



Fédération de l'Allier pour la Pêche
et la Protection des Milieux
Aquatiques

Aout 2022

Etude de l'impact des seuils sur le réchauffement des eaux de la Sioule dans sa traversée du département de l'Allier

—
Résultats 2021



Acquisition et analyse des données

Thibaut ROSAK

Responsable technique – Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
06 78 66 13 78 - fede03.rosak6@orange.fr

Direction

Mickael LELIEVRE

Directeur – Fédération de l'Allier pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
06 08 92 81 34 - fede03.lielievre@orange.fr

SOMMAIRE

1	PREAMBULE	5
2	MATERIEL ET METHODE	6
2.1	LES ENREGISTREURS THERMIQUES.....	6
2.2	DEFINITION DU PLAN DE POSE.....	7
2.3	SYNTHESE DU PLAN DE POSE 2021.....	10
2.4	CAS PARTICULIERS ET ADAPTATIONS.....	12
3	RESULTATS PROVISOIRES	16
3.1	RESULTATS BRUTS.....	16
3.2	SELECTION DES DONNEES LES PLUS PERTINENTES POUR L'ANALYSE PROVISoire ET ADAPTATION DU PLAN DE POSE 2022.....	18
3.3	RESULTATS CONSOLIDES.....	20
4	BILAN ET PERSPECTIVES	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse du plan de pose 2021	10
---	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aperçu cartographique et photographie aérienne du secteur du seuil de Jenzat.....	7
Figure 2 : Repérage du premier écoulement lotique présent à l'amont du seuil de Jenzat	8
Figure 3 : Schéma-type d'implantation des enregistreurs thermiques au niveau d'une succession de portions libres et influencées.....	8
Figure 4 : Plan de pose retenu au niveau des seuils « Jacques Martin » et « Neuvial ».....	13
Figure 5 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Infernal »	13
Figure 6 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Aubeterre »	14
Figure 7 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Entremiolle »	14
Figure 8 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Champagne »	15
Figure 9 : Evolution amont-aval des caractéristiques thermiques estivales de la Sioule durant la période analysée	16
Figure 10 : Contributions estivales de la Bouble (courbes bleues) au débit de la Sioule (courbes jaunes) mesuré à Saint-Pourçain-sur-Sioule en 2021 (en haut) et 2020 (en bas).....	17
Figure 11 : Impact de l'augmentation des Tm30j max sur les densités de population des alevins et adultes de truites fario (source : FDPPMA 69)	18
Figure 12 : Perte de données par ensablement de la sonde « confluence Allier »	19
Figure 13 : Répartition kilométrique relative des différents types de portions de la Sioule au sein du linéaire retenu pour l'analyse	20
Figure 14 : Evolution amont-aval des températures caractéristiques de la Sioule (données fiabilisées)	20
Figure 15 : Contributions des portions libres et influencées à l'évolution globale de la Tmp de la Sioule	21
Figure 16 : Contributions des portions libres et influencées à l'évolution globale de la Tm30j max de la Sioule.....	21
Figure 17 : Comparaison en fonction du type de portion considéré des évolutions cumulées des températures caractéristiques de la Sioule.....	22
Figure 18 : Comparaison en fonction du type de portion considéré des évolutions kilométriques moyennes des températures caractéristiques de la Sioule.....	22

1 PREAMBULE

Elément central du fonctionnement des milieux aquatiques, la température de l'eau influence directement la quantité d'oxygène soluble dans l'eau et régit notamment l'activité et le cycle biologique des poissons. Depuis les premiers travaux d'Huet (années 50) destinés à comprendre l'organisation longitudinale des peuplements de poissons parmi les hydrosystèmes d'eau courante, elle occupe généralement une place centrale au sein des différents concepts biotypologiques de zonation piscicole. En effet, les poissons présentent, en tant qu'animaux à sang froid, une sensibilité importante à la température des eaux. C'est en particulier le cas des espèces sténothermes d'eaux froides telles que la truite fario, l'ombre commun, le saumon atlantique et le chabot, qui sont présentes au sein du linéaire de la Sioule dans sa traversée du département de l'Allier.

À la suite d'épisodes répétés de sécheresse et de canicule qui, sur les parties basses du cours de la Sioule, ont notamment provoqué des mortalités importantes de saumons atlantiques durant l'été 2020, et dans un contexte de réchauffement climatique et de remise en question systématique de la notion de continuité écologique, il nous semblait important d'évaluer l'impact des seuils sur le réchauffement d'un cours d'eau. Aussi lorsque la FDPPMA 63 nous a informé de son projet d'étude de l'effet cumulé sur la thermie de la Sioule du complexe hydroélectrique de Fades/Queuille et de la succession de seuils présents sur la partie puydômoise de la rivière, nous avons souhaité nous y associer et étendre cette étude à la partie bourbonnaise de la rivière.

Sur son parcours bourbonnais, la Sioule, affluent rive gauche majeur de l'Allier, constitue un cas d'étude particulièrement intéressant puisqu'elle combine une densité importante de seuils (l'étude en recense 17 en 51 km), une multiplication récente de projets et de demandes de renouvellement d'autorisation de production d'énergie hydroélectrique qui tendent à pérenniser à long terme l'existence de ces seuils, et un peuplement de poissons qui, depuis les secteurs salmonicoles des gorges de Chouvigny, évolue progressivement vers un peuplement intermédiaire dominé par les cyprinidés rhéophiles.

En apportant des éléments chiffrés permettant de confirmer ou d'infirmer l'effet négatif supposé des retenues sur la thermie des cours d'eau, ce travail de connaissance doit permettre d'anticiper d'éventuelles dégradations et de proposer des solutions pour préserver les peuplements piscicoles thermosensibles de la Sioule, qui au-delà du fort intérêt halieutique qu'ils représentent, sont constitués pour partie d'espèces patrimoniales ayant notamment justifié la désignation du site Natura 2000 « Basse Sioule » (FR8301017).

2 MATERIEL ET METHODE

Dans le but d'évaluer l'effet cumulé des seuils sur le réchauffement des eaux, notamment en période estivale lorsque les populations de poissons thermosensibles sont les plus vulnérables, nous avons tout d'abord défini les portions de la Sioule « libres » (c.-à-d. où les écoulements ne sont pas ralentis par un seuil) et les portions « influencées » par leur présence.

Des enregistreurs thermiques autonomes ont ensuite été installés avant l'été 2021 en limite de chacune de ces portions. Ils enregistreront jusqu'à la fin d'été 2022 une mesure de température instantanée toutes les heures. A la date de rédaction de ce rapport, seules les données acquises durant l'été 2021 sont traitées et comparées à l'aide du programme d'analyse NERIUS, développé en 2016 par S. LAVERDURE.

Outre les premières tendances qu'elle dégage, cette analyse intermédiaire des données permet de vérifier la cohérence des valeurs de température mesurées par chaque enregistreur et d'adapter, de compléter, ou de corriger si nécessaire leur positionnement avant l'été 2022.

2.1 LES ENREGISTREURS THERMIQUES

Les enregistreurs thermiques utilisés sont des HOBO Pendant temp UA-001-64. Ils sont de petites dimensions (58mm x 33mm x 23mm, 18 grammes) et étanches jusqu'à 30 mètres de profondeur. Alimentés par une pile bouton à remplacer généralement chaque année, ils possèdent une capacité de stockage de données variable suivant le pas de temps utilisé pour les mesures (ici toute les heures). Leur sensibilité de mesure est de 0,1°C et la lecture des données se fait de manière optique. Enfin il conviendra de tenir compte de leur précision de mesure (env. +/- 0,5°C), en particulier lors de la comparaison des températures instantanées.



Ci-dessus : enregistreur thermique utilisé dans le cadre de cette étude – **Ci-contre** : enregistreur inséré dans son boîtier PVC de protection et fixation de l'ensemble sur un support dur naturel (ici des racines immergées)

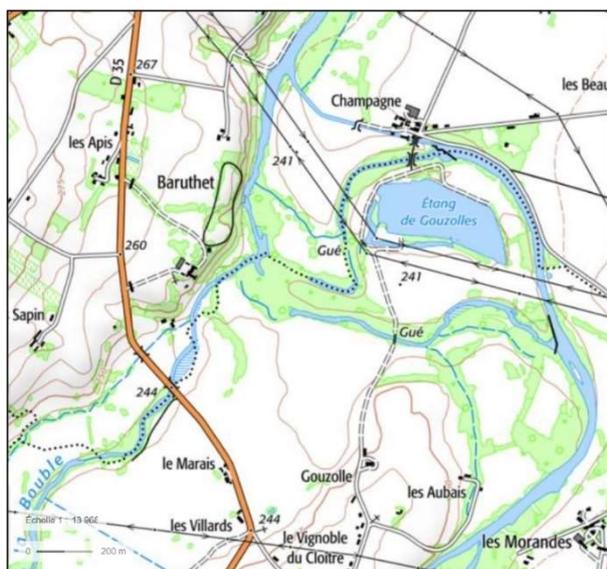


Les emplacements choisis doivent permettre de minimiser l'influence des paramètres « extérieurs » susceptibles de dégrader la qualité des mesures (p.ex. vitesse d'écoulement, profondeur d'immersion, ombrage, risque d'envasement ou d'ensablement), tout en fournissant des supports solides et discrets limitant le risque de perte de données (p.ex. arrachement des enregistreurs en période de hautes eaux, vol ou dégradation du matériel). La satisfaction de ce double objectif a nécessité quelques « compromis » et adaptations protocolaires lors de l'implantation des 50 enregistreurs thermiques installés dans le cadre de cette étude. Ils sont clairement mis en évidence dans la suite de ce document.

