



Rapport d'étude

Suivi de la température des masses d'eau du bassin
Seine-Normandie dans le département de la Nièvre

Programmation triennale 2021-2023

3^{ème} tranche – Année 2023



Janvier 2025

Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de la Nièvre

174 Faubourg du Grand Mouësse 58000 Nevers - Tél. : 03 86 61 18 98 - Fax : 03 86 61 93 04

Courriel : fede.peche58@gmail.com - Site : www.federationdepeche58.fr

Table des matières

1	Contexte	1
2	Matériel et méthode	2
2.1	Site d'étude.....	2
2.2	Contexte piscicole.....	4
2.3	Espèce repère : la truite fario.....	5
2.4	Analyses des données thermiques.....	6
3	Analyse	7
3.1	Evolution de la température de l'air en 2023.....	7
3.2	Résultats 2023	7
3.2.1	Résultats par masse d'eau	8
4	Conclusion.....	55

1 Contexte

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, une augmentation de la température de l'eau peut avoir des effets dommageables sur de nombreuses espèces animales et végétales qui ne peuvent pas supporter des températures plus élevées. La température est l'un des facteurs primordiaux dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Elle a un impact sur le biotope, mais également sur la biocénose.

En effet, la température de l'eau a une influence sur la concentration en oxygène dissous présente dans les cours d'eau. La concentration en oxygène sera plus importante dans des eaux froides. La température de l'eau a un effet sur la distribution des espèces animales et végétales et leurs cycles biologiques. Une augmentation de la température de l'eau va entraîner une remontée progressive vers l'amont des espèces préférant les eaux froides.

La température de l'eau est donc un paramètre essentiel pour la présence de nombreuses espèces de poissons. Certaines de ces espèces requièrent des eaux froides et oxygénées, notamment les poissons de première catégorie, comme la truite fario, tandis que d'autres préfèrent des eaux plus chaudes et calmes (carpes, ...). Enfin, certaines des espèces piscicoles sont beaucoup plus ubiquistes et peuvent supporter de plus grandes variations de températures de l'eau.

Différents paramètres peuvent avoir un impact sur la température de l'eau en dehors des facteurs météorologiques (température de l'air et ensoleillement) : la présence d'étangs sur le bassin versant, dont l'impact est plus ou moins important selon leurs modes d'alimentation en eau ; la présence de seuil ou de barrage créant des zones larges et stagnantes favorable au réchauffement de l'eau ; l'absence ou la fragmentation de la ripisylve, qui évite le réchauffement en protégeant du rayonnement direct du soleil.

La Nièvre présente un réseau hydrographique dense et diversifié. La Loire, l'Allier et l'Yonne sont les 3 principaux cours d'eau qui traversent ce département. Mais de nombreux autres rivières et ruisseaux de tailles et de morphologies très variés sont également présents sur ce territoire.

Dans le cadre de l'acquisition de connaissances sur l'état des masses d'eau du bassin Seine-Normandie de la Nièvre, la Fédération de Pêche de la Nièvre a été missionnée pour réaliser un suivi thermique de 7 masses d'eau du bassin Seine-Normandie.

Ce suivi a donc pour but d'observer en continu la température de l'eau sur différentes rivières afin d'évaluer les potentielles évolutions de ce paramètre physique essentiel pour les espèces aquatiques.

Cette opération est la 3ème tranche d'un suivi sur le long terme qui a démarré en 2021.

2 Matériel et méthode

2.1 Site d'étude

13 sondes thermiques sont installées sur 8 masses d'eau du bassin Seine-Normandie (cf. 1) pour permettre de suivre l'évolution de la température de l'eau. Ces sondes viennent compléter 2 autres suivis réalisés pour le compte de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; le suivi de la température de l'Yonne et le suivi de la température de 6 masses d'eau du département.

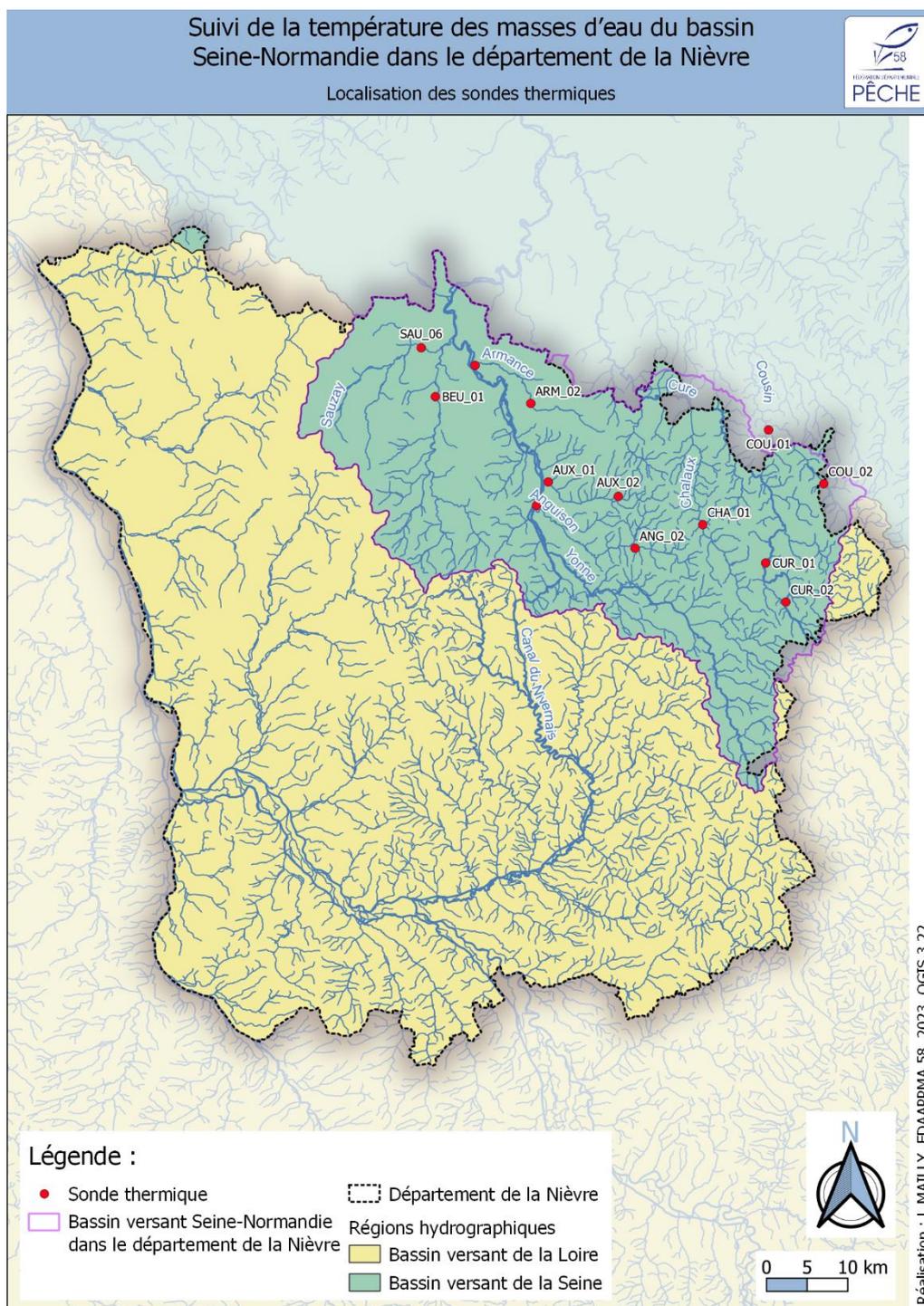


Figure 1 Localisation des sondes thermique sur le Bassin versant Seine-Normandie

Les sondes ont été placées les 12 et 15 juin 2021.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des sondes thermiques en place

Code sonde	Cours d'eau	Commune	Localisation	Coordonnées (Lambert 93)	
				X	Y
SAU_06	Sauzay	Clamecy	Moulot	735473	6705847
BEU_01	Beuvron	Ouagne	Ouagne	737218	6699796
ARM_01	Armance	Dornecy	Aval la Manse	742095	6703669
ARM_02	Armance	Metz-le-Comte	Amont D280	748951	6698958
AUX_01	Auxois	Ruages	Cropigny	751093	6689236
AUX_02	Auxois	Lormes	la Vallée	759703	6687446
ANG_01	Anguison	Chitry-les-Mines	Amont pont aval confluence	749656	6686322
ANG_02	Anguison	Vauclair	L'Huis Pataut	761770	6681031
CHA_01	Chaloux	Brassy	Aval pont D210	770088	6683946
CUR_01	Cure	Montsauche-les-Settons	Amont pont D193	777824	6679198
CUR_02	Cure	Moux-en-Morvan	Pont de l'Arpent	780307	6674363
COU_01	Cousin	Trinquelin	Rochers de la Breuillotte	778176	6695678
COU_02	Cousin	Champeau-en-Morvan	L'Etoule de Rupt	784969	6689008

Les sondes utilisées sont des Tidbit V2 de HOBO. Elles sont programmables et nous permettent d'enregistrer une température toutes les heures. Elles sont positionnées dans l'eau assez profondément pour éviter son exondation durant la période d'étiage du cours d'eau. La sonde est accrochée à une racine ou à un objet ne pouvant pas se faire emporter en cas de crue. Elle est également placée dans une coque en pvc, ce qui protège la sonde des chocs ainsi que des mouvements, limitant ainsi son usure et sa détérioration.



Figure 2 : Photographies d'une sonde thermique (à gauche) et de la pose de la sonde (à droite)

La relève, sur ce type de sonde, a lieu tous les ans. La récupération des données s'effectue grâce à l'utilisation d'une navette étanche, ce qui permet de transférer les données accumulées sans avoir à ramener la sonde aux locaux de la Fédération de Pêche de la Nièvre.



Figure 3 : Photographie de la récupération de données grâce à la navette étanche

2.2 Contexte piscicole

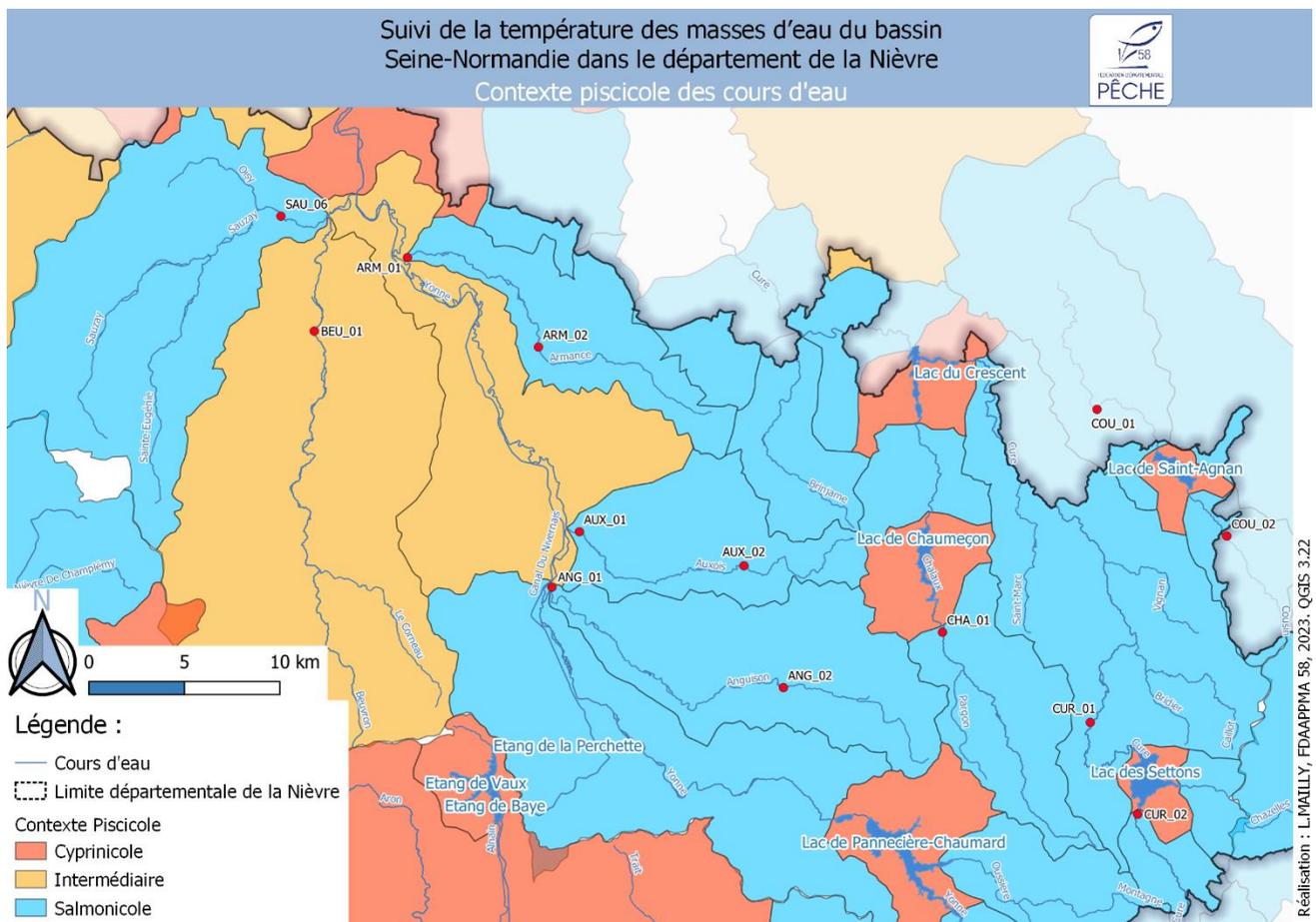


Figure 4 : contexte piscicole sur le bassin Seine-Normandie dans la Nièvre

Des 8 masses d'eau suivies, 7 sont en contexte piscicole salmonicole, dont la truite fario est l'espèce repère. Seule la masse d'eau du Beuvron est classée en contexte intermédiaire, dont les espèces repères sont les cyprinidés d'eau vive. L'analyse des données sera donc faite au regard des exigences biologiques de la truite fario.

2.3 Espèce repère : la truite fario

La truite fario (*Salmo trutta fario*) est un salmonidé réalisant l'ensemble de son cycle de vie en eau douce. Il s'agit d'une espèce rhéophile (elle apprécie le courant), sténotherme d'eau froide (elle exige de températures inférieures à 19°C) et d'eaux bien oxygénées. Cette espèce est caractéristique des cours d'eau de première catégorie piscicole qui sont généralement les ruisseaux et rivières de têtes de bassin.



Figure 5 : Truite fario de l'Yonne, en aval du barrage de Pannecière

La truite fario a des exigences très strictes vis-à-vis de la température de l'eau. Pour cette espèce sténotherme d'eaux froides, le principal danger est lié à une augmentation des températures estivales. La truite fario a un préférendum thermique qui va de 4 à 19°C. Au-dessus de cette température, la truite entre en état de stress physiologique, elle s'arrête de s'alimenter. Et au-delà de 25°C, le seuil létal de cette espèce est franchi. Ces seuils peuvent également varier en fonction de la qualité de l'eau.

Température de l'eau en °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
COURT TERME (quelques heures)	Seuil létal	Métabolisme réduit			Préférendum thermique														Stress physiologique			Seuil létal						
LONG TERME (moy journalière)	Seuil létal	Métabolisme réduit			Préférendum thermique													risque juvéniles	Stress physiologique			Seuil létal						
Stade embryo-larvaire	Seuil létal	Embryogénèse ralentie			Préférendum thermique								Diminution taux de survie		Seuil létal													

La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chaud est un indicateur souvent utilisée pour évaluer la capacité de la truite à effectuer son cycle de vie dans un milieu : les juvéniles (truitelles) sont plus sensibles que les adultes aux variations de températures et aux températures élevées. Ainsi, de nombreux auteurs (Elliot, 1995 ; Elliot et Hurley, 1998 ; Baran et al., 1999 ; étude sur la truite en Bourgogne, DR CSP, Baran ; Baran et Delacoste, 2005) considèrent que si la moyenne de l'eau des 30 jours consécutifs les plus chauds ($T_{m30j \max}$) excède les 17,5 – 18°C, alors il y a des impacts négatifs avérés sur la survie des truitelles.

2.4 Analyses des données thermiques

Pour chaque station du suivi, différentes analyses seront réalisées. L'ensemble de ces calculs et analyses permettront de mieux appréhender l'évolution annuelle de la température sur les stations et la compatibilité des températures avec les exigences biologiques de la truite.

Un graphique de l'évolution annuelle de la température de l'eau sera effectué par station de mesure à partir des données brutes.

Enfin, différents calculs seront opérés à partir des données brutes afin de réaliser différents calculs en lien avec la physiologie de la truite fario, et notamment de ces seuils thermiques :

- ◆ Thermie générale :
 - Tmin : Température minimale enregistrée.
 - Tmax : Température maximale enregistrée.
 - Tmj min : Température moyenne journalière minimale.
 - Tmj max : Température moyenne journalière maximale.

- ◆ Préférendum thermique de la truite fario :
 - Tm30j max : Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chaud.

- ◆ Stress physiologique de la truite fario :
 - NTi > 19 : Nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure à 19°C.
 - Nseq Ti > 19 : Nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C.
 - Nmax Tic > 19 : Nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C.

- ◆ Seuil léthal de la truite fario :
 - NTi ≥ 25 : Nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure ou égale à 25°C.
 - Nseq Ti ≥ 25 : Nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C.
 - Nmax Tic ≥ 25 : Nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C.

Les températures relevées sont également comparées aux températures de l'air mesurées à la station météorologique de Nevers-Marzy. Située à 180 m d'altitude, c'est la seule station météorologique du département dont les données nous sont disponibles.

Les données sont récupérées sur le site internet suivant :

<https://prevision-meteo.ch/climat/journalier/nevers-marzy/2022-01>

3 Analyse

3.1 Evolution de la température de l'air en 2023

La température de l'air est un des paramètres les plus influents sur la température de l'eau. L'année 2023 a été globalement chaude, avec des températures importantes qui se sont maintenues jusqu'au début du mois d'octobre.

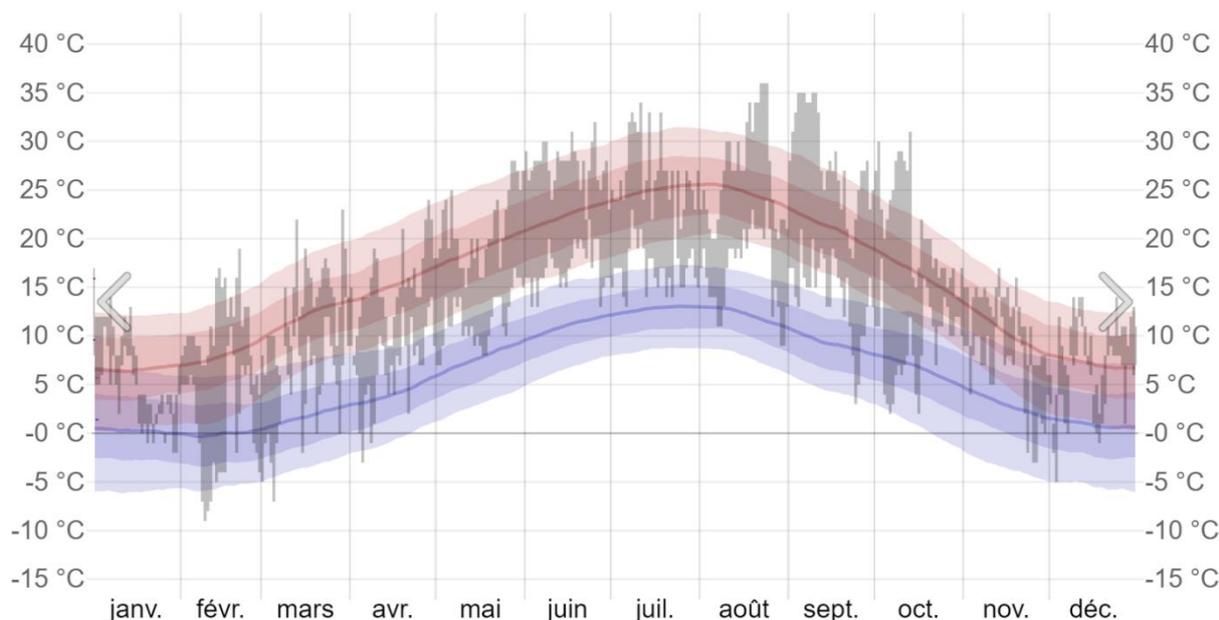


Figure 6 : Historique des températures pour Nevers-Fourchambault © WeatherSpark.com

La plage quotidienne des températures rapportées (barres grises) et températures maximales (cochettes rouges) et minimales (cochettes bleues) à 24 heures, placées au-dessus de la température quotidienne moyenne maximale (ligne rouge ténue) et minimale (ligne bleue ténue), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile.

Les données de température de l'air sont consultables via le lien suivant : <https://fr.weatherspark.com/h/y/147964/2023/M%C3%A9t%C3%A9o-historique-en-2023-%C3%A0-Nevers-Fourchambault-France#Figures-Temperature>

3.2 Résultats 2023

La relève des données a été rendue compliquée par les niveaux d'eau assez importants dans les cours d'eau à partir du mois d'octobre 2023 jusqu'à l'été 2024. La campagne de relevé de l'automne 2023 a dû être annulée et la campagne du printemps 2024 a été repoussée à l'été.

Les sondes ont donc été relevées sur deux journées à l'été 2024, le 11 juillet et le 9 août.

3.2.1 Résultats par masse d'eau

◆ *Le Sauzay (FRHR48)*

Le Sauzay est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole, affluent du Beuvron. Il prend sa source sur la commune d'Oudan et coule sur 25 km. La surface du bassin versant du Sauzay est de 200 km².

La sonde thermique est placée au niveau du village de Moulot, sur la commune de Clamecy, à 3,5 km de la confluence avec le Beuvron.

Cette station est située tout à l'aval du bassin versant et permet de prendre en compte le cumul de toutes les dégradations possibles sur le bassin versant pouvant influencer sur la température de l'eau.



Figure 7 : Emplacement de la sonde SAU_06

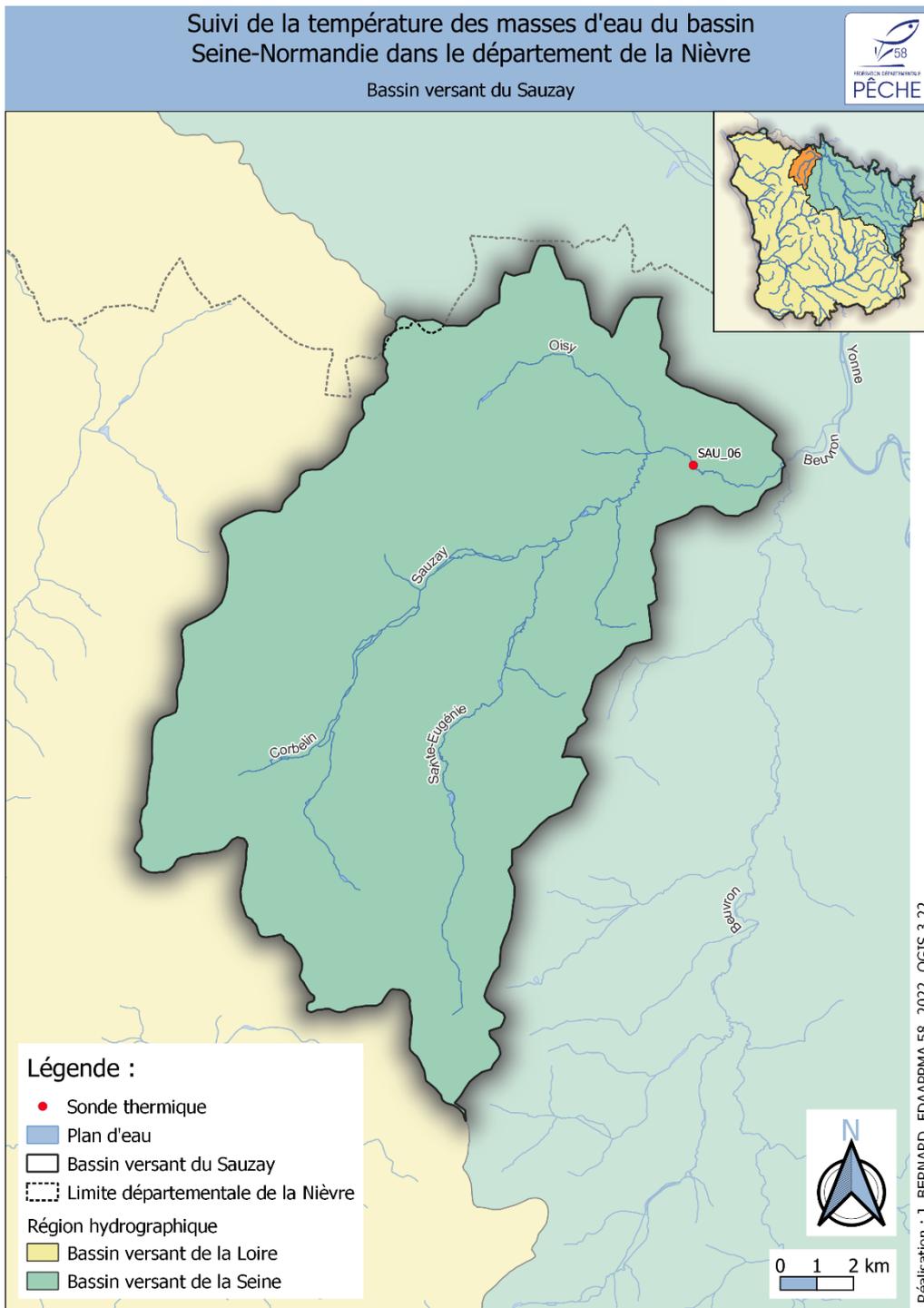


Figure 8 : Bassin versant du Sauzay

28 obstacles à l'écoulement sont recensés à l'amont de la station dans le ROE. On note également la présence d'étangs dont la majorité est en dérivation. 2 sont tout de même en barrage sur cours d'eau, l'étang de fond sur l'Oisy à Billy sur Oisy et un petit étang à la source du Sauzay à Oudan.

