

ÉTUDE DE LA QUALITÉ THERMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA CLAMOUX

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°20966972) :	6
2.2 Enregistrements thermiques de la Sonde Aval (n°20966976) :	7
2.3 Variations thermiques à l'échelle du Bassin Versant :	10
3. Discussions :.....	11
Synthèse des éléments bibliographiques :.....	13

Liste des Figures :

Figure 1 : Profil altimétrique de la Clamoux.....	4
Figure 2: Contexte piscicole de la Clamoux.....	4
Figure 3 : Secteur d'implantation de la sonde amont sur le Clamoux	6
Figure 4 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966972.....	6
Figure 5 : Graphique de la température de l'eau de la Clamoux au niveau de la sonde amont en fonction du préférendum thermique de la truite fario	7
Figure 6: Secteur d'implantation de la sonde aval sur le Clamoux	8
Figure 7 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966976.....	8
Figure 8 : Graphique de la température de l'eau de la Clamoux au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique de la truite fario	9
Figure 9 : Comparaison de l'évolution thermique entre les sondes de l'amont et de l'aval du bassin versant de la Clamoux de Février à	10
.....	10
Figure 10 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde amont sur la Clamoux en 2021.....	11
Figure 11: Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde aval sur la Clamoux en 2021.....	11

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 associée 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 la Clamoux a été évalué comme très perturbé par le PDPG 11 du fait des fortes pressions exercées sur la ressource en eau mais aussi de l'importante fragmentation de son continuum. Le peuplement piscicole de ce cours d'eau est dominé par la Truite Fario (espèce repère). Cette dernière est accompagnée par deux cyprinidés rhéophiles : le Barbeau Méridional et le Vairon.

La présente étude a pour objectif d'acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement hydrologique complexe de la Clamoux qui alterne en période d'étiage avec d'important linéaires en assec et des secteurs continuellement en eau alimentés par des résurgences. 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.

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

La Clamoux est un sous-affluent de l'Aude via l'Orbiel d'une longueur de 21.9km, il prend sa source à Castans à environ 1160m d'altitude. Sur le périmètre du contexte piscicole salmonicole « Clamoux », la pente moyenne est de 45‰.

