



SUIVI THERMIQUE DES EAUX DU DEPARTEMENT DU HAUT-RHIN : 2021



Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

47, rue de la commanderie - 68500 GUEBWILLER
03.89.60.64.74 - www.peche68.fr - contact@peche68.fr

Rédaction : Sophie LOUIS, chargée de projets

Dossier suivi par : Y. NAMOKEL, Responsable Technique

Contact : responsable.technique@peche68.fr

Partenaires financiers :



Partenaires techniques :



Référence à citer :

LOUIS S., Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021. Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA68). 159p.

Résumé

La physico-chimie des rivières fait partie des facteurs structurant les écosystèmes aquatiques. Les nutriments comme les nitrates, nitrites, phosphates mais aussi des paramètres comme l'oxygène dissous ou encore la **température des eaux**. Cette dernière a un impact particulièrement fort sur les cycles biologiques de l'ichtyofaune. C'est elle qui joue un rôle essentiel dans le déclenchement de certains comportements, comme la reproduction mais aussi dans la répartition des populations. En effet, chaque espèce possède un **preferendum thermique**, soit une plage de température à laquelle les individus sont en situation de confort pour se développer, se nourrir et se reproduire. Au-delà et en deçà de cette gamme, les espèces subissent un stress, voire une mortalité sur certains de leur stade de vie.

Dans un contexte de changement climatique global, la Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a installé, depuis 2012, un réseau de sondes thermiques sur les 9 cours d'eau principaux du département :

- La Liepvrette ;
- La Weiss ;
- La Fecht ;
- La Lauch ;
- La Thur ;
- La Doller ;
- La Largue ;
- L'Ill ;
- Le Vieux-Rhin.

Les objectifs sont multiples avec une **contribution à la connaissance** du fonctionnement des cours d'eau, une **mise en valeur des impacts** directs ou indirects présents sur les bassins, une **détermination des zones propices aux développements des espèces dites « cibles »** et une **approche de l'impact du changement climatique** sur la qualité des eaux et les peuplements piscicoles.

L'année 2021 a connu une période estivale temporisée par les pluies de juillet. Les populations de Truite fario, espèce repère des eaux de 1^{ère} catégorie piscicole ont tout de même subi des périodes de stress mais moins intense que certaines années. Un classement des cours d'eau haut-rhinois, du plus favorable au plus défavorable a pu être dressé : Liepvrette – Fecht – Ill (amont) – Largue – Weiss – Doller – Thur – Ill (intermédiaire et aval) – Lauch – Rhin. Mais chaque cours d'eau présente néanmoins ses spécificités pouvant influer ou non les profils thermiques mesurés.

Chiffres clés

- ◆ 118 sondes installées en 2021
- ◆ 9 cours d'eau étudiés de janvier à décembre 2021
- ◆ Preferendum thermique de la Truite fario, espèce repère de la 1^{ère} catégorie piscicole : 4 – 17°C
- ◆ Preferendum thermique du Brochet, espèce repère de la 2^{nde} catégorie piscicole : 10 – 24°C
7 cours d'eau sur 9 sont favorables plus de 80% de l'année 2021 à la Truite fario (températures moyennes comprises entre 4 et 17°C)
- ◆ 1 cours d'eau sur 9 a atteint le seuil léthal des 25°C en température maximale instantanée en 2021 (le Rhin)

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
II. OBJECTIFS	2
III. CONTEXTE	2
IV. MATERIELS ET METHODE	3
1. Généralités	3
2. Matériel utilisé.....	3
3. Protocole	4
a) Fixation	4
b) Paramétrage	5
c) Déchargements des données et entretien	5
4. Localisation des stations.....	5
5. Analyse des données et variables calculées.....	6
6. Optimum et préférendum thermique des espèces.....	8
a) Préférendum thermique de la truite fario (contexte salmonicole)	8
b) Préférendum du Brochet (contexte eso-cyprinicole)	9
V. RESULTATS	11
1. Le bassin de la Liepvrette	11
a) Présentation des températures moyennes journalières	12
b) Présentation des 30 jours les plus chauds	13
c) Répartition des températures en fonction du préférendum thermique des espèces repères.....	14
d) Bilan thermique pour la Liepvrette	15
2. Bassin de la Weiss	16
a) Présentation des températures moyennes journalières	17
b) Présentation des 30 jours les plus chauds	18
c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	19
d) Bilan thermique pour la Weiss.....	20
3. Bassin de la Fecht	21
a) Présentation des températures moyennes journalières	22
b) Présentation des 30 jours les plus chauds	23
c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	24
d) Bilan thermique pour la Fecht.....	25
4. Le bassin de la Lauch.....	26
a) Présentation des températures moyennes journalières	27

b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	28
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	29
d)	Bilan thermique de la Lauch	30
5.	Bassin de la Thur	31
a)	Présentation des températures moyennes journalières	32
b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	33
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	34
d)	Bilan thermique de la Thur	36
6.	Bassin de la Doller	37
a)	Présentation des températures moyennes journalières	38
b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	39
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	40
d)	Bilan thermique pour la Doller	41
7.	Le bassin de la Largue	42
a)	Présentation des températures moyennes journalières	43
b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	44
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	45
d)	Bilan thermique de la Largue	47
8.	Bassin de l'III	48
a)	Présentation des températures moyennes journalières	49
b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	50
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	52
d)	Bilan thermique de l'III	54
9.	Bassin du Rhin	55
a)	Présentation des températures moyennes journalières	56
b)	Présentation des 30 jours les plus chauds	57
c)	Répartition des températures en fonction des optimums des espèces	58
10.	Bilan thermique du Rhin	59
11.	Comparaison inter-bassins	60
a)	Maladie rénale proliférative (MRP ou PKD)	60
b)	Comparatif des moyennes et des extrêmes thermiques	62
c)	Comparaison inter-bassin des proportions des diverses classes de températures correspondantes aux préférences thermiques de la truite fario	63
VI.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	66
	BIBLIOGRAPHIE	68

Liste des Figures

Figure 1 : Sonde thermique Hobo Pendant	4
Figure 2 : Sonde thermique installée.....	4
Figure 3 : Répartition du réseau de sonde thermique dans le département du Haut-Rhin	6
Figure 4 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Liepvrette (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est).....	11
Figure 5 : Evolution des températures moyennes journalières sur 4 stations de la Liepvrette	12
Figure 6 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Liepvrette	13
Figure 7 : Synthèse thermique sur la Liepvrette et répartition des préférendums thermiques	14
Figure 8 : Localisation du réseau de sondes thermiques sur le bassin de la Weiss (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)	16
Figure 9 : Températures moyennes journalières sur la Weiss pour l'année 2020	17
Figure 10 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Weiss	18
Figure 11 : Fiche synthèse thermique sur la Weiss et répartition des préférendums thermiques.	19
Figure 12 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Fecht (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est).....	21
Figure 13 : Températures moyennes journalières sur la Fecht pour 4 stations durant l'année de suivi 2020	22
Figure 14 : Moyenne de la température des 30 jours les plus chauds sur la Fecht.....	23
Figure 15 : Fiche synthèse thermique sur la Fecht et répartition des optimums thermiques.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 16 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Lauch (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est).....	26
Figure 17 : Températures moyennes journalières sur la Lauch pour 4 stations	27
Figure 18 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Lauch	28
Figure 19 : Fiche de synthèse thermique sur la Lauch et répartition des optimums thermiques.....	29
Figure 20 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Thur (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est).....	31
Figure 21 : Températures moyennes journalières sur la Thur pour 5 stations	32
Figure 22 : température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Thur	33
Figure 23 : Fiche de synthèse thermique sur la Thur et répartition des optimums thermiques	35
Figure 24 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Doller (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est).....	37
Figure 25 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Doller.....	38
Figure 26 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Doller	39
Figure 27 : Fiche de synthèse thermique sur la Doller et répartition des optimums thermiques	40
Figure 28 : Répartition du réseau de sondes thermiques sur le bassin de la Largue (de l'amont au sud à l'aval au nord)	42
Figure 29 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Largue	43
Figure 30 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Largue	44
Figure 31 : Fiche de synthèse thermique sur la Largue et répartition des optimums thermiques	46
Figure 32 : Répartition du réseau de sondes thermiques sur le bassin de l'Ill (de l'amont au Sud à l'aval au Nord)	48
Figure 33 : Evolution des températures moyennes journalières sur l'Ill.....	49
Figure 34 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur l'Ill	51
Figure 35 : Fiche de synthèse thermique sur l'Ill et répartition des optimums thermiques	53
Figure 36 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le Rhin (de l'amont au Sud vers l'aval au Nord).....	55
Figure 37 : Evolution des températures moyennes journalières sur le Rhin.....	56
Figure 38 : Températures moyennes des 30 jours les plus chauds sur le Rhin	57
Figure 39 : Fiche de synthèse thermique sur le Rhin et répartition des optimums thermiques	58
Figure 40 : Nombre de jours consécutifs où la température est supérieure à 15°C sur les différents cours d'eau du Haut-Rhin (les barres d'erreurs représentent l'écart type standard).	60
Figure 41 : Carte des risques d'infection par la MRP (ou PKD) établis sur le département du Haut-Rhin à partir du nombre de jours consécutifs où la température de l'eau excède 15°C (le risque est plus important à partir de 15 jours consécutifs)	61
Figure 42 : Température moyenne minimale, température moyenne maximale, température maximale instantanée et température moyenne journalière sur l'ensemble de l'année 2020 (toutes stations confondues) sur les bassins étudiés.	62

Figure 43 : Répartition des classes de températures moyennes journalières en fonction des limites thermiques de la truite fario (en moyenne sur chaque cours d'eau)	63
Figure 44 : Températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds en 2020 sur les cours d'eau du Haut-Rhin (codification en fonction des seuils d'optimum et de préférendum thermique de la Truite fario)	64

Liste des tableaux

Tableau I Synthèse bibliographique des seuils thermiques de la Truite fario	8
Tableau II : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour la truite en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létales inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017)	9
Tableau III : Synthèse bibliographique des seuils thermiques du Brochet	10
Tableau IV : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour le brochet en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létales inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017)	10

Abréviations

AAPPMA : Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
AERM : Agende de l'Eau Rhin-Meuse
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
FDAAPPMA68 : Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
ICE : Information sur la Continuité Écologique
LKW : Lac de Kruth-Wildenstein
OH : Ouvrage Hydraulique
PLUI : Plan Local d'Urbanisme Intercommunal
PNR : Parc Naturel Régional
RD : Rive droite
RG : Rive gauche
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SANDRE : Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
STEP : Station d'épuration
TBV : Tête de bassin versant
TVB : Trames vertes et bleues
UBRM : Union des fédérations départementales pour la pêche et la protection du milieu aquatique du Bassin

I. INTRODUCTION

La température de l'eau régit, en grande partie, la répartition, la croissance et le métabolisme des espèces aquatiques. A ce titre, elle fait partie des paramètres prépondérants à suivre et à analyser pour optimiser un état des lieux de la qualité des écosystèmes aquatiques.

En effet, le facteur thermique impacte les organismes aquatiques et plus particulièrement l'ichtyofaune, directement (ou indirectement) et ceci à tous les stades de vie des individus. Du développement embryonnaire à l'éclosion, de la phase larvaire à la phase adulte, en passant par la reproduction, la température conditionne chaque étape du cycle de vie des poissons (Tissot et Souchon 2011). L'utilisation de la notion de degrés-jour dans le cadre des premières phases de vie de certaines espèces en est un parfait exemple.

D'autres sources documentant les effets de la température peuvent être citées : sur le métabolisme (Brown et al., 2004), la reproduction et les cycles de développement (De Vlaming, 1972 ; in Raat, 1988 ; Wolter, 2007 ; Teletchea et al, 2007) et même les comportements de nage comme chez l'anguille (Lafaille et al, 2007) ou d'autres espèces poikilothermes (Ojanguren & Brana, 2000). Les effets de la température sur les poissons migrateurs sont nombreux comme dans le cadre de la migration du Saumon (Salinger et Anderson, 2011).

L'étude de ce facteur et des questionnements soulevés remontent aux années 1970 mais elle a pris son essor avec les épisodes caniculaires de 2003 (De Bono et al. 2004) et la prise de conscience croissante des effets du changement climatique global, engendrant ainsi une intensification de productions bibliographiques et scientifiques.

D'après les experts du GIEC la température moyenne de l'air à la surface de la terre devrait augmenter de +1,8 °C à 4,0 °C selon les scénarios de 2007 (GIEC, 2007) et plus vraisemblablement entre +1,5°C et 4,8°C d'ici 2100 selon les prévisions du rapport de synthèse de 2023 (GIEC, 2023). Ces observations et celles réalisées sur le terrain par de nombreuses autres structures témoignent jour après jour des impacts croissants de ces changements sur les écosystèmes.

Dans la région du Grand Est, les prévisions nous orientent vers des hausses allant de +1,5 à +4 avec des records de température possible de 55,3°C en 2050 (intervention de S. Roy, Météo France, 2017). Il est certain que cette augmentation de la température va avoir des impacts directs et indirects sur la biodiversité, notamment pour les animaux ectothermes, comme les poissons (Welcomme et al., 2010 ; Réalis-Doyelle 2016).

Le changement climatique actuel et à venir n'est cependant pas l'unique facteur à modifier le facteur température. Les hydro-systèmes, depuis plusieurs décennies, ont subi une anthropisation croissante de leurs milieux : urbanisation, imperméabilisation des sols, agricultures intensives, pollutions, recalibrage, barrages, etc. Les rejets industriels (Talmage, 1977), les retenues d'eau, même les plus minimes (Lessard et Hayes, 2003), la suppression de la ripisylve, la rectification des cours d'eau ainsi que de nombreuses autres pratiques discutables impactent directement la thermie des eaux.

Outre l'impact sur la température, leurs conséquences néfastes ne sont plus à citer tant il serait complexe d'être exhaustif (rupture du continuum fluvial, banalisation des habitats, baisse de la qualité de l'eau, espèces exotiques envahissantes, déséquilibre divers, etc.).

Pour une surveillance optimale de l'évolution de la qualité des milieux aquatiques, il apparaît ainsi primordial de passer par la mise en place de programme d'analyse de données thermiques. En effet, le monitoring sous forme de chronique de données et leur valorisation est un enjeu particulièrement important et permet d'orienter des projets futurs sur les zones jugées sensibles ou à risque.

II. OBJECTIFS

Actuellement, **les objectifs du projet de suivi thermique de la FDAAPPMA68** sont les suivants :

- ♦ Contribuer à la connaissance du fonctionnement des cours d'eau et des impacts des variations de température sur ces derniers ;
- ♦ Révéler certains impacts indirects et appuyer les constats établis à partir d'autres paramètres (physico-chimiques, biologiques, maladies potentielles (SHV, PKD), etc.) ;
- ♦ Délimiter les zones propices au développement de chaque espèce, ainsi que leur évolution ;
- ♦ Appréhender l'impact du changement climatique sur la qualité des eaux et les peuplements piscicoles.

III. CONTEXTE

En France, de nombreux gestionnaires, structures publiques, utilisateurs, associations, professionnels ou structures diverses, utilisent couramment des données sur la thermie des eaux pour permettre un appui ou une aide à la décision dans le cadre de leurs travaux.

Si les producteurs primaires de ce type de données sont plus fréquemment les EPTB, l'OFB (réseau national de suivi de la température depuis 2008), ou les DREAL (réseau de suivi des stations hydrométriques) il est aussi courant que les FDAAPPMA ou les associations migratrices soient de grands producteurs de données dans le cadre de leurs missions d'analyses scientifiques de la faune aquatique.

Ces données sont précieuses et trouvent bon nombre d'applications dans ce contexte de changement climatique. Il est possible de citer les utilisations suivantes : aide à la décision, surveillance d'impacts d'ouvrages, suivi de chantier, étude scientifique ponctuelle ou monitoring à grande échelle.

Mais, si l'acquisition de données ponctuelles peut parfois être pertinente, ce type de suivi prend tout son sens s'il est réalisé avec d'importantes chroniques de données de préférence interannuelles (Beaufort et al. 2015 ; Arora et al, 2016). Ces chroniques peuvent ainsi être utilisées pour observer des tendances à l'échelle d'une année ou de plusieurs années et peuvent également servir de base pour la construction de modèles prédictifs (Beaufort et al, 2016a et 2016b).

C'est pourquoi depuis 2012, la Fédération du Haut-Rhin de pêche et de protection du milieu aquatique (FDAAPPMA68) s'est lancée dans le suivi thermique des principaux cours d'eau du département, avec un réseau constitué actuellement de 123 sondes (Enregistreurs Onset HOBO) en 2020.

Le nombre important de sondes, les mesures produites chaque année, l'approche à la fois qualitative et quantitative et le long historique de données font dès lors la particularité de cette étude à l'échelle nationale.

Ces données, librement diffusées sur demande, sont exploitées chaque année par de nombreux acteurs locaux (EPAGEs, OFB, Saumon-Rhin, Rivières de Haute-Alsace, etc.). Elles permettent notamment d'affiner certains diagnostics ou d'orienter certaines actions et opérations.

En 2020, la FDAAPPMA68 a également contribué avec ses données, au projet TIGRE entrepris par l'INRAE (Beaufort et al, 2020). Ce projet vise à bancariser, analyser et utiliser des données thermiques nationales dans le cadre des objectifs suivants :

- Analyser la variabilité spatiale des régimes thermiques des cours d'eau à l'échelle nationale ;
- Interpoler certaines métriques de température le long des réseaux hydrographiques selon différents outils statistiques ;
- Contribuer à mieux connaître et comprendre l'état et le fonctionnement des écosystèmes.

Le projet visait en particulier à analyser des facteurs de contrôle et développer des modèles statistiques empiriques dans une perspective d'extrapolation spatiale et temporelle des métriques de températures.

L'accomplissement de ces objectifs passe notamment par l'analyse des données annuelles produites selon un mode opératoire protocolé et homogène pour des mesures en continu.

Pour le moment, la priorisation des analyses est principalement portée sur les cours d'eau de classement administratif de première catégorie piscicole où la Truite fario est l'espèce repère. Ce choix est déterminé notamment par le fait que les cours d'eau du Piémont Vosgien sont les plus touchés par les impacts du changement climatiques et que la Truite est un taxon très sensible à ce paramètre, à l'instar des autres Salmonidés.

Si ce suivi a historiquement démarré en 2012 et que le placement des stations n'a que peu évolué (afin de permettre une chronicité des données), les protocoles et la valorisation des données ont à plusieurs reprises été modifiés. Les divers rapports produits ont donc pu, tour à tour, apporter un éclairage interannuel (par pas de temps de 3 ans) puis enfin, depuis 2019, sur l'année complète (janvier à décembre).

Ainsi, **un des objectifs supplémentaires de ce rapport** est également de mettre en évidence des perspectives d'amélioration en termes d'analyse et de valorisation pour l'évolution du suivi thermique dans ses années à venir (analyse statistique, valorisation, bancarisation, export, format SANDRE-compatible, implémentation au réseau ONDE, etc.).

Le présent rapport présente donc les résultats de l'année 2021 pour le réseau de 118 sondes. Les résultats sont présentés bassin par bassin, puis avec un comparatif global tout en octroyant un éclairage par rapport aux optimum et préférendum thermiques de deux espèces repères : la Truite fario et le Brochet.

IV. MATERIELS ET METHODE

1. Généralités

Le suivi thermique des cours d'eau a été réalisé à l'aide de sondes thermiques ou thermographes enregistreurs. Ce sont 118 sondes qui ont été utilisées dans le cadre du suivi de l'année 2021 réparties sur 9 bassins versants principaux sur le département du Haut-Rhin. Les résultats traités lors du présent rapport couvrent la période du 01/01/21 au 31/12/21.

2. Matériel utilisé

Les sondes thermiques utilisées sont des enregistreurs de température avec un interface USB optique « HOBO » (Figure 1). Le modèle utilisé est l'enregistreur « Onset Hobo Pendant 64K ».

Le dispositif fonctionne grâce à des piles dont la durée de vie est comprise entre 1 et 2 ans. En cas de déchargeement complet de la pile, un système de mémoire non volatile conserve tout de même les données. Toutefois, lors de la relève annuelle, l'état des piles est vérifié. Celles-ci sont changées dès qu'elles sont à moins de 70% de leur capacité initiale. Les données, accumulées sur un an, sont faciles à lire et à exporter grâce à l'utilisation du logiciel associé « HOBOware » qui en quelques minutes permet de les récupérer.

D'une masse de 18g, la fixation de ces sondes est facilitée grâce à un œillet déjà percé. Les sondes sont étanches jusqu'à 30 mètres de profondeur. La date et l'heure du lancement de l'enregistrement est programmable à l'avance (une donnée relevée toutes les deux heures) et les sondes fonctionnent dans un intervalle de température compris entre -20°C et +70°C.



Figure 1 : Sonde thermique Hobo Pendant.

3. Protocole

a) Fixation

Les sondes thermiques, comme chaque année, ont été posées pour une durée d'un an. Les sondes d'un même bassin sont relevées et posées la même journée, en général entre juillet et septembre en période de basse eau. Le choix de cette périodicité de relève permet également de réaliser des observations quant aux débits d'étiage sur certains secteurs parfois peu suivis le reste de l'année et, dans un aspect plus pratique, pouvoir mettre la sonde au plus profond pour s'assurer de son immersion sur l'année. Chaque bassin représente entre un et deux jours de travail pour 2 opérateurs par bassin, soit 10 jours de terrain environ.

Chaque sonde a été positionnée en fonction des fixations environnantes pour limiter les pertes ou les dommages tout en étant discrète pour éviter le vandalisme.



Figure 2 : Sonde thermique installée.

En effet, lors de leur pose, les sondes sont fixées à un support, comme des racines, des protections de berge, ou, le cas échéant, à une tige filetée inoxydable installée par la FDAAPPMA68. Pour permettre leur attache, un collier de serrage autobloquant en plastique de type Rilsan est utilisé, couplé à du fil en inox, installé sur une autre racine ou support pour assurer la pérennité de la sonde à la localisation choisie.

Un marquage visuel réalisé à la bombe de peinture de chantier complète l'installation afin de permettre une recherche plus aisée du dispositif l'année suivante. L'emplacement des sondes est également géolocalisé à

l'aide d'un GPS de terrain de type Trimble et des mesures physico-chimiques basiques (concentration en O₂, taux de saturation, température, conductivité et pH) sont réalisées afin de permettre un comparatif et une éventuelle aide à la calibration des sondes.

L'objectif principal de cette installation est de garantir au maximum la tenue de la sonde et son immersion dans l'eau pendant toute la durée d'enregistrement (Figure 2).

Une étiquette est également glissée à l'intérieur de la sonde. Celle-ci, en plus de porter le numéro d'identification de la sonde, fait mention de l'étude en cours et des coordonnées de la Fédération.

b) Paramétrage

Pour l'enregistrement des données, c'est le pas de temps d'un enregistrement toutes les deux heures qui a été retenu pour permettre un compromis entre exhaustivité et saturation de la mémoire de la sonde (pour un an). En effet, si le choix se porte sur une fréquence de données plus élevées, il faut se procurer des sondes dotées d'une plus grande mémoire mais surtout d'un coût bien plus important

Ainsi, toutes les 2h le capteur enregistre donc une donnée de température dans sa mémoire interne soit un relevé de température journalière issue de 12 données de températures instantanées. Un changement de protocole a été opéré pour l'année 2023 avec un relevé toutes les heures.

c) Déchargements des données et entretien

Les sondes sont déchargées sur ordinateur à l'aide d'un interface USB à lecteur optique après la phase de remplacement sur le terrain à l'aide du logiciel associé.

Celles-ci sont ensuite révisées individuellement afin de tester leur étanchéité, la saturation de leur mémoire interne et la durée de vie restante des piles. Le cas échéant, l'opérateur applique les réparations nécessaires.

4. Localisation des stations

Sur la période 2020-2021, c'est 118 sondes thermiques qui ont été analysées afin de fournir une vision globale du régime thermique et de l'évolution des cours d'eau du Haut-Rhin. Les stations de mesure ont été réparties sur l'ensemble des bassins principaux du département à raison de :

- 8 sondes sur la Liepvrette,
- 10 sur la Weiss,
- 13 sur la Fecht,
- 11 sur la Lauch,
- 21 sur la Thur,
- 14 sur la Doller,
- 15 sur la Largue,
- 21 sur l'Ill,
- 5 sur le Vieux-Rhin.

L'objectif est de suivre l'évolution de la température sur l'ensemble des bassins versants du département et ce tout au long de l'année. Le choix de leur localisation a été permis en prenant en compte divers facteurs, tels que :

- Enjeux locaux (surveillance d'ouvrages, retenues d'eau, etc.) ;
- Représentativité des masses d'eau concernées ;
- Placements réguliers pour une exhaustivité géographique du régime thermique des cours d'eau ;
- Facilité d'accès et de fixation ;
- Régularité du suivi historique des stations.

Ce réseau évolutif a vu des sondes être ajoutées, parfois supprimées ou déplacées, toujours dans le but d'optimiser ce suivi, selon les besoins et les opportunités (Figure 3).

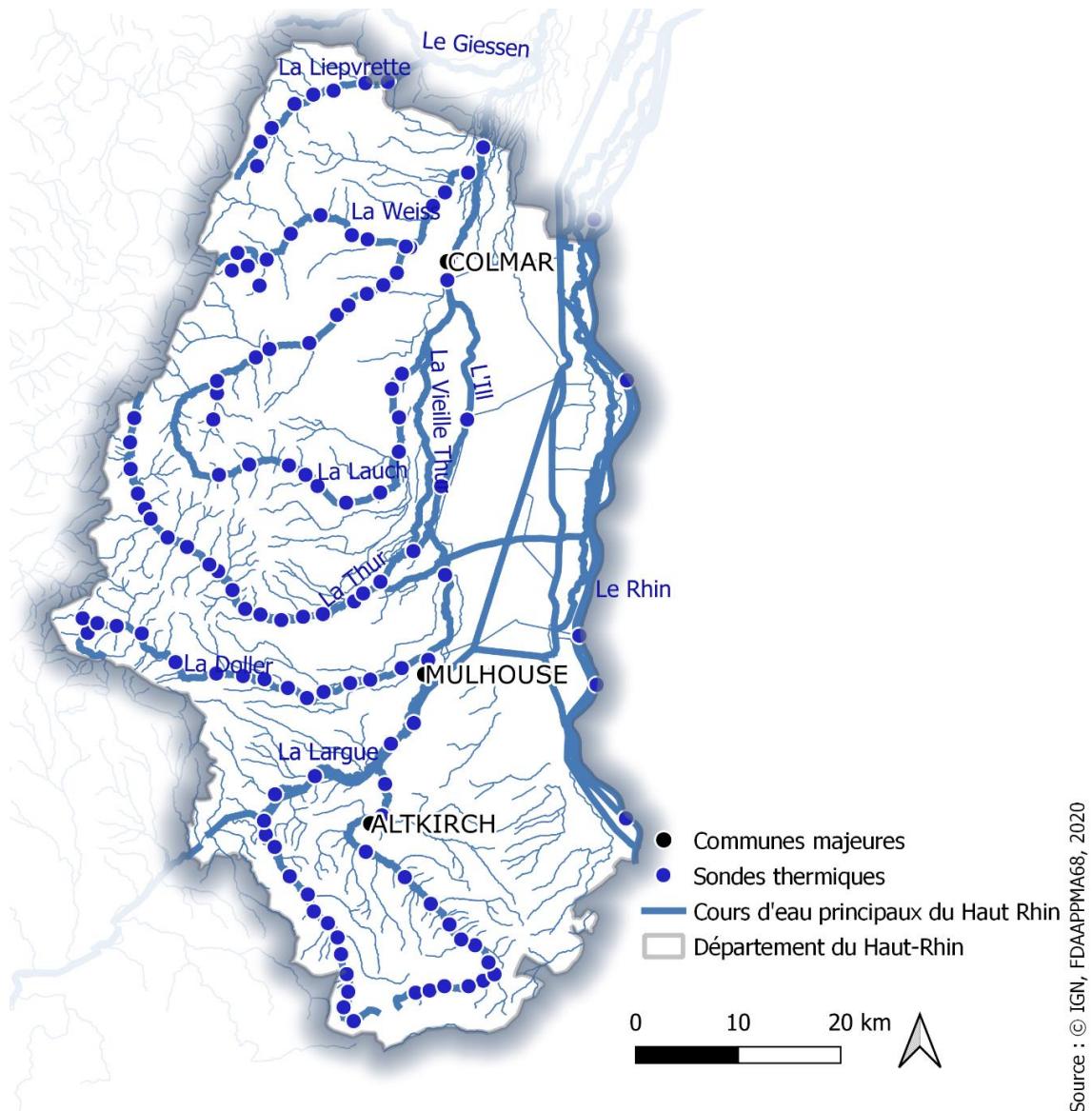


Figure 3 : Répartition du réseau de sonde thermique dans le département du Haut-Rhin

5. Analyse des données et variables calculées

Une fois les sondes relevées, les données thermiques sont déchargées et traitées par le logiciel Hoboware Pro. Les données sont ensuite bancarisées et traitées à l'aide de plusieurs fichiers de macro Excel réalisés en interne. Ainsi, les données brutes sont prétraitées afin de supprimer les éventuels artéfacts de lecture (pics journaliers issus du jour de relève, sonde hors d'eau, panne, etc.). Les données sont ensuite analysées bassin par bassin à l'aide de diverses approches :

- L'étude des températures moyennes journalières ;
- L'étude du régime thermique via l'évolution des températures moyennes mensuelles et des 30 jours les plus chauds ;
- L'étude des proportions et des répartitions des températures journalières moyennes selon les préférendums thermiques de deux espèces, la Truite fario et le Brochet, en fonction de l'espèce repère choisie.

Plusieurs variables sont ainsi produites et étudiées pour chaque station, telles que :

- **Variables thermiques générales du milieu :**
 - Température instantanée minimale (T_i min) = valeur de la température instantanée minimale relevée sur la plage de données étudiées
 - Température instantanée maximale (T_i max) = valeur de la température instantanée maximale relevée sur la plage de données étudiées
 - Température moyenne journalière minimale (T_{mj} min)
 - Température moyenne journalière maximale (T_{mj} max)
 - Amplitude thermique sur la période
 - Amplitude thermique journalière maximale = la valeur d'amplitude thermique journalière la plus élevée obtenue sur la plage de données étudiées
 - Amplitude thermique des moyennes journalières = différence entre les moyennes journalières maximales et minimales
 - Température moyenne de la période = calcule la moyenne des températures instantanées relevées pendant le suivi
 - Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (T_{moy30J}) = calcule, à partir des températures moyennes journalières, la température moyenne sur les 30 jours les plus chauds
 - Les dates des diverses périodes étudiées (dates amplitudes, dates 30 jours consécutifs les plus chauds, etc.)
- **Variables liées aux optimums et préférendums thermiques des espèces :**
 - Préférendum thermique de la Truite fario (pour le contexte salmonicole) avec :
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19 °C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est inférieure à 4 °C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 25°C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 17 °C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 17 et 19 °C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 19 et 25 °C
 - Préférendum thermique du Brochet (pour le contexte eso-cyprinicole) avec :
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 10 et 24 °C (optimum adulte)
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 24 et 31 °C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 6 et 12 °C (reproduction)
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est inférieure à 6°C
 - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 31°C
- **Variables thermiques spécifiques du milieu :**
 - Conditions thermiques en rapport avec le développement de la Maladie Rénale Proliférative (MRP ou Proliferative Kidney Disease, PKD en anglais) avec le nombre total de jours consécutifs et le pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 15°C.