Sur la station SAU_06, la température de l'eau du Sauzay a varié entre 3,54°C et 23,57°C sur l'année 2023.

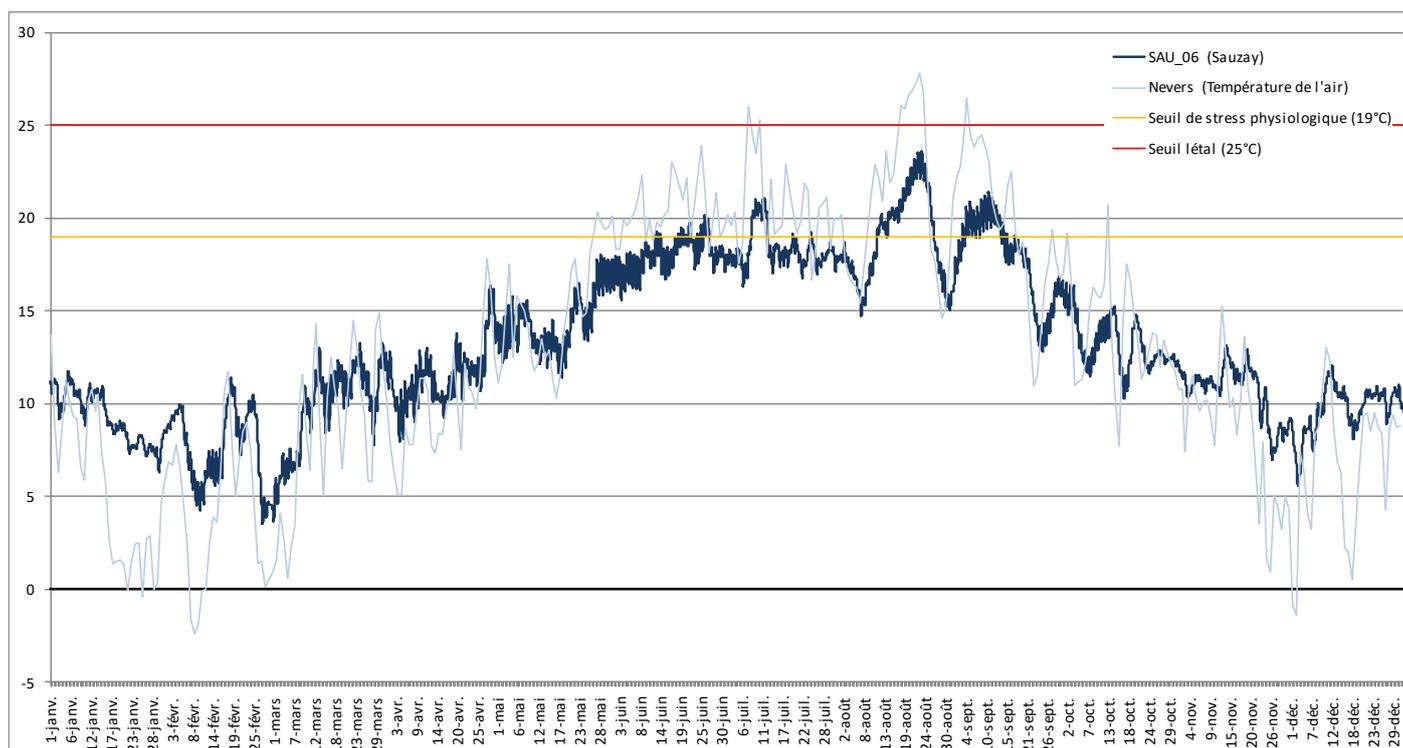


Figure 9 : Evolution des températures instantanées de la station SAU_06 durant l'année 2023

Tableau 2 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur SAU_06

SAU_06		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	5,23 °C	2,5 °C	3,54 °C
	Tmax	20,76 °C	21,32 °C	23,57 °C
	Tmj min	5,45 °C	3,19 °C	4,37 °C
	Tmj max	20,05 °C	20,91 °C	22,77 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,58 °C	19,18 °C	19,77 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	202 h	699 h	857 h
	Nseq Ti > 19	10	24	21
	Nmax Tic > 19	83 h	132 h	303 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/

La température de l'eau du Sauzay montre une bonne corrélation avec la température de l'air, la température de l'eau suit celle de l'air, mais également une forte capacité à tamponner les variations de température de l'air. Il est probable que les échanges avec la nappe d'accompagnement (calcaires du Nivernais) permettent cette stabilité et de limiter le refroidissement en hivers et le réchauffement en été.

L'année 2023 a présenté des périodes très chaude et l'impact est notable sur la thermie du Sauzay.

Des dépassements du seuil de stress physiologique de la truite sont observés à partir du 11 juin et jusqu'au 17 septembre. Sur cette période, 21 dépassements ont été observés, dont le plus long é été de 303 h consécutives. Au total, l'eau est restée au-dessus de 19°C pendant 857h.

La Tm30j max atteint 19,77°C, ce qui est la plus forte valeur des 3 années de suivi. La survie d'une éventuelle population de truites au niveau de la station en 2023 aurait donc été fortement compromise.

Bien que le seuil léthal n'ait pas été atteint, la température a dépassé le seuil de stress physiologique pendant de longues longue période (plus de 12 jours consécutifs), influant sur la possibilité des éventuelles truites à s'alimenter.

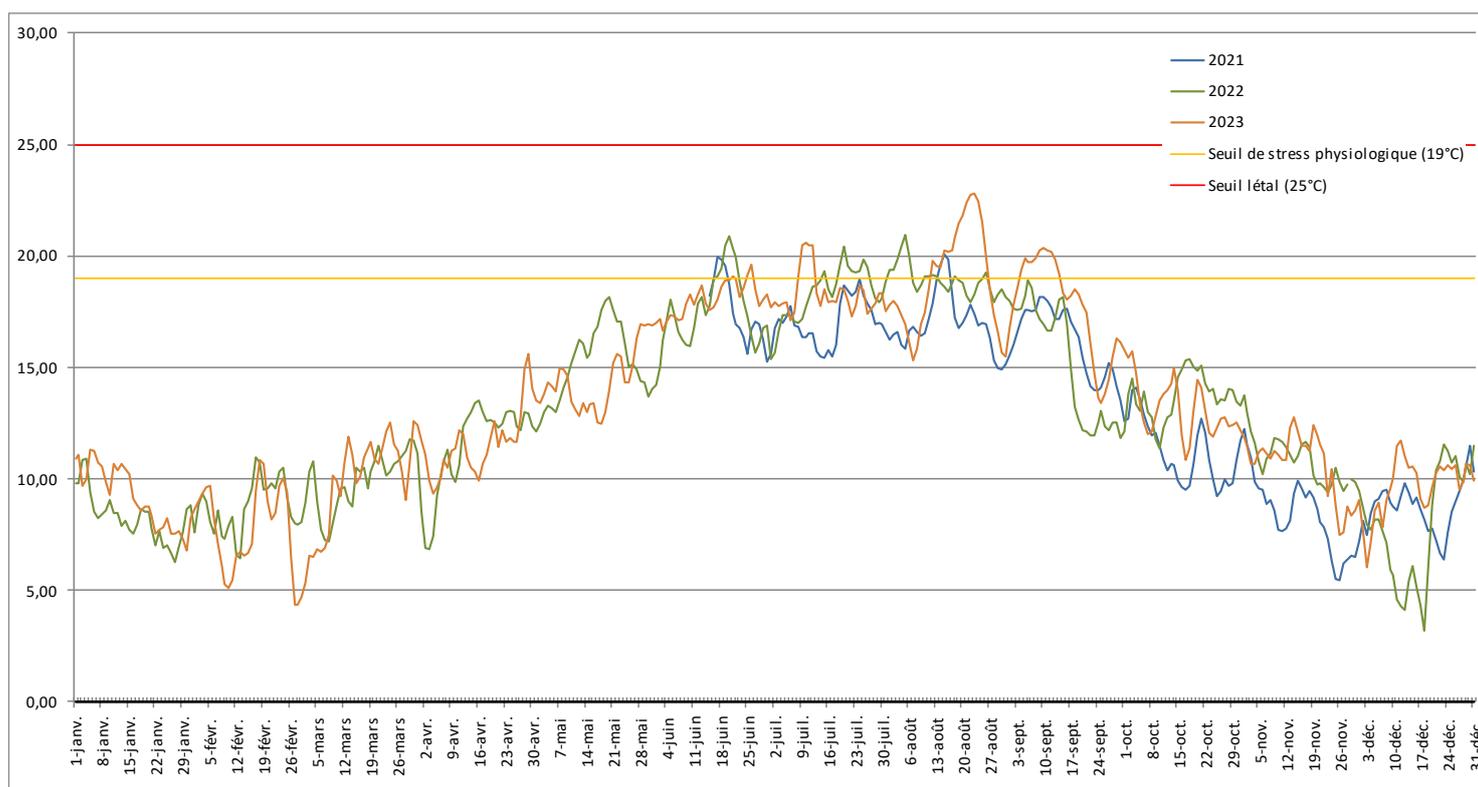


Figure 10 : Comparaison des températures moyennes journalières du Sauzay de 2021, 2022 et 2023

La courbe de comparaison des températures moyennes journalières montre une évolution de similaire au cours de l'année, avec des pics de température plus important en 2023, à la fois en durée et en intensité.

◆ **Le Beuvron (FRHR47)**

Le Beuvron est un cours d'eau au contexte piscicole intermédiaire, classé en 2nd catégorie piscicole. D'une longueur de 40 km, il draine un bassin versant de 310 km².

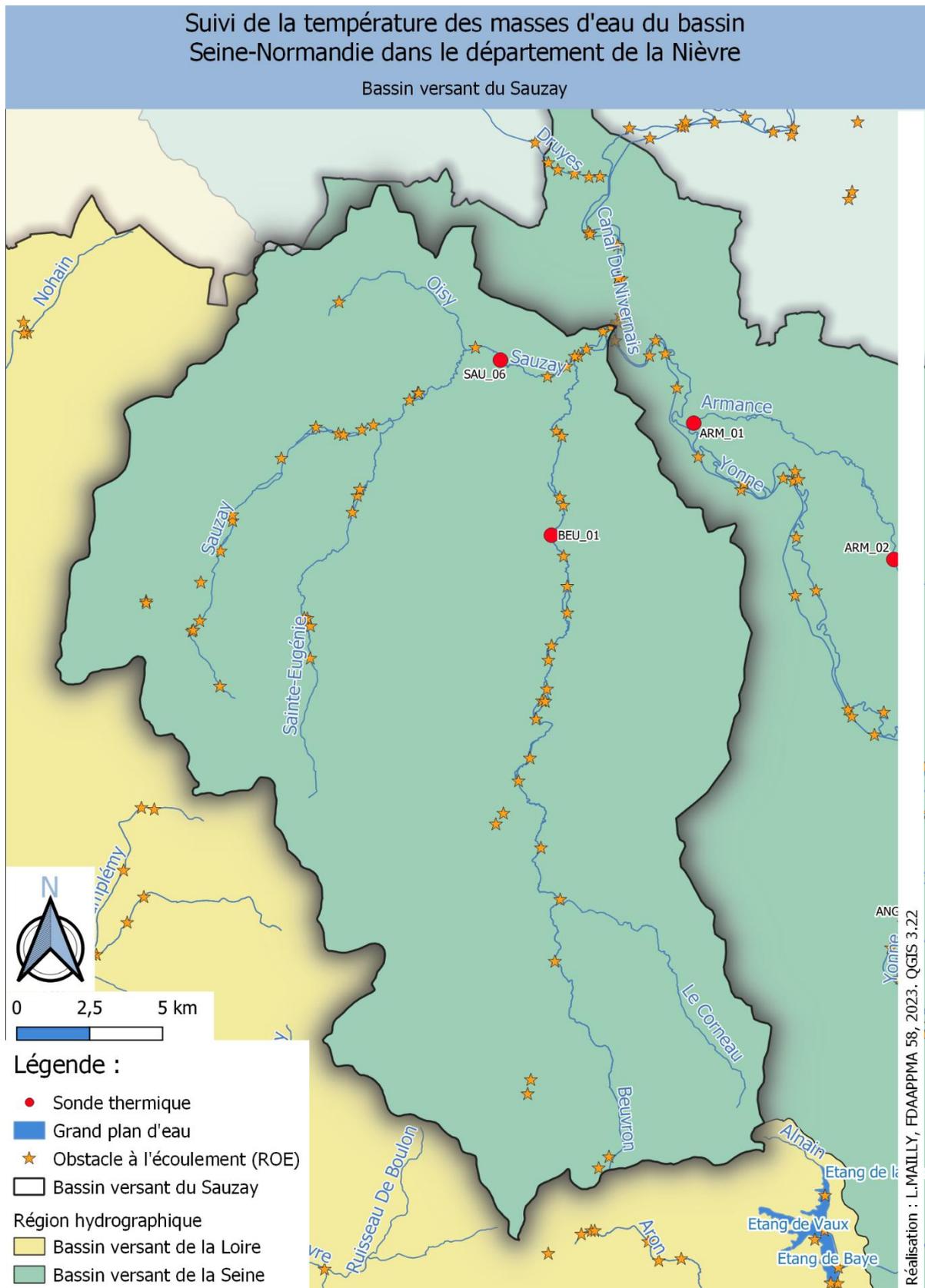


Figure 11 : Bassin versant du Beuvron

La majoritairement du bassin versant est occupé par de la forêt de feuillus. Dans l'occupation des sols, arrivent ensuite les grandes cultures, bien que le lit majeur du cours d'eau et les parcelles à proximité soient en grande partie dédiés au pâturage.

On dénombre 27 obstacles à l'écoulement référencés dans le ROE sur le bassin versant du Beuvron (sans compter ceux sur le Sauzay). Parmi ces ouvrages, on retrouve des seuils, des lavoirs et des étangs. On retrouve des étangs importants et en barrage en tête de bassin versant : étang de la Bouille, étang Neuf, étang d'Arthel, étang de Chanteloup sur le Corneau.

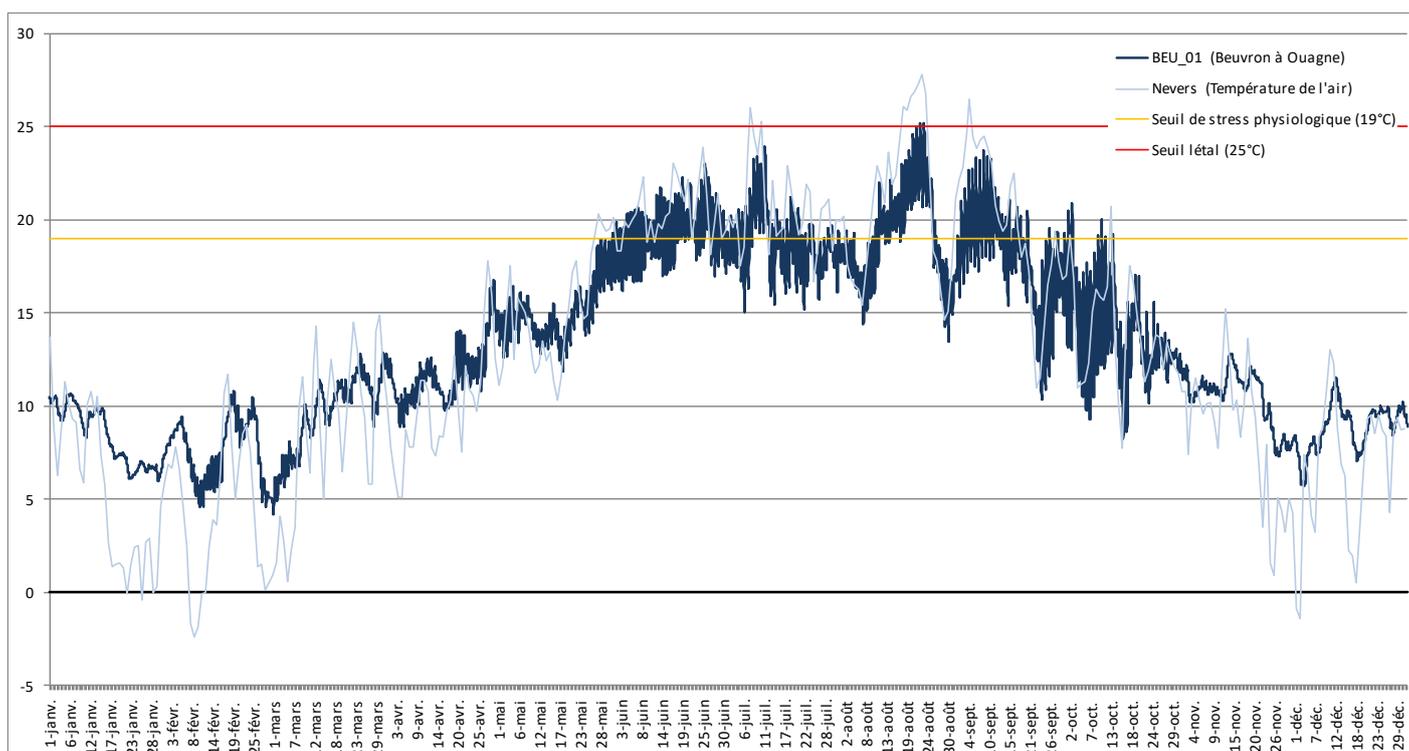


Figure 12 : Evolution des températures instantanées de la station BEU_01 durant l'année 2023

Tableau 3 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur BEU_01

BEU_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	5,33 °C	5,44 °C	4,19 °C
	Tmax	22,44 °C	24,03 °C	25,21 °C
	Tmj min	5,72 °C	5,63 °C	5,18 °C
	Tmj max	20,84 °C	21,86 °C	22,95 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	18,03 °C	20,02 °C	19,92 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	423 h	1287 h	1335 h
	Nseq Ti > 19	35	79	92
	Nmax Tic > 19	91 h	162 h	210 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	12 h
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	2
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	4 h

Comme sur le Sauzay, l'eau du Beuvron montre une bonne capacité à tamponner les températures froides de l'hivers. Malgré la température de l'air extérieure négative, la température de l'eau se maintient aux alentours de 5°C.

Il est d'ailleurs intéressant de noter que les températures minimales du Beuvron et du Sauzay sont assez proches. Les températures estivales sont par contre plus chaudes sur le Beuvron.

Si en 2021, les conditions de températures auraient pu être plutôt favorable à la truite, ce n'est pas le cas en 2022 et 2023. Bien que le seuil de température létale pour l'espèce a même été franchi à 2 reprises, avec une température instantanée maximale relevée à (25,21°C). Le seuil de stress physiologique a été dépassé à de nombreuses (92) reprises, et la température est restée plus de 8 jours (210 h) au-dessus de 19°C. La Tm30j max s'établie à 19,92°C, valeur quasiment identique à celle calculée en 2022, qui n'est pas propice à l'accueil d'une population de truite fario.

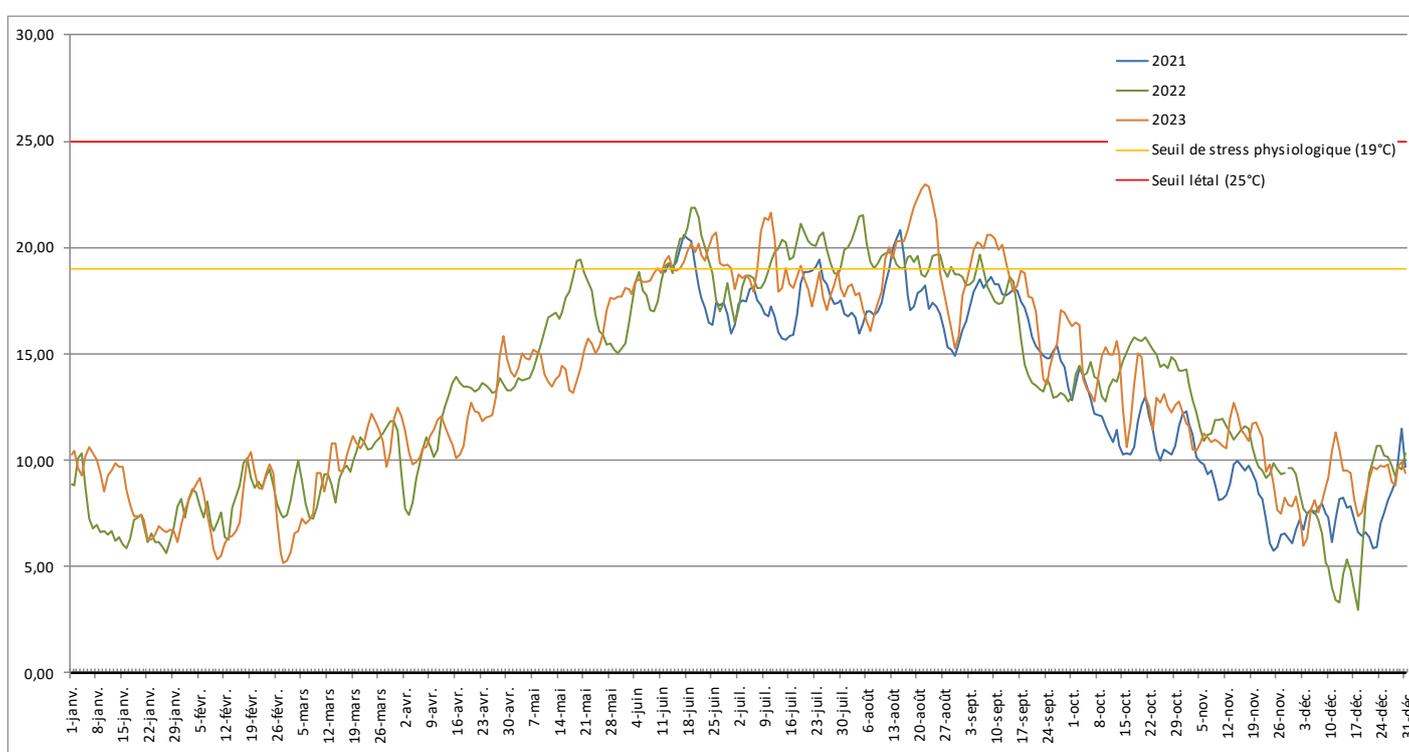


Figure 13 : Comparaison des températures moyennes journalières du Beuvron de 2021 et 2022

La figure ci-dessus permet de comparer les températures moyennes journalière du Beuvron de 2021, 2022 et 2023. Elle montre une évolution annuelle similaire de la température sur les 3 années de suivi. La variabilité est plus importante sur la période estivale. Alors que l'été 2022 semble globalement chaud, l'été 2023 montre des pics de températures de forte intensité et d'assez longue période, entrecoupé de petite chutes de température.

Cette variabilité de la température de l'eau retranscrit la variabilité météorologique entre les différentes années de suivi.

◆ L'Armance (FRHR45)

L'Armance est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole, affluent de l'Yonne. Sa source est située sur la commune de Bazoches. L'Armance fait 24 km de long et son bassin versant s'étend sur 77 km².

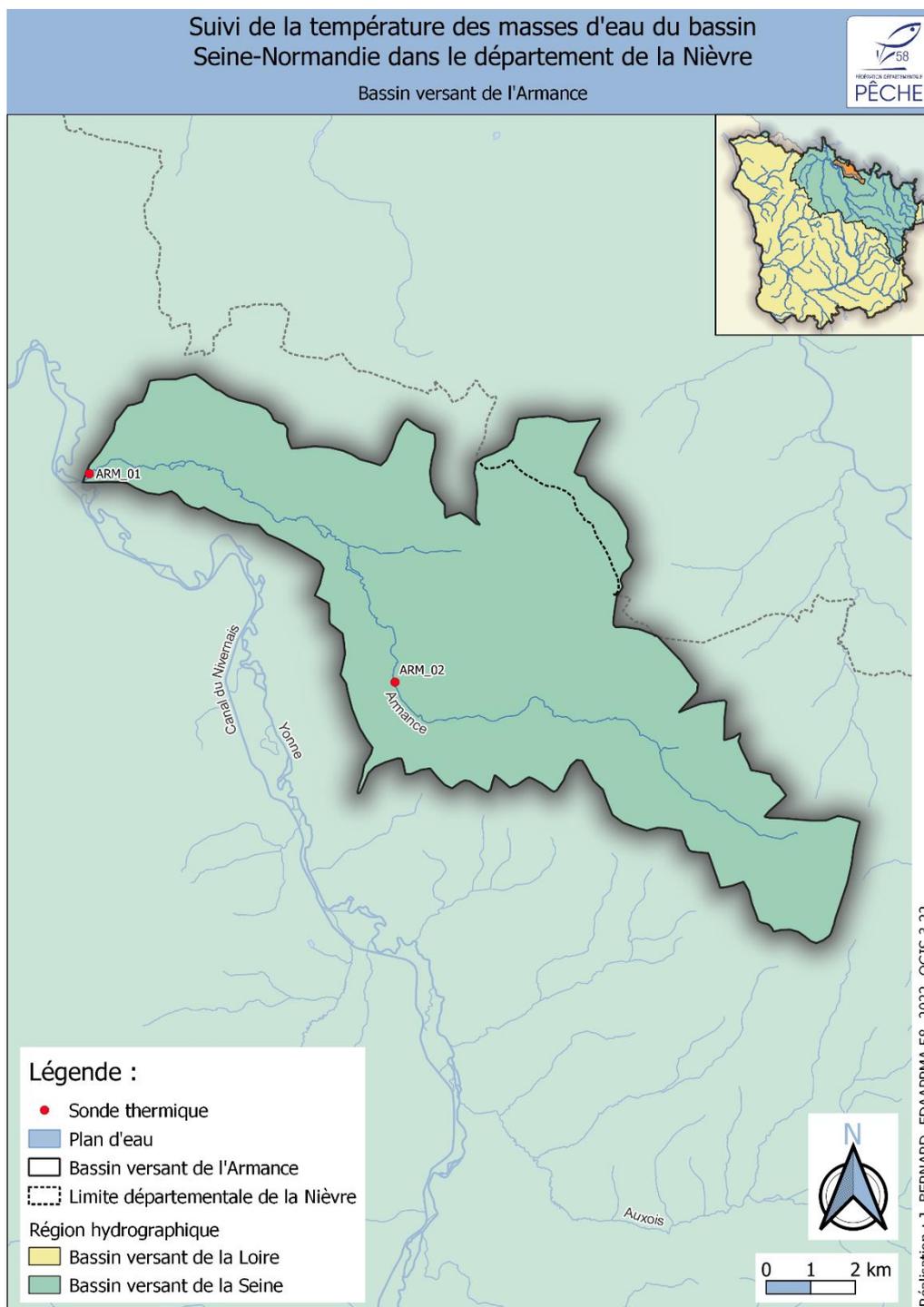


Figure 14 : Bassin versant de l'Armance

Deux stations sont placées sur la masse d'eau de l'Armance. La première est située à 300 m de la confluence avec l'Yonne. La deuxième est située au niveau de la commune de Metz-le-Comte, soit environ à la moitié du linéaire de l'Armance.

