



Rapport du suivi thermique de la rivière Yonne

Année 2022

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 | Sondes thermiques..... | 3 |
| 2.3 | Espèce repère : la truite fario..... | 6 |
| 2.4 | Analyses des données thermiques..... | 7 |
| 3 | Analyse | 8 |
| 3.1 | Résultats 2022 | 8 |
| 3.1.1 | Résultats par station..... | 9 |
| 3.1.2 | Résultats par zone | 19 |
| 3.2 | Comparaison interannuelle et évolution des températures..... | 27 |
| 3.2.1 | Résultats par stations..... | 27 |
| 3.2.2 | Résultats globaux..... | 36 |
| 4 | Conclusion | 39 |

1 Contexte

Dans le contexte actuel de changement 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 présents dans les cours d'eau. La concentration en oxygène sera plus importante dans des eaux froides. Également, la température de l'eau a un effet sur la distribution et les cycles biologiques des espèces animales et végétales. Une augmentation de la température de l'eau va entraîner une remontée progressive en altitude des espèces préférant les eaux froides.

Différents paramètres peuvent avoir un impact sur la température de l'eau. La ripisylve permet de conserver une température de l'eau fraîche. Une fragmentation de cette ripisylve peut entraîner un réchauffement de l'eau ainsi qu'une augmentation des amplitudes thermiques journalières et saisonnières. La présence de barrage peut aussi avoir un impact sur la température de l'eau à l'amont et à l'aval. En effet, un obstacle (barrage ou seuil) entraîne la formation d'une retenue d'eau stagnante qui va progressivement augmenter en température. A l'aval, la température de l'eau est également impactée. L'eau sera généralement plus chaude, l'eau s'étant réchauffée dans l'enceinte de la retenue. Mais l'eau peut être aussi plus froide si la hauteur de la retenue est importante et que c'est de l'eau de fond qui est lâchée à l'aval.

La température de l'eau est donc un paramètre principal à 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, certains des espèces piscicoles sont beaucoup plus ubiquistes et peuvent supporter de plus grandes variations de températures de l'eau.

L'Yonne, troisième affluent le plus important de la Seine, traverse le Morvan. Les eaux froides du Morvan permettent le maintien d'un peuplement piscicole de première catégorie. Et le barrage de Pannecière-Chaumard, avec sa vanne de fond, permet de maintenir une eau plus froide à l'aval de la retenue.

Dans le cadre de l'acquisition de connaissances sur l'état des masses d'eau de la Nièvre, la Fédération de Pêche de la Nièvre a été missionnée pour réaliser un suivi thermique de l'Yonne par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Ce suivi a donc pour but d'observer l'évolution de la température de l'eau sur cette rivière afin d'évaluer les potentiels impacts sur les populations piscicoles, et notamment sur l'une des espèces repères du Morvan, la truite fario.

2 Matériel et méthode

2.1 Site d'étude

L'Yonne est un cours d'eau de 292 km de long. Cette rivière prend sa source sur la commune de Glux-en-Glenne, dans le département de la Nièvre et se jette dans la Seine à Montereau-Fault-Yonne, dans le département de Seine-et-Marne.

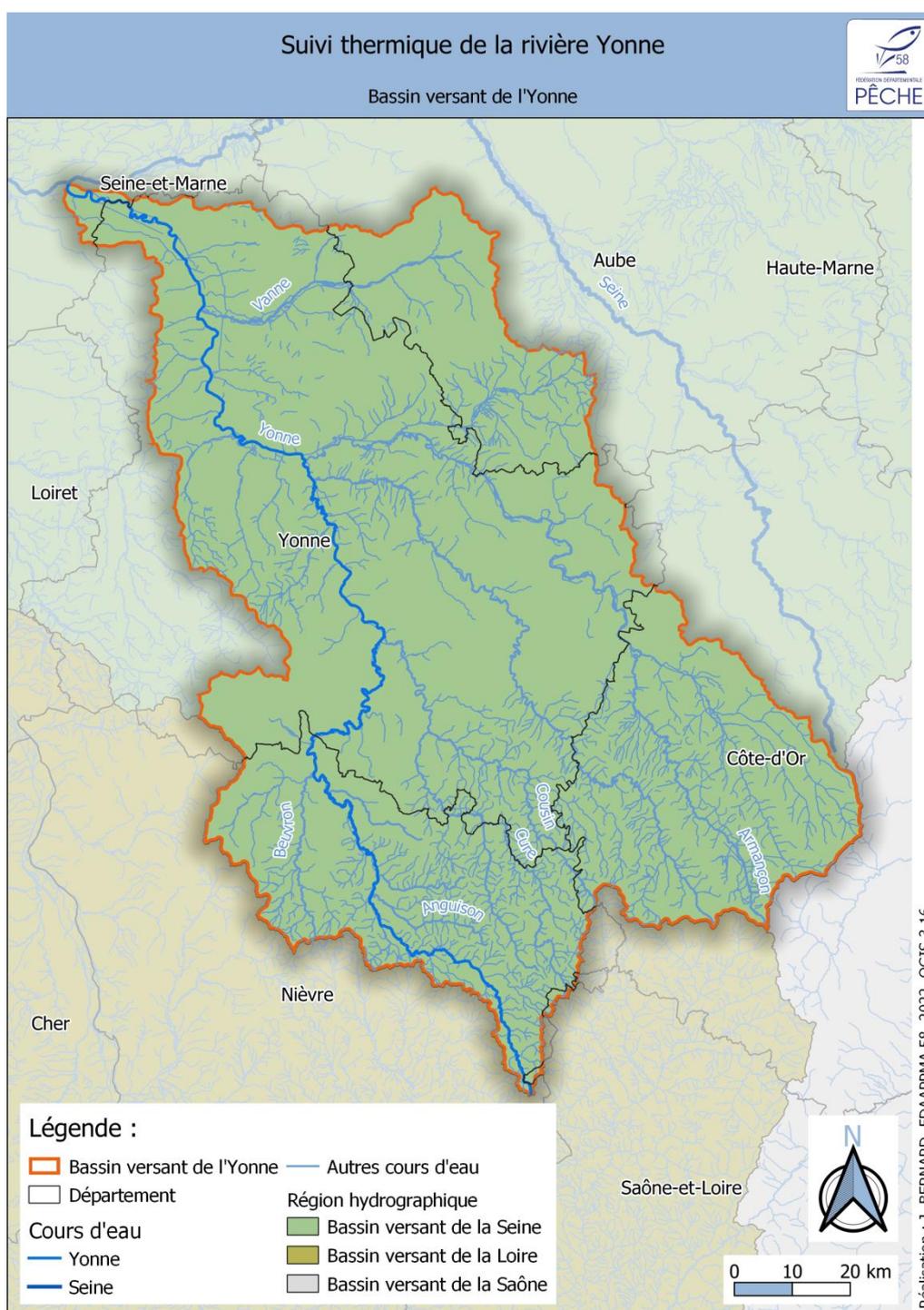


Figure 1 : Bassin versant de l'Yonne

◆ *Lac de Pannecièrre-Chaumard*

Le lac de Pannecièrre est situé dans le Morvan, sur les communes de Chaumard, Montigny-en-Morvan et Corancy. Il a été mis en service en 1949. D'une surface de 520 hectares, il s'agit du plus grand lac du Morvan.



Figure 2 : Lac de Pannecièrre

Les principales missions de ce lac artificiel sont de renforcer le débit de l'Yonne et de la Seine en période d'étiage (période estivale) et de lutter contre les risques d'inondation. Pour cela, le gestionnaire du barrage, l'EPTB Seine Grands Lacs, stocke de l'eau durant l'hiver et le printemps et la restitue à l'Yonne durant l'été et l'automne. Ce fonctionnement entraîne donc une inversion des débits de la rivière. En effet, les crues hivernales sont minimisées car le barrage stocke une partie de cette eau, ce qui limite les inondations dans les annexes hydrauliques de l'Yonne (bras mort, prairies inondables, ...). Et durant l'été, les étiages sont également minimisés grâce à l'appui du barrage. Il y a donc une inversion des débits sur ce secteur de l'Yonne, qui est atténuée progressivement par l'apport des affluents à l'aval du lac de Pannecièrre.

2.2 Sondes thermiques

Le suivi de la température de l'Yonne a commencé en 2014. Ce sont 3 sondes qui ont été placées à l'aval du lac de Pannecièrre au niveau du Moulin de Chassy, de Montreuillon et du lieu-dit Des Granges. Ce suivi avait pour objectif de suivre la température de l'eau de l'Yonne à l'aval du lac de Pannecièrre, dans le secteur de 1^{ère} catégorie piscicole.

Fin 2019, il a été décidé de compléter ce suivi par la pose de 7 nouvelles sondes enregistreuses. Depuis début 2020, ce sont donc 10 sondes thermiques qui sont installées sur l'ensemble du linéaire de l'Yonne (cf. Figure 3) pour permettre de suivre l'évolution de la température de l'eau. La sonde la plus à l'amont est située au Châtelet (commune d'Arleuf), à environ 9 km de la source de l'Yonne, tandis que la sonde la plus à l'aval est située à Pousseaux, à 1,3 km de la limite départementale avec l'Yonne.

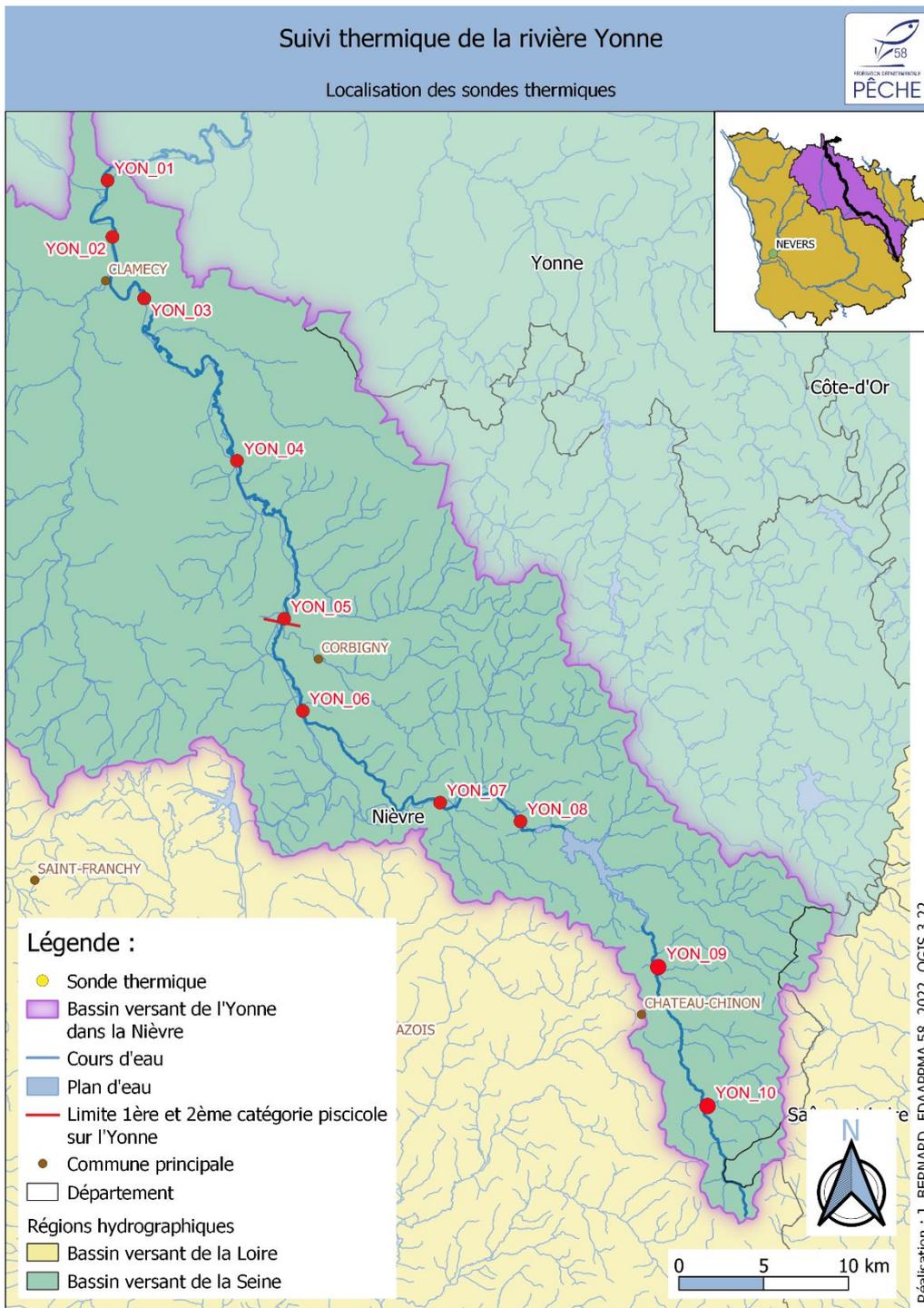


Figure 3 : Localisation des sondes thermiques sur l'Yonne

Les sondes YON_01 à YON_05 sont situées en deuxième catégorie piscicole, tandis que les sondes YON_06 à YON_10 sont en première catégorie piscicole. La limite entre la zone de première catégorie piscicole et la zone de deuxième catégorie piscicole est située à la confluence entre l'Yonne et l'Anguisson (cf. Figure 3).

Tableau 1 : Sondes thermiques

| Code sonde | Commune | Localisation | Coordonnées (Lambert 93) | |
|------------|------------------|-------------------------|--------------------------|---------|
| | | | X | Y |
| YON_01 | Pousseaux | Ponton handipêche | 739250 | 6712736 |
| YON_02 | Surgy | Station d'épuration | 739541 | 6709377 |
| YON_03 | Chevroches | Aval pont D215 | 741410 | 6705715 |
| YON_04 | Flez-Cuzy | Aval pont D119 | 746886 | 6696060 |
| YON_05 | Chitry-les-Mines | Aval pont D216 | 749668 | 6686662 |
| YON_06 | Corbigny | Les Granges | 750763 | 6681179 |
| YON_07 | Montreuillon | Aqueduc de Montreuillon | 758862 | 6675725 |
| YON_08 | Mhère | Moulin de Chassy | 763604 | 6674610 |
| YON_09 | Corancy | Amont pont D37 | 771727 | 6665946 |
| YON_10 | Arleuf | Etang du Chatelet | 774636 | 6657677 |

Les sondes utilisées sont des Tidbit V2 de HOBO. Elles sont programmables et nous permettent d'enregistrer une température toutes les 2 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 4 : Sonde enregistreuse de la température (à gauche) et 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 5 : Récupération de données grâce à la navette étanche

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 6 : 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 (Tm30j 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 de la température sur l'ensemble du linéaire de l'Yonne.

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

Des comparaisons des stations seront également réalisées à partir des températures moyennes journalières :

- ◆ Comparaison annuelle des températures de plusieurs stations.
- ◆ Comparaison interannuelle de la température par station de mesure.

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.
 - Tma : Température moyenne annuelle.
 - 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 Résultats 2022

Deux campagnes de relevés ont été réalisées en 2022.

Une en fin d'hivers sur 2 journées, le 11/02/2022 et le 10/03/2022.

Des dysfonctionnements ont malheureusement été rencontrés lors de cette campagne de relevé. Sur les sondes des stations YON_02 et YON_09, l'ensemble des données depuis la relève précédente du 03/03/2021 ont été perdues. La batterie semble être la cause de ce dysfonctionnement, les sondes ne s'allumant plus. Ces 2 sondes ont donc été changées.

La campagne de relevé suivante a été réalisée à l'automne 2022, les 30/09 et 02/12/2022. Les données sont malheureusement lacunaires sur 6 des 9 stations relevées, à cause d'une erreur dans le fichier (transmis par la sonde à la navette). Il en résulte la perte des données enregistrées entre le dernier relevé (le 11/02 ou le 10/03) et le 01/08/2022, date à partir de laquelle les données apparaissent effectivement dans le logiciel HOBOWare.

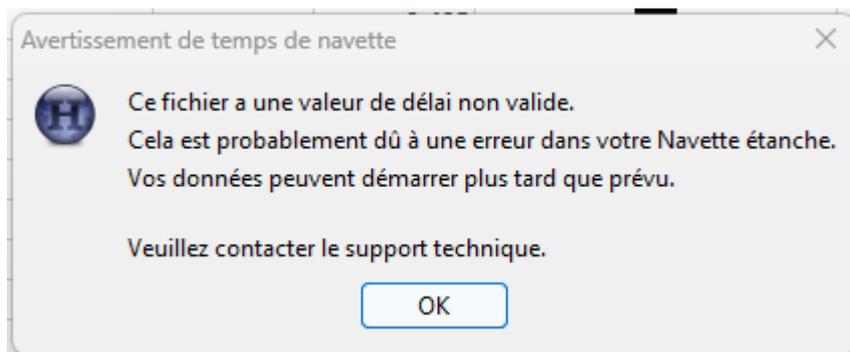


Figure 7 : rapport d'erreur obtenu à la lecture des fichiers

Cette erreur s'est produite sur les stations YON_01, YON_04, YON_05, YON_06, YON_07 et YON_10.

La sonde YON_08 n'a pas été retrouvée malgré plusieurs essais (recherche en période de basses eaux). Une nouvelle sonde a donc été mise en place le 29/09/2022.

La campagne de relevé des 18 et 19/04/2023 permet a permis de récupérer toutes les données des sondes pour l'hivers 2022/2023.

3.1.1 Résultats par station

◆ YON_10 (Chatelet)

Cette station est située à 8,5 km de la source. Aucun obstacle à la continuité écologique ni plan d'eau ne se situe à l'amont de cette station.

