

EFFET DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA TEMPÉRATURE ESTIVALE ET LES POPULATIONS PISCICOLES DES RIVIÈRES ET PLANS D'EAU

du Département de Saône-et-Loire



*Réseau départemental de suivi thermique
Synthèse des résultats de 2018 à 2023*



EFFET DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA TEMPÉRATURE ESTIVALE ET LES POPULATIONS PISCICOLES DES RIVIÈRES ET PLANS D'EAU

du Département de Saône-et-Loire



*Réseau départemental de suivi thermique
Synthèse des résultats de 2018 à 2023*

Rédaction :
Rémy CHASSIGNOL - Directeur Technique

avec la participation :
Camille MARCON
Julien MAUPOUX
Jean-Baptiste FAGOT

Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Rhône-
Méditerranée & Corse

Mars 2024

Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche
et la Protection du Milieu Aquatique

123 rue de Barbentane, 71000 MACON

RESUME

Le réchauffement climatique n'est pas sans incidence sur la ressource en eau avec une nette tendance à la diminution des quantités et un réchauffement non négligeable des eaux de surface. Cette augmentation de la température des eaux de surface modifie l'équilibre chimique et biologique de l'eau : sa qualité diminue et impacte la quantité d'eau disponible pour la consommation humaine.

Le réchauffement des eaux des rivières a aussi une incidence forte sur les communautés animales et végétales qui les peuplent.

Pour mieux appréhender les effets du réchauffement climatique sur la température des milieux aquatiques du département, la Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a mis en place un réseau pérenne de mesure de la température des eaux des rivières et plans d'eau. Mis en place à partir des années 2018 - 2019, le réseau compte actuellement 35 stations et s'enrichit annuellement de nouvelles stations.

Un premier bilan vient d'être dressé. Il montre à quel point les milieux aquatiques ont connu sur la période 2018 - 2023 un réchauffement généralisé, et plus particulièrement lors des étés, période la plus limitante pour la faune piscicole.

Les rivières et plan d'eau du département ont été sujets à des températures très élevées avoisinant les 30 à 32°C pour les milieux les plus chauds.

La situation est inquiétante pour la truite commune, 65% des stations de suivi en milieu salmonicole connaissent un régime thermique défavorable au bon développement de l'espèce.

Pour le brochet, les données sont peu rassurantes. Le suivi thermique a montré un très fort réchauffement des eaux sur ses milieux de prédilection : les grandes rivières de plaines et les plans d'eau où la température moyenne des maximales sur les 30 jours les plus chauds est trop souvent supérieure à son préférendum thermique.

Pour limiter les effets du réchauffement climatique, la restauration et la préservation du fonctionnement naturel des cours d'eau est importante.

Mots clés : Température, eau, rivière, étang, poisson, réchauffement climatique, Saône-et-Loire.

SOMMAIRE

I. CONTEXTE	- 2 -
II. MATERIEL ET METHODE	- 3 -
II.1 PRESENTATION DU RESEAU	- 3 -
II.2 RECOLTE DES DONNEES	- 5 -
II.3 LE TRAITEMENT DES DONNEES	- 6 -
II.4 ANALYSE DES DONNEES	- 7 -
II.4.1 CLASSE DE TEMPERATURES	- 8 -
II.4.2 SENSIBILITE AU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE	- 8 -
II.4.3 CONDITION DE DEVELOPPEMENT DES ESPECES PISCICOLES	- 8 -
II.5 DONNEES PARTAGEES	- 9 -
III. L'IMPACT FORT DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA TEMPERATURE DE NOS MILIEUX AQUATIQUES	- 10 -
III.1 CLIMATOLOGIE : DES ANNEES ET DES ETES TRES CHAUDS SUR LA PERIODE DE SUIVI	- 10 -
III.2 DES EXTREMES THERMIQUES INSTANTANES OU JOURNALIERS TRES EXCESSIFS	- 11 -
III.2.1 DES MAXIMUMS INSTANTANES DEPASSANT LES 30°C	- 11 -
III.2.1 DES TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES MAXIMALES AU-DELA DES 27°C	- 14 -
III.2.2 DES MILIEUX AQUATIQUES PLUS SENSIBLES AUX PICS DE CHALEUR QUE D'AUTRES	- 15 -
a) Des pics de chaleurs extrêmes et réguliers pour certaines stations	- 15 -
b) Des pics de chaleurs importants et réguliers pour d'autres stations	- 18 -
c) Des rivières plus épargnées par les forts pics de chaleurs	- 18 -
III.3 DES PERIODES LONGUES DE FORTES CHALEURS	- 19 -
III.3.1 UN RECHAUFFEMENT DES EAUX GENERALISE	- 19 -
III.3.2 DES PLANS D'EAU ET RIVIERES TRES IMPACTES PAR LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE	- 21 -
III.3.3 STATIONS A SENSIBILITE FAIBLE (6% DU RESEAU)	- 21 -
III.3.4 STATIONS A SENSIBILITE MODEREE (34% DU RESEAU)	- 21 -
III.3.5 STATIONS A SENSIBILITE IMPORTANTE (31% DU RESEAU)	- 21 -
III.3.6 STATIONS A SENSIBILITE TRES FORTE (29%)	- 21 -
III.4 2021, UNE ANNEE FRAICHE : UNE EXCEPTION ?	- 23 -
IV. INCIDENCE DU RECHAUFFEMENT DES EAUX SUR LES POPULATIONS PISCICOLES	- 23 -
IV.1 LA TEMPERATURE, UN ELEMENT PREPONDERANT AU DEVELOPPEMENT DES POISSONS	- 23 -
IV.2 SITUATION DANS LE DEPARTEMENT DE SAONE-ET-LOIRE	- 24 -
IV.2.1 UNE SITUATION INQUIETANTE POUR LA TRUITE COMMUNE	- 25 -
IV.2.2 UNE SITUATION PEU RASSURANTE POUR LE BROCHET	- 27 -
IV.2.3 LES CYPRINIDES RHEOPHILES MOINS MENACES	- 27 -
IV.2.4 LES ESPECES D'EAU CHAUDES FAVORISEES SUR LES GRANDS MILIEUX D'EAU CALME	- 28 -
V. CONCLUSION	- 29 -

I. Contexte

Le climat du globe a toujours fluctué au cours du temps sous l'influence directe et indirecte de différents phénomènes. Toutefois, les activités anthropiques responsables d'émission de Gaz à Effet de Serre (GES et d'aérosols), ont engendré des modifications climatiques incontestables depuis la fin du XIXe siècle aboutissant à une augmentation de la température de l'air, du niveau moyen des océans mais également à une réduction des surfaces enneigées ou des calottes glaciaires. En France métropolitaine, l'analyse de données rétrospectives a permis d'estimer à environ 1°C l'augmentation moyenne de la température de l'air et à 1,6°C celle de la température de l'eau au cours du XXe siècle (*Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et piste pour l'adaptation – ONEMA 2014*). La Loire moyenne s'est ainsi réchauffée de 1,2°C en 32 ans et la température moyenne des eaux a augmenté de 1,1°C sur le lac du Bourget entre 1984 et 2011.

Comme nous continuons à émettre des GES, les projections ne prévoient actuellement pas un arrêt du réchauffement climatique. Bien au contraire, elles anticipent, pour la France métropolitaine, un réchauffement compris entre 1,5°C et 3°C voire même 2°C à plus de 4,5°C à l'horizon 2100.

Le réchauffement climatique n'est pas sans incidence sur la ressource en eau avec une nette tendance à la diminution des quantités et un réchauffement non négligeable des eaux de surface. Cette augmentation de la température des eaux de surface modifie l'équilibre chimique et biologique de l'eau : sa qualité diminue. Sécheresse et élévation des températures impactent la quantité d'eau disponible pour la consommation humaine.

Le réchauffement des eaux des rivières a aussi une incidence forte sur les communautés animales et végétales qui les peuplent. Le cycle de vie des espèces inféodées aux milieux aquatiques est perturbé (de l'embryon à l'adulte) ainsi que leur mode de vie (reproduction, aire de répartition, etc.). Le changement climatique peut ainsi provoquer une modification de l'aire de répartition d'une espèce. En effet, face au changement climatique, les espèces peuvent soit s'adapter, soit migrer et modifier leur distribution, soit disparaître (incapacité d'adaptation ou de suivi du changement climatique).

Les poissons, organismes indicateurs de qualité des cours d'eau, figurent parmi les espèces les plus concernées par le changement climatique. Ils subissent des modifications physiologiques (perturbations de la croissance et de la reproduction).

Pour mesurer les conséquences du réchauffement climatique sur les milieux aquatiques du département, la Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a mis en place un réseau pérenne de mesure de la température des eaux de surface à compter des années 2018 et 2019. Actuellement, le réseau est constitué de 35 stations. Il est financé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse. Chaque année, il s'enrichit de nouvelles stations.

Le réseau contribue à collecter les données nécessaires à une meilleure compréhension du régime des cours d'eau du département et des fluctuations des populations d'espèces sensibles comme la truite commune. Les données contribuent également à alimenter des études ponctuelles. Enfin, le réseau peut permettre aux institutions départementales et aux collectivités locales de mieux appréhender l'impact du réchauffement climatique sur les milieux aquatiques.

II. Matériel et méthode

Le protocole de collecte, de traitement et d'analyse des données est décrit dans le document accessible à cette page : <https://jbfagotfede39.github.io/notice-thermie/>

II.1 Présentation du réseau

Actuellement, le réseau de suivi thermique des cours d'eau et plans d'eau du département de Saône-et-Loire est constitué de 35 stations de mesure réparties sur l'ensemble du département.

Pour récolter les températures, des enregistreurs thermiques de type HOBO UA-001-64 (HOBO Pendant Temp Logger – 64 K Plage -20 à +70°C) sont immergés dans des zones calmes, à l'abri des rayons directs du soleil.

Ils sont fixés à un élément solide et stable de la berge, comme des systèmes racinaires, au moyen d'un câble métallique gainé suffisamment long pour permettre à la sonde de rester immergée même en période d'étiage sévère.



Photographie 1 : Sonde de mesure de la température et sa base de transfert (USB).

Chaque station est décrite dans une fiche type consignée dans un cahier de terrain puis saisie dans un fichier Excel. Les champs renseignés sont évoqués dans l'annexe n°1 du présent rapport.

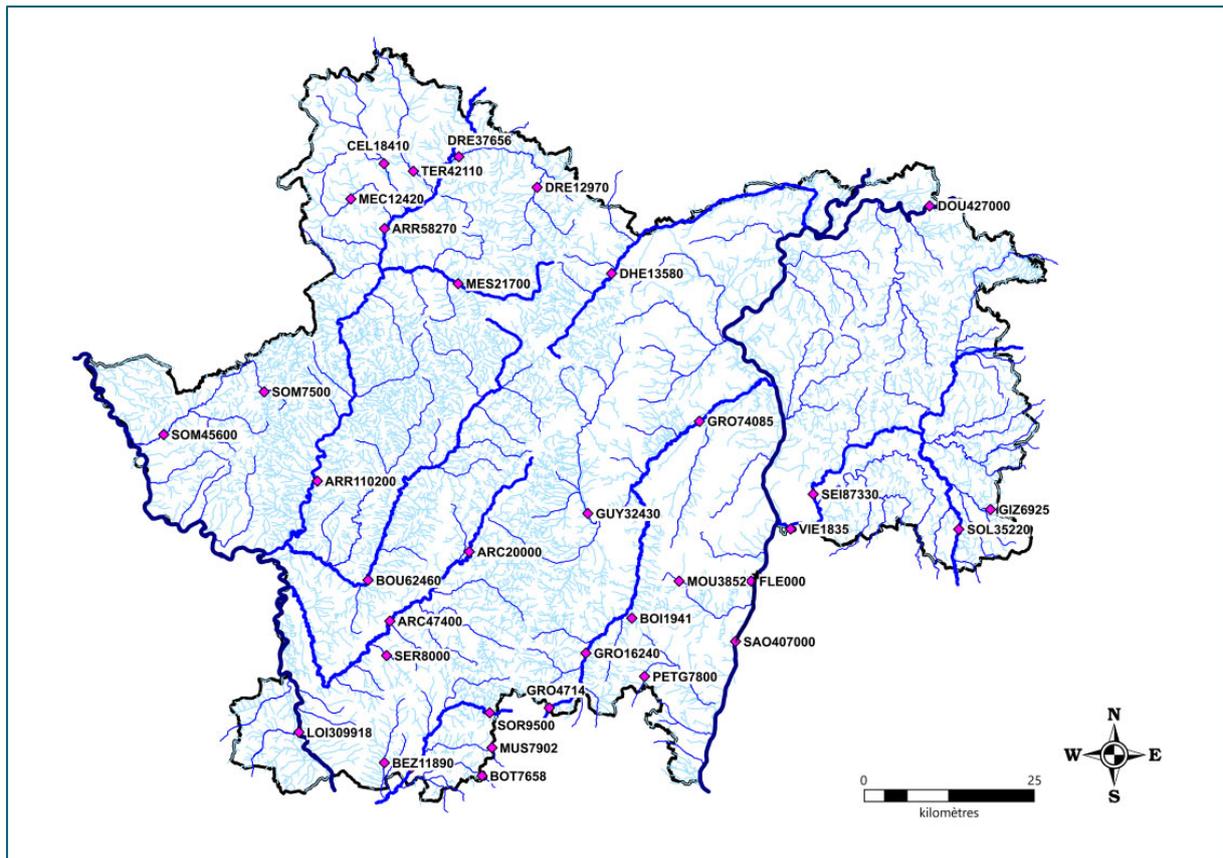
Effet du réchauffement climatique sur la température estivale et les populations piscicoles des cours d'eau et plan d'eau du département de Saône-et-Loire

Code station	Rivière/plan d'eau	Communes	X NGF93	Y NGF93	Type milieu
ARC20000	Arconce	Viry	803525	6599367	Rivière
ARC47400	Arconce	Lugny-les-Charolles	791912	6589162	Rivière
ARR110200	Arroux	Gueugnon	781305	6609783	Rivière
ARR58270	Arroux	Laizy	791121	6646994	Rivière
BEZ11890	Bézo	Saint-Bonnet-de-Cray	791108	6568285	Rivière
BOI1941	Ru du Bois Clair	Sologny	827297	6589577	Rivière
BOT7658	Botoret	Chauffailles	805400	6566350	Rivière
BOU62460	Bourbince	Voleuvres	788722	6595182	Rivière
CEL18410	Celle	La Celle en Morvan	791045	6656562	Rivière
DHE13580	Dheune	Saint-Léger-sur-Dheune	824340	6640360	Rivière
DOU427000	Doubs	Lays-sur-le-Doubs	870817	6650322	Rivière
DRE12970	Drée	Epinac	813446	6653055	Rivière
DRE37656	Drée	Dracy-Saint-Loup	801991	6657584	Rivière
FLE000	Gravière de Fleurville	Fleurville	844740	6595033	Gravière
GIZ6925	Gizia	Le Miroir	879734	6605588	Rivière
GRO16240	Grosne	Navour-sur-Grosne	820585	6584437	Rivière
GRO4714	Grosne	Saint-Bonnet-des-Bruyères	815211	6576356	Rivière
GRO74085	Grosne	Lalheue	837166	6618605	Rivière
GUY32430	Guye	Sailly	820862	6605020	Rivière
LOI309918	Loire	Artaix	778629	6572787	Rivière
MEC12420	Méchet	La Grande-Verrière	786216	6651354	Rivière
MES21700	Mesvrin	Saint-Symphorien-de-Marmagne	801888	6638873	Rivière
MOU3852	Mouge	Azé	834208	6595031	Rivière
MUS7902	Mussy	Anglure-sous-Dun	806833	6570487	Rivière
PETG7800	Petite grosne	Serrières	829165	6580999	Rivière
SAO407000	Saône	Mâcon	842453	6586149	Rivière
SEI87330	Seille	Brienne	853828	6607856	Rivière
SEI87330p	Seille	Brienne	853828	6607856	Rivière
SER8000	Sermaize	Oyé	791433	6584073	Rivière
SOL35220	Solnan	Dommartin-les-Cuiseaux	875103	6602682	Rivière
SOM7500	Somme	Bourbon-Lancy	773538	6622937	Rivière
SOM45600	Somme	Issy-l'Evêque	758852	6616629	Rivière
SOR33000	Sornin	Saint Edmond	795075	6567561	Rivière
SOR9500	Sornin	Saint-Racho	806506	6575656	Rivière
TER42110	Ternin	Tavernay	795345	6655449	Rivière
VIE1835	Vieille-Seille	Sermoyer	850530	6602740	Plan d'eau

Tableau 1. Liste des stations du réseau

Une station de mesure, celle sur la Seille est exceptionnellement équipée de deux enregistreurs thermiques : l'un disposé à proximité de la surface 30 à 40 cm (SEI87330), l'autre disposé sur le fond de la rivière à 2.5 mètres de profondeur (SEI87330p).