Seulement 3 obstacles sont recensés dans le ROE sur ce cours d'eau, dans la partie amont, dont 2 sont des lavoirs et le troisième est le moulin de Neuffontaines, dont la retenue forme un étang. D'autres ouvrages présents sur le bassin versant ne semblent pas répertoriés dans le ROE, comme moulin de Morizot ou le Gué de la forge.

◇ ARM_01 (Secteur aval)

La température de l'eau de l'Armanche sur le secteur aval a varié entre 5,87°C et 21,82°C durant l'année 2023.

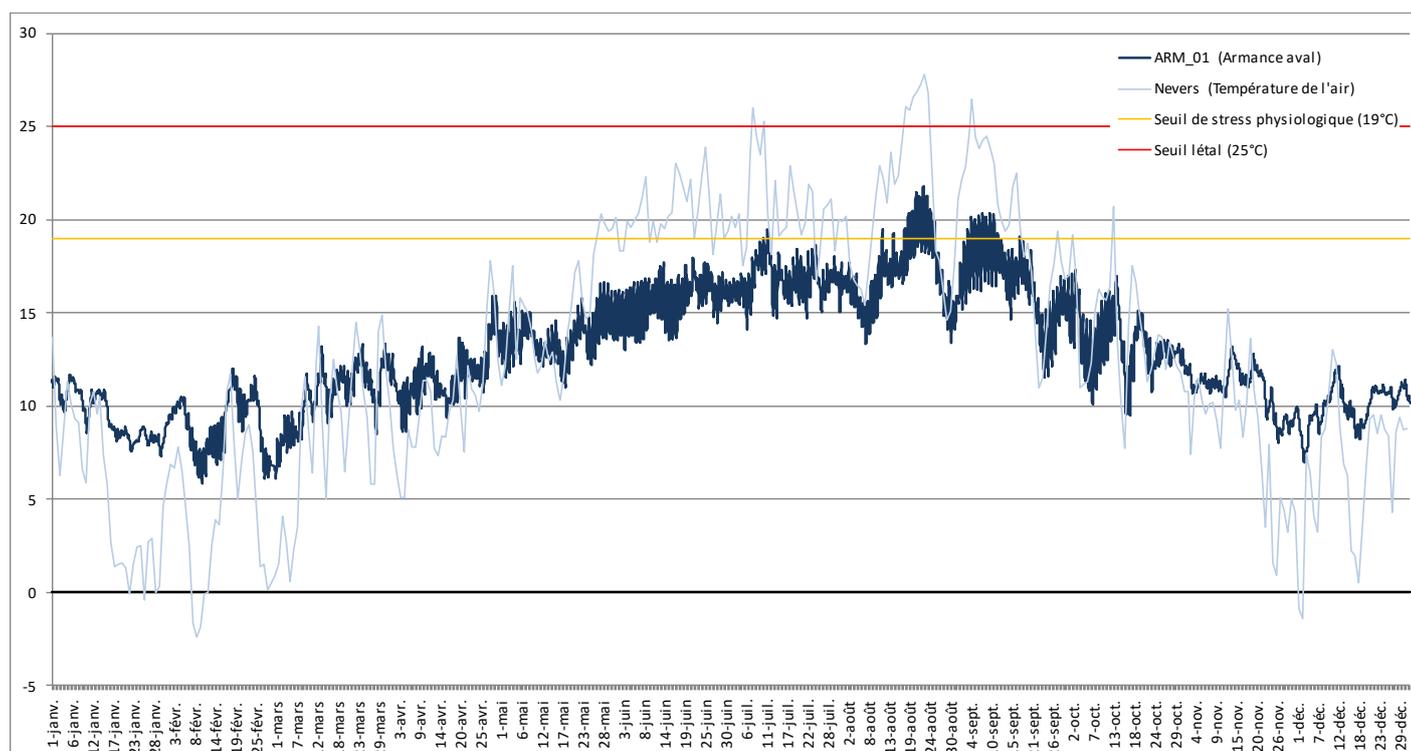


Figure 15 : Evolution des températures instantanées de la station ARM_01 durant l'année 2023

Tableau 4 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur ARM_01

ARM_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	6,41 °C	6,54 °C	5,87 °C
	Tmax	17,84 °C	21,39 °C	21,82 °C
	Tmj min	6,7 °C	7,42 °C	6,78 °C
	Tmj max	16,77 °C	19,29 °C	19,94 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	15,62 °C	17,87 °C	17,78 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	/	228 h	203 h
	Nseq Ti > 19	/	33	23
	Nmax Tic > 19	/	21 h	17 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

La température de l'eau est liée à la température de l'air, bien que les variations en soient fortement atténuées. La présence d'une source importante (la source de Perseau) à environ 1

km à l'amont aide certainement à la stabilité de la température de l'eau par rapport à l'air sur cette station

En 2023 comme en 2022, le seuil de stress physiologique est dépassé plusieurs fois, ce qui n'était pas le cas en 2021 (voir tableau 4).

La température maximale instantanée atteint les 21.82°C, soit une augmentation de 4°C par rapport à 2021 !

Ces dépassements restent tout de même ponctuels et assez peu important au vu de la température de l'air extérieur.

La Tm30j max de 2023 est très proche de celle de 2022, avec 17,78°C. La température de l'eau est donc conforme aux exigences physiologiques de la truite fario, mais cette valeur de TM30j indique une température qui se trouve à la limite à partir de laquelle des effets néfastes peuvent être observés sur les truitelles.

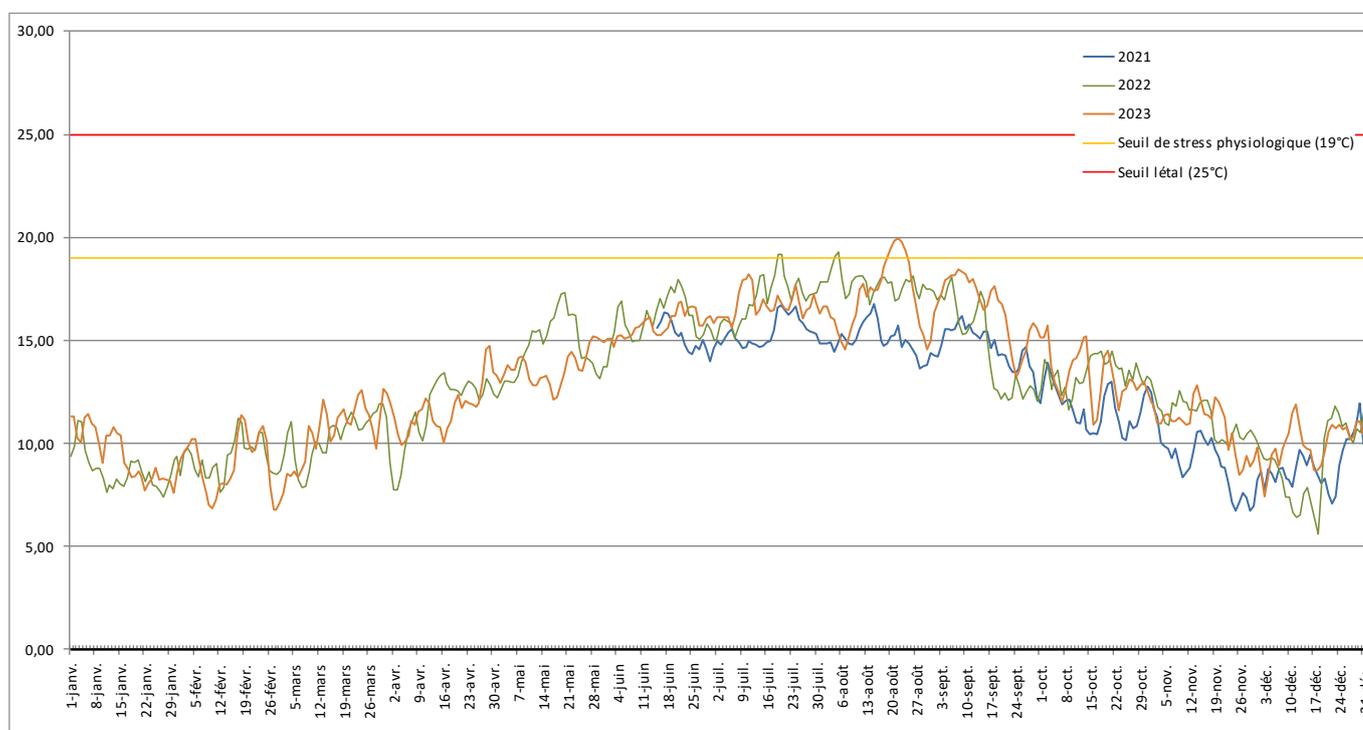


Figure 16 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station ARM_01

Le graphique montre une différence importante entre les températures journalières de la période estivale de 2021 et de celles de 2022 et 2023, retranscrivant encore une fois la variabilité météorologique interannuelle.

Les températures relevées restent tout de même dans une gamme permettant le maintien d'une population de truite fario.

◇ ARM_02 (Secteur amont)

La température de l'eau de l'Armanche sur le secteur amont a varié entre 3,09°C et 25,26°C durant l'année 2023.

Figure 17 : Evolution des températures moyennes journalières de la station ARM_02 durant l'année 2023

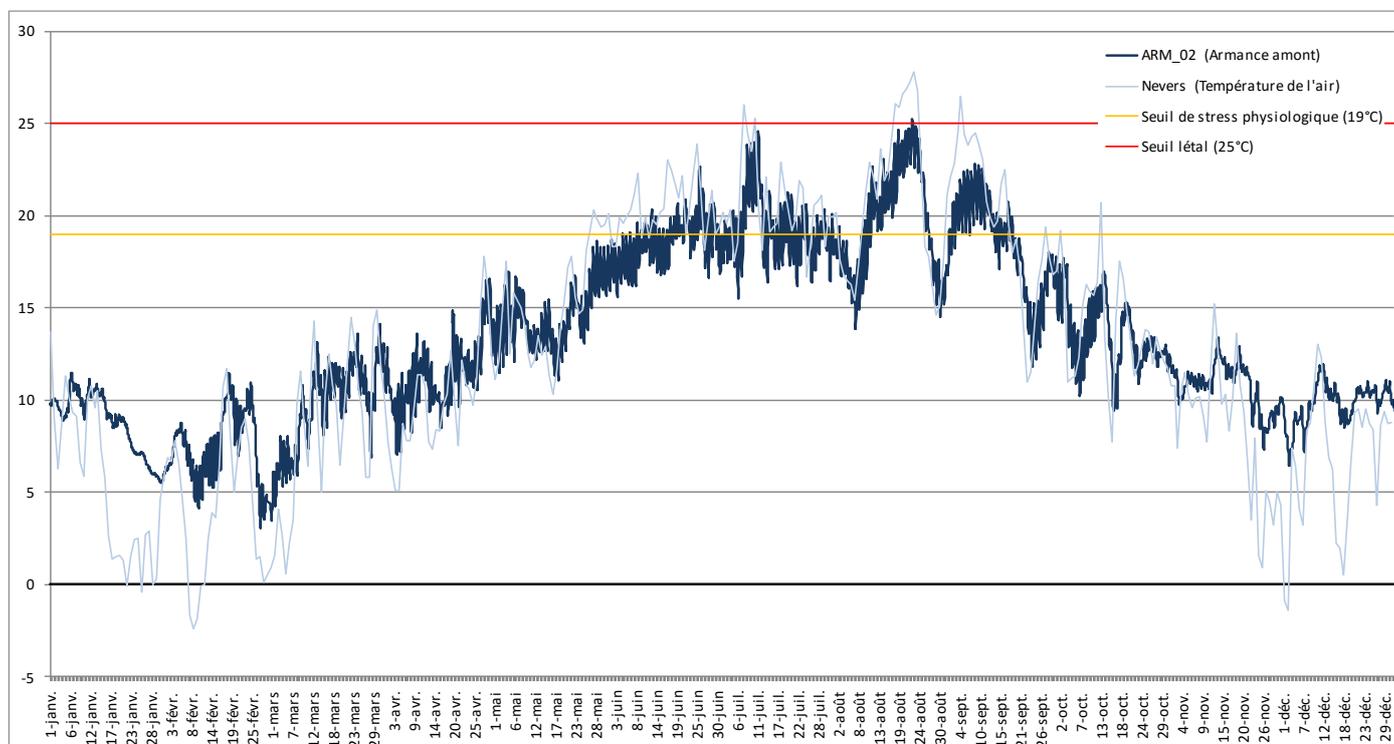


Tableau 5 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur ARM_02

ARM_02		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	5,82 °C	2,77 °C	3,09 °C
	Tmax	21,29 °C	24,24 °C	25,26 °C
	Tmj min	6, °C	3,97 °C	4,29 °C
	Tmj max	20,77 °C	22,52 °C	24,11 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,7 °C	20,27 °C	20,74 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	233 h	1479 h	1404 h
	Nseq Ti > 19	8	79	61
	Nmax Tic > 19	101 h	141 h	379 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	10 h
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	1
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	5 h

En 2023, le seuil de stress physiologique est dépassé 61 fois pour un total de 1404h passées au-dessus de 19°C, dont la plus longue séquence a durée 379h. La température maximale instantanée est relevée à 25,26 °C le 28/08/2023.

Le seuil de température létale pour la truite fario a donc également été franchi.

Les conditions thermiques du cours d'eau ne sont donc pas conformes avec les exigences de la truite fario, ce qui est également confirmé par la Tm30j max, qui atteint 20,74°C, la plus haute valeur de cette métrique sur cette station depuis le début du suivi.

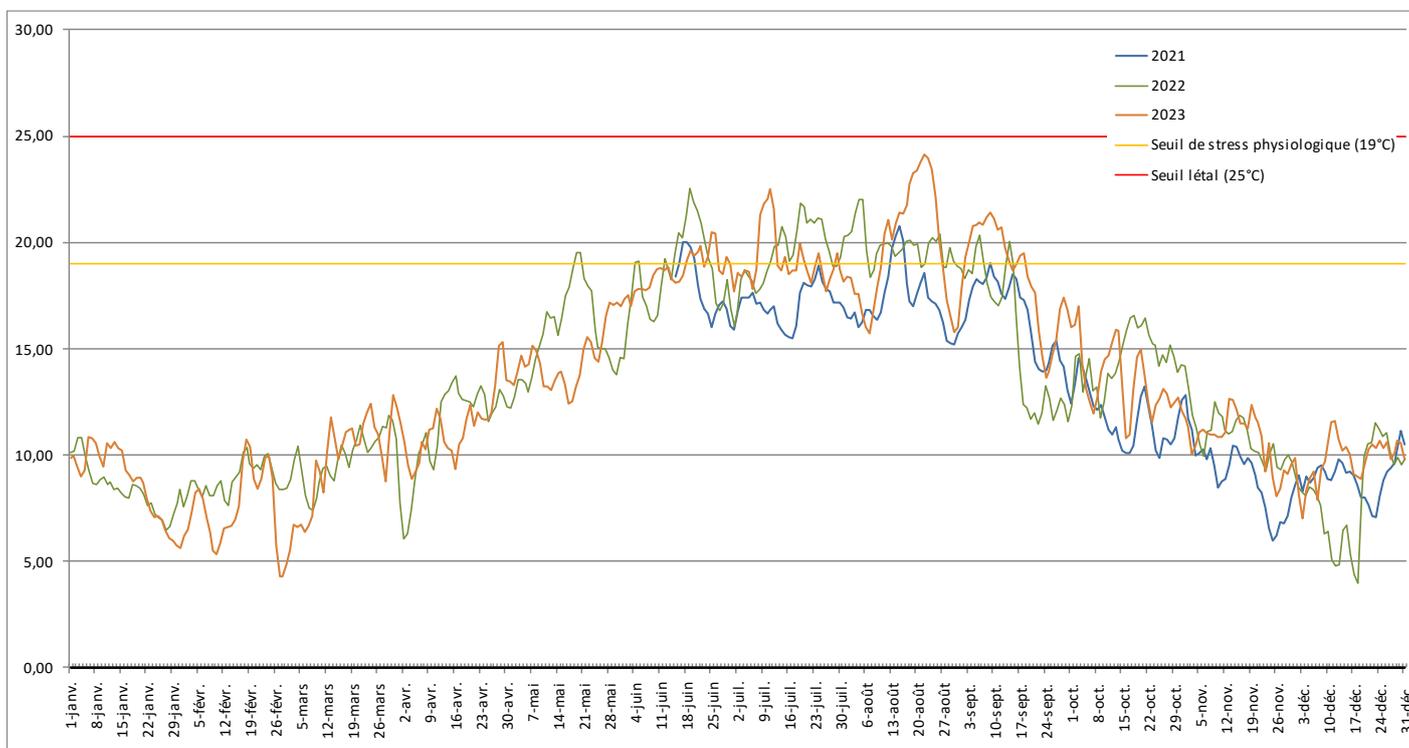


Figure 18 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station ARM_02

Comme sur la station aval, évolution de la température moyenne journalière de l'eau retranscrit la variabilité météorologique annuelle.

Le cours d'eau est cependant bien plus sensible au réchauffement sur la période estivale au niveau de cette station que sur la station aval.

◇ *Comparaison des stations du bassin versant de l'Armance*

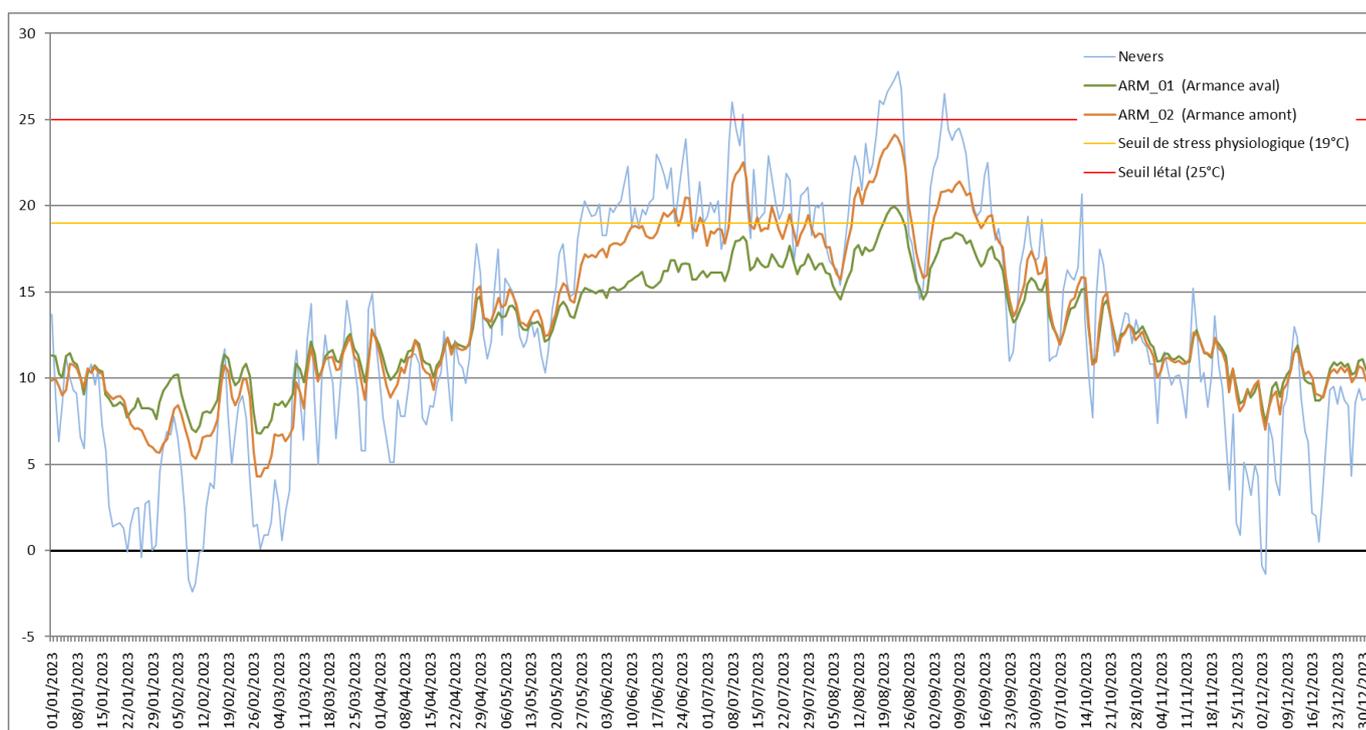


Figure 19 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'air et des stations ARM_01 et ARM_02 durant l'année 2023

Tableau 6 : Comparaison des différentes métriques des stations ARM_01 et ARM_02 en 2021, 2022 et 2023

Année suivi		2021		2022		2023	
Code station		ARM_01	ARM_02	ARM_01	ARM_02	ARM_01	ARM_02
Données générales	Tmin	6,41 °C	5,82 °C	6,54 °C	2,77 °C	5,87 °C	3,09 °C
	Tmax	17,84 °C	21,29 °C	21,39 °C	24,24 °C	21,82 °C	25,26 °C
	Tmj min	6,7 °C	6, °C	7,42 °C	3,97 °C	6,78 °C	4,29 °C
	Tmj max	16,77 °C	20,77 °C	19,29 °C	22,52 °C	19,94 °C	24,11 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	15,62 °C	17,7 °C	17,87 °C	20,27 °C	17,78 °C	20,74 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	/	233 h	76 h	1479 h	203 h	1404 h
	Nseq Ti > 19	/	8	33	79	23	61
	Nmax Tic > 19	/	101 h	21 h	141 h	17 h	379 h
Seuil léthal	Nti ≥ 25	/	/	/	/	/	10 h
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/	/	/	1
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/	/	/	5 h

Sur les 3 années de suivi, la température sur ARM_02 (à l'amont du BV) était significativement plus chaude que celle de ARM_01 (voir Tableau 6).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer le fait que l'eau soit plus fraîche sur la station aval que sur l'amont.

La présence d'ouvrages, dont une retenue importante (étang), proche de la source à Neuffontaines. Ce type d'ouvrage entraîne un réchauffement de l'eau et augmente l'évaporation.

La différence d'occupation du bassin versant entre l'amont et l'aval. La figure 16 montre que l'amont du bassin versant, à l'est, est principalement composé de parcelles agricoles et très peu de forêts, contrairement à la partie aval qui possèdent de larges massifs forestiers, notamment au nord. De plus, la ripisylve est plus dense sur le tronçon aval de ce bassin versant, le tronçon amont présentant une ripisylve bien plus discontinue.

La végétation, et donc l'ombrage qu'il provoque, a très certainement un impact sur la température de l'eau. De plus, même s'ils ne sont pas indiqués sur les cartes et différentes données SIG, des sources, ruissellements et petits rus sont présents sur ce bassin versant et certains d'entre eux naissent dans cette forêt. Leur eau, grâce à la végétation et l'ombrage, est plus fraîche et participe au rafraîchissement de la température de l'eau de l'Armance.

Un petit affluent et plusieurs sources sont présents au niveau de la commune de Dornecy. Un petit ruisseau arrive de la forêt du nord du bassin versant, traverse le bourg de Dornecy, passe par le lavoir du village et se jette dans l'Armance en rive droite. La source de Perseau est également présente entre Dornecy et la station (à 1100 m en amont de la station).

Enfin, il est important de noter que l'Armance est un ruisseau qui s'assèche régulièrement durant l'été, notamment à l'amont de la commune de Dornecy. L'eau présente dans l'Armance provient donc principalement de ces petits tributaires, apportant une eau plus fraîche au cours d'eau quelques centaines de mètres en amont de la station ARM_02.