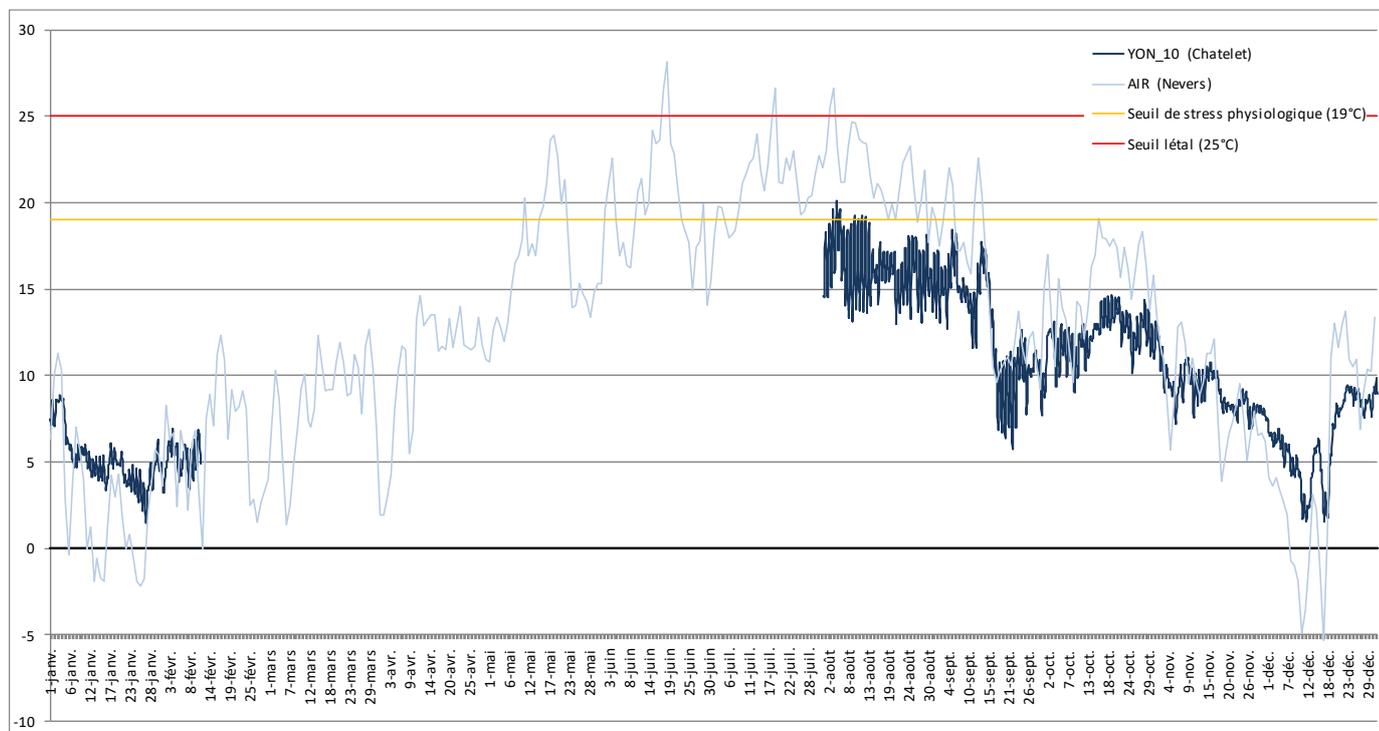


Figure 8 : Evolutions des températures relevées à la station YON_10 durant l'année 2022

Sur la période du suivi, les températures relevées sont comprises entre 1,48 °C et 20,1 °C.

Au début du mois d'Août, la température a ponctuellement dépassé les 19°C, et même atteint les 20°C, ce qui est très chaud pour cette partie amont de l'Yonne. Ces températures n'avaient pas été atteintes en 2021. Il est probable que la température de l'eau ait atteint ou dépassé les 19°C dès le mois de juin, mais nous ne disposons pas de ces données.

La température moyenne mensuelle du mois le plus chaud est enregistrée en Août avec 16,21°C de moyenne, alors que la température journalière moyenne maximale a atteint 18,55°C.

Il n'est pas possible de comparer ces températures avec les relevés de 2020, la sonde ayant été émergé une bonne partie de l'été 2020, les données sont inexploitable (mesure de la température de l'air).

◆ YON_09 (Corancy)

La station de Corancy est située 10,5 km en aval de la station YON_10. Sur le tronçon de cours d'eau entre les stations YON_10 et YON_09, plusieurs éléments peuvent provoquer un réchauffement de l'eau de l'Yonne. De l'amont vers l'aval (et la station YON09) se trouvent :

- L'étang du Châtelet, bien qu'il soit en dérivation, donc avec un impact limité,
- La pisciculture de Vermenoux, également en dérivation, elle dispose d'une prise d'eau et d'un rejet dans l'Yonne
- Le Moulin d'Yonne, microcentrale électrique directement en barrage sur le cours d'eau, avec une hauteur de chute indiquée sur le ROE entre 2 et 3m
- L'Etang de la Vernée, en dérivation
- L'arrivée d'affluent ayant des plans d'eau sur cours d'eau sur leurs tracés
- 2 tronçons dépourvus de ripisylve, notamment dans l'emprise de l'ancien ouvrage de Pierre-Glissotte.

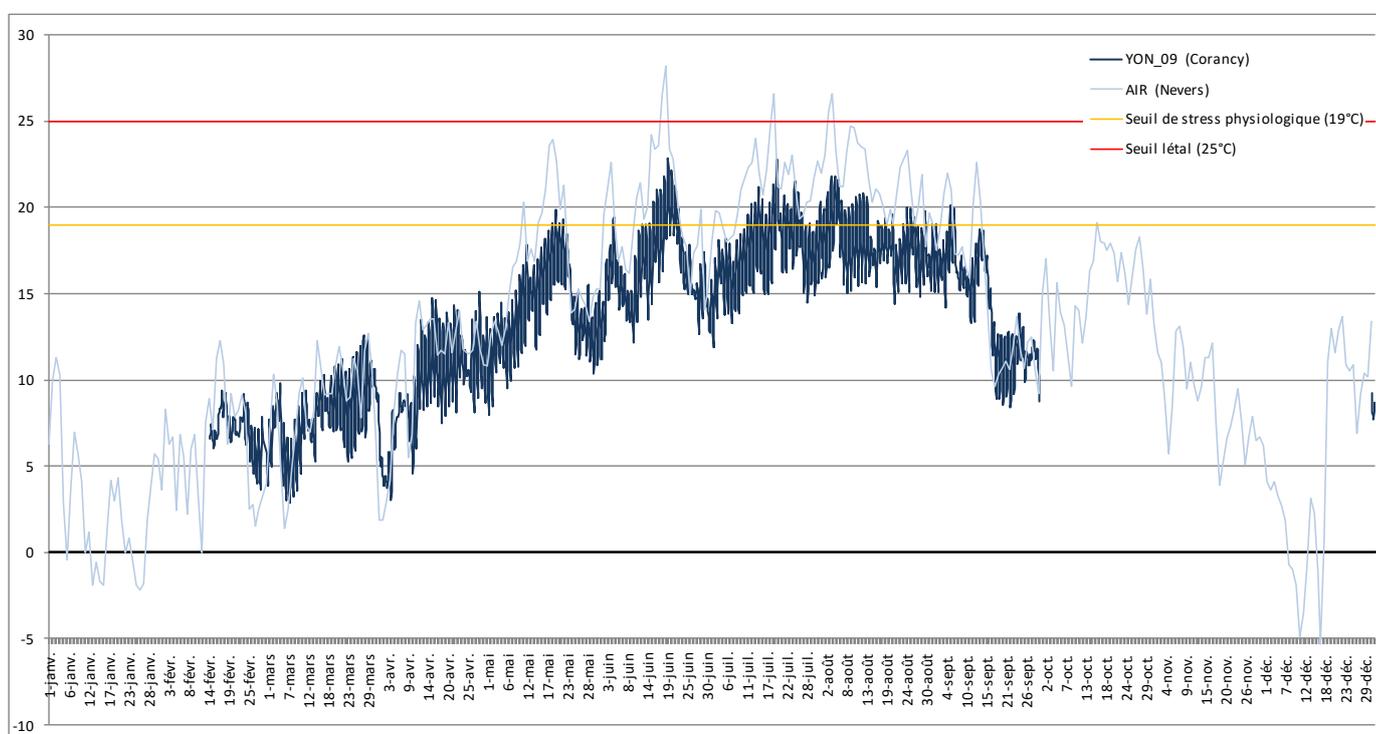


Figure 9 : Evolution des températures relevées à la station YON_09 durant l'année 2022

Sur l'année 2022, la température de l'Yonne à Corancy a largement dépassé les 19°C, et ce dès le mois de juin comme le montre le graphique ci-dessus.

Les températures relevées à la station de Corancy ont varié entre 2,88 et 22,85 °C (atteint le 19 juin).

La température moyenne mensuelle du mois le plus chaud est enregistrée en Août avec 17,86°C de moyenne, alors que la température journalière moyenne maximale a atteint 20,4°C.

La température a été enregistrée à plus de 19°C sur 59 séquences pour un total de 249 heures, et la séquence au-dessus de 19° la plus longue a duré 20 heures.

La température de l'Yonne à Corancy sur l'année 2022 a donc présentée de larges plages de dépassement du seuil de stress physiologique de la truite fario (19°C), et s'est même approchée du seuil léthal des 25°C (température capable d'entraîner la mort d'une truite fario en un court laps de temps). Durant ces périodes de stress, les truites cessent de s'alimenter et minimisent leurs dépenses énergétiques. Si ces périodes sont trop longues et répétées, elles peuvent entraîner la mort des individus.

L'étiage 2022 a donc été une période de stress intense pour les individus situés au niveau de la station YON_09. Il est même possible qu'il y ait eu de la mortalité dans la population de truite fario au vu de la durée et de l'intensité des périodes chaudes et de stress des individus.

◆ YON_08 (Moulin de Chassy)

La station YON_08 se situe sur le bras naturel de l'Yonne, en aval du seuil de répartition, au niveau du moulin de Chassy. C'est la 1^{ère} station à l'aval du bassin de compensation de Pannecièrre (à 1500 m).

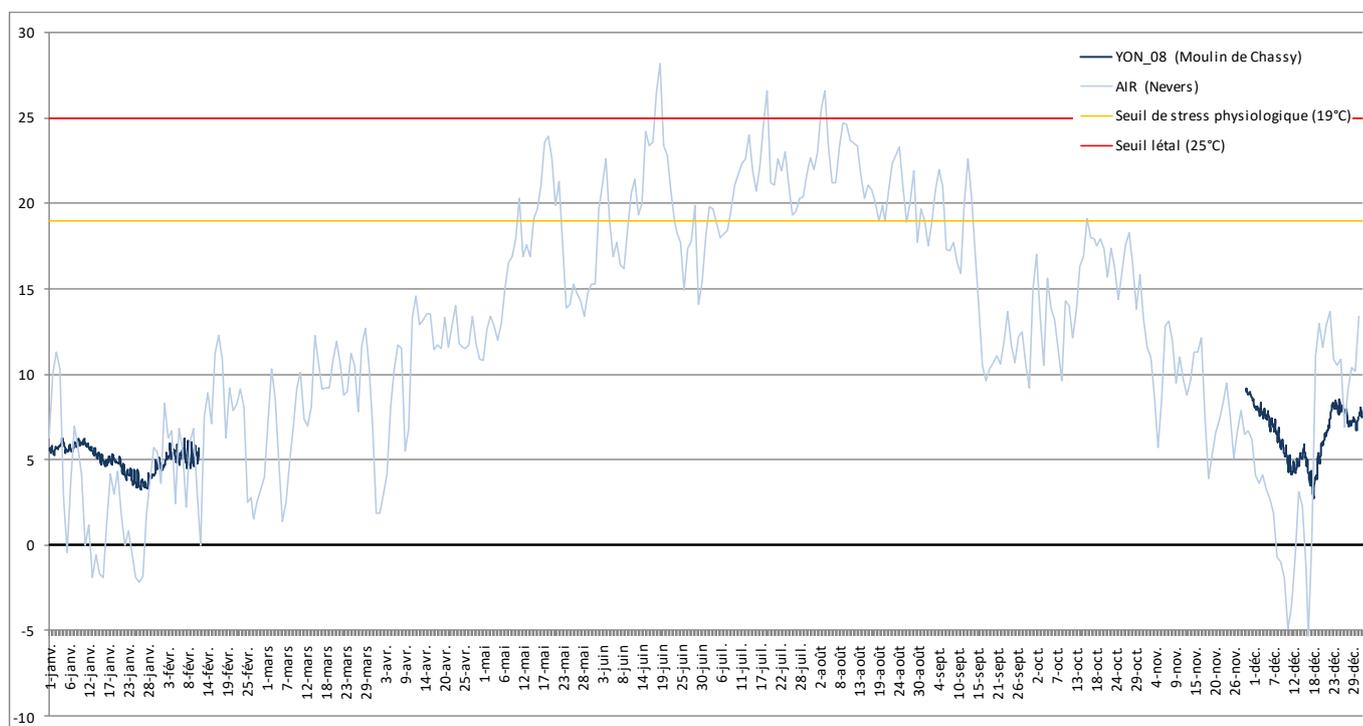


Figure 10 : Evolution des températures de la station YON_08 durant l'année 2022

Il n'a pas été possible de retrouver la sonde malgré les 2 tentatives lors de 2 passages différents. La sonde perdue a été remplacée par une sonde neuve, mise en place au même endroit que la sonde perdue.

Nous disposons cependant sur cette station d'une chronique de données importante (depuis 2014).

◆ YON_07 (Montreuillon)

La station YON_07 se situe au niveau de l'Aqueduc de Montreuillon, 6,3 km en aval de la station YON_08. Il n'y a pas d'obstacles référencés sur le cours de l'Yonne entre ces deux stations et la ripisylve y est quasi continue.

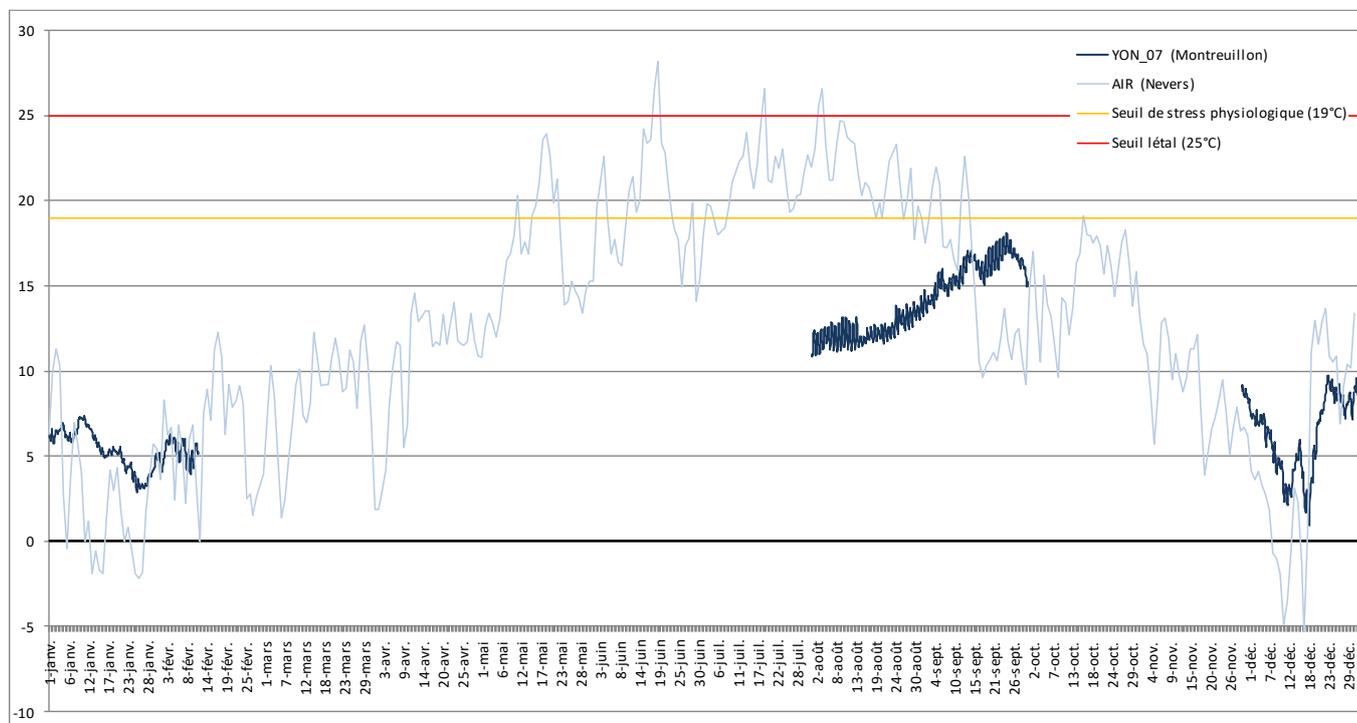


Figure 11 : Evolution des températures de la station YON_07 durant l'année 2022

Comme indiqué dans la partie 3.1, une erreur s'est produite lors de l'extraction des données, entraînant la perte de la plage de données allant du 11 février au 1^{er} Août.

Cette sonde a également été remplacée lors du 2nd passage d'automne 2022 (le 2 décembre) car elle avait cessé de fonctionner.

Les données récupérées nous permettent tout de même de constater une température moyenne de 12,33°C au mois d'Août, et 15,83°C au mois de Septembre. Sur la période estivale, cette année encore, l'eau rendue par le barrage de Pannecièrre est plus fraîche que l'eau qui y rentre. Au fur et à mesure que le niveau du lac diminue, le barrage renvoie de l'eau plus chaude, ce qui explique la hausse progressive des températures en août et en septembre.

La température maximale enregistrée a été de 18,11°C, le 24 septembre à 17h. La température minimale instantanée a été mesurée à 0,93°C le 18 décembre.

Les températures moyennes mensuelles d'août et de septembre ont été supérieures en 2022 à celles de 2020 et 2021 sur cette station (en 2020 : 12,03 en août et 15,0 en septembre). Ce qui peut s'expliquer soit par la température extérieure, l'ensoleillement supérieur sur l'été 2022 ou par le niveau plus bas du lac de Pannecièrre.

◆ YON_06 (Les Granges)

La station YON_06 se situe 13 km en aval de la station YON_07, au lieu-dit les Granges. Elle est à 650 m à l'aval de la prise d'eau de la chaise et de son seuil permettant l'alimentation du canal du nivernais.