Actuellement, il y a donc un total de 36 enregistreurs thermiques.



Carte 1. Localisation des stations du réseau

II.2 Récolte des données

Les températures sont prises sur un pas de temps régulier d'une heure. Chaque année, les données collectées par les sondes sont relevées à deux périodes : à la mi printemps et à l'automne. Les données sont récupérées directement sur le terrain grâce une navette étanche HOBO[®] ou une station de base optique USB (BASE U-4) HOBO[®] et un ordinateur portable.

Cette double relève permet de limiter le risque de perte importante de données (destruction ou arrachage de la sonde lors d'une crue, vandalisme, dysfonctionnement matériel).

La relève permet de vérifier le bon état de fonctionnement des enregistreurs, de les remplacer au besoin, de changer les piles et d'adapter ou changer si nécessaire leurs systèmes de fixation.

A chaque relève (printemps et automne), des informations sont saisies dans un cahier de terrain puis consignées dans un fichier Excel. Ce suivi de terrain facilite la gestion des sondes, la récupération et la validation des données collectées. Les champs renseignés dans le cahier de terrain sont décrits en annexe 2.

II.3 Le traitement des données

Les données récupérées sur le terrain sont d'abord vérifiées au moyen du tableur Excel. Les valeurs aberrantes (température excessive en hiver, température dépassant les 30°C, amplitude thermique journalière très forte lors d'exondation estivale, etc..) sont recherchées.

Lorsqu'elles sont validées, les données sont mises en forme grâce au logiciel HOBOWare® PRO (Cf. Annexe 3) avant d'être valorisées au moyen d'un outil de traitement mis en place par la Fédération du Jura pour la Pêche et le Protection du Milieu Aquatique.

L'outil de traitement permet :

- le calcul de très nombreux indicateurs statistiques,
- l'édition de multiples vues et figures (annuelles, interannuelles et comparatives entre sites et/ou années),
- l'édition d'un atlas QGIS,
- la production semi automatisée d'une fiche synthétique de résultats

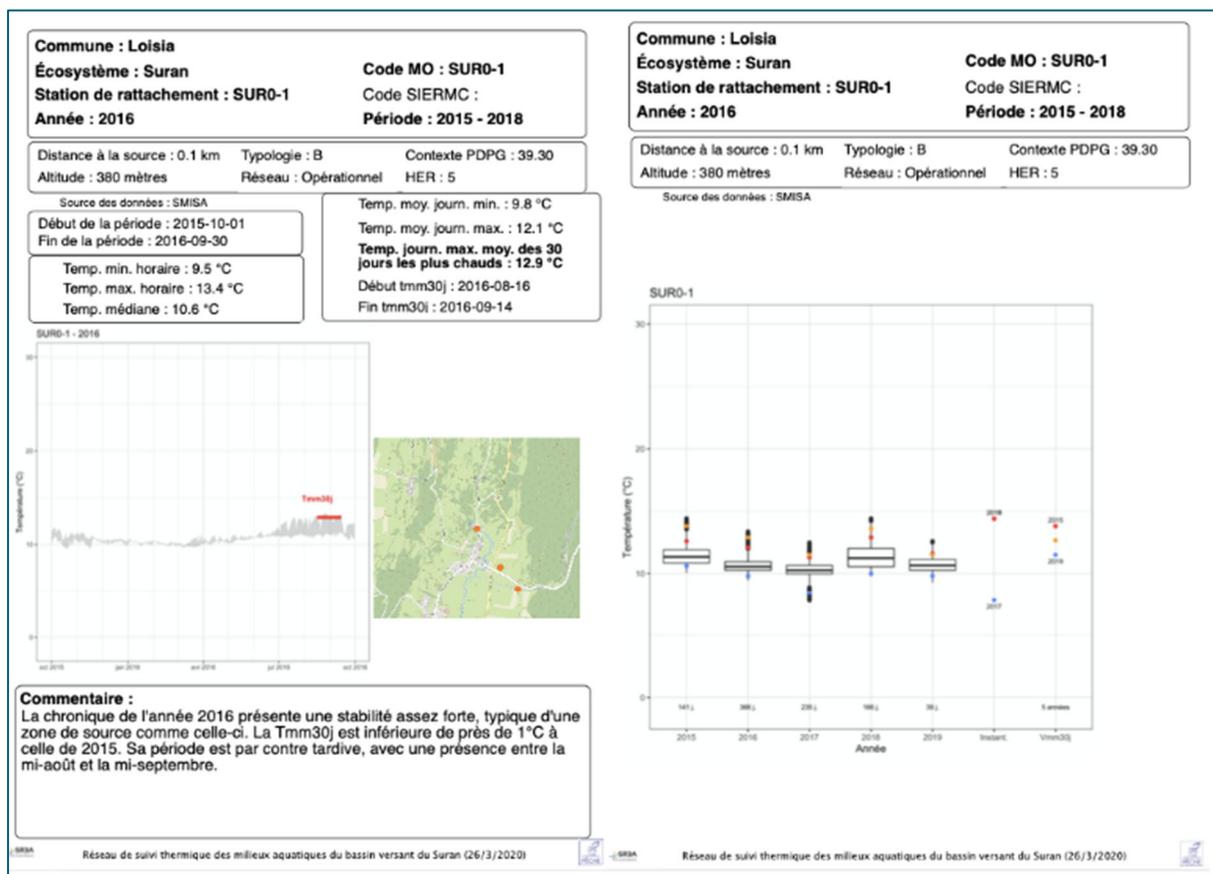


Figure 1. Exemple de fiche synthétique

Les vues, les figures et une partie du traitement statistique sont évoquées dans la note méthodologique accessible au lien : <https://jbfagotfede39.github.io/notice-thermie/valorisation.html#agregation>

Les acronymes utilisés pour qualifier les indicateurs statistiques calculés sont renseignés en annexe 4.

II.4 Analyse des données

Les sondes thermiques enregistrent les données toute l'année. Dans le cadre du suivi, l'année débute le 1^{er} octobre et se termine le 30 septembre. On parle d'année biologique. Ainsi l'année 2019 commence le 1 octobre 2018 pour se terminer le 30 septembre 2019.

La température de l'eau influe sur l'ensemble des écosystème aquatiques. Les analyses sont ici orientées sur la physiologie et la biologie des espèces piscicoles et plus principalement sur la période estivale : période pendant laquelle les conditions sont considérées comme les plus défavorables pour les espèces piscicoles les plus sensibles au réchauffement des eaux.

Pour chaque station du réseau, une ou plusieurs espèces piscicoles repères ont été définies (selon le Plan Départemental de Gestion Piscicole du département). Ces espèces sont des références écologiques. L'objet de l'analyse est de s'assurer que les températures mesurées respectent les préférendums thermiques de ces poissons de référence.

La température de l'eau explique en effet la répartition des espèces de poissons depuis les zones de source jusqu'à l'embouchure. Chaque espèce de poisson à chaque stade de développement (embryon, juvénile, adulte) est caractérisée par un préférendum thermique de développement. On distingue la gamme optimale de développement de la gamme de résistance au-delà duquel les poissons meurent.

Dans notre travail, les valeurs accessibles pour les stades embryon, larve et adulte sont issus des travaux d'études et de synthèses de *Tissot and Souchon (2010)*, *J. M. Elliott (1981)*, *J. m. Elliott, Elliott, and Allonby (1994)*, *J. m. Elliott and Elliot (1995)* & *Andreasson (1971)* IN *Dorts et al. (2012)*.

La température de l'eau explique aussi les périodes de reproduction des espèces piscicoles. Les données de température collectées dans le cadre du réseau permettent cette analyse, mais elle ne sera pas réalisée dans ce travail de synthèse.

Pour simplifier l'analyse, seuls quelques indicateurs statistiques ont été commentés dans cette synthèse. La plupart se retrouve dans la fiche de résultats présentés dans la Figure 1.

Ce sont des indicateurs descriptifs de l'intensité des étés. Ces indicateurs sont des variables de thermie générale comme :

- **la température instantanée la plus haute de l'année (VMaxI)**,
- **la température moyenne journalière la plus haute de l'année (VMoyJMax)**.

Mais ce sont aussi des descripteurs biologiques de références comme :

- **La moyenne des température maximales journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (VMaxMoy30J)** ; valeur utilisée dans le calcul du niveau typologique théorique (NTT) d'après la formule proposée par *Verneaux (1973 et 1976)*. Cette valeur est aussi utilisée pour analyser le respect ou non des préférendums thermiques des cyprins d'eau vive et du brochet.
- **La moyenne des températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (VMoyMoy30J)**. Cette valeur issue des travaux de *Elliott, 1995*, *Elliott et Hurley, 1998*, *Baran et al., 1999*, *Baran et Delacoste, 2005*, in *Faure et Grès, 2008* a une grande influence sur la survie des juvéniles de truite commune. Elle est utilisée pour analyser le respect ou non du préférendum thermique de la truite.

II.4.1 Classe de températures

Les températures instantanées relevées et les variables statistiques calculées ont été ordonnées suivant le barème ci-dessous.

Température °C	Classe de température
inferieur à 17,5	Froid
entre 17,5 et 19	Frais
entre 19 et 23	Moyennement frais
entre 23 et 25	Chaud
supérieur à 25	Très chaud

Tableau 2. *Classes de températures*

II.4.2 Sensibilité au réchauffement climatique

Pour chaque station, une analyse de la sensibilité au réchauffement climatique a été entreprise. Cette analyse a été réalisée en croisant les données suivantes :

- La moyenne interannuelle entre 2018 et 2023 de la moyenne des maximums journaliers des 30 jours les plus chauds de chaque année (VMaxMoy30J).
- La moyenne interannuelle entre 2018 et 2023 des maximums instantanés et des moyennes journalières les plus hautes de chaque année (VMaxI et VMoyJMax).

Selon l'importance des indicateurs décrits précédemment, 5 niveaux de sensibilité au réchauffement ont été définis.

Nul
Faible
Modéré
Important
Très fort

Tableau 3. *Classe de sensibilité aux réchauffement climatique*

II.4.3 Condition de développement des espèces piscicoles

Selon les espèces piscicoles repères de chaque station, l'analyse a été réalisée différemment.

Pour les stations où la truite commune est définie comme espèce repère, l'analyse a été entreprise au moyen de la moyenne des températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (VMoyMoy30J) selon le barème suivant.

VMoyMoy30	Condition de développement
>19°C	Très défavorable
18,5 - 19°C	Défavorable
18 – 18,5°C	Faiblement favorable
17,5 - 18°C	Moyennement favorable
17 – 17,5°C	Assez favorable
16,5 - 17°C	Favorable
<16,5°C	Très favorable

Tableau 4. Condition de développement d'une population de truite commune selon la moyenne des températures moyennes des trente jours consécutifs les plus chauds (VMoyMoy30j).

Pour le brochet et les cyprinidés d'eau vive, l'analyse a été entreprise au moyen de la moyenne des températures maximales journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds (VMaxMoy30J) selon le barème suivant.

VMaxMoy30	Condition de développement
20 à 22°C	Très favorable
22 à 24°C	Favorable
24 à 25°C	Peu favorable
25 à 26°C	Défavorable
Supérieur à 26°C	Très défavorable

Tableau 5. Grille de développement pour le brochet et les cyprinidés d'eau vive selon la valeur de la moyenne des température maximales journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (VMaxMoy30J)

II.5 Données partagées

Plusieurs documents et classeurs de données ont été produits afin de pouvoir être partagés.

Sont accessibles :

- ce présent rapport de synthèse départemental,
- le recueil des fiches synthétiques annuelles de chaque station de mesure (Cf. Figure 1),
- l'ensemble des traitements statistiques au format Excel, l'atlas QGIS et l'ensemble des vues et figures générées au format jpeg.

III. L'impact fort du réchauffement climatique sur la température de nos milieux aquatiques

La période comprise entre l'année 2018 et l'année 2023 a été particulièrement chaude en raison du réchauffement climatique.

III.1 Climatologie : des années et des étés très chauds sur la période de suivi

L'année 2022 avec 14,51°C de moyenne de l'indicateur thermique national, puis l'année 2023 avec 14,4°C de moyenne de l'indicateur thermique national et l'année 2020 avec 14,07°C de moyenne de l'indicateur thermique national sont les 3 années les plus chaudes jamais enregistrées en France. En 4^{ème} place, on retrouve l'année 2018 (13,98°C) et en 6^{ème} place, l'année 2019 (13,68°C).

Source : *Infoclimat.fr – Indicateur Thermique national*

Cette synthèse thermique s'inscrit donc pleinement dans le contexte de réchauffement climatique puisque 5 des années étudiées se retrouvent dans les 6 premières places des années les plus chaudes.

Seule l'année 2021 se distingue. Nettement plus fraîche, elle se retrouve à la 23^{ème} place avec 12,92°C comme moyenne de l'indicateur thermique nationale.

Source : *Infoclimat.fr – Indicateur Thermique national*

Concernant les étés (juin, juillet, août), les mêmes constatations peuvent être réalisées. L'été 2022, l'été 2018, l'été 2023 et l'été 2019 se retrouvent dans les 5 étés les plus chauds jamais enregistrés en France. L'été 2021 a été beaucoup plus frais avec une différence de près de 1,5°C de moyenne de l'indicateur thermique national.