Suivi de la température des masses d'eau du bassin Seine-Normandie dans le département de la Nièvre

Bassin versant de l'Armanche - Occupation du sol

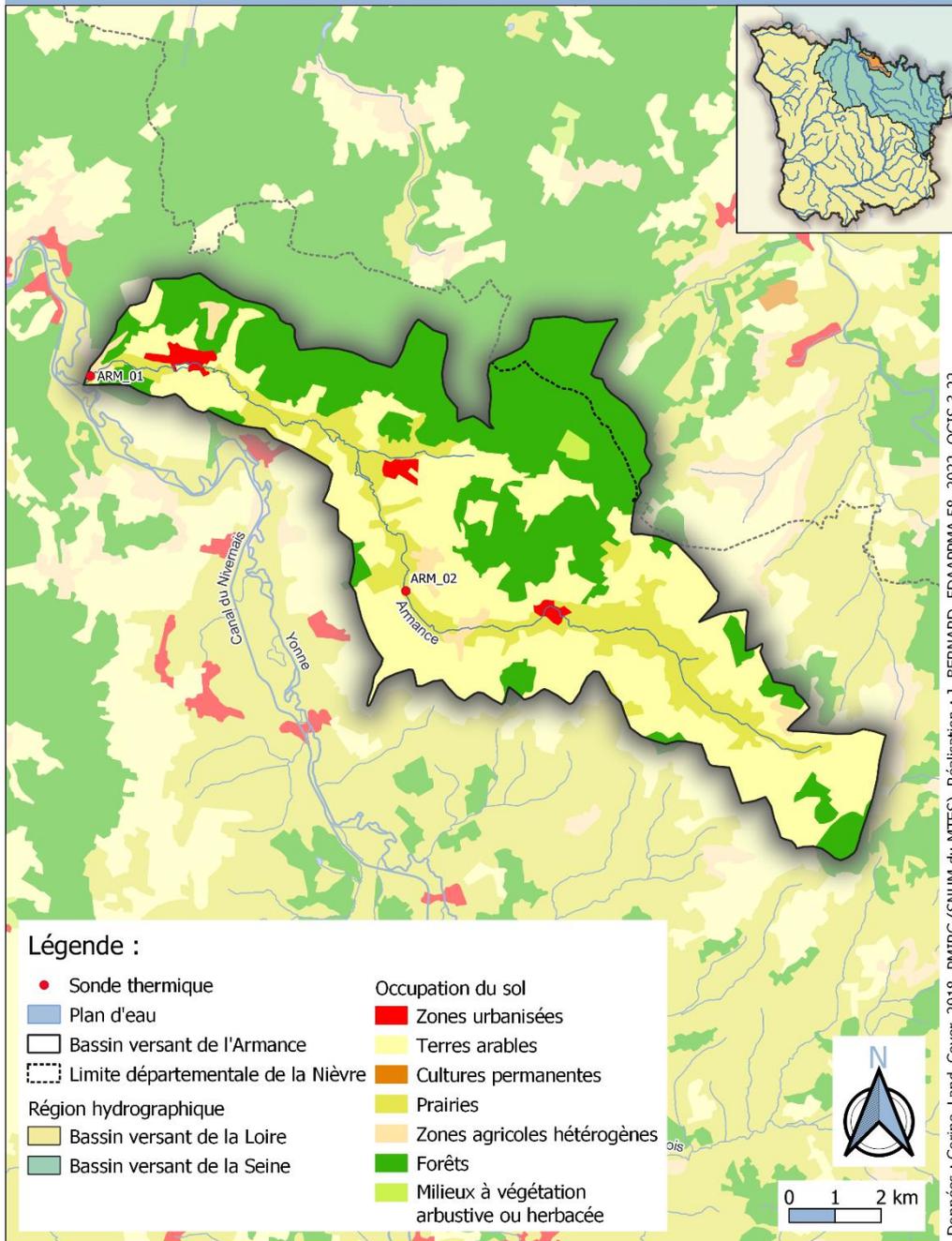


Figure 20 : Occupation du sol du bassin versant de l'Armanche

◆ **L'Auxois (FRHR44-F3031000)**

L'Auxois est un cours d'eau de 2^{ème} catégorie piscicole, affluent de l'Yonne au niveau de la commune de Ruages. La source de ce cours d'eau se situe sur la commune de Lormes. L'Auxois coule sur 23 km et son bassin versant s'étend sur 73 km².

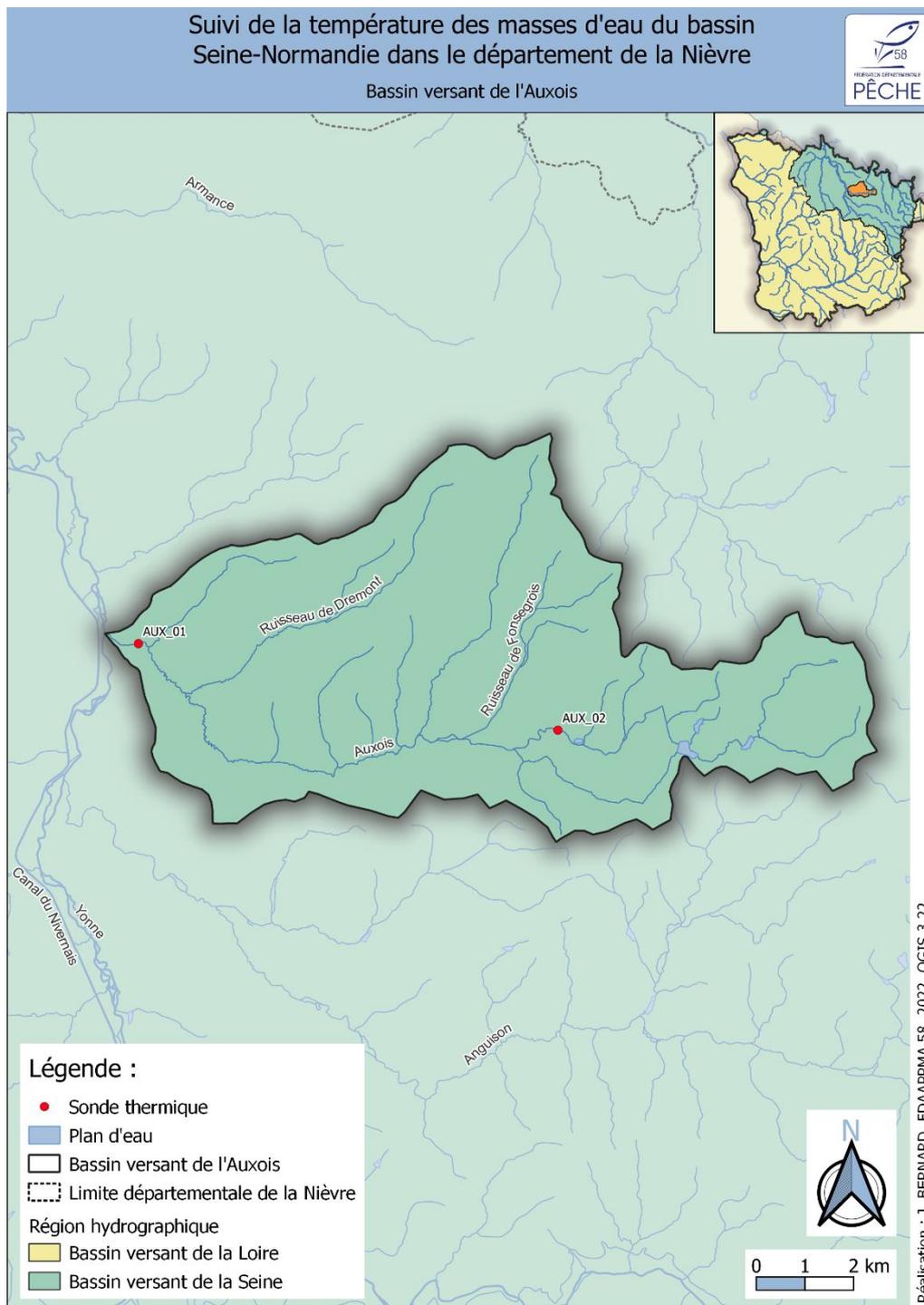


Figure 21 : Bassin versant de l'Auxois

Deux stations de mesure sont placées sur la masse d'eau de l'Auxois. La première station est située à 800 m de la confluence avec l'Yonne. La seconde station est située à l'aval du village de La Vallée, sur la commune de Lormes.

◇ AUX_01 (Secteur aval)

La température de l'eau de l'Auxois sur le secteur aval a varié entre 0,99°C et 23,16°C durant l'année 2023.

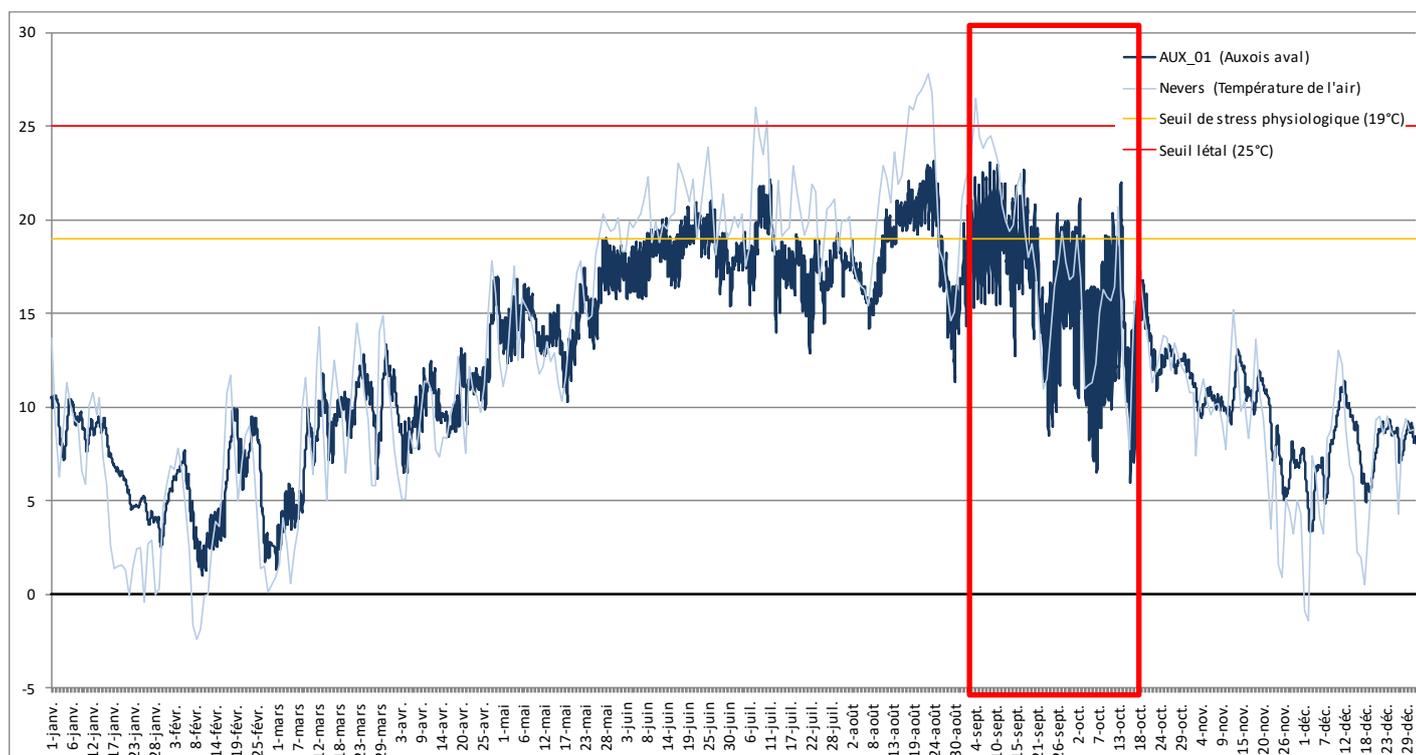


Figure 22 : Evolution des températures instantanées de la station AUX_01 durant l'année 2023

La température de l'Auxois semble fortement dépendante de la température de l'air et peut descendre bas en hivers.

On observe une période de forte variabilité de la température journalière entre le 1^{er} septembre et le 17 octobre. Les amplitudes ne sont pas suffisamment importantes et les températures ne sont pas assez proches de température de l'air pour penser que la sonde était exondée. Le cours d'eau a cependant connu une période de rupture d'écoulement, au cours de laquelle des poches d'eau subsistaient. La sonde étant placée en sous berge dans une portion profonde du cours d'eau, elle est restée immergée dans une des poches d'eau résiduelle.



Une pêche de sauvegarde a été réalisée au niveau de la station le 9 septembre 2023, à Ruages, dans le cadre de travaux de refaçon du pont. Le cours d'eau était alors en rupture d'écoulement, comme le montre la photo ci-contre.

Tableau 7 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur AUX_01

AUX_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	1,86 °C	2,13 °C	,99 °C
	Tmax	22,75 °C	22,08 °C	23,16 °C
	Tmj min	2,66 °C	2,36 °C	1,87 °C
	Tmj max	21,94 °C	19,97 °C	21,3 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	18,43 °C	18,28 °C	19,03 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	423 h	597 h	977 h
	Nseq Ti > 19	21	52	67
	Nmax Tic > 19	110 h	51 h	278 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

L'analyse des différentes métriques de 2023 est donc biaisée par la période de rupture d'écoulement qu'a subi le cours d'eau.

On peut cependant remarquer que la température de l'eau a atteint le seuil de stress physiologique de la truite fario avant la période de rupture d'écoulement. La température de l'eau est d'ailleurs restée au-dessus de 19°C sans discontinuer du 15 au 26 août.

Pendant la période de rupture d'écoulement, la température de l'eau a subi de fortes variations, en lien avec la température de l'air. Les poches d'eau restantes peuvent concentrer une population piscicole assez importante. L'eau restant stagnante, son taux d'oxygène peut fortement diminuer, entraînant la mort des poissons.

La réfection du pont de Ruages a été l'occasion de sauver les poissons restés emprisonnés dans les poches d'eau. Ils ont été déplacés dans l'Yonne en aval.



Les espèces rencontrées lors de ce sauvetage étaient le Chevesne, le gardon, le vairon, le brochet, le rotengle, le goujon et la perche soleil.

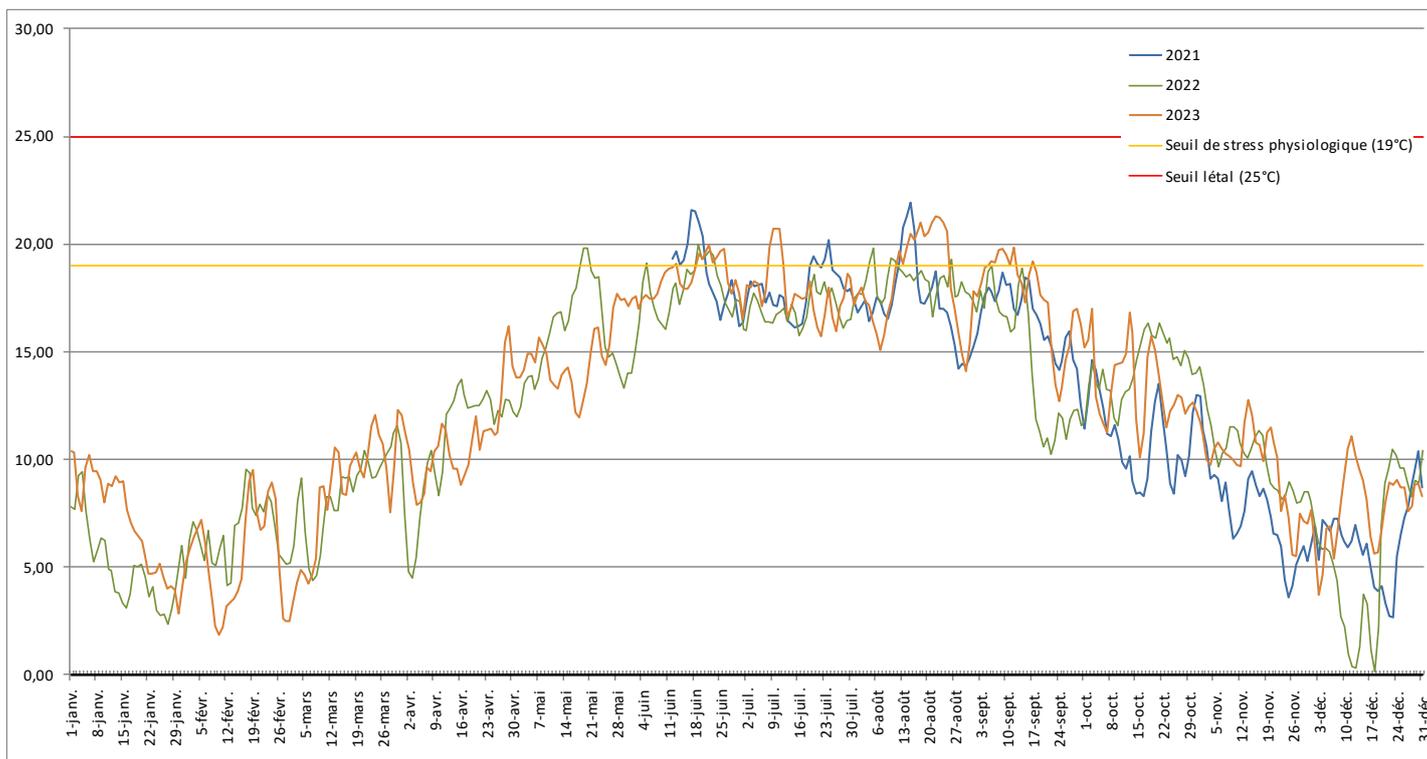


Figure 23 : : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station AUX_01

La figure ci-dessus permet de comparer les températures moyennes journalière de l’Auxois de 2021, 2022 et 2023. Elle montre une évolution annuelle similaire de la température sur les 3 années de suivi. La période estivale montre des dépassements importants du seuil de stress physiologique sur les 3 années de suivi.

Bien que l’évolution globale soit similaire, chaque année montre une certaine variabilité qui retranscrit l’évolution météorologique entre les différentes années de suivi.

◇ AUX_02 (Secteur amont)

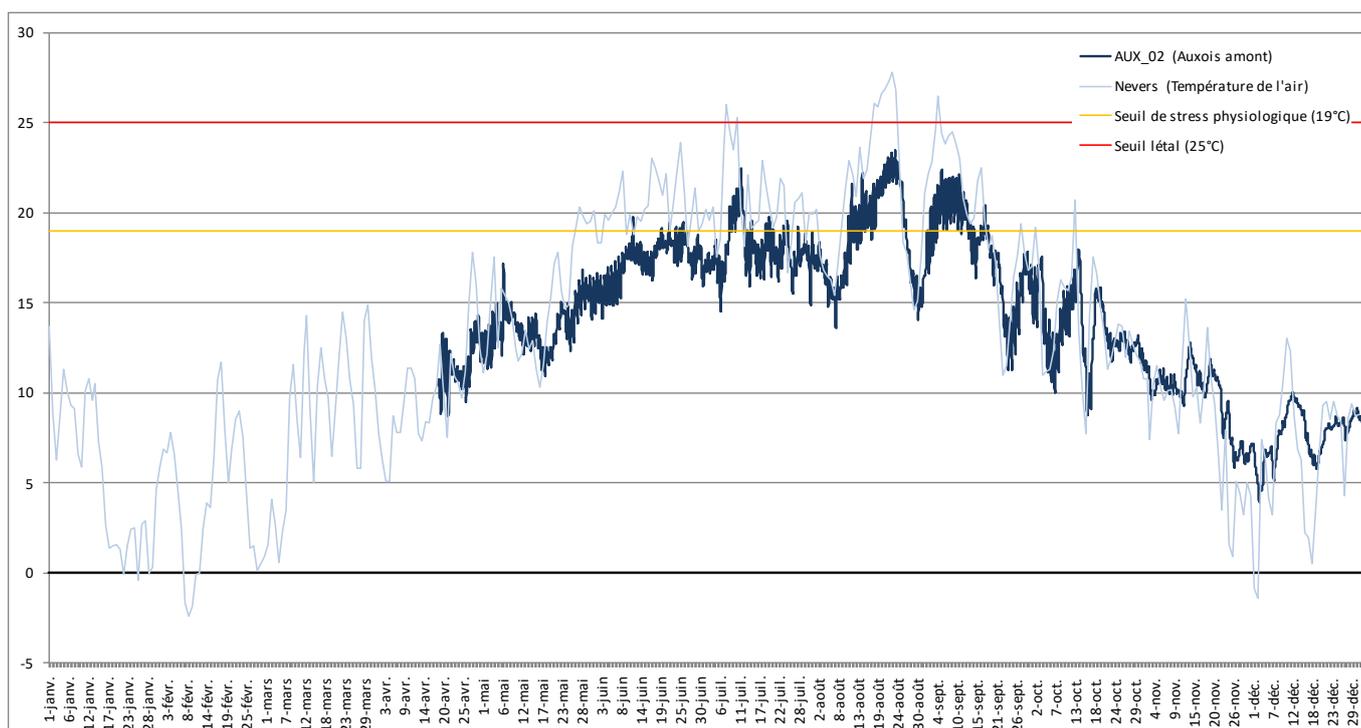


Figure 24 : Evolution des températures instantanées de la station AUX_02 durant l'année 2023

Une nouvelle sonde a été mise en place en avril 2023 car il n'a pas été possible de retrouver la sonde mise en place initialement.

Les données commencent donc au 20 avril 2023.

Tableau 8 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur AUX_01

AUX_02		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	2,37 °C	/	3,91 °C
	Tmax	20,84 °C	/	23,47 °C
	Tmj min	3,06 °C	/	4,44 °C
	Tmj max	19,46 °C	/	22,63 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,31 °C	/	19,84 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	122 h	/	798 h
	Nseq Ti > 19	11	/	36
	Nmax Tic > 19	17 h	/	228 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

Sur la période de données dont nous disposons, la température a varié entre 3,91°C et 23,47°C.

Le seuil de stress physiologique est dépassé 36 fois pour un total de 798 h passées au-dessus de 19°C, dont la plus longue séquence a durée 228h. Les truites n'ont donc pas pu s'alimenter pendant plus de 9 jours consécutifs.

Le seuil de température létale pour la truite fario n'a pas été franchi. La température moyenne journalière maximale a tout de même atteint 22,63°C et la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chaud s'établie à 19,84°C.

Les conditions thermiques sont donc assez défavorables à la truite fario, surtout les juvéniles, s'ils étaient présents, qui ont subi des périodes de stress important et prolongé.

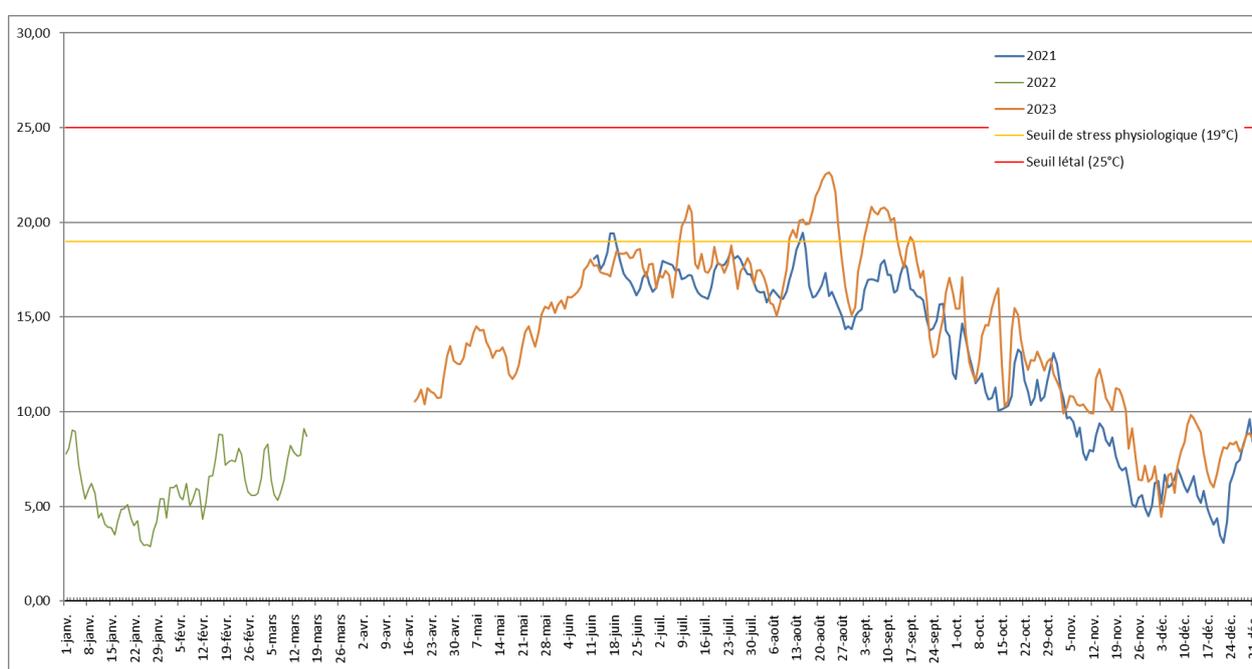


Figure 25 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station AUX_02

Bien que nous ne disposons pas des données de 2022, nous pouvons comparer les données de 2021 et 2023.

On remarque que la période estivale 2023 a vu des températures d'eau moyenne journalière bien plus importante que celles de 2021. Si en 2021, le nombre de dépassement du seuil de stress physiologique est peu important, et les dépassements sont de faible ampleur, ce n'est pas du tout le cas en 2023.

Les conditions météorologiques ont donc une influence très marquée sur la température de l'eau de cette station. D'une année à l'autre, en fonction de ces conditions, la thermie du cours d'eau peut soit être en accord avec les exigences thermiques de la truite, ou opposer une contrainte forte pour l'espèce.