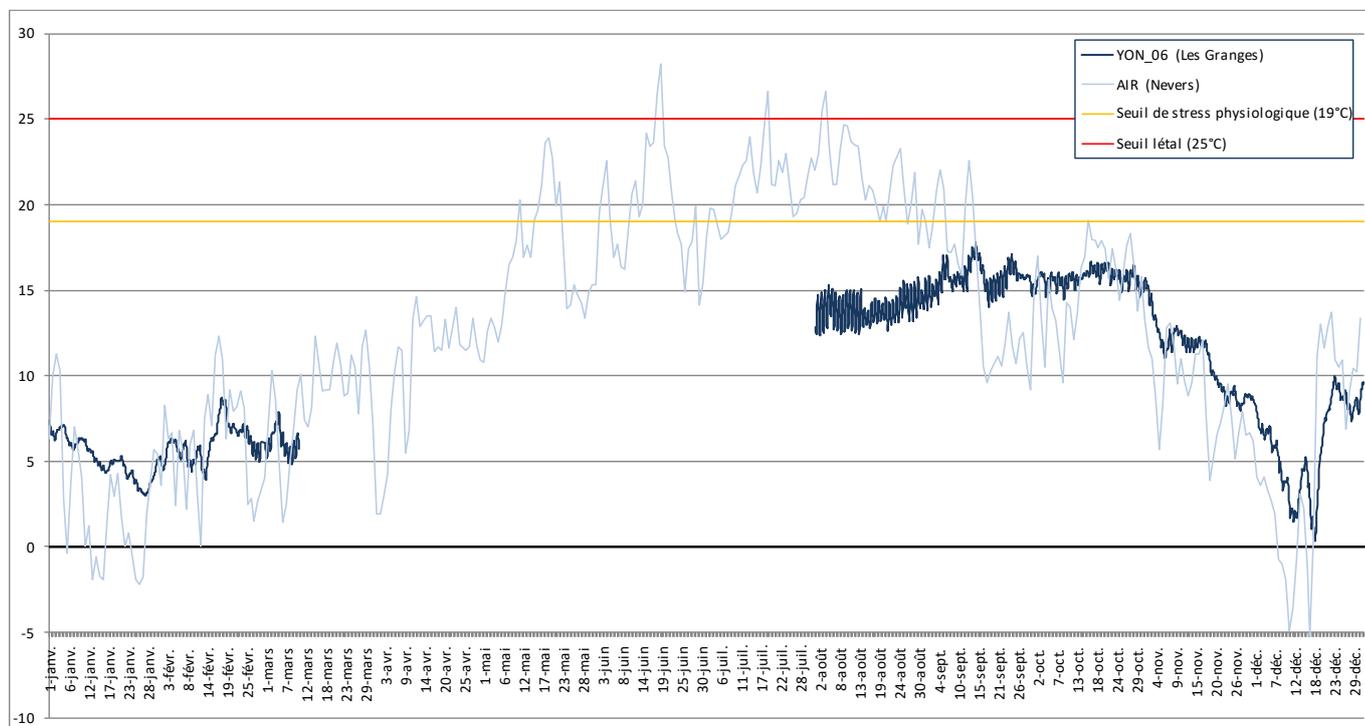


Figure 12 : Evolution des températures de la station YON_06 durant l'année 2022

La sonde n'a pas enregistré de températures supérieures à 19°C sur cette station, comme sur la précédente (YON_07). L'influence de la température de l'eau rendue par le barrage de Pannecièrre est nette. La température maximale a été atteinte le 14 septembre à 21h avec 17,77°C. La température minimale instantanée a été mesurée à 0,36°C le 18 décembre.

On constate une température moyenne de 13,91°C au mois d'août, et 15,74°C au mois de Septembre.

Si la température moyenne du mois de septembre est sensiblement identique à celle relevée à la station YON_07 pour le mois de septembre, ce n'est pas le cas pour le mois d'août. La température moyenne du mois d'août de YON_06 est en effet 1,58 °C plus chaude que celle de YON_07.

Les températures moyennes mensuelles d'août et de septembre ont été légèrement supérieures en 2022 à celles de 2020 et 2021 sur cette station (en 2020 : 13,84 en août et 15,13 en septembre). Ce qui peut s'expliquer soit par la température extérieure, l'ensoleillement supérieur sur l'été 2022 ou par le niveau plus bas du lac de Pannecièrre.

◆ YON_05 (Marigny-sur-Yonne)

La station YON_05 se situe 6,9 km en aval de la station YON_06, à Marigny sur Yonne. Elle est placée à 250 en aval de la confluence avec l'Anguisson, et donc de la limite entre la 1^{ère} et la 2nd catégorie piscicole. Le tronçon entre les stations YON_06 et YON_05 comporte 3 ouvrages inscrits sur le ROE, ayant chacun des hauteurs de chute inférieure à 50 cm. La ripisylve est globalement continue, mais comporte des discontinuités ponctuelles.

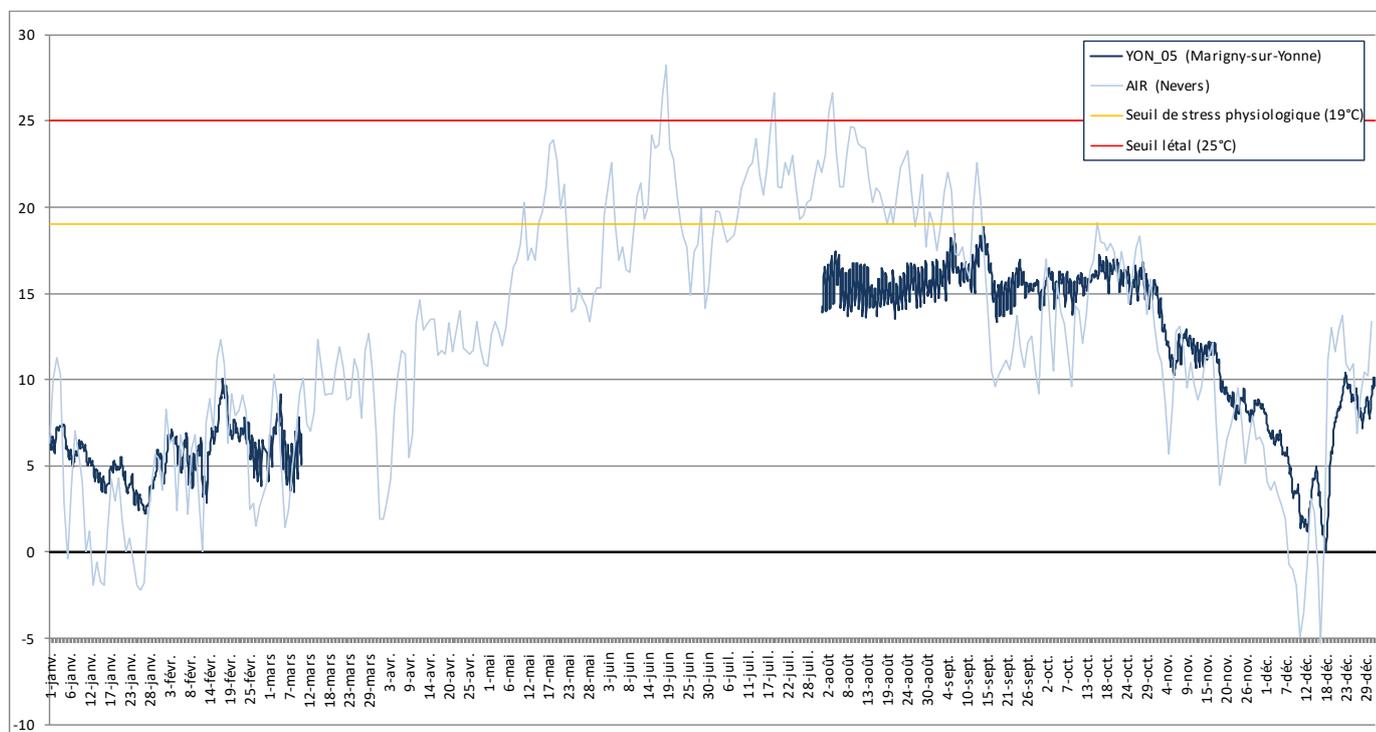


Figure 13 : Evolution des températures de la station YON_05 durant l'année 2022

Sur cette station et sur la chronique de données dont nous disposons sur l'année 2022, il n'a pas été relevé de températures supérieures à 19°C. La température maximale a été relevée le 14 septembre à 19h avec 18,84 °C. L'influence de la température de l'eau relâchée en aval de Pannecièrre est toujours importante sur cette station placée à 28 km du barrage. La température minimale est tout de même descendue à 0,02°C sur cette station le 18 décembre, ce qui est également la température la plus froide relevée en 2022 sur l'Yonne.

Sur cette station, les températures moyennes du mois d'août et du mois de septembre sont beaucoup plus proche l'une de l'autre que sur les stations précédentes, plus en amont. C'est la température moyenne du mois d'août qui est plus élevée, avec 15,38°C, elle est supérieure de 1,47°C à celle de la station YON_06. La température moyenne du mois de septembre (15,95°C) est en revanche étonnamment proche de la température moyenne des stations précédentes pour ce mois. Il ne semble pas y avoir de réchauffement de l'eau sur le cours de l'Yonne sur le mois de septembre entre les stations YON_7 et YON_5, pourtant distantes de 20 km. Les températures moyennes mensuelles d'août et de septembre ont été légèrement supérieures en 2022 à celles de 2020 et 2021 sur cette station (en 2020 : 15,32 en août et 15,49 en septembre) sur cette station également.

◆ Yon_04 (Cuzy)

La station YON_04 se situe à Cuzy, à 14,7 km en aval de la station YON_05. Sur le tronçon séparant cette station de la précédente, l'Yonne s'écoule dans des prairies et présente une ripisylve discontinue. 2 ouvrages d'envergures sont présents sur ce tronçon, la microcentrale du domaine de Mont et le moulin de Raveton.

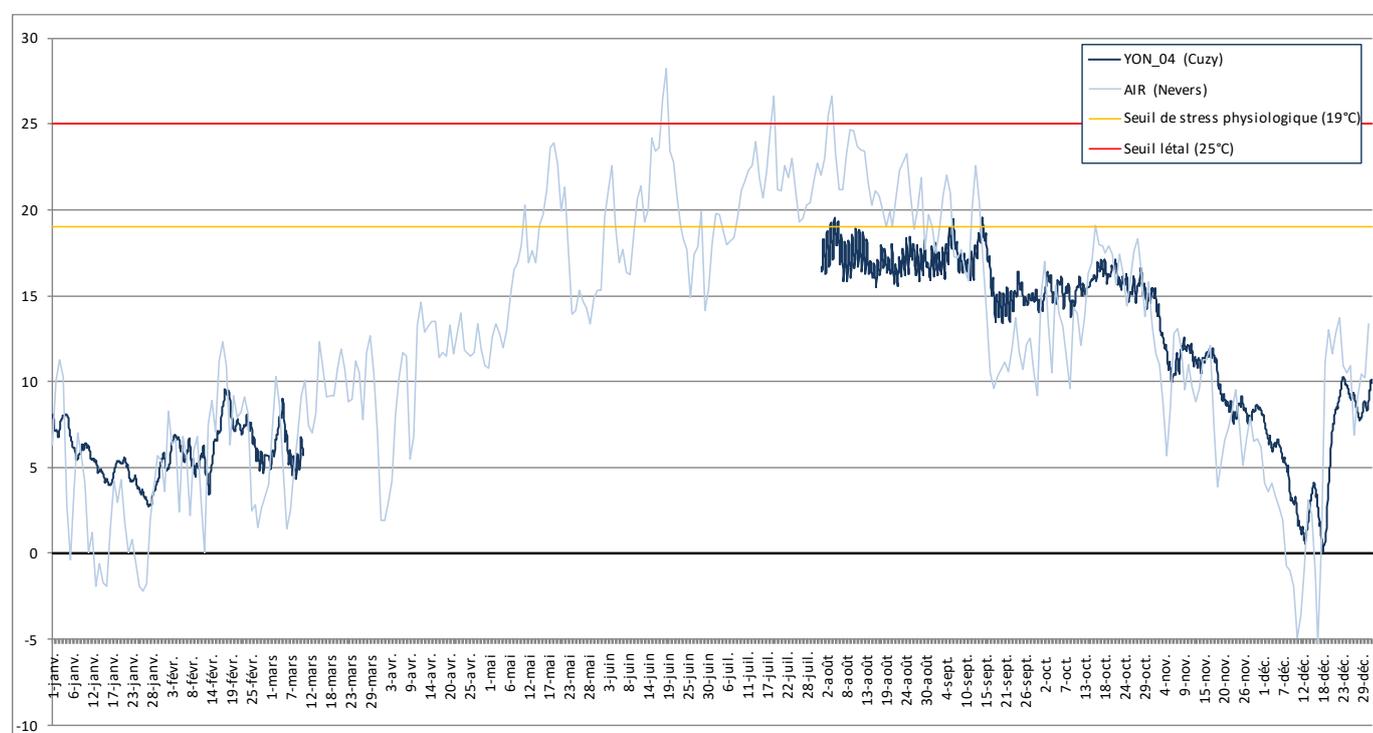


Figure 14 : Evolution des températures de la station YON_04 durant l'année 2022

Cette station est la 1^{ère} à l'aval de Pannecièrre pour laquelle des températures supérieures à 19°C ont été relevées en 2022. La température maximale a été relevée le 14 septembre à 19h avec 19,56 °C. La température minimale relevée est également très froide à 0,05°C. Bien que moins marquée que sur les stations précédentes, l'influence de la température de l'eau relâchée en aval de Pannecièrre est toujours perceptible sur cette station placée à 43 km du barrage.

On constate une température moyenne de 17,19°C au mois d'août, et 16,2°C au mois de Septembre, et la température moyenne journalière maximale de 18,72 n'atteint pas les 19°C.

C'est également la 1^{ère} station à l'aval du barrage à présenter une température moyenne du mois d'août supérieure à celle du mois de septembre, comme à l'amont du lac et en cohérence avec l'évolution des températures de l'air. L'influence du lac est donc plus réduite à partir de cette station.

La température moyenne du mois d'août est supérieure à celle de la station YON_05 de 1,8°C, alors que celle du mois de septembre n'augmente entre les stations YON_05 et YON_04 que de 0,26°C.

Entre les stations YON_07 et YON_04, la température moyenne du mois d'août passe de 12,33 à 17,19 °C, soit une augmentation de 4,86 °C sur les 34,6 km qui sépare les stations. En

comparaison, la température moyenne du mois de septembre n'augmente que de 0,38°C entre ces stations.

◆ YON_03 (Chevroches)

La sonde YON_03 est située à Chevroches, à l'amont de Clamecy. Elle est distante de 21 km de la sonde YON_04. Sur ce linéaire se trouve différents ouvrages pouvant accentuer le réchauffement de l'eau : le moulin des Trois Quartes, le moulin d'Asnois, le moulin de brèves et enfin la prise d'eau de Villiers-sur-Yonne.

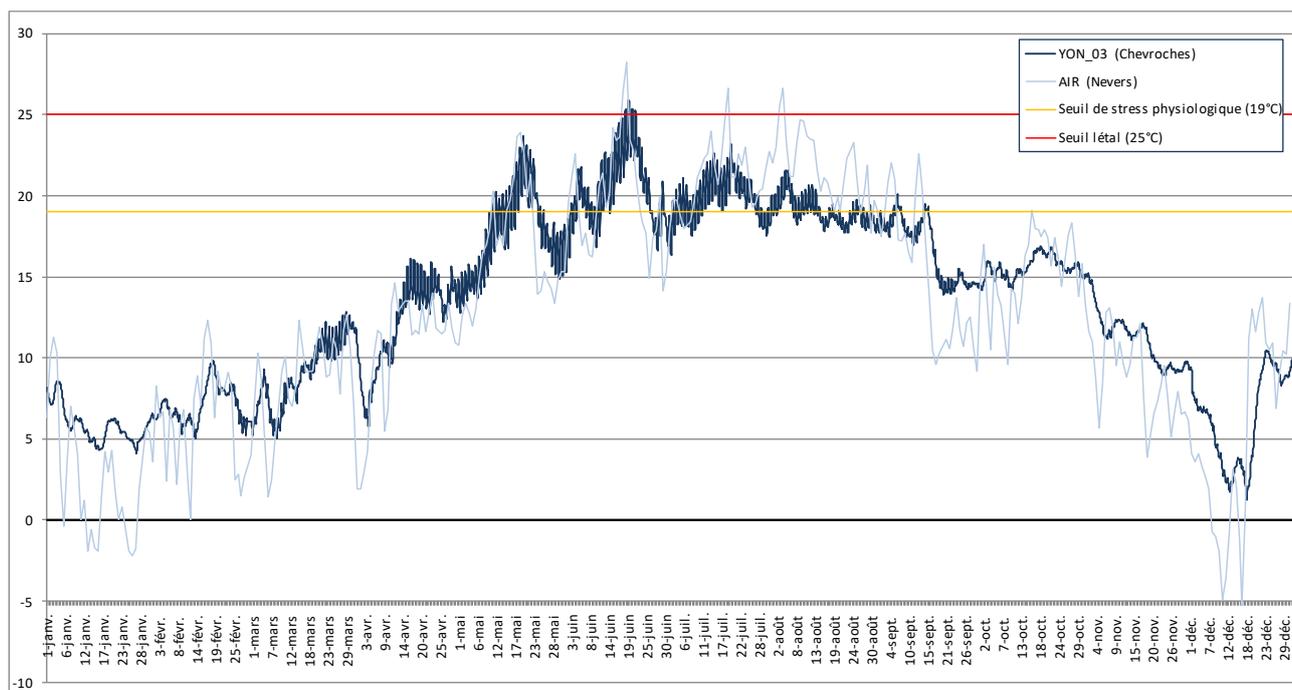


Figure 15 : Evolution des températures de la station YON_03 durant l'année 2022

La température minimale a été relevée le 18/12 à 8h00, avec 1,24°C, alors que la température maximale a été atteinte le 19/06 à 18h00 avec 25,9 °C

On constate que la température moyenne mensuelle est la plus élevée en juin avec 20,5 °C, elle est ensuite de 19,7°C en juillet, 19°C en août et redescend à 16,6°C en septembre.

Sur cette station, la température de l'eau est très bien corrélée avec la température de l'air. Le réchauffement de l'eau est même plus rapide que celui de l'air sur les mois d'avril et mai. L'influence sur la température de l'eau du cours d'eau au niveau de cette sonde est donc plus importante que l'influence du barrage de Pannecièrre.