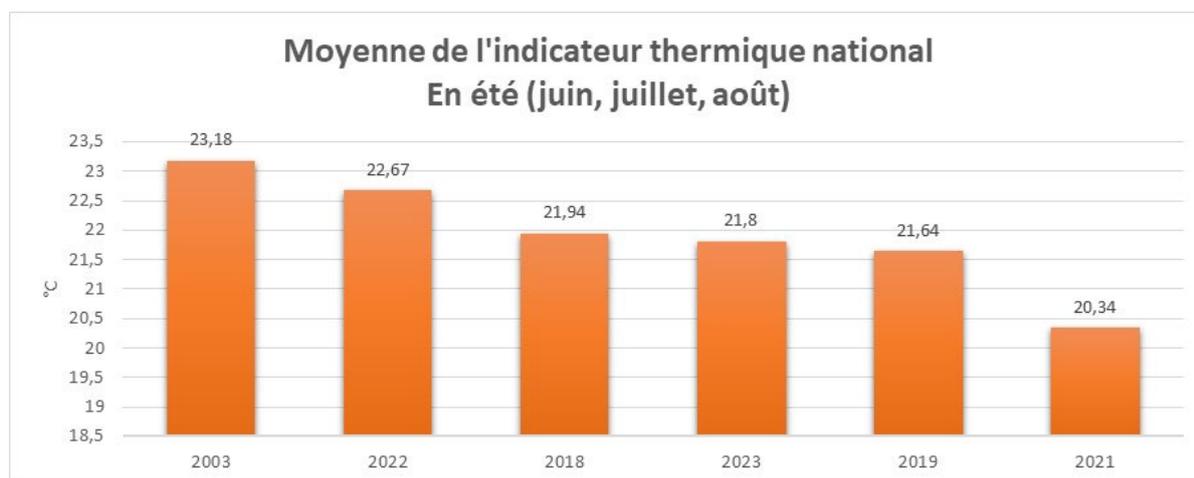


Figure 2. Moyenne de l'indicateur thermique national des étés les plus chauds en France

Source : *Infoclimat.fr – Indicateur Thermique national*

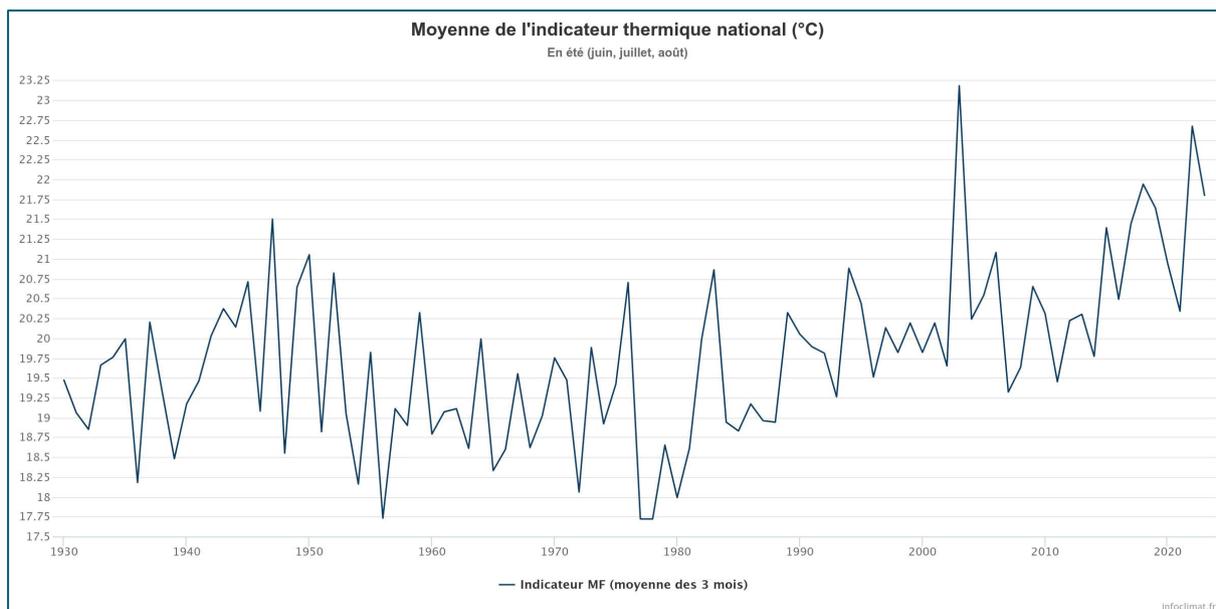


Figure 3. Evolution de la moyenne de l'indicateur thermique national des étés en France entre 1930 et 2023

Source : Infoclimat.fr – Indicateur Thermique national

Des années et des étés de plus en plus chauds et secs se succèdent donc, ce qui a nécessairement des incidences sur la température et l'hydrologie des cours d'eau et des plans d'eau du département.

III.2 Des extrêmes thermiques instantanés ou journaliers très excessifs

III.2.1 Des maximums instantanés dépassant les 30°C

Les rivières et plans d'eau du département de Saône-et-Loire présentent des températures maximales instantanées très élevées dépassant pour certaines stations les 30°C assez régulièrement.

Dans le réseau de suivi thermique, les maximums instantanés sont observés sur les plans d'eau :

- de type gravière comme la gravière de Fleurville avec un maximum de 32,8°C constaté lors de l'été 2023,
- et de type bras mort, comme le site de la Vielle-Seille avec un maximum de 32,5°C mesuré lors de l'été 2019.

Le réseau de suivi n'intègre pas d'autres plans d'eau, mais il est fort probable que la tendance décrite ci-dessus soit plus ou moins la norme. Les milieux fermés de type plan d'eau sont très propices aux élévations de température et à l'évaporation de l'eau lors des périodes de fortes chaleurs.



Photographie 2 : La Vieille Seille à Sermoyer

Certaines rivières sont aussi caractérisées par des températures instantanées très élevées en période estivale.

C'est le cas de la Bourbince à Volesvres avec un maximum observé de 31,8°C lors de l'été 2019, puis de l'Arroux à Gueugnon avec un maximum de 31,7°C lors de l'été 2019 et de la Saône à Mâcon avec un maximum de 30,9°C lors de l'été 2023.

Les autres maximums sont présentés dans la Figure 4, ci-dessous, et dans l'annexe n°5.

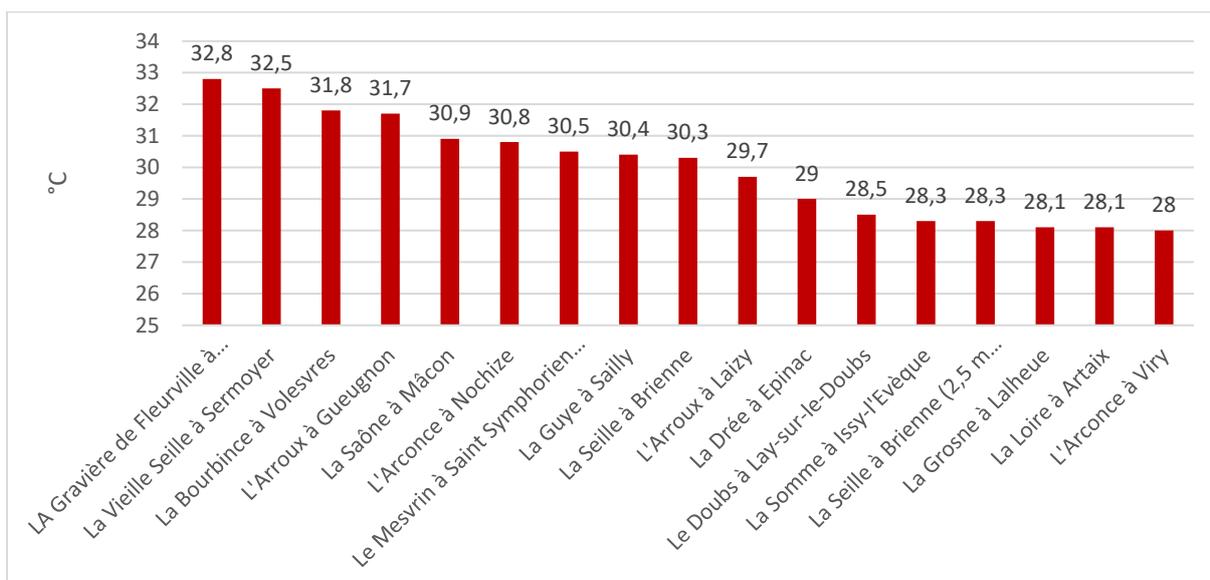


Figure 4. Températures maximales instantanées mesurées sur la période 2018 – 2023 sur les 17 stations les plus chaudes.

Les rivières qui connaissent des pics instantanés très élevés sont de larges rivières de plaines en aval des bassins versants comme la Saône, l'Arroux, la Bourbince, l'Arconce, mais ce peut être aussi de plus petites rivières.

Ainsi, le Mesvrin, à Saint-Symphorien-de-Marmagne, connaît ainsi des maximums instantanés très élevés (30,5°C en 2023). Les grands plans d'eau situés sur sa tête de bassin versant expliquent pour beaucoup cette élévation anormale de la température de ses eaux.

La Drée à Epinac et la Somme à Issy-l'Evêque, sur leurs portions amont, sont aussi sujettes à des températures instantanées trop importantes (supérieures à 28°C). Lors des étés, pendant les périodes caniculaires, les faibles lames d'eau, de ces rivières et de leurs affluents, exposées en plein soleil se réchauffent très rapidement. Ceci explique pour beaucoup les régimes thermiques excessifs.



Photographie 3 : Faible lame d'eau, écoulement faible, piétinement et absence de ripisylve favorisent le réchauffement des eaux et l'altération écologique des cours d'eau

III.2.1 Des températures moyennes journalières maximales au-delà des 27°C

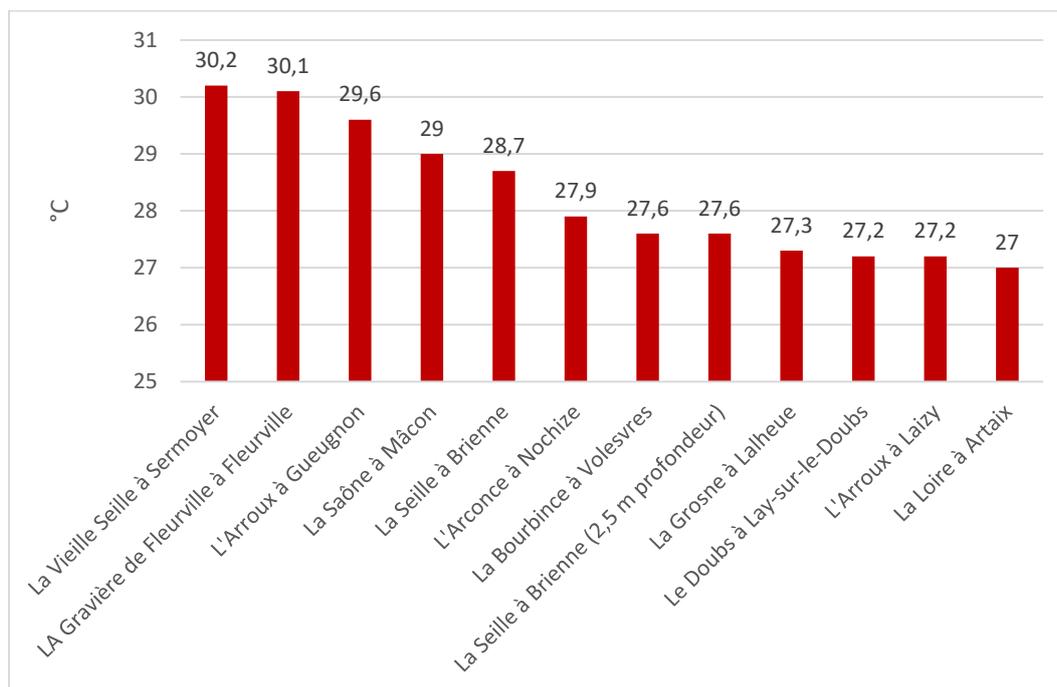


Figure 5. Températures moyennes journalières maximales calculées sur la période 2018 – 2023 (station ou cette indicateur est le plus haut)

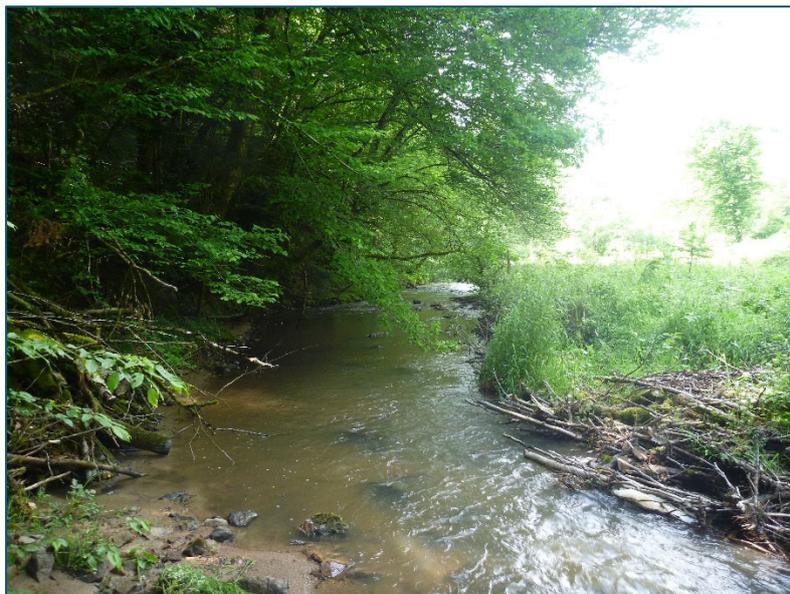
Sur la période 2018 - 2023, les moyennes journalières maximales calculées peuvent aussi être très importantes. Pour plus de la moitié des stations, elles dépassent 25°C (Cf Annexe 6).

Sur 12 stations, elles sont supérieures à 27°C. Pour 2 stations, les moyennes journalières maximales dépassent même la valeur remarquable de 30°C. Il s'agit des stations d'eau calme de type plan d'eau : du bras mort de la Vieille Seille à Sermoyer (30,2°C le 1^{er} juillet 2019) et de la gravière de Fleurville à Fleurville (30,1°C le 22 août 2023).

Mais certaines rivières connaissent aussi des journées très chaudes comme l'Arroux à Gueugnon avec une température moyenne journalière de 29,6°C le 28 juin 2019, la Saône à Mâcon avec une température moyenne journalière de 29°C le 4 août 2022 et la Seille à Brienne avec une température moyenne journalière de 28,7°C le 26 juillet 2019.

Les cours d'eau pour lesquels sont observés, les moyennes journalières maximales les plus faibles sont des petits cours d'eau salmonicole : le Ruisseau du Bois Clair à Sologny, la Mouge à Azé, le Mussy à Mussy-sous-Dun. Dans ces rivières, les moyennes journalières maximales sont comprises entre 19°C et 21,5°C. (Cf Annexe 6).

Ces valeurs peuvent être considérées comme fraîches, surtout lors des canicules que nous connaissons de plus en plus régulièrement, mais elles sont déjà supérieures aux exigences de la truite commune, espèce piscicole repère de ces milieux.



Photographie 4 : Le Mussy à Anglure-sous-Dun

III.2.2 Des milieux aquatiques plus sensibles aux pics de chaleur que d'autres

Afin de mieux caractériser l'intensité et la répétition année après année des pics de chaleurs que connaissent actuellement les milieux aquatiques, la moyenne interannuelle des températures instantanées les plus chaudes observées chaque année entre 2018 et 2023 et la moyenne interannuelle des moyennes journalières les plus chaudes observées chaque année sur la même période ont été calculées.

Pour chaque station, ces deux valeurs sont présentées sur la Carte 2 page - 17 - Ces valeurs intègrent à la fois les données des étés très chauds de la période (2018, 2019, 2022 et 2023 -Cf Figure 2) et les données d'un été plus frais, celui de 2021.

a) Des pics de chaleurs extrêmes et réguliers pour certaines stations

De cette analyse, il ressort que 23% de stations présentent des pics de chaleurs extrêmes et réguliers (28 à 32°C – moyennes journalières max interannuelles et moyennes des max interannuelles).

Parmi ces stations, on peut citer les sites d'eau calme :

- le Bras mort de la Vieille Seille à Sermoyer avec une moyenne interannuelle des maximums instantanés de 31,5°C et une moyenne interannuelle des moyennes journalières maximales de 29,3°C.
- et la gravière de Fleurville avec une moyenne interannuelle des maximums instantanés de 30,7°C et une moyenne interannuelle des moyennes journalières maximales de 28,4°C.

Sur ces deux plans d'eau, les pics de chaleurs (28 à 32°C) sont très réguliers sur la période d'étude.

Mais de nombreuses rivières connaissent plus ou moins le même sort.

On peut citer la Bourbince à Volesvres, l'Arroux à Gueugnon, la Seille à Brienne, la Saône à Mâcon, l'Arconce à Lungy-les-Charolles et le Doubs à Lays-le-Doubs. (Cf. Carte 2)

Les températures journalières les plus fortes observées (moyenne des maximums instantanés et des moyennes journalières sur les 5 années) sur ces milieux sont assez remarquables. Elles atteignent 28 à 32°C. Elles sont dignes de certains milieux tropicaux voire même supérieures. En aquariophilie, pour l'élevage de poissons d'eau chaudes, 28 à 30°C représente une valeur haute à ne pas dépasser et qui n'est tolérée que par certaines espèces.

Dans nos eaux douces, les espèces piscicoles d'eau tempérée se retrouvent dans une situation de stress et « d'inconfort » lorsque la température excède 25°C. Au-delà de ce seuil, pour de nombreuses espèces, si la survie est possible, le développement est fortement compromis. Ceci peut avoir des incidences sur les abondances des populations de poissons qui peuvent être anormalement faible. Pour la truite commune, espèce d'eau froide, la situation est encore plus difficile puisque le seuil de stress physiologique se situe à 19°C.