◇ *Comparaison des stations du bassin versant de l'Auxois*

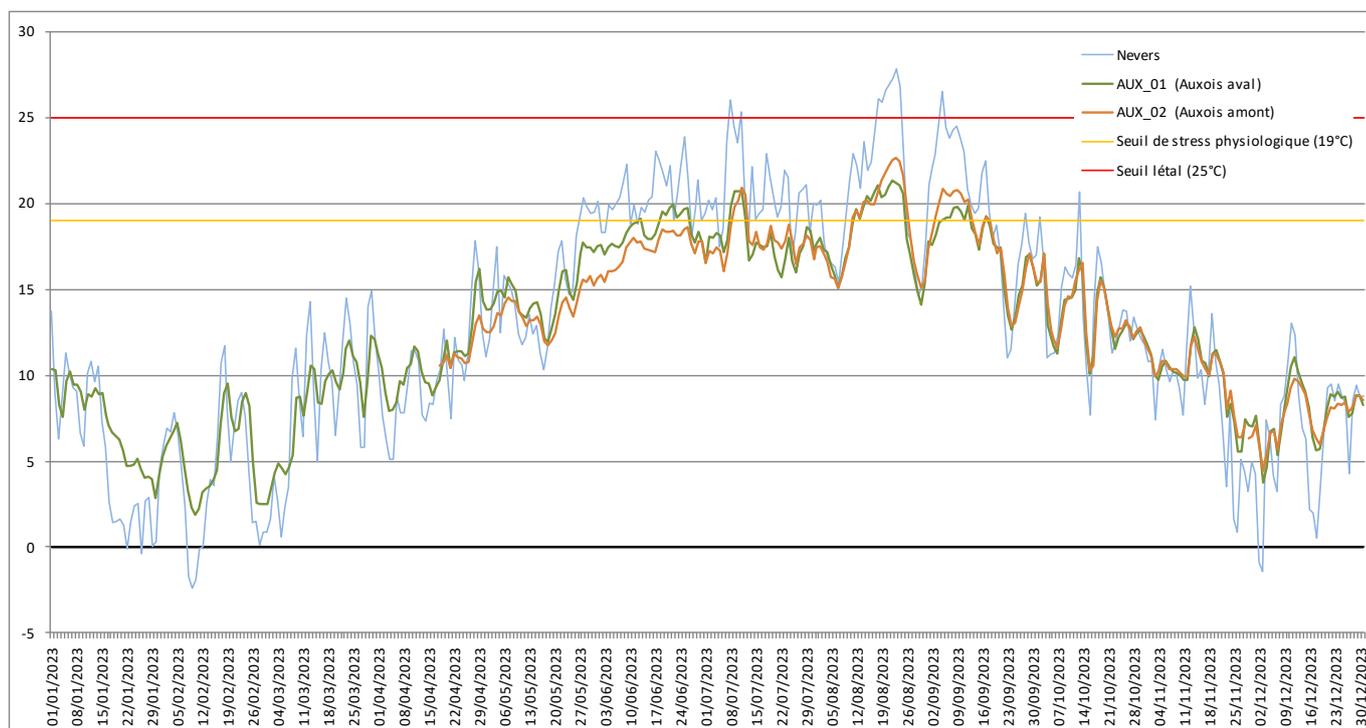


Figure 26 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'air et des stations AUX_01 et AUX_02 durant l'année 2023

Tableau 9 : Comparaison des différentes métriques des stations ARM_01 et ARM_02 en 2021, 2022 et 2023

Année suivi		2021		2022		2023	
Code station		AUX_01	AUX_02	AUX_01	AUX_02	AUX_01	AUX_02
Données générales	Tmin	1,86 °C	2,37 °C	2,13 °C	/	,99 °C	3,91 °C
	Tmax	22,75 °C	20,84 °C	22,08 °C	/	23,16 °C	23,47 °C
	Tmj min	2,66 °C	3,06 °C	2,36 °C	/	1,87 °C	4,44 °C
	Tmj max	21,94 °C	19,46 °C	19,97 °C	/	21,3 °C	22,63 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	18,43 °C	17,31 °C	18,28 °C	/	19,03 °C	19,84 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	423 h	122 h	199 h	/	977 h	798 h
	Nseq Ti > 19	21	11	52	/	67	36
	Nmax Tic > 19	110 h	17 h	51 h	/	278 h	228 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/	/		
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/	/		
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/	/		

La comparaison de l'évolution des températures moyennes journalière de 2023 (figure 26) montre une température plus fraîche sur la station amont jusqu'au 13 juillet. La température devient ensuite quasiment identique entre les deux stations à l'exception des pics de chaleur, durant lesquels la température de la station amont devient supérieur à celle de l'aval.

Cet état de fait est visible sur les métriques du tableau 9 : les températures maximales instantanées et moyenne journalières sont plus importantes sur la station amont. De même, la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds de 2023 est plus importante sur la station amont (AUX_02) que sur la station aval (AUX_01).

Ce constat est assez étonnant, l'eau étant habituellement plus chaude à l'aval du cours d'eau qu'à l'amont, se réchauffant d'autant plus qu'on s'éloigne des zones de sources. Ce n'était d'ailleurs pas le cas en 2021.

Il est probable que le réchauffement du cours d'eau relevé sur la station AUX_02 soit amplifié par la présence d'étang à l'amont de la station.

Un premier étang se situe environ 300m en amont de la station. Celui-ci est en dérivation et a donc probablement un impact assez faible sur la thermie du cours d'eau.

Des étangs en barrage et d'envergure importante se trouve en amont de Lormes, à environ 3km de la station, notamment l'étang du Goulot. En fonction de son mode de restitution de l'eau, son impact peut être important sur la thermie du cours d'eau, même à plus de 3 km en aval.

Avec des conditions météorologiques chaudes et ensoleillées tels que celles de l'été 2023, la présence des étangs à l'amont du bassin pourrait expliquer les pics de température relevé sur la station AUX_02 et la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds si importante.

◆ *L'Anguison (FRHR43)*

L'Anguison est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole. Affluent de l'Yonne, il prend sa source sur la commune d'Ouroux-en-Morvan et coule sur 31 km. Le bassin versant de l'Anguison s'étend sur une surface de 123 km².

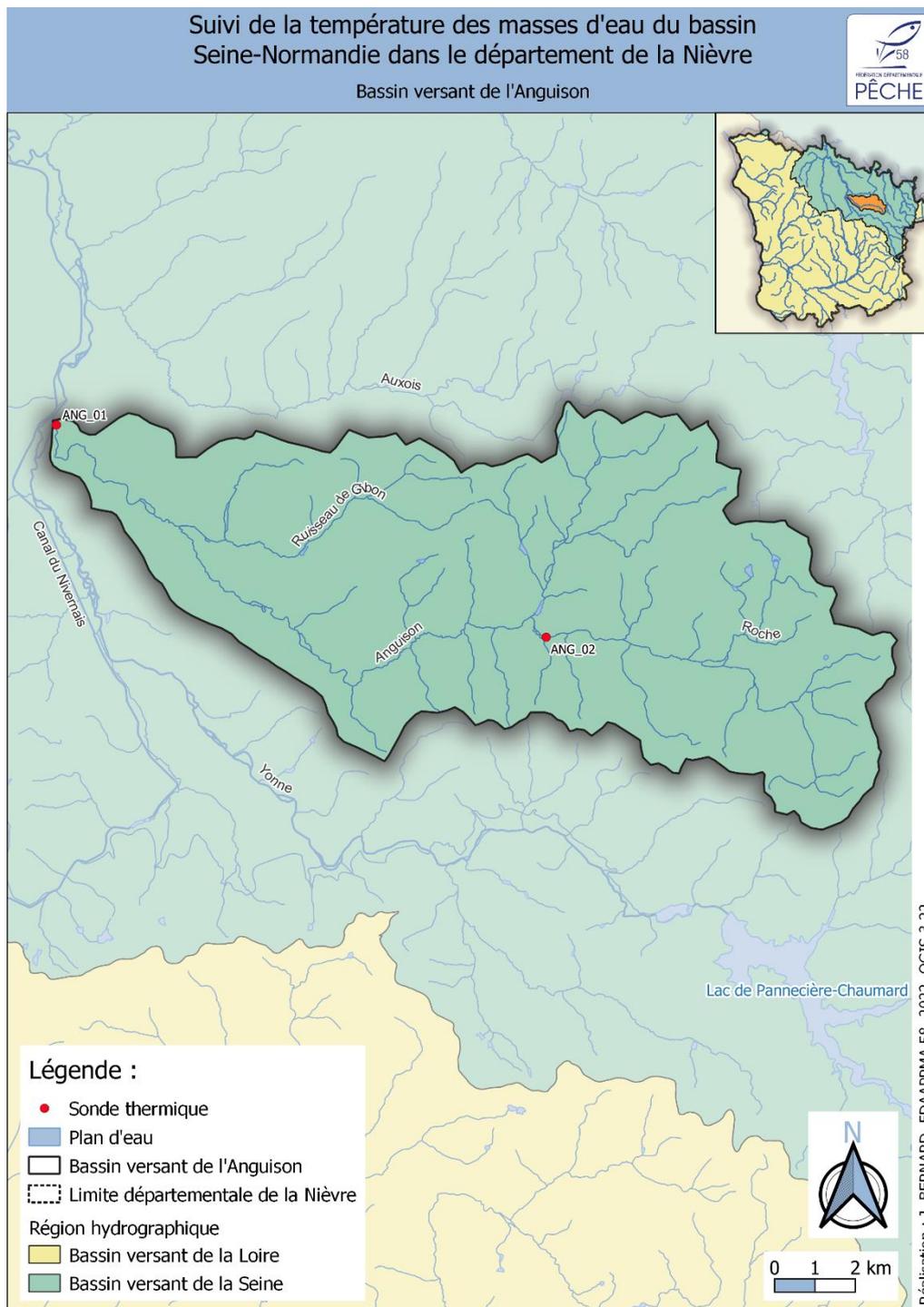


Figure 27 : Bassin versant de l'Anguison

Deux stations de mesure sont placées sur la masse d'eau de l'Anguison. La première station est située à 150 m de la confluence avec l'Yonne. La seconde station est située au niveau de la commune de Vauciaux.

◇ ANG_01 (Secteur aval)

La température de l'eau de l'Anguison, sur son secteur aval, a variée entre 1,22°C et 24,44°C durant l'année 2023.

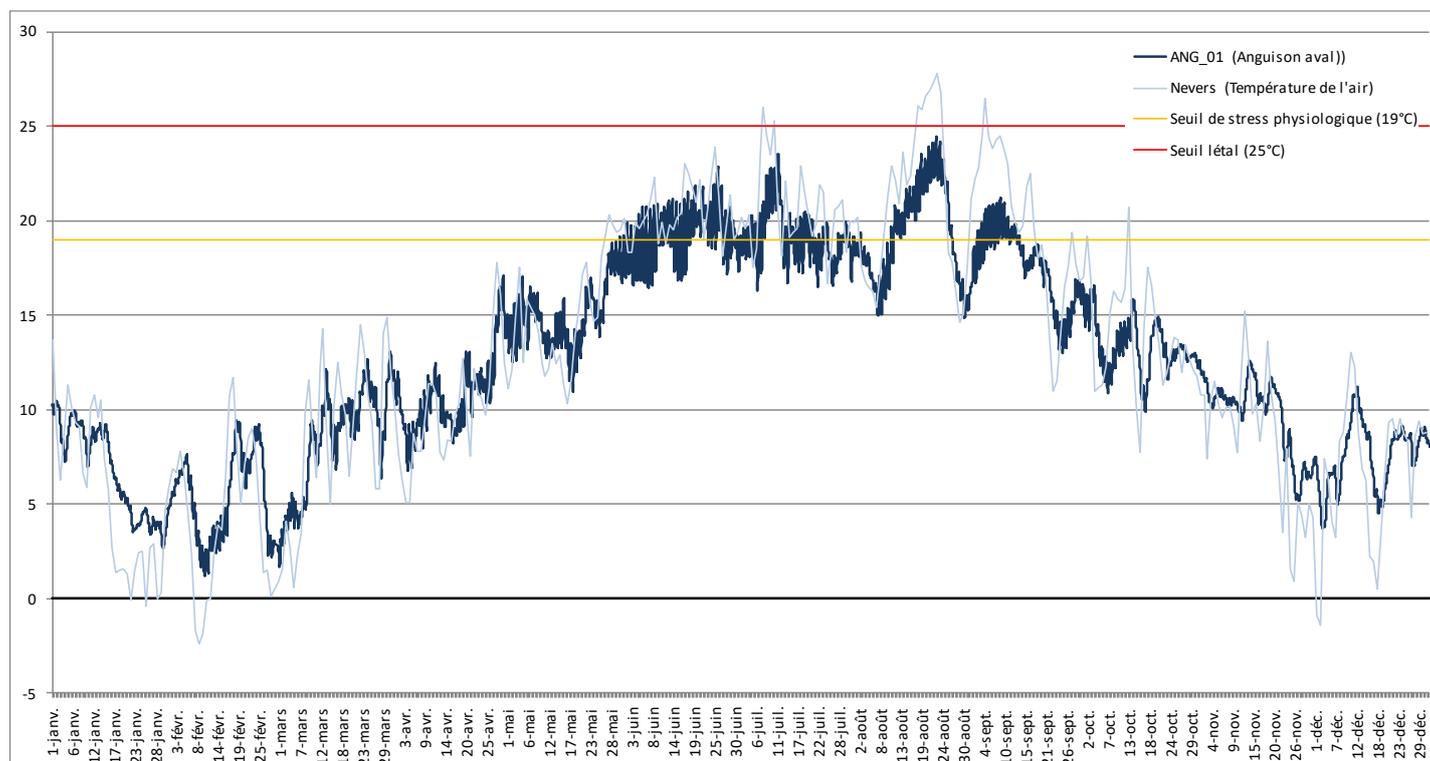


Figure 28 : Evolution des températures instantanées de la station ANG_01 durant l'année 2023, comparée à la température de l'air

La température de l'eau de l'Anguison sur la station ANG_01 est fortement liée à la température de l'air. Elle montre des écarts importants entre la période hivernale et la période estivale.

Tableau 10 : : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur ANG_01

ANG_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	2,48 °C	2,29 °C	1,21 °C
	Tmax	23,74 °C	23,88 °C	24,44 °C
	Tmj min	2,88 °C	2,48 °C	1,97 °C
	Tmj max	22,32 °C	22,42 °C	23,3 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	18,7 °C	19,47 °C	19,98 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	586 h	1221 h	1405 h
	Nseq Ti > 19	37	66	64
	Nmax Tic > 19	134 h	183 h	373 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/

Le seuil de température létale pour la truite n'a pas été atteint en 2023 mais les différentes métriques montrent que la température de l'eau est assez éloignée des exigences de truite fario.

Avec 373 heures consécutives passées au-dessus de 19°C, soit plus de 15 jours, et une Tm30j max de 19,98°C, il a été impossible pour les truites de s'alimenter pendant de longues périodes. La survie d'éventuels juvéniles est compromise dans ces conditions, et même les adultes peuvent subir des conséquences néfastes dues au prolongement de températures au-dessus du seuil de stress physiologique.

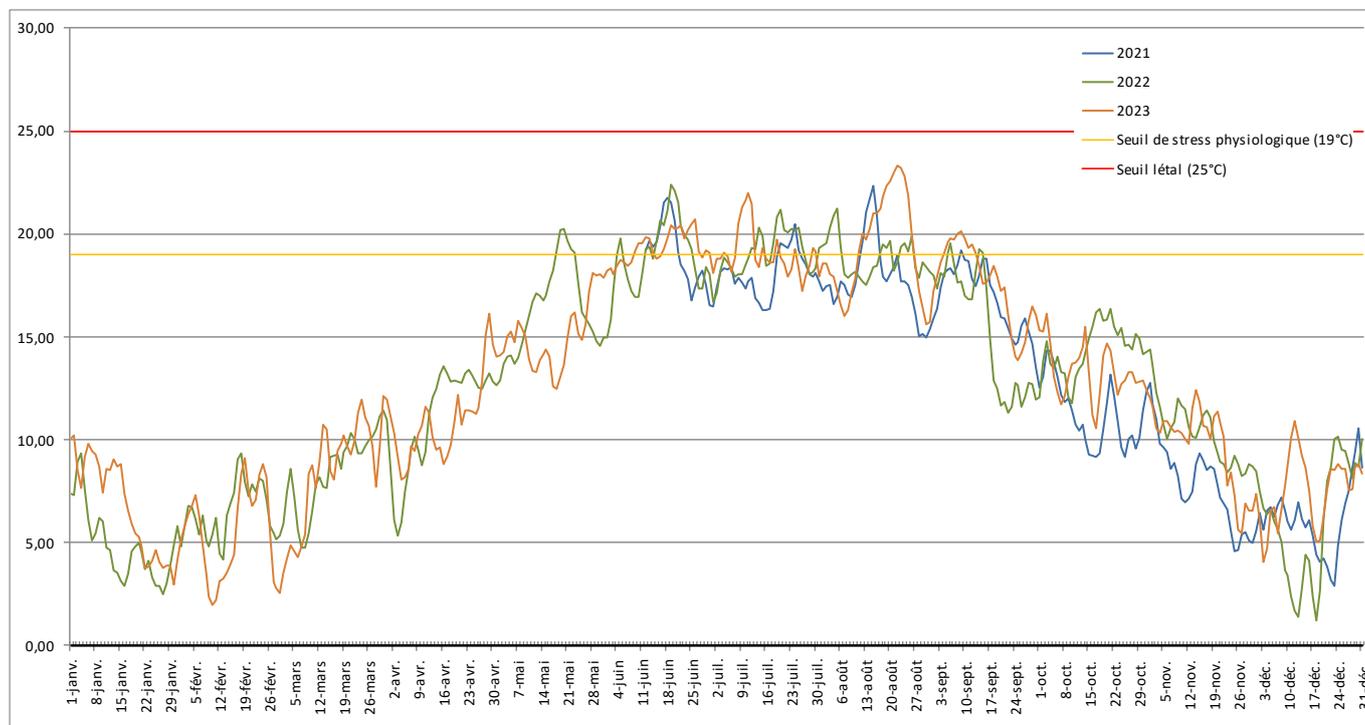


Figure 29 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station ANG_01

La comparaison de l'évolution de la température moyenne sur les différentes années de suivi montre une évolution similaire de la température de l'eau au cours de l'année.

Des dépassements importants du seuil de stress physiologique de la truite sont constatés sur les 3 années de suivi, mais l'année 2023 est celle qui présente les dépassements les plus importants, à la fois en durée et en intensité.

◇ ANG_02 (Secteur amont)

La température de l'eau de l'Anguison, sur son secteur aval, a variée entre 0,47°C et 25,67°C durant l'année 2023

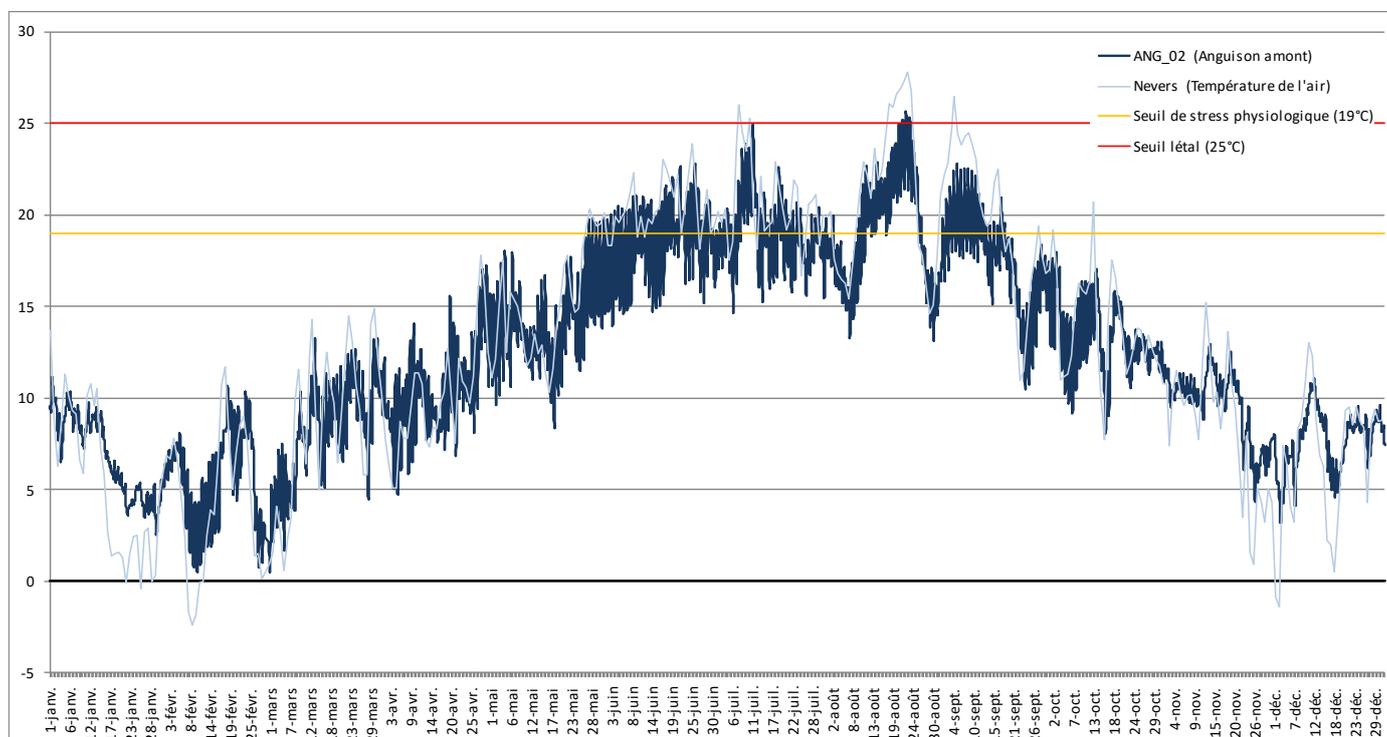


Figure 30 : Evolution des températures instantanées de la station ANG_02 durant l'année 2023, comparée à la température de l'air

L'évolution de la température de l'eau de l'Anguison sur la station ANG_02 est très fortement liée à celle de l'air. La variabilité est très forte à la fois sur une journée et sur les saisons. La température de l'eau n'est que très faiblement tamponnée par rapport à celle de l'air, ce qui est typique des cours d'eau alimenté en grande majorité par ruissellement (pas ou peu de nappe d'accompagnement).

Tableau 11 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur ANG_02

ANG_02		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	1,86 °C	1,34 °C	,47 °C
	Tmax	23,76 °C	24,68 °C	25,67 °C
	Tmj min	2,69 °C	2,56 °C	2,28 °C
	Tmj max	21,83 °C	22,47 °C	23,46 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,88 °C	19,51 °C	20,02 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	461 h	1263 h	1288 h
	Nseq Ti > 19	46	99	86
	Nmax Tic > 19	70 h	84 h	213 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	24 h
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	4
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	5 h

Sur la station ANG_02 également, la température de l'eau en 2023 a été particulièrement chaude. Avec une température maximale instantanée de 25,67°C, le seuil de température létal de la truite a été atteint pour la première fois sur cette station depuis le début du suivi.

La Tm30j max de 20,02 °C témoigne de longues périodes de températures élevées et signifie des difficultés prolongées pour les truites à s'alimenter. Ces températures ne sont pas propices au développement des juvéniles et peuvent avoir des conséquences néfastes sur les adultes.

La température de l'eau est restée 213 h consécutives au-dessus du seuil de stress physiologique, soit plus de 8 jours, et même 24 h au-dessus du seuil létal, dont 5 consécutives.

Les conditions thermiques de 2023 sur cette station sont donc défavorables à la truite.

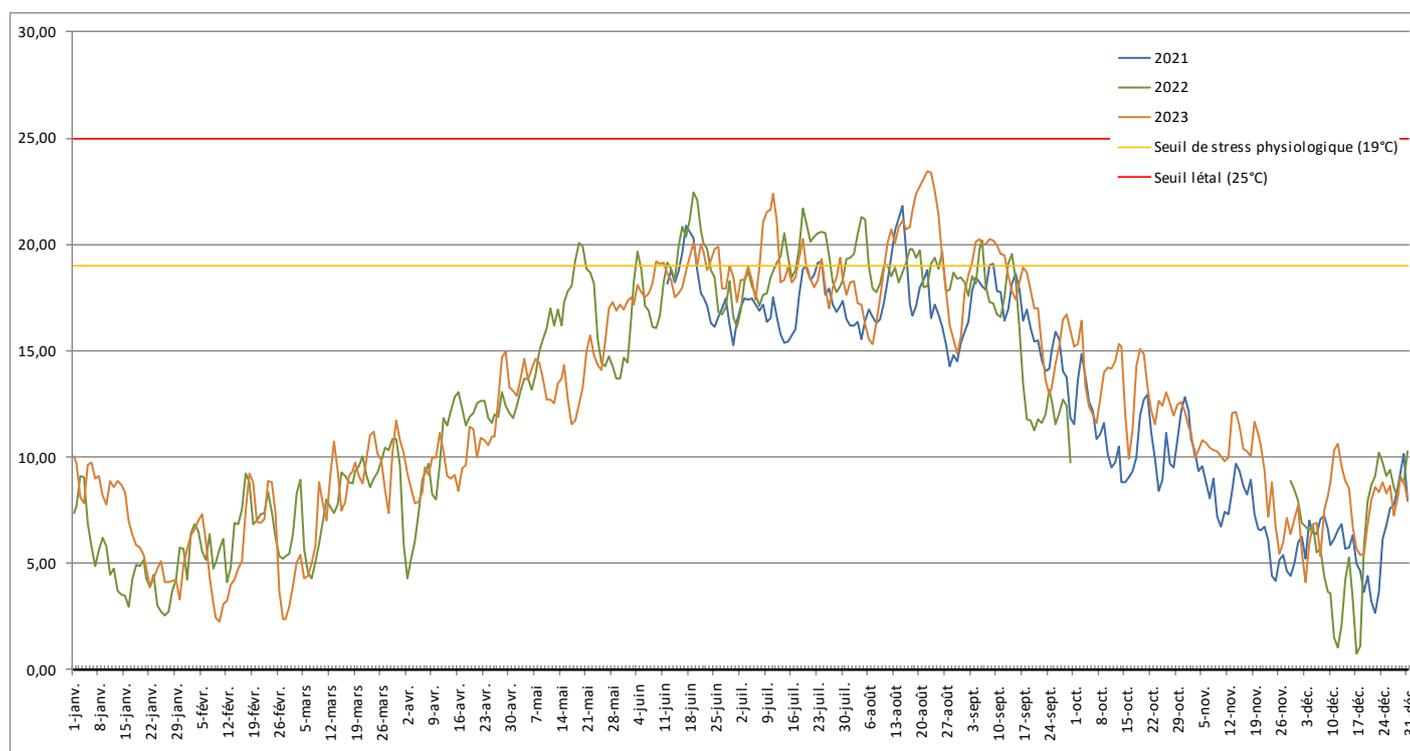


Figure 31 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station ANG_02

La courbe de comparaison des températures moyennes journalières de des différentes années de suivi montre des dépassements du seuil de stress physiologique plus long et plus important en 2023 que sur les autres années, en particulier à la fin du mois d'août.