C'est également la première station à l'aval du barrage affichant une température incompatible avec la survie de la truite fario. Le létal est dépassé à 4 reprises, avec une séquence la plus longue au-dessus des 25°C de 8h. L'eau est restée au-dessus du seuil de stress physiologique pendant un total de 837h. Les températures estivales de l'eau sur cette station ne sont pas adaptées à la truite.

◆ YON_02 (La Forêt)

Cette station se situe juste en aval de Clamecy et de ses connections entre l'Yonne et le canal du Nivernais. 7km la sépare de la station YON_03. Les températures ont été relevées entre mars et décembre.

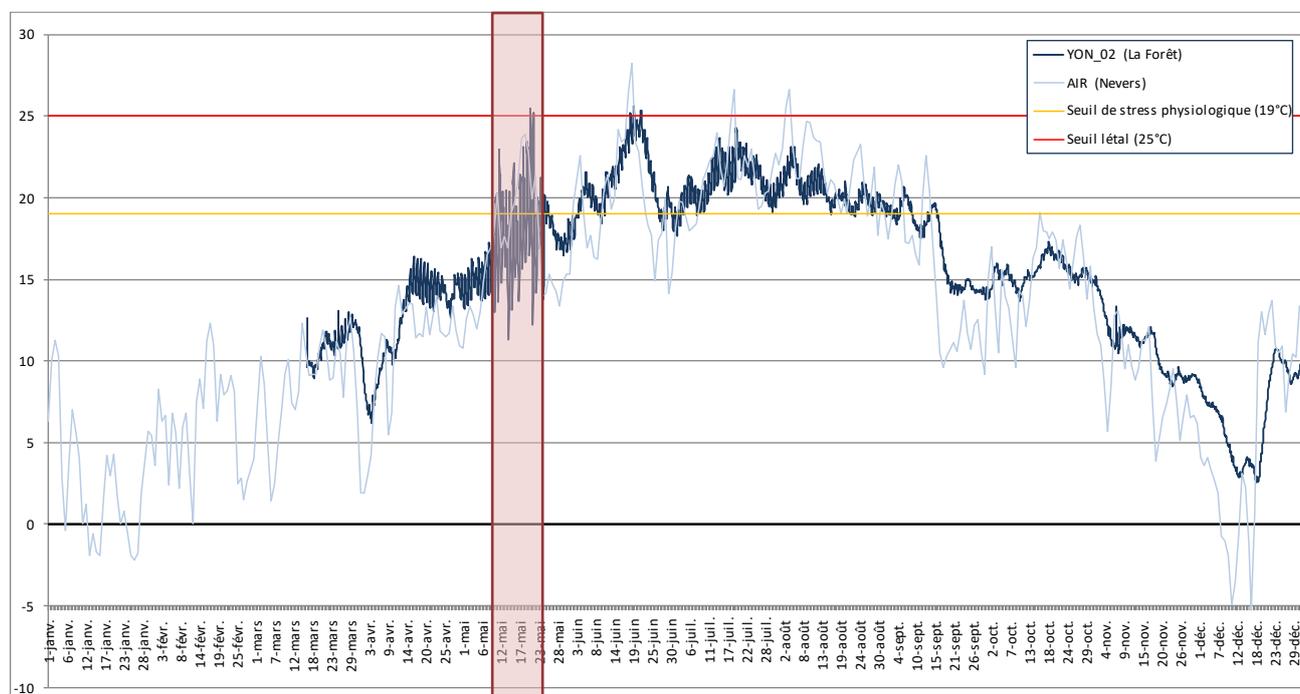


Figure 16 : Evolution des températures de la station YON_02 durant l'année 2022

L'amplitude de variation journalière de la température très importante entre le 8 et le 24 mai laisse penser que la sonde a été hors d'eau lors de cette période. Ces données ne seront donc pas prises en compte.

Les températures ont varié entre 2,56°C le 18 décembre, et la température maximale de 25,63°C, atteinte le 19/06/2022 à 19h. L'eau a très probablement atteint des températures plus basses en janvier, mais nous ne disposons pas de cette plage de données.

La température moyenne mensuelle est la plus élevée en juin avec 21 °C, elle est ensuite de 20,9°C en juillet, 20,3°C en août et redescend à 17°C en septembre.

Comme sur la station YON_03, les températures ne sont pas adaptées à la présence de truite. Le seuil de stress est dépassé pendant 1182 h, et le seuil létal est atteint à 10 reprises, avec une séquence continue au-dessus de 25°C ayant duré 10h.

◆ YON_01 (Pousseaux)

La température de l'eau de l'Yonne au niveau de Pousseaux a varié entre 4,77 °C et 23,47°C sur la période de données exploitables sur l'année 2022.

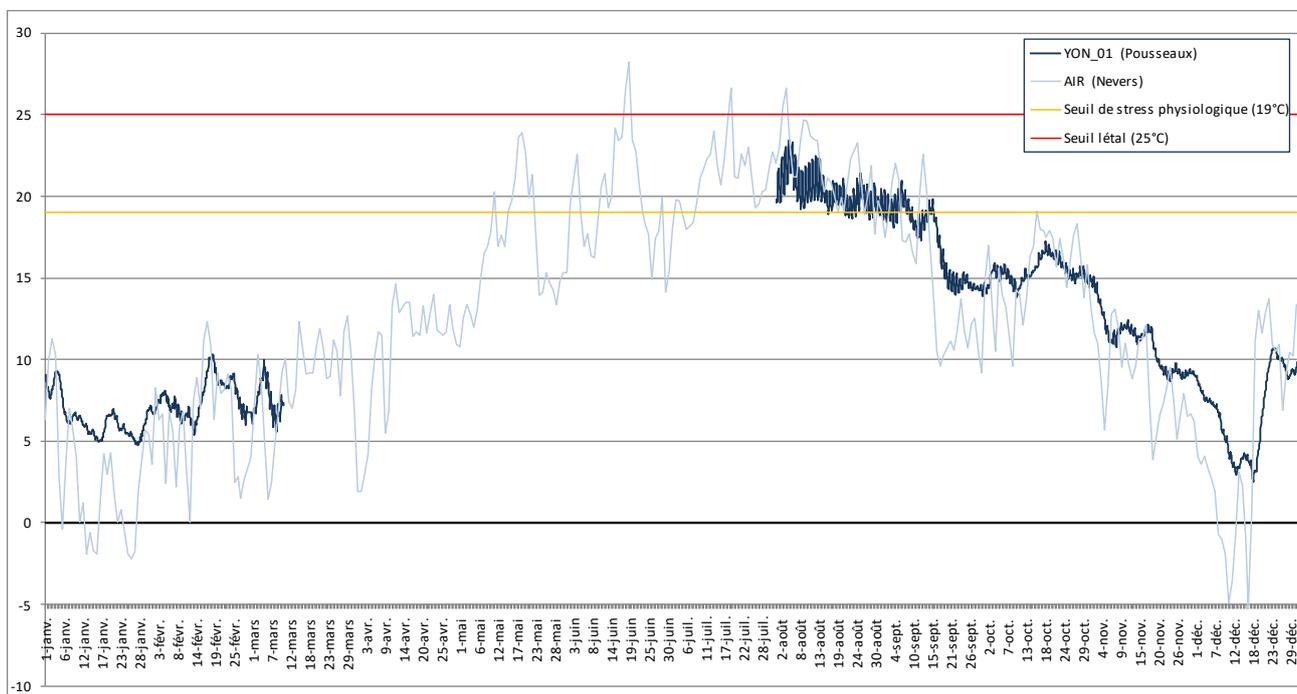


Figure 17 : Evolution des températures de la station YON_01 durant l'année 2022

La température minimale a été relevée avec 2,5°C le 18 décembre, alors que la température maximale (23,47°C) l'a été le 04/08/2022 à 19h. La température est restée très élevée jusqu'à la mi-septembre, avec une température moyenne de 20,34°C sur le mois d'août. On note une chute significative des températures autour du 17 septembre, correspondant à la chute des températures de l'air.

Malgré l'arrivée de la Druyes à Surgy (issue d'importantes résurgences à l'eau fraîche), l'eau de l'Yonne est ici très chaude en été. Cette température importante s'explique par la distance à la source importante mais surtout par les connexions avec le canal du nivernais au niveau de Clamecy et de l'intersection avec le canal à basseville.

3.1.2 Résultats par zone

Les 10 stations de mesure de la température de l'eau vont être réparties en 3 groupes :

- Zone 2^{ème} catégorie piscicole : cette zone correspond au tronçon de l'Yonne en 2^{ème} catégorie piscicole, qui va de la confluence de l'Anguison avec l'Yonne, jusqu'à la limite départementale à Pousseaux. Les stations concernées par cette zone sont les sondes YON_01 à YON_04.
- Zone 1^{ère} catégorie piscicole – Aval Pannecièrè : cette zone correspond au tronçon de l'Yonne en 1^{ère} catégorie piscicole située à l'aval du lac de Pannecièrè. Les stations concernées sont les sondes YON_05 à YON_08. Pour précision, la sonde YON_05 est située à l'aval immédiat de la confluence de l'Anguison avec l'Yonne, donc au début de la 2^{ème} catégorie sur l'Yonne. Il a été décidé de placer cette sonde dans ce groupe car elle permet de mesurer la température à la sortie de la 1^{ère} catégorie piscicole.
- Zone 1^{ère} catégorie piscicole – Amont Pannecièrè : ce groupe correspond au tronçon de l'Yonne à l'amont du lac de Pannecièrè. Les stations concernées par ce groupe sont les sondes YON_09 et YON_10.

Suivi thermique de la rivière Yonne

Zonation des sondes thermiques

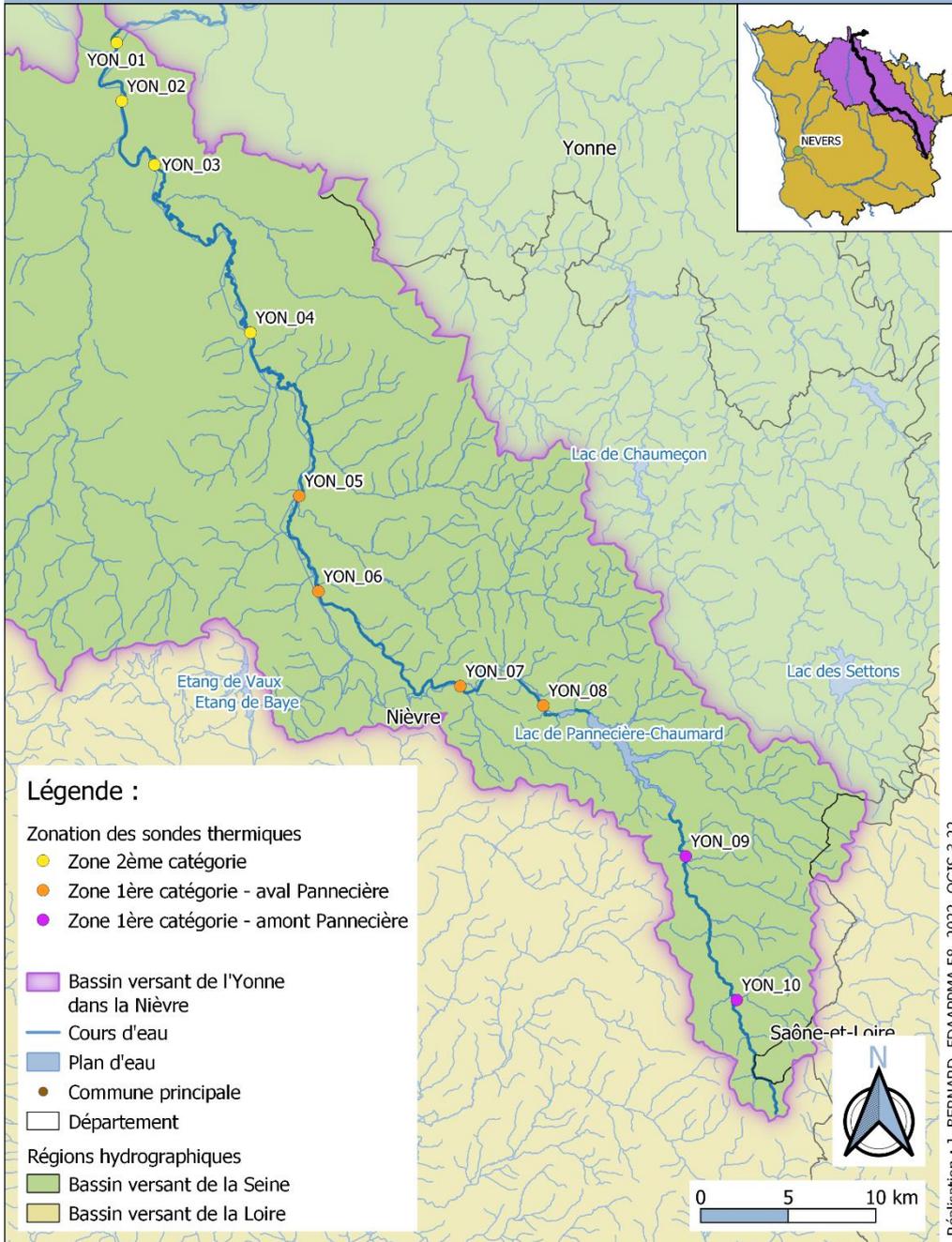
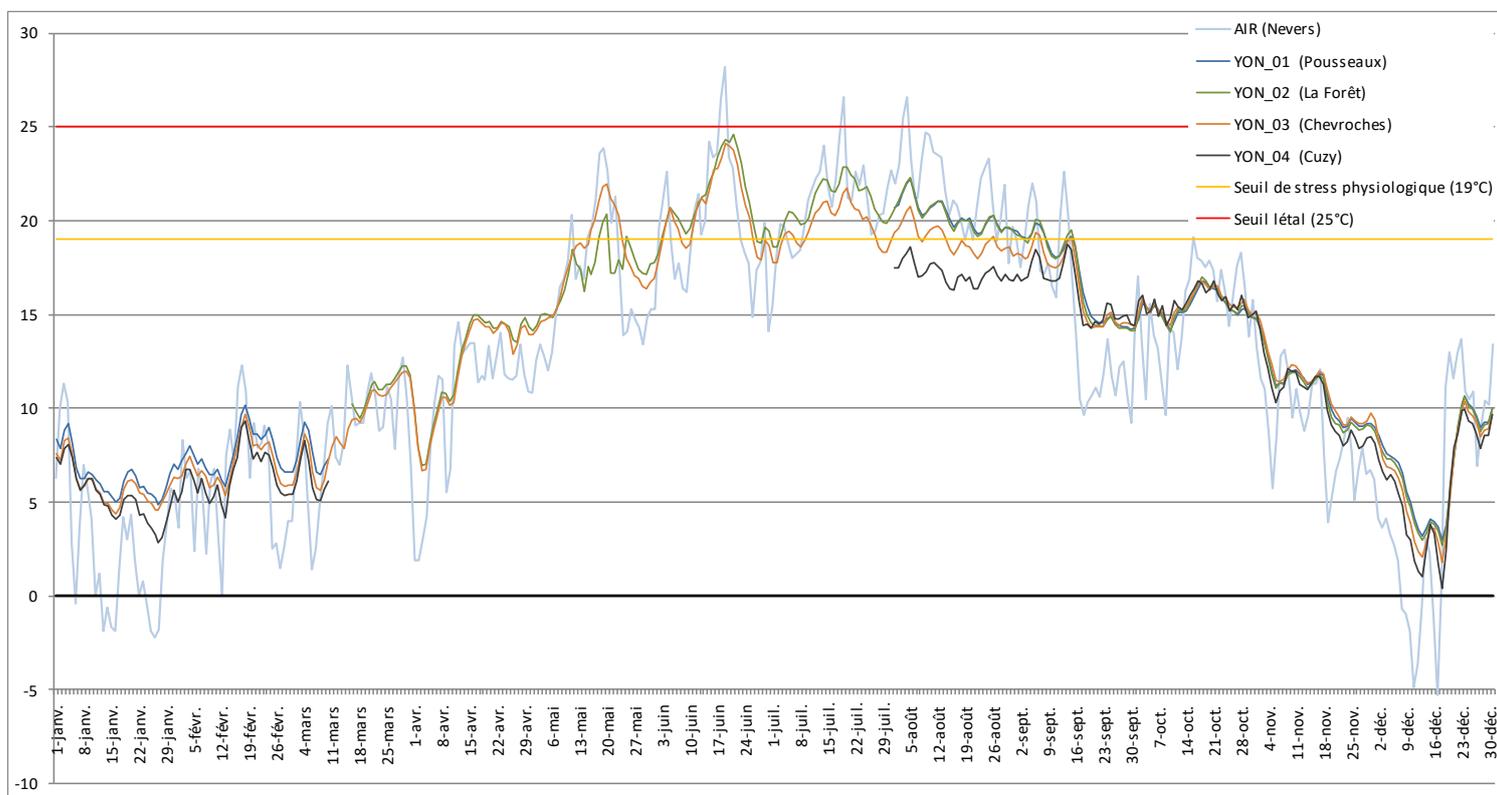


Figure 18 : Zonation des sondes thermiques

◆ Zone « 2^{ème} catégorie »



La figure ci-dessus permet de comparer les températures relevées aux différentes stations et la température de l'air, relevée à la station météorologique de Nevers.

La température de l'eau suit globalement l'évolution de la température de l'air sur toutes les stations, en atténuant bien sur l'amplitude des variations.

Sur les plages de données dont nous disposons, les températures relevées sur YON_01 et YON_02 sont très proches, voir identiques, les courbes se confondent.

Sur les autres stations, les écarts sont plus ou moins important en fonction des saisons. En hivers, un gradient de température semble se dessiner avec des températures plus chaudes vers l'aval. La température de YON-04 se dégage, étant plus fraîche d'un degré en moyenne que YON_01 et de 0.5 °C que YON_03.

Sur la période de mars à août, nous ne disposons que des températures de YON_02 et 03. Les températures relevées sur ces stations sont très proches de mars à juin. La vague de froid du début avril est très visible sur la température de l'air comme de l'eau, puis le réchauffement a repris au long du printemps.

La période estivale est celle qui montre la plus grande disparité. Du début juillet au 15 septembre, un gradient de température important se met en place d'amont en aval.