6. Optimum et préférendum thermique des espèces

Dans la gamme des températures optimales, dit préférendum thermique, le poisson se nourrit et ne présente aucun signe de comportement anormal, il n'est pas en état de stress (Elliott, 1981 ; Tissot et Souchon, 2011).

A l'inverse, lorsque celui-ci se retrouve dans une gamme thermique extrême, le poisson présente des signes de comportements anormaux et des réactions métaboliques néfastes apparaîtront (arrêt de s'alimenter, hyperventilation, ...). C'est le stress thermique. Les gammes de tolérance peuvent être très variées selon les taxons étudiés.

Enfin, lorsque certaines valeurs seuils sont atteintes, les capacités d'adaptation du métabolisme du poisson ne suffisent plus à maintenir ses fonctions primaires vitales. On parle alors de température létale ou seuil létal.

Les valeurs seuils présentées dans la section précédentes (5. Analyse des données et variables produites) ont directement été choisies en fonction des travaux de références et des consensus scientifiques actuels cités ci-dessous.

a) Préférendum thermique de la truite fario (contexte salmonicole)

Le préférendum thermique de la Truite fario est défini comme la gamme de températures d'eau permettant une activité métabolique (alimentation et croissance) optimale.

Les valeurs des limites basses et hautes de ce préférendum sont fixées en se basant sur la littérature existante (Tableaux I et II).

Les limites du préférendum sont de 4°C et 19°C et la température létale ou sub-létale pour les juvéniles et les adultes est classiquement admise à 25°C (Alabaster et Llyod, 1980 ; Crisp, 1996 ; Elliot et Hurley, 2001 ; Baglinière et Maisse, 2006 ; Dumoutier et al., 2010 ; Keith et al., 2011 ; Teletchea et al., 2017).

La reproduction a lieu en automne, principalement d'octobre à décembre lorsque la température de l'eau est comprise entre 7 et 9°C (Teletchea, 2011).

Enfin au stade juvénile de l'année (ou 0+), la Truite fario a un rendement énergétique défavorable et une température chronique (T_{moy30}) supérieure à 17-18°C peut être dommageable (mécanismes sur la croissance et l'alimentation entraînant amaigrissement et mortalités progressives ; Elliot, 1995 ; Elliot et Hurley, 1998 ; Baran et al., 1999 ; Faure et Grès, 2008). Le seuil bas de 17°C a donc également été retenu pour les comparatifs.

Tableau I / Synthèse bibliographique des seuils thermiques de la Truite fario

Température de l'eau (°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
Court terme (température instantanée)	Seuil létal	Métabolisme réduit																								Seuil létal	
Long terme (moyenne journalière)	Seuil létal	Danger pour juvéniles																								Seuil létal	

Tableau II : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour la truite en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létale inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017).

Cycle de vie		truite commune <i>Salmo trutta</i>
Embryons		0 < 8-10 > 17 Gray (1928) ; Humpesch (1985) ; Ojanguren et Braña, (2003) ; Lahnsteiner (2012)
Larves		0 < 6-12 > 17 Ojanguren et Braña, (2003) ; Lahnsteiner (2012)
Juvéniles/ Adultes		0-4 < 7-19 > 25 Frost et Brown (1967) ; Mills (1971) ; Elliot, (1995) ; Baglingère et Maisse (2006) ; Lahnsteiner (2012)
Reproduction		3 < 7-9 > 10 (Teletchea, 2011)

b) Préfendum du Brochet (contexte eso-cyprinique)

Le Brochet est l'espèce repère par excellence des hydrosystèmes avals. Ses préfendums thermiques sont bien éloignés de ceux de la Truite fario. Si les observations diffèrent parfois selon la latitude, il est généralement admis que la température optimale pour le stade adulte est comprise entre 10 et 24 °C (McCauley & Casselman 1981 ; Keith & Allardi 2001). La température létale maximum est de 31 °C (Tissot et Souchon, 2011) (Tableau III).

La température optimale pour l'embryon de Brochet est comprise entre 8 °C et 14 °C (Willemsen, 1959) et moyennée entre 10 et 12 °C (Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017).

La période de frai se situe autour du mois de février-mars (période de hautes eaux et de recouvrement de la végétation) entre 6 et 12°C (Souchon, 1983 ; Chancerel, 2003 ; Scov et Nilsson, 2018) (Tableau IV).

Tableau III : Synthèse bibliographique des seuils thermiques du Brochet

Température de l'eau (°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	28	29	30	31
Court terme (température instantanée)	Seuil létal	Métabolisme réduit		Reproduction 6-12°C																												
Long terme (moyenne journalière)	Seuil létal adulte	Seuil létal juvéniles		Danger pour juvéniles																												

Tableau IV : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour le brochet en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létales inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Teletchea et al, 2017).

Cycle de vie		Brochet <i>Esox lucius</i>
Embryons		5 < 10-12 > 19 Dorier (1938) ; Siefert et al. (1973) ; Hassler, (1982)
Larves		6 < 12-21 > 25,6 Lillelund (1966) ; Teletchea et al (2008) ; Hokanson et al. (1973)
Juvéniles/ Adultes		3 < 10-24 > 31 McCauley & Casselman (1981) ; Keith & Allardi (2001) ; Chancerel (2003) ; Tissot et Souchon (2011) ; Skov et Nilsson (2018)
Reproduction		6-12 (Skov et Nilsson, 2018)

V. RESULTATS

L'ensemble des résultats est présenté bassin par bassin à l'aide, comme cité précédemment en 3.5, de plusieurs approches orientées sous la forme de 3 grands axes :

- Présentation des **températures moyennes journalières** ;
- Présentation des **régimes thermiques** et des **30 jours les plus chauds** ;
- Répartition des températures en fonction des limites de **préférendum des espèces**.

Les résultats principaux sont regroupés sous forme de fiche de synthèse. Une approche globale départementale interbassin est également présentée pour l'année étudiée. L'intégralité des résultats sous forme de fiche de synthèse par station est ensuite disponible en annexe. De plus, la FDAAPPMA68 se tient à disposition pour transmettre les données thermiques brutes à ses partenaires selon les besoins.

1. Le bassin de la Liepvrette

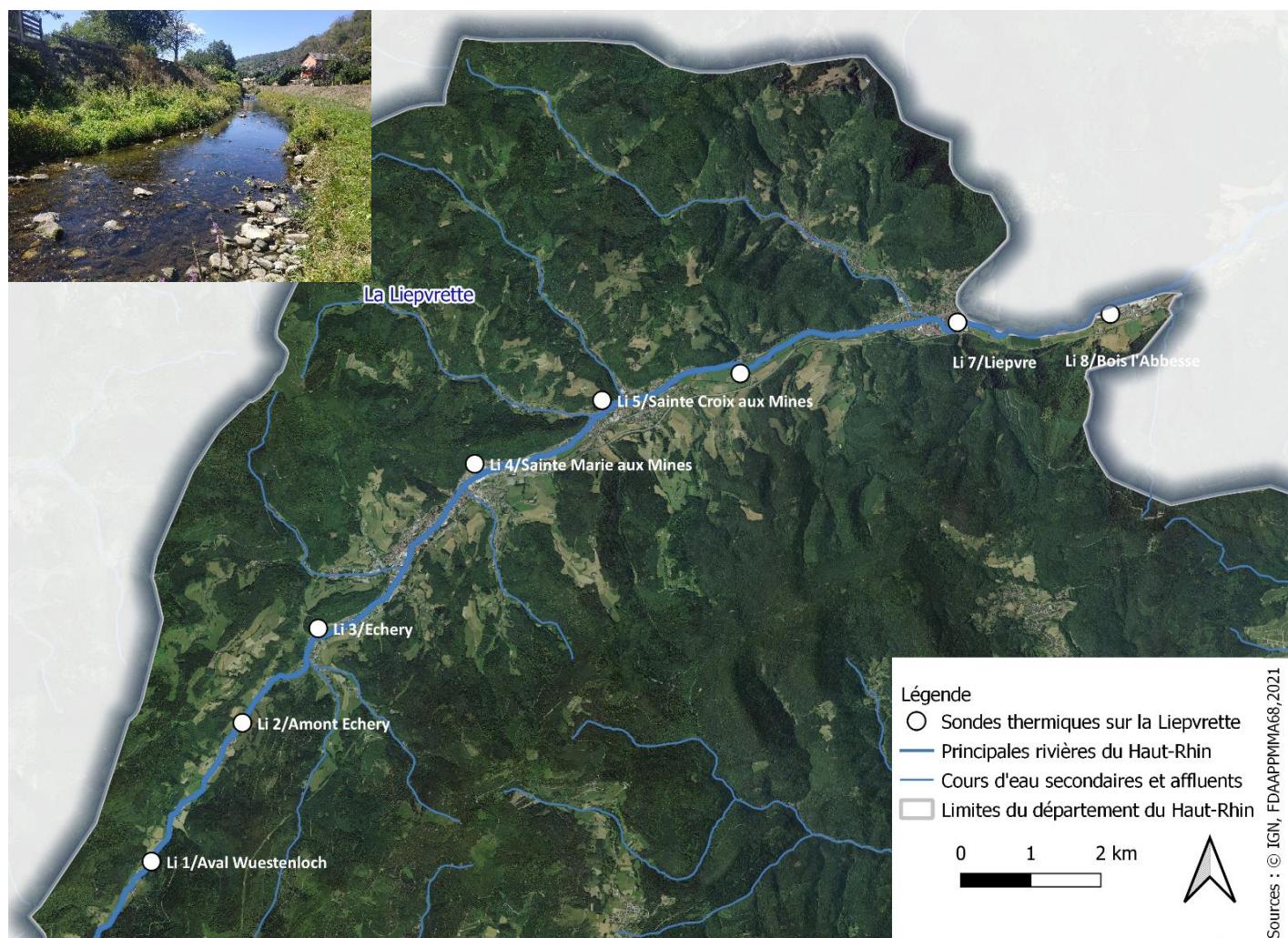


Figure 4 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Liepvrette (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)

La Liepvrette est la plus petite rivière principale du département. Elle finit son trajet dans le Bas-Rhin après un parcours de 25 km, débutant au col des Bagenelles et terminant en aval

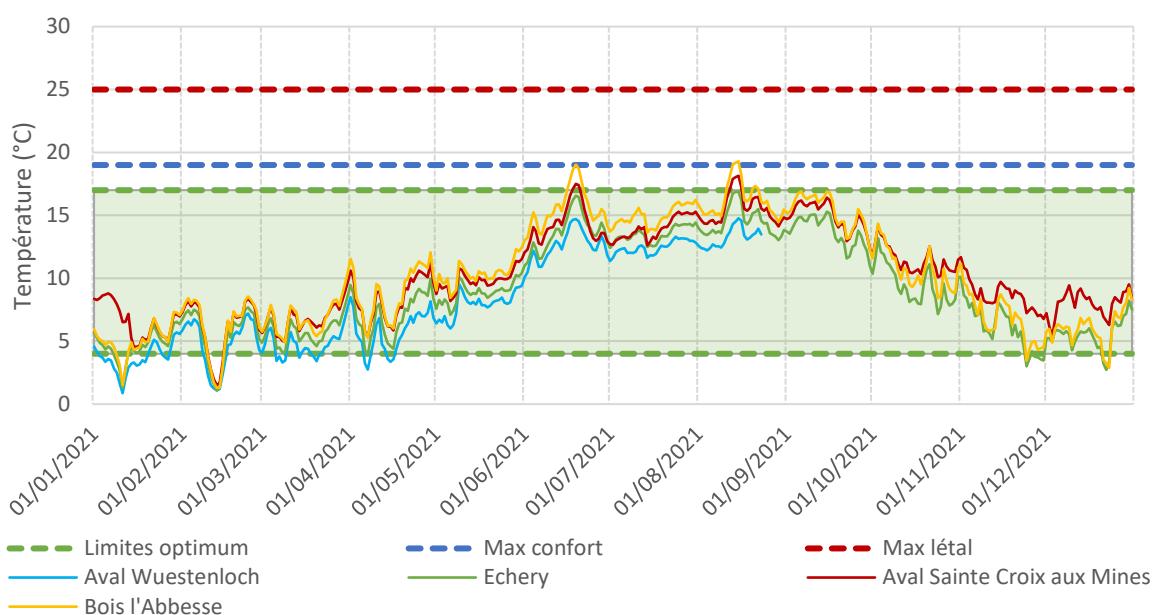
de Liepvre, au lieu-dit Bois l'Abesse. Elle constitue un des affluents principaux du Giessen, lui-même affluent de l'Ill. Son bassin versant de 130km² accueille, comme principaux affluents, le Robinot, le Rombach ainsi que le Grand Rombach. Le bassin est caractérisé par un relief à forte pente en amont et vallonné en aval.

Exploitée depuis le XVI^e siècle, notamment pour l'activité minière et du métal, elle a été fortement déboisée, urbanisée et polluée (nitrates, plomb, colorations dues à la production textile etc.). Malgré une Histoire lourde de conséquence, notamment sur l'entraînement du cours d'eau entre deux murs de rive sur une grande partie du linéaire, la qualité de l'eau s'est grandement améliorée. L'étude menée en interne sur les ruisseaux de tête de bassin de la Liepvrette a pu mettre en évidence de nombreuses pressions et une densité d'ouvrages importante.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Afin de permettre une lecture facilitée, les résultats de 4 sondes thermiques, dispersées le long de la Liepvrette, sont présentés (Figure 5) avec :

- La station située la plus à l'amont (« Aval Wuestenloch » (Li1) en bleu) où les données s'arrêtent au 23 août (arrêt inopiné de la sonde) ;
- Au centre (« Echery » (Li3) et « aval Sainte Croix aux Mines » (Li6) respectivement en vert et rouge) ;
- L'aval (« Bois l'Abesse » (li8) en jaune).



Une stratification thermique se dessine de l'amont à l'aval, où, hormis aux périodes hivernales, l'ensemble des courbes évoluent de manière similaire avec :

- Un premier pic de froid survenu à la mi-février ;
- Une élévation graduelle des températures de mars à la mi-septembre, avec deux pics de chaleur à la mi-juin et la mi-août ;
- Les courbes décroissent par la suite de l'automne à l'hiver 21-22, avec la sonde Li6 qui enregistre les températures le plus clémentes du bassin, avec une différence pouvant atteindre les 4°C avec la partie aval.

Les températures les plus froides de l'hiver atteignent les 0,86°C pour Li1 en janvier et les estivales voient leur maximale atteindre les 19,29°C à la mi-août pour Li8. Hormis les deux pics estivaux indiqués précédemment, la Liepvrette ne va pas au-delà de l'optimum thermique de la Truite fario. Des températures en-deçà de leur préférence sont cependant relevées à la mi-janvier et à la mi-février, pour l'ensemble des stations. Des valeurs inférieures à 4°C sont également enregistrées à la fin novembre et à la mi-décembre (hormis pour Li6).

Ainsi les courbes des stations présentées sont très proches en termes de profil mais une disparité locale apparaît néanmoins au niveau de Li6 « Aval Sainte-Croix aux Mines » où des valeurs plus élevées en hiver (de janvier à février et d'octobre à décembre) sont observées par rapport aux autres stations. Ce phénomène est récurrent, il est dû à la traversée de l'agglomération.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

La température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Liepvrette évolue relativement peu pour l'année 2021. La minimale est de 13,8°C sur Li1, quant à la maximale, elle est de 16,5°C, relevée sur Li8. Ces 30 jours les plus chauds interviennent principalement entre le 11 août et le 9 septembre, excepté pour Li2 où la période la plus chaude a été enregistrée entre le 24 juillet et le 22 août.

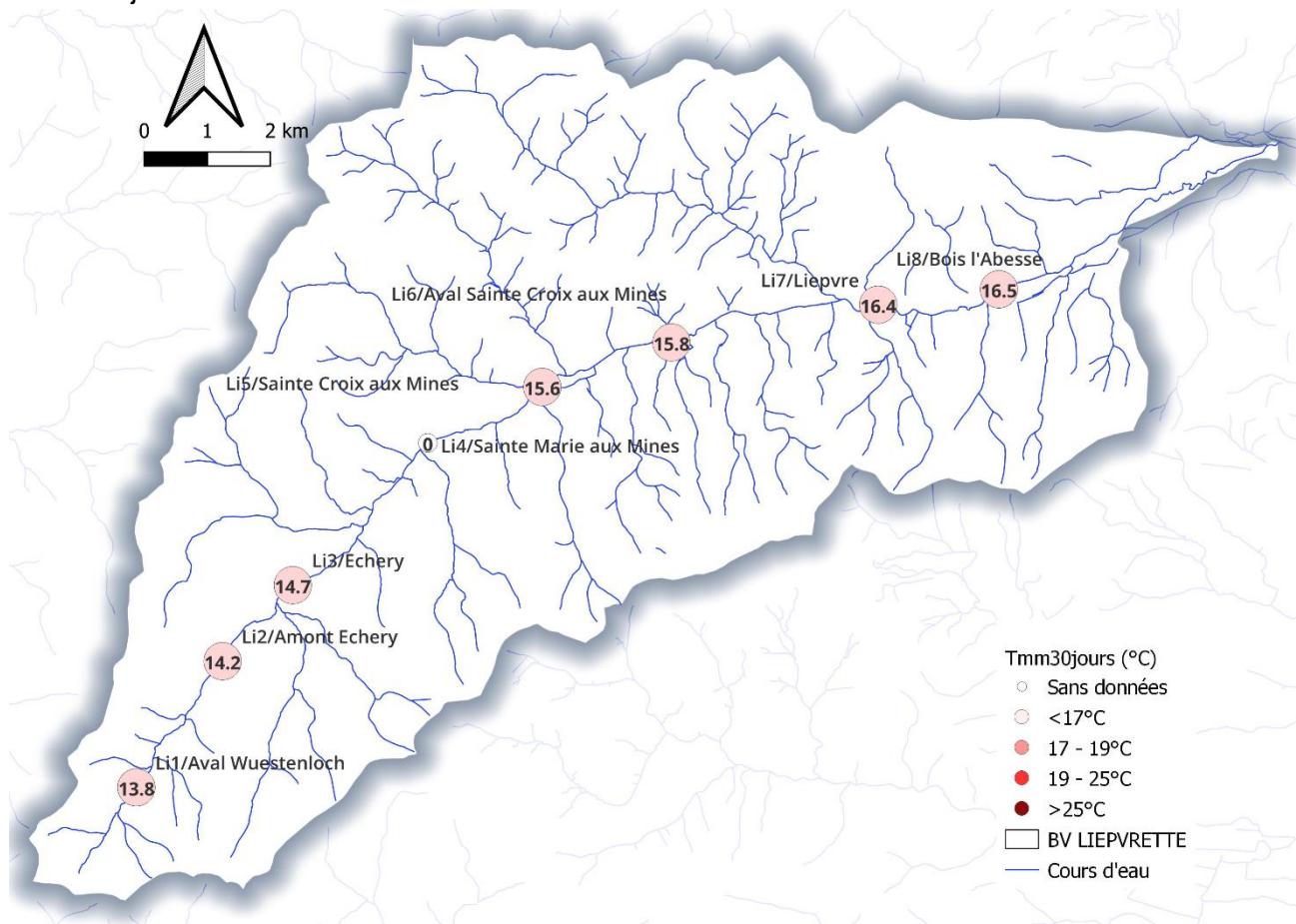


Figure 6 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Liepvrette

La valeur de 17°C, maximale de l'optimum thermique de la Truite fario, n'est jamais atteinte. Ainsi, en termes de Tmm30jrs, pour l'année 2021, les populations de salmonidés n'ont subi aucun stress majeur.

c) Répartition des températures en fonction du préfendum thermique des espèces repères

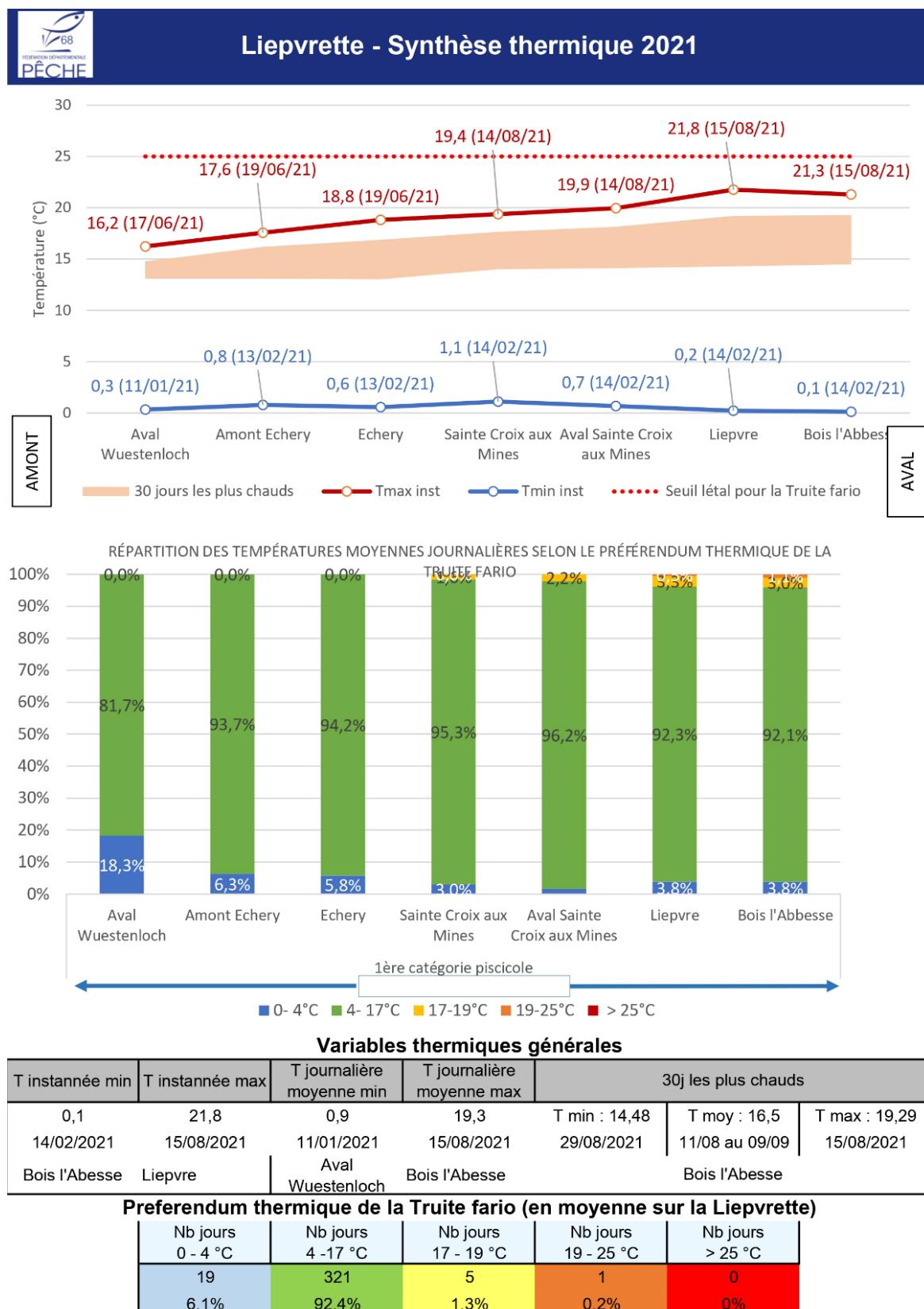


Figure 7 : Synthèse thermique sur la Liepvrette et répartition des préfendums thermiques

A la période estivale, les températures instantanées maximales sont intervenues après la mi-juin sur l'amont de la Liepvrette (de Li1 à Li3) avec des valeurs respectives de 16,2°C, de 17,6°C et de 18,8°C.

De Sainte Croix aux Mines à Bois l'Abesse, c'est la mi-août qui enregistre les températures instantanées maximales où le seuil de confort est dépassé avec des valeurs supérieures à 19°C (maximale relevée sur Liepvre à 21,8°C).

Quant aux minimales instantanées, hormis à l'amont sur Li1 où elle est survenue le 11 janvier, elles sont toutes intervenues à la mi-février avec des valeurs variant de 0,1 à 1,1°C. Ces températures sont bien en-deçà de la valeur seuil des 4°C.

La répartition des températures selon le préférendum thermique de la Truite fario indique une année particulièrement favorable pour cette espèce, avec plus 90% des valeurs comprises entre 4 et 17°C, excepté pour Li1 où cette valeur est de 81,7%. La station la plus favorable est représentée par Li6, à l'aval de Sainte Croix aux Mines. C'est à partir de cette commune que des valeurs supérieures à 17°C sont relevées mais elles restent assez sporadiques (entre 1,6% et 3,3% avec des valeurs comprises entre 17 et 19°C et 0,5 et 1,1% entre 19 et 25°C).

Les températures fraîches, inférieures à 4°C, sont plus présentes à hauteur de 18,3% pour Li1, autour des 6% pour Li2 et 3, de 3% pour Li5, Li7 et Li8 et de 1,6% pour Li6.

Ainsi, sur la Liepvrette, l'été 2021 a dépassé le seuil de stress de la Truite fario en ce qui concerne les températures instantanées mais sur une courte période, les 30 jours les plus chauds ne dépassant pas les 17°C. Les salmonidés de la Liepvrette ont échappé en 2021 à une période estivale stressante. Quant à l'hiver, globalement froid, celui-ci a pu avoir un impact sur le développement des larves des populations de Truite fario.

Les stations les plus propices au cycle biologique de ce salmonidé, pour 2021, sont, Li6, Li5 et Li3 (de Echery à l'aval de Sainte Croix aux Mines).

d) Bilan thermique pour la Liepvrette

La Liepvrette confirme son statut de cours d'eau salmonicole avec une thermie largement favorable à la Truite fario pour l'année 2021. Le seuil létal des 25°C n'est jamais atteint en termes de moyennes journalières ou de températures instantanées. Ces dernières ont sporadiquement dépassé le seuil d'inconfort des 17°C et de stress des 19°C, notamment après les traversées d'agglomérations, mais sans grande conséquence au vu de leur faible durée. Les températures ont été plus modérées cette année, c'est une conséquence d'une météorologie extrêmement pluvieuse et plus fraîche durant le mois de juillet.

Les principales perturbations notables sur le bassin en 2021 sont :

- Des périodes hivernales très froides à l'amont (Li1) ;
- Un réchauffement hivernal dû à une traversée d'agglomération (Li6).

2. Bassin de la Weiss

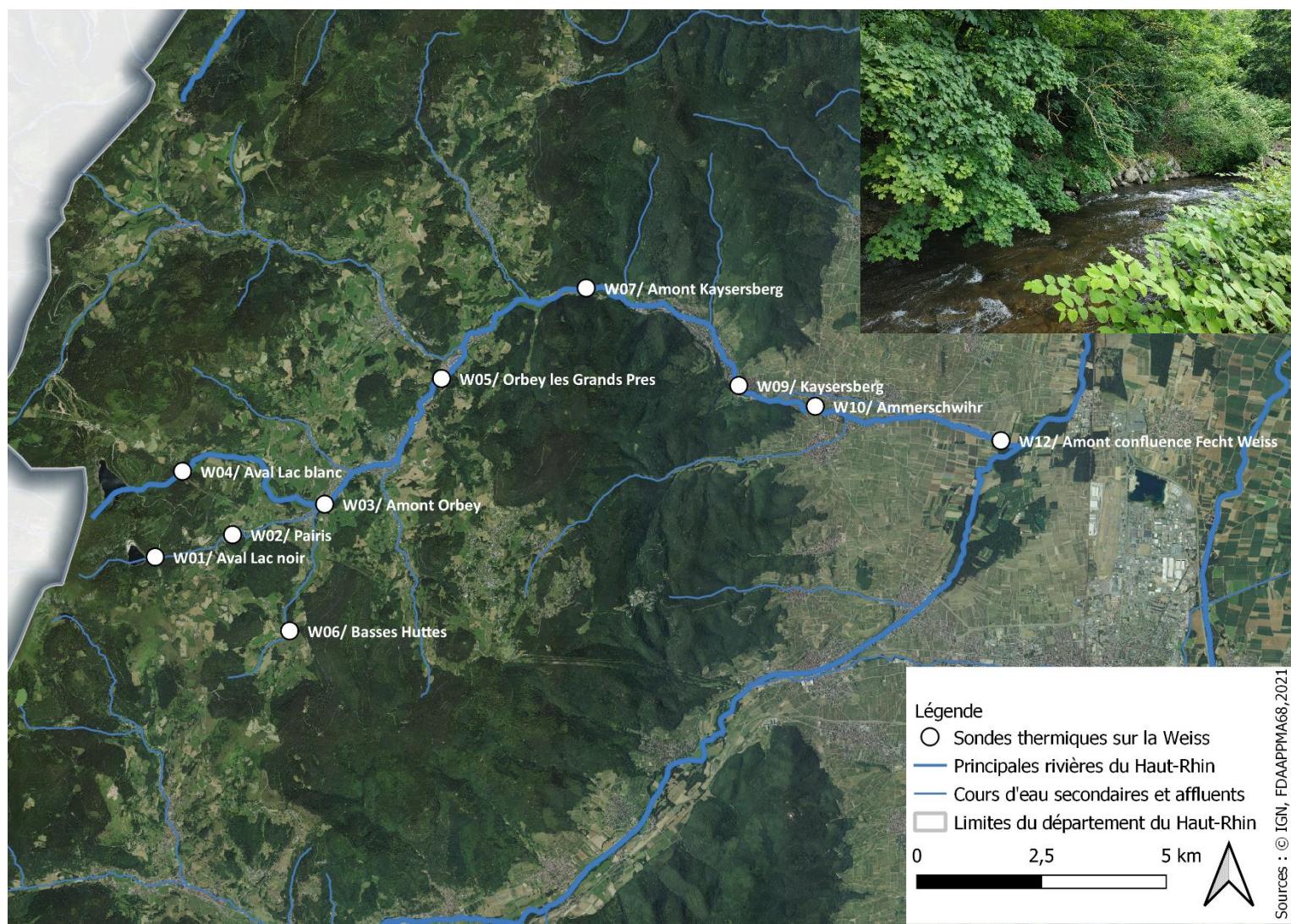


Figure 8 : Localisation du réseau de sondes thermiques sur le bassin de la Weiss (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)

La Weiss prend naissance au col du Linge où elle se nomme alors « ruisseau des Basses Huttes ». Ce n'est qu'à sa convergence avec les ruisseaux du Lac Noir (lac glacière de 45m de profondeur et de 14ha) et du Lac Blanc (lac d'altitude de 75m de profondeur et de 29ha) qu'elle prend le nom de « Weiss ». Elle finit son parcours de 24 km sur la commune de Sigolsheim, en se jetant dans la Fecht.