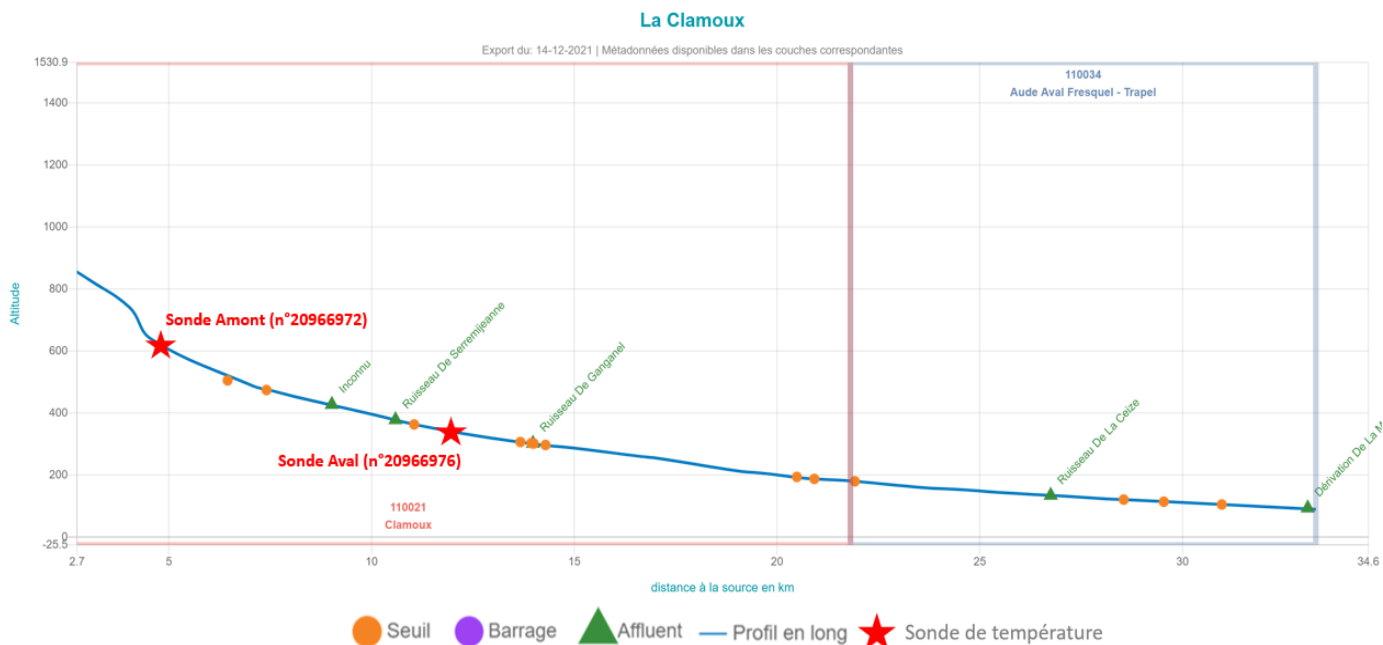


Figure 1 : Profil altimétrique de la Clamoux

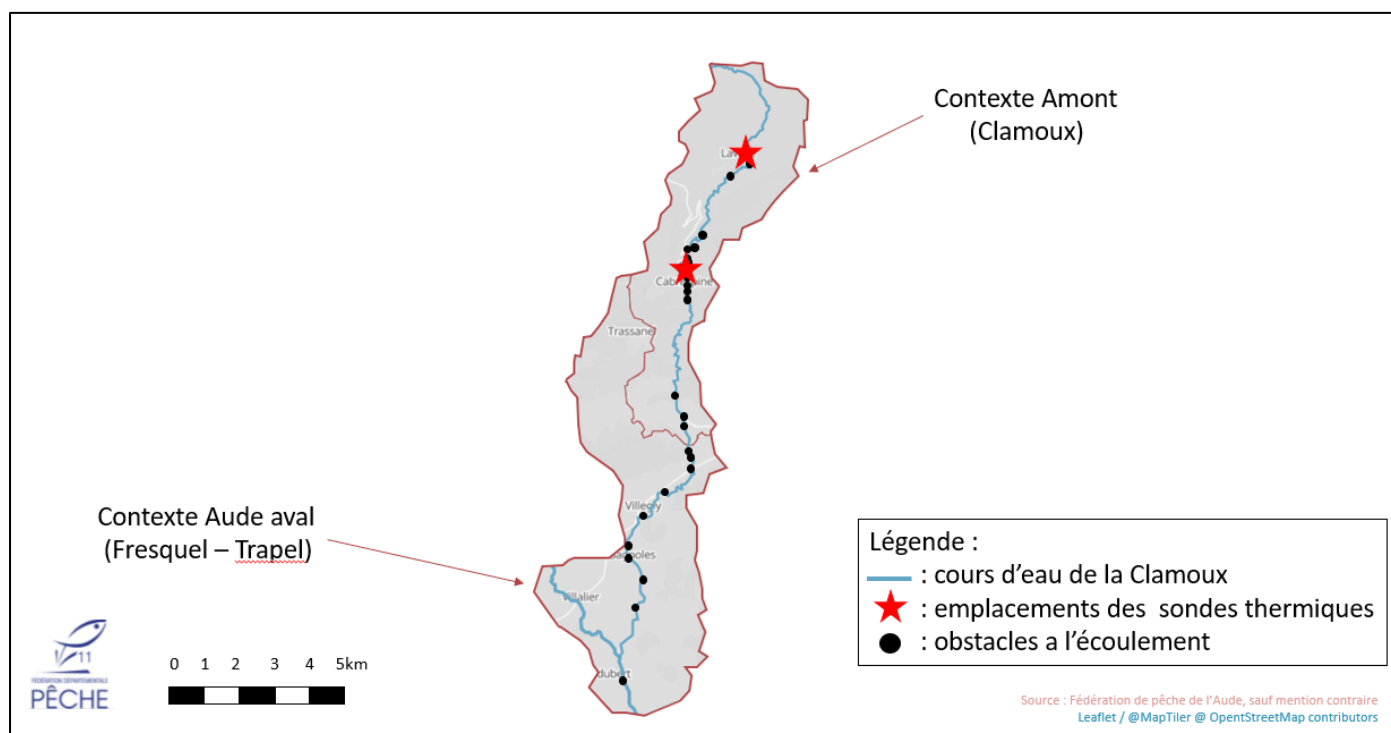


Figure 2: Contexte piscicole de la Clamoux

La géologie du contexte est constituée de schistes et de marnes argilo-calcaires, ses caractéristiques hydromorphologiques (fortes pentes, concentration des écoulements) influencent fortement le régime hydrologique de la Clamoux. Cela se traduit par des étiages très marqués en période estivale (pertes karstiques de Cabrespine à Villeneuve Minervois) et des crues violentes liées le plus souvent à des orages. Par ailleurs, la présence de deux tronçons court-circuités sur la partie amont de courts d'eau 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 la Clamoux présentant les principaux enjeux piscicoles :

- La sonde amont n°20966972 (commune de Lafargue) constituera la station de référence dans une section préservée des pressions anthropiques au sein d'un milieu forestier à environ 2km en amont du premier obstacle à l'écoulement.
- La sonde aval n°20966976 (commune de Cabrespine), située environ 7km en dessous de la sonde amont doit mesurer les effets des tronçons court-circuités de la centrale de Cabrespine (2.742 km) et de la centrale du moulin de Bru (0.239km).

