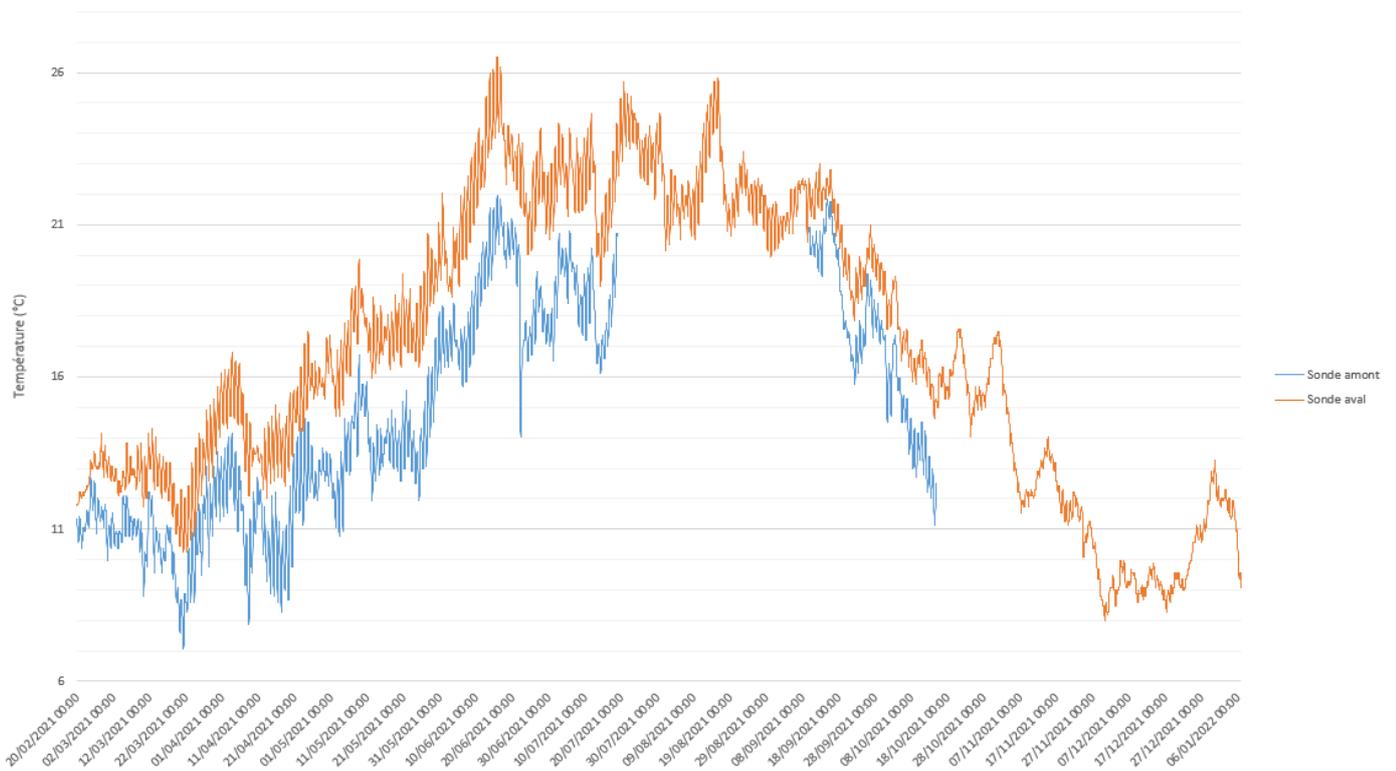


Figure 11 : Comparaison de l'évolution thermique entre les sondes de l'amont et de l'aval du bassin versant de l'Orbieu de Février à Octobre 2021

L'élévation globale des températures durant la première quinzaine de juin témoigne de l'amorce de la période estivale 2021. Bien que la sonde amont ait dysfonctionné au cours de la saison estivale engendrant une perte de donnée entre fin juillet et le début septembre, il semblerait que le maxima de température obtenu sur l'Orbieu en 2022 soit survenu courant juin. Sur la station amont le 12 Juin 2021 a été enregistrée la température maximale avec 21.2°C et sur la partie aval il s'agit d'une température de 26.5°C enregistrée le 16 Juin 2021.