Photographie 5 : Truite commune du Méchet, une espèce d'eau froide



Photographie 6 : Un chevesne, une espèce plutôt tolérante à la hausse des températures

Extrêmes estivaux instantanés et journaliers entre 2018 et 2023.

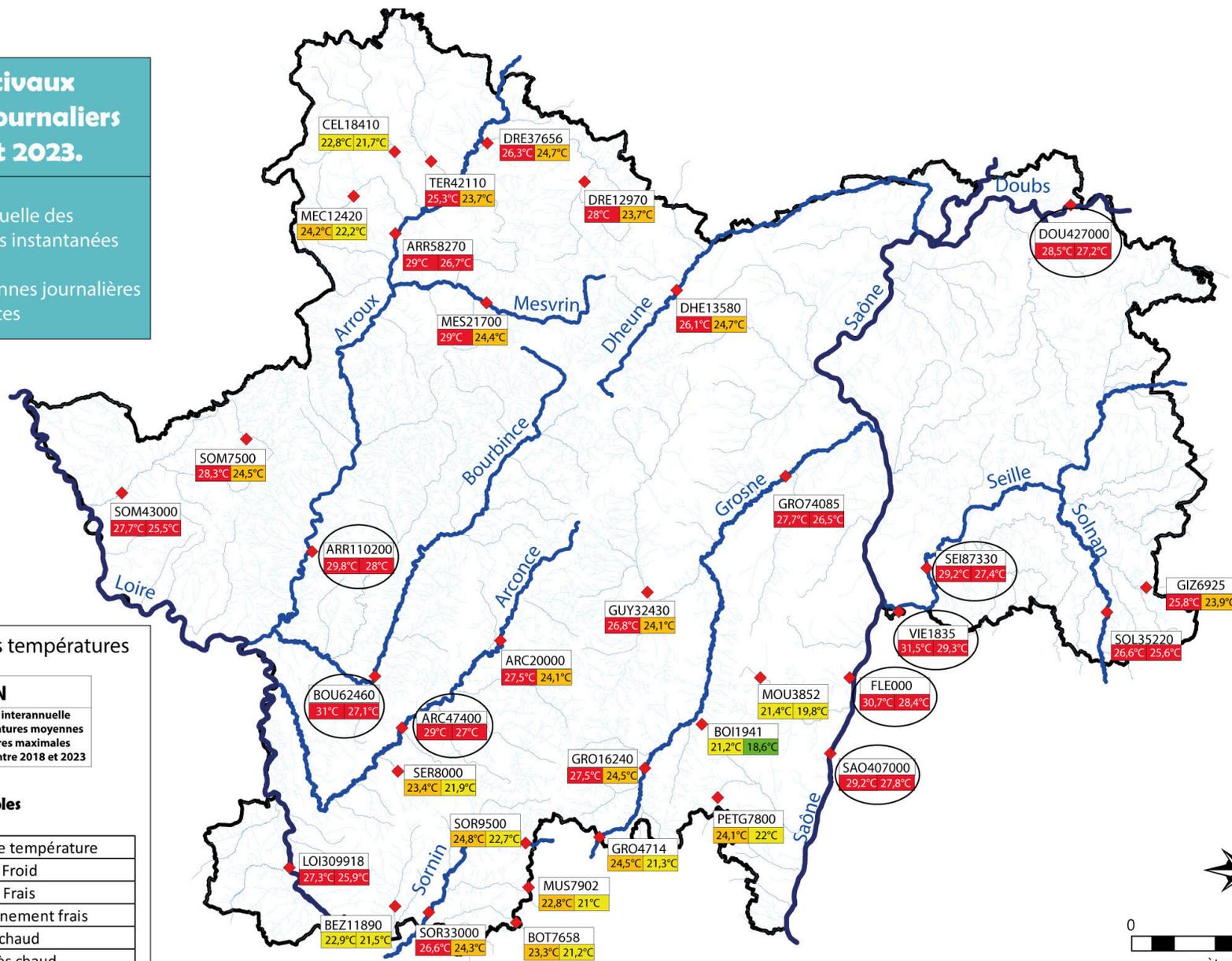
Moyenne interannuelle des températures maximales instantanées et des températures moyennes journalières les plus hautes

◆ Stations de mesure des températures

CODE STATION	
Moyenne interannuelle des températures maximales observées entre 2018 et 2023	Moyenne interannuelle des températures moyennes journalières maximales observées entre 2018 et 2023

○ Extrêmes remarquables

Température °C	Classe de température
inferieur à 17,5	Froid
entre 17,5 et 19	Frais
entre 19 et 23	Moyennement frais
entre 23 et 25	chaud
supérieur à 25	Très chaud



Carte 2. Moyenne interannuelle des températures maximales instantanées et des températures moyennes journalières maximales les plus hautes sur la période 2018 à 2023

b) Des pics de chaleurs importants et réguliers pour d'autres stations

46 % des stations connaissent des pics de chaleurs réguliers et importants (24 à 28°C moyennes journalières max interannuelles et moyennes des max interannuelles).

On peut citer la Drée et la Somme sur leurs deux stations, le Mesvrin à Saint-Symphorien-de-Marmagne, le Ternin à Tavernay, l'Arroux à Laizy, la Loire à Artaix, l'Arconce à Viry, le Sornin à Saint Edmond, la Grosne à Navour-sur-Grosne, la Guye à Saily, la Dheune à Saint-Léger-sur-Dheune, la Grosne à Lalheue, le Solnan à Dommartin-lès-Cuiseaux et la Gizia au Miroir. (Cf. Carte 2).

c) Des rivières plus épargnées par les forts pics de chaleurs

Enfin, 31 % des stations connaissent des pics de chaleurs plus modérés ne dépassant guère les 24-25°C en pics instantanés moyens et assez peu les 22°C de température moyenne journalière maximale.

Il s'agit des petites rivières du département, généralement plus pentues et situées plus en altitude. Si ces rivières semblent pour une partie épargnées par les trop fortes températures, elles peuvent être sujettes à de très faibles débits estivaux.

Aussi et malheureusement, les températures observées sur ces petits milieux aquatiques sont trop souvent supérieures à 19°C, ce qui est fortement pénalisant pour les espèces repères sensibles inféodées à ces petites rivières comme la truite commune.

Dans le cadre du suivi départemental, les rivières concernées sont la Celle à la Celle-en-Morvan, le Méchet à la Grande-Verrière, le Sermaize à Oyé, le Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray, le Sornin à Saint-Racho, le Botoret à Chauffailles, le Mussy à Anglure-sous-Dun, la Grosne à Saint-Bonnet-des-Bruyères, la Petite Grosne à Serrière et le ruisseau du Bois Clair à Sologny ainsi que la Mouge à Azé qui constituent les deux stations les plus fraîches du réseau. (Cf Carte 2)



Photographie 7 : La Mouge à Azé

III.3 Des périodes longues de fortes chaleurs

Au-delà des valeurs instantanées et journalières, il est intéressant de caractériser le réchauffement sur des périodes plus longues. Cela permet entre autres, de mieux appréhender les effets de la température sur les communautés vivantes, en intégrant mieux les durées et les fréquences de dépassement de certains seuils critiques.

En hydrobiologie, il est couramment utilisé la période des 30 jours consécutifs les plus chauds sur laquelle, il peut être calculé la moyenne des moyennes journalières (VMoyMoy30J – Cf Annexe 8) ou la moyenne des maximums journaliers (VMaxMoy30J – Cf. Annexe 7).

Cette dernière valeur (VMaxMoy30J) est connue pour être utilisée pour calculer le Niveau Typologique Théorique (*Verneaux, 1973, 1976 et 1981*). Elle peut aussi servir à vérifier que le régime thermique d'un cours d'eau est conforme, ou non, avec les exigences thermiques du brochet et de nombreuses autres espèces piscicoles.

III.3.1 Un réchauffement des eaux généralisé

Parmi les stations du réseau de suivi thermique, 28% d'entre elles, ont présenté lors des 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque été, sur la période d'étude, des eaux très chaudes (>25°C) (valeur moyenne interannuelle des VmaxMoy30 présentée sur la Carte 3 page - 20 -).

34 % ont présenté lors des 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque été, sur la période d'étude, des eaux chaudes (entre 23 et 25°C) (Cf. Carte 3).

34% ont présenté lors des 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque été, sur la période d'étude, des eaux considérées comme moyennement fraîches (entre 19 et 23°C) (Cf. Carte 3).

Une seule station a conservé des eaux fraîches (Le ruisseau du Bois Clair à Sologny).

Un réchauffement généralisé des eaux est donc constaté puisque 62% des stations du suivi sont caractérisées par des eaux chaudes à très chaudes, sur les périodes les plus intenses des étés.

Les milieux aquatiques concernés par les eaux les plus chaudes sont les milieux d'eau calme (Vieille Seille et gravière de Fleurville) et les grandes rivières de plaine (Arroux, partie aval de l'Arconce et de la Bourbince, Doubs, Seille et Saône).

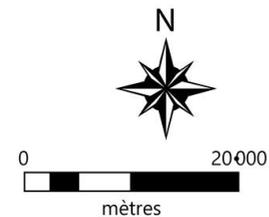
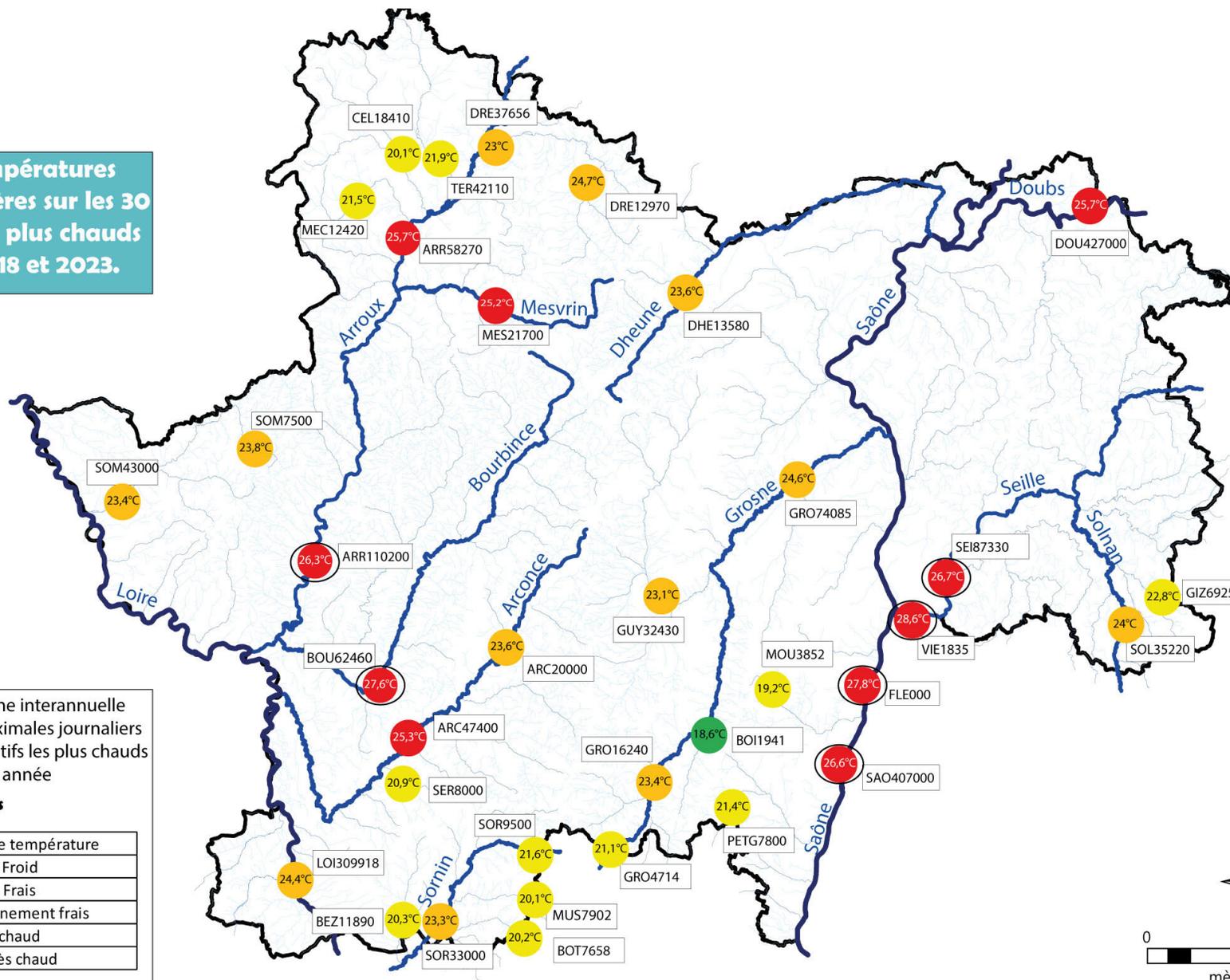
Dans cette catégorie de milieux, très sensibles à la hausse des températures, il faut évoquer une exception : le Mesvrin. Bien qu'il s'agisse d'une petite rivière de 1^{er} catégorie piscicole, dont la station est plutôt située en tête de bassin et à une altitude supérieure à celles des stations des grandes rivières de plaine, son régime thermique est très élevé. Ceci peut s'expliquer par la présence de grands plans d'eau situés sur ses zones de source et une ripisylve très dégradée sur les secteurs amont du bassin versant.

Moyenne des températures maximales journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds des étés entre 2018 et 2023.

Valeurs de la moyenne interannuelle de la moyenne des maximales journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque année

Extrêmes remarquables

Température °C	Classe de température
inférieur à 17,5	Froid
entre 17,5 et 19	Frais
entre 19 et 23	Moyennement frais
entre 23 et 25	chaud
supérieur à 25	Très chaud



Carte 3. Moyenne interannuelle des moyennes des maximales journalières sur les 30 jours consécutifs de chaque été entre 2018 et 2023

III.3.2 Des plans d'eau et rivières très impactés par le réchauffement climatique

Pour conclure l'analyse, une carte de sensibilité des stations au réchauffement climatique en période estivale a été éditée. La sensibilité a été estimée suivant 5 niveaux : nul, faible, modéré, important et fort (Cf Carte 3 page - 22 -).

Aucune station à sensibilité nulle n'a été décrite.

III.3.3 Stations à sensibilité faible (6% du réseau)

2 stations ont été considérées comme impactées faiblement par le réchauffement climatique. Il s'agit de la Mouge à Azé et du ruisseau du Bois Clair à Sologny. Ce sont deux petits ruisseaux pentus, de faible largeur (inférieur à 2,5 mètres), situés en tête de bassin et à l'aval immédiat de zone forestière.

III.3.4 Stations à sensibilité modérée (34% du réseau)

Pour 12 stations, l'impact du réchauffement climatique a été considéré comme modéré. Il s'agit du Ternin à Tavernay, de la Celle à la Celle-en-Morvan, du Méchet à la Grande-Verrière, du Sermaize à Oyé, du Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray, du Botoret à Chauffailles, du Mussy à Anglure-sous-Dun, du Sornin à Saint-Racho, de la Petite-Grosne à Serrière, de la Grosne à Saint-Bonnet-des-Bruyères, de la Gizia au Miroir.

Pour la plupart, il s'agit de rivières situées en tête de bassin versant dans les secteurs : du Morvan, du Haut Clunisois, de la région de Chauffailles, du Mâconnais Beaujolais.

Même si le réchauffement reste modéré sur ces stations, la température des eaux en période estivale est trop souvent supérieure à 19°C (seuil de tolérance de la truite commune, espèce repère de la plupart de ces stations).