Le tableau 11 met d'ailleurs en évidence cette différence : si le nombre total d'heures passées au-dessus de 19°C est similaire entre 2022 et 2023, le nombre d'heures consécutives passées au-dessus du seuil de stress physiologique est bien plus important en 2023.

◇ Comparaison des stations du bassin versant de l'Anguisson

La comparaison de l'évolution des températures sur les 2 stations montre des données très similaires.

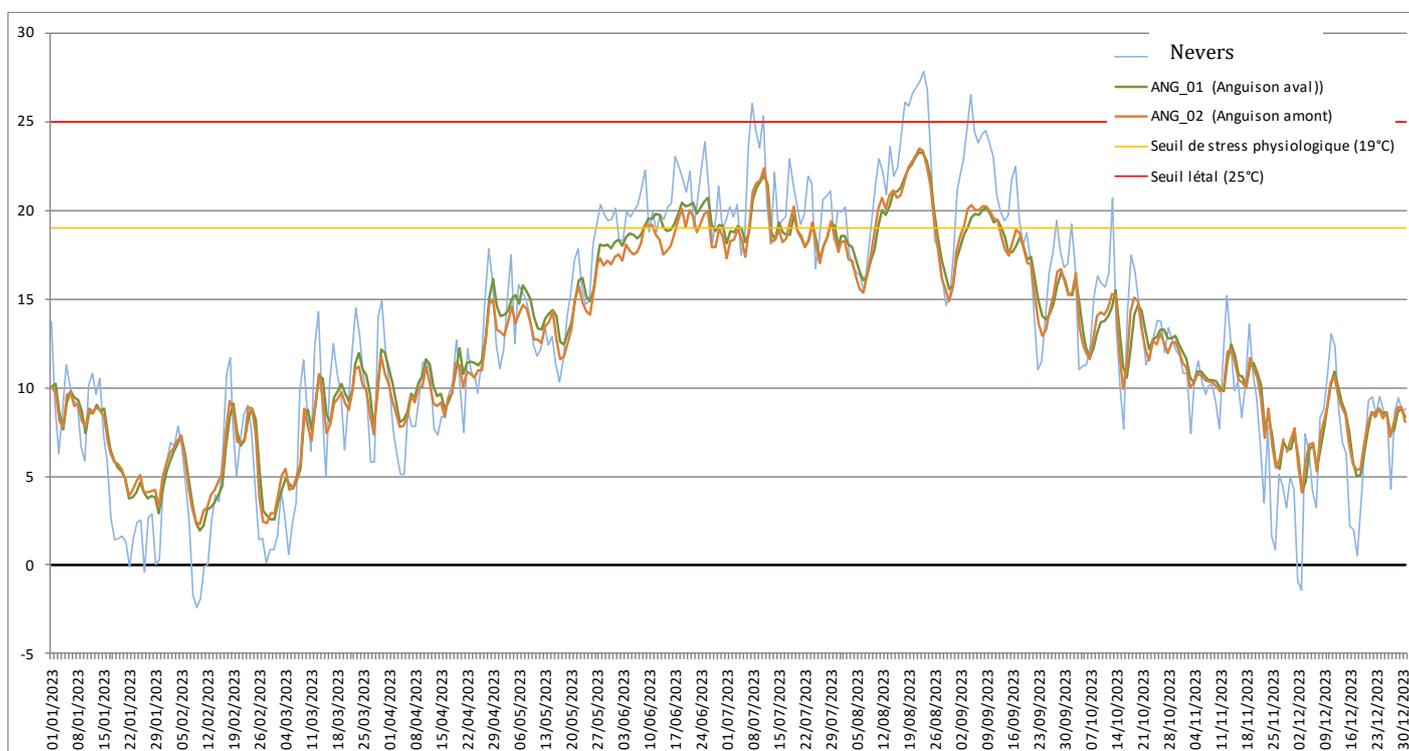


Figure 32 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'air et des stations ANG_01 et ANG_02 durant l'année 2023

Tableau 12 : Comparaison des différentes métriques des stations ARM_01 et ARM_02 en 2021 et 2022

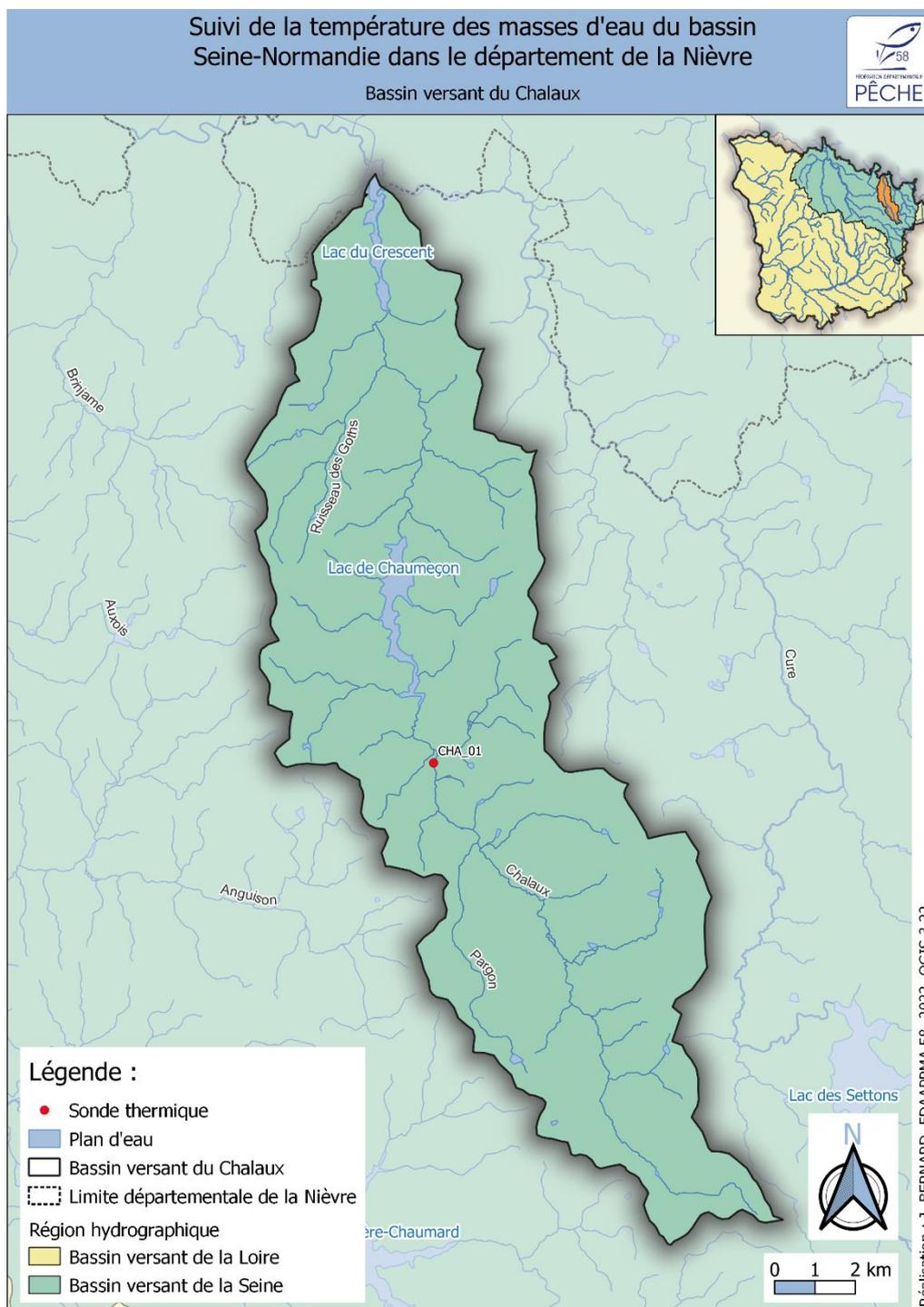
Année suivi		2021		2022		2023	
Code station		ANG_01	ANG_02	ANG_01	ANG_02	ANG_01	ANG_02
Données générales	Tmin	2,48 °C	1,86 °C	2,29 °C	1,34 °C	1,21 °C	,47 °C
	Tmax	23,74 °C	23,76 °C	23,88 °C	24,68 °C	24,44 °C	25,67 °C
	Tmj min	2,88 °C	2,69 °C	2,48 °C	2,56 °C	1,97 °C	2,28 °C
	Tmj max	22,32 °C	21,83 °C	22,42 °C	22,47 °C	23,3 °C	23,46 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	18,7 °C	17,88 °C	19,47 °C	19,51 °C	19,98 °C	20,02 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	586 h	461 h	1221 h	1263 h	1405 h	1288 h
	Nseq Ti > 19	37	46	66	99	64	86
	Nmax Tic > 19	134 h	70 h	183 h	84 h	373 h	213 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/	/	/	24 h
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/	/	/	4
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/	/	/	5 h

Si on pouvait constater un écart entre les températures estivales de l'eau des stations ANG_01 et ANG_02 en 2021, c'est beaucoup moins le cas en 2022 et 2023.

Pendant les mois de mai et juin, la température de l'eau est légèrement plus fraîche sur la station amont, elle redevient ensuite quasiment identique (en moyenne journalière) le reste de l'année.

◆ *Le Chalaux (FRHR50A)*

Le Chalaux est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole, affluent de la Cure. Ce cours d'eau prend sa source sur la commune de Planchez. Le Chalaux mesure 36 km de long et son bassin versant s'étend sur 140 km².



Une station de mesure est placée sur la masse d'eau du Chalaux. Elle est située à environ 2 km à l'amont du lac de Chaumeçon.

La température de l'eau du Chalaux a une température qui est comprise entre 0,88°C et 24,90°C durant l'année 2023.

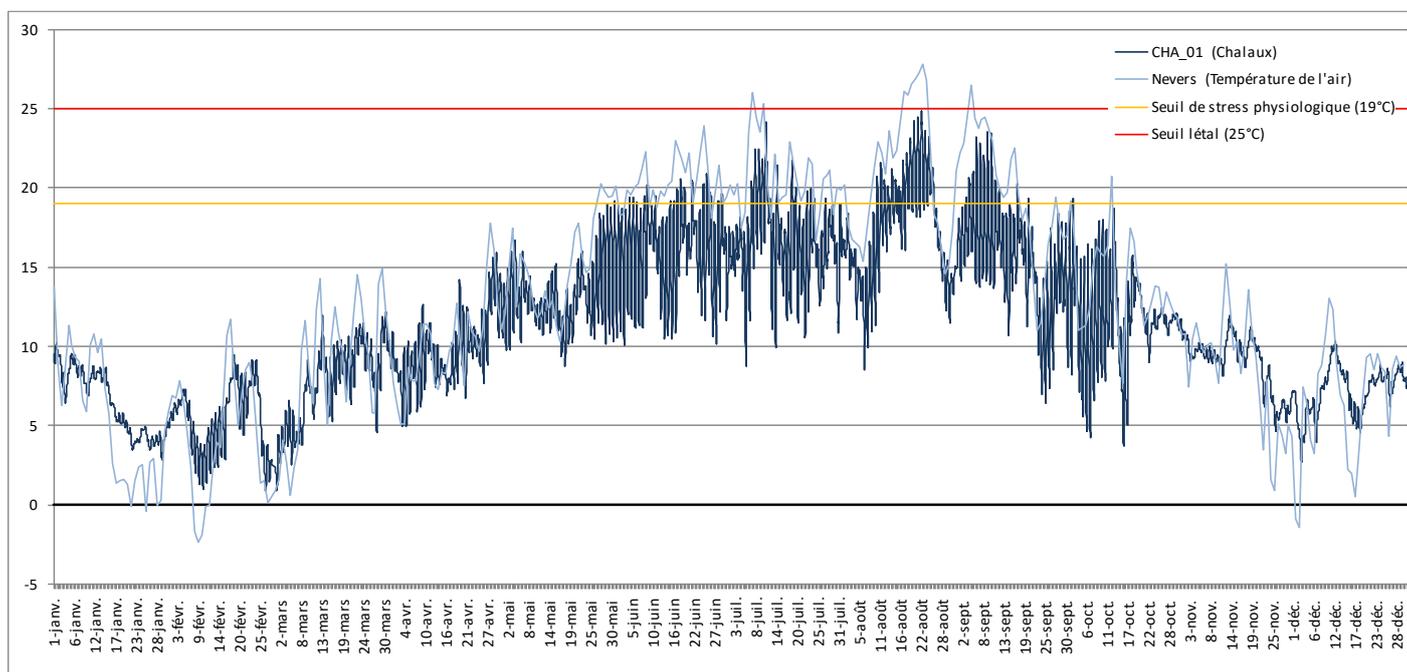


Figure 33 : Evolution des températures instantanées de la station CHA_01 durant l'année 2023

L'évolution de la température de l'eau du chalaux sur la station CHA_01 est très fortement liée à celle de l'air. La variabilité est très forte à la fois sur une journée et entre les différentes saisons

Tableau 13 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur CHA_01

CHA_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	2,26 °C	1,86 °C	,88 °C
	Tmax	22,39 °C	22,39 °C	24,9 °C
	Tmj min	2,94 °C	2,74 °C	2,38 °C
	Tmj max	19,29 °C	20,69 °C	21,41 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	16,18 °C	18,1 °C	18,15 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	91 h	/	523 h
	Nseq Ti > 19	9	/	65
	Nmax Tic > 19	17 h	/	43 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

Le seuil de stress physiologique a été dépassé de nombreuses fois, la plupart du temps pour de courtes périodes (en moyenne 8h). La plus longue période de stress physiologique consécutive a durée 43 heures, ce qui est déjà assez important.

La température maximale instantanée a frôlé le seuil de température létale de la truite, à 24,90°C.

La température moyenne des 30 jours consécutifs montre une valeur qui reste compatible avec les exigences thermiques de la truite, même si elle témoigne tout de même de difficultés potentielles, en particulier pour les juvéniles (>18°)

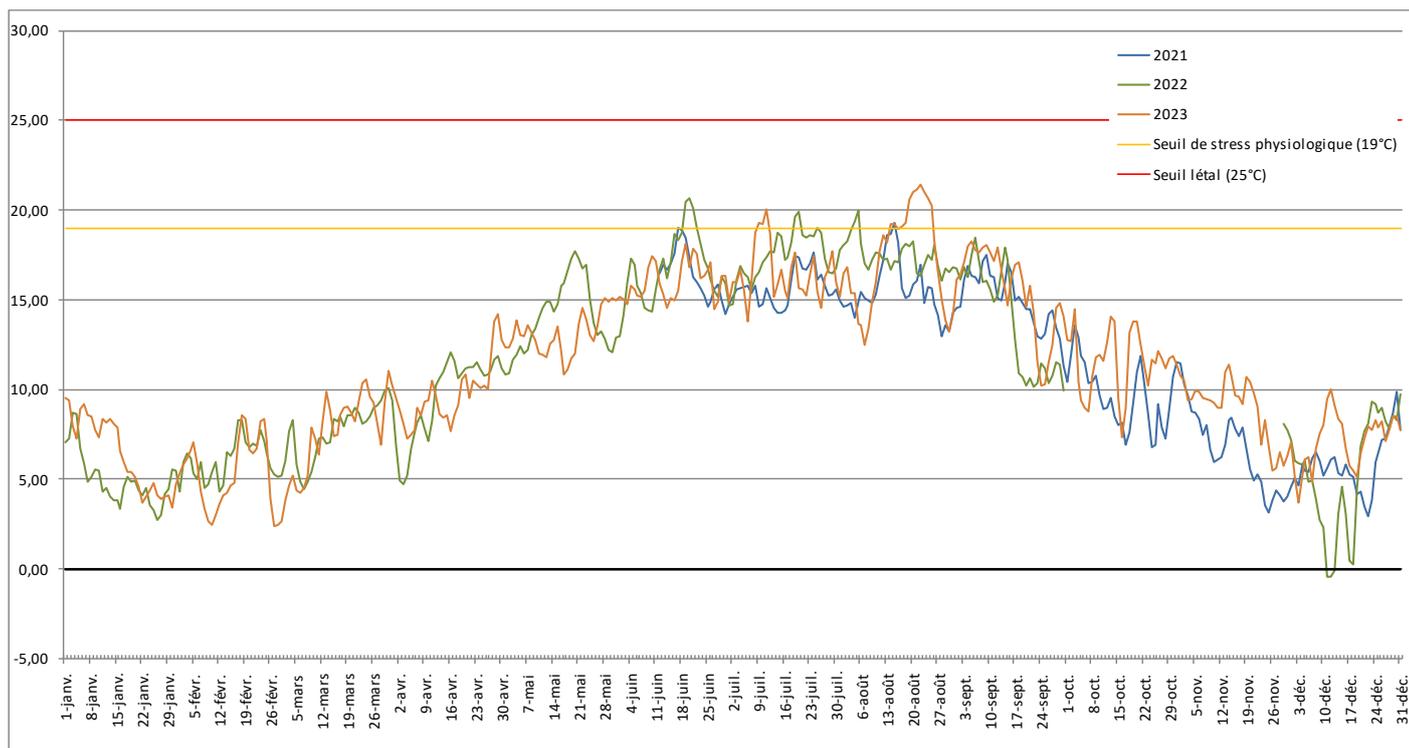


Figure 34 : Comparaison des températures moyennes journalières de 2021, 2022 et 2023 sur la station CHA_01

La comparaison de l'évolution des températures moyennes journalières au cours des différentes années de suivi montre des dépassements du seuil de stress physiologique sur les années 2022 et 2023, mais pas en 2021.

Le pic de température observé au mois d'août 2023 présente une durée et une intensité inédite depuis le début du suivi.

◆ **La Cure (FRHR49A et FRHR49C)**

La Cure est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole, affluent de l'Yonne. Elle prend sa source sur la commune d'Anost, dans le département de la Saône-et-Loire. La Cure fait au total 113 km de long, avec un bassin versant de 1312 km². Le secteur de la Cure compris dans les 2 masses d'eaux (FRHR49A et FRHR49C) mesure 50 km de long et son bassin versant s'étend sur 255 km².

Deux stations de mesure sont placées sur ces 2 masses d'eau de la Cure. La première est située à l'aval du lac des Settons, sur la commune de Montsauche-les-Settons. La deuxième est située à moins de 500 m à l'amont du lac des Settons.

Le lac des Settons est situé entre ces 2 stations de mesure. Ce lac de barrage a été construit entre 1854 et 1858 pour faciliter le flottage du bois provenant des forêts morvandelles jusqu'à Paris. Le barrage crée une retenue de 360 ha, propriété de l'Etat. La profondeur maximale y est de 17 m. L'eau est habituellement restituée à l'aval du barrage uniquement par une vanne à proximité de la surface (à la cote 12,5 m). Une vanne de demi-fond et une vanne de fond sont également présentes, utilisés notamment lors des lâchers estivaux pour les activités d'eau vive. La vanne de fond est utilisée presque exclusivement pour les vidanges. Les eaux de surface du lac des Settons vont voir leur température progressivement augmenter à cause de l'ensoleillement, de la température de l'air, et du manque d'ombrage. A l'inverse, les eaux de fond, qui n'ont pas accès à de l'ensoleillement, restent froides.

DDT 58 Service Loire sécurité risques
Subdivision gestion de la Loire
Barrage des Settons

Comparatif de remplissage - Lac des Settons - Cotes 2015 à 2024 (MàJ : 07/10/2024 Cote 16,13 m)

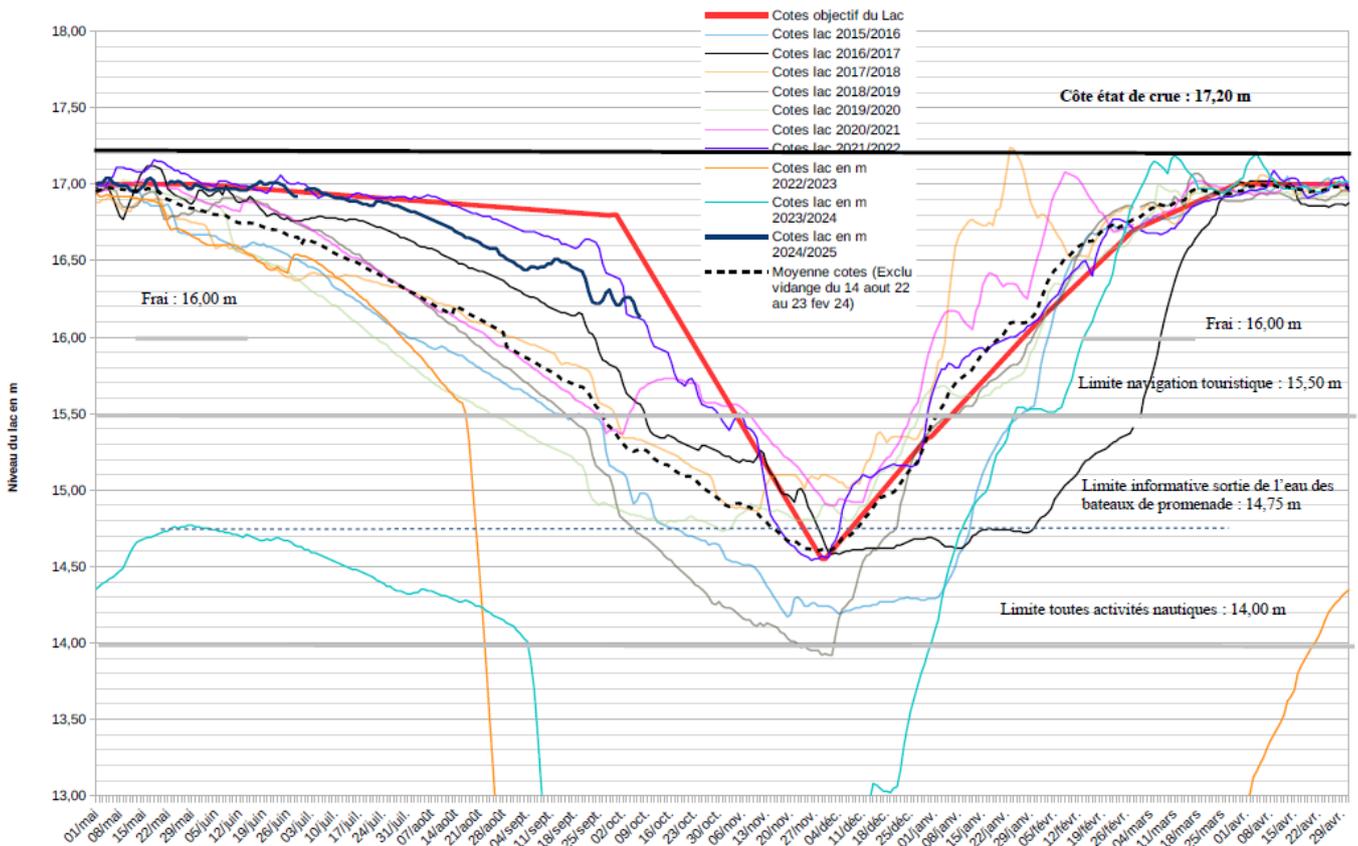


Figure 35 : Comparatif de remplissage - Lac des Settons - Cotes 2015 à 2024 - DDT58

En 2022, le lac avait été vidangé pour réaliser certains travaux. N'ayant pu être terminés durant l'année 2022, notamment en raison de pluies, une nouvelle vidange a été faite en 2023 afin de finir les travaux.

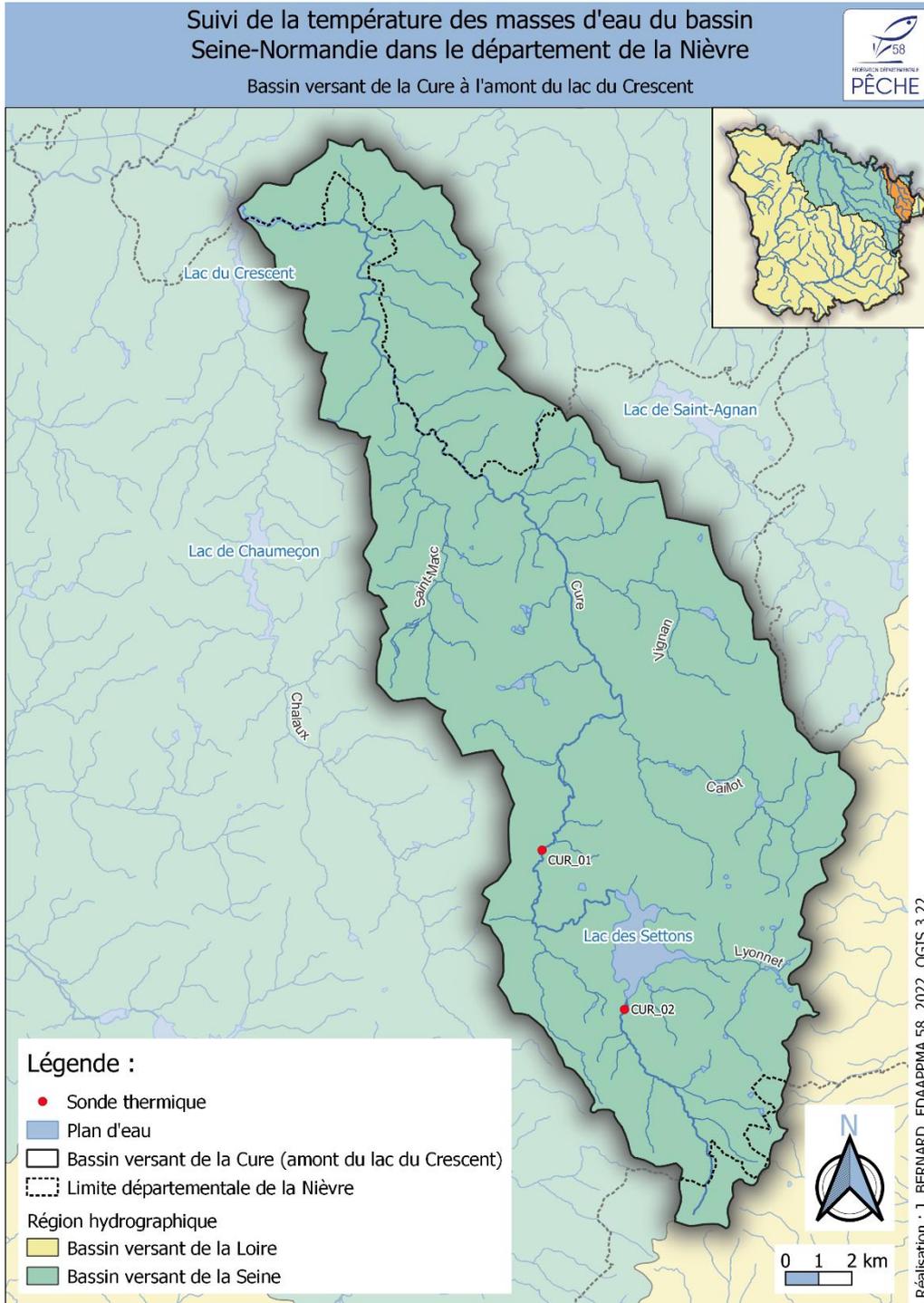


Figure 36 : Bassin versant de la Cure (de la source au lac du Crescent)

En 2023, la vidange du lac des Settons s'est faite du 4 au 28 septembre. La retenue est ensuite restée vide jusqu'à sa remise en eau progressive à partir du 20 décembre.