2.2 DEFINITION DU PLAN DE POSE

Le positionnement des enregistreurs a débuté par une recherche cartographique et un travail de photo-interprétation visant à dissocier les portions libres des portions influencées. Les limites entre ces portions sont soit des seuils, soit, dans le sens amont → aval, le dernier faciès d'écoulement de type « lotique » recensé avant une retenue de seuil. Ces zones où la vitesse de courant est supérieure à 30 cm/s sont généralement repérables sur photographie aérienne par les formes hydromorphologiques caractéristiques qui les accompagnent et/ou par une coloration « blanchâtre » due aux déformations de la surface de l'eau causées par les turbulences (cf. Figure 2).

Ce travail d'identification cartographique a ensuite été confirmé sur le terrain ce qui a permis de préciser certaines limites et de définir l'implantation des enregistreurs thermiques dans les secteurs les plus complexes de la Basse Sioule, caractérisés par des affluences importantes ou par la présence de centrales hydroélectriques et des canaux d'amenée, de fuite, et des tronçons court-circuités associés :



Exemples de situations plus complexes nécessitant l'adaptation du plan de pose théorique des enregistreurs : confluence de la Bouble et centrales hydroélectriques de « Champagne » (à gauche) et de « Moulin infernal » (à droite)

L'exemple-type du secteur du seuil de Jenzat (03) sur la Sioule est présenté dans les figures suivantes :

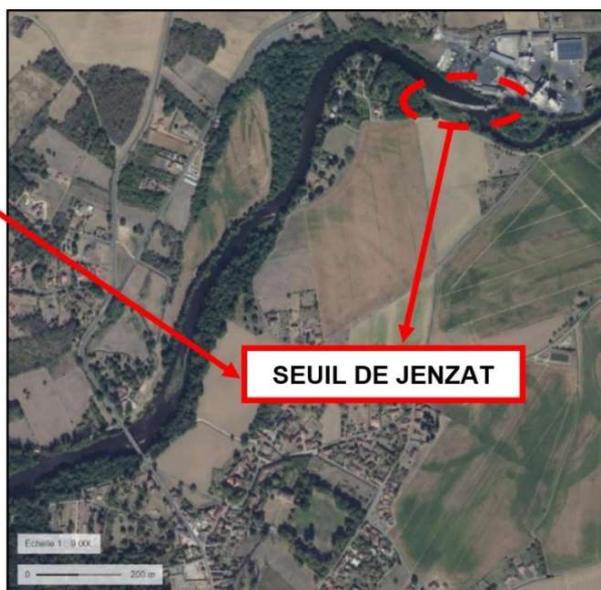


Figure 1 : Aperçu cartographique et photographie aérienne du secteur du seuil de Jenzat

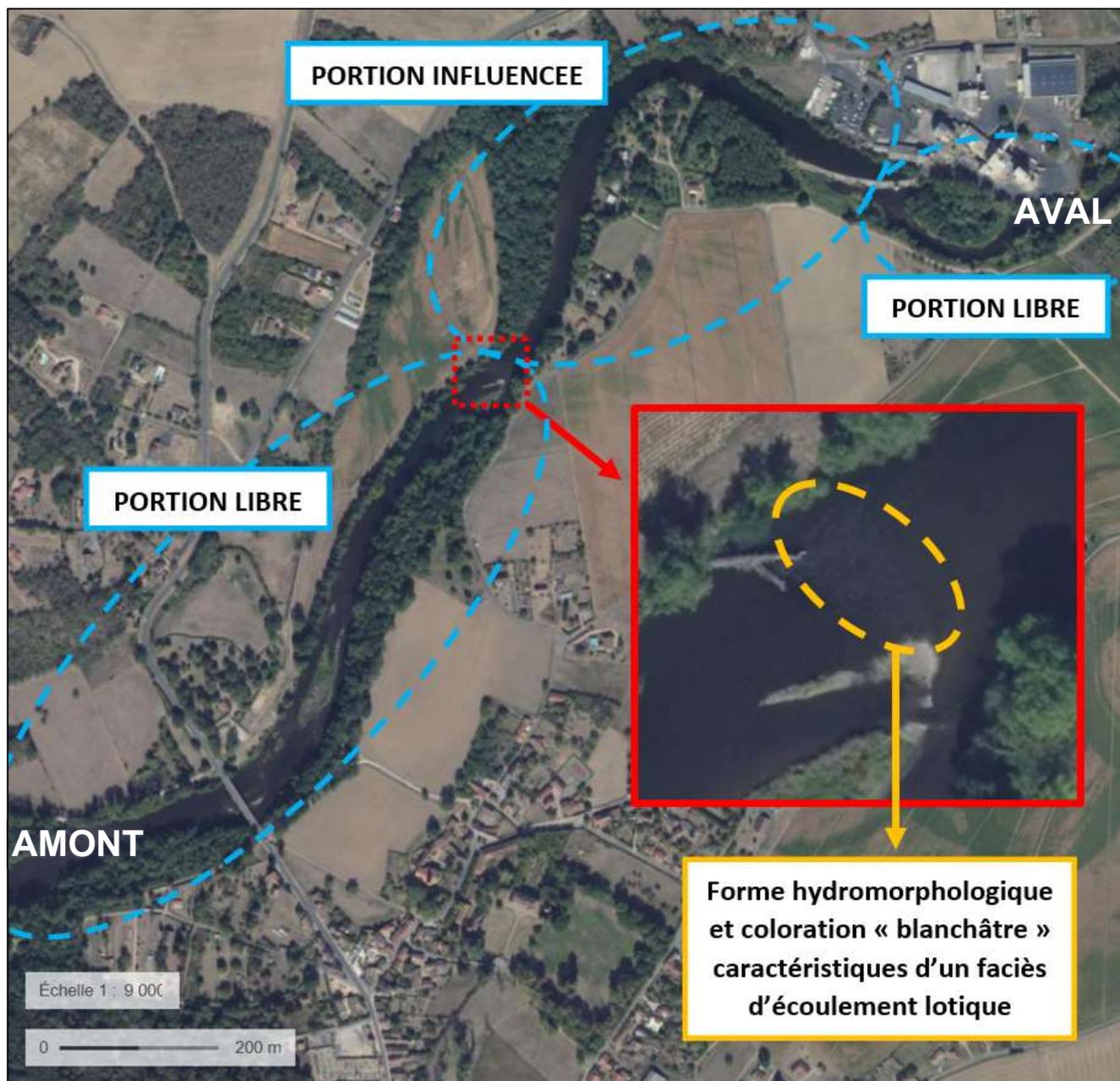


Figure 2 : Repérage du premier écoulement lotique présent à l'amont du seuil de Jenzat

Dans cette configuration « classique » où les portions libres et influencées se succèdent entrecoupées de seuils, l'implantation-type des enregistreurs thermiques est présentée dans la figure suivante :

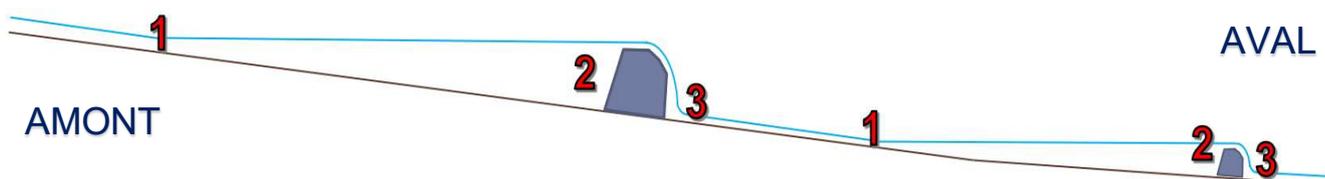


Figure 3 : Schéma-type d'implantation des enregistreurs thermiques au niveau d'une succession de portions libres et influencées

Pour tenir compte de la possible homogénéisation de la température de l'eau par brassage à l'aval immédiat des seuils, il a été décidé de considérer comme température au droit d'un seuil la moyenne des températures mesurées par les enregistreurs thermiques positionnés de part et d'autre de ce seuil (c.-à-d. les enregistreurs « 2 » et « 3 » du schéma ci-dessus).

Ainsi, dans la logique amont → aval de la configuration-type présentée précédemment :

- Comparer aux températures mesurées par un enregistreur « 1 » les moyennes des températures mesurées par les enregistreurs « 2 » / « 3 » qui suivent permet de caractériser l'évolution de la température de l'eau dans la portion influencée qu'ils délimitent ;
- Comparer aux moyennes des températures mesurées par les enregistreurs « 2 » / « 3 » les températures mesurées par l'enregistreur « 1 » qui suit permet de caractériser l'évolution de la température de l'eau dans la portion libre qu'ils délimitent.

Dans la pratique les différents seuils ont été numérotés et le référencement des sondes est constitué des abréviations suivantes :

- « amé » = amont éloigné (correspond à la sonde « 1 » du schéma-type de la Figure 3)
- « amp » = amont proche (correspond à la sonde « 2 » du schéma-type de la Figure 3)
- « avp » = aval proche (correspond à la sonde « 3 » du schéma-type de la Figure 3)
- « avé » = aval éloigné (implantation utilisée dans certains secteurs complexes)

Ainsi, une sonde référencée « 13_amp » signifie qu'elle est située à l'amont proche du seuil d'Aubeterre (cf. Tableau 1). Dans le cas de seuils se succédant rapidement, une sonde peut à la fois caractériser la température à l'aval proche du seuil amont, et la température au départ de la portion influencée par le seuil aval (p. ex. sonde « 1_avp_2_omé »).