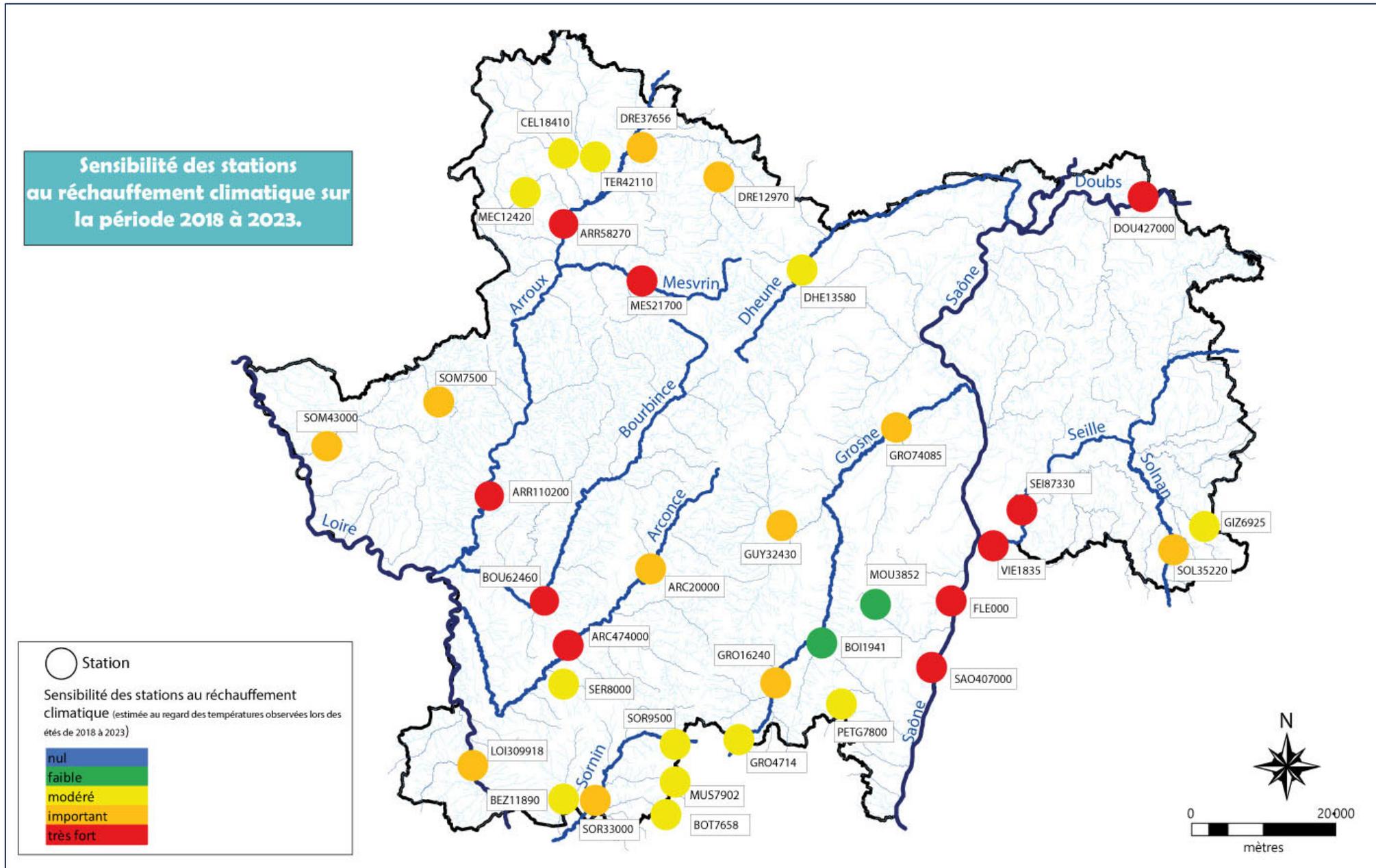
III.3.5 Stations à sensibilité importante (31% du réseau)

Pour 11 stations, l'impact du réchauffement climatique a été considéré comme important. Il s'agit des stations de la Drée à Epinac et Dracy-Saint-Loup, de la Somme à Issy l'Evêque et Bourbon Lancy, de l'Arconce à Viry, de la Loire à Artaix, de la Grosne à Navour-sur-Grosne, de la Guye à Sailly et du Solnan à Dommartin-lès-Cuiseaux.

A l'exception de la Drée à Epinac et de la Somme à Issy-l'Evêque, il s'agit de stations situées plus en aval sur les bassins versants. Ce sont dans l'ensemble de petites rivières de plaine situées dans un contexte bocager. La Loire fait exception à cette règle puisqu'il s'agit d'un fleuve de grand gabarit.

III.3.6 Stations à sensibilité très forte (29%)

Pour 10 stations, l'impact du réchauffement climatique a été jugé comme très fort. Il s'agit des deux stations d'eau calme (la Vieille Seille à Sermoyer et la Gravière de Fleurville à Fleurville) et des stations des grands cours d'eau (La Bourbince et l'Arconce aval, l'Arroux, le Doubs, la Seille, la Saône). A cela, il convient de rajouter une exception : le Mesvrin ; rivière de taille plus modeste, en situation plus apicale et dont l'altitude est plus importante.



Carte 4. Sensibilité des stations du suivi thermique au réchauffement climatique

III.4 2021, une année fraîche : une exception ?

Dans cette période très chaude, où le réchauffement climatique entraîne une élévation généralisée des températures et une accentuation des sécheresses, il peut y avoir des exceptions.

L'année 2021 s'est avérée être une exception. Très pluvieuse et plutôt fraîche en période estivale, elle a été assez favorable à de nombreuses espèces piscicoles.

Sur la période la plus chaude de chaque année (les 30 jours consécutifs les plus chauds), la température des eaux de l'année 2021 a été en moyenne 2,8°C plus fraîche que les autres années (*moyenne sur l'ensemble des stations pour les années 2019, 2020, 2021, 2022 et 2023 en utilisant la valeur moyenne des moyennes journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds*).

IV. Incidence du réchauffement des eaux sur les populations piscicoles

IV.1 La température, un élément prépondérant au développement des poissons

La température est un élément prépondérant de la répartition des espèces piscicoles. Elle est un paramètre d'autant plus important que les poissons sont des poïkilothermes. Ils ne régulent pas leur température interne qui dépend donc dans la température de l'eau dans laquelle ils se trouvent. Cette caractéristique affecte profondément la biologie des poissons.

Chaque espèce et chaque stade de développement (œufs, larves, juvéniles, adultes) possèdent un optimum thermique propre (Cf Annexe 9).

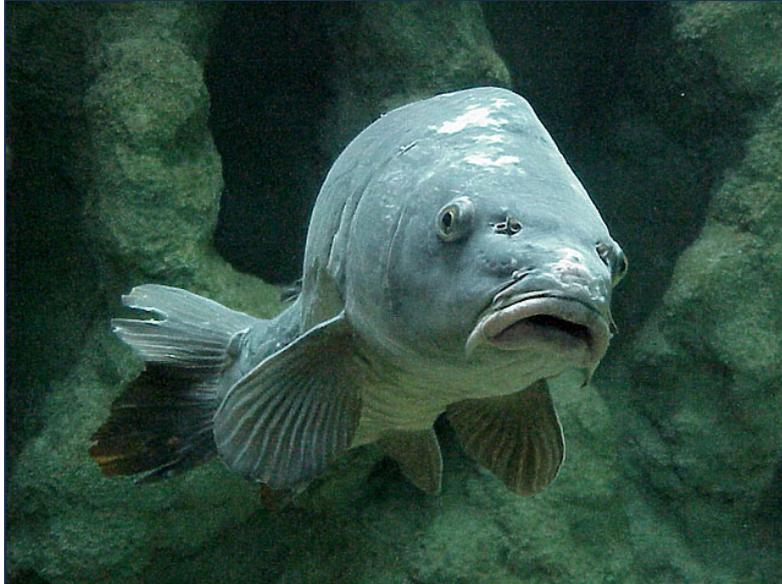
Lorsque les températures de l'eau s'éloignent de la température optimale d'une espèce, des perturbations moléculaires au niveau des protéines, des lipides et des acides nucléiques apparaissent (*Keith.P et Al (coords),2000*). Ces perturbations sont susceptibles d'altérer le fonctionnement physiologique de l'organisme, et pour finir entraîner la mort du poisson (*Pörtner et al, 2007*).

A l'échelle du globe, on trouve des poissons dans la gamme comprise entre 0°C et 40°C.

Dans le cas de notre département, on pourra distinguer :

- Les espèces d'eau froide tempérée (<19°C) dont la truite commune et le chabot (<17°C) font partie,
- Les espèces d'eau tempérée chaude (18 -27°C) dont les cyprinidés (chevesne, barbeau fluviatile, carpe) et le brochet font partie,
- Les espèces d'eau chaude (>28°C) dont le black-bass, le sandre et le silure font notamment partie.

On distinguera aussi les espèces suivant leur capacité à supporter d'importantes variations de températures au sein d'une année. La truite commune est une espèce ne supportant pas les fortes variations. Elle est dite sténotherme. La carpe, le sandre, le silure peuvent supporter des températures allant de 0-3°C à 28 -32°C. Ils sont dits eurhythmes.



Photographie 8 :Carpe dans son milieu naturel

IV.2 Situation dans le département de Saône-et-Loire

Pour chaque station du suivi, une évaluation des conditions de développement dans les périodes les plus chaudes de l'année, a été réalisée pour les espèces piscicoles repères. Les préférences thermiques des différentes espèces repères au stade adulte, ont été confrontées aux régimes thermiques constatés. Dans cette synthèse, les paramètres de qualité d'eau, d'habitat et d'hydrologie n'ont pas été expertisés.

Les conditions de développement vont de la classe de qualité « très favorable » à la classe de qualité « très défavorable » (Cf Carte 5 page - 26 -). Il convient de préciser que lorsque les conditions de développement sont jugées défavorables ou très défavorables, cela ne signifie pas que l'espèce ne peut pas survivre dans la rivière ou le plan d'eau concerné. Cela signifie néanmoins que ses conditions de vie sont extrêmes sur la période la plus chaude. Ceci peut alors expliquer pourquoi les abondances de l'espèce (biomasse et densité) sont faibles à très faibles. Il convient aussi de souligner qu'il subsiste dans les rivières et les plans d'eau des zones d'eau fraîches : résurgences, milieux plus profonds et frais, annexes hydrauliques, confluence avec des tributaires plus froids. Les poissons peuvent trouver refuge dans ces zones particulières lors des périodes les plus chaudes.

Les espèces repères sont intégratrices de plusieurs paramètres de qualité de milieu : qualité des habitats et qualités des eaux. Toutes n'ont pas la même sensibilité face à la hausse des températures. Les espèces d'eau froide, comme la truite commune, sont les plus sensibles. Les cyprinidés d'eau vive sont beaucoup plus tolérants. Pour certaines petites rivières, le choix des espèces repères a été difficile, entre truite ou cyprinidés d'eau vive. Il n'y a pas toujours de choix évident et juste, mais selon l'espèce repère définie, la classe de qualité des conditions de développement peut être très distincte.

IV.2.1 Une situation inquiétante pour la truite commune

Les rivières à truites sont encore les plus fraîches du département. Avec le réchauffement climatique, la température des eaux en période estivale est souvent inférieure à 23 - 24°C. Ceci est très nettement inférieur aux rivières de plaine.

Pour autant, ces valeurs sont déjà très excessives au regard du préférendum thermique de l'espèce (4 à 19°C).

L'analyse des valeurs moyennes sur les 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque année sur la période d'étude (VMoyMoy30 – moyenne interannuelle) montre que sur les 14 stations où la truite est l'espèce repère :

- 58 % sont caractérisées par des conditions de développement très défavorables.
- 7% sont caractérisées par des conditions de développement défavorables.
- 22% sont caractérisées par des conditions de développement faiblement favorables.
- et seulement 14% par des conditions de développement favorables à plutôt favorables.

La truite est une espèce d'eau froide ne supportant pas les fortes variations de température. Le réchauffement climatique aura une importance forte sur sa répartition. A l'avenir, l'espèce devrait coloniser de moins en moins de rivière du département. Réchauffement et assèchement contraignent grandement son développement.

Ces prévisions sont aussi envisagées à l'échelle du territoire Français. Si les prédictions se confirment, l'aire de répartition de la truite en France subira une réduction drastique dans les décennies à venir (Cf Figure 6).

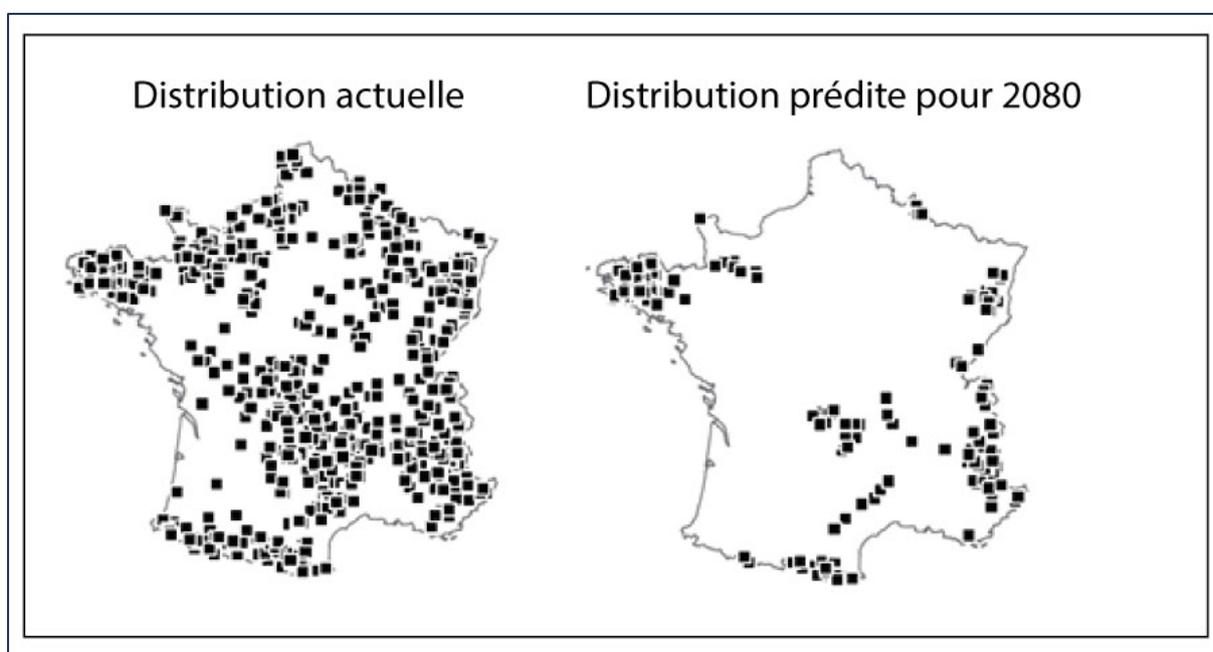


Figure 6. Distribution actuelle (1961-1990) de la truite commune et distribution prédite par Buisson et al. (2010) pour la période 2051 - 2080

Pour cette espèce, l'année 2021 a néanmoins été une année de répit. Lors de l'été 2021, de nombreuses stations ont connu un régime thermique respectant les préférendums thermiques de l'espèce.

Conditions de développement des espèces piscicoles repères sur la période 2018 à 2023 au regard du régime thermique estivale.