1.2 Matériel et Protocole de mise en place :

Sur ce contexte les sondes ont été mises en place le 1^{er} février 2021 et retirées le 13 novembre 2021. L'étude en question permettra donc d'étudier la thermie depuis le début du printemps jusqu'à l'automne 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 mi-Juin 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°20966972) :

La sonde amont a été implantée sur le haut bassin de la Clamoux à environ 4.7 km de sa source, à proximité du village de Lafargue soit environ 2km en amont du premier obstacle à l'écoulement dans un contexte dominés par des forêts de feuillus quasiment exempt 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 l'espèce repère est la Truite Fario pour autant il n'existe pas de données sur le peuplement piscicole.

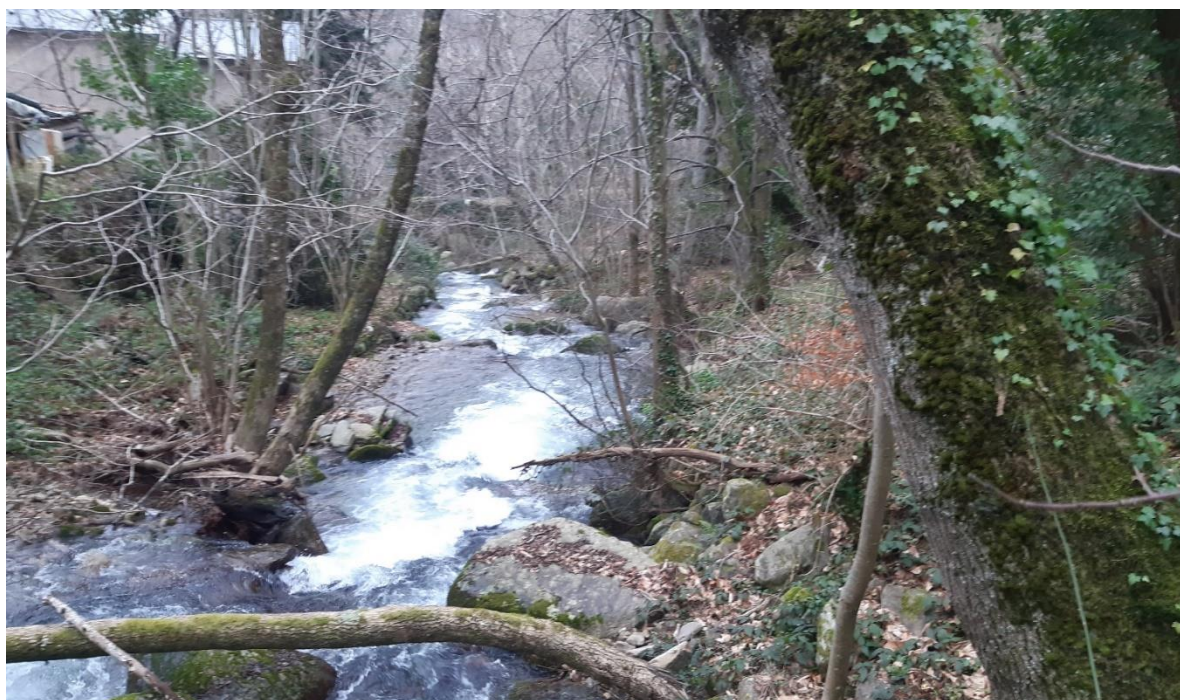


Figure 3 : Secteur d'implantation de la sonde amont sur le Clamoux

Fiche station étude thermi thibaut.				
2021	Date début suivi	02/02/2021	Température moyenne de la période étudiée	11,4
	Date fin suivi	12/10/2021		
	Durée (en j)	253		
	Températures élevées	T°C instantanée maximale		18,4
		T°C moy jour max		18
		Date T°C maxi journalière		15/08/2021
		T°C des 30 jours les plus chauds		15,5
		Date T°C 30 jours les plus chauds		18/07/2021
	Températures faibles	T°C instantanée minimale		3,7
		T°C moy jour min		4,7
Date T°C min journalière			20/03/2021	
Amplitudes thermiques	Amplitude thermique globale maximale		14,7	
	Amplitude thermique journalière maximale		4	

Figure 4 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966972

Sur la période considérée, la température moyenne de la Clamoux au niveau de la station amont est de 11.4°C. La température a atteint au maximum 18.4°C le 15/08/2021 pour une température moyenne journalière de 18°C. L'amplitude thermique journalière maximale sur la période étudiée est de 4°C. Enfin, la température des 30 jours les plus chauds est de 15.5°C à partir du 18 juillet 2021.