Entre YON_04 et YON_03, la température moyenne du mois d'août passe de 17,19°C à 19,03°C, soit un réchauffement de 1,84°C sur les 21 km qui séparent les stations, soit un réchauffement de **0.09°C par kilomètre** de cours d'eau.

Entre YON_03 et YON_02, la température moyenne du mois d'août passe de 19.03°C à 20.03°C, soit un réchauffement de 1,00°C sur les 7 km qui séparent les stations, soit un réchauffement de **0.14°C par kilomètre** de cours d'eau.

Entre YON_02 et YON_01, les températures sont sensiblement identiques

| Mois | Janv. 2022 | févr. 2022 | mars 2022 | avr. 2022 | mai 2022 | juin 2022 | juil. 2022 | août 2022 | sept. 2022 | oct. 2022 | nov. 2022 | déc. 2022 |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| YON_01 | 6,33 °C | 7,64 °C | 7,53 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 20,34 °C | 17,09 °C | 15,4 °C | 11,04 °C | 6,93 °C |
| YON_02 | #DIV/0! | #DIV/0! | 11,09 °C | 12,4 °C | 17,09 °C | 21,01 °C | 20,93 °C | 20,3 °C | 17,02 °C | 15,46 °C | 10,89 °C | 6,76 °C |
| YON_03 | 5,82 °C | 7,06 °C | 9,07 °C | 12,15 °C | 17,76 °C | 20,45 °C | 19,72 °C | 19,03 °C | 16,62 °C | 15,59 °C | 11,23 °C | 6,36 °C |
| YON_04 | 5,22 °C | 6,42 °C | 6,22 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 17,19 °C | 16,21 °C | 15,61 °C | 10,53 °C | 5,79 °C |

Figure 20 : Comparaison des température moyenne mensuelle de 2022

L'écart entre les températures des différentes stations semble ensuite se réduire de la fin du mois d'août jusqu'à la mi-septembre, où les températures de l'eau des stations chutent toutes à la suite de la chute des températures de l'air.

◆ Zone « 1^{ère} catégorie – Aval Pannecièrre »

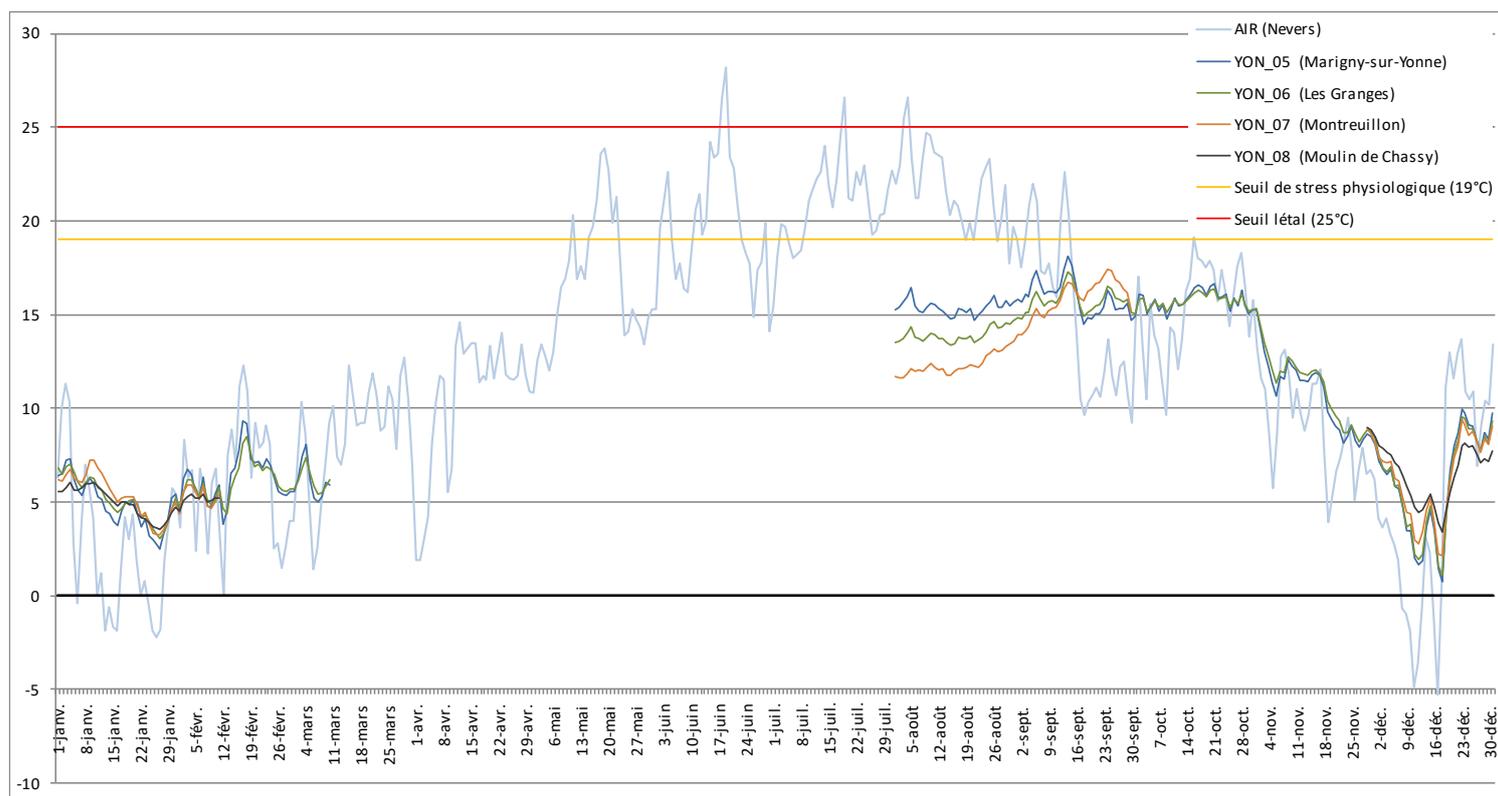


Figure 21 : comparaison de l'évolution des températures en 2022 à l'aval de Pannecièrre

| Mois | janv. 2022 | févr. 2022 | mars 2022 | avr. 2022 | mai 2022 | juin 2022 | juil. 2022 | août 2022 | sept. 2022 | oct. 2022 | nov. 2022 | déc. 2022 |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| YON_05 | 4,86 °C | 6,24 °C | 6,1 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 15,38 °C | 15,95 °C | 15,75 °C | 10,73 °C | 6, °C |
| YON_06 | 5,12 °C | 6,08 °C | 6,12 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 13,91 °C | 15,74 °C | 15,72 °C | 11,07 °C | 6,03 °C |
| YON_07 | 5,33 °C | 5,27 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 12,33 °C | 15,83 °C | #DIV/0! | 8,75 °C | 6,25 °C |
| YON_08 | 4,95 °C | 5,13 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 8,88 °C | 6,43 °C |

Figure 22 : comparaison des températures moyennes mensuelles en 2022 à l'aval de Pannecièrre

Les températures relevées sur les stations YON_05 à YON_08 sont très influencées par la présence du barrage de Pannecièrre, qui restitue une eau froide en toute saison du fait de la profondeur importante de la prise d'eau de la turbine et de la bonde de restitution.

Sur le mois de janvier, il n'y a pas réellement de différence de température entre les stations. Un gradient de température est visible sur le mois de février, avec 1,11°C d'écart entre la température moyenne de YON_08 et celle de YON_05. Ces stations étant distantes de 26,2 km, le réchauffement reste faible en hivers avec 0,04°C par km.

Nous ne disposons malheureusement pas de la plage de données allant de mars à août cette année.

Les données dont nous disposons reprennent en août et nous montrent des écarts de température importants entre les stations.

Ces écarts sont les plus importants au mois d'août, avec un réchauffement moyen de 1,58°C sur les 13 km qui séparent les stations YON_07 et YON_06, soit **0,12 °C par km**.

Le réchauffement est ensuite de 1,47°C entre les stations YON_06 et YON_05, soit un réchauffement de **0,21°C par km** sur les 6,9 km qui séparent les deux stations.

Du 20 août au 15 septembre, les températures convergent sur les 3 stations pour s'approcher des 16 °C. Le réchauffement se poursuit ensuite uniquement sur la station YON_07 jusqu'au 25 septembre, date à laquelle la température relevée sur YON_07 est supérieure d'un degré à celle de YON_06 et 05.

L'eau restituée par le lac est même plus chaude que l'air sur la période allant du 18 septembre au 14 octobre.

Les températures moyennes de novembre et décembre sont également plus élevées sur la station YON_06 que sur la station YON_05 pourtant située à l'aval. Sur cette période, l'eau se refroidit donc dans le cours d'eau entre ces stations.

COURBE D'EXPLOITATION DU LAC-RESERVOIR PANNECIERE

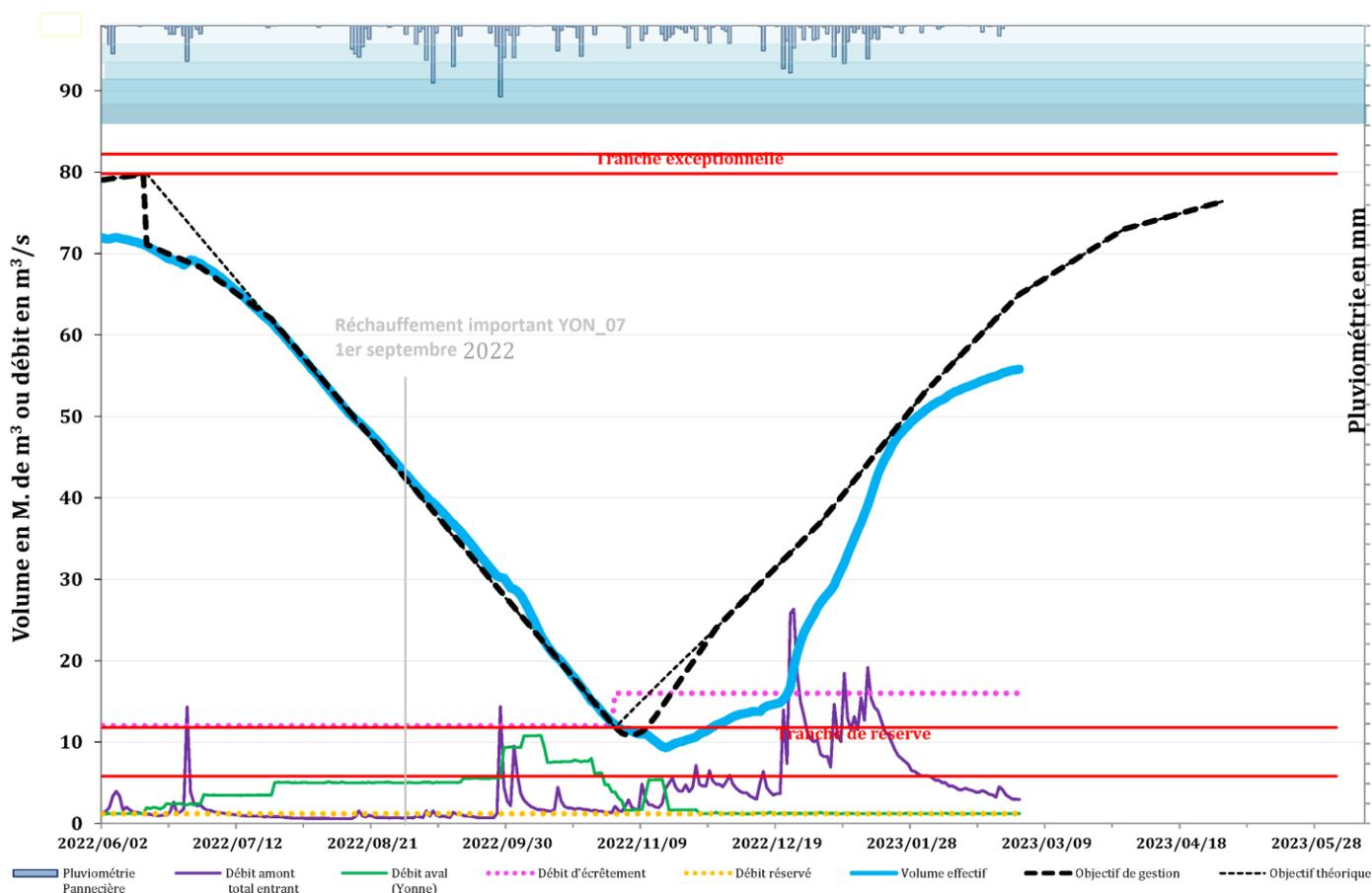


Figure 23 : Courbe d'exploitation du Lac de Pannecière, source : EPTB Seine Grands lacs

Plusieurs hypothèses pourraient permettre d'expliquer la température élevée de l'eau restituée par le barrage en automne et début d'hivers : la baisse du niveau du lac fait que la prise d'eau se

retrouve plus proche des couches de surface plus chaude du lac (si la stratification thermique du lac est toujours en place) ; les couches d'eau froides ont majoritairement été évacuées durant la période de soutien d'étiage, augmentant sensiblement la température moyenne de l'eau au niveau de la prise d'eau lors du brassage automnal ?

L'influence du débit restitué par le barrage sur la température de l'eau du cours d'eau à l'aval a également été vérifiée.

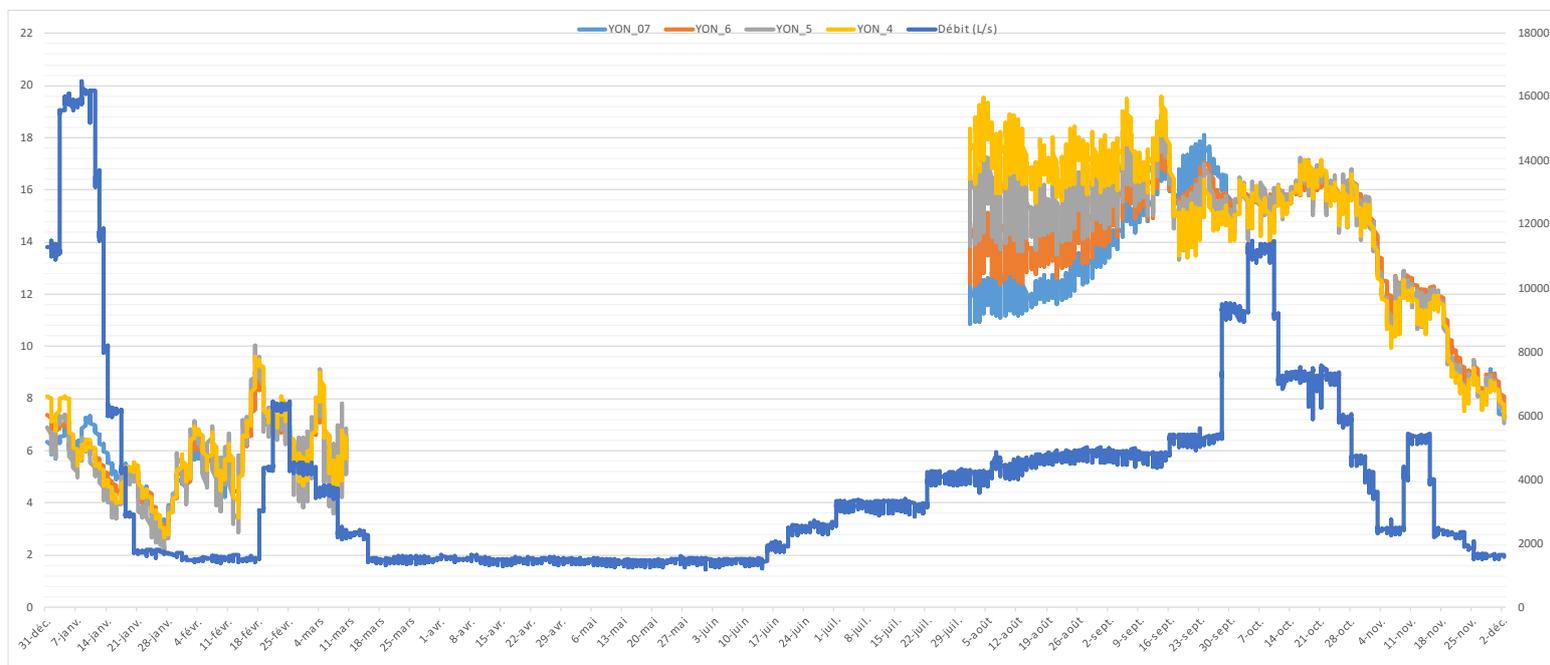


Figure 24 : Comparaison du débit de l'Yonne à Chassy avec la température relevée sur les stations YON_06, 05, 04 sur l'année 2022

Les données débit de l'Yonne à chassy sont issues de l'HydroPortail d'eaufrance : <https://hydro.eaufrance.fr/>

La comparaison du débit de l'Yonne à chassy avec les températures relevées aux stations YON_07, 06, 05, 04 (données brutes), ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres sur la majorité de l'année. Il semble tout de même y avoir un lien entre ces paramètres sur les mois de novembre et décembre, l'augmentation de débit du 11 au 15 novembre correspondant à une augmentation de la température relevée sur les 3 stations à ces mêmes dates, mais cette période correspond également à une augmentation de la température de l'air après la chute des températures du 5 novembre.

Ce graphique met cependant bien en évidence l'inversion de gradient thermique qui s'opère à partir du 18 septembre, l'eau étant plus chaude sur les stations les plus à l'amont.