Les enregistrements thermiques de la station amont témoignent de conditions thermiques particulièrement défavorables à l'espèce Truite Fario avec un dépassement quasi généralisé à l'ensemble de la période estivale de la limite haute de l'optimum thermique de l'espèce (18°C). Par contre ces températures sont parfaitement adaptées aux barbeaux méridionaux.

La station aval enregistre à plusieurs reprises durant l'été des températures supérieures à 24°C correspondant à la limite haute de l'optimum thermique du brochet. Les conditions ne sont donc pas des plus favorables pour cette espèce. Concernant le Toxostome la plage de température durant l'été est satisfaisante avec des températures qui ne grimpent pas au-dessus des 25°C hormis pour la journée du 16 juin. Pour autant concernant les périodes précédant et suivant la période estivale les températures descendent en dessous de la limite basse de l'optimum thermique du Toxostome (16°C) de façon prolongée pendant plusieurs mois.

Sonde amont	2021	Variables	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Année
		T°C moy	11,4	10,6	11,7	14,0	18,5	19,2	19,6	19,4	14,3	15,9
		T°C insta min	10,0	7,1	7,9	10,7	14,0	16,1	17,4	15,8	11,1	7,1
		T°C insta max	12,7	13,6	14,6	18,3	22,0	23,0	21,7	22,4	17,4	23,0
		Ampli insta	2,7	6,5	6,7	7,6	7,9	6,9	4,3	6,7	6,2	15,9
		T°C jour min	10,8	8,0	9,5	11,9	16,5	16,7	17,8	16,5	11,9	8,0
		T°C jour max	12,2	12,5	13,2	17,2	21,2	22,1	21,1	22,2	17,1	22,2
		Ampli jour max	1,6	3,0	3,7	3,7	5,4	2,9	2,0	2,4	2,3	5,4
		Nb jours	9	31	30	31	30	31	31	30	14	237

Figure 12 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde amont sur l'Orbieu en 2021

Sonde aval	2021	Variables	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
		T°C moy	12,8	12,8	14,7	17,7	22,3	22,9	22,2	20,8	16,4	12,2	9,8	17,0
		T°C insta min	11,7	10,3	12,0	14,7	18,6	19,0	19,9	17,9	14,0	8,0	8,2	8,0
		T°C insta max	14,1	16,1	17,5	22,0	26,5	25,7	25,8	23,0	19,3	17,5	13,3	26,5
		Ampli insta	2,4	5,9	5,5	7,3	7,9	6,7	5,9	5,1	5,2	9,5	5,1	18,5
		T°C jour min	12,0	11,1	13,2	15,7	19,1	20,2	20,9	18,6	14,7	8,3	8,6	8,3
		T°C jour max	13,4	15,0	16,8	20,5	25,2	24,6	25,0	22,4	19,1	17,1	12,8	25,2
		Ampli jour max	1,1	2,9	2,9	3,3	3,0	2,9	2,6	2,1	1,5	1,6	1,1	3,3
		Nb jours	9	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	315

Figure 13 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde aval sur l'Orbieu en 2021

3. Discussions :

L'étude thermique du bassin versant de l'Orbieu est porteuse de nombreuses informations et apporte de nombreux indices pouvant alimenter une réflexion globale. Dans un premier temps, elle permet d'alimenter une réflexion globale sur la dynamique des populations recensées à l'échelle de ce bassin versant. Bien que l'étude ne se soit portée que sur le seul cours de l'Orbieu, elle permet de mettre en évidence un gradient de température amont aval particulièrement significatif avec pas moins de 2.83°C de delta moyen sur la période étudiée. Cet écart significatif peut très bien être amplifié par les nombreux obstacles à l'écoulement.

Concernant le compartiment biologique il apparait clairement que la sonde amont située en plein secteur salmonicole témoigne de conditions thermiques particulièrement défavorables au maintien de l'espèce de la Truite Fario. En effet sur la très grande majorité de la période estivale les températures dépassent quasi systématiquement les 18°C, considérés comme la limite haute de l'optimum thermique de la Truite. Bien que la donnée soit tronquée il y a fort à parier que cette tendance se profile jusqu'au milieu de l'arôme ??? occasionnant de nombreux mois avec des températures inadaptées à la biologie de l'espèce. Pour autant ces gammes de températures sont parfaitement adaptées à la biologie du Barbeau Méridional. Ces résultats sont d'autant plus étayés par des pêches électriques sur ce secteur qui témoignent de l'abondance du Barbeau Méridional avec des classes de densité comprises entre 4 et 5 et d'une faible proportion de Truites Fario avec des classes de densité de 1 à 2.