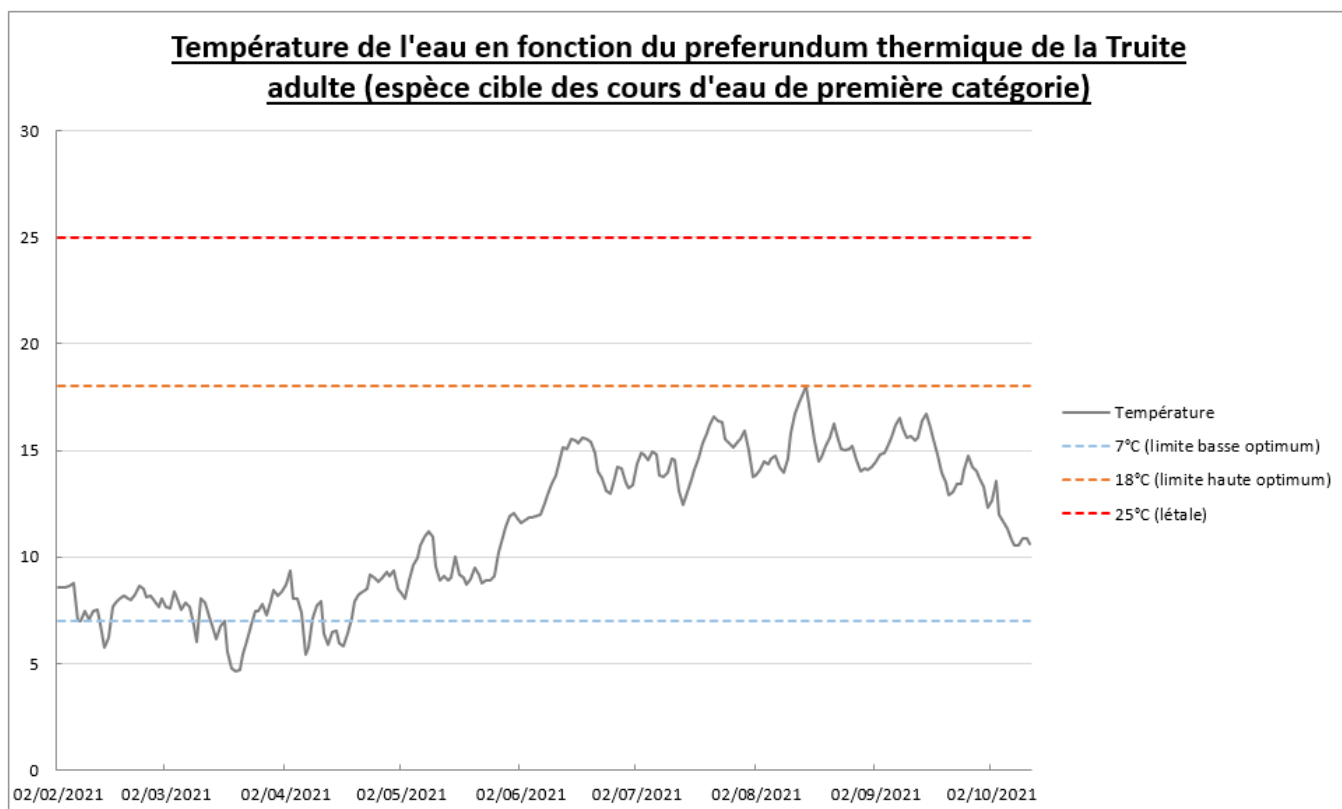


Figure 5 : Graphique de la température de l'eau de la Clamoux au niveau de la sonde amont en fonction du préférendum thermique de la truite fario

Durant l'étiage 2021, la température de l'eau est optimale pour la Truite Fario 100 % du temps. Ces relevés indiquent une gamme de température tout à fait adaptée au développement et au maintien de la l'espèce repère.

2.2 Enregistrements thermiques de la Sonde Aval (n°20966976) :

La sonde aval a été implantée sur la commune de Cabrespine au niveau du hameau de Laval en rive droite, sur un système racinaire, sur un tronçon majoritairement composé de roche mère fortement incisée assurant une profondeur d'eau et donc une immersion tout au long de l'année. Sur ce tronçon, le cours d'eau dispose d'un bel espace de divagation avec une ripisylve relativement dense.