Conditions de développement des espèces piscicoles repères

SOR9500	Code station
TRF	Code espèce repère

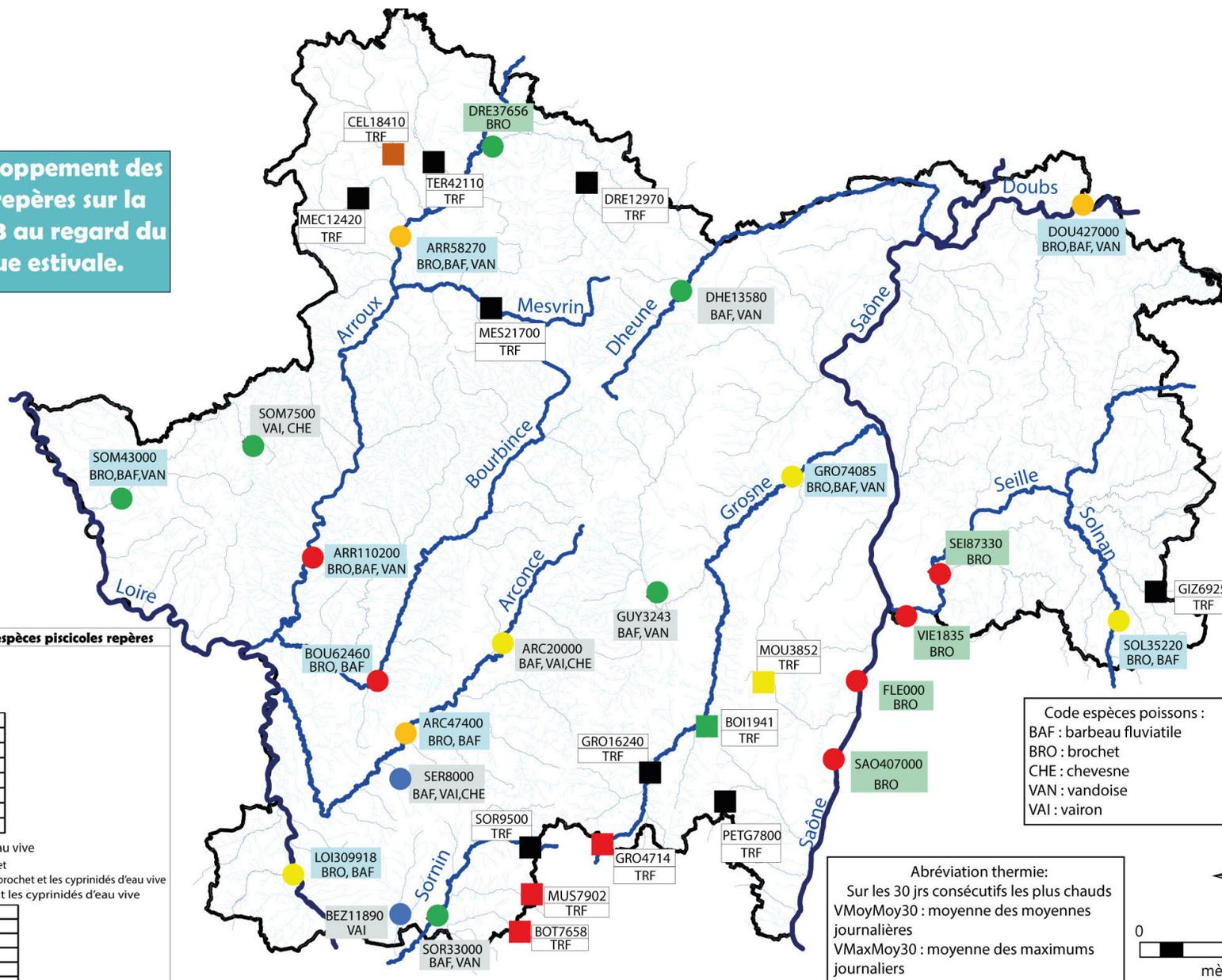
□ Pour la truite commune et le chabot

VMoyMoy30	Condition de développement
> 19°C	Très défavorable
18,5 - 19°C	Défavorable
18 - 18,5°C	Faiblement favorable
17,5 - 18°C	Moyennement favorable
17 - 17,5°C	Assez favorable
16,5 - 17°C	Favorable
< 16,5°C	Très favorable

○ Pour le brochet et les cyprinidés d'eau vive

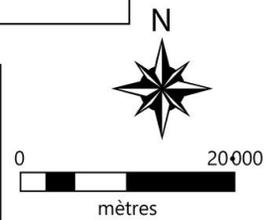
- Station où l'espèce repère est le brochet
- Station où les espèces repères sont le brochet et les cyprinidés d'eau vive
- Station où les espèces repères sont les cyprinidés d'eau vive

VMaxMoy30	Condition de développement
20 à 22°C	Très favorable
22 à 24°C	Favorable
24 à 25°C	Peu favorable
25 à 26°C	Défavorable
> 26°C	Très défavorable



Code espèces poissons :
 BAF : barbeau fluviatile
 BRO : brochet
 CHE : chevesne
 VAN : vandoise
 VAI : vairon

Abréviation thermique:
 Sur les 30 jrs consécutifs les plus chauds
 VMoyMoy30 : moyenne des moyennes journalières
 VMaxMoy30 : moyenne des maximums journaliers



Carte 5. Conditions de développement des espèces piscicoles repères sur la période 2018-2023

IV.2.2 Une situation peu rassurante pour le brochet

Le brochet est une espèce supportant des eaux plus chaudes (<24°C) que la truite. On peut supposer qu'il pourra se développer un peu plus facilement que cette dernière.

Pour autant, le suivi thermique a montré un très fort réchauffement de ses milieux de prédilection : les grandes rivières de plaine et les plans d'eau.

Dans ces milieux, les pics de températures (instantanés et moyennes journalières) dépassent fréquemment les 27 à 28°C et les moyennes des maximums journaliers sur les 30 jours consécutifs les plus chauds (VMaxmoy30) sont au-delà de 25 à 26°C.

Dans le département, il subsiste les petites rivières de plaine où le brochet peut trouver des régimes thermiques qui lui sont plus favorables. Malheureusement, l'habitat de ces rivières est plus restreint ce qui limite quelque peu le développement de l'espèce.

L'analyse des valeurs maximales sur les 30 jours consécutifs les plus chauds de chaque année sur la période d'étude (VMaxMoy30 – moyenne interannuelle) montre que sur les 14 stations où le brochet est l'une des espèces repères :

- 43 % sont caractérisées par des conditions de développement très défavorables.
- 21 % sont caractérisées par des conditions de développement défavorables.
- 22 % sont caractérisées par des conditions de développement peu favorables.
- 14 % sont caractérisées par des conditions de développement favorables (petites rivières évoquées en tête de paragraphe).

Lorsque les conditions sont défavorables ou très défavorables, le brochet est malgré tout présent. Mais ses abondances sont bien souvent faibles à très faibles (cas de la Saône et de la Seille) au regard d'autres milieux plus fonctionnels. Aussi, il subsiste dans les rivières, ainsi que dans leurs annexes hydrauliques, des refuges thermiques (eau plus froide). Dans ces secteurs particuliers, l'espèce peut trouver une zone de confort (cas des annexes hydrauliques du Doubs beaucoup plus fraîches en été que le lit de la rivière)

Comme pour la truite commune, l'année 2021 a été beaucoup plus favorable pour le brochet. Malheureusement c'est un cas un peu isolé dans la chronique des étés chauds et secs que nous connaissons depuis une dizaine d'année.

IV.2.3 Les cyprinidés rhéophiles moins menacés

Globalement les cyprinidés rhéophiles que sont le barbeau, le chevesne, le vairon, et le spirilin sont moins menacés et plus particulièrement sur les rivières moyennes de plaine. Parmi les grandes rivières courantes, la Loire offre des conditions thermiques estivales assez favorable à ces espèces ; l'Arroux un peu moins.

Les grandes rivières peu pentues et peu courantes comme la Seille et la Saône semblent beaucoup moins propices à ces espèces tant sur le plan des habitats que sur le plan de la thermie estivale.

Des espèces comme le spiralin sont observées beaucoup plus régulièrement sur les petites et moyennes rivières. Le réchauffement de ces dernières années leur offre de nouveau lieu de vie. Il est de même pour le blageon (bassin Saône- Rhône) que l'on retrouve de plus en plus en amont sur les bassins versants.



Photographie 9 :L'able spiralin : un petit cyprinidé d'eau affectionnant les eaux assez chaudes



Photographie 10 :Le blageon : une espèce d'eau vive qui vient coloniser la zone à truite suite au réchauffement climatique

IV.2.4 Les espèces d'eau chaudes favorisées sur les grands milieux d'eau calme

Sur les grandes rivières d'eau calme (Saône et Seille) et les plans d'eau, les régimes thermiques sont particulièrement favorables aux espèces d'eau chaudes que sont le black-bass, le sandre, le silure, la carpe, le carassin et le pseudorasbora.

V. CONCLUSION

Pour mieux appréhender les effets du réchauffement climatique sur la température des milieux aquatiques du département, la Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a mis en place un réseau pérenne de mesure de la température des eaux des rivières et plans d'eau. Mis en place à partir des années 2018 - 2019, le réseau compte actuellement 35 stations et s'enrichit annuellement de nouvelles stations.

Un premier bilan vient d'être dressé. Il montre à quel point les milieux aquatiques ont connu sur la période 2018, 2023 un réchauffement généralisé, et plus particulièrement lors des étés, période la plus limitante pour la faune piscicole. Au cours de cette période très chaude (2022, 2023 et 2020 sont les 3 années les plus chaudes enregistrées en France), seule l'année 2021 a été une exception. Sur la période la plus chaude de l'été (30 jours consécutifs les plus chauds), la température des eaux de l'année 2021 a été en moyenne 2,8°C plus fraîche que les autres années.

En dehors de cette année particulière, les rivières et plan d'eau du département ont été sujettes à des températures très élevées avoisinant les 30 à 32°C pour les milieux les plus chauds.

Les grandes rivières de plaine, Saône, Seille, Arroux, Doubs, Arconce et Bourbince aval ainsi que les milieux d'eau calme, comme la Gravière de Fleurville et la Vieille Seille font parties des milieux aquatiques les plus sensibles. La moyenne des températures maximales instantanées entre 2018 et 2023 atteint 29,8°C sur l'Arroux à Gueugnon, 31°C sur la Bourbince à Volesvres ou encore 29,2°C sur la Seille à Brienne. Les températures moyennes journalières maximales sont tout aussi impressionnantes. La moyenne des moyennes journalières maximales sur la période de suivi est de 28°C sur l'Arroux à Gueugnon, 27,8°C sur la Saône à Mâcon ou encore 27°C sur l'Arconce à Lungy-les-Charolles.

Les plus petites rivières de plaines sont aussi sujettes à de forts pics de chaleur, mais les valeurs moyennes sur les 30 jours consécutifs les plus chauds (des maximums journaliers ou des moyennes journalières) sont moins élevées que celles observées sur les grands milieux décrits précédemment.

Enfin, si les rivières à truite du département sont encore épargnées par les fortes températures (>25°C) en pic instantané ou sur les 30 jours consécutifs les plus chauds, la température de ces petites rivières est trop souvent supérieure à 19°C, seuil de tolérance de la truite commune.

Ainsi, la situation est inquiétante pour la truite commune, où 65% des stations de suivi en milieu salmonicole connaissent un régime thermique défavorable au bon développement de l'espèce.

Pour le brochet (préférendum thermique <24°C), la situation est aussi préoccupante sur ces milieux de prédilections : plans d'eau et grandes rivières de plaine. La Saône, la Seille, le Doubs, l'Arroux, l'Arconce et la Bourbince aval connaissent des régimes thermiques trop élevés l'été pour le bon développement de l'espèce. En ces milieux, le brochet doit pouvoir trouver des refuges thermiques plus frais pour se protéger. Sur la Loire, la situation semble plus conforme. Il en est de même pour les petites et rivières de plaines. Malheureusement, l'habitat de ces rivières est plus restreint ce qui limite quelque peu le développement de l'espèce.

Seuls les cyprinidés (barbeau fluviatile, goujon, chevesne, able spiralin,) et les espèces d'eau chaude (black-bass, sandre, carpe silure) sont épargnés à condition que les sécheresses ne restreignent pas trop fortement les débits.

Pour limiter les effets du réchauffement climatique, des solutions existent. La restauration des ripisylves, la restauration et la protection des zones humides, la plantation des haies, d'arbres, le maintien et le développement des forêts sont des pistes d'actions qui peuvent aider à lutter contre le réchauffement climatique. La mise en dérivation des plans d'eau, amplificateur des extrêmes thermiques est aussi une bonne solution à condition que les débits réservés soient respectés. Tous travaux de restauration des cours d'eau (reméandrage, recharge sédimentaire, remplacement du lit en fond de vallée, etc...) sont autant d'actions susceptibles de limiter les effets du réchauffement (thermie et débit). Enfin, au sein de nos cours d'eau, les poissons doivent pouvoir se déplacer pour rejoindre les zones de refuge thermique plus frais. Aussi la restauration de la continuité piscicole peut dans certains cas, être un excellent moyen de protéger les espèces piscicoles les plus sensibles.

Toutes ces actions sont actuellement menées par les syndicats de rivière et les collectivités au titre de la compétence GEMAPI. Il convient de poursuivre et d'encourager les efforts de restauration et de préservations des milieux aquatiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Andreasson S., 1971.** "Feeding Habits of a Sculpin (Cottus Gobio L. Pisces) Population." *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm* 51: 5–30.
- Baptist F., Poulet N., Seon-Massin N., 2014.** Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique: état des lieux et pistes pour leur adaptation.
- Baran P., 1999.** Etude de l'habitat de la truite commune (Salmo trutta L.) dans quatre cours d'eau à haute valeur patrimoniale de la Loire. ENSA de Toulouse, Equipe Environnement Aquatique, Rapport interne : 70p.
- Dorts, Jennifer, Gaël Grenouillet, Jessica Douxfils, Syaghalirwa N. M. Mandiki, Sylvain Milla, Frédéric Silvestre, and Patrick Kestemont. 2012.** "Evidence That Elevated Water Temperature Affects the Reproductive Physiology of the European Bullhead Cottus Gobio." *Fish Physiology and Biochemistry* 38 (2): 389–99. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9515-y>.
- Elliott J.M., 1981.** Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. In *Stress and fish*. A.D. Pickering Ed., pp.209-245.
- Elliott J.M., 1994.** Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press. Oxford GBR, p.286.
- Elliott, J.m., J.a. Elliott, and J.d. Allonby. 1994.** "The Critical Thermal Limits for the Stone Loach, Noemacheilus Barbatulus, from Three Populations in North-West England." *Freshwater Biology* 32 (3): 593–601. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01150.x>.
- Elliott, J.m., and J.a. Elliott. 1995.** "The Critical Thermal Limits for the Bullhead, Cottus Gobio, from Three Populations in North-West England." *Freshwater Biology* 33 (3): 411–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1995.tb00403.x>.
- Elliott, J. M. & Hurley, M. A. (1998a).** An individual-based model for predicting the emergence period of sea trout fry in a Lake District stream. *Journal of Fish Biology* 53, 414–433. doi: 10.1111/j.1095-8649.1998.tb00990.x
- Elliott, J. M. & Hurley, M. A. (1998b).** Predicting fluctuations in the size of newly emerged sea-trout fry in a Lake District stream. *Journal of Fish Biology* 53, 1120–1133. doi: 10.1111/j.1095-8649.1998.tb00468.x
- Faure J.P & Grès P., 2008.** Etude piscicole et astacicole préalable au contrat de rivières Rhins, Rhodon et Trambouzan (département 42 et 69) – 102p.
- Keith P., Poulet N., Denys G., Changeux T., Feunteun E. & Persat H. (coords), 2020** – Les poissons d'eau douce de France. 2nd Editions, Mèze ; Muséum national d'Histoire Naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 704p.

Portner H. O., Peck L., Somero G., 2007. Thermal limits and adaptation in marine Antarctic ectotherms : an integrative view. *Philos. Trans. R Soc. Lond.B.Biol Sci.*, 362 (1488), 2233—2258.

Tissot, L., and Y. Souchon. 2010. “Synthèse Des Tolérances Thermiques Des Principales Espèces de Poissons Des Rivières Et Fleuves de Plaine de l'ouest Européen.” *Hydroécologie Appliquée* 17: 60. <https://doi.org/10.1051/hydro/2010004>.

Verneaux J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Mémoire : 258p.

Verneaux J., (1976a). Biotypologie de l'écosystème eaux courantes, La structure biotypologique, Note, CR Acad., Sc., Paris, t 283, série D1663, 5 pages.

Verneaux J., (1976b). Biotypologie de l'écosystème « eaux courantes », Les groupements socio-écologiques, Note, CR Acad., Sc., Paris, t 283, série D1791, 4 pages.