La rivière est caractérisée par une forte pente, un régime torrentiel et une occupation forestière du bassin sur sa partie amont, où les deux lacs de montagne cités précédemment sont particulièrement structurants du régime hydrologique de la Weiss. Le cours d'eau est plus urbanisé à partir de Kaysersberg. C'est au niveau de cette commune qu'existe la principale activité du bassin, l'exploitation de vigne, ayant un impact parfois négatif sur les hydrosystèmes.

Le débit au module au niveau de la commune de Kaysersberg est de 2,215 m³ /s.

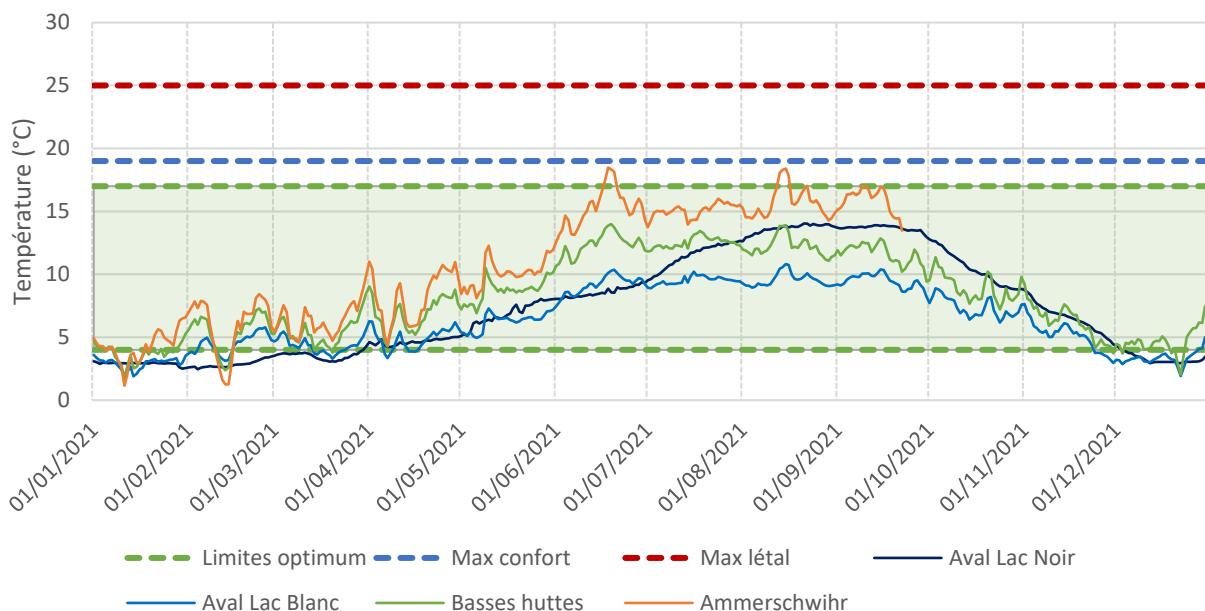
Pour l'année 2021, les sondes W07, W09 et W12 n'ont pas enregistré toute la période d'étude, aussi, elles sont exclues de la plupart des analyses. W10 s'est arrêtée d'enregistrer le 22 septembre. La période estivale étant passée et en tant que seule sonde restante pour représenter la partie aval, elle reste incluse dans l'analyse.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Sur les 10 sondes installées sur le bassin, seules 4 sont sélectionnées ci-après pour les résultats des températures moyennes journalières de l'année 2021 afin d'en faciliter la lecture (Figure 9) :

- W01, « Aval Lac Noir » en bleu marine ;
- W04, « Aval Lac Blanc » en bleu clair ;
- W06, « Basses Huttes » en vert pour la partie amont de la Weiss ;
- W10, « Ammerschwihr » en orange pour la partie aval de la Weiss.

Figure 9 : Températures moyennes journalières sur la Weiss pour l'année 2021



Les sondes W04, W06 et W10 évoluent de façon similaire avec des courbes de températures aux profils semblables. Un gradient amont-aval se dessine avec des données plus élevées pour l'aval et plus fraîches à l'amont.

W01 et W04 sont impactées par les lacs de montagne, soit moins dépendantes de la température de l'air. En effet, ces lacs relarguent leurs eaux par vannes de fond, celles-ci ne sont que peu en contact avec l'atmosphère. Ce phénomène traduit également des eaux plus fraîches : celles-ci étant plus denses, ce sont elles qui se situent sur les fonds. W01 se détache avec un profil plus lissé mais des températures estivales plus importantes que W04. Cette différence peut s'expliquer par le brassage des eaux des deux lacs situés en amont. Ce phénomène de mélange des eaux entraîne celles en surface vers le fond, d'où l'élévation observée.

L'ensemble des courbes connaît des périodes hivernales sous le seuil des 4°C, sous forme de pics pour W06 et W10 et de manière plus constante pour celles situées en aval des lacs. Le seuil des 17°C est atteint uniquement sur la partie aval, W10 dépasse cette valeur aux alentours du 20 juin et à la mi-août. La période estivale, sur la Weiss, semble avoir été favorable pour la Truite fario.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

Les 30 jours les plus chauds de l'année 2021 diffèrent sur la Weiss. Elle intervient majoritairement aux alentours de la mi-août à la mi-septembre pour W01, W02, W04, W03, W05 et W10. Pour W06, la source de la Weiss, cette période se déroule du 18 juillet au 16 août.

La valeur de ces 30 jours les plus chauds ne dépasse jamais les 17°C, quel que soit la station. La minimale est relevée sur W04 à 9,7°C contre une maximale de 16,2°C sur W10, la partie aval de la Weiss. La source de cette rivière a une moyenne de 12,6°C et, pour l'aval du lac noir, 13,8°C (Figure 10).

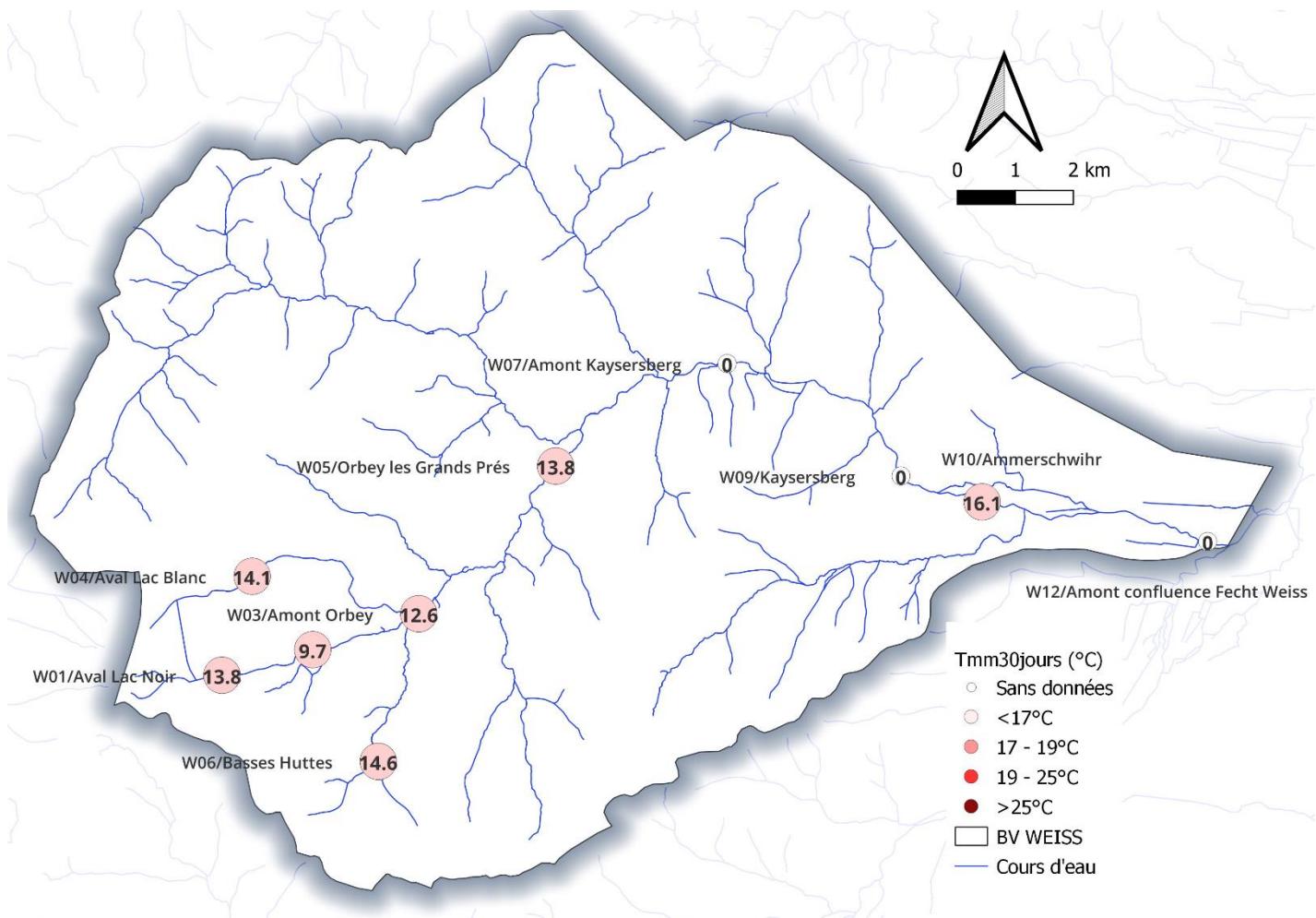


Figure 10 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Weiss

L'année 2021, sur la Weiss, apparaît propice aux salmonidés avec un seuil d'inconfort (au-delà des 17°C) jamais atteint. Une augmentation de près de 1,6°C entre la partie médiane et l'aval de la Weiss est relevée, démontrant l'impact, bien que faible cette année, des traversées d'agglomérations.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

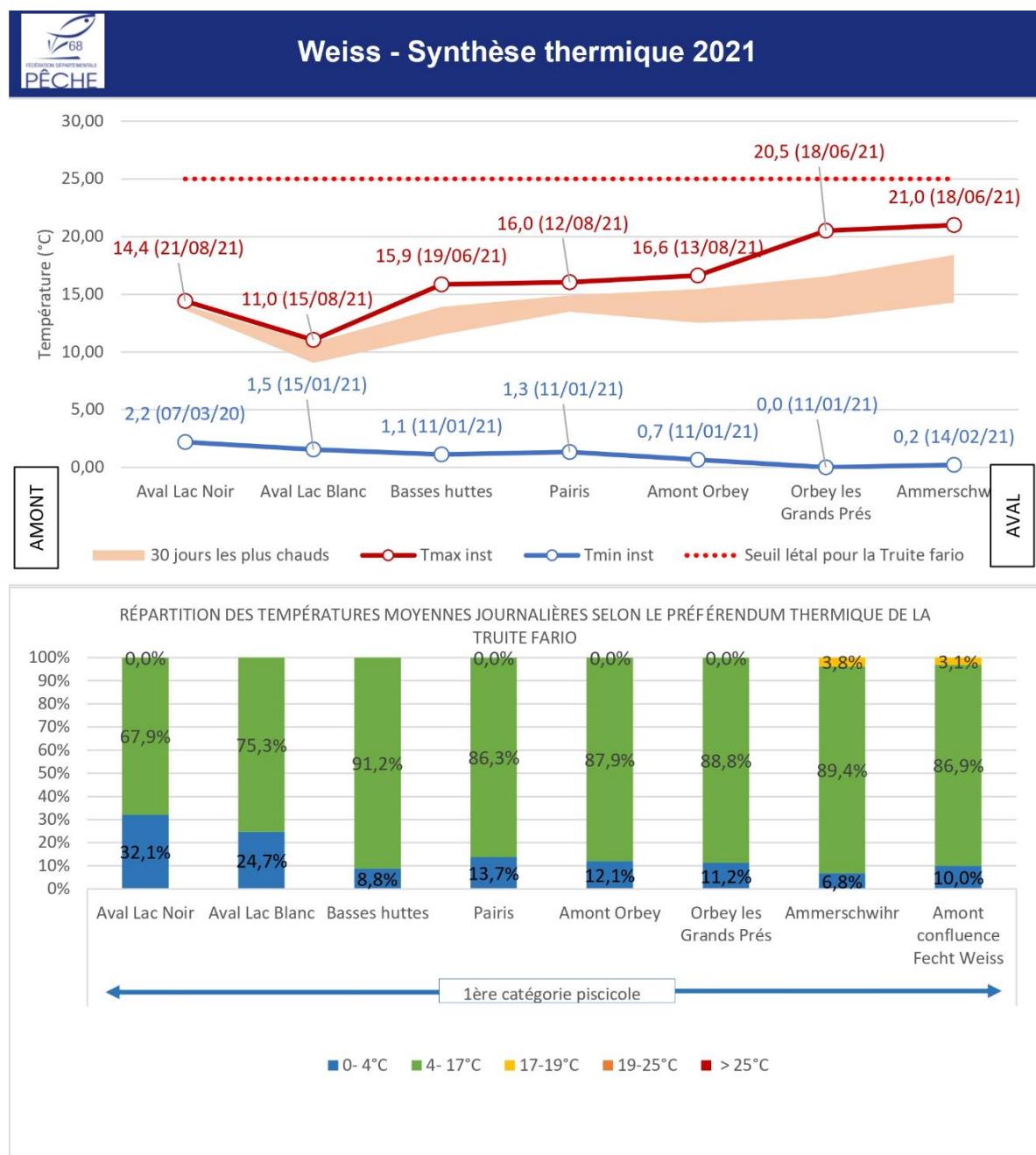


Figure 11 : Fiche synthèse thermique sur la Weiss et répartition des préfendums thermiques

Les températures instantanées maximales ont été relevées autour de la mi-juin ou de la mi-août. Les lacs Blanc et Noir ont des pics atteignant respectivement 11 et 14,4°C. L'amont de la Weiss, représentée par « Basses Huttés », a une valeur maximale de 15,9 tandis que l'aval, sur Ammerschwihr, atteint les 21°C. L'optimum thermique de la Truite fario est dépassé sur deux stations, W05 et W10, le seuil de stress des 19°C est ainsi atteint dès la partie médiane de la Weiss.

Les minimales se situent sous le seuil des 4°C pour l'ensemble des stations. Le gradient amont-aval n'est pas observé dans ce cas-ci, avec l'amont à 1,1°C le 11 janvier, la partie médiane à 0°C à cette même date sur W05 et l'aval à 0,2°C le 14 février. Quant aux lacs Blanc et Noir, ils ont respectivement des valeurs de 1,5°C survenue à la mi-janvier et de 2,2°C le 7 mars.

En ce qui concerne la répartition des températures moyennes journalières selon le référendum thermique de la Truite fario, l'année 2021 apparaît globalement favorable au développement de l'espèce repère, bien que les périodes froides soient bien présentes.

En effet, celles-ci sont représentées entre 6,8 (W10) et 13,7% (W06) sur la Weiss. Pour les lacs, les valeurs sous les 4°C sont à hauteur de 32,1% pour le Lac Noir et de 24,7% pour le Lac Blanc.

Quant aux températures au-dessus du référendum, elles sont plus anecdotiques, seulement présentent sur la partie aval, à partir de W10, entre 3,1 et 3,8%.

Bien que la sonde W10 soit la plus chaude enregistrée sur la période étudiée (température instantanée, moyenne et Tmm30jours), elle conserve 89,4% de ses valeurs dans l'optimum thermique de l'espèce repère, soit la deuxième station la plus favorable. La première se situe sur la source de la Weiss, W06, avec 91,2% des valeurs optimales pour la Truite fario.

Les stations les moins propices sont celles en aval des lacs, avec seulement 67,9% des valeurs entre 4 et 17°C pour le lac Noir et 75,3% pour le Lac Blanc.

Ces deux derniers, bien que moins favorables aux salmonidés, contribuent grandement à faire de la Weiss une rivière propice pour leur bon développement, avec, en moyenne sur son cours, 83,6% des valeurs comprises dans son optimum pour 2021 et aucune période dans l'inconfort ou le stress. Sont toutefois à souligner les hivers froids pouvant avoir eu pour conséquence de limiter le développement embryonnaire et la croissance des larves.

d) Bilan thermique pour la Weiss

Les apports des ruisseaux du Lac Noir et du Lac Blanc régissent le régime thermique de la Weiss avec le rejet d'eau froide à amplitude thermique faible tout le long de l'année. Cet ensemble permet à la Weiss de constituer un bassin globalement thermiquement compatible pour la Truite fario. Toutefois, des limites existent, avec des températures trop fraîches en début d'année pour le bon développement des individus.

L'impact des lacs, notamment du Lac Noir, à l'échelle de la station, est ainsi défavorable une partie de l'année 2021. Cependant, à l'échelle du bassin, ces eaux froides venues du fond des deux lacs de montagne ont un effet bénéfique en limitant le réchauffement du cours aval de la Weiss. Pour rappel, l'année 2021 reste particulière avec un été, notamment le mois de juillet, extrêmement pluvieux et relativement froid, expliquant le faible impact de la période estivale. L'amont de la Weiss, dans les années futures et dans le contexte de changement climatique, pourrait constituer un refuge pour les salmonidés.

3. Bassin de la Fecht

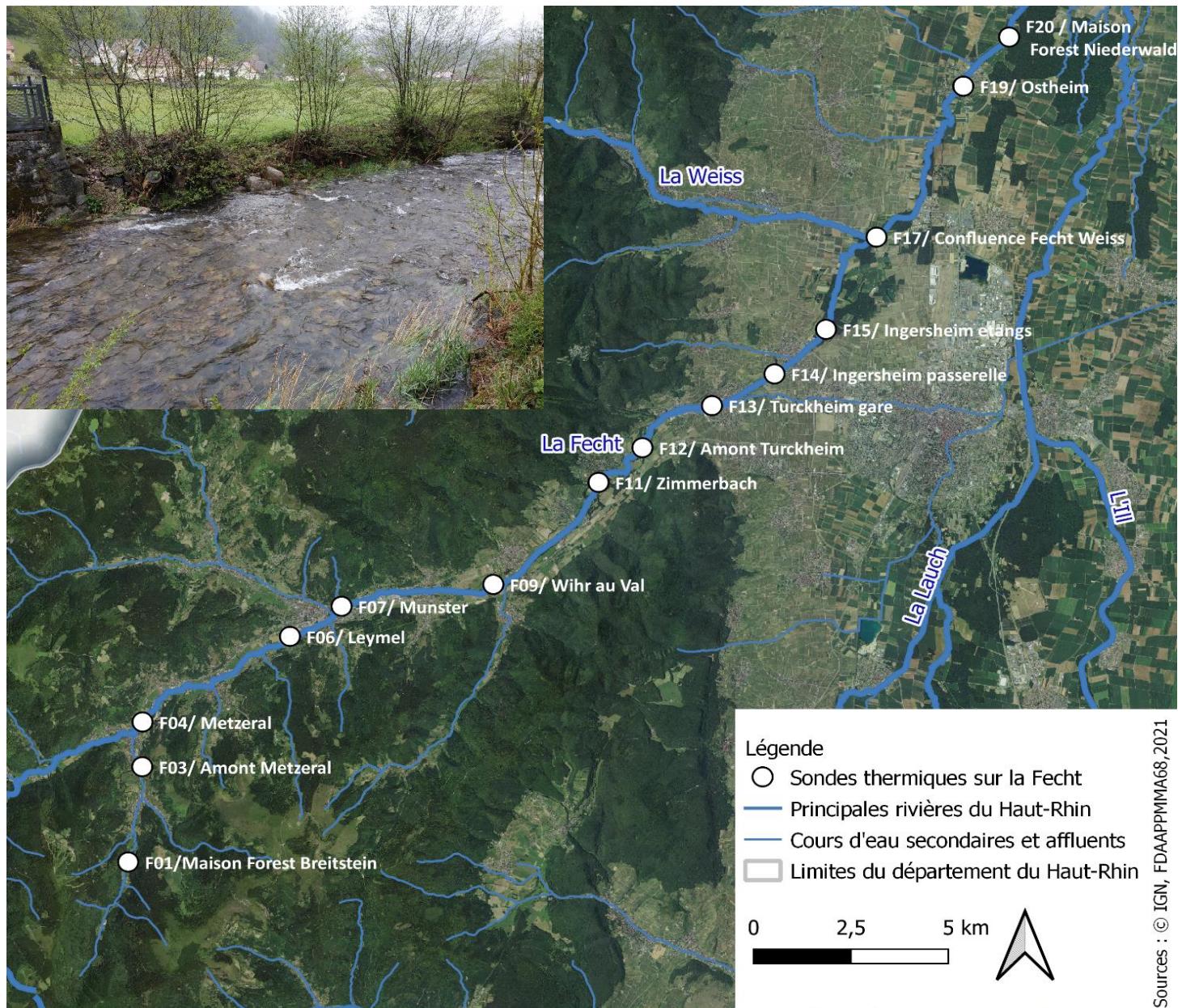


Figure 12 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Fecht (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)

La Fecht naît de la confluence de la Grande Fecht et de la Fecht de Sondernach, au niveau de la commune de Metzeral, à 1 030 m d'altitude. D'autres affluents la rejoignent, comme le torrent de montagne qu'est la petite Fecht, et elle finit son parcours de 49 km au niveau de Illhaeusern, dans l'Ill. La superficie de son bassin versant de 545 km² et possède un régime pluvial et un module de 6,640m³/s au niveau de la commune d'Ostheim.

A l'instar des autres cours d'eau du Haut-Rhin, à la suite de fortes crues historiques, elle a été endiguée sur tout son cours au 19^{ème} siècle. Aujourd'hui, elle demeure naturelle sur très peu de secteurs, notamment en aval de Ingersheim, entre les diverses communes traversées (Ostheim, Guémar et Illhaeusern). Elle y a conservé une apparence naturelle, avec une ripisylve abondante et des alternances radier/mouille conséquentes qui remplissent les exigences écologiques de ces nombreuses espèces.

La limite administrative entre ses eaux de première catégorie piscicole et de seconde se situe au niveau de la commune de Sigolsheim à la hauteur du pont reliant la gare de Bennwihr (soit ici, à partir de la station F19).

Au total, 15 sondes thermiques équipent le bassin de la Fecht de la maison forestière de Breistein jusqu'en amont de sa confluence au niveau d'Illhaeusern. A savoir, sur la période étudiée, certaines sondes n'ont pas relevé l'ensemble des données souhaitées (bugs, déchargement de pile, sonde perdue, etc.). Ainsi, F01, F03, F09 et F14 sont exclues des analyses ci-après.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Pur faciliter la lecture des résultats des températures moyennes journalières de la Fecht en 2021, seules 4 sondes ont été sélectionnées pour leur analyse (Figure 13) :

- L'amont représenté par F04 « Metzeral » en bleu ;
- Le centre représenté par F11 « Zimmerbach » en vert et F12 « Amont Turckheim » en orange ;
- L'aval représenté par F22 « Amont Illhaeusern » en rouge.

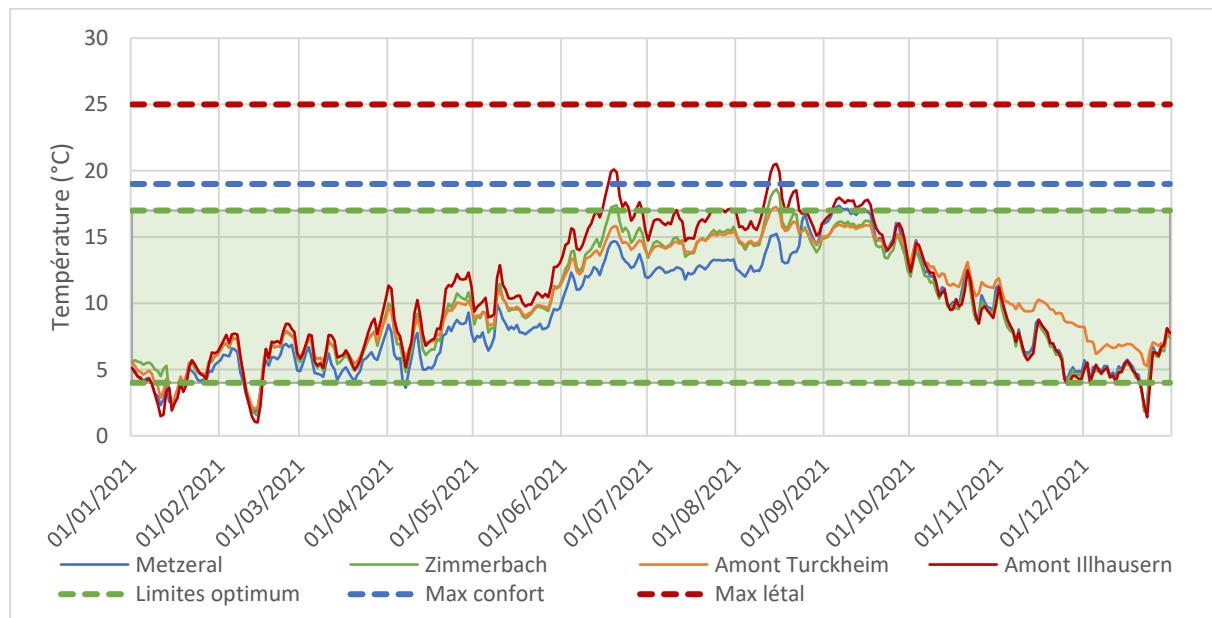


Figure 13 : Températures moyennes journalières sur la Fecht pour 4 stations durant l'année de suivi 2021

Un gradient amont-aval se dessine avec des températures plus chaudes en aval qu'en amont. Les températures augmentent progressivement au début de l'année avant de croître nettement à la mi-avril pour l'ensemble de la rivière et commencent leur décroissance à la fin août jusqu'à fin décembre. Il est à noter la stabilisation des températures durant le mois de juillet. L'optimum thermique des 17°C est dépassé dès la mi-juin sur la station F22 mais ce passage est de courte durée. 3 autres pics similaires interviennent à la mi-août (2) et un à la mi-septembre. Au début de l'année 2021, les températures passent sous le seuil des 4°C aux alentours du 10 janvier et à la mi-février, pour l'ensemble des stations. Leur profil est par ailleurs en tout point similaire hormis pour F13 qui, à partir d'octobre, conserve des températures plus clémentes jusqu'à la fin décembre (une différence jusqu'à 4,6°C est observée).

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

L'ensemble des sondes placé sur le bassin figure sur l'analyse des températures moyennes des 30 jours les plus chauds. (Figure 14). Cependant, celles dont les données sont non exploitées sont représentées par un symbole de taille inférieure aux autres.

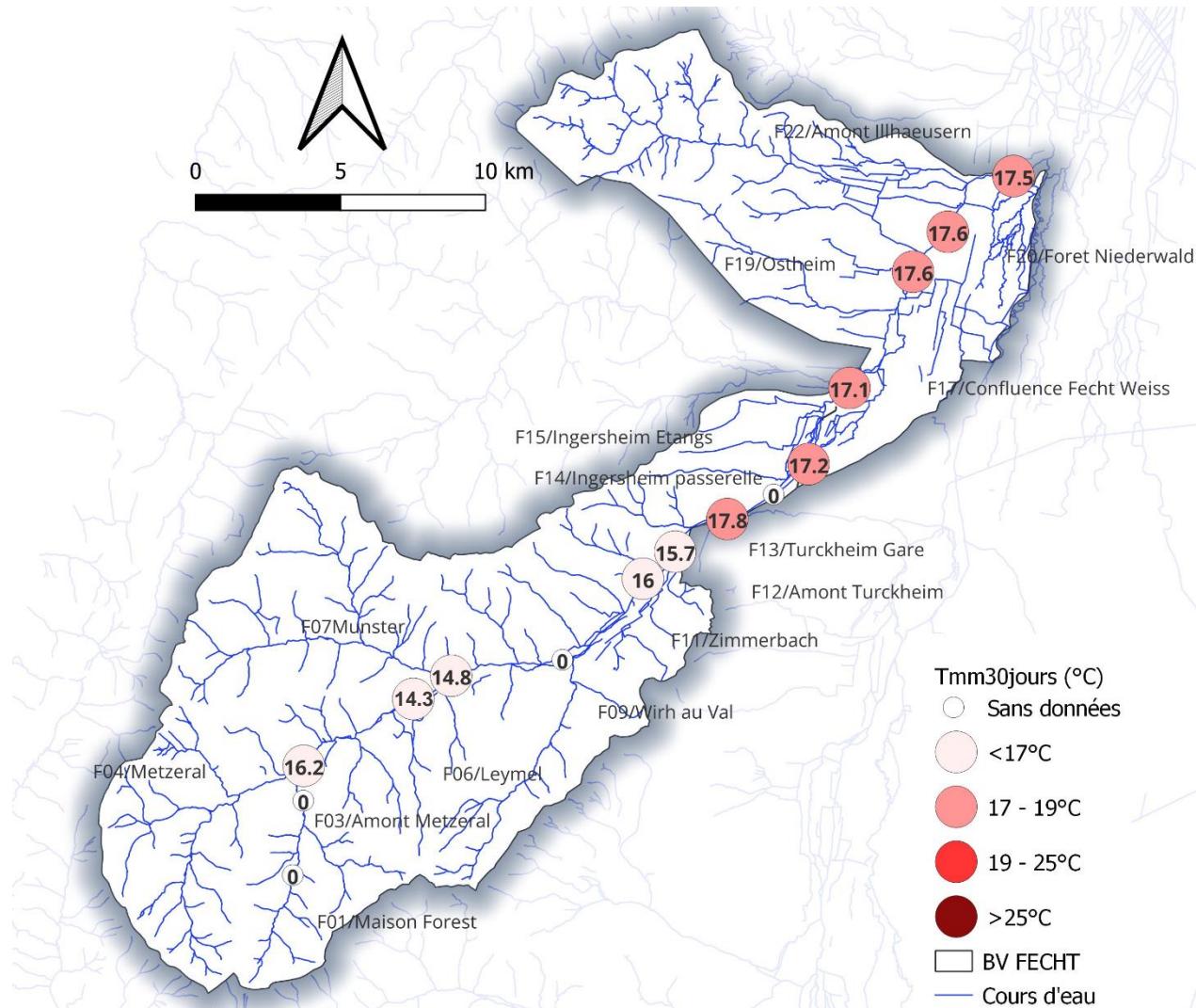


Figure 14 : Moyenne de la température des 30 jours les plus chauds sur la Fecht

La principale rupture sur la Fecht est observable à partir de F13, sur la commune de Turckheim, avec une moyenne passant de 15,71 à 17,83°C (différence entre F12 et F13). Les sondes plus en aval sont comprises dans le même intervalle, avec une valeur maximale sur F13, à 17,83 contre une minimale à 17,13°C (F17).