Les données piscicoles disponibles pour ce secteur indiquent un peuplement piscicole relevant du domaine intermédiaire. Le peuplement piscicole est structuré autour de trois espèces : la Truite Fario, le Barbeau Méridional et le Vairon. Le peuplement est estimé comme très perturbé. En effet le cortège spécifique est bon, cependant la densité piscicole est très faible et fluctue fortement en fonction des conditions hydrologiques. Ces dernières années, la Clamoux a connu des assècs répétés, ce qui explique les faibles densités piscicoles sur le contexte.



Figure 6: Secteur d'implantation de la sonde aval sur le Clamoux

Fiche station étude thermie thibaut.				
2021	Date début suivi	02/02/2021	Température moyenne de la période étudiée	13,6
	Date fin suivi	12/10/2021		
	Durée (en j)	253		
	Températures élevées	T°C instantanée maximale		23,2
		T°C moy jour max		20,8
		Date T°C maxi journalière		15/08/2021
		T°C des 30 jours les plus chauds		18,4
		Date T°C 30 jours les plus chauds		18/07/2021
	Températures faibles	T°C instantanée minimale		6,8
		T°C moy jour min		7,2
Date T°C min journalière			21/03/2021	
Amplitudes thermiques	Amplitude thermique globale maximale		16,4	
	Amplitude thermique journalière maximale		4,4	

Figure 7 : Tableau récapitulatif des données thermiques de la sonde n°20966976

Sur la période considérée, la température moyenne de la Clamoux au niveau de la station aval est de 13.6°C. La température a atteint au maximum 23.2°C le 15/08/2021 pour une température moyenne journalière de 20.8°C. L'amplitude thermique journalière maximale sur la période étudiée est de 4.4°C. Enfin, la température des 30 jours les plus chauds est de 18.4°C à partir du 18 juillet 2021.

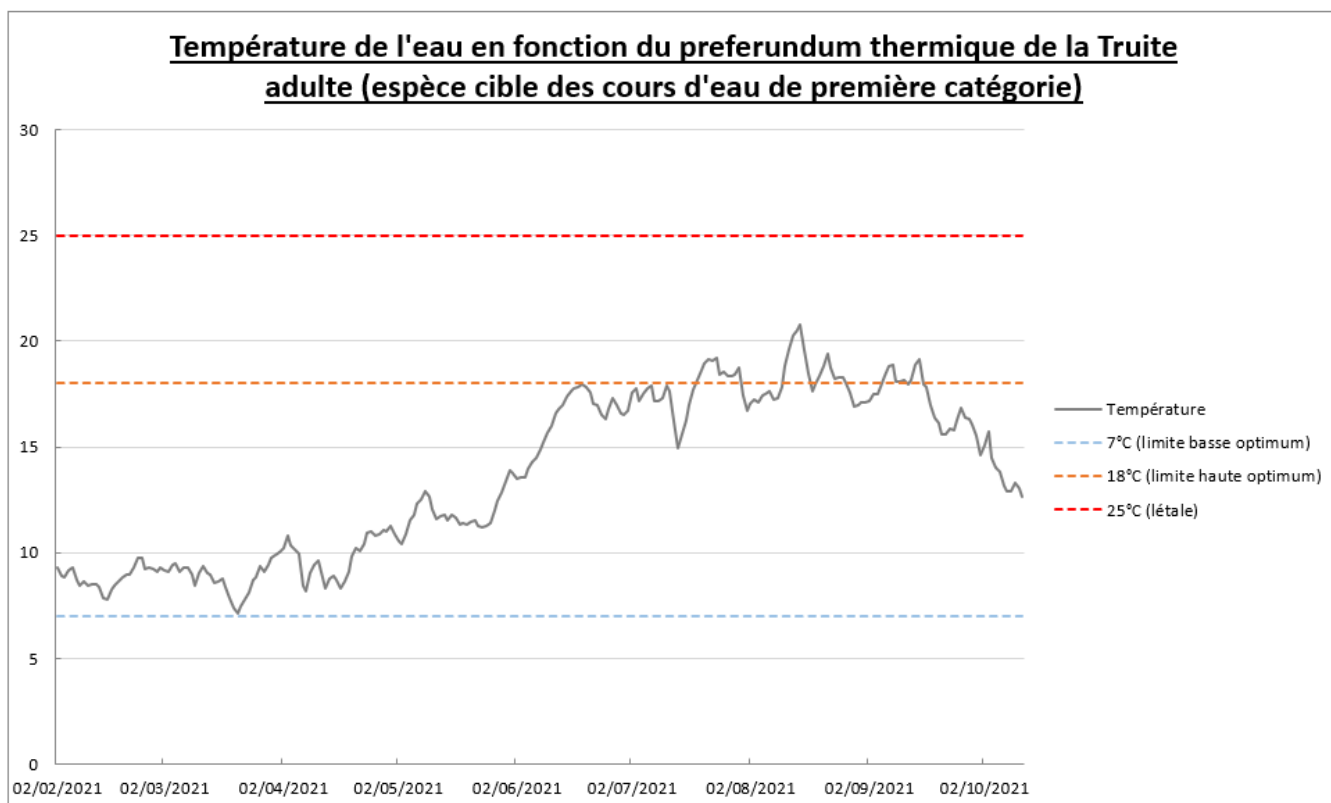


Figure 8 : Graphique de la température de l'eau de la Clamoux au niveau de la sonde aval en fonction du préférendum thermique de la truite fario