2.3 SYNTHÈSE DU PLAN DE POSE 2021

Le tableau suivant recense les informations relatives à l'ensemble des 50 sondes utilisées dans le cadre de cette étude :

Tableau 1 : Synthèse du plan de pose 2021

DENOMINATION SEUIL	REFERENCE SONDE	X (L93)	Y (L93)	PK (km)	COURANT (coefficient*)	PROFONFEUR D'IMMERSION A L'ETIAGE (m)	OMBRAGE (coefficient*)	VASE/SABLE (O/N)
Canoé Ebreuil	1_omé	705886	6556486	0,00	0,66	0,3	0,66	N
Canoé Ebreuil	1_amp	706469	6556865	0,70	0,33	1	0,33	O
Canoé/Pont Ebreuil	1_avp_2_omé	706567	6556913	0,80	1	0,3	0,66	N
Pont Ebreuil	2_amp	706957	6557195	1,30	0,33	0,7	0,66	N
Pont Ebreuil	2_avp	707013	6557221	1,35	0,66	0,6	1	N
Valignards	3_omé	707999	6557949	2,60	0,33	0,6	0,33	N
Valignards	3_amp	708266	6558287	3,10	0,33	0,6	1	N
Valignards	3_avp	708395	6558223	3,20	1	0,6	0,66	N
Jacques Martin	4&5_omé	710319	6559308	6,30	0,33	1	0,66	N
Jacques Martin	4&5_aval immédiat (amp pas possible)	710988	6559502	7,10	1	0,3	0,66	N
Jacques Martin	4&5_avp_6&7_omé	711107	6559581	7,20	0,33	0,3	0,33	N
Neuvial	6&7_amp	712332	6559234	8,85	0,33	1	1	N
Neuvial	6&7_avp_8_omé	712673	6559332	9,20	0,33	0,5	1	N
Tressots	8_amp	712826	6559946	9,95	0,33	0,3	0,66	N
Tressots	8_avp	712769	6559990	10,05	0,33	0,7	1	N
Jenzat	11_omé	714799	6563093	14,60	0,66	0,6	0,66	N
Jenzat	11_amp	715354	6563637	15,60	0,66	1	0,33	N
Jenzat	11_avp	715572	6563505	15,85	0,66	0,8	1	N
Infernal	12_omé	716534	6563318	17,05	0,66	0,3	1	N
Infernal	12_amp	717282	6563513	17,75	0,33	0,7	0,66	N
Infernal	12_avp	717317	6563583	17,80	1	0,7	1	N
Infernal	12_omé 1	717799	6563764	18,35	0,33	0,7	1	N

Infernal	12_avé 2	717774	6563791	18,45	0,66	0,5	0,33	N
Infernal	12_avé 3	717938	6563885	18,60	0,66	0,7	0,66	N
Aubeterre	13_omé	719807	6566333	22,15	1	0,4	1	N
Aubeterre	13_amp	720196	6566958	22,95	0,33	0,7	0,66	O
Aubeterre	13_avp	720200	6567088	23,10	0,66	0,6	1	N
Aubeterre	13_omé	720724	6568051	24,30	0,66	0,6	0,33	N
Grottes	14_omé	720180	6570407	28,21	1	0,7	1	N
Grottes	14_amp	720214	6570869	28,70	0,66	0,6	0,66	N
Grottes	14_avp	720389	6570900	28,90	0,33	0,5	0,33	N
Grottes/Entremiolle	14_omé_16_omé	720941	6572517	30,90	0,33	1	0,66	O
Entremiolle	16_amp	721127	6573030	31,42	0,66	0,8	0,66	N
Entremiolle	16_avp	721156	6573058	31,46	1	0,8	0,33	N
Entremiolle	16_omé	721567	6574652	33,90	1	0,7	0,33	N
Entremiolle/Champagne	16_omé 2_17_omé	721807	6574967	34,30	0,66	0,6	1	N
Champagne	17_amp	722192	6575825	35,45	0,33	0,6	0,66	N
Champagne	17_avp	722186	6575727	35,33	1	0,6	1	N
Champagne	17_omé 1	721255	6576660	36,85	0,66	0,8	0,33	N
Champagne	17_omé 2	721159	6576621	37,97	0,33	0,6	0,66	N
Champagne/Carmone	17_omé 3_18_omé	721617	6577227	38,70	0,66	0,6	1	N
Carmone	18_amp	722376	6577283	39,55	1	1	0,33	N
Carmone	18_avp	722407	6577347	39,60	1	0,8	1	N
Carmone/SPSS	18_omé_19_omé	722523	6578112	40,50	0,66	0,9	0,66	N
SPSS	19_amp	722575	6578582	41,05	0,33	0,5	0,66	O
SPSS	19_avp	722770	6578797	41,35	0,66	0,7	0,33	N
Breland	20_omé	723569	6581277	44,90	0,33	0,8	0,66	N
Breland	20_amp	722839	6581476	46,10	0,33	0,6	0,66	O
Breland	20_avp	722907	6581617	46,30	1	0,25	0,66	N
Breland	20_omé	723477	6581931	46,95	0,66	0,4	0,66	N
Amont confluence Allier	Amont confluence Allier	724803	6584868	51,39	0,66	0,5	0,33	N

* Un coefficient d'ombrage (ou de courant) égal à 0,33 signifie un ombrage (ou un courant) nul à faible, un coefficient égal à 0,66 signifie un ombrage (ou un courant) faible à moyen, et un coefficient égal à 1 signifie un ombrage (ou un courant) moyen à fort.

2.4 CAS PARTICULIERS ET ADAPTATIONS

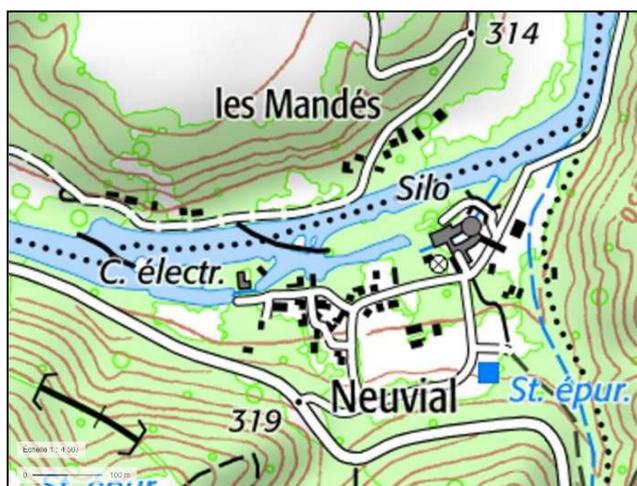
Le plan de pose « type » (cf. Figure 3) a dû être adapté à la configuration de certains secteurs, notamment dans les cas des seuils servant à la production d'hydroélectricité. Ces modifications concernent principalement l'ajout de sondes « avé » pour une meilleure prise en compte de la multiplicité des « bras » dans ces secteurs (canaux d'aménée, de fuite, de décharge, tronçon court-circuité).

Cas des seuils 4 & 5 (Jacques Martin)



La proximité de ces deux seuils situés au lieu-dit « Jacques Martin » (commune de Saint-Bonnet-de-Rochefort), et l'absence de réelle portion libre entre eux deux, ont conduit à considérer que du point de vue de leur influence sur la thermie de la Sioule ils pouvaient être pris en compte comme un seul et unique seuil. Par ailleurs, aucun emplacement convenable n'ayant pu être trouvé pour implanter une sonde à l'amont proche de ce seuil, elle a donc été implantée à son aval immédiat (10 m).

Cas des seuils 6 & 7 (Neuvial)



La proximité géographique de ces deux seuils situés au lieu-dit « Neuvial » (commune de Bègues), et l'absence de réelle portion libre entre eux deux, ont conduit à considérer que du point de vue de leur influence sur la thermie de la Sioule ils pouvaient être pris en compte comme un seul et unique seuil.

L'implantation finale des sondes thermiques dans ces deux secteurs est donc la suivante :

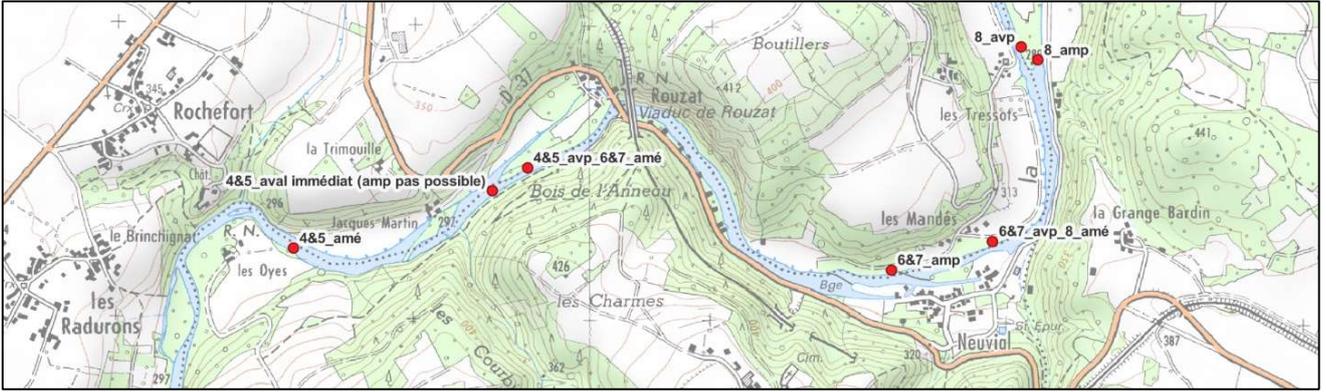
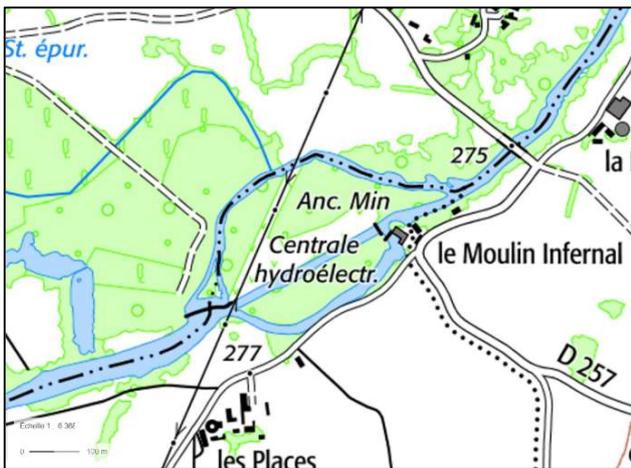