La thermie de la sonde aval, quant à elle, témoigne de conditions thermiques favorables au développement du brochet. Bien que la température dépasse de façon occasionnelle la limite haute de l'optimum thermique de l'espèce (24°C), les températures supérieures ont 24°C sont rares et courtes dans le temps, de plus les températures maximales restent très éloignées de la température létale pour l'espèce à savoir 31°C. Ces conditions ne sont donc pas optimales pour l'espèce du Brochet mais restent tout du moins très acceptables. Concernant la biologie du Toxostome la période estivale n'est pas du tout problématique puisque les gammes de température enregistrées durant cette période correspondent à l'optimum thermique de l'espèce. Pour autant les températures enregistrées durant l'hiver et le printemps sont bien en dessous de la limite basse de l'optimum thermique de l'espèce à savoir 16°C. De plus, tout au long de cette période la température ne remonte jamais au-dessus des 16°C. Il s'agit donc de conditions assez défavorables au maintien de l'espèce.

L'ensemble de ces éléments sont de surcroît étayés par des résultats de pêche électrique au niveau du contexte aval du bassin versant de l'Orbieu. Sur l'ensemble des pêches effectués sur ce secteur aucun Brochet n'a été recensé depuis plus de 10 ans témoignant de la précarité de sa population sur l'Orbieu. Concernant le Toxostome il est retrouvé sur la quasi-totalité des pêches avec des effectifs variables mais généralement des densités qualifiées de faible.

L'étude thermique du bassin versant de l'Orbieu permet donc de mettre en évidence un impact significatif de la gestion locale de la ressource en eau notamment vis-à-vis du gradient de température amont/aval observée sur le cours d'eau. Elle permet également d'expliquer le déclin des Truites Fario sur le secteur amont avec des conditions thermiques défavorables pour cette espèce. Les températures enregistrées à l'aval témoignent également de conditions peu favorables aux deux espèces repères du secteur aval à savoir le Brochet et le Toxostome et peuvent expliquer les faibles densités de population de ces espèces relatées au travers d'inventaires piscicoles.

Synthèse des éléments bibliographiques :

- Agence française pour la biodiversité – AFB, Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique - Expertise scientifique collective, Novembre 2017, 199 p
- CSP (DR8), Mars 2006. Indice Poisson Rivière (I.P.R).
- CSP 11, 1981, Schéma Départemental à vocation Piscicole 11.
- De Lury (1951). On the planning of experiments for the estimation of fish population. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 18, pp 281-307.
- Elie P. et Girard P., 2014, La santé des poissons sauvages: les codes pathologiques, un outil d'évaluation. Edit. Association Santé Poissons Sauvages ; 286 p.
- FDAAPPMA 11, Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (P.D.P.G.) du département de l'Aude (Février 2019).
- FDAAPPMA 11, Évaluation de l'impact des crues exceptionnelles d'Octobre 2018 sur les populations piscicoles, Février 2020.
- FDAAPPMA 30 (Octobre 2019) Réseau de suivi thermique de la Fédération de Pêche du Gard (30) Résultats et interprétation du suivi des températures pour l'année 2019, 187 p.
- FDAAPPMA 37 (Septembre 2011), ETUDE DE LA QUALITE THERMIQUE DES COURS D'EAU DE SIX BASSINS VERSANTS D'INDRE-ET-LOIRE, données 2009-2010, 95 p.
- FDAAPPMA 46 (Décembre 2011) ; ETUDE DE L'INFLUENCE THERMIQUE ET PISCICOLE DE SIX PLANS D'EAU SUR LES RUISSEAUX TRIBUTAIRES, suivis thermiques 2011 ; 73 p.
- KEITH P., PERSAT H., FEUNTEUN E., ALLARDI J., 2011. Les poissons d'eau douce de France.
- Mistarz M., 2018. Guide méthodologique pour la surveillance des habitats d'eau courante d'intérêt communautaire en vue du rapportage 2018 (Art. 17 DHFF). Rapport Patrinat 2018-2. UMS Patrimoine naturel - AFB/MNHN/CNRS. 61p.
- Nelva A., Pattee E., Perrin J. F., Persat H., Roux A. L. (1981) Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. 25. Premières observations sur les populations piscicoles dans le secteur de Brégnier-Cordon. Verh. Internat. Verein. Limnol. 21. 1276-1282.
- Pont D., Delaigue O., Belliard J., Marzin A., Logez M. (2013) Programme IPR+. Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE. IRSTEA, 208p.
- Roland-Meynard M. et al., 2019. Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau. Agence française pour la biodiversité. Collection Guides et protocoles ; 190 pages.
- Raymond, J. & Degiorgi, F. (2000). Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité des cours d'eau : Guide technique.
- TISSOT, SOUCHON, Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen ; 2011.
- Verneaux J (1977b), Biotypologie de l'écosystème "eaux courantes". Déterminisme approchée de l'appartenance typologique d'un peuplement ichtyologique.