Durant l'étiage 2021 (Juin à Septembre 2021), la température de l'eau est optimale pour la Truite Fario 70.5 % du temps. Ces relevés indiquent une gamme de température faiblement adaptée au développement et au maintien de la l'espèce repère. En effet à hauteur de plus de 30% du temps considéré (36 jours sur la période de Juin à Septembre inclus) la Truite Fario est confrontée à une température dépassant les 18°C. Le dépassement de cette valeur-seuil amène donc cette espèce à sortir de son préférendum thermique et occasionne donc une source de stress importante, bien que la température n'atteigne jamais la valeur létale des 25°C.

2.3 Variations thermiques à l'échelle du Bassin Versant :

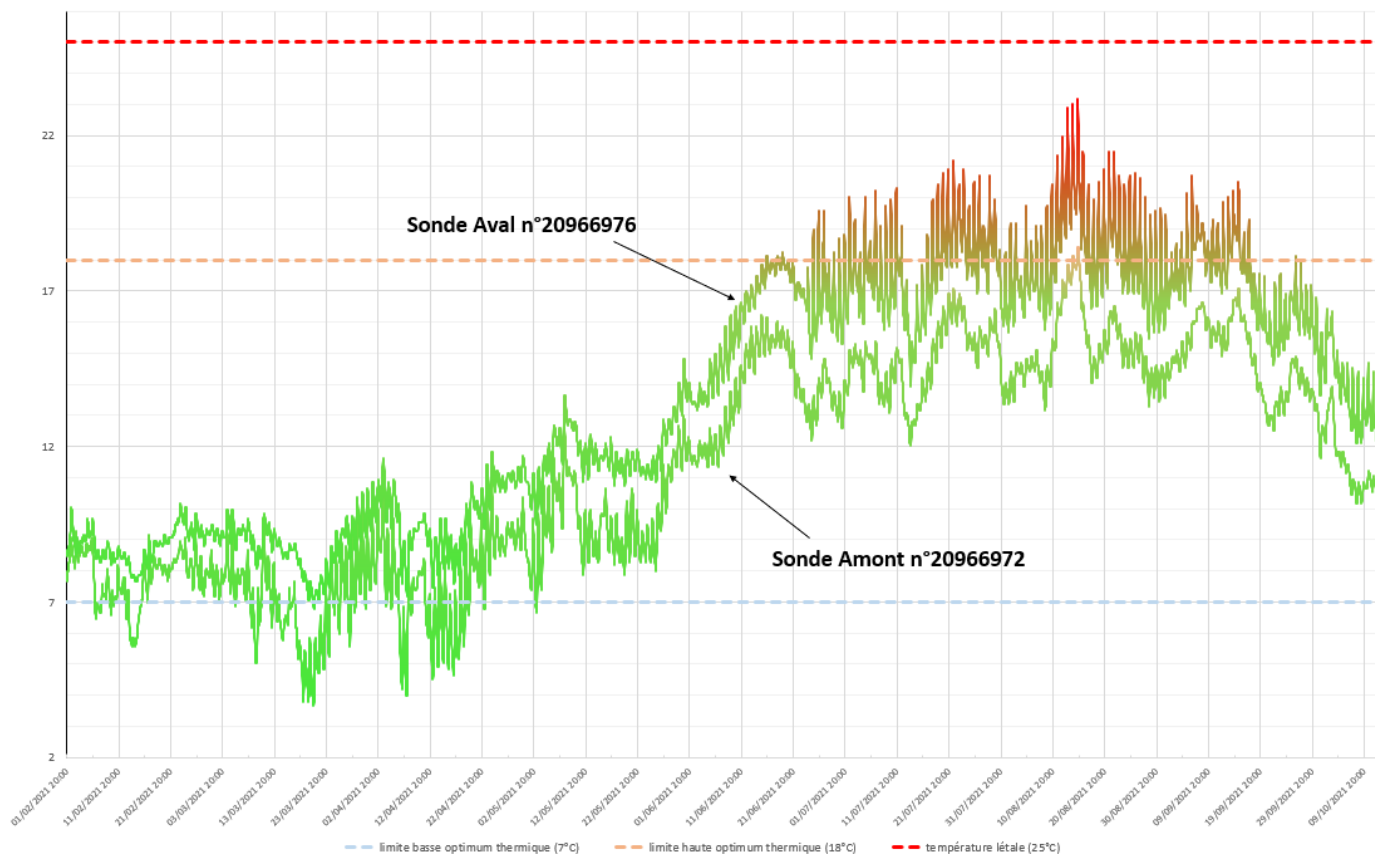


Figure 9 : Comparaison de l'évolution thermique entre les sondes de l'amont et de l'aval du bassin versant de la Clamoux de Février à Octobre 2021

La comparaison des données thermiques de la sonde amont et aval fait apparaître une concordance des courbes de données permettant d'écartier 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 2.26°C sur la période étudiée pour une inter distance de l'ordre de 7.3km. Cet écart de température est d'autant plus visible sur la période estivale où l'on voit très distinctement l'écart entre les deux courbes qui s'intensifie avec un delta moyen de 2.72°C. L'amplitude journalière s'inverse également au cours du passage à la période estivale. En effet durant les mois de Février à Mai l'amplitude thermique journalière du cours d'eau est plus importante à l'amont, phénomène qui s'inverse à partir de Juin et ce jusqu'à la fin de la période d'enregistrement.

L'élévation globale des températures durant la première quinzaine de Juin témoigne de l'amorce de la période estivale 2021. Durant cette saison, pour les deux stations le maxima de température est observé le 18 Août 2021 avec des températures respectives de l'ordre de 23.2°C à l'aval et 18.4°C à l'amont.

La station amont n'enregistre donc pas de température supérieure à 18°C sauf pour la seule journée du 18 Août. Sur ce secteur la limite haute du préférendum thermique de la Truite Fario n'est donc jamais atteinte (100% des températures moyennes journalières < 18°C). À contrario durant la période s'étalant de début Mars à fin Avril, les températures descendent en dessous des 7°C correspondant à la limite basse de l'optimum thermique de la Truite Fario.