Figure 4 : Plan de pose retenu au niveau des seuils « Jacques Martin » et « Neuville »

Cas du seuil 12 (Infernal)



Le complexe hydroélectrique de Moulin Infernal est composé d'un seuil, de deux canaux d'amenée, d'un canal de fuite et d'un tronçon de la Sioule court-circuité par ces aménagements. Le suivi fin de l'impact thermique de ces installations nécessiterait à lui seul la pose d'une dizaine d'enregistreurs. Dans une logique de réflexion à plus grande échelle et pour maîtriser d'un point de vue logistique et financier le parc de sondes installé dans le cadre de cette étude, l'évolution thermique au droit de ce site est finalement suivie à l'aide de six sondes implantées comme suit :

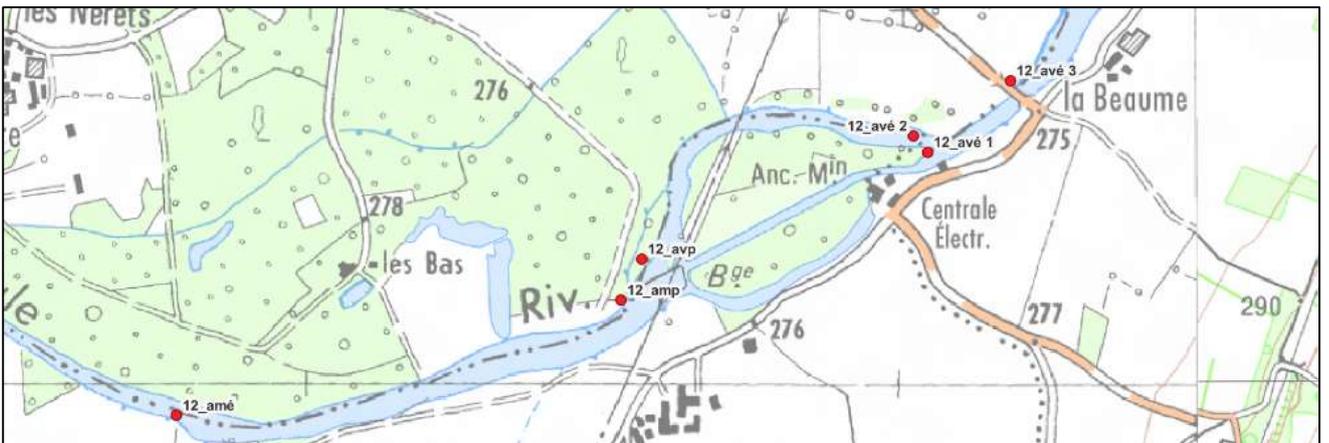


Figure 5 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Infernal »

Cas du seuil 13 (Aubeterre)

Le complexe hydroélectrique d'Aubeterre se caractérise par un long tronçon court-circuité de la Sioule et un réseau complexe de canaux d'amenée, de décharge et de fuite. La majeure partie des eaux dérivées (et turbinées) semble être restituée à la Sioule à l'amont immédiat du pont de la D36.

Le plan de pose théorique a ici été complété par l'ajout de la sonde « 13_avé » permettant de suivre la thermie de la Sioule à l'aval immédiat de la confluence entre le bras principal du tronçon court-circuité et le canal de fuite de la centrale hydroélectrique.

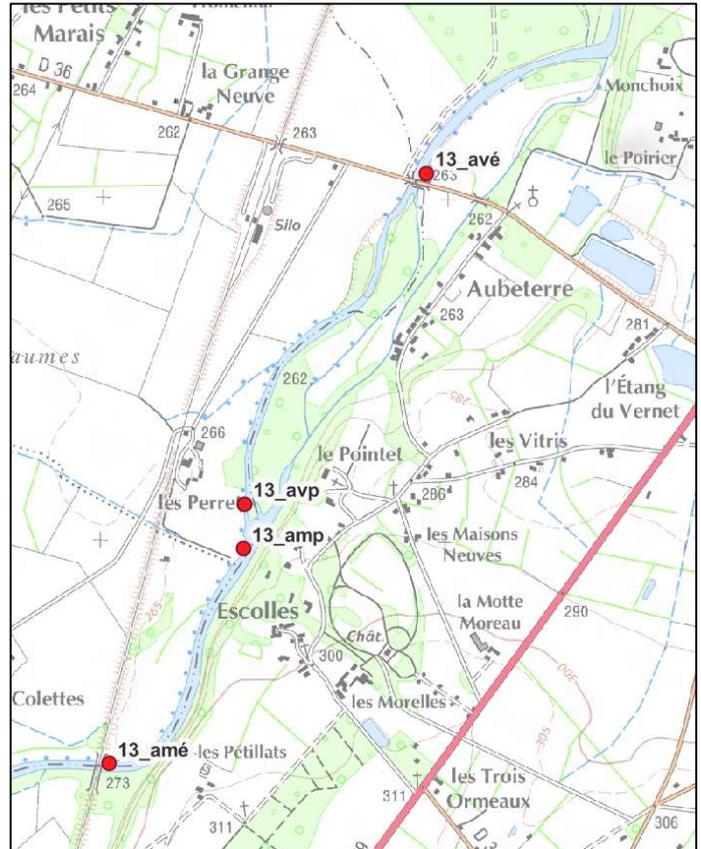


Figure 6 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Aubeterre »

Cas du seuil 16 (Entremiolle)

Le complexe hydroélectrique d'Entremiolle se caractérise par canal d'amenée des eaux dérivée relativement court, suivi d'un long canal de fuite rejetant les eaux turbinées en amont immédiat du lieu-dit « Martilly ». Le tronçon court-circuité de la Sioule est long (> 2 km) et sa partie terminale se divise en deux bras différemment alimentés selon les débits.

Le plan de pose théorique a ici été complété par l'ajout de la sonde « 16_avé » permettant de suivre la thermie de la Sioule à l'aval immédiat de la confluence entre le bras principal du tronçon court-circuité et le canal de fuite de la centrale hydroélectrique.

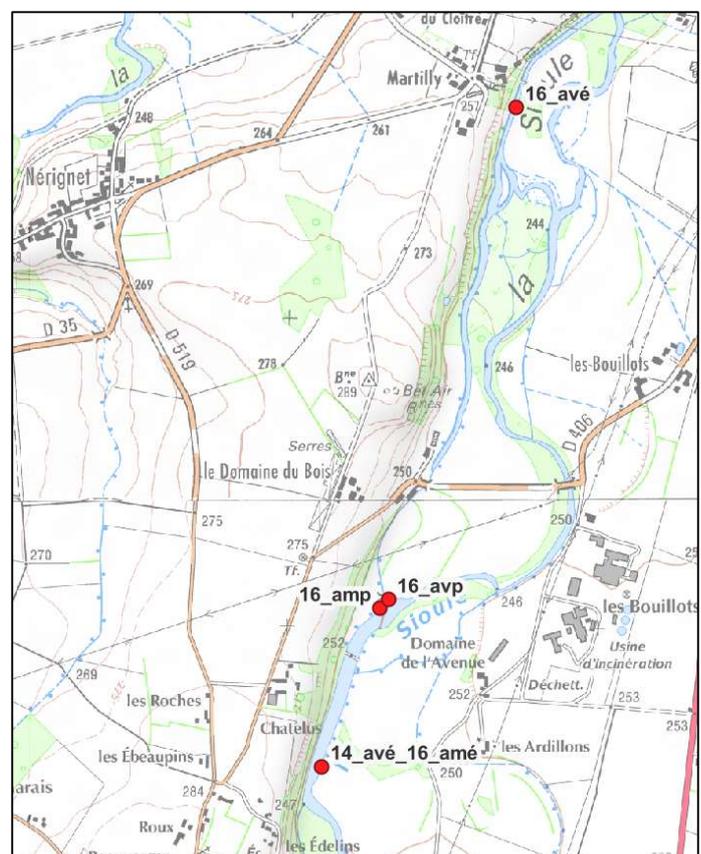


Figure 7 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Entremiolle »

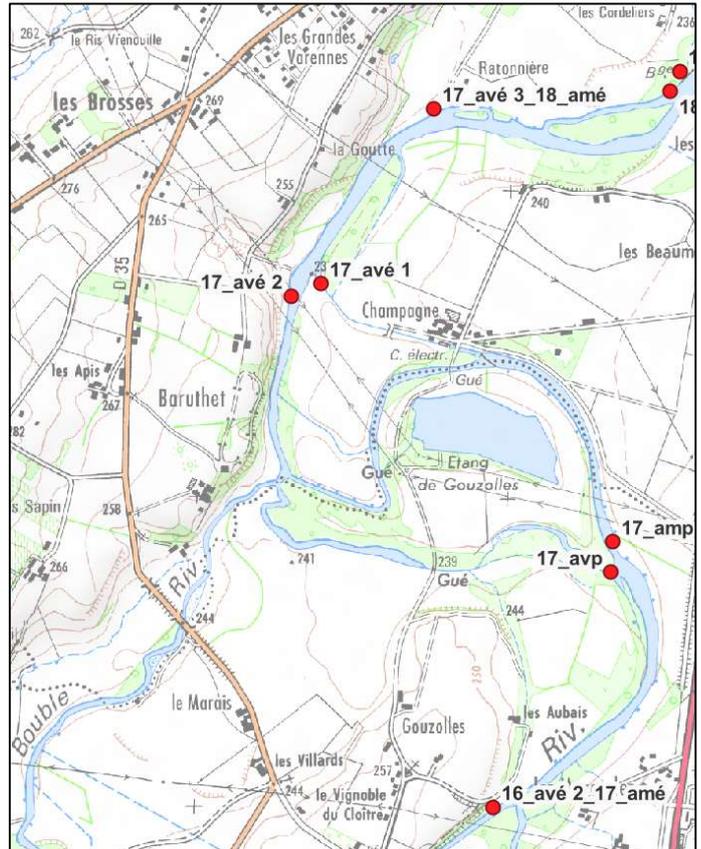
Cas du seuil 17 (Champagne)

Cette portion de la Sioule est la plus complexe à suivre d'un point de vue thermique puisqu'elle combine un seuil, un canal de dérivation, un bras de décharge, un canal de fuite et un tronçon court-circuité collectant les eaux du bras de décharge mais également celles du principal affluent rive gauche de la Sioule : la Bouble.