◆ Zone « 1^{ère} Catégorie – Amont Pannecièrre »

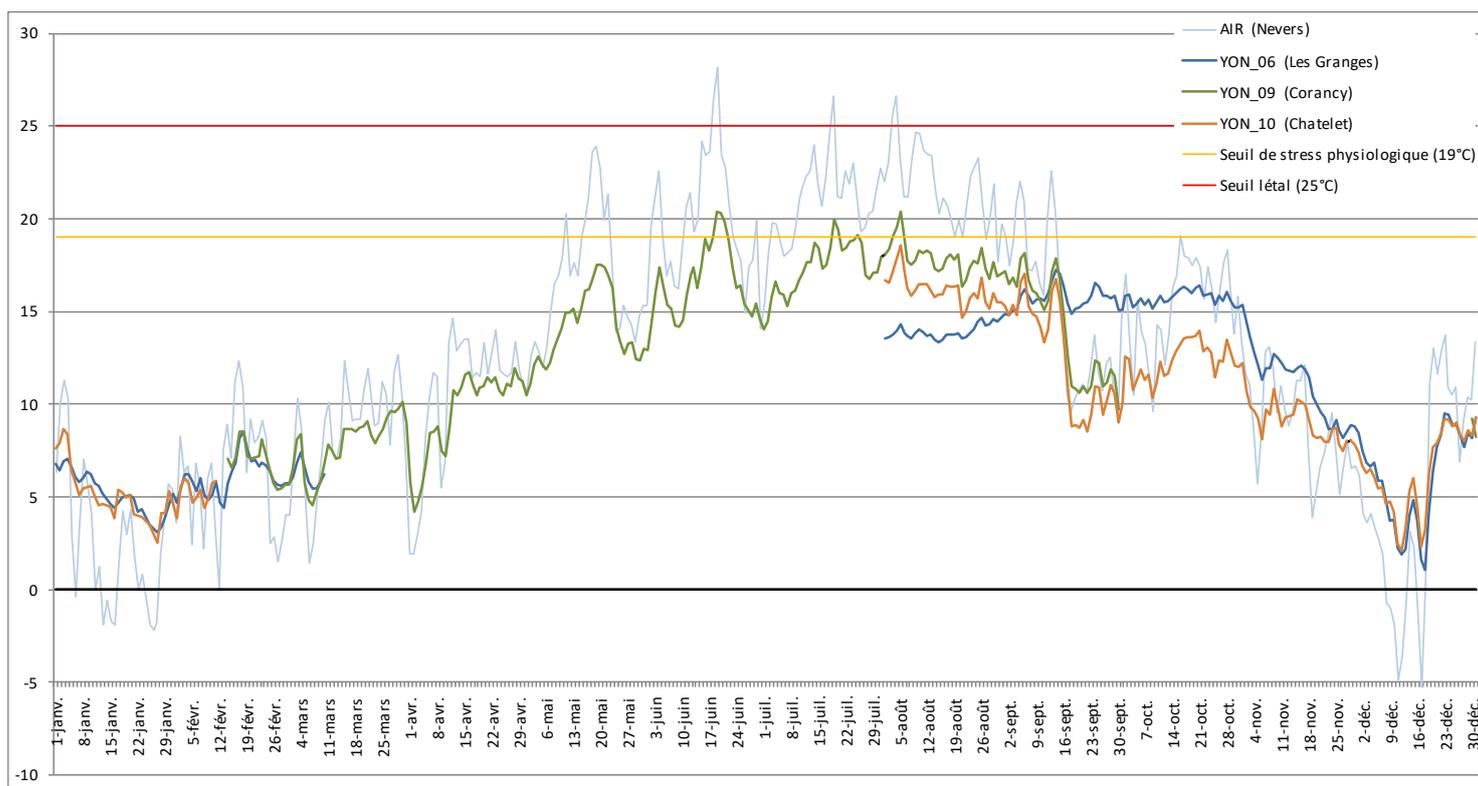


Figure 25 : Evolution de la température sur les stations amont et comparaison avec les températures de l'air et aval

La figure précédente permet de comparer l'évolution de la température relevées sur les stations amont avec la température de l'air et la température relevée à l'aval. La station choisie pour comparaison à l'aval est YON_06, par manque de données sur les stations YON_07 et 08.

| Mois | Janv. 2022 | févr. 2022 | mars 2022 | avr. 2022 | mai 2022 | juin 2022 | juil. 2022 | août 2022 | sept. 2022 | oct. 2022 | nov. 2022 | déc. 2022 |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| YON_09 | #DIV/0! | 6,99 °C | 7,82 °C | 9,56 °C | 14,09 °C | 16,51 °C | 17,33 °C | 17,86 °C | 14,15 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | 8,3 °C |
| YON_10 | 5,06 °C | 5,16 °C | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 16,21 °C | 12,63 °C | 12,28 °C | 9,11 °C | 6,31 °C |

Figure 26 : comparaison des températures moyennes mensuelles de 2022

Les températures relevées sur les stations YON_09 et YON_10 sont largement dépendante de la température de l'air, comme le montre la forte corrélation observable sur la figure 25.

Les températures relevées à Corancy (YON_09) sont toujours plus importantes que celles de YON_10, située 10,5 km à l'amont. La température moyenne mensuelle du mois le plus chaud (août) est de 16,21°C sur YON_10 et de 17,86°C sur YON_09, soit un réchauffement moyen de 1,65 °C entre les deux stations, ce qui correspond à 0,16°C par km.

Les écarts entre les stations s'accroissent lors des moments de forte chaleur, avec 1,85°C de plus relevé à Corancy pour la température journalière moyenne maximale (20,4 contre 18,54) et jusqu'à 2,75°C d'écart pour la température maximale relevée (22,85 contre 20,1).

La comparaison avec la station YON_06 met en évidence les perturbations induites sur la thermie de l'Yonne par le barrage, l'eau étant plus froide en été et plus chaude en automne et hivers.

3.2 Comparaison interannuelle et évolution des températures.

3.2.1 Résultats par stations

◆ YON_10 (Chatelet)

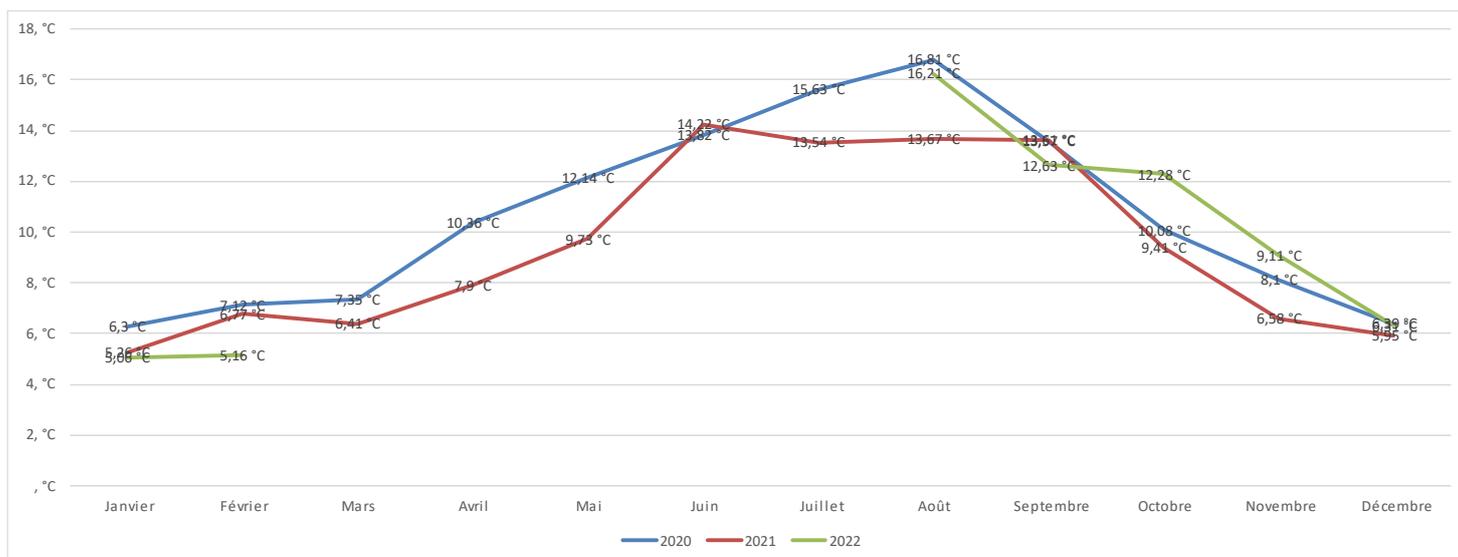


Figure 27 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_10

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 6,3 °C | 7,12 °C | 7,35 °C | 10,36 °C | 12,14 °C | 13,82 °C | 15,63 °C | 16,81 °C | 13,57 °C | 10,08 °C | 8,1 °C | 6,39 °C |
| 2021 | 5,26 °C | 6,77 °C | 6,41 °C | 7,9 °C | 9,73 °C | 14,22 °C | 13,54 °C | 13,67 °C | 13,61 °C | 9,41 °C | 6,58 °C | 5,95 °C |
| 2022 | 5,06 °C | 5,16 °C | | | | | | 16,21 °C | 12,63 °C | 12,28 °C | 9,11 °C | 6,31 °C |

Sur la station YON_10, l'année 2020 avait été significativement plus chaude que 2021.

Les données dont nous disposons montrent un été très chaud, comparable à 2020, et un prolongement de la période chaude sur le mois d'octobre, avec 12,28°C de moyenne, soit 2°C de plus qu'en 2020.

◆ **YON_09 (Corancy)**

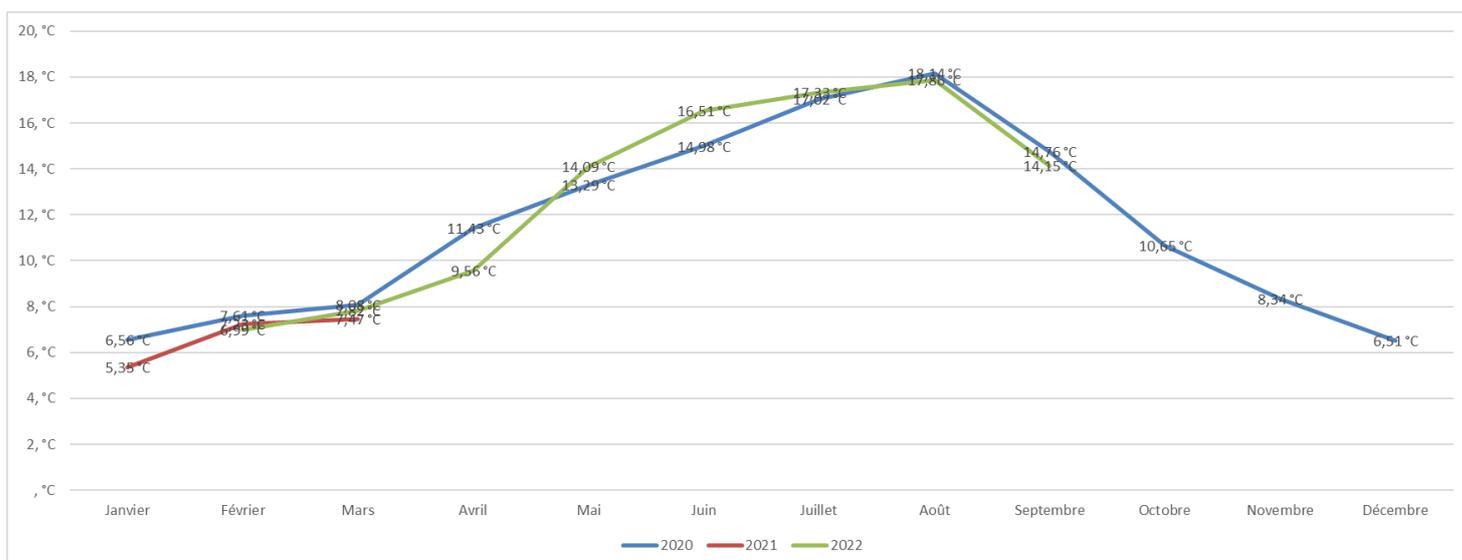


Figure 28 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_09

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 6,56 °C | 7,61 °C | 8,08 °C | 11,43 °C | 13,29 °C | 14,98 °C | 17,02 °C | 18,14 °C | 14,76 °C | 10,65 °C | 8,34 °C | 6,51 °C |
| 2021 | 5,35 °C | 7,23 °C | 7,47 °C | | | | | | | | | |
| 2022 | | 6,99 °C | 7,82 °C | 9,56 °C | 14,09 °C | 16,51 °C | 17,33 °C | 17,86 °C | 14,15 °C | | | |

En 2022, la température sur la station YON_09 a été plus fraîche sur les mois de février et mars qu'en 2020. Elle a ensuite été significativement plus chaude sur les mois de mai et surtout juin (+1,53°C) alors que 2020 été déjà une année très chaude. En juillet, août et septembres, les températures moyennes de 2020 et 2022 sont semblables. Les résultats obtenus sur YON_09 nous permettent d'extrapoler une eau également plus chaude en 2022 qu'en 2020 pour les mois d'octobre et novembre.

◆ YON_08 (Moulin de Chassy)

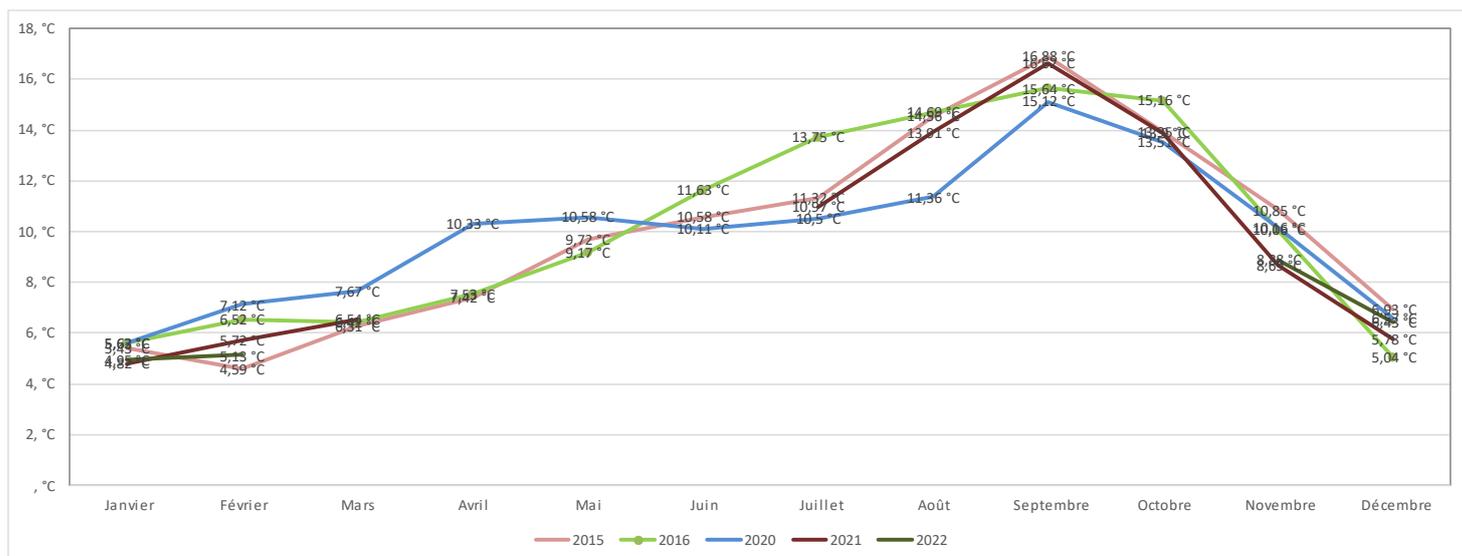


Figure 29 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_08

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2014 | | | | | | 10,06 °C | 10,19 °C | 12,82 °C | 17,23 °C | 16,03 °C | 11,01 °C | 7,1 °C |
| 2015 | 5,43 °C | 4,59 °C | 6,31 °C | 7,42 °C | 9,72 °C | 10,58 °C | 11,32 °C | 14,56 °C | 16,88 °C | 13,95 °C | 10,85 °C | 6,93 °C |
| 2016 | 5,63 °C | 6,52 °C | 6,42 °C | 7,53 °C | 9,17 °C | 11,63 °C | 13,75 °C | 14,69 °C | 15,64 °C | 15,16 °C | 10,06 °C | 5,04 °C |
| 2017 | 3,22 | 5,1743 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2018 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2019 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| 2020 | 5,62 | 7,12 | 7,67 | 10,33 | 10,58 | 10,11 | 10,50 | 11,36 | 15,12 | 13,51 | 10,16 | 6,57 |
| 2021 | 4,82 | 5,72 | 6,54 | #N/A | #N/A | #N/A | 10,97 | 13,91 | 16,62 | 13,90 | 8,69 | 5,78 |
| 2022 | 4,95 | 5,13 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |

Nous ne disposons que de peu de données sur cette station en 2022.

Les données d'archives nous permettent cependant de constater une différence entre les températures moyennes mensuelles relevées en 2015 et 2021 par rapport à celle de 2020, année durant laquelle les températures relevées étaient plus chaude au printemps et moins en été.