◇ CUR_01 (Aval du lac des Settons)

La température de l'eau de la Cure à l'aval du lac des Settons a varié entre quasiment 0°C et 23,86°C durant l'année 2023 :

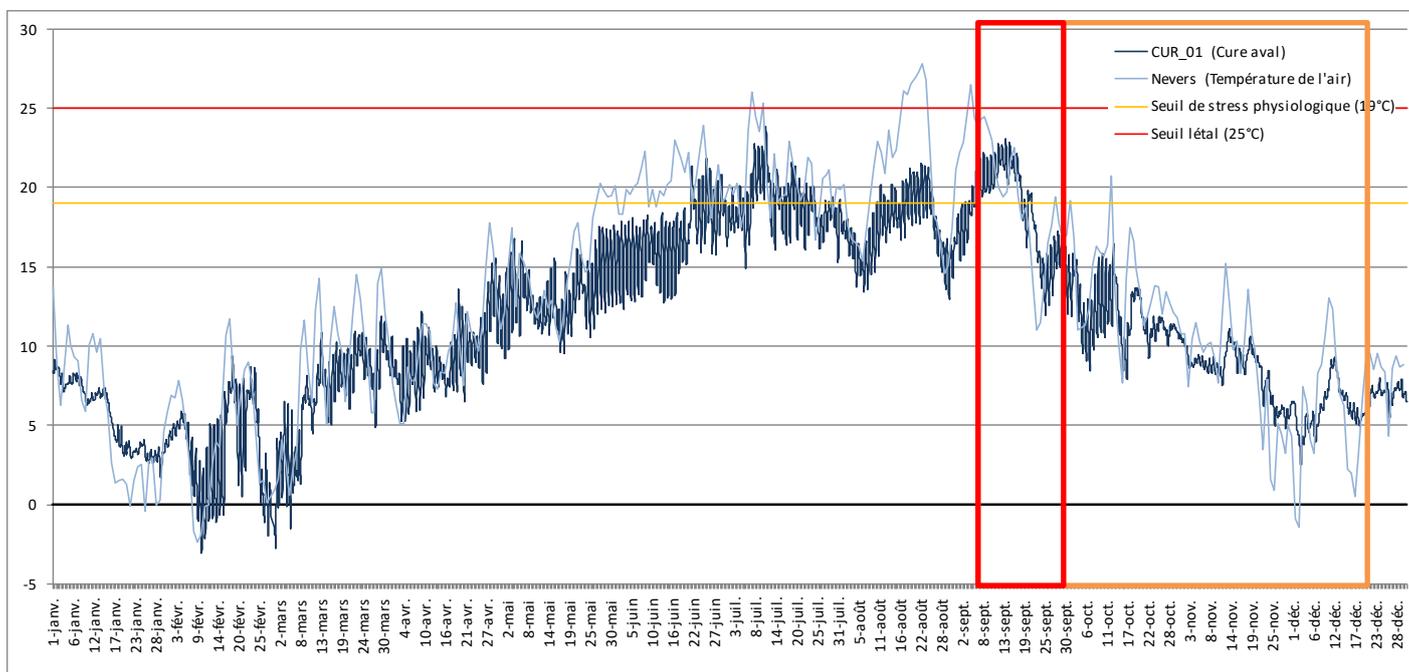


Figure 37 : Evolution des températures instantanées de la station CUR_01 durant l'année 2023

Vidange : 4 au 28 septembre

Assec : 28 septembre au 20 décembre

Tableau 14 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur CUR_01

CUR_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	1,91 °C	1,45 °C	/
	Tmax	20,7 °C	23,55 °C	23,86 °C
	Tmj min	2,38 °C	2,4 °C	/
	Tmj max	18,56 °C	21,75 °C	21,91 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,14 °C	19,58 °C	19,16 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	113 h	898 h	985 h
	Nseq Ti > 19	18	52	54
	Nmax Tic > 19	11 h	331 h	302 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

Le tableau ci-dessus et le graphique en figure 33 permettent de constater de nombreux dépassements du seuil de stress physiologique en 2023, dont le plus long a duré 302 heures consécutives entre le 7 et le 19 septembre. Cette période correspond à la fois avec des températures moyennes journalières de l'air élevées et au début de la vidange du barrage.

Le seuil de stress physiologique a par ailleurs été dépassé à de nombreuses reprises à partir du 22 juin. Au total, la température de l'eau est restée au-dessus de 19°C pendant 985h au cours de l'année 2023. La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds s'établit à 19,16°C. On peut donc penser que la température de l'eau a eu en 2023 un impact négatif sur la population de truite fario, avec des périodes importantes et répétées de stress physiologique, pouvant entraîner des conséquences sur les salmonidés, en particulier les truites juvéniles.

Dans le tableau 12, les données des températures minimales ne sont pas renseignées car des températures négatives ont été relevées par la sonde pendant les mois de février et mars, traduisant des périodes pendant lesquelles la sonde a gelé. Le cours d'eau n'ayant pas pu geler en entier, la température de l'eau a probablement grandement approché les 0°C.

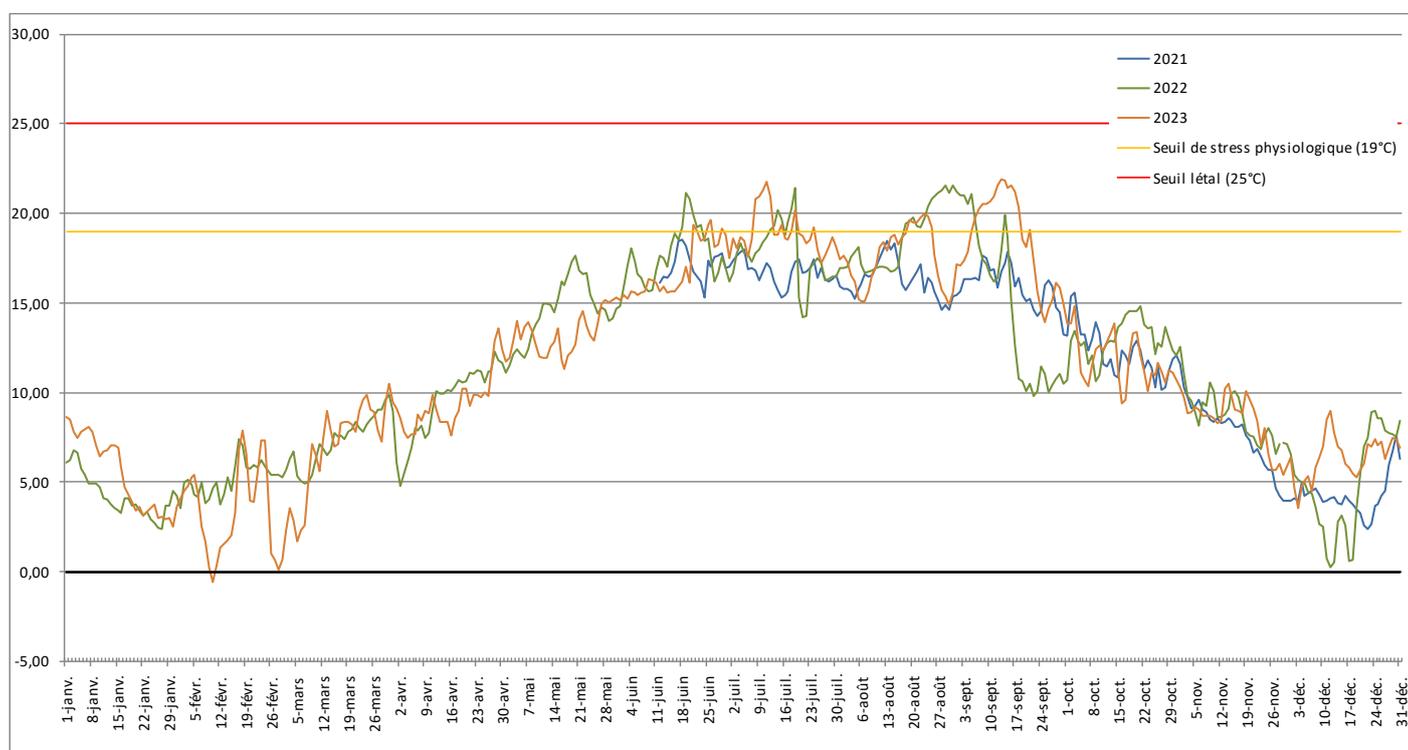


Figure 38 : Comparaison des températures moyennes journalières de la station CUR_01 de 2021, 2022 et 2023

Comme en 2022, les températures moyennes journalières relevées sur la station CUR_01 ont dépassées le seuil de stress physiologique à de nombreuses reprises, alors que ce n'était pas le cas en 2021.

◇ CUR_02 (Amont du lac des Settons)

La température de l'eau de la Cure à l'amont du lac des Settons a varié entre 0°C et 20,17°C durant l'année 2022 :

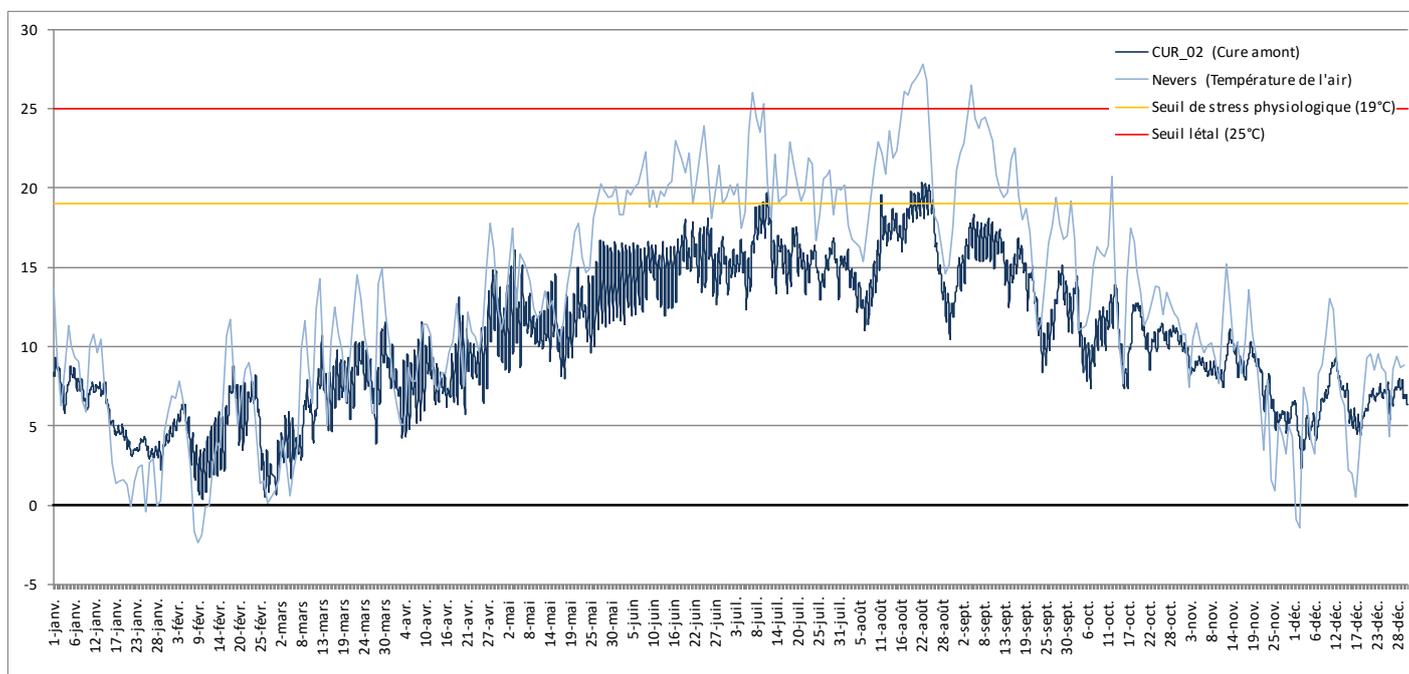


Figure 39 : Evolution des températures instantanées de la station CUR_02 durant l'année 2023

Tableau 15 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur CUR_02

CUR_02		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	2,07 °C	,77 °C	,36 °C
	Tmax	18,65 °C	20,17 °C	20,32 °C
	Tmj min	2,53 °C	1,83 °C	1,89 °C
	Tmj max	17,22 °C	18,96 °C	19,45 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	14,44 °C	16,4 °C	16,73 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	/	43 h	118 h
	Nseq Ti > 19	/	6	10
	Nmax Tic > 19	/	13 h	19 h
Seuil léthal	Nti ≥ 25	/	/	
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	

Même avec les températures de l'air très élevées de 2023, les températures de l'eau de la Cure en amont du lac des Settons restent fraîches. En été, le seuil de stress physiologique de 19°C n'est que très rarement dépassé (10 fois). La plus longue période de dépassement est de 19h ; ce qui reste facilement, même pour les truitelles, surtout que la température maximale est de 20,32°C. La Tm30j max est bonne également, s'établissant à 16,4°C, elle n'indique pas de risque, pour les adultes comme les juvéniles. La température n'est donc pas trop chaude pour la truite.

Un risque existe tout de même vis-à-vis des températures hivernales qui descendent extrêmement bas, approchant les 0°C. Cette température très basse, en dessous de 1°C peut être létale pour

les œufs ou les larves qui se trouvent sous les graviers à cette période de l'année. La sonde étant placée dans la racine d'un arbre et dans un endroit profond par rapport au reste du cours d'eau afin qu'elle ne soit pas exondée, il est possible que la température y soit plus froide que sur les radiers qu'utilisent souvent les salmonidés pour leurs reproductions. Le risque que les températures trop froides aient inhibées le développement des œufs ou des alevins ne peut cependant pas être écarté.

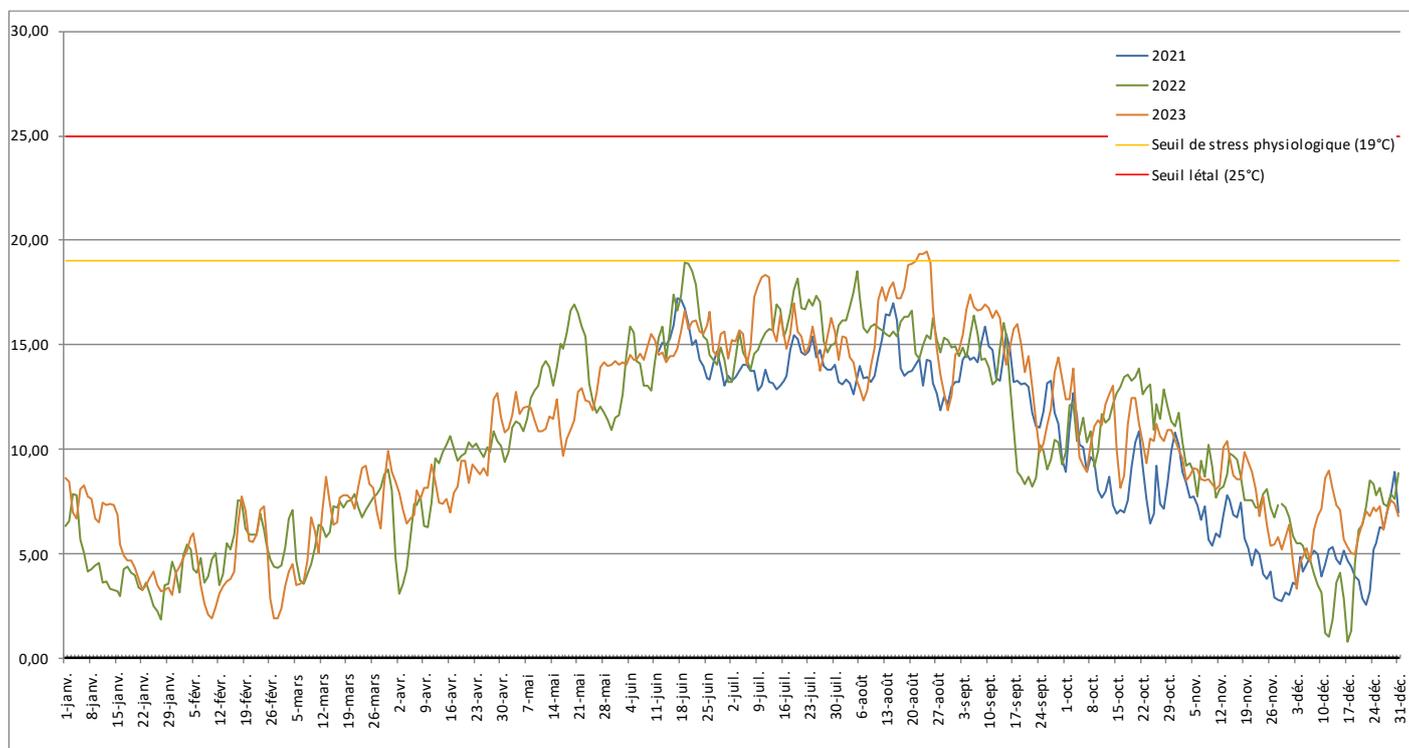


Figure 40 : Comparaison des températures moyennes journalières de la station CUR_02 de 2021, 2022 et 2023

L'évolution de la température de l'eau en 2023 est globalement semblable à celle de 2022. Ces deux années ont été significativement plus chaudes que 2021, en lien avec l'évolution de la température de l'air.

Le nombre d'heures passées au-dessus du seuil de stress physiologique est tout de même légèrement plus important en 2023 qu'en 2022.

◇ Comparaison des stations du bassin versant de la Cure

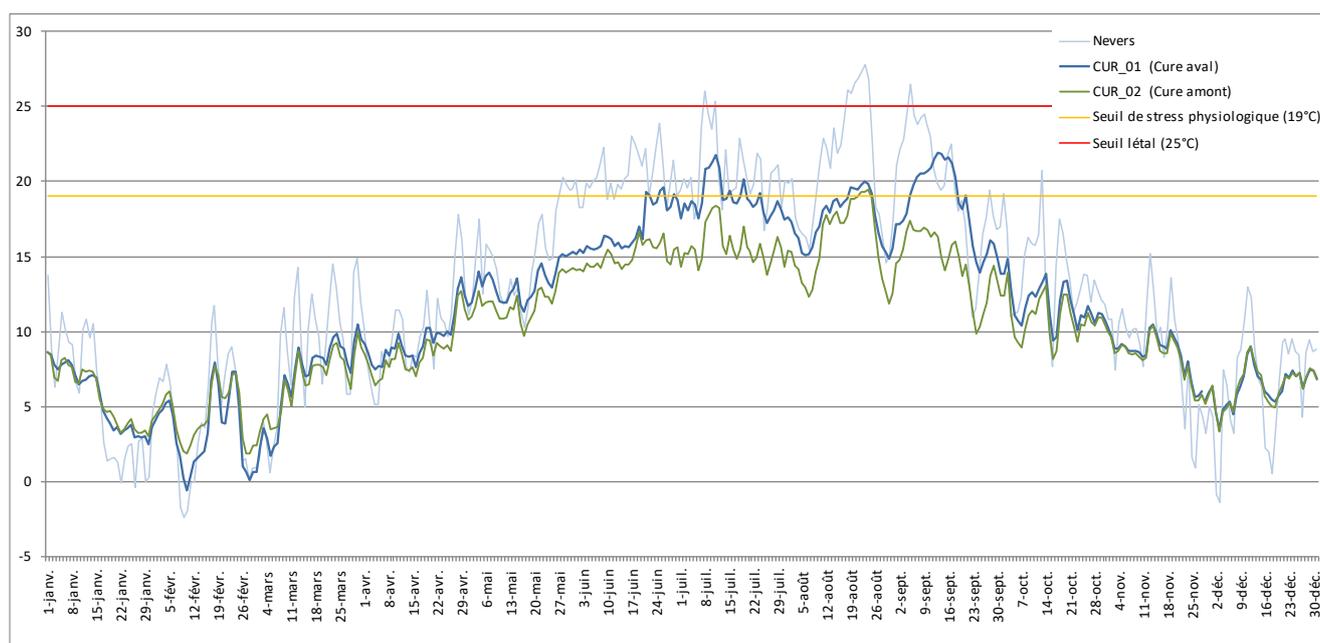


Figure 41 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'air et des stations CUR_01 et CUR_02 durant l'année 2023

Jusqu'à la fin du mois d'avril, les températures amont et aval ont évoluées conjointement et sont restées sur des valeurs très similaires. Pendant tout le mois de mai et jusqu'au 19 juin, la température relevée sur la station aval est environ 1°C plus élevée que sur la station amont. L'écart entre l'amont et l'aval devient subitement bien plus important entre le 19 juin et le 4 août, atteignant 3°C. Pendant tout le mois d'août, et jusqu'au 4 septembre, date de début de la vidange du lac, l'écart entre l'amont et l'aval redeviens d'environ 1°C, malgré la très forte température extérieure.

L'écart de température devient ensuite très important entre l'amont et l'aval du barrage pendant la période de vidange du lac, du 4 au 28 septembre. Cet écart augmente progressivement jusqu'à atteindre 7,5 °C le 15 septembre, date à laquelle la température moyenne journalière maximale de 2023 est relevée sur la station CUR_01, avec 21,91°C. L'écart de température se réduit légèrement mais reste important jusqu'au 28 septembre. A la fin de la période de vidange, et pendant toute la durée d'assec du lac, l'écart de température reste faible, ne dépassant pas 1°C.

L'impact de la retenue, son mode de restitution de l'eau et sa vidange en 2023 sont donc des facteurs déterminants de la thermie de la cure sur la station CUR_01.

Tableau 16 : Comparaison des différentes métriques des stations CUR_01 et CUR_02 en 2021 et 2022

Année suivi		2021		2022		2023	
Code station		CUR_01	CUR_02	CUR_01	CUR_02	CUR_01	CUR_02
Données générales	Tmin	1,91 °C	2,07 °C	1,45 °C	,77 °C	/	,36 °C
	Tmax	20,7 °C	18,65 °C	23,55 °C	20,17 °C	23,86 °C	20,32 °C
	Tmj min	2,38 °C	2,53 °C	2,4 °C	1,83 °C	/	1,89 °C
	Tmj max	18,56 °C	17,22 °C	21,75 °C	18,96 °C	21,91 °C	19,45 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,14 °C	14,44 °C	19,58 °C	16,4 °C	19,16 °C	16,73 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	113 h	/	898 h	43 h	985 h	118 h
	Nseq Ti > 19	18	/	52	6	54	10
	Nmax Tic > 19	11 h	/	331 h	13 h	302 h	19 h
Seuil léthal	Nti ≥ 25	/	/	/	/		
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/	/		
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/	/		

Le tableau comparatif ci-dessus nous montre des dépassements des valeurs seuils de stress physiologique bien plus importants en 2022 et 2023 qu'en 2021, particulièrement sur CUR_01

◆ *Le Cousin (FRHR52B)*

Le Cousin est un cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole, affluent de la Cure. Cette rivière prend sa source sur la commune d'Alligny-en-Morvan. Le Cousin mesure 67 km de long et son bassin versant s'étend sur 443 km².

Deux stations de mesure sont placées le Cousin. La première est située à l'aval du lac de Saint-Agnan, au niveau du village de Trinquelin, sur la commune de Saint-Léger-Vauban. La deuxième est située sur la commune de Champeau-en-Morvan, à l'amont du lac.