Le suivi thermique de chaque élément de ce complexe nécessiterait la mise en œuvre d'une quinzaine de sondes. Pour limiter le nombre déjà conséquent d'enregistreurs thermiques utilisés dans le cadre de cette étude tout en conservant un bon niveau de valorisation des données acquises, six sondes ont été implantées au droit de ce secteur, selon le plan présenté ci-contre.

A noter que la sonde caractérisant la thermie de la Sioule à l'aval immédiat de la restitution du débit dérivé sert également à caractériser la thermie en limite d'influence du seuil suivant (18, Carmone).

Figure 8 : Plan de pose retenu au niveau du seuil « Champagne »



3 RESULTATS PROVISOIRES

La période analysée couvre deux mois et s'étend de début juin 2021, date de début des enregistrements, à début août 2021, date de la première relève des données. Elle permet donc de qualifier l'évolution thermique de la Sioule durant le mois de juin 2021 qui a été remarquablement chaud, marqué par un épisode précoce de fortes chaleurs en milieu de mois, notamment du 14 au 16 où les maximales ont dépassé 30 °C en moyenne sur la France. La température moyenne de 20,3 °C sur la France et sur le mois a été supérieure à la normale de 2,0 °C, classant juin 2021 au cinquième rang des mois de juin les plus chauds depuis 1900.

3.1 RESULTATS BRUTS

Les graphiques suivants présentent l'évolution amont → aval des quatre variables thermiques caractéristiques initialement retenues et mesurées du 5 juin au 5 août 2021 :

- La température instantanée maximale (Ti max)
- La température moyenne journalière maximale (Tmj max)
- La température moyenne des 30 jours les plus chauds (Tm30j max)
- La température moyenne de la période (Tmp)

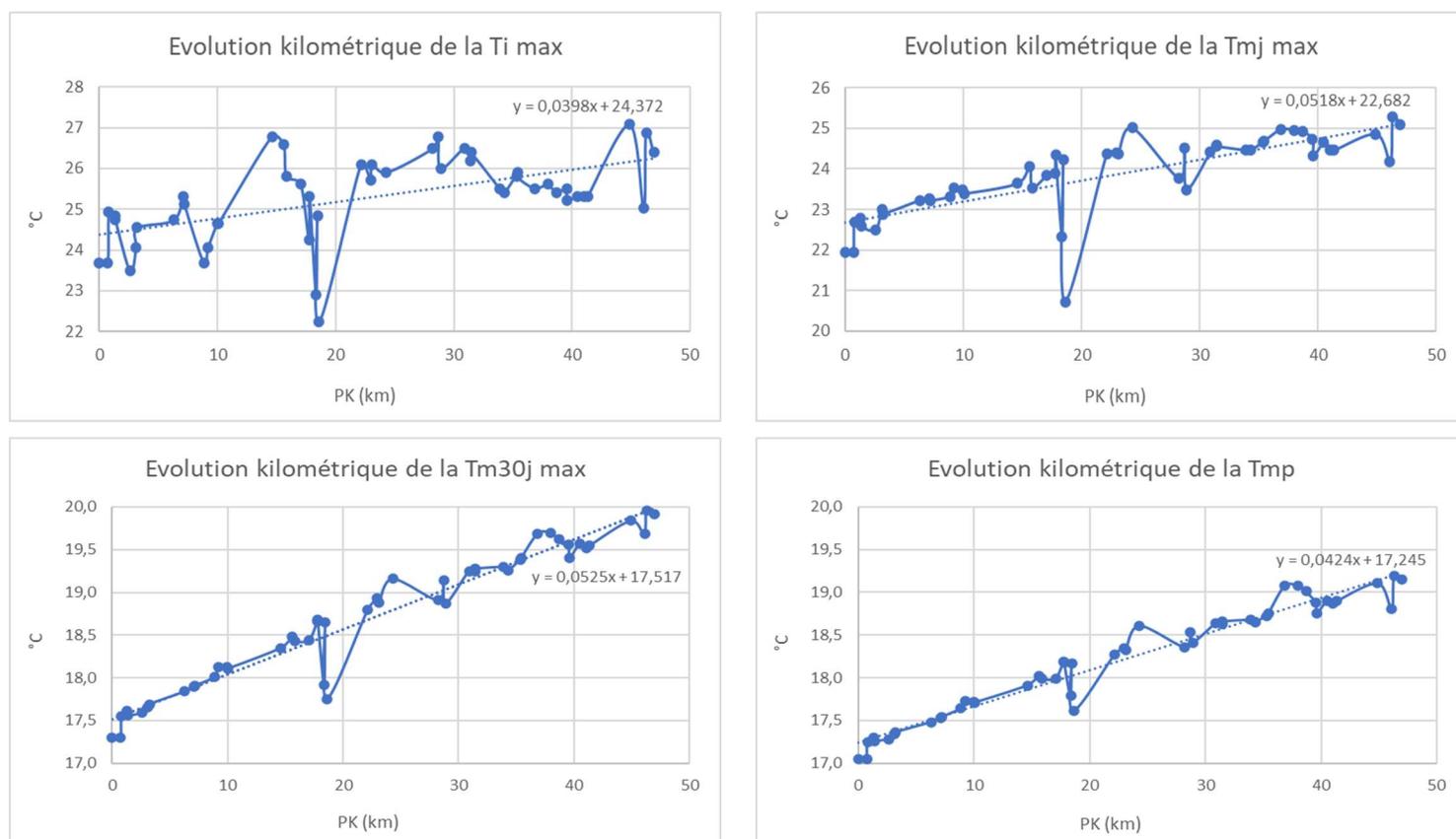


Figure 9 : Evolution amont-aval des caractéristiques thermiques estivales de la Sioule durant la période analysée

Dans une tendance logique d'augmentation des températures de l'amont vers l'aval, on constate :

- Qu'il existe des variations parfois importantes, à la hausse comme à la baisse, entre des enregistreurs pourtant géographiquement proches ;
- Que les caractéristiques thermiques traduisant des valeurs de long terme (p. ex. Tm30j max, Tmp) possèdent une évolution beaucoup plus linéaire et sont nettement moins soumises à ces variations que les caractéristiques thermiques traduisant des valeurs de courts termes (Ti max) ou journalière (Tmj max).

L'amplitude de certaines variations indiquent qu'elles ne sont probablement pas uniquement le reflet de la réalité, mais qu'intervient également un certain nombre de facteurs externes parmi lesquels on peut citer :

- La précision de mesure des sondes (+/- 0,5°C) qui fait que dans le pire des cas deux sondes pourtant voisines peuvent mesurer des températures différentes d'un degré. Si l'influence de cette précision sur la qualité des mesures est potentiellement grande lorsque l'on compare les températures instantanées de deux sondes voisines, elle est statistiquement et progressivement gommée au fur et à mesure qu'on étudie des variables de long terme (p. ex. Tm30j max, Tmp) et que le nombre de sondes utilisées pour mesurer ces valeurs est important ;
- L'influence du positionnement des enregistreurs et, de manière étroitement liée, la variabilité thermique naturelle existant à l'échelle d'un faciès d'écoulement d'un cours d'eau du gabarit de la Sioule. Des mesures spécifiques seront réalisées durant l'été 2022 pour démontrer cette variabilité à faible échelle. En effet, la vitesse du courant, la profondeur d'immersion de la sonde, le risque d'envasement ou d'ensablement, l'ombrage et l'orientation Est-Ouest influencent les mesures dans des proportions que seule une étude spécifique permettrait de préciser ;
- De possibles apports sous-terrain d'eau plus fraîche, ainsi que des échanges variables avec la nappe d'accompagnement de la Sioule selon les secteurs considérés ;
- Des apports d'eaux de surface provenant de rejets (p. ex. STEP) ou d'affluents dont l'influence peut cependant être considérée comme faible en période de basses eaux étant donné 1/ l'absence d'affluence notable en rive droite de la Sioule au sein de la zone d'étude, et 2/ la faiblesse des débits estivaux des affluents rive gauche comparés aux débits de la Sioule :