◆ **YON_07 (Montreuillon)**

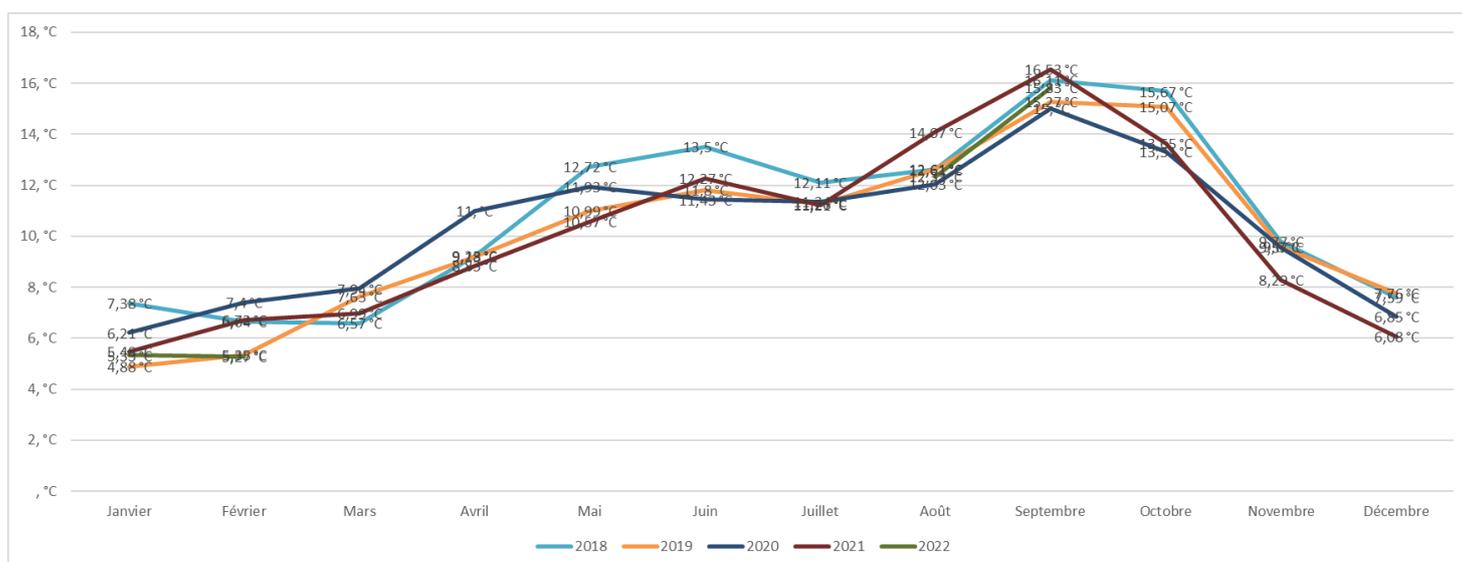


Figure 30 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_07

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2014 | | | | | | 11, °C | 11,03 °C | 13,38 °C | 17,05 °C | 15,75 °C | 10,69 °C | 6,55 °C |
| 2015 | 5,4 °C | 4,46 °C | 6,46 °C | 8,6 °C | 11,13 °C | 12,82 °C | 11,98 °C | 14,86 °C | 16,61 °C | 12,73 °C | 9,98 °C | 5,98 °C |
| 2016 | 5,2 °C | 6,65 °C | 6,75 °C | 8,37 °C | 10,6 °C | 12,33 °C | 14,23 °C | 15,03 °C | 15,68 °C | 14,69 °C | 9,75 °C | 4,26 °C |
| 2017 | 2,61 °C | 5,86 °C | 8,75 °C | 9,92 °C | 12,09 °C | 13,63 °C | 11,93 °C | 12,82 °C | 15,83 °C | 14,77 °C | 9,13 °C | 5,89 °C |
| 2018 | 7,38 °C | 6,64 °C | 6,57 °C | 9,23 °C | 12,72 °C | 13,5 °C | 12,11 °C | 12,61 °C | 16,11 °C | 15,67 °C | 9,77 °C | 7,59 °C |
| 2019 | 4,88 °C | 5,35 °C | 7,63 °C | 9,18 °C | 10,99 °C | 11,8 °C | 11,26 °C | 12,61 °C | 15,27 °C | 15,07 °C | 9,6 °C | 7,76 °C |
| 2020 | 6,21 °C | 7,4 °C | 7,94 °C | 11, °C | 11,93 °C | 11,43 °C | 11,34 °C | 12,03 °C | 15, °C | 13,31 °C | 9,57 °C | 6,85 °C |
| 2021 | 5,48 °C | 6,72 °C | 6,99 °C | 8,83 °C | 10,57 °C | 12,27 °C | 11,21 °C | 14,07 °C | 16,53 °C | 13,65 °C | 8,29 °C | 6,08 °C |
| 2022 | 5,33 °C | 5,27 °C | | | | | | 12,33 °C | 15,83 °C | | | |

Les données sont également lacunaires sur cette station en 2022.

Nous pouvons tout de même constater en 2022 des températures moyennes mensuelles parmi les plus fraîches de celles rencontrées depuis le début des suivis, notamment en août et en septembre, malgré les températures élevées de l'air.

◆ **YON_06 (Les Granges)**

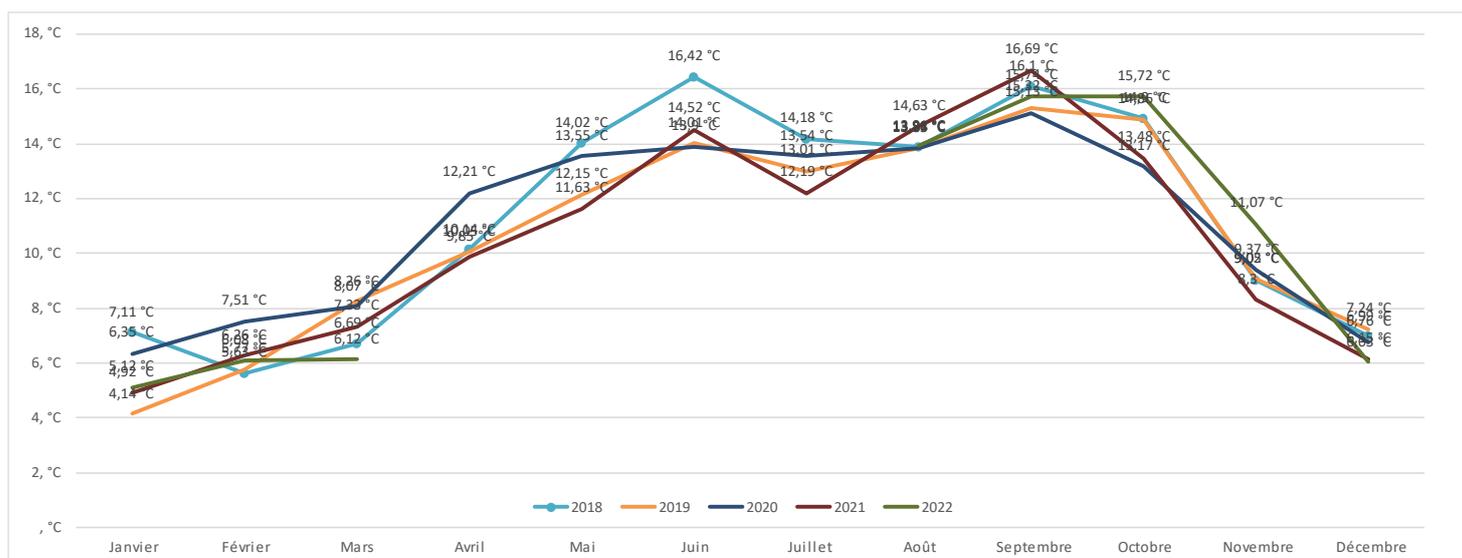


Figure 31 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_06

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2014 | | | | | | | 12,43 °C | 14,07 °C | 16,8 °C | 15,4 °C | 10,59 °C | 6,59 °C |
| 2015 | 5,26 °C | 4,46 °C | 7,26 °C | 9,52 °C | 12,02 °C | 14,05 °C | 13,2 °C | 15,47 °C | 16,2 °C | 12,59 °C | 10,17 °C | 6,66 °C |
| 2016 | 5,63 °C | 6,68 °C | 6,85 °C | 9,04 °C | 11,38 °C | 12,97 °C | 15,03 °C | 15,6 °C | 15,81 °C | 13,97 °C | 9,29 °C | 2,21 °C |
| 2017 | 1,36 °C | 6,22 °C | 9,1 °C | 9,67 °C | 13,7 °C | 16,8 °C | 13,84 °C | 13,82 °C | 15,67 °C | 14,36 °C | 8,63 °C | 5,32 °C |
| 2018 | 7,11 °C | 5,63 °C | 6,69 °C | 10,14 °C | 14,02 °C | 16,42 °C | 14,18 °C | 13,88 °C | 16,1 °C | 14,9 °C | 9,02 °C | 6,99 °C |
| 2019 | 4,14 °C | 5,77 °C | 8,26 °C | 10,05 °C | 12,15 °C | 14,01 °C | 13,01 °C | 13,83 °C | 15,32 °C | 14,86 °C | 9,05 °C | 7,24 °C |
| 2020 | 6,35 °C | 7,51 °C | 8,07 °C | 12,21 °C | 13,55 °C | 13,9 °C | 13,54 °C | 13,84 °C | 15,13 °C | 13,17 °C | 9,37 °C | 6,76 °C |
| 2021 | 4,92 °C | 6,26 °C | 7,33 °C | 9,85 °C | 11,63 °C | 14,52 °C | 12,19 °C | 14,63 °C | 16,69 °C | 13,48 °C | 8,3 °C | 6,15 °C |
| 2022 | 5,12 °C | 6,08 °C | 6,12 °C | | | | | | 15,74 °C | 15,72 °C | 11,07 °C | 6,03 °C |

Sur l'année 2022, les températures moyennes mensuelles de janvier et février sont dans la moyenne de celles des autres années de suivi. Les données du mois de mars n'étant pas complète, la température moyenne du mois ne peut être analysée.

Les températures d'août et septembre étaient similaires à celles des autres années (les températures de ces mois sur cette station sont d'ailleurs étonnamment stable, surtout en août). Les températures relevées en octobre et novembre sont les plus hautes enregistrées depuis le début du suivi.

◆ **YON_05 (Marigny-sur-Yonne)**

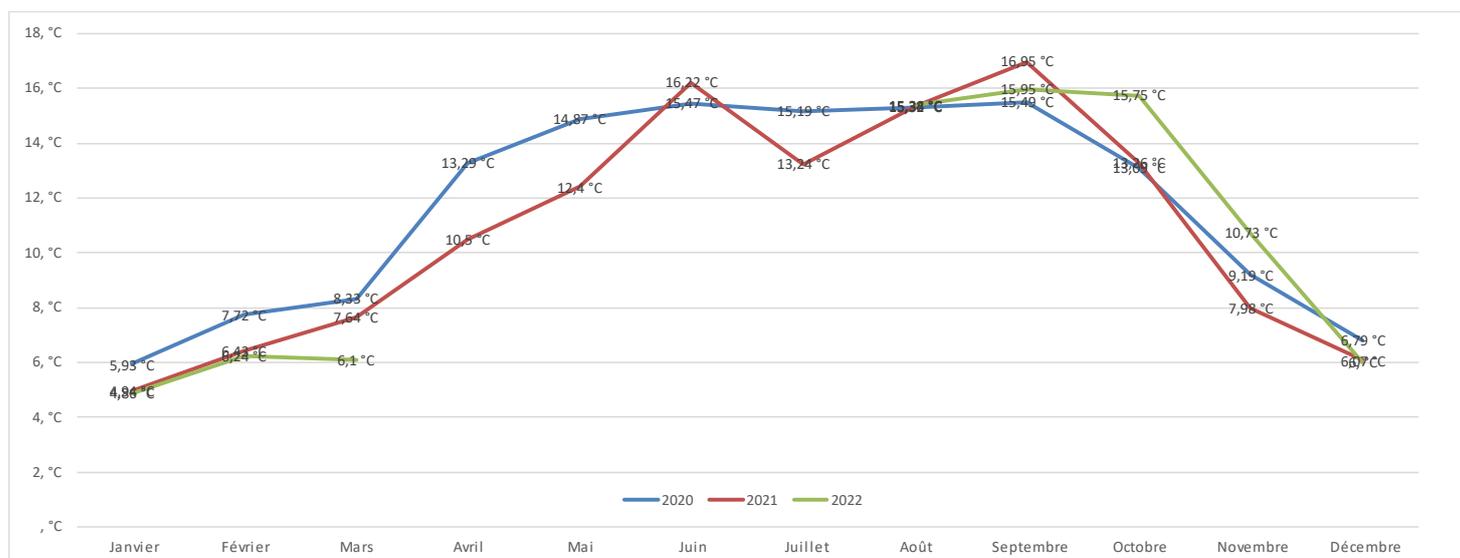


Figure 32 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_05

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 5,93 °C | 7,72 °C | 8,33 °C | 13,29 °C | 14,87 °C | 15,47 °C | 15,19 °C | 15,32 °C | 15,49 °C | 13,09 °C | 9,19 °C | 6,79 °C |
| 2021 | 4,94 °C | 6,43 °C | 7,64 °C | 10,5 °C | 12,4 °C | 16,22 °C | 13,24 °C | 15,34 °C | 16,95 °C | 13,26 °C | 7,98 °C | 6,07 °C |
| 2022 | 4,86 °C | 6,24 °C | 6,1 °C | | | | | 15,38 °C | 15,95 °C | 15,75 °C | 10,73 °C | 6, °C |

Le constat sur la station YON_05 est similaire à celui constaté sur YON_06 en 2022.

◆ *Yon_04 (Cuzy)*

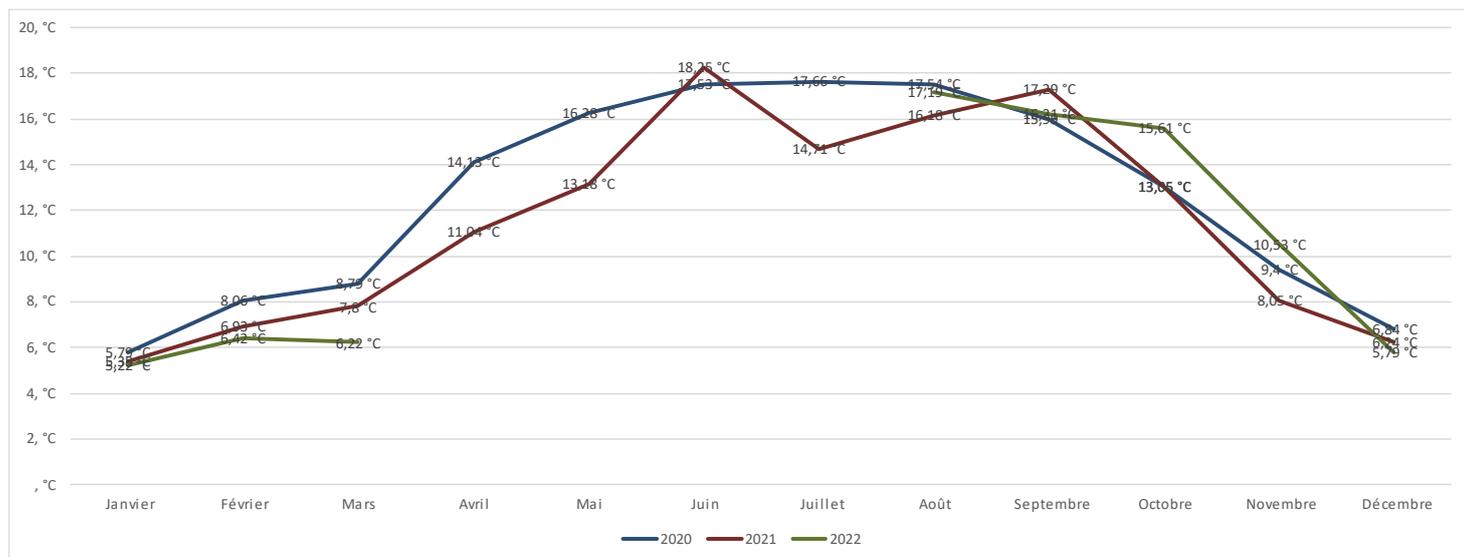


Figure 33 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_04

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 5,79 °C | 8,06 °C | 8,79 °C | 14,13 °C | 16,28 °C | 17,53 °C | 17,66 °C | 17,54 °C | 15,99 °C | 13,05 °C | 9,4 °C | 6,84 °C |
| 2021 | 5,38 °C | 6,93 °C | 7,8 °C | 11,04 °C | 13,18 °C | 18,25 °C | 14,71 °C | 16,18 °C | 17,29 °C | 13,05 °C | 8,05 °C | 6,24 °C |
| 2022 | 5,22 °C | 6,42 °C | 6,22 °C | | | | | 17,19 °C | 16,21 °C | 15,61 °C | 10,53 °C | 5,79 °C |

Sur la station YON_04, le constat est le même que sur les 2 stations précédente pour l'année 2022.

◆ **YON_03 (Chevroches)**

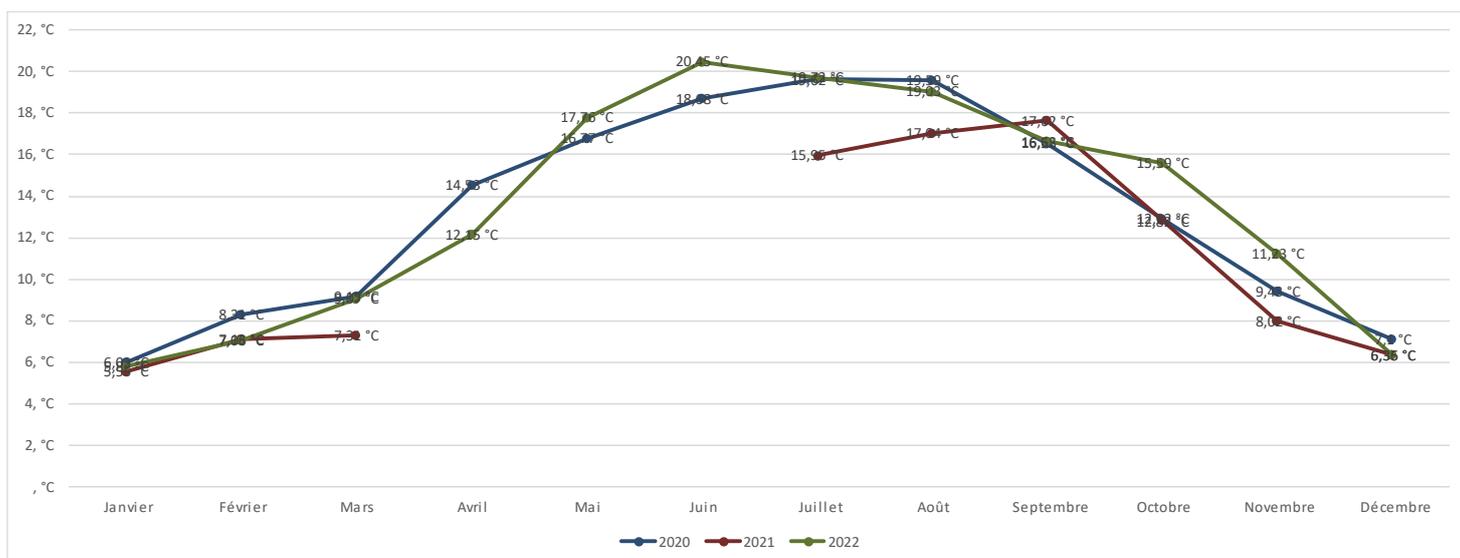


Figure 34 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_03

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 6,02 °C | 8,31 °C | 9,15 °C | 14,53 °C | 16,77 °C | 18,68 °C | 19,62 °C | 19,59 °C | 16,55 °C | 12,92 °C | 9,43 °C | 7,1 °C |
| 2021 | 5,55 °C | 7,13 °C | 7,31 °C | | | | 15,95 °C | 17,04 °C | 17,62 °C | 12,82 °C | 8,02 °C | 6,35 °C |
| 2022 | 5,82 °C | 7,06 °C | 9,07 °C | 12,15 °C | 17,76 °C | 20,45 °C | 19,72 °C | 19,03 °C | 16,62 °C | 15,59 °C | 11,23 °C | 6,36 °C |

Sur la station YON_03, nous disposons cette fois des données entre mars et août.