Les stations les plus en amont ont eu un été 2021 relativement peu stressant pour les populations de Truite fario avec une moyenne des 30 jours les plus chauds comprise entre 14,26 et 16,18°C.

Le seuil de stress, au-dessus des 19°C n'est pas atteint sur cette moyenne, ce qui permet d'affirmer que, si du stress dû à la thermie est survenu durant l'année 2021, son impact a été atténué par la faible durée de températures élevées.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

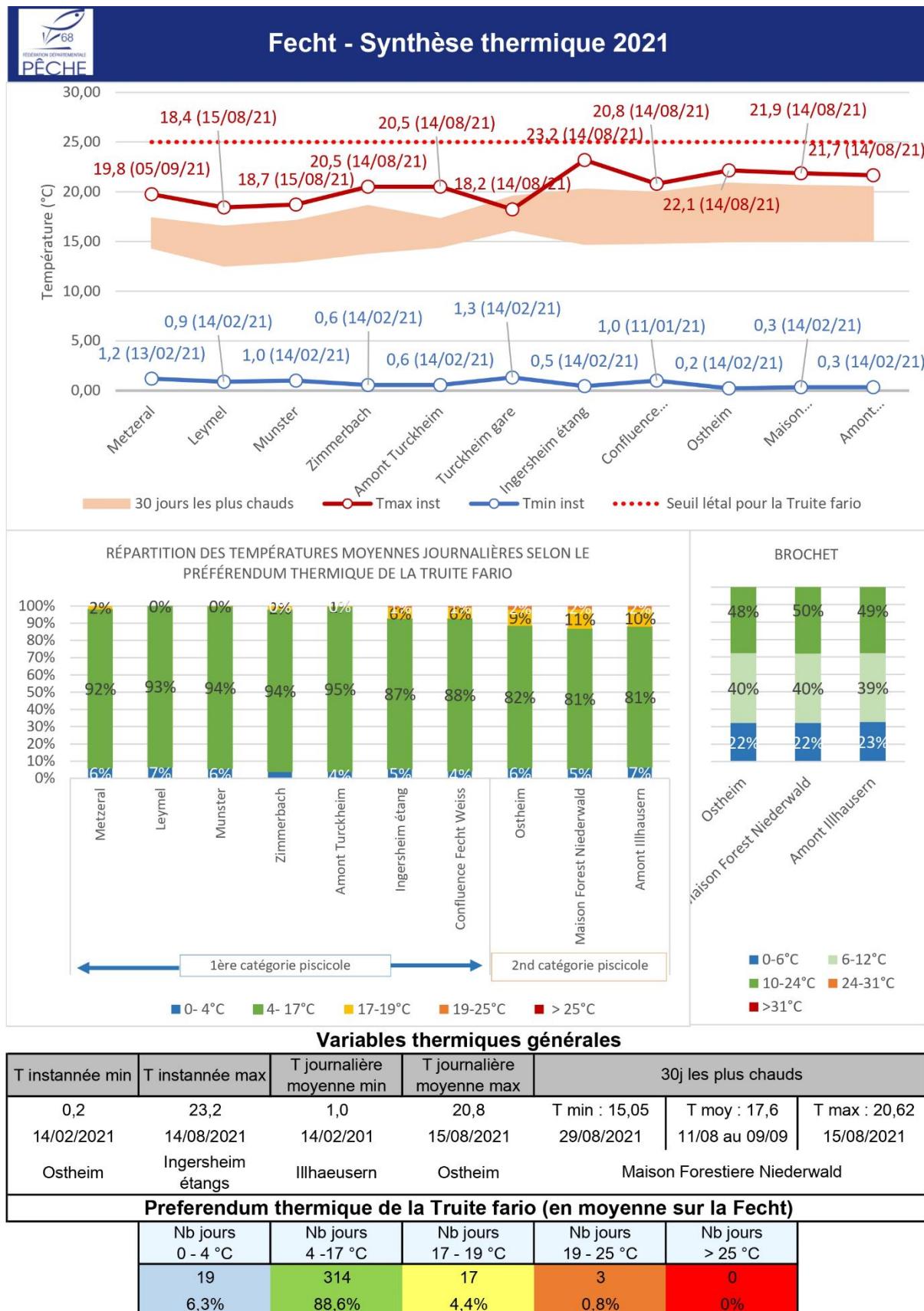


Figure 15 : Fiche synthèse thermique sur la Fecht et répartition des optimums thermiques

Les températures minimales instantanées sont majoritairement atteintes à la mi-février, excepté pour F17 où la température minimale relevée de 1°C a été enregistrée le 11 janvier. La plus basse relevée est de 0,2°C sur « Ostheim » et la plus élevée de 1,3 sur « Turckheim Gare ».

Les températures maximales instantanées sont au-dessus des 20°C à partir de Zimmerbach, avec une exception pour F13 avec la plus faible valeur relevée, 18,2°C. Quant à la valeur la plus élevée, elle est de 22,1 sur « Ostheim ». Ces pics de chaleur sont majoritairement survenus à la mi-août, excepté pour F03 où c'est la date du 5 septembre qui enregistre la température la plus importante de la station. Le seuil de stress des 19°C est ainsi dépassé mais pas le seuil létal des 25°C.

La rupture engendrée par la traversée de la commune de Turckheim se confirme avec la répartition des proportions des températures moyennes selon les préférendums thermiques (Figure 15). En effet, les stations plus en amont, F12 comprise, ont des températures comprises dans l'optimum de la Truite fario entre 92 et 95% du temps sur l'année 2021. A la station F13, « Turckheim gare », ces proportions descendent à 87% et descend progressivement jusqu'à 81% pour la station la plus à l'aval, F22. Ainsi, malgré une limite de 2^{nde} catégorie 8 km en aval de Turckheim, en termes de thermie, la Fecht est déjà moins favorable aux populations de Truite fario avec des seuils d'inconfort et de stress variant respectivement entre 4 et 11% et 1 et 2%.

Par ailleurs, en ce qui concerne le Brochet, les températures ne sont pas particulièrement clémentes avec seulement, au maximum, 40% d'entre elles comprises dans son optimum thermique (10-24°C). Les eaux de la Fecht sont ainsi relativement fraîches pour accueillir des populations de ce carnassier.

Ces données thermiques confirment les données biologiques sur cette rivière, avec des proportions de populations de cyprinidés rhéophiles croissante à partir du centre-ville de Turckheim.

d) Bilan thermique pour la Fecht

La Fecht, sur sa partie amont notamment, a été, en 2021, propice pour le cycle biologique de la Truite fario. Elle présente plus de 90% de ses températures comprises dans l'optimum thermique de cette espèce, en amont de F12. Son profil thermique, sur ce secteur, est caractéristique des cours d'eau de moyenne montagne.

C'est à partir de « Turckheim gare » que le cours d'eau commence à présenter des thermiques défavorables pour ces salmonidés. La traversée de l'agglomération se fait sur un lit relativement large et entre deux murs de rive, la lame d'eau est ainsi moins profonde, faiblement ombragée et plus dépendante de la température de l'air. Ces stations situées sur l'aval de la Fecht ne sont pas plus compatibles avec le développement du Brochet et sont bien plus propices aux cyprinidés rhéophiles.

Les autres agglomérations traversées ont un profil similaire, à l'exception de la commune d'Ostheim qui avait entrepris d'installer des banquettes végétalisées pour dynamiser le cours d'eau. Sur la partie aval, hormis un secteur forestier sur Bennwihr gare et Bennwihr, des efforts de densification de la ripisylve ou de diversification des courants pourraient améliorer les conditions thermiques de la Fecht. Ces actions sont d'autant plus importantes avec le changement climatique en place dans la région. Par ailleurs, l'effet bénéfique de telles opérations est parfaitement illustré par le secteur forestier entre Ingersheim et Ostheim abritant une population de salmonidé, l'Ombre commun grâce à un ombrage important et des alternances radier/mouille limitant le réchauffement des eaux.

L'année 2021 a également été marquée une période estivale relativement fraîche, tout comme le reste de l'année (jusqu'à 7% des valeurs sous les 4°C sur la partie aval).

4. Le bassin de la Lauch

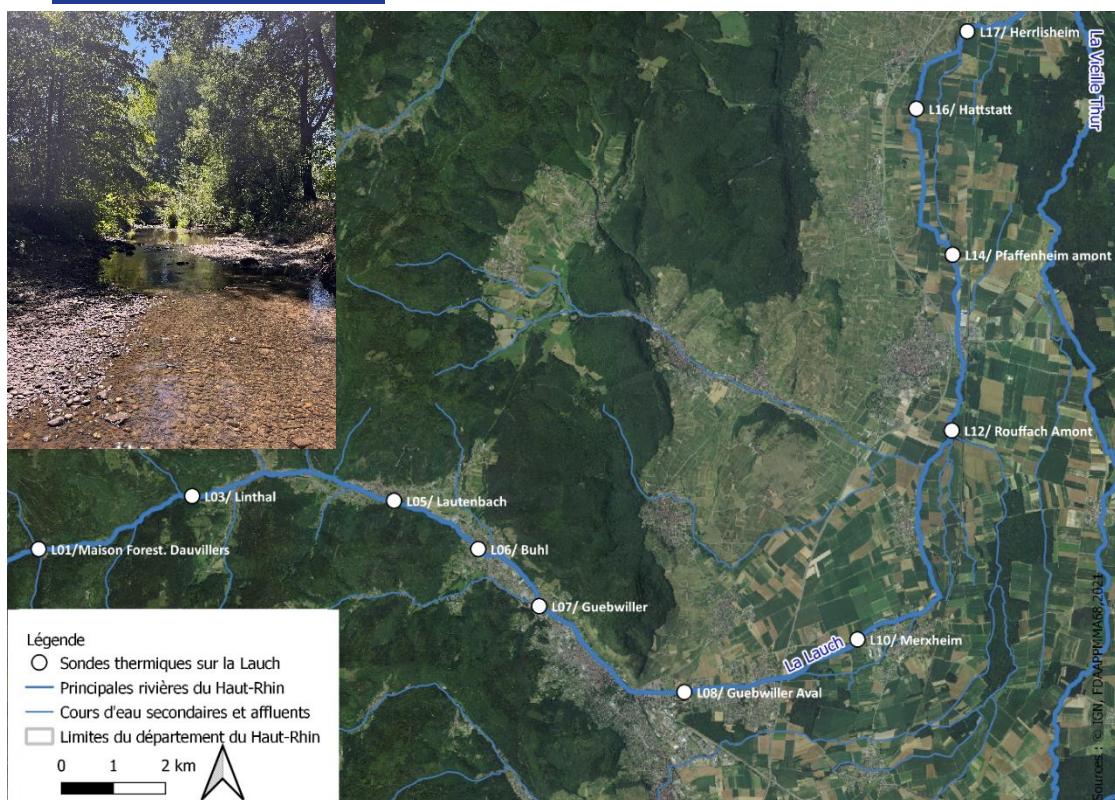


Figure 16 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Lauch (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)

La Lauch suit la vallée de Guebwiller, en commençant sa route entre les massifs du Breitfirst et du Lauchenkopf, à 1 200 m d'altitude et en rejoignant rapidement le lac de la Lauch. Son trajet se poursuit jusqu'à l'aval de Colmar où elle se jette dans l'Ill après un parcours de 50 km. Sa dernière partie, au niveau de Colmar, est par ailleurs fortement modifiée et canalisée. Au niveau d'Herrlisheim Près Colmar, cette rivière connaît d'importantes infiltrations vers la nappe phréatique, engendrant durant les étés chauds, des tronçons totalement à sec. Malgré le soutien d'étiage du lac de la Lauch et celui du Ballon, ces derniers ne suffisent pas à pallier cette infiltration. Elle retrouve une lame d'eau plus importante après l'arrivée de la Vieille Thur sur sa rive droite.

L'amont du bassin étant caractérisé par une forte pente, les crues liées à la fonte des neiges sont parfois violentes. Le module de la Lauch est de 0,86 m³/s à Linthal et de 1,590 m³/s à Guebwiller avec des crues biennales calculées à 14 m³/s. Son bassin versant est de 390km².

Deux lacs de montagne sont présents sur le bassin : le lac de la Lauch (11ha) et le lac du Ballon (8ha).

Un total de 11 sondes est présent sur le cours de la Lauch. En 2021, deux d'entre elles n'ont pas l'entièreté des données de la périodes étudiées. Ainsi, L05 « Lautenbach » et L14 « Pfaffenheim amont » sont exclues des analyses. L06, L10 et L12 ont des données manquantes mais seulement pour l'automne, la période critique de l'été ayant été enregistrée, ces sondes ont été conservées.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Les températures moyennes journalières présentées ci-après montrent les profils de 4 sondes, notamment pour faciliter la lecture du graphique (Figure 17) :

- La sonde en amont, L01 « Maison Forest. Dauvilliers, en bleu ;
- Deux sondes situées au centre du parcours de la Lauch, L08 « Aval Guebwiller » et L10 « Merxheim », respectivement en vert et en jaune ;
- La sonde la plus en aval, L17 « Herrlisheim », en rouge.

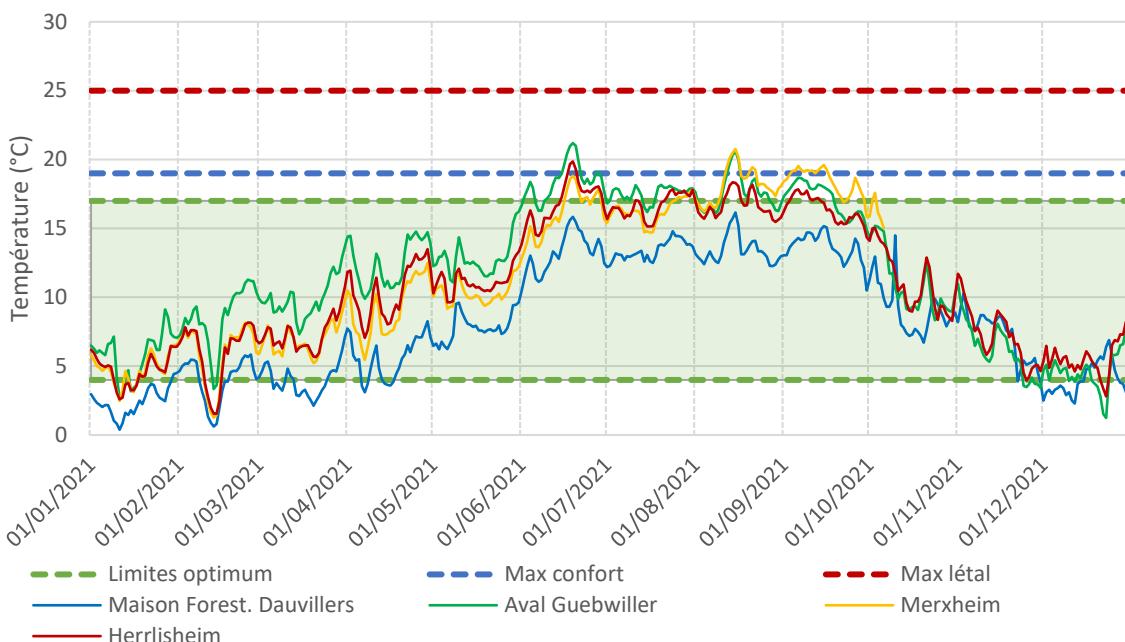


Figure 17 : Températures moyennes journalières sur la Lauch pour 4 stations

Les profils évoluent de façon similaire. La seule dissonance est observée à la fin de l'hiver 2021, de début novembre à fin décembre où L01 se détache des autres courbes. La période la plus chaude de l'année 2021 se déroule de début juin à fin septembre. Deux pics de froids sont observés : un à la mi-février et un survenu fin décembre.

La Lauch conserve un gradient amont-aval très marqué avec une différence de 4°C entre L1 et L17 durant la période estivale. Cet écart diminue en hiver, notamment durant le mois de décembre avec, en moyenne, une valeur de 2°C.

L01 se retrouve en dehors du préfendum thermique de la Truite fario avec des valeurs sous les 4°C tout le mois de janvier et jusqu'à la mi-février et de la fin novembre à la mi-décembre. Cette station ne va cependant jamais au-delà des 17°C, ce qui n'est pas le cas des 3 autres profils qui atteignent le seuil de stress de 19°C après la mi-juin et à la mi-août. Ces périodes de chaleurs sont sous la forme de pics, leur durée est donc relativement faible.

Malgré sa situation géographique, sur le milieu du linéaire de la Lauch, la sonde L08 présente les valeurs les plus importantes jusqu'à la fin juillet où Merxheim, située juste à l'aval, possède des températures supérieures. Ces particularités sont dues, pour L08, à la traversée de la commune où la Lauch est coincée entre deux murs de rives avec un tracé rectiligne et, pour L10, l'explication peut venir de l'infiltration de la Lauch vers la nappe, la lame d'eau est ainsi diminuée et plus soumise aux variations des températures de l'air.

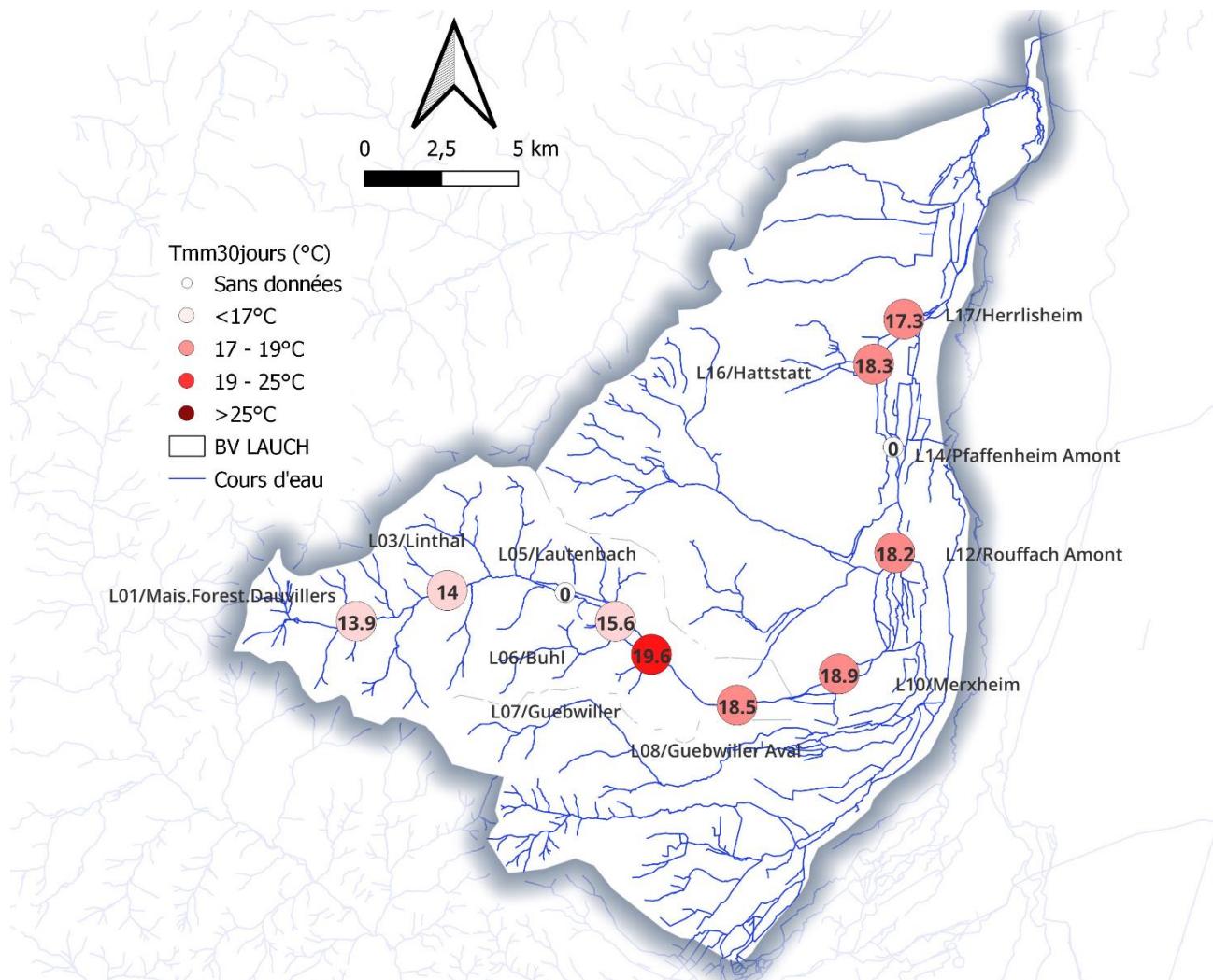
b) Présentation des 30 jours les plus chauds

Figure 18 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Lauch

La période des 30 jours les plus chaud est fluctuante en fonction des stations. Elle intervient :

- De la mi-juin à la mi-juillet pour L08 et L17 ;
- De la mi-juillet à la mi-août pour L01, L07, L12 et L16 ;
- De la mi-août à la mi-septembre pour L03 et L10.

Sur la partie amont, les stations possèdent des températures moyennes des 30 jours les plus chaudes inférieures à 17°C. La rupture se fait au niveau de L07, sur la commune de Guebwiller où elle est à 19,5°C. Passé ce point, l'ensemble des stations se situe entre les 17 et 19°C (Figure 18).

Le seuil de confort des 19°C est dépassé dès L08, soit après la traversée de Guebwiller, avec une valeur de 19,9°C.

Sur la Lauch, la Tmm30jours démontre l'impact sur la thermie des traversées d'agglomération mais aussi celui des rejets relargués dans son cours avec des valeurs en hausse à Merxheim (18,9°C contre 18,5 et 18,2 de part et d'autre de L10). Les populations de Truite fario, en théorie, sont encore bien présentes sur ces tronçons, le classement en seconde catégorie piscicole n'intervenant qu'à L12. Ce bassin apparaît ainsi peu accueillant, en termes de thermie en période estivale, pour ce salmonidé dès la commune de Guebwiller.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

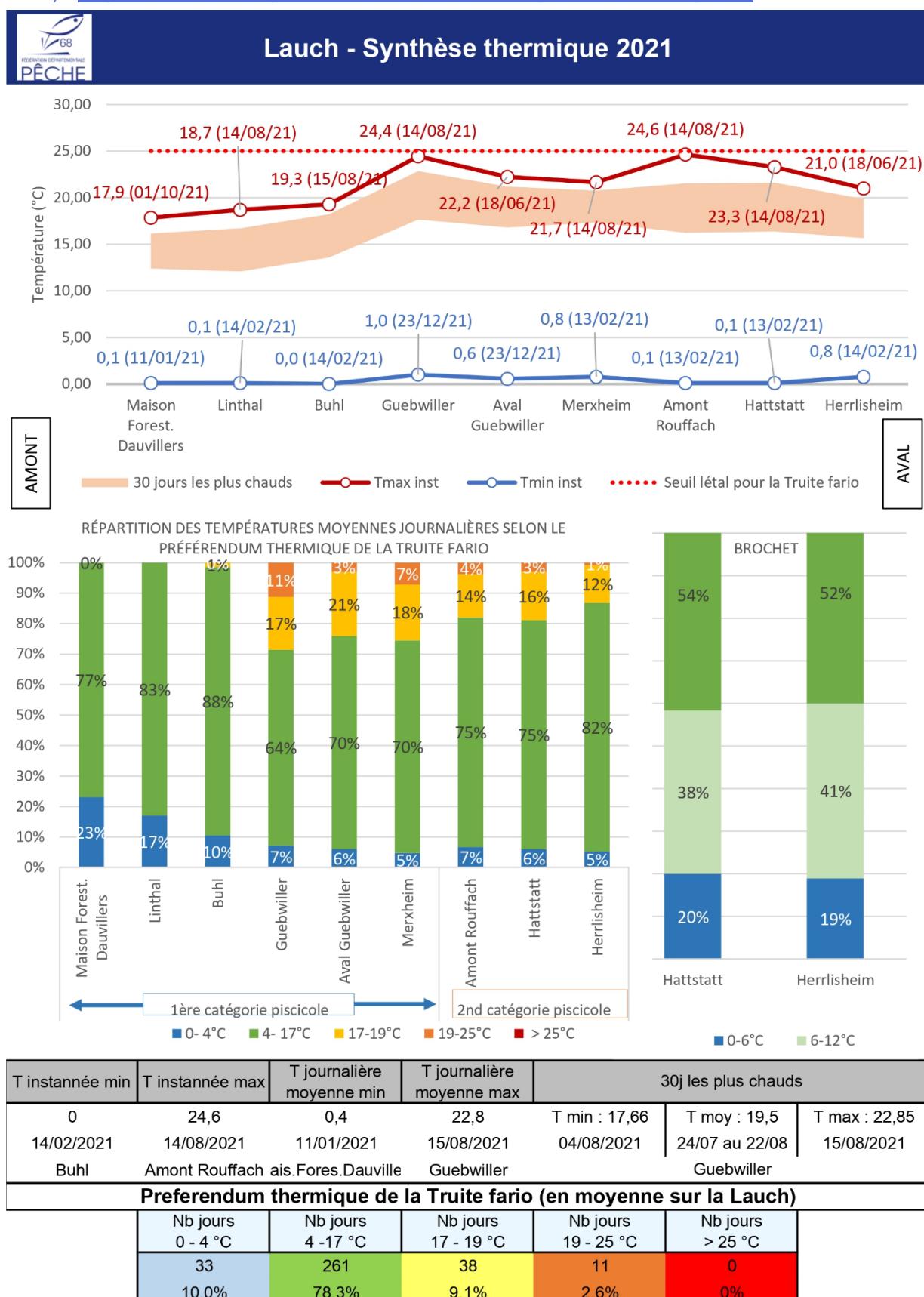


Figure 19 : Fiche de synthèse thermique sur la Lauch et répartition des optimums thermiques

Les températures instantanées maximales, à l'instar des moyennes journalières, ne dépassent pas le seuil létal des 25°C (Figure 19). La température la plus élevée est de 24,6°C, relevée sur L12, le 14 août. D'autres stations dépassent le seuil des 20°C, toutes celles à partir de la commune de Guebwiller dont la majorité intervient également le 14 août, sauf pour L08 et L17 où leur température maximale est survenue le 18 juin. Les trois stations situées plus à l'amont sont plus clémentes mais restent toutes au-dessus de l'optimum thermique de la Truite fario avec des valeurs allant de 17,9 à 19,3°C (respectivement pour L01 et L04) survenues à la mi-août, excepté pour L01 où cette température a été relevée le 1^{er} octobre.

Quant aux minimales instantanées, elles sont largement sous le seuil de l'optimum thermique de 4°C quel que soit la station, avec un minimum observé sur « Buhl » pour une valeur de 0°C le 14 février. La mi-février est la période la plus fraîche sur la majorité des stations, hormis pour L01 (11 janvier) et L07 et L08 (23 décembre).

En ce qui concerne la répartition des températures moyennes journalières selon le préférendum thermique de la Truite fario, pour l'année 2021, l'amont de la Lauch présente des températures relativement fraîches faisant chuter les valeurs comprises entre 4 et 17°C (77% pour L01 et 88% pour L04). Les stations les moins propices au développement du salmonidé repère sont L07, L08 et L10 avec respectivement 64% et 70% pour les deux dernières. Passé Merxheim, les températures élevées sont moins présentes, avec en moyenne 16,6% des valeurs aux dessus des 17°C contre 25% pour les stations entre Guebwiller et Merxheim. Les températures sous les 4°C descendent progressivement de l'amont vers l'aval, avec une proportion comprise entre 23 et 5%, de L01 à L17.

Avec l'étude du compartiment biologique, le constat est que celui-ci est conforme avec l'évolution de la thermie. C'est en effet en amont de Guebwiller que les salmonidés sont plus présents, laissant par la suite leur place aux cyprinidés rhéophiles. La thermie n'est pas incompatible avec le développement de population de Brochet avec environ 50% des valeurs comprises dans leur optimum entre 10 et 24°C. Mais la Lauch apparaît tout de même fraîche, pour l'année 2021, pour cette espèce.

d) Bilan thermique de la Lauch

La Lauch, en 2021, conserve un profil thermique classique de cours d'eau de moyenne montagne et apparaît relativement fraîche durant les périodes hivernales. C'est à partir de la commune de Guebwiller que le cours d'eau connaît des températures globalement élevées avec un dépassement du seuil de stress de 19°C à plusieurs reprises. La traversée de l'agglomération est comprise entre deux murs de rives avec peu de ripisylve, expliquant la rupture avec la station plus en amont.

Quant aux températures plus élevées de L10 par rapport aux stations plus en aval, Elles peuvent s'expliquer par les phénomènes d'infiltration de la rivière vers la nappe phréatique. En plus d'une lame d'eau réduite, il faut souligner les rejets, notamment des stations d'épuration, qui remettent des eaux usées dans le milieu à des concentrations qui ne sont plus en adéquation avec les étiages de plus en plus sévères subis par la Lauch, incapable de les diluer.

Ces diverses observations, couplées aux recensements piscicoles historiques réalisés dans le secteur, mettent en avant le fait que les proportions d'espèces sténothermes d'eau froide sont en diminution au profit des espèces cyprinicoles.

Dans un contexte de changement climatique, des actions pourraient être entreprises pour améliorer les secteurs mis en avant sur ces analyses avec, par exemple, une diversification de la ripisylve et de nouvelles normes de rejets en cas d'étiage sévère.

5. Bassin de la Thur

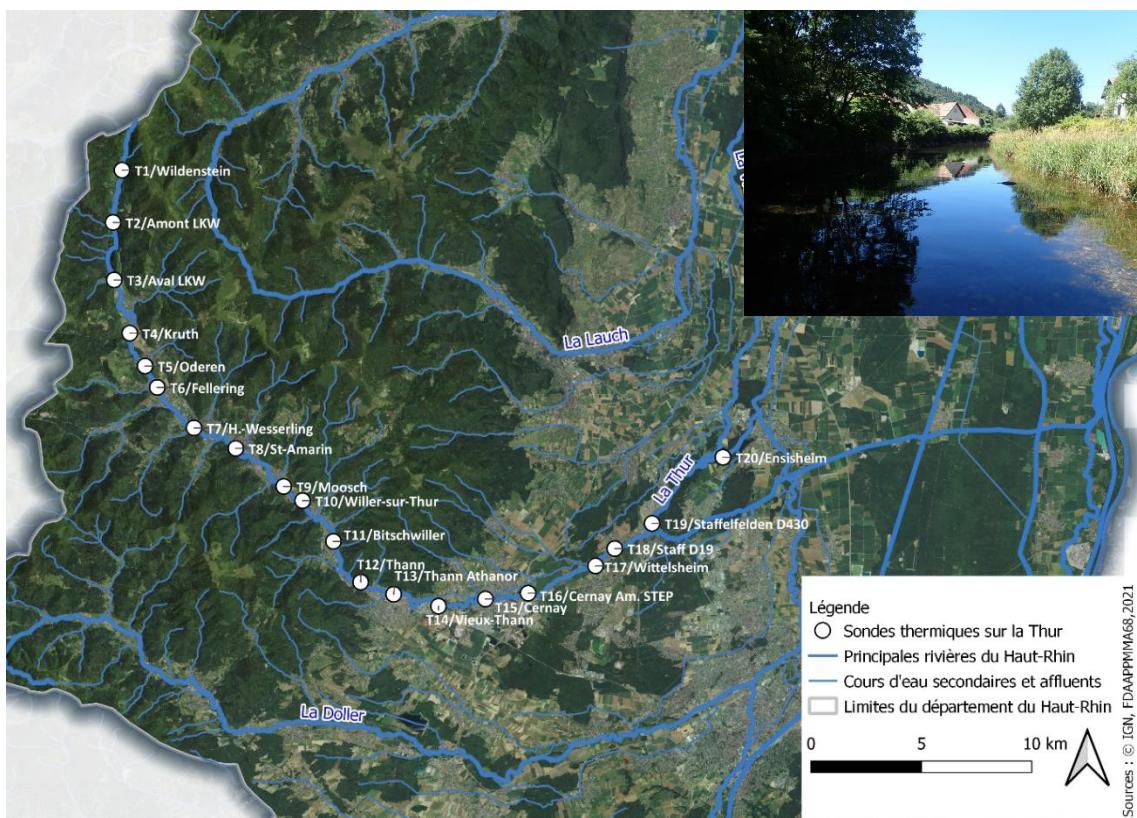


Figure 20 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Thur (de l'amont à l'Ouest à l'aval à l'Est)

La Thur connaît un passé industriel, notamment dû à l'exploitation minière, entraînant l'abaissement de son lit et la création de nombreux seuils pour le maintenir.