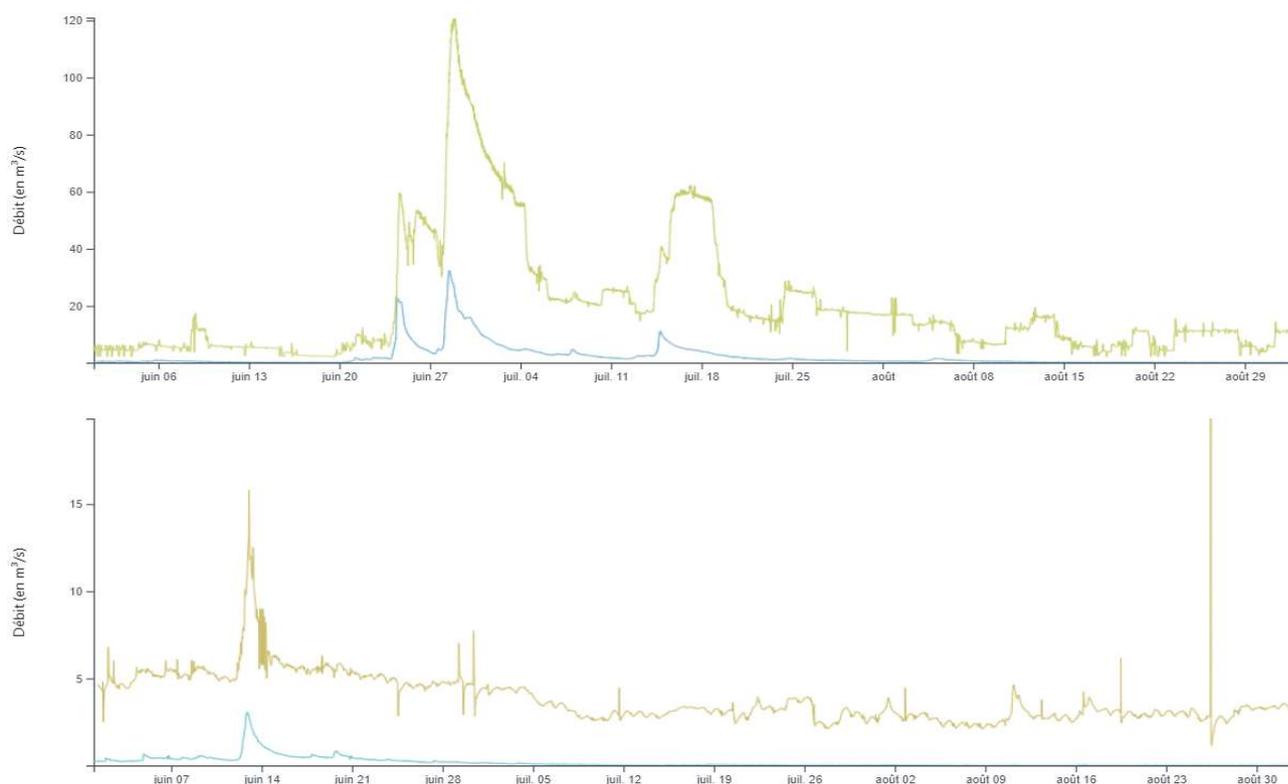


Figure 10 : Contributions estivales de la Bouble (courbes bleues) au débit de la Sioule (courbes jaunes) mesuré à Saint-Pourçain-sur-Sioule en 2021 (en haut) et 2020 (en bas)

- Malgré le soin apporté à la discrétion du matériel lors de sa pose, des actes de malveillance ou liés à la curiosité du public sont également possibles. Ils se manifestent généralement par le retrait de la sonde ou sa mise à sec plus ou moins prolongée. Aucun vol de sonde n'a été constaté lors de la relève des données réalisée en août 2021.

- Un assèchement partiel ou total des sondes pendant une période plus ou moins longue. Ce risque semble plutôt bien maîtrisé puisque 1/ les sondes ont été placées en période de basses eaux (5 à 6 m³/s mesurés au niveau de la station hydrométrique K3382010 de Saint-Pourçain-sur-Sioule), et 2/ la sonde la moins profondément immergée a été placée 25 cm sous la surface ;
- Enfin, des dysfonctionnements matériels ne peuvent pas être totalement exclus. Des dispositions particulières ont été prises pour les réduire au maximum (utilisation de matériel neuf, couplé à des piles de marque reconnue).

Ces premiers résultats et constats indiquent qu'en l'état, et pour une meilleure évaluation de l'effet cumulé des seuils sur le réchauffement des eaux de la Sioule, l'analyse doit prioritairement se baser sur les variables thermiques caractérisant des valeurs de long terme, telles que la Tmp et la Tm30j max qui est considérée par la communauté scientifique comme étant une variable thermique de référence, structurante pour les populations de truite fario.

De nombreux auteurs (Elliot, 1995 ; Elliot et Hurley, 1998 ; Baran et al., 1999 ; Baran et Delacoste, 2005) considèrent qu'au-delà d'une Tm30j max de 17,5-18°C, les impacts sur les populations sont avérés, en particulier sur les truitelles de l'année. Au-delà de ce seuil de température, le rendement énergétique de l'espèce devient défavorable si bien que l'énergie apportée par l'alimentation est plus faible que celle dépensée pour capturer les proies. Ce phénomène engendre donc un amaigrissement des individus, des mortalités progressives et continues, ainsi que des dévalaisons possibles vers des milieux encore moins favorables.

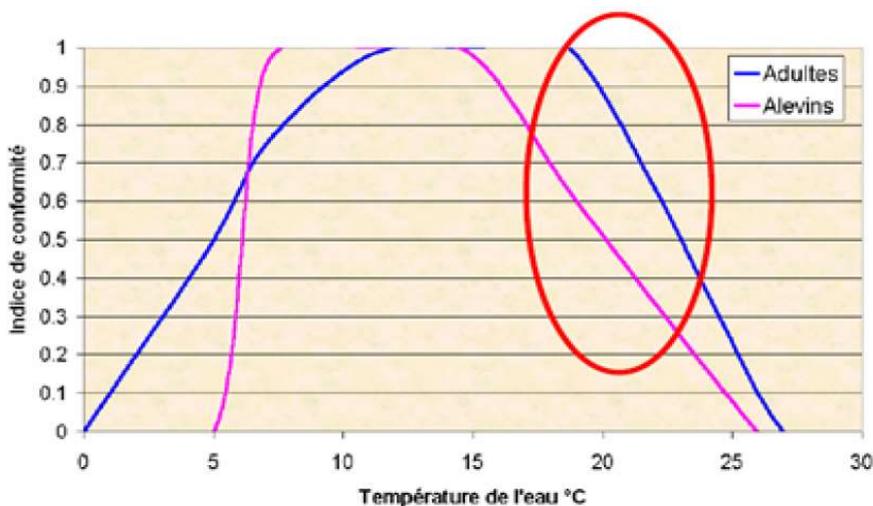


Figure 11 : Impact de l'augmentation des Tm30j max sur les densités de population des alevins et adultes de truites fario (source : FDPPMA 69)

3.2 SELECTION DES DONNEES LES PLUS PERTINENTES POUR L'ANALYSE PROVISOIRE ET ADAPTATION DU PLAN DE POSE 2022

L'ensemble des données douteuses a été retirée de l'analyse provisoire. Cela concerne les données provenant directement des sondes douteuses mais également, puisqu'on raisonne non pas ponctuellement mais en termes de « portion » de rivière, les données issues des sondes situées à l'autre extrémité des portions concernées par des sondes douteuses. Finalement les données brutes retirées de l'analyse sont les suivantes :

- Dans l'attente de mesures complémentaires, la portion située entre le seuil 12 (Moulin Infernal) et la limite d'influence du seuil 13 (Aubeterre) est retirée de l'analyse provisoire des données 2021 du fait de son caractère « mixte » (libre/influencé) et d'un doute quant à la représentativité des données acquises (cf. évolution des courbes de la Figure 9 au voisinage du PK 18) ;
- Les données acquises par la sonde « 13_avé », jugées douteuses (cf. évolution des courbes de la Figure 9 au voisinage du PK 24), sont également retirées de l'analyse ;
- La portion située entre les sondes « 17_avp » et « 17_avé2 » (seuil de Champagne) n'est pas prise en compte dans l'analyse étant donné son caractère « mixte » (libre/influencé) ;

- Au niveau du seuil de Moulin Breland, les données acquises par la sonde « 20_amp », jugées douteuses (cf. Figure 9 - PK 46), sont retirées de l'analyse et seules les données acquises par la sonde « 20_avp » contribuent à définir la température des eaux au niveau de ce seuil ;
- Les données provenant de la sonde située la plus en aval, en amont immédiat de la confluence entre la Sioule et l'Allier, n'ont pas pu être collectées pour cause d'ensablement massif de la sonde (cf. photographies suivantes).



Figure 12 : Perte de données par ensablement de la sonde « confluence Allier »

Par ailleurs les choix analytiques suivants ont été faits :

- La portion située entre le seuil 3 (Valignards) et sa limite d'influence est prise en compte en tant que portion libre car ce seuil n'influence qu'un linéaire relativement court (< 20%) d'un des deux bras partageant le débit de la Sioule à son amont ;
- La portion située entre le seuil 13 (Aubeterre) et la limite d'influence du seuil 14 (Grottes) est prise en compte en tant que portion libre considérant qu'environ 10% de ce linéaire est influencé par la microcentrale d'Aubeterre (600 m de canal d'amenée depuis le seuil 13) ;
- La portion située entre le seuil 14 (Grottes) et la limite d'influence du seuil 16 (Entremiolle) est prise en compte en tant que portion libre considérant qu'environ 15% de ce linéaire est influencé par la microcentrale des Grottes (600 m de canal d'amenée depuis le seuil 14) ;
- La portion située entre le seuil 16 et la sonde « 16_avé » est prise en compte en tant que portion libre considérant qu'environ 10% de ce linéaire est influencé par la microcentrale d'Entremiolle (400 m de canal d'amenée depuis le seuil 16).