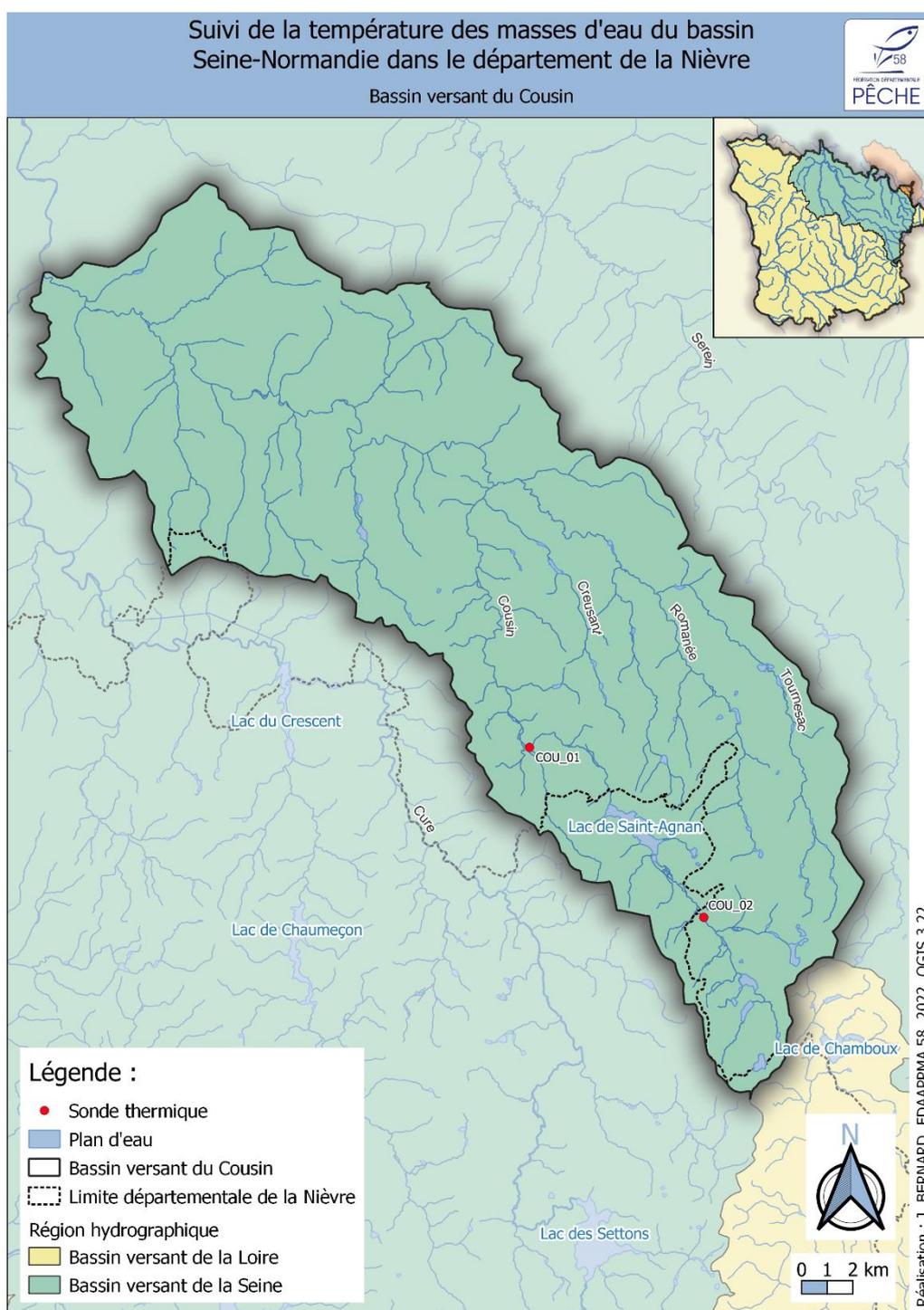


Figure 42 : Bassin versant du Cousin

Le lac de Saint Agnan est situé entre les 2 stations de mesure du Cousin. Ce lac de barrage a été inauguré en 1969 pour réguler les eaux de l'Yonne et de la Seine et éviter les crues, et également pour approvisionner en eau les communes environnantes. Le lac s'étend sur 140 ha. La profondeur maximale y est de 20 m.

◇ COU_01 (Aval du lac de Saint-Agnan)

La température de l'eau du Cousin à l'aval du lac du Crescent a varié entre 2°C et 21,25°C durant l'année 2023 sur la chronique de données suivante :

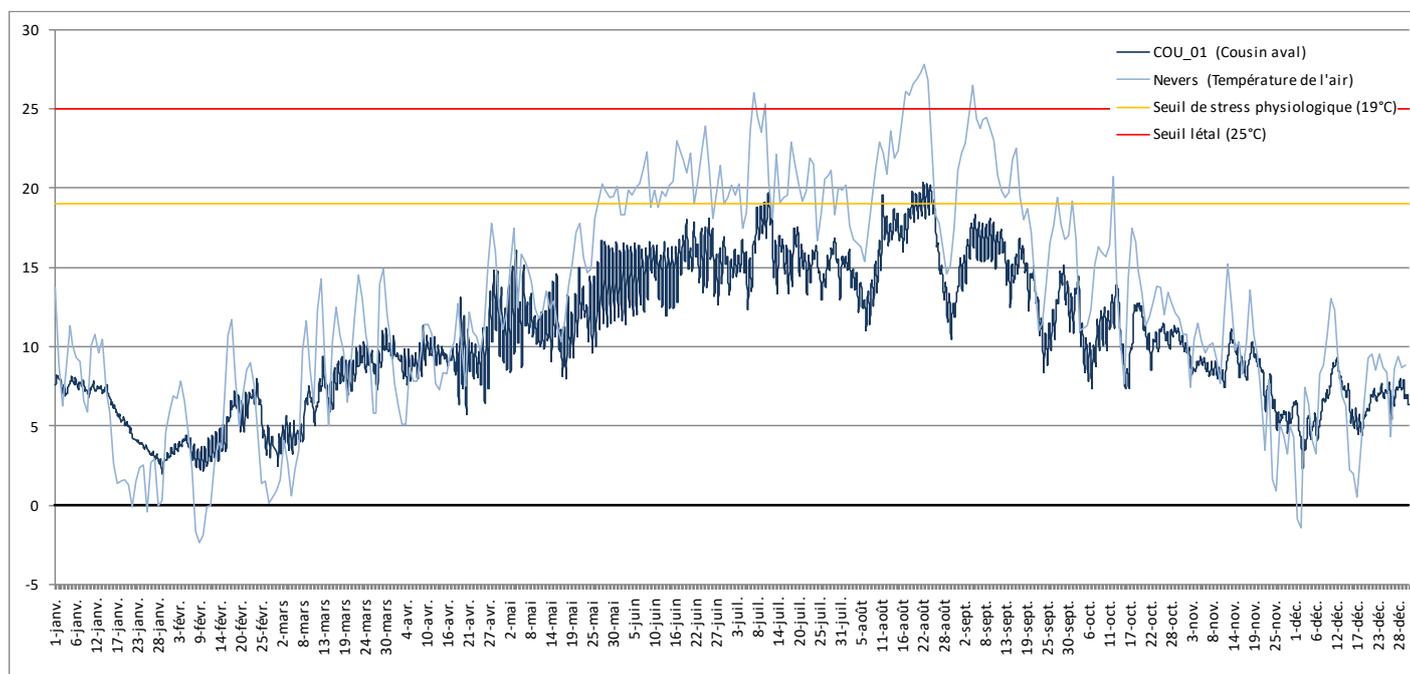


Figure 43 : Evolution des températures instantanées de la station COU_01 durant l'année 2023

Tableau 17 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur COU_01

COU_01		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	2,1 °C	2,26 °C	2,02 °C
	Tmax	19,13 °C	21,49 °C	21,25 °C
	Tmj min	2,42 °C	2,6 °C	2,57 °C
	Tmj max	17,9 °C	19,72 °C	19,94 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	16,83 °C	17,45 °C	18, °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	2 h	114 h	253 h
	Nseq Ti > 19	1	11	26
	Nmax Tic > 19	2 h	28 h	21 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/

Les températures enregistrées en 2023 montrent quelques dépassements du seuil de stress physiologiques de la truite. Le plus long a duré 21h, ce qui est assez similaire à la plus longue période de stress physiologique relevée en 2022.

La Tm30j max de 18°C est plus élevée qu'en 2021 et 2022, mais reste à la limite des températures à partir desquelles les conséquences négatives interviennent sur les truitelles.

La température minimale est descendue à 2°C en janvier, avec une moyenne journalière minimale à 2,57°C, ce qui ne présente pas de risque pour le développement des œufs.

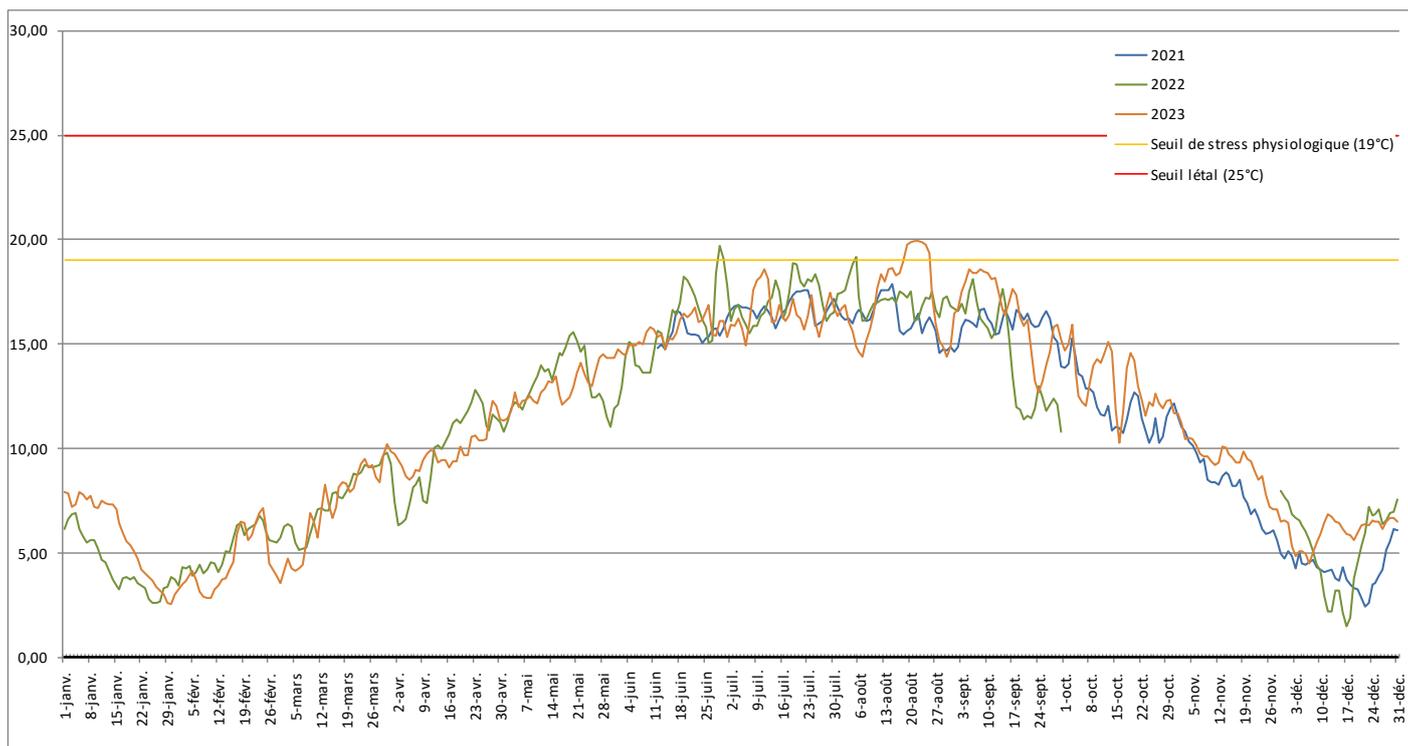


Figure 44 : Comparaison des températures moyennes journalières de la station COU_01 de 2021, 2022 et 2023

Les températures moyennes journalières de la période estivale de 2023 présentent une évolution assez similaire à celles de 2022.

◇ COU_02 (Amont du lac de Saint-Agnan)

La température de l'eau à l'amont du Cousin a été comprise entre 0,99°C et 22,61°C durant l'année 2023, avec une moyenne annuelle de 10,96°C.

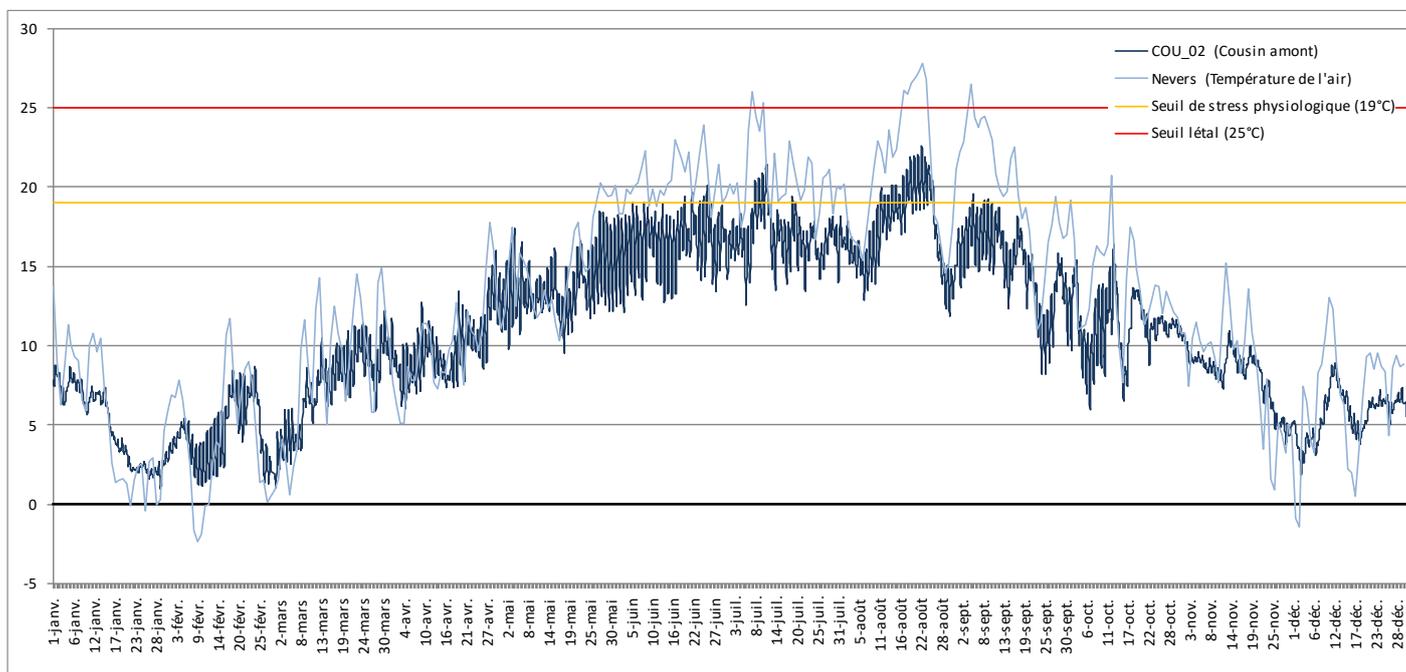


Figure 45 : Evolution des températures instantanées de la station COU_02 durant l'année 2023

Tableau 18 : Récapitulatif des différentes métriques analysées sur COU_02

COU_02		2021	2022	2023
Données générales	Tmin	1,72 °C	1,78 °C	,99 °C
	Tmax	20,75 °C	22,23 °C	22,61 °C
	Tmj min	2,17 °C	2,52 °C	1,9 °C
	Tmj max	18,83 °C	20,31 °C	20,66 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	17,02 °C	18,14 °C	17,8 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	116 h	419 h	330 h
	Nseq Ti > 19	18	47	30
	Nmax Tic > 19	12 h	32 h	40 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/

Les températures enregistrées en 2023 montrent des dépassements des seuils de stress physiologiques de la truite comparable à ceux de 2022, bien plus importants qu'en 2021. Le plus long a duré 40h, soit 8h de plus qu'en 2022, mais le temps total passé au-dessus de 19°C est légèrement inférieur, avec 330h en 2023 contre 419h en 2022.

Le seuil de température létale reste loin avec une température maximale enregistrée à 22,61°C. La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds s'établit à 17,8°C, ce qui reste

compatible avec les exigences thermiques de la truite tout en se situant à la limite à partir de laquelle des conséquences négatives apparaissent sur la survie des truitelles.

En ce qui concerne les températures minimales, la plus basse température instantanée a été enregistrée à 0,99°C, mais la température moyenne journalière minimale reste tout de même à 1,9°C. Il est tout de même possible que le développement des œufs ait été impacté.

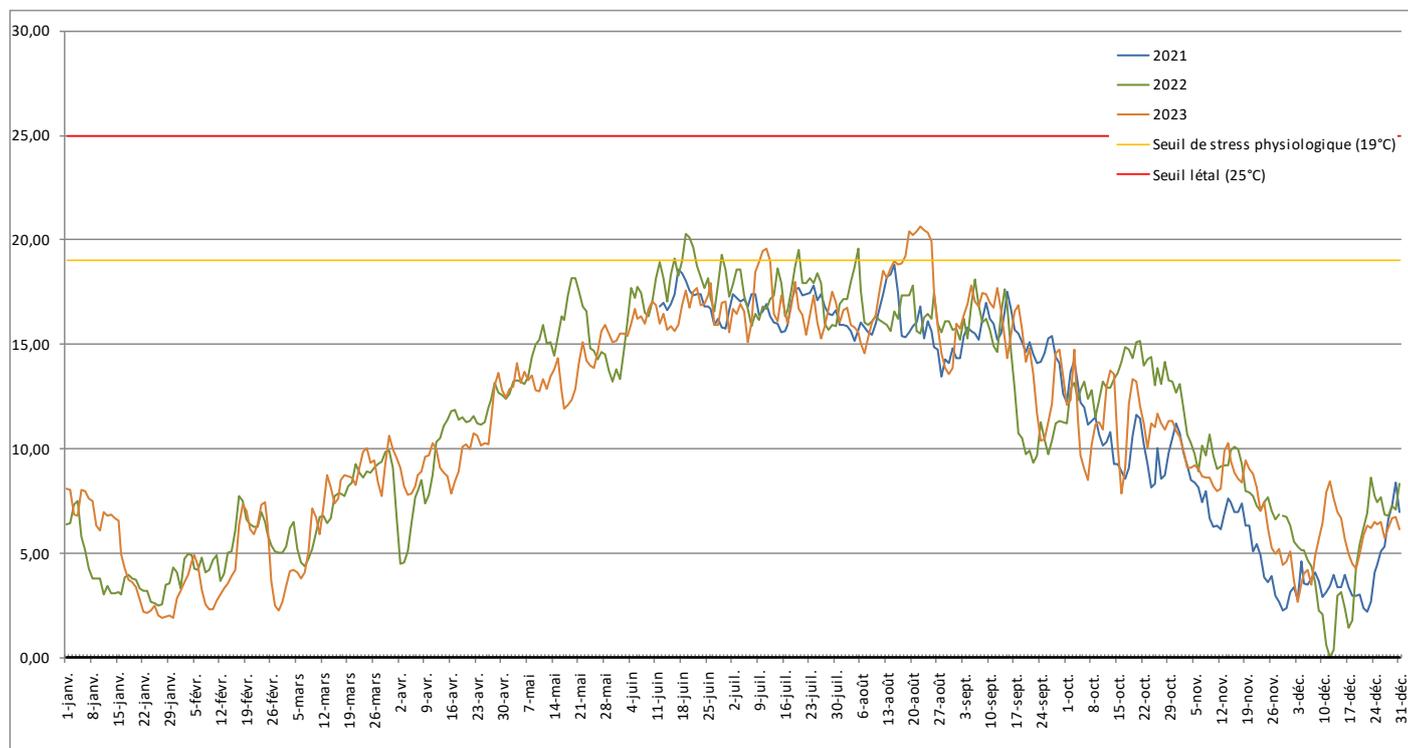


Figure 46 : Comparaison des températures moyennes journalières de la station COU_02 de 2021, 2022 et 2023

La figure ci-dessus montre des pics de température plus nombreux et plus importants de température en 2022 et 2023 qu'en 2021. L'évolution globale de la température au cours de l'année reste similaire et retranscrit la variabilité météorologique annuelle.

◇ Comparaison des stations du bassin versant du Cousin

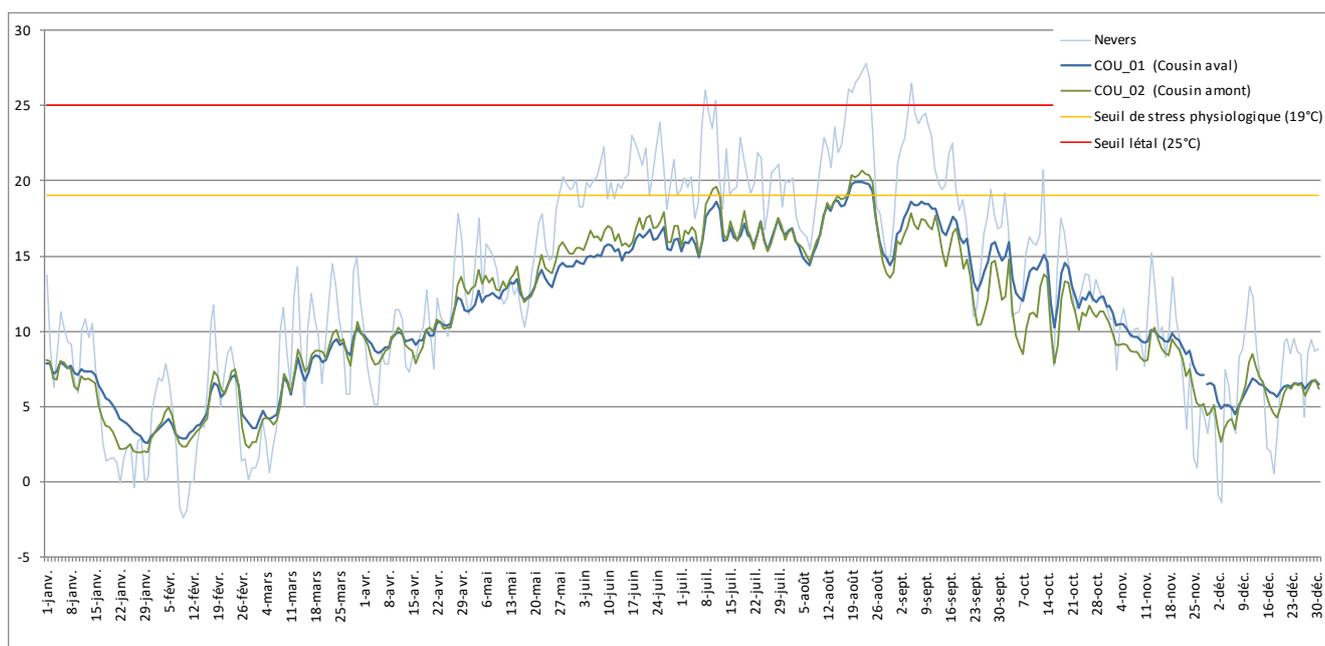


Figure 47 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'air et des stations COU_01 et COU_02 durant l'année 2023

La comparaison ci-dessus de l'évolution de la température relevée sur les 2 stations montre quelques différences d'évolutions des températures de l'eau entre l'amont et l'aval du lac.

Les températures sont similaires et évoluent conjointement du début de l'année jusqu'à la fin avril. La température du Cousin amont augmente ensuite plus vite que celle du Cousin aval. En 2023, la différence n'est que de 1°C alors qu'elle a atteint jusqu'à 2,5°C au mois de juin 2022.

Du 14 juillet au 31 août, les températures sont quasiment identiques sur les 2 stations.

A partir du 31 août, la température du Cousin est plus chaude à l'aval qu'à l'amont du lac, tout en restant en dessous des 19°C sur les deux stations.

Tableau 19 : Comparaison des différentes métriques des stations COU_01 et COU_02 en 2021, 2022 et 2023

Année suivi		2021		2022		2023	
Code station		COU_01	COU_02	COU_01	COU_02	COU_01	COU_02
Données générales	Tmin	2,1 °C	1,72 °C	2,26 °C	1,78 °C	2,02 °C	,99 °C
	Tmax	19,13 °C	20,75 °C	21,49 °C	22,23 °C	21,25 °C	22,61 °C
	Tmj min	2,42 °C	2,17 °C	2,6 °C	2,52 °C	2,57 °C	1,9 °C
	Tmj max	17,9 °C	18,83 °C	19,72 °C	20,31 °C	19,94 °C	20,66 °C
Préferendum thermique	Tm30j max	16,83 °C	17,02 °C	17,45 °C	18,14 °C	18, °C	17,8 °C
Seuil de stress physiologique	Nti > 19	2 h	116 h	114 h	419 h	253 h	330 h
	Nseq Ti > 19	1	18	11	47	26	30
	Nmax Tic > 19	2 h	12 h	28 h	32 h	21 h	40 h
Seuil létal	Nti ≥ 25	/	/	/	/	/	/
	Nseq Ti ≥ 25	/	/	/	/	/	/
	Nmax Tic ≥ 25	/	/	/	/	/	/

En 2023 comme en 2022 et 2021, les dépassements des valeurs seuils de stress physiologiques de la truite sont plus importants sur la station COU_02, à l'amont du lac, que sur la station COU_01 à l'aval.

La différence entre la température à l'amont et à l'aval du lac est cependant moins importante que sur les autres années du suivi. Ce resserrement de l'écart s'explique par les températures plus importantes enregistrées sur la station aval, COU_01 en 2023 qu'en 2022 et 2021.

Le nombre total d'heures passées au-dessus de 19°C en 2023 est d'ailleurs assez proche sur les deux stations.

La température moyenne des 30 jours les plus chauds de 2023 a même été légèrement supérieure sur la station COU_01 que COU_02.

Les écarts de températures entre les minimales et les maximales restent moins importantes à l'aval qu'à l'amont du lac. Celui-ci semble donc tamponner quelque peu les variations de températures, bien que les variations de température de l'air soient toujours très influentes sur la température de l'eau à l'aval.

4 Conclusion

La température de l'eau des affluents de l'Yonne et de la Cure est très influencée par la température de l'air. Lors d'années aux périodes estivales très chaudes et prolongées, comme en 2022 et 2023, il peut y avoir des conséquences néfastes sur les peuplements piscicoles des cours d'eau, dominées par la truite fario, et en particulier pour les juvéniles.

Tous les cours d'eau n'ont pas la même capacité à tamponner les températures très chaudes ou très fraîches. En fonction de leurs liens avec une éventuelle nappe d'accompagnement, certains cours d'eau présentent une plus grande résistance aux changements de température que les autres, c'est notamment le cas du Beuvron et du Sauzay.

Sur le département, la température des cours d'eau peut être un frein important au développement et au maintien d'une population de truite fario, même dans le Morvan, sur de petits cours d'eau, qui sont pourtant en contexte salmonicole. C'est notamment le cas de l'Anguison et de l'Armanche amont.