(Salmo trutta L.) ; Source : FDAAPPMA 30.

- **Stade oeuf**

Pour les oeufs, la température optimale est comprise entre 2 et 6°C (Vemidub 1963 et Kokurewicz 1971 in Alabaster & Lloyd 1980), et les températures létales extrêmes sont de moins de 0°C et de 15-16°C (Junwirth & Winkler 1984 et Humpesch 1985 in Crisp 1989). Par sécurité, nous retiendrons donc 15°C en température extrême létale.

- **Stade alevins vésiculés**

Afin de connaître l'influence de la température, une analyse en confrontant les densités d'alevins aux températures maximales observées peut être réalisée (Gouraud et al. 2014). Selon Humpesch (1985) et Raleigh et al. (1986), ils considèrent que les températures doivent être comprises entre 1,5°C et 15°C. D'autres auteurs considèrent des températures limites pour la survie des alevins entre 4 et 10° C d'après Huet (1962) et entre 2 et 10,5° C d'après Baglinière et al. (1979). Une moyenne des températures suggérée par les 3 auteurs sera retenue : températures favorables entre 2,5 et 11.8°C.

- **Juvéniles**

La température a un effet direct sur la survie et la taille de l'alevin à l'éclosion et sur la croissance du juvénile lors de sa première saison de croissance (Baglinière & Maisse 1990). Les travaux de Spaas (1958), Bishai (1960), Frost & Brown (1967), Gardside (1973), Elliott (1981) ont permis de distinguer 3 plages de température : une plage optimale (4–19°C), une plage critique pour les faibles températures (0–4°C) et une plage critique pour les fortes températures (19–30°C).

Le seuil de 7°C en dessous duquel la croissance n'est pas effective est à retenir. De plus, des températures trop basses (< 4,5°C) inhibent les déplacements des alevins (Raleigh 1971 in Ottaway & Clarke 1981) et atténuent leurs comportements agressifs.

- **Adultes (>1+)**

Globalement, en milieu naturel, les températures optimales se situent dans une gamme comprise entre 7 et 19° C pour Frost et Brown (1967) et entre 7 et 17° C pour Mills (1971). Les températures supérieures à 19-20°C sont néfastes pour les truites fario. En effet, une suite de jours chauds (supérieurs à 19-20°C) peut compromettre la reproduction (Alabaster & Lloyd 1980, Baldwin 1957, Crisp 1996, Elliott 1975, 1981, 1984, 1994, Elliott & Hurley 2001, Hoar 1942, Varley 1967). La limite supérieure dite létale ou sub-létale pour les juvéniles et les adultes est de 25°C. Les populations se voient alors fortement impactées. (Charlon 1962). A l'inverse, lorsque la température de l'eau descend en deçà d'un certain seuil, les truites gagnent un abri hivernal, dans des milieux plus lents et profonds, avec une couverture du lit (Chapman & Bjornn 1969, Bjornn 1971, Cunjak & Power 1986). Lorsque les eaux restent au-delà de 7°C, de tels phénomènes ne semblent pas exister (Allen 1969).

Nous retiendrons donc une température optimale entre 7 et 18°C et une température critique pour la survie des truites au-delà de 25°C.

Le frai des truites a lieu en hiver pour des températures comprises entre 4 et 10° C d'après Huet (1962) et entre 2 et 10,5° C d'après Baglinière et al. (1979). Des valeurs en dessous de ces températures peuvent donc entraîner des risques d'échec dans la reproduction.

Nous retiendrons des températures favorables à la reproduction entre 3 et 10°C.