Au vu des éléments présentés précédemment, les modifications du plan de pose et dispositions suivantes seront apportées avant l'été 2022 pour permettre de maximiser le nombre de données consolidées utilisables pour l'analyse finale :

- Relève des données durant le printemps 2022, remplacement des sondes manquantes et remplacement des piles présentant une autonomie inférieure à 75% de la valeur initiale ;
- Repositionnement des sondes pour lesquelles les données nouvellement collectées confirment le caractère « douteux » des données acquises durant l'été 2021 ;
- Déplacement de la sonde « 13_avé » (Aubeterre) à l'aval du lieu-dit « Monchoix » de manière à intégrer l'ensemble du débit dérivé par la centrale d'Aubeterre et à permettre une meilleure homogénéisation des températures par rapport au positionnement actuel, situé à l'aval immédiat de la restitution de la majeure partie des eaux dérivées ;
- Réinstallation d'une sonde permettant de caractériser l'évolution de la température de la Sioule sur sa portion libre terminale (aval de Moulin Breland jusqu'à la confluence avec l'Allier).

Finalement ce sont les données de 85% des sondes installées au printemps 2021 qui servent à l'analyse provisoire des résultats. Ces données caractérisent l'évolution thermique d'environ 41 km de la rivière Sioule, soit environ 80% du linéaire initialement équipé (51 km).

On notera enfin que les portions libres dominent le linéaire de la Sioule retenu pour l'analyse selon un rapport comparable à celui existant au sein de l'ensemble du linéaire équipé (un tiers de portions influencées, deux tiers de portions libres), améliorant ainsi la représentativité des résultats.

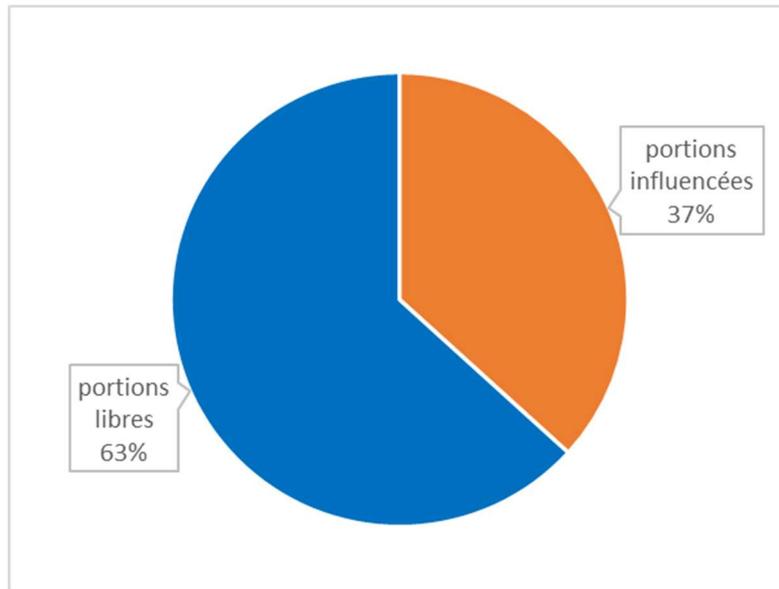


Figure 13 : Répartition kilométrique relative des différents types de portions de la Sioule au sein du linéaire retenu pour l'analyse

3.3 RESULTATS CONSOLIDES

Les graphiques suivants caractérisent l'évolution amont → aval des variables thermiques caractéristiques retenues dans le cadre de l'analyse des données consolidées mesurées du 5 juin au 5 aout 2021 :

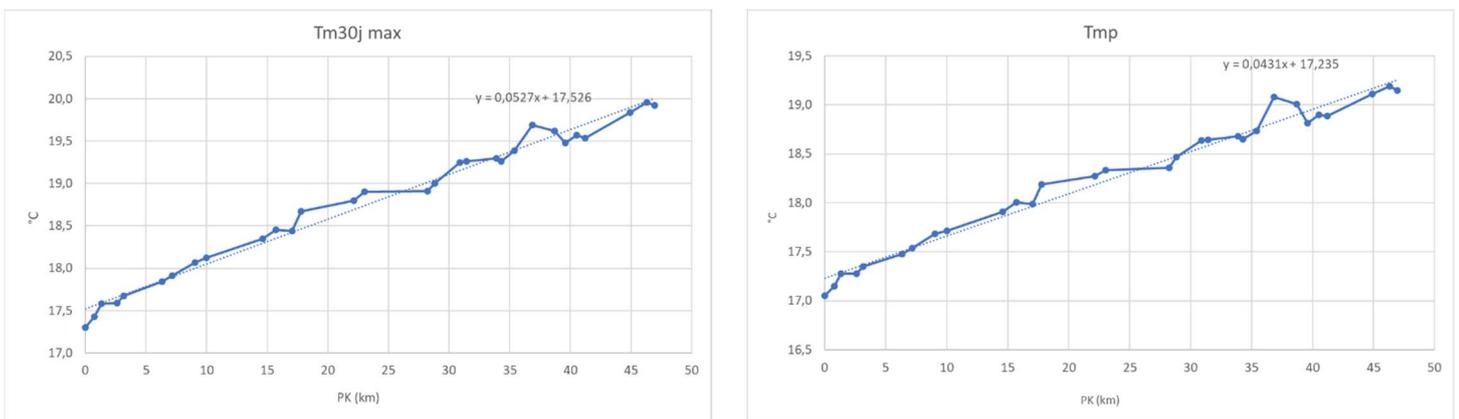


Figure 14 : Evolution amont-aval des températures caractéristiques de la Sioule (données fiabilisées)

L'exclusion des données douteuses permet d'améliorer la linéarité traduisant l'accroissement logique des températures de la Sioule de l'amont vers l'aval. Sans distinguer les portions influencées des portions libres, cet accroissement peut être évalué à environ :

- 0,05 degré par kilomètre concernant la Tm30j max
- 0,04 degré par kilomètre concernant la Tmp

Les graphiques suivants présentent les contributions respectives des portions libres (en bleu) et des portions influencées (en orange) au réchauffement amont → aval des Tm30j max et Tmp mesuré du 5 juin au 5 aout 2021.

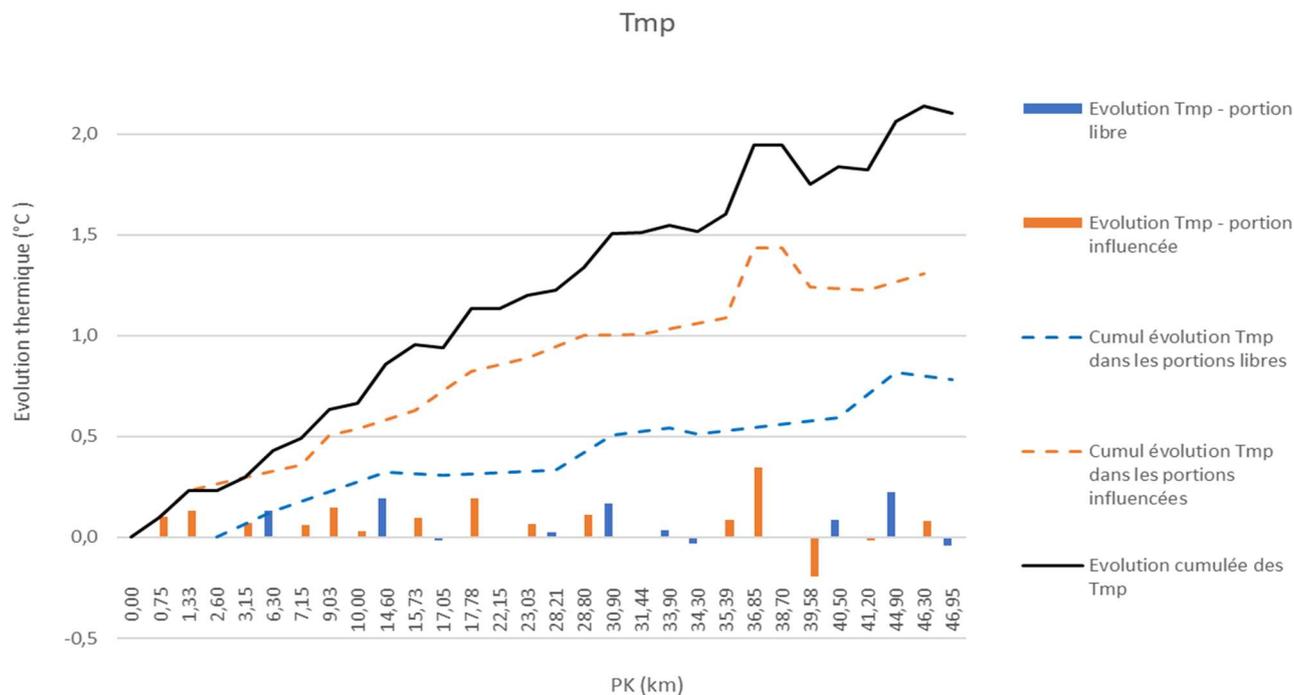


Figure 15 : Contributions des portions libres et influencées à l'évolution globale de la Tmp de la Sioule