La rivière prend sa source au niveau de la commune de Wildenstein à 1 195 m au sein du massif des Vosges. Elle descend vers la plaine sur un linéaire de 53 km où elle aura traversé de nombreuses communes, comme Thann ou Cernay. Elle aura été rejointe, sur son bassin de 262 km² par plus d'une vingtaine d'affluents. Au niveau de Pulversheim, une partie de son cours est détourné, la Vieille Thur rejoint ainsi la Lauch sur Herrlisheim près Colmar tandis que la Thur termine son parcours sur l'Ill, au niveau de Ensisheim.

Sur sa partie amont, elle passe sur le Lac de Kruth-Wildenstein (LKW) de 81ha et 35 m de profondeur, construit en 1964. Ce dernier engendre un refroidissement des eaux en restituant les eaux de la Thur via une lame de fond, créant une zone aux températures trop fraîches pour la vie aquatique sur son aval direct mais permettant au reste de son linéaire de conserver des températures estivales non extrêmes.

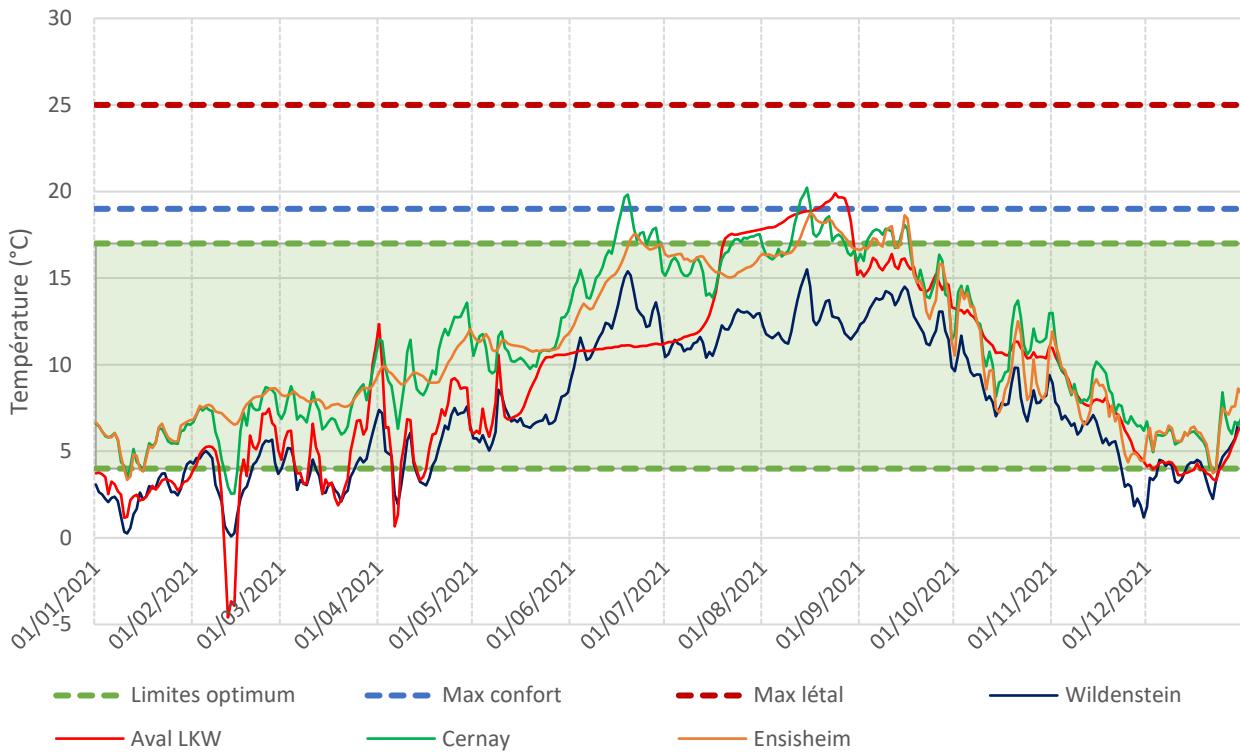
La Thur possède un régime de type pluvial nival avec un module de 0,365m³/s à Wildenstein, 5,12 m³/s à Willers-sur-Thur et 6,05 m³/s à Pulversheim. Les crues hivernales peuvent être très importantes (11,6m³/s en moyenne en janvier à Pulversheim).

Vingt sondes sont disposées sur son cours. Sur l'année 2021, 9 d'entre elles sont non exploitables (hors d'eau, bug, pile épuisée, ...). Les sondes T2, T5, T6, T9, T11, T12, T13, T17, T18, T20 et T21 sont incomplètes et ne sont ainsi pas comprises dans les analyses.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Pour une meilleure analyse de ce paramètre, seules 5 sondes ont été sélectionnées (Figure 21) :

- La partie amont, représentée par T1 « Wildenstein », bleu avec T3, « aval LKW » pour observer l'impact du lac, en rouge ;
- La partie centrale avec T15 « Cernay », respectivement en vert ;
- La partie aval avec T20 « Ensisheim », en orange.



Pour l'année 2021, la Thur est particulièrement fraîche, sur sa partie amont, pour les salmonidés de janvier à mars 2021 et de la fin novembre jusqu'au 31 décembre avec des températures allant régulièrement sous les 4°C. C'est à partir de la commune de Cernay et de la mi-juin que des températures supérieures à 17°C sont atteintes. Toutefois, celles-ci durent davantage à la fin de l'été, de la mi-août à la mi-septembre et n'atteignent jamais le seuil léthal des 25°C (température moyenne maximale relevée le 15 août pour T15 à 20,23°C).

L'évolution du profil des températures de T03, en aval du LKW, démontre toute l'influence des travaux sur le barrage sur la thermie de la rivière. En effet, la première impression de lecture peut laisser supposer une sonde hors d'eau au vu des amplitudes thermiques de la période entre février et mai. Mais ces amplitudes, bien qu'allant en s'atténuant, sont visibles jusqu'à la station Saint-Amarin. Ainsi, la sonde T03 a correctement relevé les températures de l'eau mais qui ont fortement été modifiées tout le long de l'année par le LKW, laissant supposer un relargage d'eau de surface.

T03 présente un aspect lissé de mai à septembre avec des valeurs estivales se rapprochant de celles observées sur Cernay, soit très élevées pour un amont de bassin. De février à juin, le profil oscille entre les extrêmes bas et les extrêmes hauts, sa thermie est très disparate. Ainsi, les eaux du LKW ont vu leur régime thermique fortement modifié avec les travaux, avec une lame de fond bien plus soumise aux températures de l'air qu'à l'accoutumée.

Seconde particularité observée, T16 possède les valeurs les plus élevées sur plusieurs périodes, de début avril jusqu'à la fin de l'année 2021. C'est au printemps que ce phénomène est le plus flagrant, avec une différence allant jusqu'à 2,5°C entre T20 et T16. Cernay est ainsi une agglomération ayant un fort impact sur la thermie du cours d'eau, principalement dû à une dérivation des eaux de la Thur, limitant ainsi son débit et sa profondeur et laissant davantage varier au contact de la température de l'air.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

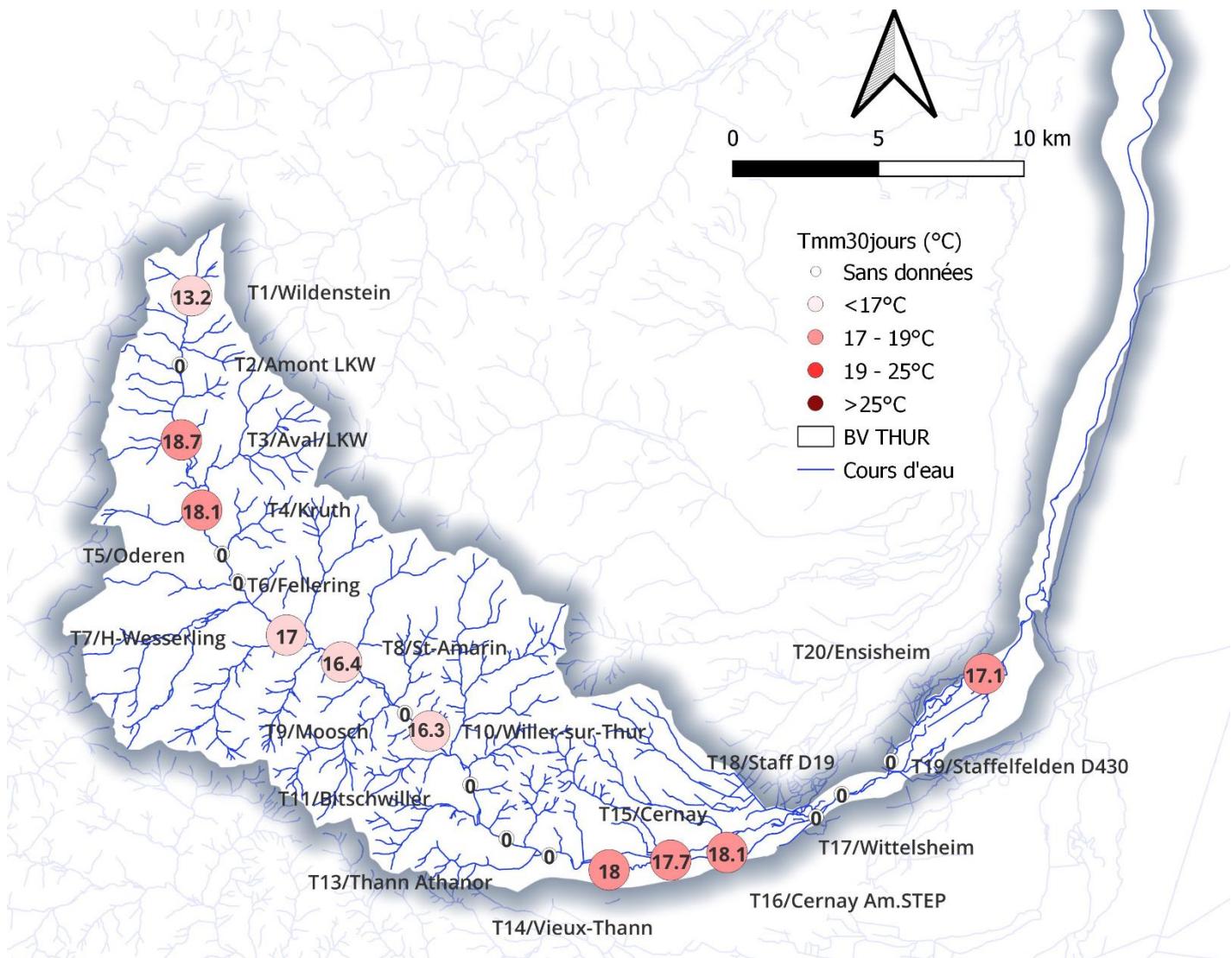


Figure 22 : température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Thur

Les 30 jours les plus chauds, sur la Thur, en 2021, sont intervenus à deux périodes :

- De la fin juillet à la fin août pour T03, T04, T07, T08 et T10 ;
- De la mi-août à la mi-septembre pour T01, T14, T15, T16, T18 et T20.

Deux ruptures sont visibles, une première au niveau de T3 et une seconde sur T14, démontrant respectivement le réchauffement des eaux suite aux travaux du LKW et celui issu des traversées urbaines.

L'ensemble des stations ne dépasse pas les 19°C, malgré une sortie de l'optimum thermique, l'été 2021 a été peu stressant sur la Thur. La plus faible valeur des Tmm30jours a été relevé

sur T1, à 13,2°C et la plus élevée sur T3, à 18,7°C. La Thur se rafraîchit plus en aval avec des moyennes entre 16,3 et 17°C entre T07 et T10 avant d'avoisiner les 18°C pour le reste du bassin. Le secteur le plus favorable à la Truite fario, pour 2021, se situe tout à l'amont de la Thur et sur sa partie médiane.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

Les températures maximales instantanées voient leur valeur la plus élevée à 28,8°C le 31 mars à l'aval du LKW (Figure 23). Le seuil léthal des 25°C est ainsi dépassé dès l'amont de la Thur. Cette valeur étant due aux travaux sur le lac, leur impact se dissipe plus en aval, la deuxième valeur la plus élevée enregistrée se situant sur Cernay (T16), à 22,5°C le 15 août. Le seuil de stress des 19°C a été atteint pour l'ensemble des stations, dès T3.

Quant aux minimales instantanées, la plus faible est relevée sur T3, le 14 février, à -9,4°C. Cette valeur semblant aberrante et due, une fois de plus, aux travaux survenus sur le lac de Kruth-Wildenstein. La majorité des extrêmes froids est survenue à cette période, les autres ont été relevés la deuxième semaine de janvier (entre le 9 et le 11).

Les zones les plus favorables pour la Truite fario selon la répartition des températures moyennes journalières selon son référendum, se situent sur Husseren-Wesserling jusqu'à Willer sur Thur avec entre 90,7 et 93,4% des valeurs comprises entre 4 et 17°C. Le secteur le plus en aval, T20, reste également favorable avec 90,1% des valeurs dans l'optimum thermique. La partie amont est moins propice, en 2021 au bon développement de l'espèce repère avec près de 20% de valeurs inférieures à 4°C et 10% pour T3 et T4 des valeurs supérieures à 17°C.

Quant au secteur entre Vieux-Thann et Staffelfelden, où seul 80% environ des valeurs se situent entre 4 et 17°C, ce sont les températures élevées qui font baisser ce taux (entre 18,1 et 8% des valeurs au-dessus des 17%).

La Thur apparaît, en moyenne, 82% de l'année 2021 favorable au cycle biologique de la Truite fario. Ce sont les températures élevées qui font baisser cette proportion avec 8% des valeurs entre 19 et 25°C.

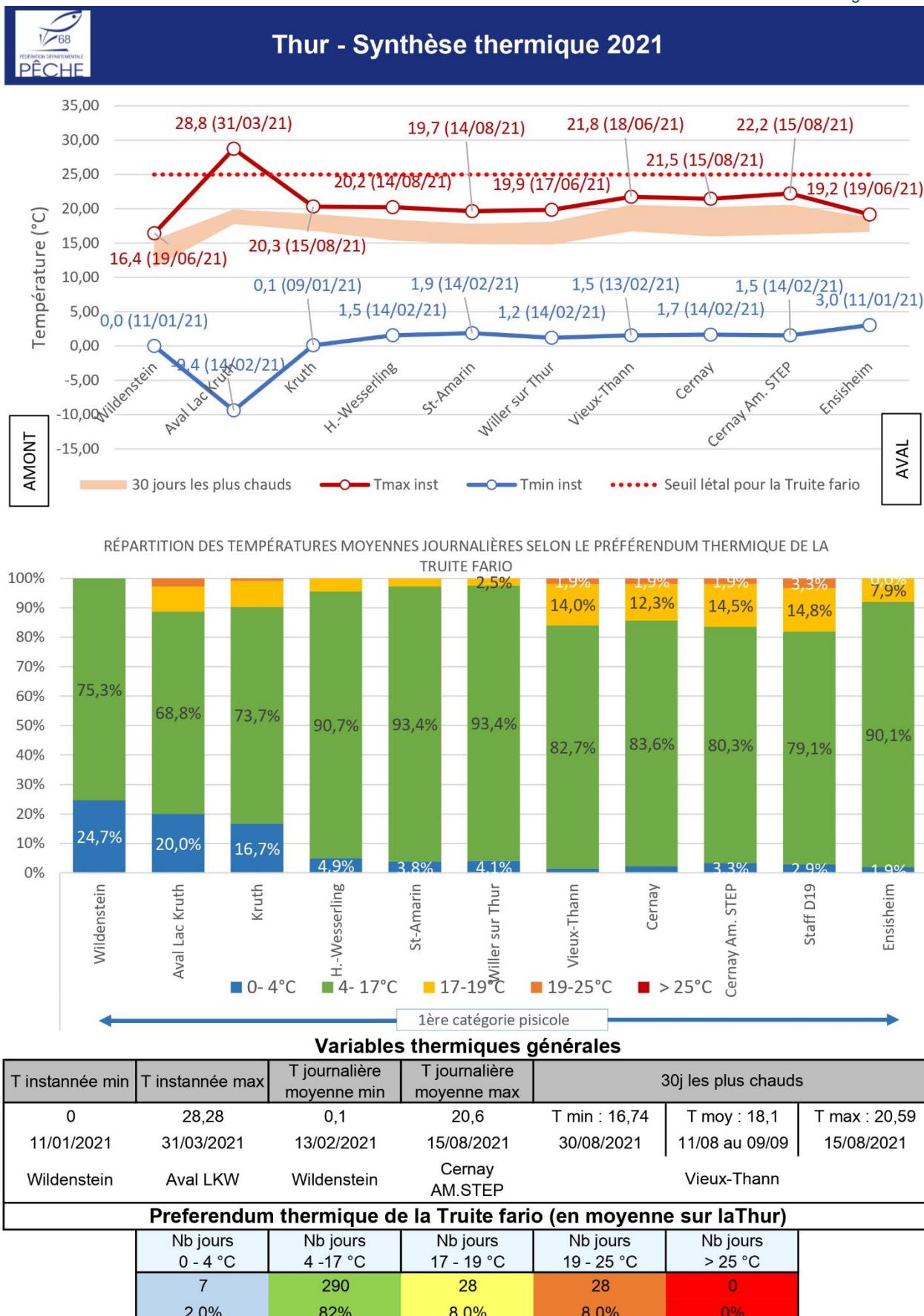


Figure 23 : Fiche de synthèse thermique sur la Thur et répartition des optimums thermiques

d) Bilan thermique de la Thur

La Thur, pour l'année 2021, est plutôt propice, d'un point de vue de sa thermie, au cycle biologique de la Truite fario. Cependant, les travaux intervenus sur le barrage du LKW ont impacté le régime thermique habituel de la Thur avec des apports extrêmes sur l'année (températures très froides et très chaudes) avec des effets visibles jusqu'à Saint-Amarin.

Deux points de ruptures sur la Thur ont été identifiés :

- Le LKW, mais cet effet devrait être absent les prochaines années, les travaux sur le lac ayant été achevés ;
- Les traversées d'agglomérations de Thann et de Vieux-Thann avec leurs activités anthropiques associées.

Le suivi physico-chimique de la Thur effectué par la FDAAPPMA68 sur plusieurs années a mis en évidence une conductivité passant de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ à Thann Athanor à près de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ à Vieux-Thann, confortant la modification du cours d'eau à partir de ces communes. En plus des divers impacts urbains, une partie de la Thur est déviée dans un canal usinier à partir de Vieux-Thann et ne retrouve le cours principal qu'au niveau de Cernay, au niveau du skate parc.

Ce réchauffement, bien qu'important, s'atténue après Cernay, notamment su Staffelfelden, mais reste équivalent sur la partie aval aux observations effectuées sur Vieux-Thann. Bien qu'urbanisée dès la commune de Kruth, les communes les plus importantes, en termes de nombre d'habitants, se trouvent à partir de Vieux-Thann, avec des secteurs de plus en plus dépourvus de ripisylve et un lit de plus en plus entravé par des seuils. Ces derniers pourraient voir des actions d'arasement pour limiter leurs impacts négatifs. Les traversées d'agglomérations pourraient être améliorées avec une diversification des écoulements, comme la mise en place de banquettes végétalisées, des placements de blocs ou d'épis. Enfin, des opérations de plantations d'une ripisylve adaptée sur les secteurs chauds identifiés apporteraient de l'ombrage mais aussi, potentiellement, un habitat pour la faune aquatique avec un développement racinaire.

6. Bassin de la Doller

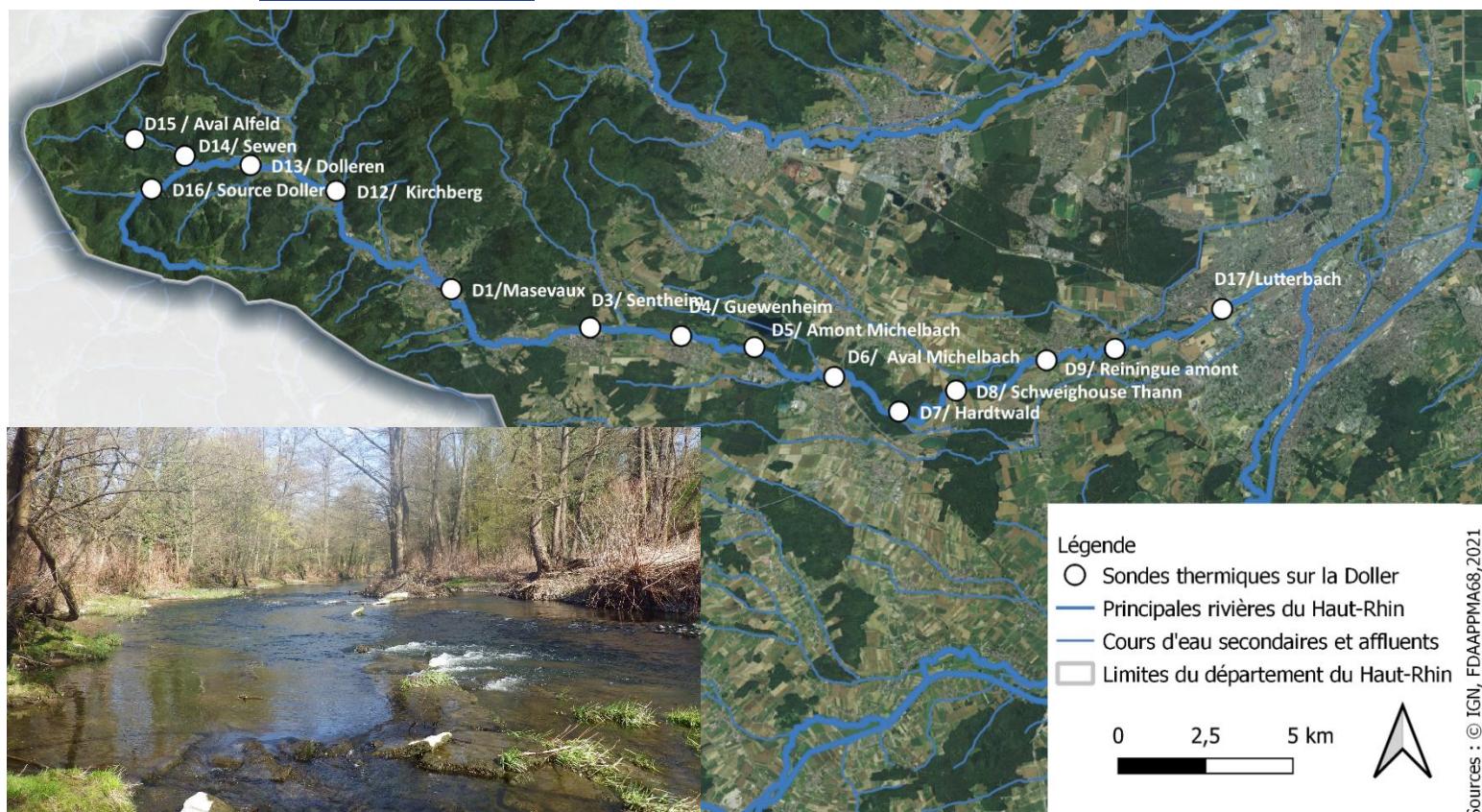


Figure 24 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Doller (de l'amont à l'ouest à l'aval à l'est)

Cette rivière du massif vosgien prend sa source au niveau du lieu-dit « Fennematt » à près de 930 m d'altitude (Col du Lochberg). Son bassin de 215 km² est traversé de nombreux ruisseaux et affluents dont les principaux sont : le Wagenstallbach, le Seebach, le Bourbach et le Leimbach. Il comporte également plusieurs plans d'eau, dont les principaux pouvant avoir un impact direct sur la Doller sont : le lac d'Alfeld, le lac de Sewen et Michelbach. Ce dernier permet l'alimentation en eau potable d'une partie de l'agglomération de Mulhouse (200 000 habitants en bénéficient).

Après un parcours de 46 km, elle rejoint l'Ill au niveau de Mulhouse. La Doller aura traversé divers milieux, en allant du massif forestier aux plaines vallonnées et plus urbanisées sur la partie aval. Ce cours d'eau est un des rares du département à être peu entravé entre des murs de rive ou des digues.

Son régime hydrologique est à dominance pluvial et le module est de 0,421m³ /s à Sewen (Lerchenmatt) et de 4,120m³ /sec à Burnhaupt-le-Haut. Les fluctuations de débit saisonnier y sont bien marquées. La Doller est, selon la zonation de Huet, en zone à truite sur tout son cours.

Sur les 15 sondes thermiques présentent sur la Doller, 6 n'ont pas de données pour l'année étudiée (perte, bug, pile défectueuse, ...) : D12, D2, D3, D9, D10 et D17. Malgré que les sondes D01, D04, D05, D06 et D08 ont arrêté d'émettre le 20 septembre, la période estivale étant écoulée, elles sont restées comprises dans les analyses.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Pour l'analyse des températures moyennes journalières, 5 sondes ont été sélectionnées pour représenter l'évolution de la Doller sur l'année 2021 (Figure 25) :

- La partie amont, avec D16 « Source Doller » en bleu ;
- La partie médiane avec D4 « Guewenheim » en vert ;
- La partie aval avec D08 « Schweighouse Thann » en jaune ;
- L'impact du lac de Sewen avec D14 « Sewen » en rouge.

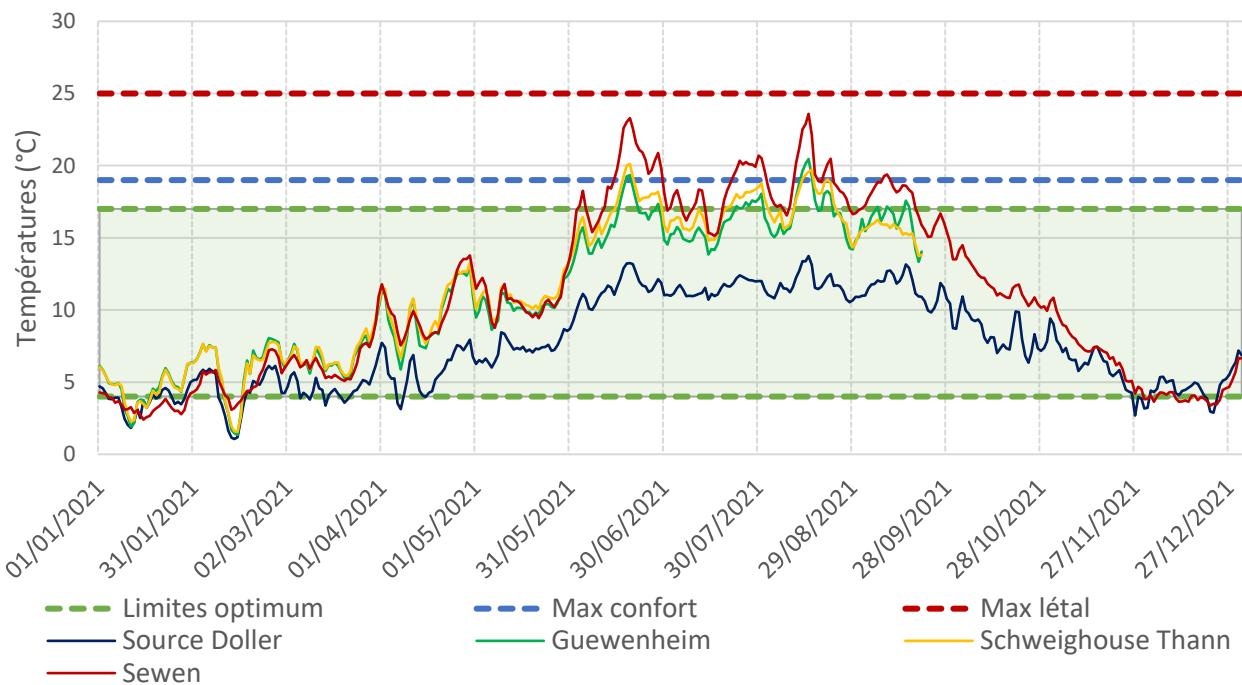


Figure 25 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Doller

Un pic de froid est survenu de le 14 février, toutes stations confondues, avant que les profils thermiques reprennent leur ascension. Les eaux se réchauffent plus brusquement début juin et la période des températures les plus chaudes se situe entre mi-juin et mi-septembre. Les températures décroissent jusqu'en décembre.

Pour l'année 2021, la Doller a enregistré des températures sous le seuil minimal de 4°C, de début janvier à la mi-février et au mois décembre. D14 apparaît comme la station la plus chaude avec un dépassement des 19°C dès début juin avec près de 2,3°C de plus que la station représentant l'aval de la Doller, D08. Le seuil létal pour la Truite fario des 25°C n'est pas atteint, en termes de températures moyennes. D16, quant à elle, apparaît comme la station la plus fraîche en ne dépassant jamais les 17°C (valeur maximale de 13,74°C le 15 août).

Un gradient amont-aval se dessine avec des stations situées en plaine présentant des températures plus élevées que celles situées en haut du bassin. L'écart est cependant peu marqué aux saisons hivernales.