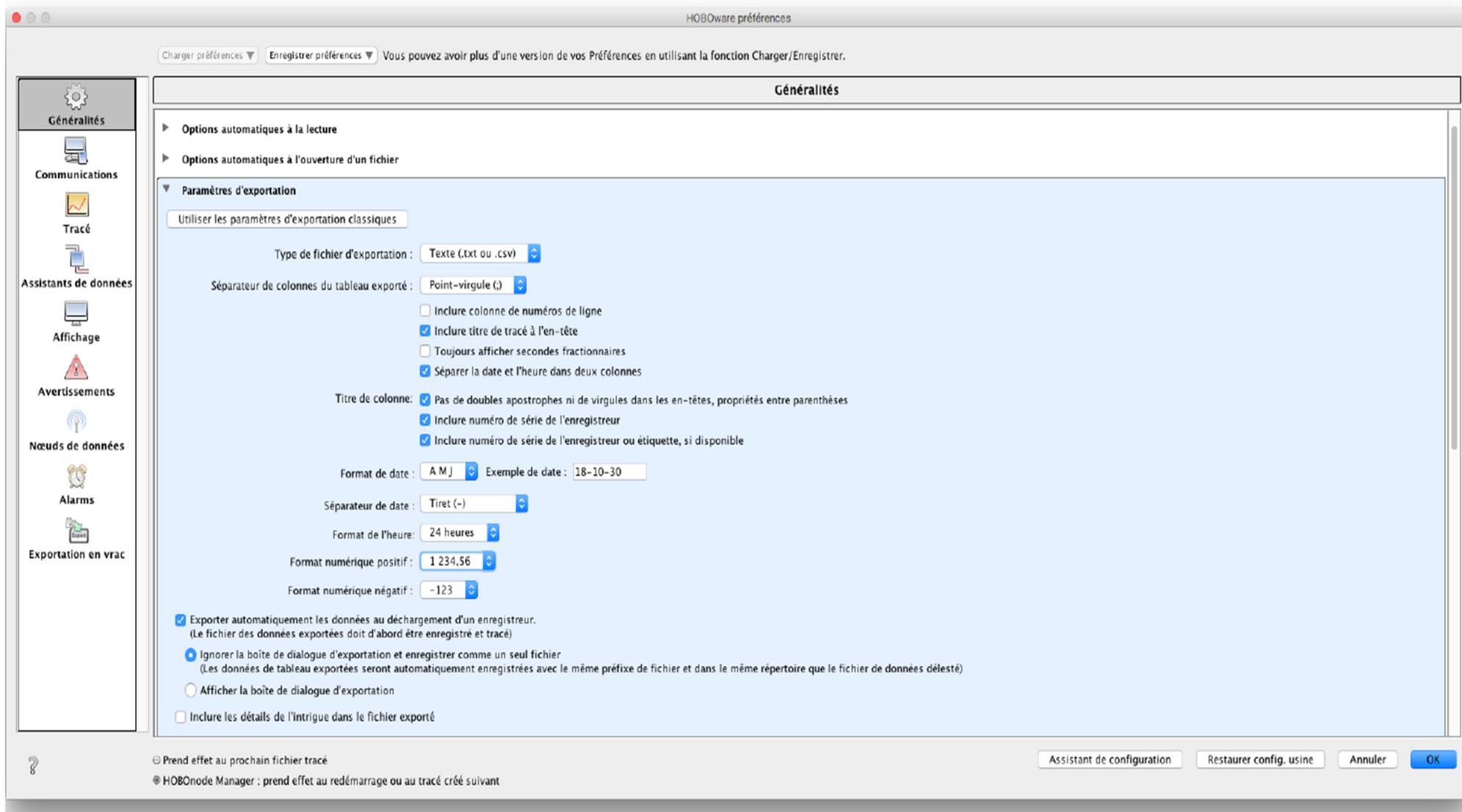
ANNEXE 1 : CHAMPS DESCRIPTIFS DES STATIONS DU RESEAU

- chsta_coderhj : code d'identification de la station propre au Réseau départemental.
- chsta_codemo : code d'identification de la station propre à chaque maître d'ouvrage
- chsta_codesie : si la station possède un code dans le SIE de l'AERMC
- chsta_mo : Nom du maître d'ouvrage : "OFB," "_CR_rivière," "CD39_RDM," "DREAL," "FJPPMA," "CD 71", etc...
- chsta_milieu : Nom de l'écosystème (cours d'eau ou plan d'eau)
- chsta_coord_x et chsta_coord_y : Coordonnées précises de la sonde en **Lambert 93**
- chsta_fonctionnement : "En cours" ou "Arrêté"
- chsta_transmission : "Oui" si télétransmission, sinon "Non"
- chsta_suivithermie : "Oui"
- chsta_reseauthermietype : "Patrimonial" ou "Opérationnel"
- chsta_suivipiezo : "Non"
- chsta_suivihydro : "Non"
- chsta_suivio2 : "Non"
- chsta_suivipluvio : "Non"
- chsta_largeurlitmineur : largeur du lit mineur, en mètres
- chsta_largeurlitetiage : largeur du lit d'étiage, en mètres
- chsta_rive : rive d'ancrage de la sonde (RD, RG)
- chsta_ancrage : support d'ancrage de la sonde
- chsta_acces : modalités d'accès au secteur
- chsta_detailsloc : détails de localisation
- chsta_description : description du dispositif, si nécessaire
- chsta_ordretournee : position dans l'ordre de la tournée de relève du maître d'ouvrage, si nécessaire
- chsta_impacts : présence d'impacts potentiels sur la thermie (étang/seuil à l'amont, etc.)
- chsta_profsonde : profondeur d'eau sous la sonde à l'étiage, en mètres
- chsta_substrats : substrat en présence sous la sonde (FIN, GAL, GRA, etc.)
- chsta_distberge : distance à la berge, en mètres
- chsta_ombrage : importance relative de l'ombrage à l'endroit où la sonde a été placée : TF = Très Faible ; F = Faible ; M = Moyen ; I = Important ; TI = Très Important
- chsta_facies : faciès d'écoulement dans lequel la sonde a été placée : RAD = radier/rapide ; PLC= plat courant ; PLT = plat lent ; CHELOT = chenal lotique ; CHELENT = chenal lentique ; MOU = mouille/fosse
- chsta_numphoto : Nom du fichier de la photographie de l'emplacement de la sonde, annoté si besoin
- chsta_zcapteur : **Laisser vide**
- chsta_zbouchon : **Laisser vide**
- chsta_typez : **Laisser vide**
- chsta_hcapteurbouchon : **Laisser vide**
- chsta_remarques : éventuelles remarques sur la station

ANNEXE 2 : CHAMPS DESCRIPTIFS DU SUIVI DE TERRAIN DES SONDÉS

- chsvi_mo : Nom du maître d'ouvrage
- chsvi_operateurs : nom des opérateurs le jour de l'intervention
- chsvi_coderhj : code de la station fourni dans le réseau. Pas d'espace : tous les caractères doivent être accolés.
- chsvi_date : date de l'intervention, format 2015-10-07 pour le 7 octobre 2015
- chsvi_heure : heure d'intervention, format 09:35:00
- chsvi_capteur : numéro du capteur
- chsvi_valeur : température relevée avec un thermomètre manuel
- chsvi_profondeur : hauteur d'eau entre la surface et la sonde au moment de la relève, en mètres
- chsvi_action : Relève, Pose, Dépose, Disparue (**si on effectue un remplacement, saisir deux lignes pour la même station** : une en dépose avec le numéro du capteur enlevé, une en pose avec le numéro du capteur remis en place, avec les mêmes dates, heures et autres paramètres). Dans le cas d'une **sonde disparue**, bien compléter le numéro de sonde en allant **vérifier celui noté lors de la dernière relève**.
- chsvi_fonctionnement : si l'opération s'est bien déroulée ou non
- chsvi_remarques : si des points complémentaires sont à noter
- chsvi_actionnaire : opérations à effectuer lors du prochain passage.

ANNEXE 3 : PARAMETRAGE DU LOGICIEL HOBOWARE PRO



ANNEXE 4 : DEFINITION DES ACRONYMES

Tableau 3.1: Définition des différents acronymes utilisés

Abréviation	Définition
Typemesure	Type de mesures de chroniques
DateDPeriode	Date de Début de la Période traitée
DateFPeriode	Date de Fin de la Période traitée
IntervalleMax	Intervalle de temps calculé entre DateDPeriode et DateFPeriode (en jours)
NbJpasOk	Nombre de Jours incomplets
NbJOK	Nombre de Jours complets
VMinI	Valeur Minimale Instantanée
dureeTotale	Cohérence de la durée totale
VMedI	Valeur Médiane Instantanée
VMoyI	Valeur Moyenne Instantanée
VMaxI	Valeur Maximale Instantanée
VAmplI	Valeur de l'Amplitude Instantanée
VarI	Variance des valeurs Instantanées
NMesuresI	Nombre de mesures Instantanées
VMoyJMinPer	Valeur Moyenne Journalière Minimale de la Période traitée
DateVMoyJMinPer	Date de la Valeur Moyenne Journalière Minimale de la Période traitée

Tableau 3.1: Définition des différents acronymes utilisés

Abréviation	Définition
VMoyJMedPer	Valeur Moyenne Journalière Médiane de la Période traitée
VMoyJMoyPer	Valeur Moyenne Journalière Moyenne de la Période traitée
VMoyJMaxPer	Valeur Moyenne Journalière Maximale de la Période traitée
DateVMoyJMaxPer	Date de la Valeur Moyenne Journalière Minimale de la Période traitée
AmplitudeVMoyJPer	Valeur de l'Amplitude des Moyennes Journalières de la Période traitée
VarVMoyJ	Valeur de la Variance des Moyennes Journalières de la Période traitée
DateMoyVMaxMoy24H	Date (arrondie) de la Valeur Maximale Moyenne des 24 mesures instantanées les plus hautes
DateFinVMaxMoy7J	Date de Fin la Période de la Valeur Maximale Moyenne des 7 jours les plus hauts
NbJ	Nombre de Jours calendaires différents de la période traitée
VMaxMoy7J	Valeur Maximale Moyenne des 7 jours les plus hauts
DateDebutVMaxMoy7J	Date de Début la Période de la Valeur Maximale Moyenne des 7 jours les plus hauts
VMaxMoy30J	Valeur Maximale Moyenne des 30 jours les plus hauts
VMaxMoy24H	Valeur Maximale Moyenne des 24 mesures instantanées les plus hautes

Tableau 3.1: Définition des différents acronymes utilisés

Abréviation	Définition
DateDebutVMaxMoy30J	Date de Début la Période de la Valeur Maximale Moyenne des 30 jours les plus hauts
DateFinVMaxMoy30J	Date de Fin la Période de la Valeur Maximale Moyenne des 30 jours les plus hauts
VMinAB	Valeur Minimale pour l'Année Biologique traitée
DateVMinAB	Date de la Valeur Minimale pour l'Année Biologique traitée
VMaxAB	Valeur Maximale pour l'Année Biologique traitée
DateVMaxAB	Date de la Valeur Minimale pour l'Année Biologique traitée
Percentile10AB	Percentile 10 de l'Année Biologique traitée
Percentile25AB	Percentile 25 de l'Année Biologique traitée
Percentile50AB	Percentile 50 de l'Année Biologique traitée
Percentile75AB	Percentile 75 de l'Année Biologique traitée
Percentile90AB	Percentile 90 de l'Année Biologique traitée
Percentile90diurneAB	Percentile 90 des valeurs diurnes (08:00 à 18:00 inclus) de l'Année Biologique traitée
DureeMaxEpisodesSupN	Durée Maximale des Épisodes de valeurs consécutives Supérieures à N
DateDEpisodesSupN	Date de Début de l'Épisode le plus long et le plus tardif de valeurs consécutives Supérieures à N
DateFEpisodesSupN	Date de Fin de l'Épisode le plus long et le plus tardif de valeurs consécutives Supérieures à N

Tableau 3.1: Définition des différents acronymes utilisés

Abréviation	Définition
NbJEpisodesSup	Nombre de Jours présentant au moins un Épisode de valeurs consécutives Supérieures à N
NbEpisodesSupN	Nombre d'Épisodes de valeurs consécutives Supérieures à N
AnneeVMM	Année de la VMaxMoy30J
VMoyMoy30J	Valeur Moyenne Moyenne des 30 jours les plus hauts
DureeEpisodesSupN	Durée totale des Épisodes de valeurs consécutives Supérieures à N
RSTMAJ	Réseau de Suivi de la Température des Milieux Aquatiques du Jura
VMoyMoy30	Température Maximale Moyenne des 30 jours les plus chauds

ANNEXE 5 : TEMPERATURES MAXIMALES INSTANTANÉES

Station	Nom	Températures maximales instantanées								
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	Moy interannuelle	Min	Max
VIE1835	La Vieille Seille à Sermoyer		32,5	31,6		30,5	31,6	31,6	30,5	32,5
BOU62460	La Bourbince à Volessvres		31,8			29,9	31,3	31,0	29,9	31,8
FLE000	LA Gravière de Fleurville à Fleurville			30,2	28,6	31,1	32,8	30,7	28,6	32,8
ARR110200	L'Arroux à Gueugnon		31,7	28,5	28,3		30,7	29,8	28,3	31,7
SEI87330	La Seille à Brienne		30,3	28,9	27,3	30,2	29,5	29,2	27,3	30,3
SAO407000	La Saône à Mâcon				26,1	30,5	30,9	29,2	26,1	30,9
ARC47400	L'Arconce à Lugny-les-Charolles		30,8		27,2		29,1	29,0	27,2	30,8
ARR58270	L'Arroux à Laizy	29,1	29,7	28,6		28	29,6	29,0	28	29,7
MES21700	Le Mesvrin à Saint Symphorien de Marmagne	29,6	30,2	29,5	25,3	28,9	30,5	29,0	25,3	30,5
DOU427000	Le Doubs à Lay-sur-le-Doubs						28,5	28,5	28,5	28,5
SOM7500	La Somme à Issy-l'Evêque						28,3	28,3	28,3	28,3
DRE12970	La Drée à Epinac		27	29		28	28	28,0	27	29
GRO74085	La Grosne à Lalheue			27,1	27,9		28,1	27,7	27,1	28,1
SOM45600	La Somme à Bourbon-Lancy						27,7	27,7	27,7	27,7
GRO16240	La Grosne à Navour-sur-Grosne		27,2				27,9	27,6	27,2	27,9
ARC20000	L'Arconce à Viry					26,9	28	27,5	26,9	28
LOI309918	La Loire à Artaix		28,1		25,5	27,3	28,1	27,3	25,5	28,1
SEI87330p	La Seille à Brienne (2,5 m profondeur)		28,3	27,4	25,3	27,5		27,1	25,3	28,3
GUY32430	La Guye à SAILLY	29,5	26,7	30,4	24,1	24,3	25,8	26,8	24,1	30,4
SOR33000	Le Sornin à Saint Edmond			27,4	24,2	27	27,9	26,6	24,2	27,9
SOL35220	Le Solnan à Dommartin les Cuiseaux	26,9	27,4	26,5	25,3	26,4	27	26,6	25,3	27,4
DRE37656	La Drée à Dracy-Saint-Loup		27,6	25,9	25,5	25,9	26,8	26,3	25,5	27,6
DHE13580	La Dheune à Saint-Léger-sur-Dheune		26,7			25,1	26,4	26,1	25,1	26,7
GIZ6925	La Gizia au Miroir		26,3	25,3		25,3	26,3	25,8	25,3	26,3
TER42110	Le Termin à Tavernay		26,8		24,5	24,9	25,1	25,3	24,5	26,8
SOR9500	Le Sornin à Saint Racho			24,3	23,8	24,6	26,4	24,8	23,8	26,4
GRO4714	La Grosne à Saint-Bonnet-des Bruyères				23,3	24,4	25,9	24,5	23,3	25,9
MEC12420	Le Méchet à la Grande Verrière	24				23,3	25,3	24,2	23,3	25,3
PETG7800	La Petite Grosne à Serrières					23,4	24,9	24,2	23,4	24,9
SER8000	Le Sermaize à Oyé					22,4	24,4	23,4	22,4	24,4
BOT7658	Le Botoret à Chauffailles	23,2	24,4	23	21,4		24,4	23,3	21,4	24,4
BEZ11890	Le Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray			22,7		22,6	23,4	22,9	22,6	23,4
MUS7902	Le Mussy à Anglure-sous-Dun	22,5	23,3			22,1	23,4	22,8	22,1	23,4
CEL18410	La Celle à la Celle-en-Morvan	23,5	23,5	22,7	20,8	22,1	24,2	22,8	20,8	24,2
MOU3852	La Mouge à Azé		22,1	20,8	19,9	21,5	22,9	21,4	19,9	22,9
BOI1941	Le ruisseau du Bois Clair à Sologny	21,2	20,8	20,9		20,1	22,9	21,2	20,1	22,9