La station aval, elle, enregistre des températures supérieures à 18°C, en effet durant une bonne partie de la période d'étiage la température monte au-dessus de 18°C pour une moyenne de 17.3°C. À contrario sur cette station la limite basse de l'optimum thermique de la Truite n'est franchie qu'une seule fois le 21 mars avec une température minimale de 6.7°C.

Sonde amont	2021	Variables	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Année
		T°C moy	7,8	7,0	7,7	9,6	13,7	14,8	15,1	14,8	11,5	11,4
		T°C insta min	5,6	3,7	4,0	6,7	11,3	12,0	13,2	12,5	10,2	3,7
		T°C insta max	9,3	10,2	11,0	13,0	16,2	17,1	18,4	17,1	13,9	18,4
		Ampli insta	3,7	6,5	7,0	6,3	4,9	5,1	5,3	4,6	3,8	14,7
		T°C jour min	5,7	4,7	5,4	8,1	11,6	12,4	13,7	12,9	10,5	4,7
		T°C jour max	8,8	8,4	9,4	12,0	15,6	16,5	18,0	16,7	13,6	18,0
		Ampli jour max	2,2	3,8	4,0	3,5	1,6	1,7	1,8	1,3	1,2	4,0
		Nb jours	27	31	30	31	30	31	31	30	12	253

Figure 11 : Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde amont sur la Clamoux en 2021

Sonde aval	2021	Variables	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Année
		T°C moy	8,8	8,8	9,8	11,8	16,1	17,7	18,2	17,2	13,8	13,6
		T°C insta min	7,7	6,8	7,2	9,5	13,2	13,9	15,5	14,6	12,1	6,8
		T°C insta max	10,2	10,7	11,8	14,8	19,6	21,2	23,2	20,7	16,4	23,2
		Ampli insta	2,5	3,9	4,6	5,3	6,4	7,2	7,7	6,1	4,3	16,4
		T°C jour min	7,8	7,2	8,2	10,4	13,5	14,9	16,7	15,6	12,7	7,2
		T°C jour max	9,8	9,9	11,2	13,9	17,9	19,2	20,8	19,1	15,7	20,8
		Ampli jour max	1,6	1,7	2,1	2,2	4,2	4,1	4,4	3,7	2,4	4,4
		Nb jours	27	31	30	31	30	31	31	30	12	253

Figure 10: Tableau récapitulatif des variations thermiques mensuelles enregistrées par la sonde aval sur la Clamoux en 2021

3. Discussions :

L'étude thermique du bassin versant de la Clamoux est porteuse de nombreuses informations et apporte de nombreux indices pouvant alimenter une réflexion globale. Dans un premier temps, elle tend à confirmer l'impact thermique de l'aménagement du cours d'eau notamment vis-à-vis de deux tronçons court-circuités de la centrale de Cabrespine (2.742 km) et de la centrale du moulin de Bru (0.239km). En effet la comparaison des données thermiques permet de mettre en évidence une variation thermique significative.