Ainsi, plusieurs particularités apparaissent sur la Doller :

- L'amont de la Doller a une thermie relativement fraîche sans avoir de températures trop froides durant l'hiver, probablement issue d'un secteur relativement préservé d'impacts anthropiques et conservant une bonne ripisylve ainsi qu'une bonne dynamique morphologique ;
- La station de Sewen, D14, malgré sa position en amont du bassin, voit ses températures être relativement élevées et tôt dans l'année. Cette situation est

engendrée par le lac de Sewen rejetant ses eaux dans la Doller via une surverse, soit une restitution d'eau stagnante s'étant réchauffée sur le plan d'eau. Ses températures dépassent, durant le printemps et l'été, celles de D08, station représentative de la partie aval de la Doller.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

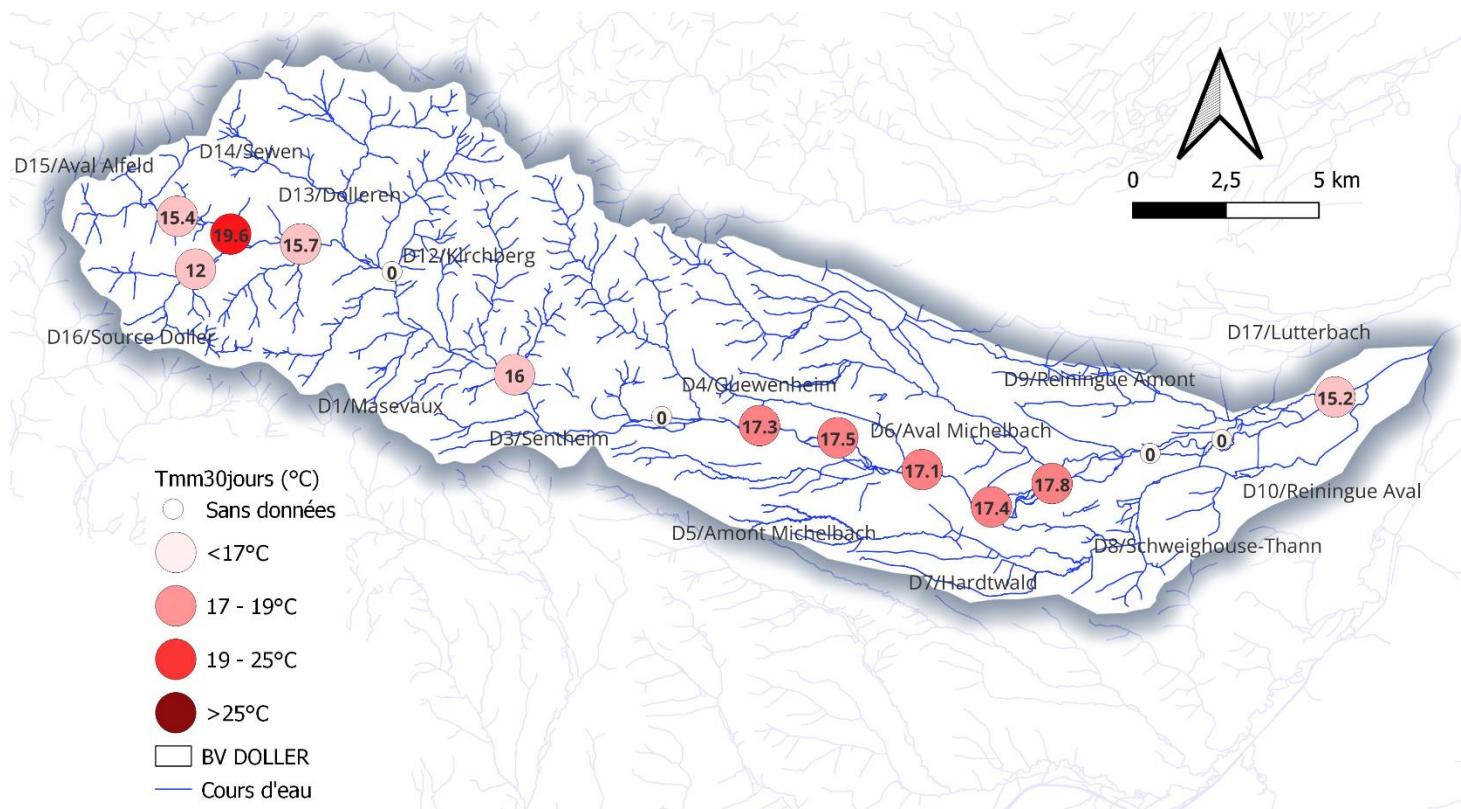


Figure 26 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Doller

Les 30 jours les plus chauds, sur la Doller, ont été enregistrés entre la fin juillet et la fin août, pour l'ensemble des stations étudiées.

Seule D14, en aval du lac de Sewen, dépasse le seuil de stress des 19°C avec une valeur des Tmm30jours de 19,63°C.

L'été 2021 apparaît confortable pour la Truite fario avec la source de la Doller jusqu'à Masevaux (hormis D14) sous le seuil des 17°C pour les 30 jours les plus chauds (entre 12 et 15,99°C).

L'ensemble du reste du bassin oscille 17,15 et 17,84°C, soit une période pouvant s'avérer inconfortable pour l'espèce repère mais n'ayant pas eu d'impact majeur sur son comportement ou sa physiologie.

La Doller est donc accueillante durant la période estivale pour la Truite fario, espèce repère sur tout son cours. L'impact des agglomérations mais surtout des rejets des différents plans d'eau est notable, notable l'impact négatif du lac de Sewen et le relargage d'eau chaude.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

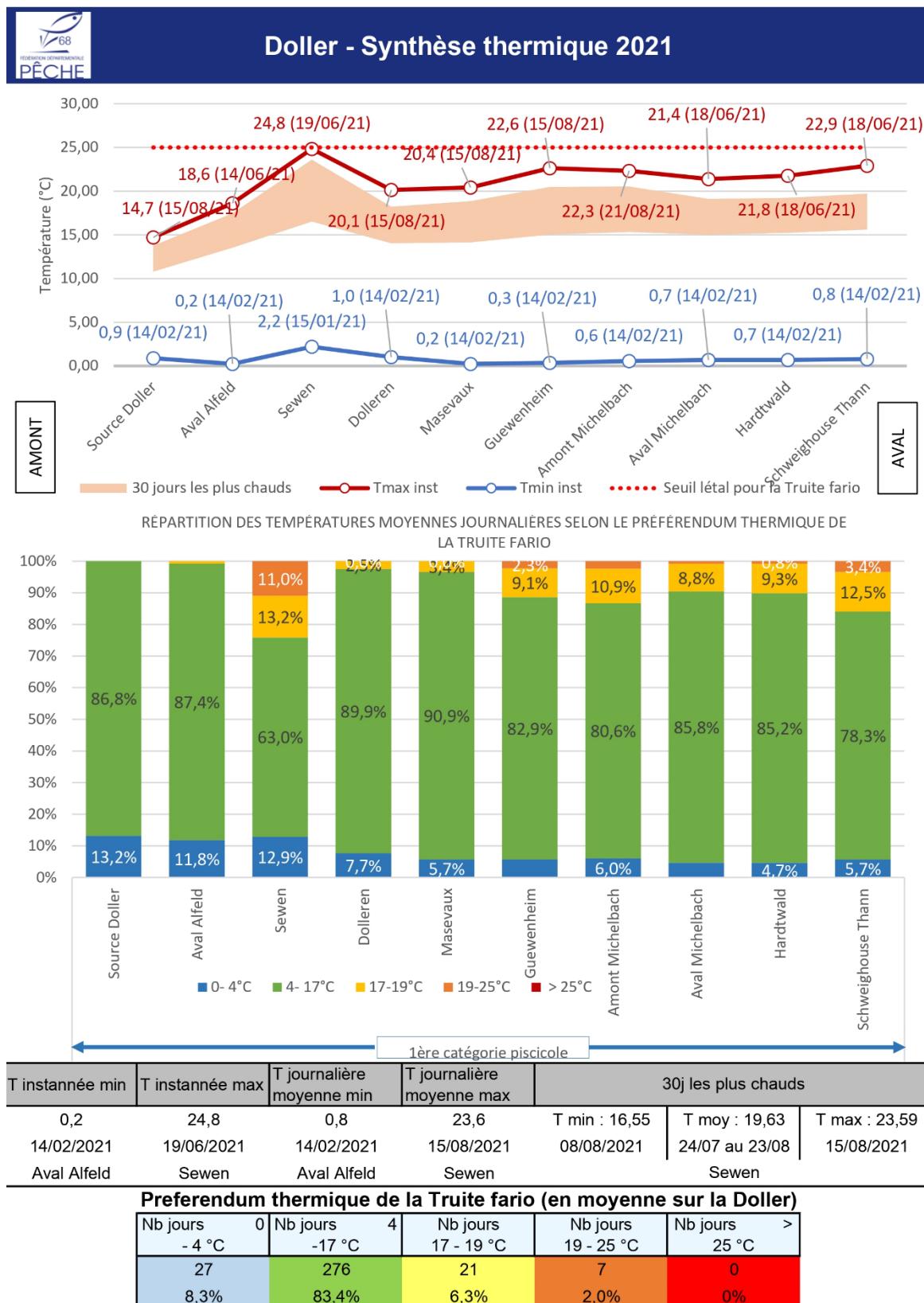


Figure 27 : Fiche de synthèse thermique sur la Doller et répartition des optimums thermiques

Hormis D16 et D15, respectivement à 14,7 et 18,6°C, toutes les stations ont des valeurs de températures instantanées maximales au-dessus des 19°C, seuil de confort pour la Truite fario. Aucune ne dépasse le seuil létal des 25°C mais la station de Sewen s'en approche dangereusement avec une valeur de 24,8°C enregistrée le 19 juin. Les températures maximales instantanées plus en aval sont toutes survenues entre le 15 et le 21 août avec des valeurs comprises entre 20,1 et 22,9°C.

Les valeurs sur D14 ont été expliquées précédemment, elles sont dû à leur provenance des eaux de surface du lac de Sewen. La différence de 2,2°C entre Masevaux et Guewenheim peut être due au prélèvement d'une partie de la Doller vers le lac du Michelbach, réduisant la lame d'eau de la rivière et la rendant plus dépendante des températures de l'air, notamment en période d'étiage. De plus, le profil du cours d'eau se modifie dans ce secteur avec une largeur plus importante, une dynamique plus faible et une ripisylve plus éparsé.

Les températures minimales instantanées ont toutes été enregistrées le 14 février, excepté sur Sewen, le 15 janvier. C'est sur cette station que cette valeur est la plus élevée (2,2°C) contre 0,2°C sur Masevaux et en aval du lac d'Alfeld. Les autres stations oscillent entre 0,3 et 1°C.

La répartition des températures moyennes journalières selon le préférendum thermique de la Truite fario démontre le dérèglement de la thermie de la Doller suite au relargage des eaux du lac de Sewen. En effet, cette station ne comporte que 63% des valeurs comprises entre 4 et 17 °C avec 24,2% et 12,9% sous le seuil des 4°C, la rendant plutôt inhospitalière pour ce salmonidé.

Les stations les plus propices sont D13 et D1 avec, respectivement 89,9% et 90,9% des valeurs comprises dans l'optimum thermique. Ce sont ensuite les stations les plus en amont qui restent favorables à la Truite fario (86,8 et 87,4%). Entre la prise d'eau du Michelbach et la restitution des eaux, c'est entre 80,6 et 82,9% des valeurs qui sont optimales contre 85,8% après l'apport du Michelbach. La station la plus en aval cette année, D8 sur Schweighouse-Thann, ne présente que 78,3% de ses valeurs entre les 4 et 17°C. Les eaux ont ainsi été trop chaudes sur Sewen et entre Guewenheim et Schweighouse entre 9,6% et 24,2% du temps. L'année 2021 comporte également la singularité de comporter un taux de températures en-deçà des 4°C assez important, entre 13,2% à l'amont et 4,7% à l'aval.

Ce constat ressort sur la moyenne générale du cours d'eau avec 8,3% des températures sous les 4°C et 8,3% au-dessus des 17°C dont 2% au-delà du seuil de stress (entre 19 et 25°C). Le secteur le plus à craindre en période estivale est celui en aval du lac de Sewen, qui comporte la température instantanée la plus élevée mais aussi la Tmm30jours sur la période du 24 juillet au 15 août. Cette période indique une moyenne de 19,63°C, une maximale de 23,59 et une minimale de 16,55°C. Cette dernière, sous les 17°C et malgré des semaines stressantes, traduit que ces 30 jours ont limité leur intensité avec des jours de répit pour les truites fario

d) Bilan thermique pour la Doller

La Doller voit, pour l'année 2021, un régime thermique très variable entre les stations étudiées avec des points chauds apparaissant dès l'amont de son bassin. Malgré tout, avec un total, en moyenne, de 83,4% des valeurs comprises dans l'optimum thermique de la Truite fario, elle lui reste globalement favorable.

Les deux secteurs de qualifiés de défavorables et dont les causes sont clairement identifiées sont :

- L'aval du lac de Sewen ;
- Le secteur entre la prise d'eau et sa restitution pour le barrage du Michelbach

Le premier impacte la Doller tôt dans la saison, avec le lac de Sewen ayant des eaux de surface régies par la température de l'air. Ces extrêmes atteints de façon anormale ont un impact direct sur la structure des populations en place avec des salmonidés peu présents, voire absents de ce secteur, remplacés par des cyprinidés comme le Chevesne.

Le deuxième secteur comporte les mêmes conséquences, mais, outre une partie de son débit réduit par Michelbach, la ripisylve est moins abondante et, surtout, la Doller présente de nombreuses zones de plat courant. Ainsi, cette zone pourrait être améliorée sans impacter le besoin de ressource en eau potable, avec, des opérations plantations et la mise en place, par exemple, de déflecteurs rustiques pour diversifier les courants.

Ces problématiques sont clairement identifiées, faisant de ces secteurs des zones prioritaires sur la Doller pour mener des actions de restauration/réhabilitation.

7. Le bassin de la Largue

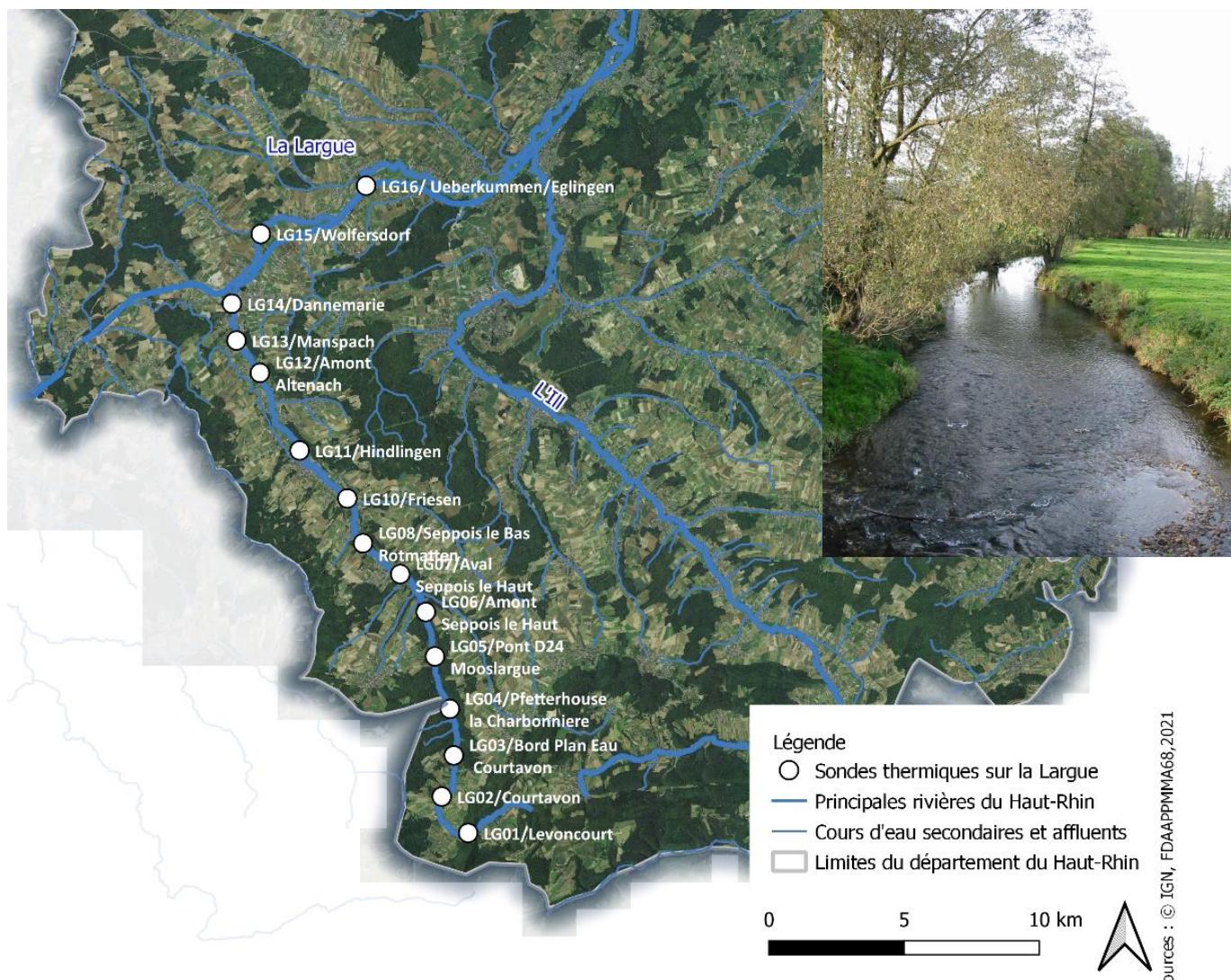


Figure 28 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le bassin de la Largue (de l'amont au sud à l'aval au nord)

La Largue, contrairement aux autres affluents de l'Ill, ne descend pas du massif Vosgiens. Sa source se situe à Oberlarg, à 500 m d'altitude, dans le Jura alsacien. Elle traverse de nombreuses communes du Sundgau avant de rejoindre l'Ill au niveau de la commune de Illfurth.

Son bassin, d'une superficie de 277 km², est principalement occupé par des secteurs ruraux et comprend de nombreuses zones Natura 2000. Il est aussi caractérisé par l'omniprésence de plans d'eau, certains entravant le cours de la Largue. Le plus important est le plan d'eau de Courtavon, d'une surface de 29 ha. Quant aux affluents, les plus importants du bassin sont le Grumbach, le Largitzenbach et le Soultzbach.

La Largue possède un module de 1,090 m³/s à Friesen et 2,820 m³/s à Spechbach-le-Bas. Les crues peuvent y être très importantes, de nombreuses zones de prairie sont ainsi restaurées depuis plusieurs années pour épancher ces phénomènes sans entravant le cours d'eau.

Un total de 16 sondes est installé sur le long de la Largue, de Levoncourt à Eglingen. Trois sondes, LG03, LG08 et LG13 sont exclues de l'analyse, leurs données étant trop incomplètes sur la période étudiée. LG15 et LG16 se sont arrêtées respectivement le 27 et le 18 octobre, la période critique de l'été étant passée, elles restent incluses dans les résultats suivants.

a) Présentation des températures moyennes journalières

L'évolution des températures moyennes journalières sur l'année 2021 est analysée sur 4 sondes :

- L'amont est représenté par LG01, « Levoncourt », en bleu ;
- La partie médiane est représentée par LG07, « Aval Seppois le Haut », en jaune ;
- Laval est représenté LG16 « Ueberkummen Eglingen » rouge.

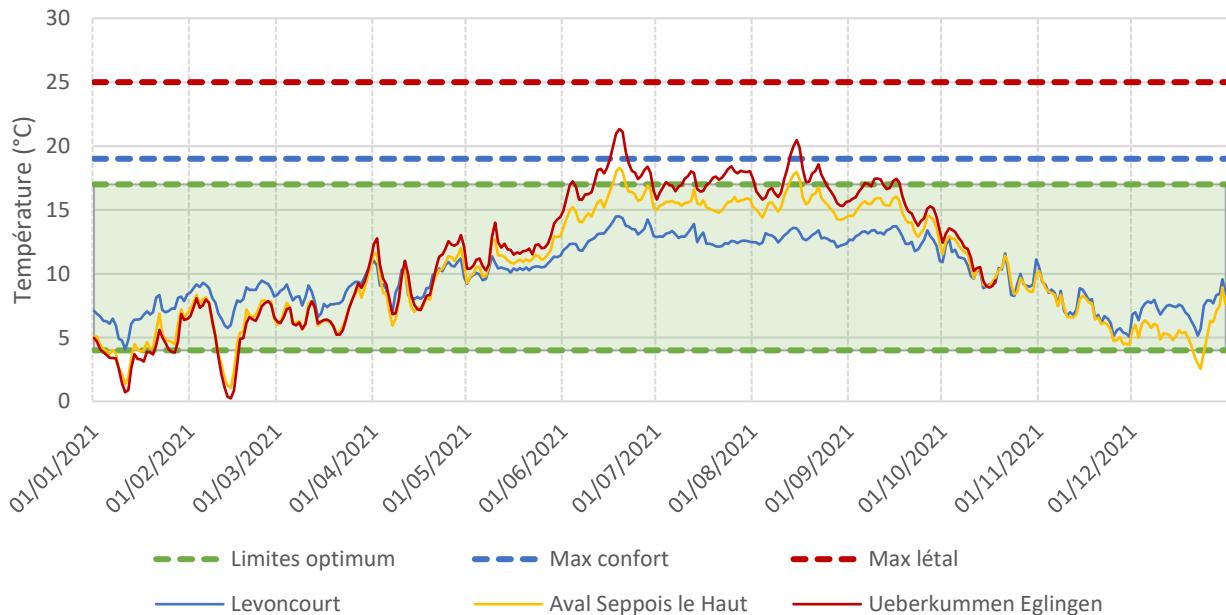


Figure 29 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Largue

Les profils observés sont tous similaires, avec des pics de croissance et de décroissance survenant aux mêmes dates mais à des intensités différentes. La période la plus chaude s'est déroulée de début juin à la mi-septembre avec un dépassement des 19°C pour la partie aval

à la fin juin et à la mi-août. Le mois de juillet est resté relativement stable, dû notamment à la météorologie pluvieuse, les nuages limitant les amplitudes thermiques journalières. Le seuil des 4°C, pouvant impacter les stades embryonnaires et larvaires de la Truite fario, est passé pour la partie médiane et aval de la Largue début janvier, à la mi-février et fin décembre.

La station LG01 comporte la particularité d'avoir des températures comprises dans l'optimum thermique de la Truite fario tout le long de l'année.

Un gradient amont-aval est visible, notamment sur la période estivale, avec un écart de plus de 6°C entre la source et l'aval du cours d'eau. Cet écart est atténué au printemps à l'automne où l'écart entre les stations n'est plus que de 0,5°C.

Ainsi, en termes de températures moyennes journalières, plusieurs tendances se dégagent :

- La sonde LG01 a un régime thermique plus homogène avec des températures comprises entre 4,07°C et 14,49°C, profil typique de l'amont d'un cours d'eau de source ;
- Une période estivale dépassant le seuil de stress mais n'atteignant pas de températures létale entre début juin et mi-septembre août.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

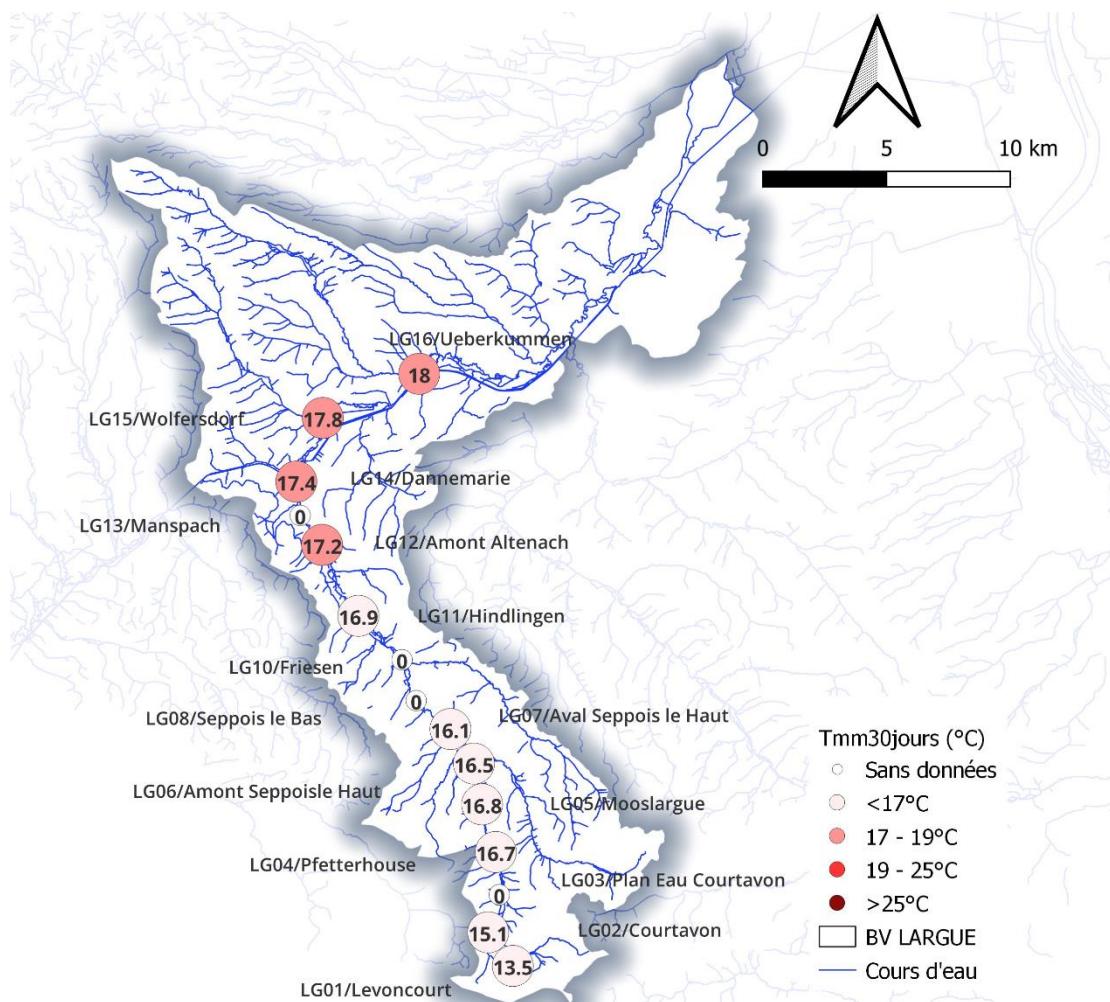


Figure 30 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur la Largue

La période des 30 jours les plus chauds se déroule sur une même période, de la mi-juin à la mi-juillet. La valeur minimale relevée est de 13,5°C sur LG01 et la maximale est de 18°C sur LG15. La rupture est observée à partir de LG12 « Amont Altenach », où le seuil des 17°C est dépassé jusqu'à la confluence avec l'Ill (Figure 30).

Malgré son passage en 2^{nde} catégorie piscicole au niveau de la confluence avec l'Elbach, sur Wolfersdorf, la Largue connaît une année 2021 qui semble, au niveau des températures moyennes journalières des 30 jours les plus chauds. En effet, même si le seuil d'inconfort est dépassé, le seuil de stress l'est seulement de manière sporadique, à partir de LG11 sur Hindlingen (température maximale sur les 30 jours de 19,81°C).

Sont à relever :

- L'impact probable du plan d'eau de Courtavon avec un passage au-dessus du seuil de 15,1°C à 16,8°C sur les stations de part et d'autre de ce point ;
- La Largue impacte peu, en 2021, les populations de Truite fario avec une thermie globalement tempérée jusqu'à LG12 et un peu plus élevée mais restant hospitalière sur sa partie aval.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

En termes de températures instantanées maximales, la valeur la plus importante a été relevée sur LG02 le 27 juin pour 22,8°C. La plus faible est de 17,5°C, survenue le 12 juillet sur LG01. Les périodes les plus chaudes, sur les températures instantanées, se situent aux alentours du 19 juin, tandis que les plus froides le 11 janvier ou autour de la mi-février. La température minimale de 0°C a été relevée 5 stations : LG05, 06, 12, 14 et 16. La station la plus tempérée est « Levoncourt » avec une valeur enregistrée de 3,5°C le 11 janvier (Figure 31).

Les valeurs instantanées sont toutes hors de l'optimum thermique de la Truite fario, avec des dépassements du seuil de confort des 19°C sur quasiment la totalité de la Largue.

Les températures moyennes journalières contre balancent le constat des instantanées, avec plus de 80% des valeurs comprises entre 4 et 17°C pour 82% des stations. Les stations les plus en amont, LG01 et LG02, atteignent même, respectivement, 100% et 98,1% de leurs valeurs dans l'optimum thermique de l'espèce cible. Sur la partie amont, ce sont les températures froides qui font baisser ce taux. En effet, entre LG02 et LG11, 5,8 à 9% des valeurs sont sous le seuil des 4°C. C'est véritablement à partir de Wolfersdorf que la Largue possède des températures élevées, avec seulement 75,7 et 69,8% des valeurs entre 4 et 17°C (Par ailleurs, les températures moyennes journalières confirment ce constat, l'ensemble des stations ayant entre 15 et 20% de leurs valeurs au-dessus des 17°C. Une exception est notable pour LG01 avec 99,5% de ses températures conforme avec le cycle biologique de la Truite fario. Quelques stations présentent également des valeurs acceptables, avec plus de 80% d'entre elles favorable à ce salmonidé : LG02, LG03, LG06, LG07 et LG08. C'est à partir de Hindlingen que la situation se dégrade avec des valeurs comprises entre 79,7 et 73,4% (21% des valeurs sont au-dessus des 17°C). La Largue, pour la période étudiée, est en conformité avec la biologie, la 2^{nde} catégorie étant identifiée sur Wolfersdorf.

Pour le référendum thermique du Brochet, analysé sur les secteurs en seconde catégorie piscicole soit sur LG15 et LG16, la thermie apparaît relativement fraîche, avec 21% de leurs valeurs sous les 6°C et seulement 53,5% des valeurs dans l'optimum thermique de ce carnassier.