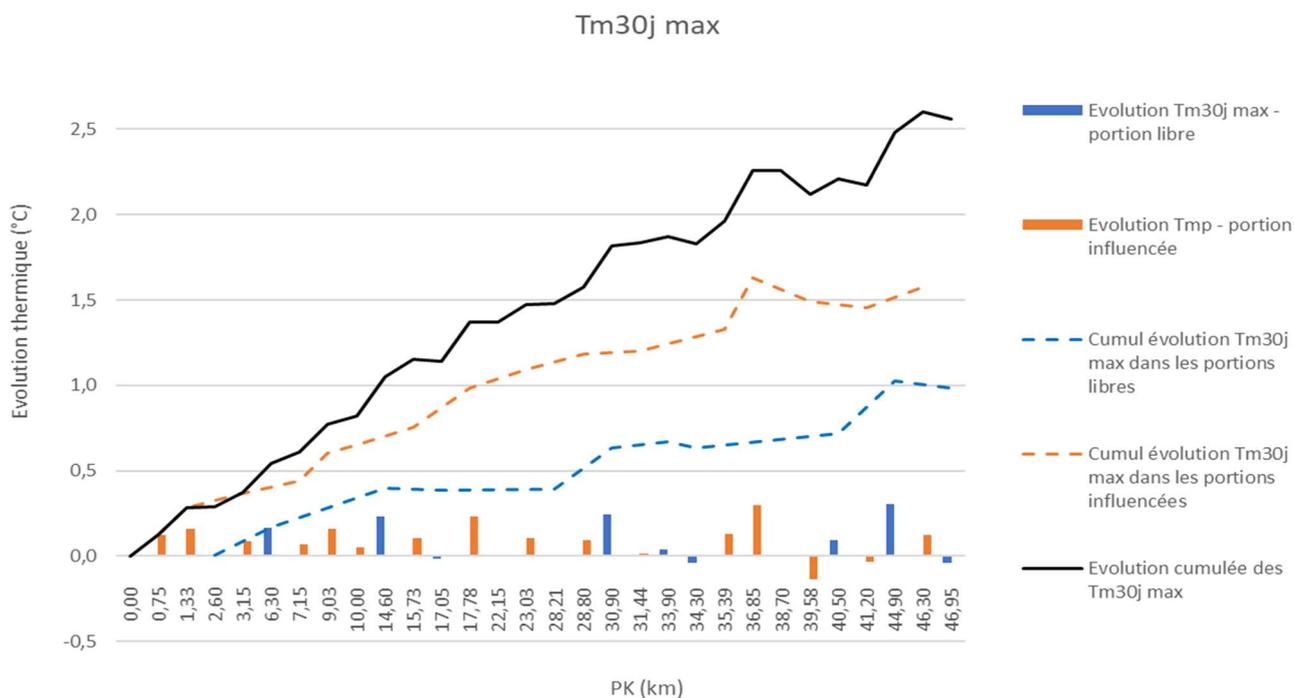


Figure 16 : Contributions des portions libres et influencées à l'évolution globale de la Tm30j max de la Sioule

Ces deux graphiques mettent en évidence le fait que ce sont les portions de la Sioule influencées par des seuils, pourtant minoritaires (37% du linéaire analysé), qui contribuent majoritairement au réchauffement des eaux :

- 1,3 °C de réchauffement des Tmp sur les 2,1 °C de réchauffement global, soit 62%
- 1,6 °C de réchauffement de la Tm30j max sur les 2,6 °C de réchauffement global, soit 62% également

Les graphiques suivants constituent une autre manière d'illustrer le rôle prépondérant des seuils sur le réchauffement global des eaux de la Sioule. Ils comparent l'évolution cumulée des Tmj et Tm30j max au sein des portions libres et influencées :

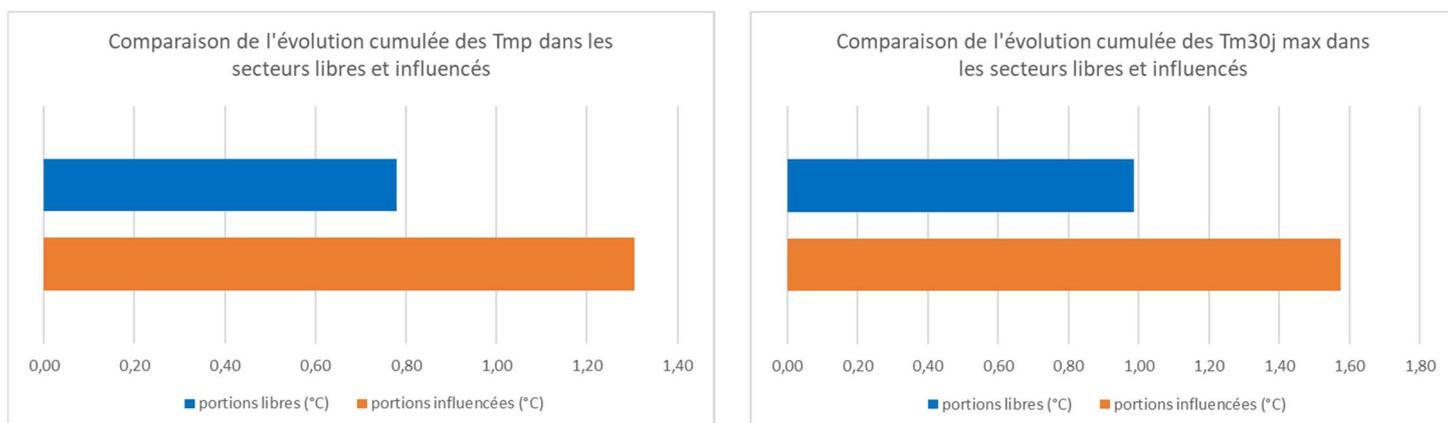


Figure 17 : Comparaison en fonction du type de portion considéré des évolutions cumulées des températures caractéristiques de la Sioule

Sans surprise ces graphiques mettent en évidence que la Sioule s'est davantage réchauffée au sein des portions influencées par la présence de seuils que dans les portions d'écoulement libre. L'importance du réchauffement est bien évidemment en partie liée aux longueurs cumulées respectives des portions libres et influencées. Or, dans le cas qui nous intéresse ici, les portions influencées utilisées pour l'analyse représentent 15 kilomètres alors que le cumul des portions libres avoisine 26 kilomètres.

Ainsi, pour n'étudier que l'influence du caractère libre ou influencé des écoulements sur le réchauffement des eaux, il convient de s'affranchir de l'influence de la longueur des différents types de portions. Les graphiques suivants présentent le résultat de cette analyse :

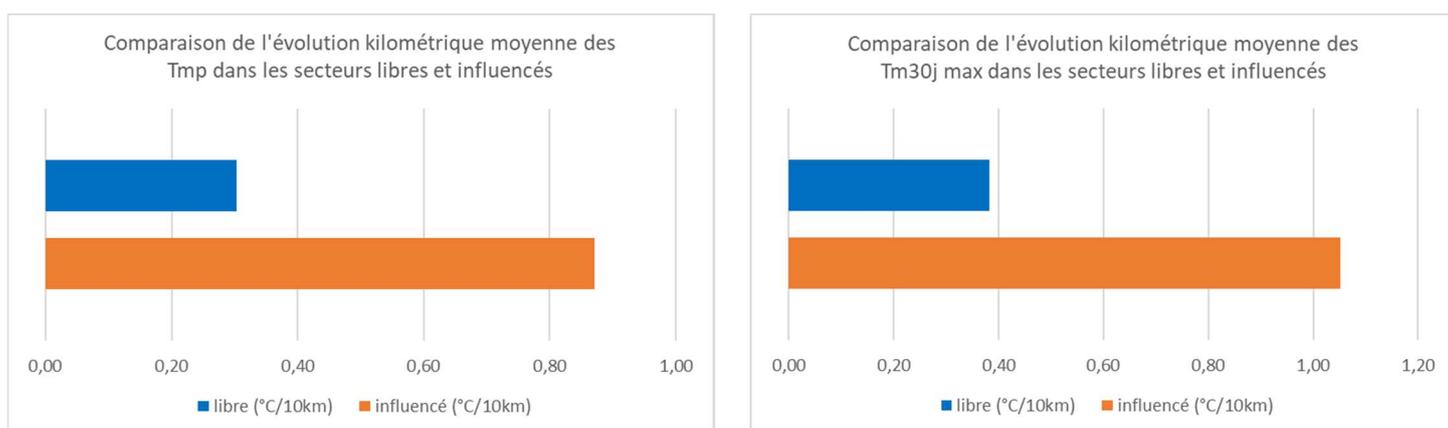


Figure 18 : Comparaison en fonction du type de portion considéré des évolutions kilométriques moyennes des températures caractéristiques de la Sioule

Ces graphiques montrent qu'il existe un facteur 3 entre le réchauffement des eaux de la Sioule dans les portions libres et influencées. **Autrement dit, les données provisoirement acquises dans le cadre de cette étude indiquent que la Sioule se réchauffe environ trois fois plus dans les portions soumises à l'influence d'un seuil que dans les portions où les écoulements sont libres.**

4 BILAN ET PERSPECTIVES

L'analyse des données acquises durant l'été 2021 avait pour but principal de déterminer les limites techniques et méthodologiques de l'étude pour adapter le protocole et modifier le plan de pose des sondes de mesures avant l'été 2022.

Un certain nombre d'hypothèses analytiques et le retrait de 15% de données jugées « douteuses » ont permis d'analyser avec une bonne fiabilité l'évolution thermique d'environ 80% du linéaire de la Sioule dans sa traversée du département de l'Allier. Les résultats obtenus mettent clairement en évidence l'impact très important des seuils sur le réchauffement des eaux de la Sioule puisqu'ils indiquent :

- Que les portions de la Sioule influencées par des seuils, pourtant minoritaires (37% du linéaire analysé), contribuent au réchauffement des eaux à hauteur de 62%.
- Que la Sioule se réchauffe en moyenne environ trois fois plus dans les retenues des seuils que dans les portions où les écoulements sont naturels ;

L'analyse finale des données sera réalisée à l'automne 2022 et devra permettre de consolider ces résultats et d'améliorer leur représentativité.

L'influence du débit sur le réchauffement des eaux, qui n'a pas été abordé dans le cadre de ce rapport provisoire, sera également étudiée, de même qu'une appréciation des valeurs de thermie caractéristiques au regard des exigences écologiques de la truite fario.