ANNEXE 6 : TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES MAXIMALES

Station	Nom	Moyennes journalières les plus hautes								
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	Moy interannuelle	Min	Max
VIE1835	La Vieille Seille à Sermoyer		30,2	29,2		28,2	29,4	29,3	28,2	30,2
FLE000	LA Gravière de Fleurville à Fleurville			28,2	26,7	28,7	30,1	28,4	26,7	30,1
ARR110200	L'Arroux à Gueugnon		29,6	26,9	26,3		29	28,0	26,3	29,6
SAO407000	La Saône à Mâcon				25,5	29	28,9	27,8	25,5	29
SEI87330	La Seille à Brienne		28,7	27,2	25	27,9	28,3	27,4	25	28,7
DOU427000	Le Doubs à Lay-sur-le-Doubs						27,2	27,2	27,2	27,2
BOU62460	La Bourbince à Volesvres		27,6			26,1	27,5	27,1	26,1	27,6
ARC47400	L'Arconce à Lugny-les-Charolles		27,9		25,3		27,7	27,0	25,3	27,9
ARR58270	L'Arroux à Laizy	27,1	27,2	26,5		25,4	27,1	26,7	25,4	27,2
SEI87330p	La Seille à Brienne (2,5 m profondeur)		27,6	26,8	24,7	26,9		26,5	24,7	27,6
GRO74085	La Grosne à Lalheue			25,8	26,3		27,3	26,5	25,8	27,3
LOI309918	La Loire à Artaix		26,6		24,1	26	27	25,9	24,1	27
SOL35220	Le Solnan à Dommartin les Cuiseaux	25,8	26,6	25,2	24,5	25,3	25,9	25,6	24,5	26,6
SOM45600	La Somme à Bourbon-Lancy						25,5	25,5	25,5	25,5
DRE37656	La Drée à Dracy-Saint-Loup		25,5	24	24,1	24,5	25,5	24,7	24	25,5
DHE13580	La Dheune à Saint-Léger-sur-Dheune		25,1			23,8	25,2	24,7	23,8	25,2
SOM7500	La Somme à Issy-l'Evêque						24,5	24,5	24,5	24,5
GRO16240	La Grosne à Navour-sur-Grosne		24,1				24,8	24,5	24,1	24,8
MES21700	Le Mesvrin à Saint Symphorien de Marmagne	25,1	25,4	24,5	22,3	23,1	26,1	24,4	22,3	26,1
SOR33000	Le Sornin à Saint Edmond			24,9	22,6	24,3	25,5	24,3	22,6	25,5
ARC20000	L'Arconce à Viry					23,5	24,7	24,1	23,5	24,7
GUY32430	La Guye à SAILLY	25,2	24,3	24,4	22,7	23,2	24,6	24,1	22,7	25,2
GIZ6925	La Gizia au Miroir		24,5	23,5		23,4	24,3	23,9	23,4	24,5
DRE12970	La Drée à Epinac		23,4	24,1		23,3	24	23,7	23,3	24,1
TER42110	Le Ternin à Tavernay		24,5		22,4	23,2	24,6	23,7	22,4	24,6
SOR9500	Le Sornin à Saint Racho			22,5	21,5	22,7	24,2	22,7	21,5	24,2
MEC12420	Le Méchet à la Grande Verrière	22,4				21,2	23	22,2	21,2	23
PETG7800	La Petite Grosne à Serrières					21,5	22,5	22,0	21,5	22,5
SER8000	Le Sermaize à Oyé					20,8	22,9	21,9	20,8	22,9
CEL18410	La Celle à la Celle-en-Morvan	22,3	22,1	21,8	20	21	22,8	21,7	20	22,8
BEZ11890	Le Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray			21,2		21,1	22,2	21,5	21,1	22,2
GRO4714	La Grosne à Saint-Bonnet-des Bruyères				20,3	21,2	22,4	21,3	20,3	22,4
BOT7658	Le Botoret à Chauffailles	21,5	22	20,9	19,5		22,3	21,2	19,5	22,3
MUS7902	Le Mussy à Anglure-sous-Dun	20,8	21,1			20,4	21,5	21,0	20,4	21,5
MOU3852	La Mouge à Azé		20,2	19,5	18,2	20	20,9	19,8	18,2	20,9
BOI1941	Le ruisseau du Bois Clair à Sologny	19,1	18,4	18,6		18,1	19	18,6	18,1	19,1

**ANNEXE 7 : MOYENNES DES MAXIMUMS JOURNALIERS SUR LES 30 JOURS
CONSECUTIFS LES PLUS CHAUDS**

Station	Nom	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Moy interannuelle	Min	Max
VIE1835	La Vieille Seille à Sermoyer		29,3	28,8		28,1	28,3	28,6	28,1	29,3
FLE000	LA Gravière de Fleurville à Fleurville			28,5	25,4	29,2	28,3	27,9	25,4	29,2
BOU62460	La Bourbince à Volesvres		28,4			27,4	26,9	27,6	26,9	28,4
SEI87330	La Seille à Brienne		27,7	27,2	23,9	28,2	26,3	26,7	23,9	28,2
SAO407000	La Saône à Mâcon				23,9	28,4	27,6	26,6	23,9	28,4
ARR110200	L'Arroux à Gueugnon		28,7	26,7	23,4		26,5	26,3	23,4	28,7
ARR58270	L'Arroux à Laizy	26,1	26,2	26		25,4	25	25,7	25	26,2
SEI87330p	La Seille à Brienne (2,5 m profondeur)		26,6	26,1	23,6	26,6		25,7	23,6	26,6
DOU427000	Le Doubs à Lay-sur-le-Doubs						25,7	25,7	25,7	25,7
ARC47400	L'Arconce à Lugny-les-charolles		27,4		22,5		25,9	25,3	22,5	27,4
MES21700	Le Mesvrin à Saint Symphorien de Marmagne	25,9	27,1	26	21,1	26,3	24,8	25,2	21,1	27,1
DRE12970	La Drée à Epinac		23,8	25,8		25,2	24	24,7	23,8	25,8
GRO74085	La Grosne à Lalheue			25,2	23		25,7	24,6	23	25,7
LOI309918	La Loire à Artaix		24,8		22,5	25,2	25,1	24,4	22,5	25,2
SOL35220	Le Solnan à Dommartin les Cuiseaux	24,6	24,6	24,1	22,3	25	23,6	24,0	22,3	25
SOM7500	La Somme à Issy-l'Evêque						23,8	23,8	23,8	23,8
ARC20000	L'Arconce à Viry					24,1	23,2	23,7	23,2	24,1
DHE13580	La Dheune à Saint-Léger-sur-Dheune		24,2			23,6	23	23,6	23	24,2
SOM45600	La Somme à Bourbon-Lancy						23,4	23,4	23,4	23,4
GRO16240	La Grosne à Navour-sur-Grosne		23,9				22,8	23,4	22,8	23,9
SOR33000	Le Sornin à Saint Edmond			24,5	20,1	24,8	23,6	23,3	20,1	24,8
GUY32430	La Guye à SAILLY	24,3	23,2	26	20	22,5	22,3	23,1	20	26
DRE37656	La Drée à Dracy-Saint-Loup		24,1	23,1	21,5	23,4	22,7	23,0	21,5	24,1
GIZ6925	La Gizia au Miroir		22,7	22,4		23,5	22,8	22,9	22,4	23,5
TER42110	Le Ternin à Tavernay		23,2		19,6	22,7	22,1	21,9	19,6	23,2
SOR9500	Le Sornin à Saint Racho			21,8	19,8	22,3	22,5	21,6	19,8	22,5
MEC12420	Le Méchet à la Grande Verrière	21,4				21,6	21,4	21,5	21,4	21,6
PETG7800	La Petite Grosne à Serrières					21,5	21,3	21,4	21,3	21,5
GRO4714	La Grosne à Saint-Bonnet-des Bruyères				19,3	22,2	21,8	21,1	19,3	22,2
SER8000	Le Sermaize à Oyé					20,6	21,1	20,9	20,6	21,1
BEZ11890	Le Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray			20,7		20,1	20,1	20,3	20,1	20,7
BOT7658	Le Botoret à Chauffailles	20,6	21,5	20,5	17,8		20,8	20,2	17,8	21,5
MUS7902	Le Mussy à Anglure-sous-Dun	19,9	20,6			20,1	20	20,2	19,9	20,6
CEL18410	La Celle à la Celle-en-Morvan	20,8	20,7	20,5	17,5	20,3	20,7	20,1	17,5	20,8
MOU3852	La Mouge à Azé		19,4	19,4	17	20,1	19,9	19,2	17	20,1
BOI1941	Le ruisseau du Bois Clair à Sologny	18,7	18,1	18,8		18,6	18,7	18,6	18,1	18,8

ANNEXE 8 : MOYENNES DES MOYENNES JOURNALIERES MAXIMALES SUR LES 30 JOURS CONSECUTIFS LES PLUS CHAUDS

Station	Nom	Moyennes des moyennes journalières maximales sur les 30 jours les plus chauds								
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	Moy interannuelle	Min	Max
ARC20000	L'Arconce à Viry					21,3	20,9	21,1	20,9	21,3
ARC47400	L'Arconce à Lugny-les-Charolles		25,2		21,1		24,5	23,6	21,1	25,2
ARR110200	L'Arroux à Gueugnon		26,8	25,2	22,0		25,3	24,8	22,0	26,8
ARR58270	L'Arroux à Laizy	23,8	23,8	24,0		23,2	22,6	23,5	22,6	24,0
BEZ11890	Le Bézo à Saint-Bonnet-de-Cray			19,3		18,8	19,1	19,1	18,8	19,3
BOI1941	Le ruisseau du Bois Clair à Sologny	17,1	16,6	17,0		16,8	17,0	16,9	16,6	17,1
BOT7658	Le Botoret à Chauffailles	18,9	19,4	18,7	16,0		18,9	18,4	16,0	19,4
BOU62460	La Bourbince à Volesvres		24,9			24,4	24,1	24,4	24,1	24,9
CEL18410	La Celle à la Celle-en-Morvan	19,5	19,3	19,3	16,4	19,1	19,5	18,8	16,4	19,5
DHE13580	La Dheune à Saint-Léger-sur-Dheune		22,7			22,2	21,8	22,3	21,8	22,7
DOU427000	Le Doubs à Lay-sur-le-Doubs						24,4	24,4	24,4	24,4
DRE12970	La Drée à Epinac		20,8	21,3		20,8	20,1	20,8	20,1	21,3
DRE37656	La Drée à Dracy-Saint-Loup		22,4	21,6	20,1	21,9	21,4	21,5	20,1	22,4
FLE000	LA Gravière de Fleurville à Fleurville			27,1	24,2	27,3	26,9	26,4	24,2	27,3
GIZ6925	La Gizia au Miroir		21,5	20,8		21,7	21,1	21,3	20,8	21,7
GRO16240	La Grosne à Navour-sur-Grosne		21,4				20,4	20,9	20,4	21,4
GRO4714	La Grosne à Saint-Bonnet-des-Bruyères				16,8	19,3	19,0	18,4	16,8	19,3
GRO74085	La Grosne à Lalheue			24,2	22,1		24,6	23,6	22,1	24,6
GUY32430	La Guye à Sailly	21,5	21,4	20,9	18,9	21,1	21,0	20,8	18,9	21,5
LOI309918	La Loire à Artaix		23,5		21,3	24,0	24,0	23,2	21,3	24,0
MEC12420	Le Méchet à la Grande Verrière	19,7				19,3	19,5	19,5	19,3	19,7
MES21700	Le Mesvrin à Saint-Symphorien de Marmagne	21,8	22,4	22,1	18,6	21,8	21,2	21,3	18,6	22,4
MOU3852	La Mouge à Azé		17,9	18,0	15,8	18,4	18,3	17,7	15,8	18,4
MUS7902	Le Mussy à Anglure-sous-Dun	18,4	18,6			18,1	18,3	18,4	18,1	18,6
PETG7800	La Petite Grosne à Serrières					19,3	19,4	19,4	19,3	19,4
SAO407000	La Saône à Mâcon				23,1	27,3	26,6	25,7	23,1	27,3
SEI87330	La Seille à Brienne		26,5	25,9	23,1	26,7	25,6	25,6	23,1	26,7
SEI87330p	La Seille à Brienne (2,5 m profondeur)		26,1	25,6	23,0	26,1		25,2	23,0	26,1
SER8000	Le Sermaize à Oyé					19,1	19,8	19,5	19,1	19,8
SOL35220	Le Solnan à Dommartin les Cuiseaux	23,8	23,7	23,2	21,3	24,0	22,8	23,1	21,3	24,0
SOM7500	La Somme à Issy-l'Evêque						21,2	21,2	21,2	21,2
SOM45600	La Somme à Bourbon-Lancy						21,7	21,7	21,7	21,7
SOR33000	Le Sornin à Saint-Edmond			22,5	18,8	22,4	21,4	21,3	18,8	22,5
SOR9500	Le Sornin à Saint-Racho			20,1	17,6	20,4	20,3	19,6	17,6	20,4
TER42110	Le Ternin à Tavernay		21,6		18,1	21,1	20,9	20,4	18,1	21,6
VIE1835	La Vieille Seille à Sermoyer		27,4	27,0		26,8	26,8	27,0	26,8	27,4

ANNEXE 9 : GAMME DE DEVELOPPEMENT DES ESPECES PISCICOLES
Tissot and Souchon (2010)

Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons

43

Tableau III. Gamme des températures optimales et limite supérieure de la gamme de résistance pour chaque espèce.

Table III. Optimum temperature range and upper limit of the resistance temperature range for each species.

	Embryon			Larve			Juvénile			Adulte			Reproduction	
	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	MAX									
BLN							13	15		10	18	27	12	15
TOX				14	18					16	25		9	14
HOT	10	17	20	15	25	28	15	25		15	24		8	14
GOU	16	20					7	27		7	30	36	12	17
CHE	16	24	30	14	25		14	25	30	14	24	30	15	20
VAN	7	15	25	16	25		12	25		10	25	32	7	12
SPI				19	24		12	24		12	24	27	14	21
BAF	16	21		15	19	24	13	24	32	10	24	32	13	20
BOU										12	30	37	15	21
GAR	12	24	26				7	21	30	12	25	31	10	18
ABL	21	27	31							20	30	35	15	28
BRE	12	23	28				14	28	34	10	26	35	12	20
BRB										16	25		15	25
PER	12	18	21	12	25	34	10	25	32	16	27	33	8	15
GRE	9	21	24	25	30		7	25	30	15	25	31	6	18
SAN	12	20	25	14	23	31	27	30	34	27	30	35	6	20
BRO	8	14	23	12	21	28	19	21	31	10	24	31	8	15
PES							13	28	30	12	30	35	13	25
SIL										12	28	32	20	25

Italique : donnée sans référence associée (issue du stade précédent ou estimée) / *italics*: data without associated reference (derived from precedent stage or estimated)

Opt. min et max : limites de la gamme optimale / optimal range limits

MAX : limite supérieure de la zone de résistance / upper limit of the resistance range

Quand cela était possible, nous avons privilégié le recours à des données sources. Nous avons également recueilli des données issues de compilations existantes (Alabaster & Lloyd, 1982; Hokanson, 1977; Küttel *et al.*, 2002; Mann, 1996; Teletchea *et al.*, 2008).

Dans le cas des observations *in situ*, différentes températures tolérées pour une même espèce ou pour un même

stade peuvent être mentionnées. Cela peut s'expliquer soit par des différences géographiques de régime thermique (par exemple Kottelat & Freyhof, 2007 indiquent que la Grémille se reproduit dès 6 °C au nord de l'Europe et plutôt à partir de 10 °C au sud), soit par la plasticité des espèces. On sait qu'il existe une variation phénotypique naturelle de tolérance thermique (Schaefer & Ryan, 2006), mais