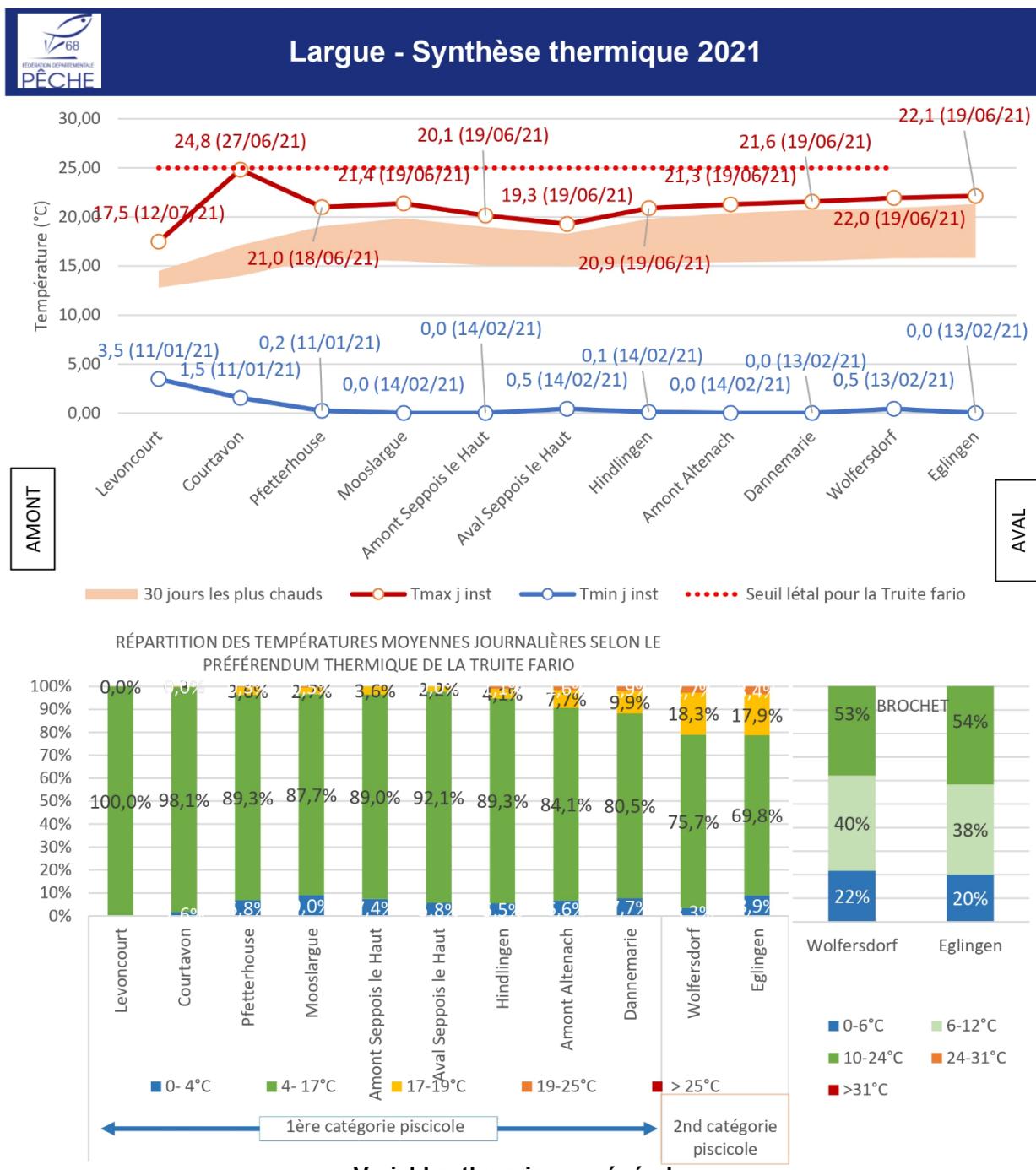


Figure 31 : Fiche de synthèse thermique sur la Largue et répartition des optimums thermiques

d) Bilan thermique de la Largue

Le régime thermique de la Largue diffère largement des cours d'eau vosgiens avec des profils particulièrement homogènes sur l'ensemble de stations (Hormis LG01, « Levoncourt »). Le cours d'eau présente des températures très froides en hiver et chaudes en été mais ne dépassant néanmoins jamais le seuil létal de la Truite fario (25°C). La température moyenne des 30 jours les plus chauds, survenue de la mi-juin à la mi-juillet, confirme l'été tempérée de 2021 avec une T_{mm30j} dépassant les 17°C qu'à partir de Hindlingen et ne dépassant jamais les 19°C.

Le bassin traverse majoritairement moins de zones urbaines que les autres affluents de l'Ill et ses secteurs ruraux, contrairement à l'Ill, ne le cantonne pas à être entraver entre deux digues. Cependant, sa thermie et ses populations aquatiques sont aussi soumis à des pressions : les plans d'eau.

En effet, l'occupation du sol de la Largue et de ses affluents comprend plus de 1 000 étangs et plans d'eau de typologie différente. Cette densité sur le territoire du Sundgau implique, quand ils ne se situe pas directement sur le lit du cours d'eau, des rejets directs de leurs eaux de surface, voire une migration de leur faune piscicole vers la Largue. Malgré 85,6% en moyenne des valeurs mesurées comprises entre 4 et 17°C, c'est bien souvent l'apport d'autres espèces en concurrence pour l'habitat et la ressource trophique qui limite le développement de la Truite fario.

En effet, les inventaires biologiques récents mettent en évidence des peuplements très diversifiés (vraisemblablement la résultante d'échanges avec les étangs alentours) avec des proportions parfois importantes d'espèces tels que : Perche fluviale, Goujon, Perche soleil, Spirlin et *Pseudorasboras parva* dès Pfetterhouse. L'étude des interrelations écosystémiques entre la Largue, ses affluents et les plans d'eau du bassin semble donc prépondérante afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ce secteur à fort potentiel.

Pour le Brochet, le facteur limitant reste des zones de reproduction favorables, la Largue présentant une bonne partie de ces rives en pente fortement inclinée, peu propices aux inondations et à la présence d'annexes hydrauliques.

8. Bassin de l'Ill

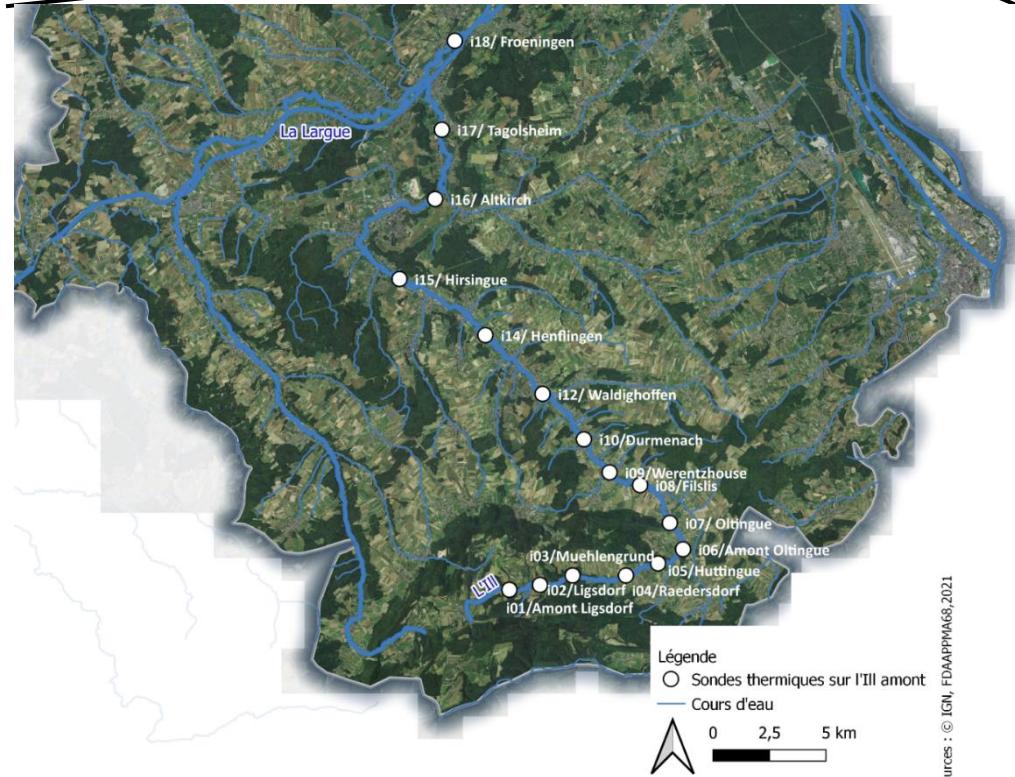


Figure 32 : Répartition du réseau de sondes thermiques sur le bassin de l'Ill (de l'amont au Sud à l'aval au Nord)

Réceptacle de l'ensemble des grands cours d'eau du Haut-Rhin, l'Ill prend sa source au niveau de Winkel (-600 m d'altitude) et rejoint le Rhin dans le département du Bas-Rhin, sur Strasbourg. Son parcours, d'une longueur d'environ 130 km dans le 68, est extrêmement endigué, ses berges hautes, sa ripisylve souvent absente et les pollutions successives,

notamment celles provenant de la Thur, ont bien mis à mal cette rivière, victime de son succès en tant que grand axe commercial, économique et social. De plus, tout le long de la plaine d'Alsace, ce sont essentiellement des parcelles agricoles qui l'entourent, soit un potentiel d'intrants nocifs importants, malgré l'amélioration de cette pratique.

Le parcours de l'Ill peut être découpé en deux entités au sein du département : l'Ill amont (1ere catégorie piscicole) et l'Ill aval (seconde catégorie piscicole). La rupture administrative entre les eaux de première catégorie et de seconde catégorie piscicole s'effectue au niveau de la commune d'Hirsingue. L'occupation du sol est très diversifiée mais globalement elle est plus rurale en amont et urbanisée dans la plaine en aval.

L'Ill possède un régime majoritairement de type pluvial-nival. Son module est de : 0,45 m³/s à Ollingue, 2,40 m³/s à Altkirch, 6,58 m³/s à Didenheim, 10,60 m³/s à Ensisheim et de 19,40 m³/s à Colmar (Ladhof).

Un total de 22 sondes thermiques est disséminé le long de l'Ill dont 8 ne sont pas exploitées sur la période étudiée (sonde exondée, pile défectueuse, bug, ...).

a) Présentation des températures moyennes journalières

Pour une meilleure visualisation de l'évolution des températures moyennes journalières sur l'Ill en 2021, seules quelques sondes thermiques sont analysées ici (Figure 33) :

- La partie amont avec I01 « Amont Ligsdorf » et I03 « Muehlengrund » respectivement en bleu foncé et bleu clair ;
- La partie médiane avec I15 « Hirsingue » en jaune ;
- La partie la plus en aval avec des données, I22 « Meyenheim » en rouge.

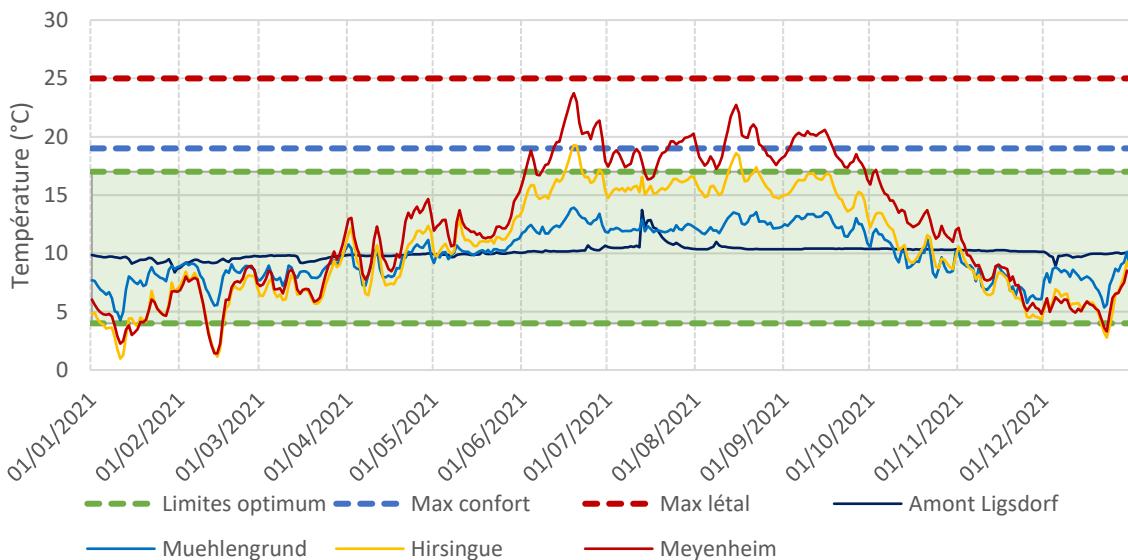


Figure 33 : Evolution des températures moyennes journalières sur l'Ill

Le profil de I01 se détache clairement sur le graphique, avec une courbe quasi constante tout au long de l'année (température moyenne minimale de 8,36 contre une maximale de 13,72°C). Cette homogénéité est identifiée depuis le début du suivi, par la nature de la source de l'Ill : les résurgences phréatiques. Ces eaux sortant de terre ne sont pas soumises aux températures de l'air et alimentent la source de cette rivière.

Les autres profils présentés ont des courbes similaires, avec des pics survenant à des périodes identiques. Les températures croissent de janvier à la mi-septembre avec deux évènements notables :

- Deux décroissances en début d'année (une le 12 janvier et une le 14 février) ;
- Des températures relativement stables de la fin juin à la mi-août.

Les températures descendent par la suite jusqu'en décembre, avec un pic de croissance la 1ère quinzaine de décembre.

Un gradient amont-aval est observé de début avril à début octobre (jusqu'à 10°C d'écart entre l02 et l22). Les périodes printanières et automnales sont celles marquant le moins de différence entre les stations (l01 exclue) avec un écart de 2°C. La partie amont, représentée par l03, possède des valeurs en hiver plus clémentes que les stations les plus en aval (jusqu'à 4°C de plus).

Quant aux épisodes de chaleur, ils surviennent de début juin à la fin septembre dès l19, avec un dépassement constant du seuil de confort des 19°C. Cette rupture s'explique par la traversée de la commune de Mulhouse où l'Ill se retrouve canalisée et où le canal du Rhône au Rhin coupe son cours par deux fois, sur Illfurth et sur Zillisheim. Cette disposition implique un déversement des eaux calmes de surface du canal dans les eaux encore courantes et plus fraîches de l'Ill.

L'évolution des températures moyennes journalières, pour 2021, sur l'Ill, a démontré :

- Une partie amont, jusqu'à l7 « Oltingue », un régime thermique favorable à la truite fario avec des eaux tempérées en hiver et ne dépassant pas les 19°C à la période estivale ;
- La partie amont est largement soutenue par les résurgences phréatiques limitant l'impact des températures de l'air sur le cours d'eau ;
- La traversée de Mulhouse et le canal du Rhône au Rhin apportent, dès la partie médiane de l'Ill, un réchauffement accru des eaux à la période printanière et estivale.

b) Présentation des 30 jours les plus chauds

Les 30 jours les plus chauds sont intervenus :

- Entre l02 et l12, et sur l22, de la mi-août à la mi-septembre ;
- Entre l15 et l20, situé au nord du Sundgau et la région mulhousienne, de la mi-juin à la mi-juillet.

Cette moyenne est particulièrement compatible avec le cycle de la Truite fario jusqu'à l12, variant entre 11,1 et 15,8°C mais reste relativement favorable jusqu'à l18, sur Frœnenigen, avec une moyenne de 18°C.

Une rupture est visible sur l16 avec un passage de la Tmm30jours au-dessus des 17°C. Un second cap est franchi à partir de l19, « Mulhouse », où cette moyenne passe à 19,2°C. Elle monte jusqu'à 19,8°C pour la station la plus en aval, l22 (Figure 34). Durant ces 30 jours, la température létale de 25°C n'a jamais été atteinte, la maximale a été relevée sur l19, à 23°C. Ainsi, ces périodes ont causé un stress certain aux populations de salmonidés en place. Cependant, les zones identifiées comme les plus inhospitalières pour l'année 2021 sont classées en 2^{nde} catégorie piscicole, la Truite fario est donc peu présente sur ces secteurs. La limite se situe sur l15, « Hirsingue » où la station présente des températures supérieures à 17°C mais seulement 6 jours sur les 30, limitant la période de stress.

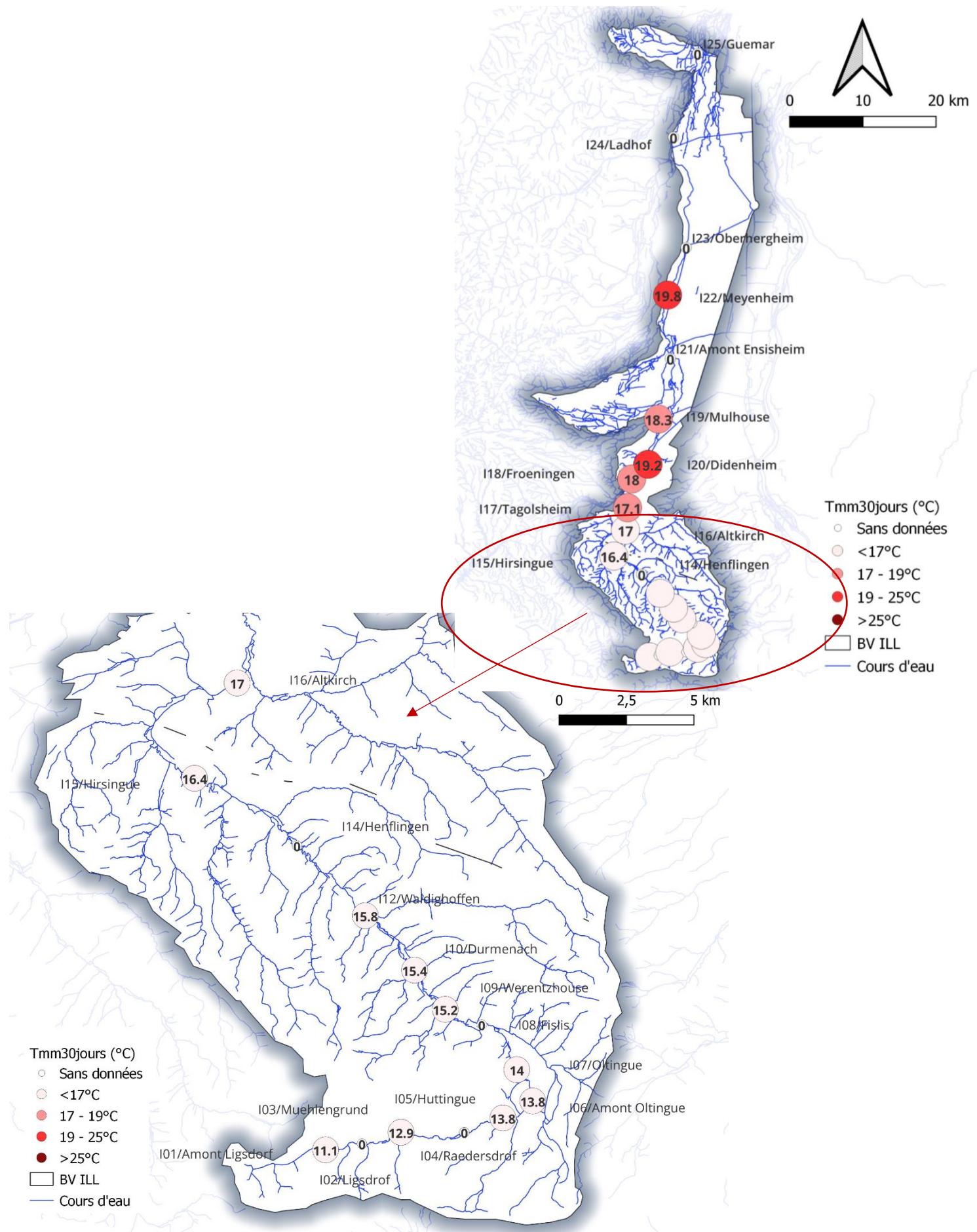


Figure 34 : Température moyenne des 30 jours les plus chauds sur l'ILL

L'été 2021 semble avoir été relativement favorable à la Truite fario sur les secteurs de 1^{ère} catégorie piscicole.

c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces repères

Les températures instantanées maximales varient entre 15,8°C (I03 le 19 juin) et 25,2°C (I22 le 19 juin), en excluant I01, à 14,7°C. Ainsi, le seuil létal des 25°C est dépassé à partir de Meyenheim. Malgré la perte des données sur les stations suivantes, il est probable que toutes les stations en aval de cette dernière aient aussi subit des températures de cette ampleur. Le seuil létal des 31°C pour le Brochet n'est, quant à lui, jamais atteint.

Les températures instantanées minimales, hormis I01 à 7,4°C le 4 décembre, oscillent entre 0°C sur I16 le 14 février et 2,9°C sur I03 le 11 janvier. Pour la partie aval, ces minimales ont été relevées à la mi-février tandis qu'à l'amont, cette date est plus disparate (12 janvier pour I04, I05 et I06, 4 décembre pour I01 et 11 janvier pour I03) (Figure 35).

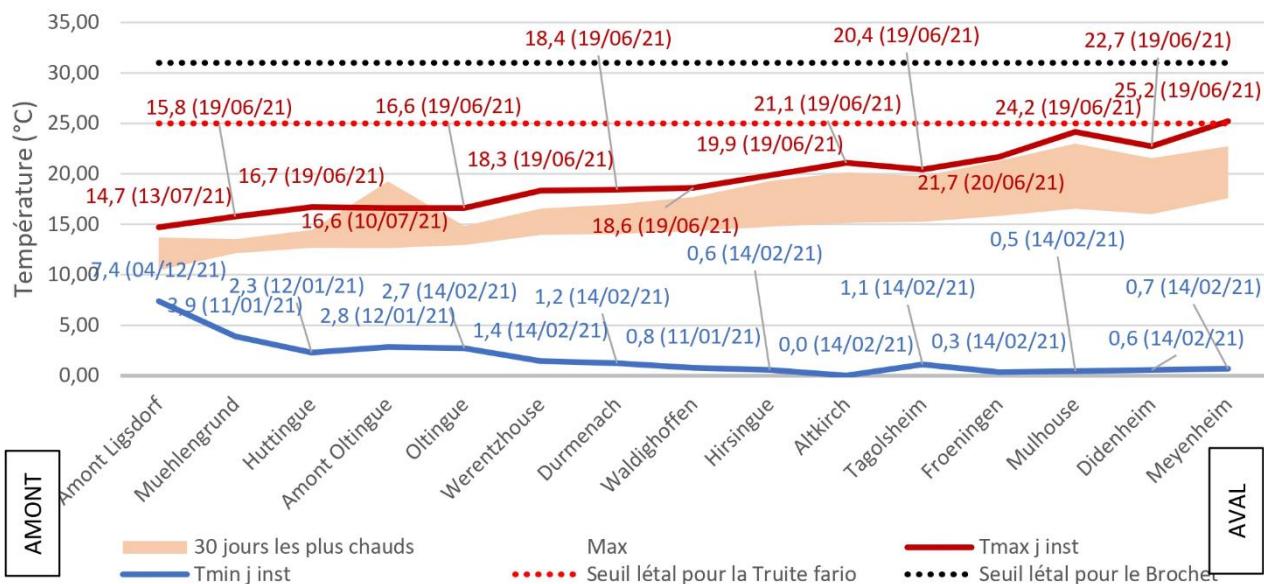
En ce qui concerne le préférendum thermique de la Truite fario, les températures lui sont très favorables de I01 à I17 avec entre 88,4 et 100% des valeurs comprises entre 4 et 17°C. Ce pourcentage décroît sous les 70% à partir de I18 et descend jusqu'à 64,4% sur I22. Les températures sous les 4°C apparaissent dès Werentzhouse à 2,7% des valeurs et, malgré la traversée de l'agglomération de Mulhouse, ce taux atteint le 6,8% sur I19. Quant aux températures d'inconfort et de stress, elles apparaissent en abondance à partir de Frœningen avec 24,4% de ses valeurs au-dessus des 17°C. Ce taux va jusqu'à 31,3% pour I22.

Quant au Brochet, les températures sur les stations de 2^{nde} catégorie apparaissent relativement froides avec, en moyenne, avec 17,95% des valeurs sous sa zone de confort, soit sous les 6°C. Ces températures peuvent s'avérer fatales pour les stades larvaires et embryonnaires. Sur les périodes de février-mars, à la reproduction, les températures sont favorables pour que cette dernière se déroule. En ce qui concerne les phases de croissance et la vie adulte, la station la moins favorable se situe sur Hirsingue, avec 50,4% de ses valeurs entre 10 et 24°C. Les autres stations sont globalement similaires avec une moyenne de 57,4% des valeurs comprises dans son préférendum thermique. Les températures maximales critiques ne sont jamais atteintes (seuil létal à 31°C).

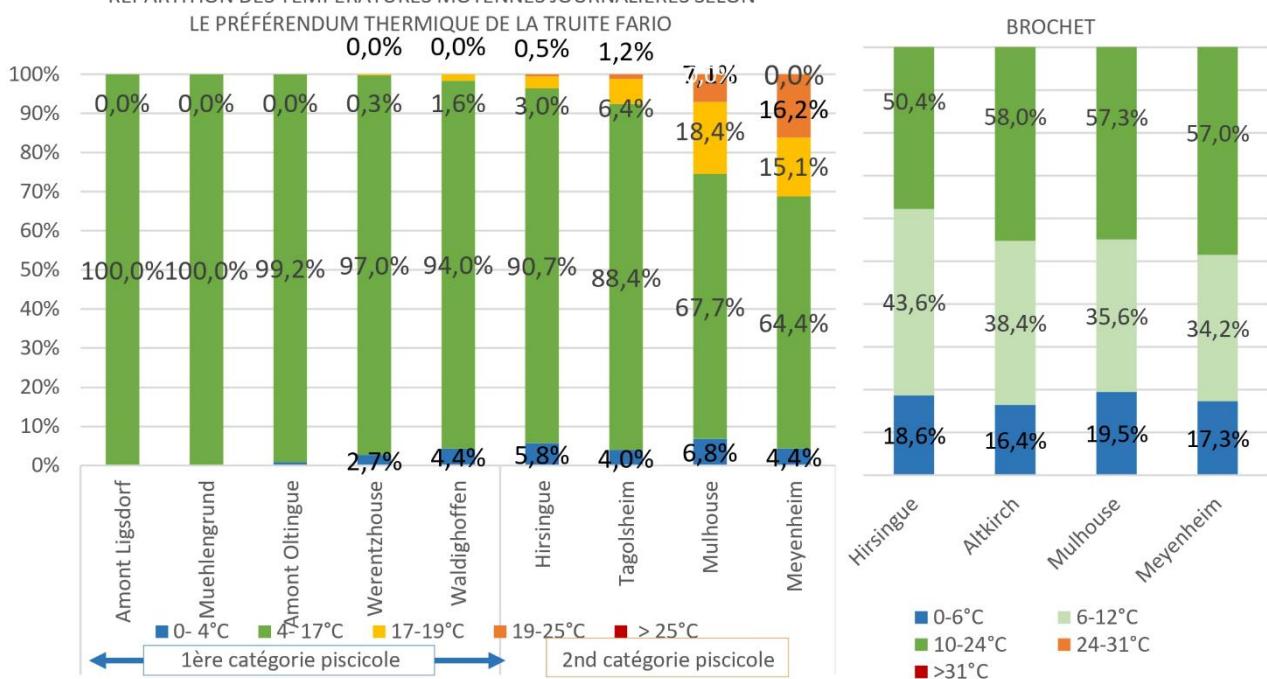
La station la plus chaude est celle située le plus en aval, I22 sur Meyenheim qui a relevé les températures moyennes et instantanées les plus élevées de la rivière. Le secteur le plus froid se situe sur la couronne Mulhousienne et le nord du Sundgau, avec I19 et I18.



III - Synthèse thermique 2021



RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES MOYENNES JOURNALIÈRES SELON



Variables thermiques générales

Variables thermiques générales						
T instancée min	T instancée max	T journalière moyenne min	T journalière moyenne max	30j les plus chauds		
0,5	25,2	0,7	23,7	T min : 17,59	T moy : 19,8	T max : 22,73
14/02/2021	19/06/2021	14/02/2021	19/06/2021	29/08/2021	12/08 au 10/09	15/08/2021
Mulhouse	Meyenheim	Froeningen	Meyenheim		Meyenheim	

Preferendum thermique de la Truite fario (en moyenne sur la III)

Nb jours 0 - 4 °C	Nb jours 4 - 17 °C	Nb jours 17 - 19 °C	Nb jours 19 - 25 °C	Nb jours > 25 °C
12	295	20	7	0
3,8%	87,8%	6,2%	2,2%	0%

Figure 35 : Fiche de synthèse thermique sur l'III et répartition des optimums thermiques

d) Bilan thermique de l'Ill

La source de l'Ill issue de résurgences phréatiques lui confère des conditions thermiques optimales au développement de la Truite fario. Cet apport d'eau variant entre 9 et 10°C à un effet bénéfique sur toute l'année, avec des températures favorables, voire très favorables, à cette espèce de l'amont jusqu'à Tagolsheim pour la période étudiée.

En effet, sur ce secteur de 1^{ère} catégorie piscicole, entre 100% et 88,4% des températures sont comprises entre 4 et 17°C, assurant un déroulement optimal du cycle biologique de ce salmonidé.

Malgré le classement en seconde catégorie piscicole dès Hirsingue, ce n'est qu'à l'Ill, sur Frœningen, que la thermie commence à être défavorable pour la Truite fario, notamment avec des températures au-delà des 19°C durant les mois de juin et d'août. Sur Mulhouse, l'Ill se divise en deux, elle est ainsi plus soumise aux températures de l'air, ce qui peut expliquer le réchauffement dans ce secteur. De plus, un de ses bras se transforme en canal sur le Nouveau Bassin avant de rejoindre le bras principal.

Au niveau de la thermie, bien qu'un peu fraîche, l'Ill semble apte à accueillir des populations de Brochet sur sa seconde catégorie jusqu'à la limite avec le Bas-Rhin. Cependant, le frein du développement de cette espèce, sur ce bassin, tient essentiellement à la perte d'habitat pour sa reproduction ainsi que des zones de repos et de chasse pour sa phase adulte, plus présentes en aval de Mulhouse.

De Meyenheim jusqu'à l'aval de Houssen, l'Ill est figée entre deux digues et la ripisylve y est moins abondante. Cette disposition explique son réchauffement estival mais aussi hivernal, la station de Meyenheim enregistrant des températures plus douces que Mulhouse ou encore Hirsingue.

L'Ill possède un fort potentiel d'accueil pour la Truite fario pour sa partie amont, au niveau de son régime thermique. Cependant, cette rivière connaît rapidement des obstacles au développement de la faune piscicole, comme des passages où elle se retrouve enterrée pour des traversées de communes ou encore l'impact potentiellement négatifs d'étangs, dès Fislis. En ce qui concerne le développement de l'espèce repère de la seconde catégorie piscicole, le Brochet, la thermie ne semble pas être un frein prépondérant, mais bien l'hydromorphologie de l'Ill. A ces deux problématiques, en amont et en aval du bassin, des études complémentaires doivent être menées. C'est déjà le cas dans le cadre des études des annexes hydrauliques sur la plaine d'Alsace, initiées par la FDAAPPMA68, et le projet de l'étude des ruisseaux des têtes de bassins (RTB).