Cela nous permet de nous rendre compte que sur cette station, la température moyenne du mois le plus chaud de 2022, juin, a été plus chaude de 0,83°C que celle du mois le plus chaud de 2020 (juillet). La différence entre le mois de juin 2020 et 2022 est même de 1,77°C.

◆ **YON_02 (La Forêt)**

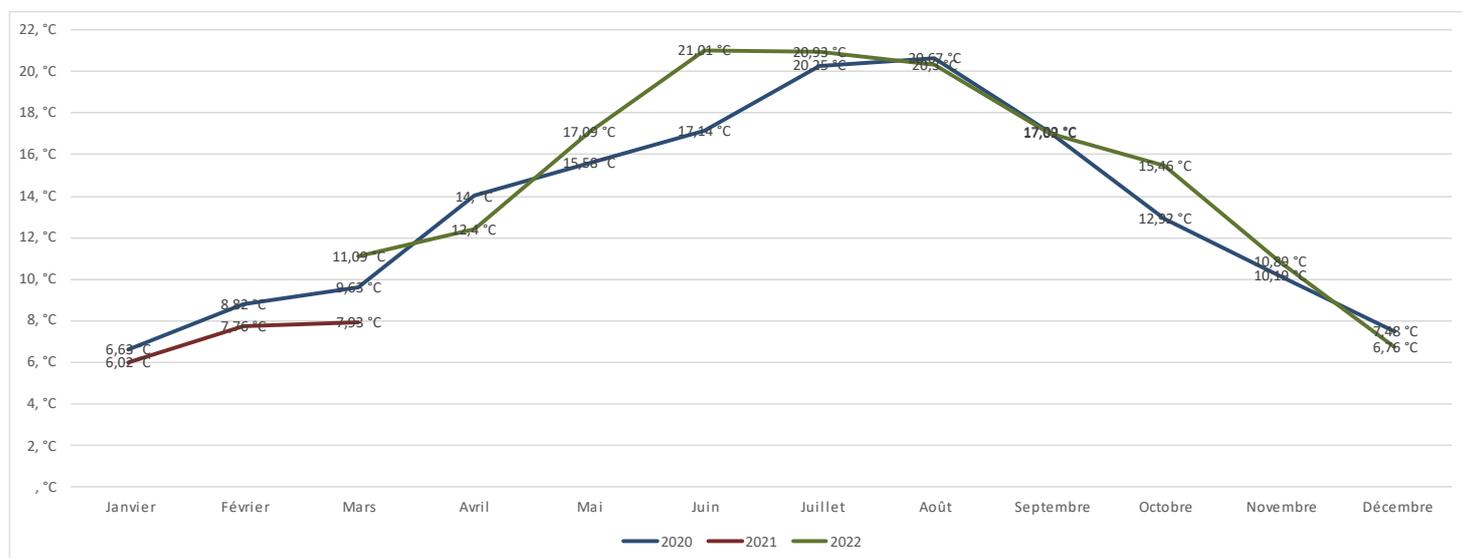


Figure 35 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_02

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 6,63 °C | 8,82 °C | 9,63 °C | 14, °C | 15,58 °C | 17,14 °C | 20,25 °C | 20,67 °C | 17,09 °C | 12,92 °C | 10,19 °C | 7,48 °C |
| 2021 | 6,02 °C | 7,76 °C | 7,93 °C | | | | | | | | | |
| 2022 | | | 11,09 °C | 12,4 °C | 17,09 °C | 21,01 °C | 20,93 °C | 20,3 °C | 17,02 °C | 15,46 °C | 10,89 °C | 6,76 °C |

Sur la station YON_02 également, la température moyenne mensuelle maximale de 2022 dépasse celle de 2020 et est atteinte au mois de juin, alors qu'elle l'était en août en 2020.

Avec 20,01°C, elle est supérieure de **0,34°C** à celle de 2020. La différence est donc moindre que sur la station précédente sur ce paramètre.

L'écart entre les températures moyennes de juin est par contre plus important, celle de 2022 étant supérieur de **3,87°C** à celle de 2020.

◆ YON_01 (Pousseaux)

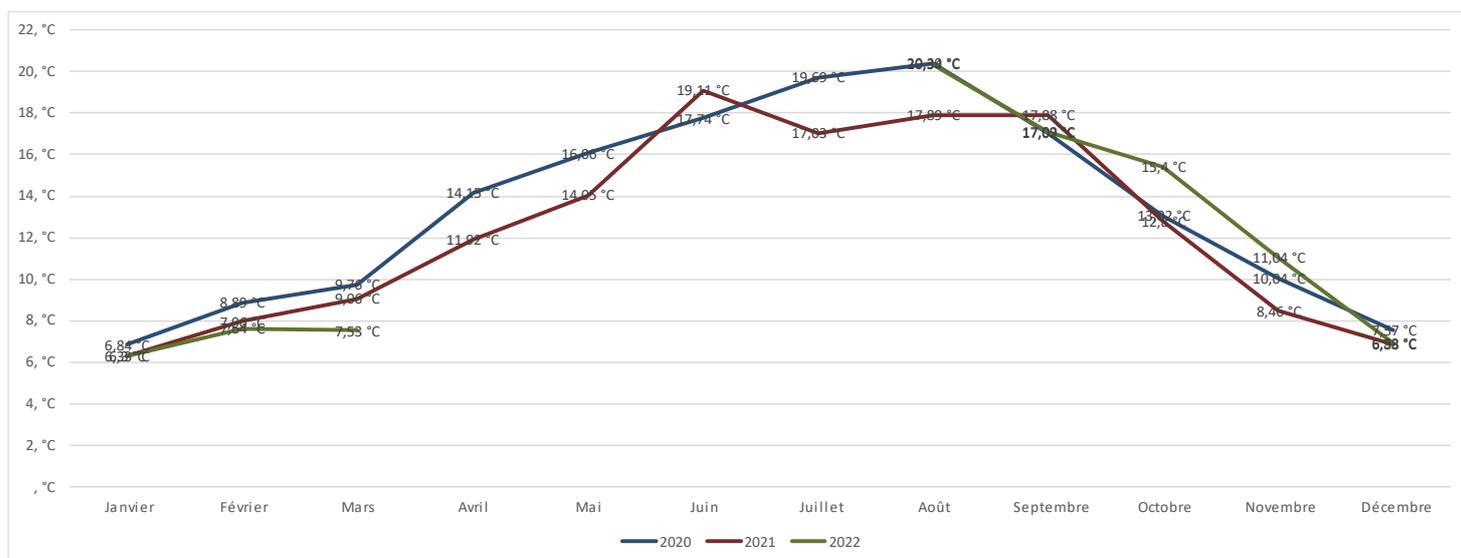


Figure 36 : comparaison annuelle des températures moyennes mensuelles sur la station YON_01

| | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 2020 | 6,84 °C | 8,89 °C | 9,76 °C | 14,15 °C | 16,06 °C | 17,74 °C | 19,69 °C | 20,39 °C | 17,02 °C | 13,02 °C | 10,04 °C | 7,57 °C |
| 2021 | 6,3 °C | 7,96 °C | 9,06 °C | 11,92 °C | 14,05 °C | 19,11 °C | 17,03 °C | 17,89 °C | 17,88 °C | 12,8 °C | 8,46 °C | 6,88 °C |
| 2022 | 6,33 °C | 7,64 °C | 7,53 °C | | | | | 20,34 °C | 17,09 °C | 15,4 °C | 11,04 °C | 6,93 °C |

Sur la station YON_01, nous ne disposons pas des données des mois allant d'avril à juillet. On peut tout de même présumer au vu des données obtenues sur la station YON_02 que les températures moyennes de juin et juillet étaient également très élevées sur YON_01 en 2022.

3.2.2 Résultats globaux

Avec des températures de l'air très élevées dès le mois de mai, l'année 2022 a été particulièrement chaude et sèche, et ça se répercute sur la température de l'eau de l'Yonne.

A l'amont du barrage, les températures moyennes mensuelles des mois de mai, juin, juillet, août et octobre sont au moins égales ou supérieures à celles de 2020, année déjà pourtant très chaude.

A l'aval du barrage, malgré la température extérieure élevée, l'eau de fond restituée au cours d'eau est très fraîche. Les températures moyennes mensuelles des mois d'août et septembre sont même parmi les plus froides enregistrées depuis 2014. L'influence du barrage a donc un rôle prédominant sur la température, au moins jusqu'à Cuzy (YON_04) où la température moyenne mensuelle du mois d'août (17,86°C) est toujours inférieure à celle relevée en amont à Corancy en 2022 (17,19°C), mais supérieure à celle relevée en 2021 (16,18°C), année à l'été moins chaud.

A partir de YON_03, la différence importante température observée entre les années de suivi et notamment l'écart entre les températures moyennes des mois de juillet et août 2020, 2021 et 2022 montre que l'influence du barrage est moins sensible que celle des conditions météorologiques (température, ensoleillement, etc.).

◆ *Analyse de la compatibilité des températures relevées avec les besoins physiologiques de la truite fario*

| 2022 | | YON_01 | YON_02 | YON_03 | YON_04 | YON_05 | YON_06 | YON_07 | YON_08 | YON_09 | YON_10 |
|-----------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| Données générales | Tmin | 2,5 °C | 2,56 °C | 1,24 °C | 0,05 °C | 0,02 °C | 0,36 °C | 0,93 °C | 2,77 °C | 2,88 °C | 1,48 °C |
| | Tmax | 23,47 °C | 25,62 °C | 25,91 °C | 19,56 °C | 18,84 °C | 17,77 °C | 18,11 °C | - | 22,85 °C | 20,1 °C |
| Préférendum thermique | Tm30j max | 21,45 °C | 21,38 °C | 20,38 °C | 17,95 °C | 16,02 °C | 15,81 °C | 15,57 °C | - | 18,33 °C | 17,38 °C |
| Stress physiologique | Nti > 19 | - | 1182 h | 837 h | - | - | - | - | - | 250 h | - |
| | Nseq Ti > 19 | - | 40 | 61 | - | - | - | - | - | 59 | - |
| | Nmax Tic > 19 | - | 934 h | 378 h | - | - | - | - | - | 20 h | - |
| Seuil léthal | Nti ≥ 25 | - | 10 h | 11 h | - | - | - | - | - | / | - |
| | Nseq Ti ≥ 25 | - | 5 | 4 | - | - | - | - | - | / | - |
| | Nmax Tic ≥ 25 | - | 10 h | 8 h | - | - | - | - | - | / | - |

Tableau 2 : Comparaison de différents paramètres liés à la physiologie de la truite fario en 2022

Le tableau ci-dessus présente différents paramètres thermiques liés à la physiologie de la truite. Ils ont été calculés avec les données dont nous disposons sur 2022. Certains paramètres n'ont pas pu être analysés suite aux pertes de données, certaines cases ne sont donc pas remplies. Elles comportent seulement un " - ".

Lorsqu'un paramètre est analysé mais que le seuil n'est pas atteint au cours de l'année, la case correspondante comporte simplement un " / ", indiquant qu'aucune des données ne correspond.

Les données de 2020, plus complètes seront donc également utilisées pour l'analyse et pour comparaison. Cette année ayant également vu des températures très élevées, son analyse est également très intéressante.

| 2020 | | YON_01 | YON_02 | YON_03 | YON_04 | YON_05 | YON_06 | YON_07 | YON_08 | YON_09 | YON_10 |
|-----------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Données générales | Tmin | 5,23 °C | 3,35 °C | 3,8 °C | 3,43 °C | 3,25 °C | 3,14 °C | 2,5 °C | 4,14 °C | 3,43 °C | 3,09 °C |
| | Tmax | 23,71 °C | 24,44 °C | 24,65 °C | 21,75 °C | 19,44 °C | 18,08 °C | 18,03 °C | 18,06 °C | 23,23 °C | - |
| Préférendum thermique | Tm30j max | 20,96 °C | 21,36 °C | 20,32 °C | 18,07 °C | 15,69 °C | 15,46 °C | 15,53 °C | 15,76 °C | 18,71 °C | 17,36 °C |
| Stress physiologique | Nti > 19 | 685 h | 800 h | 719 h | 151 h | 4 h | / | / | / | 230 h | / |
| | Nseq Ti > 19 | 44 | 37 | 69 | 25 | 2 | / | / | / | 38 | / |
| | Nmax Tic > 19 | 404 h | 450 h | 252 h | 84 h | 6 h | / | / | / | 46 h | / |
| Seuil léthal | Nti ≥ 25 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | Nseq Ti ≥ 25 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | Nmax Tic ≥ 25 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

Tableau 3 : Comparaison de différents paramètres liés à la physiologie de la truite fario en 2020

En 2022, des températures supérieures à 25°C ont été recensés à partir de la station YON_03. La partie aval de cette station est donc incompatible avec la présence de truite, il n'est même pas besoin d'analyser les autres paramètres.

Les stations situées entre le barrage et YON_05 présentes des températures n'excédant pas 19°C, en 2020 comme en 2022 (à l'exception de quelques dépassement ponctuels sur YON_05 en 2020, restant peu impactant). La température n'est donc pas trop élevée pour accueillir la truite, même à l'aval de la station YON_05.

Sur la station YON_04, le résultat est plus mitigé, et on s'approche certainement de la limite de colonisation aval possible pour la truite par rapport à la température. Si en 2022, la température de l'eau n'a que très rarement été enregistré au-dessus des 19°C, avec une température maximale à 19,56°C, les résultats étaient différents en 2020. Avec un total de 151 h passées au-dessus de 19°C, dont 84 heures consécutives et une température maximale atteinte à 21,75°C, la survie des truites est compromises. Ces dépassements ont eu lieux sur 25 séquences en 2020 contre 6 en 2022.

Les températures moyennes journalières restent cependant dans le préférendum thermique de la truite 97,1% de l'année en 2020 (non estimé en 2022 par manque de données) et la température moyenne journalière des 30 jours les plus chaud reste en dessous de 19°C avec 18,07°C.

La présence de truite sur et à l'aval de la station YON_04 parait donc possible du point de vue thermique, même si quelques périodes de stress physiologiques sont possibles.

A l'amont du barrage, les conditions climatiques sèches et chaude et 2022 se répercute sur les températures relevées sur les 2 stations.

Sur YON_10, on relève une température maximale instantanée de 20,1 °C, 15h passées au-dessus de 19°C, dont 10 consécutives sur 7 séquences différentes. La température reste donc dans des valeurs adaptées au développement de la truite sur une large majorité de l'année et les séquences de stresse sont courtes et peu intenses.

Il n'est pas possible de comparer les données de 2022 et de 2020 sur YON_10, la sonde ayant été exondée en 2020.

Sur YON_09, la température moyenne journalière a dépassé les 19°C à 59 reprises au cours de l'année en 2022 et à 38 reprises en 2020. Cela représente 250 h en 2022 et 230 en 2020, avec une séquence maximale de 46 h consécutives en 2020 et 20h en 2022. Ces périodes de stress physiologiques sont donc longues et peuvent entrainer des mortalités sur les individus les plus fragiles de la population de truite et chez les juvéniles.

En 2020, la température moyenne journalière des 30 jours consécutifs les plus chaud avait atteint 18,71°C. Elle est de 18,33 °C en 2022. En sachant que la truite ne s'alimente plus lorsque la température dépasse 19°C, une température moyenne sur 30 Jours approchant les 19°C et des périodes de plus de 40h consécutives au-dessus de 19°C signifie la non alimentation des poissons sur une longue période et peut entrainer une surmortalité des juvéniles par manque d'énergie pour leur développement et l'amaigrissement des adultes.

La température est peut donc être un facteur limitant à la population de truite sur la station YON_09, en tous cas sur des années chaude comme 2020 et 2022. Il pourrait être intéressant de vérifier comment se porte la population de truite et l'impact qu'a pu avoir les récents épisodes de fortes chaleurs au niveau de la station YON_09 par un inventaire piscicole.

4 Conclusion

La présence du lac de Pannecière-Chaumard a impacté significativement la température de l'eau de l'Yonne à l'aval de l'ouvrage Le barrage, grâce à une vanne assez profonde, relâche durant la période estivale de l'eau plus froide que celle entrant dans la retenue. A la fin de l'été, on observe une inversion du gradient de température à l'aval du lac, l'eau restituée étant plus chaude que celle entrante.

A l'aval du barrage, malgré une année aux températures estivales particulièrement élevées, l'eau restituée au cours d'eau est très fraîche. Les températures moyennes mensuelles des mois d'août et septembre sont même parmi les plus froides enregistrées depuis 2014 sur la station YON_07, 06 et 05. L'influence du barrage a donc un rôle prédominant sur la température, au moins jusqu'à Cuzy (YON_04) où la température moyenne mensuelle du mois d'août (17,86°C) est toujours inférieure à celle relevée en amont à Corancy en 2022 (17,19°C), mais supérieure à celle relevée en 2021 (16,18°C), alors que les températures estivales étaient moins élevées.

Sur la portion de cours d'eau à l'amont du barrage, la température de l'eau est fortement dépendante des conditions météorologiques. En 2022 les températures moyennes mensuelles des mois de mai, juin et juillet, sont supérieures à celles de 2020, année pourtant déjà très chaude. Dans le contexte de changement climatiques dans lequel nous sommes, les conditions des été 2020 ou 2022 sont amenés à se reproduire, peut-être même avec une ampleur plus importante. Nous pouvons alors nous poser des questions quant à la pérennité de la population de truite, en particulier sur la station YON_09.

A partir de YON_03, la différence importante de température observée entre les années de suivi et notamment l'écart entre les températures moyennes des mois de juillet et août 2020, 2021 et 2022 montre que l'influence du barrage est moins sensible que celle des conditions météorologique (température, ensoleillement, etc.). Les nombreuses connexions avec le canal expliquent le réchauffement important de l'eau, dépendamment des conditions climatiques.