Un premier point qui peut attirer notre attention est l'étude des amplitudes journalières maximales. Pour les mois de Février à Mai, les amplitudes journalières sont plus importantes sur la partie amont du bassin versant ce qui est expliquée par la présence d'un volume d'eau plus faible (station aval alimentée par deux affluents supplémentaires) donc de ce fait plus assujettie à être impactée par la température de l'air et par une situation géographique avec une altitude plus importante donc des températures locales plus basses. Cependant cette tendance s'inverse complètement à partir du mois de Juin, période à partir de laquelle les amplitudes journalières sont plus importantes sur la partie aval du bassin alors que seulement 7.3km séparent les deux stations. En effet durant la période de Juin à Septembre alors que les amplitudes journalières maximales de la station amont sont respectivement comprises entre 1.3°C et 1.8°C celles de la

station aval sont comprises entre 3.7°C et 4.4°C. Cette hausse significative des amplitudes maximales journalières témoigne donc de l'impact significatif des aménagements et de la gestion actuelle du cours d'eau.

Le deuxième point qui doit attirer notre attention est cette fois liée à une étude plus fine des températures locales notamment vis-à-vis de l'optimum thermique de l'espèce repère de la Clamoux à savoir la Truite Fario. L'étude thermique est particulièrement enrichissante sur ce volet puisqu'elle apporte certaines données permettant d'expliquer le déclin de cette espèce sur ce cours d'eau.

La thermie de la sonde située en amont témoigne d'un site particulièrement propice au développement de la truite. En effet durant la période estivale, la température ne dépasse jamais les 18°C considérés comme la limite haute du préférendum thermique de l'espèce. Et durant la période printanière, bien que les températures descendent en dessous de la limite basse de l'optimum thermique à savoir 7°C durant les mois de Mars et Avril, celles-ci ne descendent jamais en dessous des 4°C considérés comme problématiques pour les premiers stades (alevins vésiculés et juvéniles). Les conditions thermiques au droit de cette station sont donc optimales pour le développement de la Truite Fario.

La thermie de la sonde aval, quant à elle, témoigne de conditions thermiques non favorables au développement de la truite. En effet sur l'ensemble de la période étudiée, les températures ne descendent jamais en dessous de 6.8°C c'est-à-dire jamais bien en dessous de la limite basse du préférendum de l'espèce. Cette donnée peut amener une première question à savoir si le cours d'eau baisse suffisamment en température et sur une période suffisante durant la période hivernale afin de pouvoir activer le frai (températures idéales entre 3 et 10°C). En l'absence de données sur cette période aucun constat ne pourra être émis. Pour autant on peut s'intéresser à la période estivale qui est riche d'enseignements. En effet sur la période des mois de Juin à Septembre la température moyenne est de 17.3°C. La limite haute de l'optimum thermique de la Truite étant située à 18°C, les individus présents sur ce tronçon de cours d'eau sont donc constamment confrontés à des températures qui ne sont pas favorables à leur développement. De plus le 18 Août 2021 la température est montée localement à 23.2°C, un seuil qui se rapproche dangereusement du seuil léthal situé à 25°C que ce soit pour les représentants adultes comme pour les juvéniles.

L'ensemble de ces éléments sont de surcroît étayés par des résultats de pêche électrique au niveau du moulin de Laval à proximité de la station. Ce secteur a été pêché à deux reprises, une première fois en juillet 2012 avec comme résultat la capture de 8 Truites Fario, 33 Vairons et 91 Barbeaux Méridionaux et en septembre 2018 avec cette fois-ci la capture de seulement une Truite Fario, de 81 Vairons et de 43 Barbeaux Méridionaux.

L'étude thermique du haut du bassin versant de la Clamoux permet donc de mettre en évidence un impact significatif de la gestion locale de la ressource en eau notamment sur l'élévation locale de la température et des amplitudes journalières, un phénomène qui est d'ailleurs particulièrement amplifié au cours de la période estivale. Ces paramètres thermiques expliquent sans nul doute la précarité du maintien de l'espèce de la Truite Fario sur la partie aval de la Clamoux en raison de paramètres biologiques inadaptés au développement de cette espèce. Un déclin local de cette espèce qui de plus est également étayé par des pêches électriques récentes.

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 Patrimoine 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.