9. Bassin du Rhin

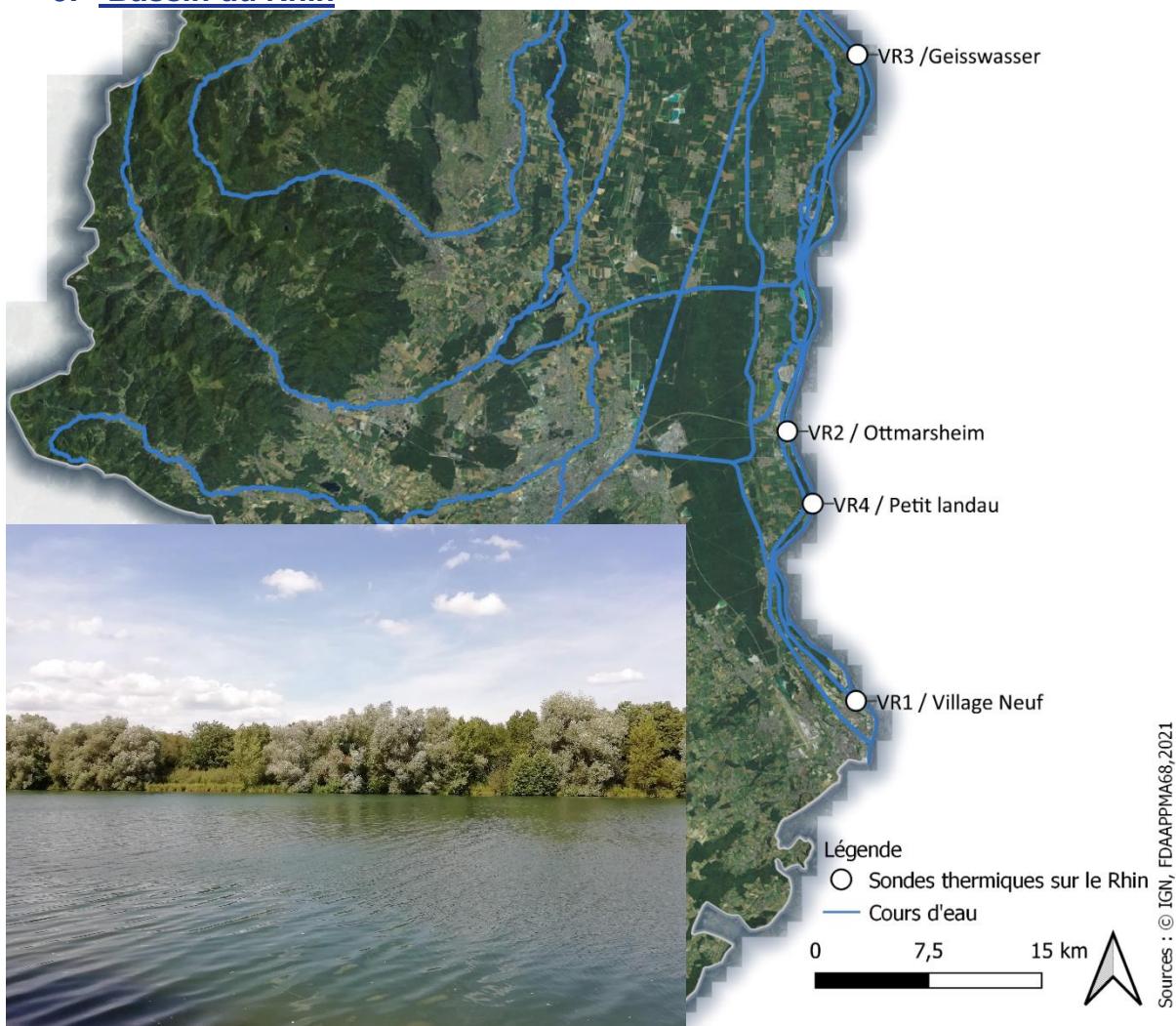


Figure 36 : Répartition du réseau de sonde thermique sur le Rhin (de l'amont au Sud vers l'aval au Nord)

Le Rhin est le 6^{ème} plus long fleuve d'Europe avec le territoire russe et un des principaux d'Europe de l'Ouest. Son tracé est, depuis l'empire romain, une véritable colonne vertébrale dans l'espace économique rhénan. Le fleuve traverse 9 pays et fait également office de frontière entre l'Allemagne et la France. Il prend sa source au niveau du lac de Toma en Suisse et se jette dans la mer du Nord aux Pays-Bas en plusieurs bras (dont un principal à Rotterdam). En France, le Rhin longe les deux départements auquel il a donné leurs noms : le Haut-Rhin et le Bas-Rhin sur 188 km avec 11 barrages principaux disposés sur son cours. La superficie du bassin versant du Rhin en France représente 24 000km².

Ce fleuve, sur sa partie française, a largement été rectifié et même divisé en deux sur plus de 50 km : le Grand Canal d'Alsace et le Vieux-Rhin. Sur ce dernier, il est à noter qu'un secteur de quelques kilomètres a été restauré. C'est d'ailleurs sur ce bras renaturé qu'une sonde thermique (IR) est disposée. La sonde « Village-Neuf », VR1, se situe sur le Rhin, et, les autres sur le Vieux-Rhin.

Pour la période étudiée, la sonde sur le Petit Rhin n'a pas été exploitée.

a) Présentation des températures moyennes journalières

Les 5 sondes avec la totalité de l'année 2021 sont exploitées pour l'ensemble des analyses, avec :

- La partie amont représentée par « Village-Neuf », VR1, en bleu clair ;
- La partie médiane, « Petit Landau », VR4, en bleu foncé et VR2 « Ottmarsheim » en vert ;
- La partie aval, « Geiswasser », VR3, en jaune et VR5 « Marckolsheim », en rouge (Figure 37).

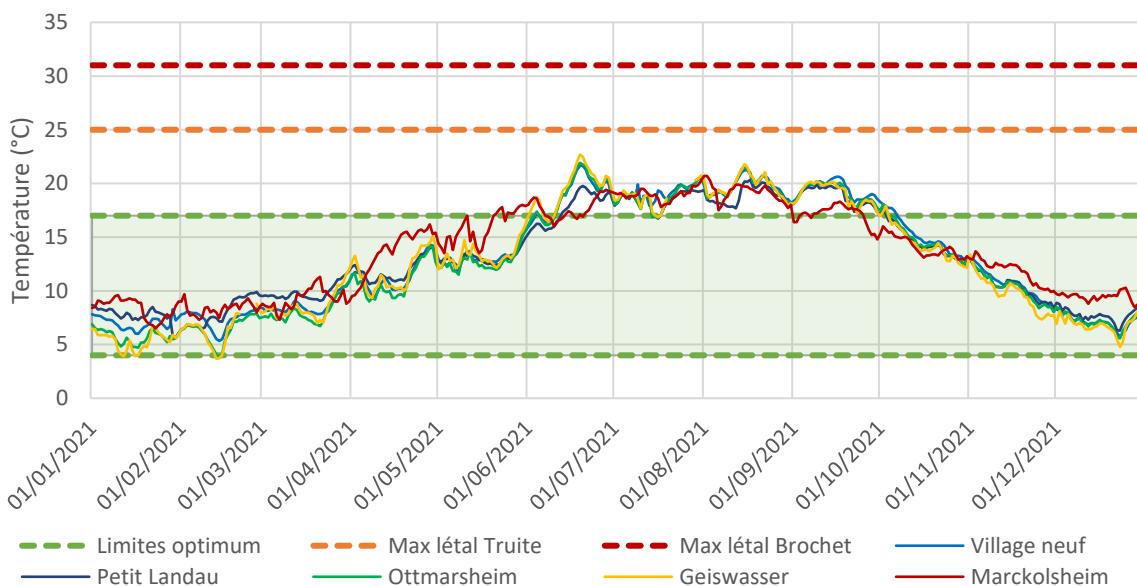


Figure 37 : Evolution des températures moyennes journalières sur le Rhin

L'ensemble des stations présentent une évolution de leurs profils similaires sur l'année 2021. Cependant, VR5, la station la plus en aval, ne connaît pas ses pics de croissance ou de décroissance au même moment, sa courbe se détache ainsi des autres. La ressemblance de la majorité des stations, malgré leur distance géographique, est dû au volume d'eau du cours d'eau étudié. En effet, celui-ci est si important que sa thermie reste globalement homogène sur le territoire Haut-Rhinois.

VR1 possède des températures plus clémentes en hiver et plus tempérées en été mais le gradient amont-aval reste peu marqué. Quant à VR5, ces températures sont globalement plus importantes de janvier à début juin, où les autres profils la dépassent pour le reste de l'été et ce, jusqu'à la mi-octobre.

Le Rhin sort de l'optimum thermique de la Truite fario, soit des valeurs supérieures à 17°C, pour l'ensemble de mi-juin à la fin septembre. Le seuil des 4°C est uniquement passé pour VR3 et VR2 mais sur une courte durée (pas plus de deux jours d'affilé). Le seuil de stress (19°C) est dépassé pour l'ensemble de stations mais ne dure pas dans le temps avec des oscillations sous ce seuil. Les 25°C, fatals pour la Truite fario, ne sont jamais atteints sur les températures moyennes journalières.

Cette observation est la même pour le Brochet pour qui le Rhin semble globalement favorable pour l'année 2021.

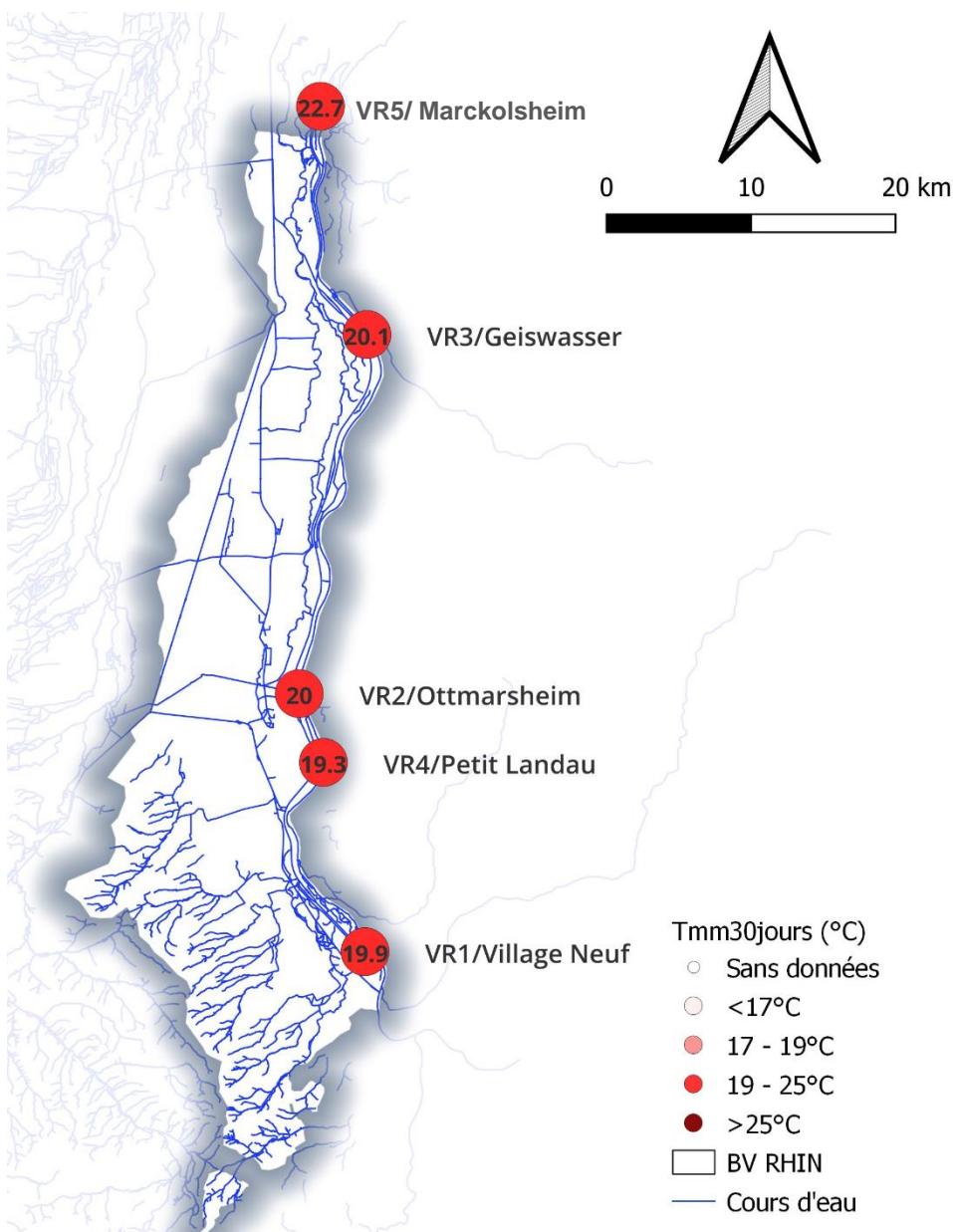
b) Présentation des 30 jours les plus chauds

Figure 38 : Températures moyennes des 30 jours les plus chauds sur le Rhin

Quel que soit la station, sa température moyenne des 30 jours les plus chauds sont compris entre 19 et 25°C. La moins élevée se situe sur VR4, avec une moyenne de 19,35°C contre 20,08°C pour VR3.

La période d'intervention de ces jours diffère légèrement d'une station à l'autre :

- Pour VR1, VR2, VR3 et VR5, elle se situe du 26 juillet au 24 août ;
- Sur VR4, du 14 août au 12 septembre.

Ces valeurs semblables sur tout le cours d'eau démontrent, une fois de plus, l'homogénéité de la thermie, que ce soit sur le Rhin (VR1 et 5) ou le Vieux-Rhin (VR2, 3 et 4).

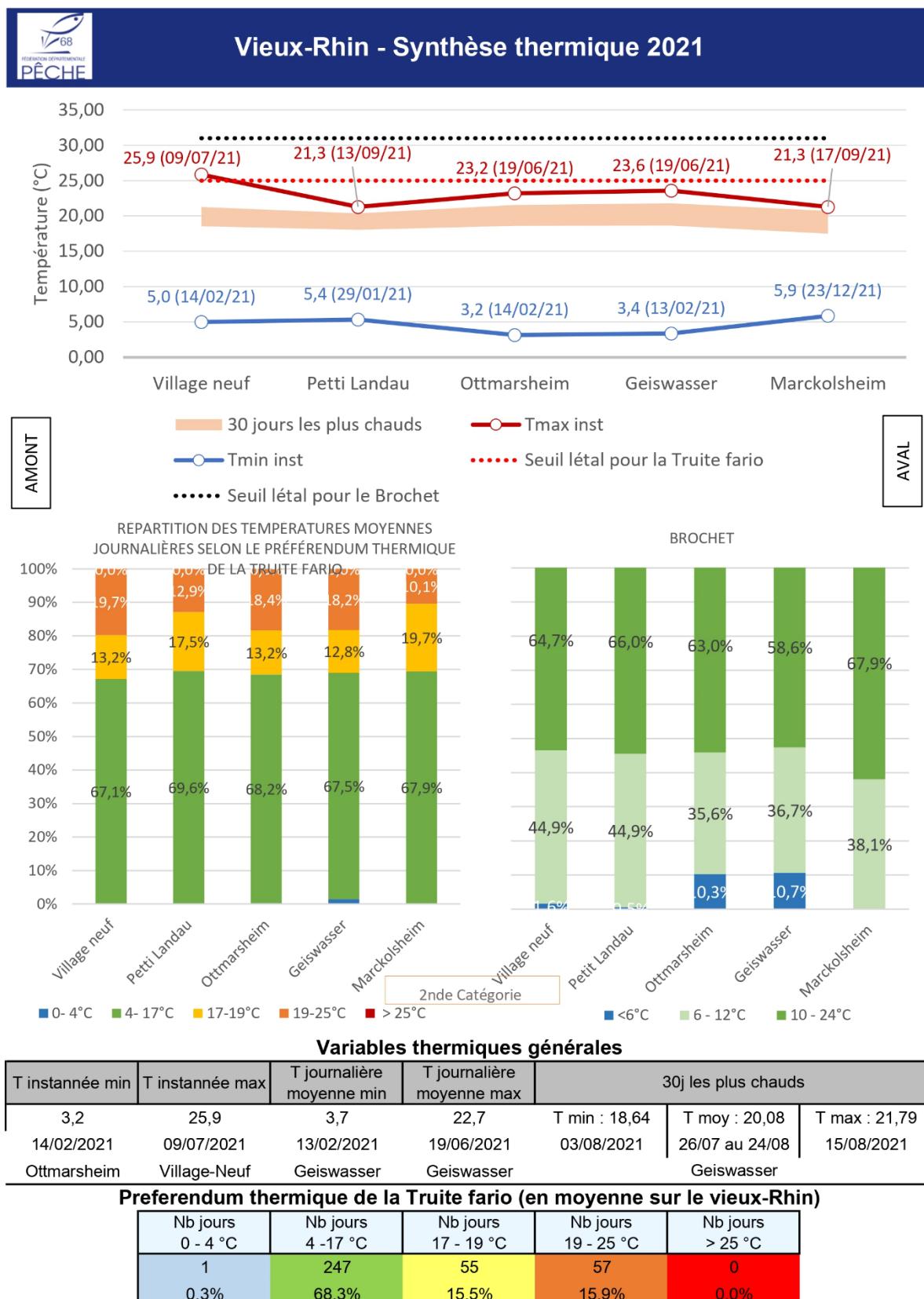
c) Répartition des températures en fonction des optimums des espèces

Figure 39 : Fiche de synthèse thermique sur le Rhin et répartition des optimums thermiques

Les températures instantanées démontrent que VR4, sur Petit Landau et VR5 sur Marckolsheim, possèdent des valeurs moins extrêmes que les autres stations étudiées. En effet, Leur température maximale est de 21,3°C, relevée, respectivement le 13 et le 17 septembre. Pour les périodes froides, en plus de ces deux stations (VR4 à 5,4°C et VR5 à 5,9°C), VR1 apparaît aussi comme relativement clémence avec une température instantanée minimale de 5°C (le 14 février). VR2 et VR3 possèdent des valeurs minimales similaires (3,2 et 3,4°C à la mi-février). Il en est de même pour les maximales avec, respectivement, 23,2 et 23,6°C relevés le 19 juin. Quant à VR1, c'est la station ayant relevé la température la plus élevée, au-dessus du seuil léthal de la Truite fario avec 25,9°C le 9 juillet.

La station la plus à même de convenir aux salmonidés est VR4 avec près de 69,6% de sa thermie moyenne journalière, pour l'année 2021, comprise dans l'optimum de la Truite fario. Malgré le plus haut taux relevé, ces résultats démontrent l'homogénéité des eaux du Rhin, les autres stations ayant entre 67,1 et 68,2% de leurs valeurs entre 4 et 17°C. Ce sont les températures élevées qui font baisser le potentiel d'accueil de ce salmonidé, avec entre 29,9% et 32,9% des valeurs au-delà des 17°C. La station la plus inhospitalière, pour l'année 2021, est VR1, suivie de près par VR2 et VR3.

VR5, quant à elle, représente la station la plus bénéfique pour le Brochet, avec 67,9% de ses valeurs entre 10 et 24°C. Quant à sa reproduction, entre 6 et 12°C, elle est optimisée sur l'ensemble des stations puisque ses valeurs interviennent à la bonne période, de fin janvier jusqu'à début avril (taux compris entre 35,6 et 44,9% sur l'ensemble de l'année). VR2 et VR3 présentent des périodes pouvant être préjudiciables pour le Brochet, entre 0 et 6°C, respectivement pour 10,3% et 10,7% de leurs valeurs sur 2021.

10. Bilan thermique du Rhin

Historiquement, le Rhin était un fleuve reconnu pour ses populations importantes de salmonidés, comme le Saumon atlantique ou la Truite fario. La pollution Sandoz de 1986 avait eu raison de la faune piscicole pendant quelques temps, et malgré une amélioration notable des conditions physico-chimiques, les salmonidés n'ont jamais retrouvé leur densité. Le régime thermique de ce bassin peut avoir joué un rôle, avec aujourd'hui de longues périodes atteignant des valeurs de stress thermiques pour la Truite fario. Néanmoins, sur l'amont du Vieux-Rhin, représenté par VR4, semble, d'un point de vue de ses températures, pouvoir accueillir le cycle biologique de cette espèce.

Quant aux populations de Brochet, la thermie est relativement favorable à son développement, à l'instar des autres cours d'eau du département, c'est davantage un déficit de zones de reproduction qui freine le développement de cette espèce. Les cyprinidés rhéophiles, comme le Barbeau fluviatile et le Hotu, retrouvent sur le Rhin un régime thermique particulièrement favorable.

11. Comparaison inter-bassins

a) Maladie rénale proliférative (MRP ou PKD)

Identifiées depuis plusieurs années, la maladie rénale proliférative (MRP ou Proliferative Kidney Disease, PKD en anglais) est une maladie infectieuse touchant préférentiellement la Truite fario, l'Ombre commun et le Saumon atlantique. La maladie est une résultante d'une infection parasitaire par *Tetracapsula bryosalmonae*. Ce parasite utilise des bryozoaires comme hôte intermédiaire (Anderson et al., 1999). Il se propage dans le milieu naturel dès que la température de l'eau atteint les 9°C et infecte les Salmonidés à partir de deux semaines consécutives à plus de 15°C (De Kinkelin et Gay, 2000).

Dans les années 2000, des sites infectés ont été mis en évidence en Grande Bretagne (Feist et al., 2002), en Suisse et en Haute-Savoie (Caudron et Champigneulle, 2007).

A l'heure actuelle, aucune mortalité ou cas d'infestation parasitaire de ce type n'ont été mis en évidence lors de ces dernières années en Alsace et dans le Haut-Rhin mais il reste intéressant de connaître le potentiel d'infections chez les salmonidés du territoire.

Le Vieux-Rhin est naturellement le cours d'eau le plus à risque par rapport à la prolifération de cette maladie avec toutes les stations qui excèdent 130 jours consécutifs à plus de 15°C (Figure 40). C'est par ailleurs sur ce bassin que le maximum de jours consécutifs est atteint, 159 pour VR5. La rivière la plus à risque, bien que largement moins que le Rhin, est la Largue avec 48 jours consécutifs à plus de 15°C. Hormis la Weiss et la Liepvrette qui possèdent moins de 20 jours consécutifs, les autres cours d'eau présentent des valeurs similaires, entre 35 et 27 jours consécutifs. Ainsi, les rivières les plus à surveiller sont le Rhin et la Largue.

A noter l'écart type représenté important, hormis sur le Rhin, la Liepvrette et la Weiss. De telles valeurs indiquent que, bien que du point de vue de l'ensemble des cours d'eau, ces derniers sont relativement homogènes, il existe de nombreuses disparités au sein d'une même rivière.

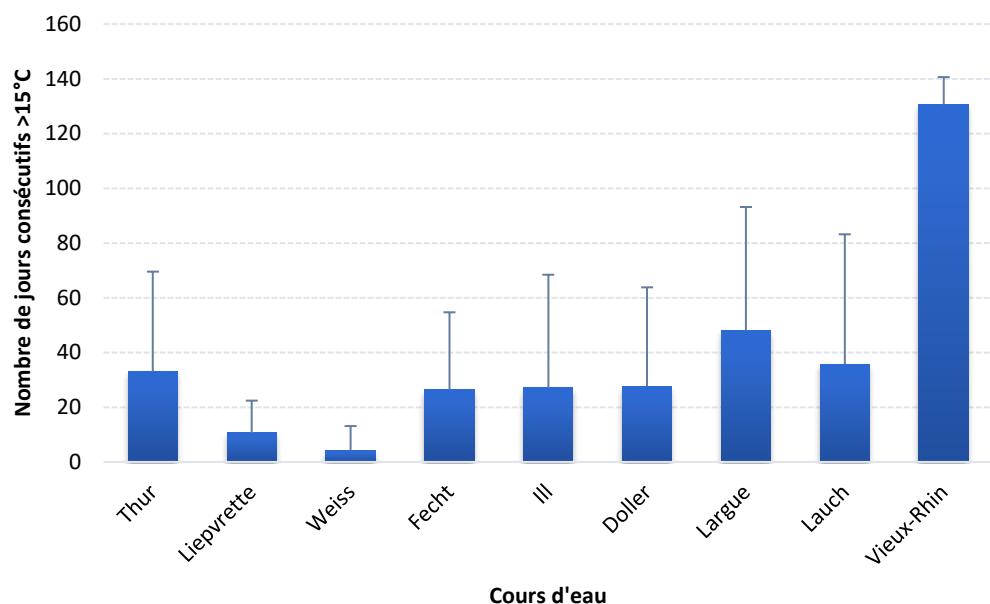


Figure 40 : Nombre de jours consécutifs où la température est supérieure à 15°C sur les différents cours d'eau du Haut-Rhin (les barres d'erreurs représentent l'écart type standard).

Une approche stationnelle est donc préférable afin de pouvoir affiner le diagnostic des secteurs les plus à même de développer cette maladie (Figure 41). 91% des stations étudiées présentaient des risques pour la PKD. En effet, hormis l'amont de certains bassins, comme l'Ill, l'ensemble des cours d'eau présentent sur l'entièreté de leur linéaire plus de 15 jours consécutifs à plus de 15°C.

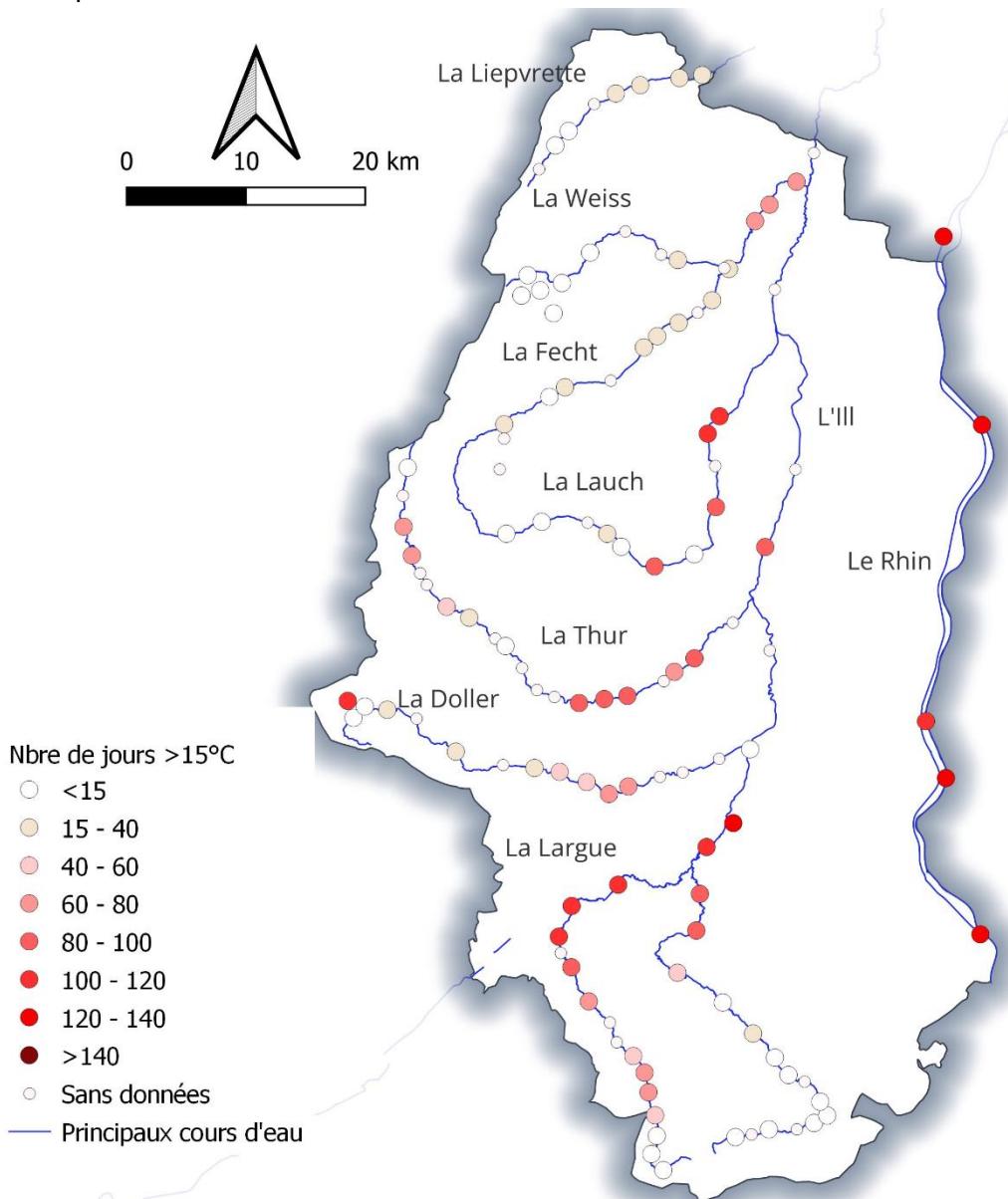


Figure 41 : Carte des risques d'infection par la MRP (ou PKD) établis sur le département du Haut-Rhin à partir du nombre de jours consécutifs où la température de l'eau excède 15°C (le risque est plus important à partir de 15 jours consécutifs)

Le bassin du Rhin confirme son haut potentiel de développement sur son cours et le lac de Sévennex montre une fois de plus son impact négatif avec déjà 119 jours consécutifs affichés, contre 70 sur la partie la plus à l'aval comportant des données, sur Scherwiller-Thann. La Largue, deuxième rivière la plus à risque, est susceptible de développer la maladie dès Pfetterhouse et atteint son maximum sur l'aval, à partir de Dannemarie jusqu'à Eglingen avec entre 110 et 112 jours consécutifs supérieurs à 15°C.

La Fecht dépasse les 15 jours consécutifs dès F03 et sont observés jusqu'à 76 jours consécutifs à plus de 15°C sur la partie aval. Pour l'Ill, les 15 jours consécutifs apparaissent dès I09 pour atteindre le maximum de 127 jours consécutifs sur Mulhouse. La Thur et la Lauch

sont plus à risque à partir du milieu de leur parcours, soit Vieux-Thann pour la première et Guebwiller pour la seconde, avec respectivement, un maximum de 96 jours et de 113 jours consécutifs à plus de 15°C. La Weiss et la Liepvrette, comme vu précédemment, sont les cours d'eau les moins à risque avec moins de 40 jours consécutifs à plus de 15°C.

Ainsi, l'ensemble des bassins sont susceptibles, dès l'amont, de développer la PKD en infectant les salmonidés sur place au vu des conditions thermiques actuelles.

b) Comparatif des moyennes et des extremums thermiques

Globalement, les extremums thermiques des différents bassins sont relativement homogènes. Les cours d'eau haut-rhinois sont caractérisés par des températures hivernales froides et des températures estivales très chaudes selon les secteurs. Les amplitudes thermiques sont donc importantes dans le département. Si l'approche localisée est à privilégier (perte d'information en moyennant les valeurs), cette approche globale permet néanmoins de rendre compte de cette tendance (homogénéité des valeurs à large échelle) (Figure 42).

Au cas par cas, l'eau est la plus froide en hiver se situe sur la Thur (TmJ min = -4,60°C) et la Largue (TmJ min = 0,11°C). La majorité des autres cours d'eau ont des températures situées sous les 1°C, hormis le Rhin qui affiche une température moyenne minimale de 3,68°C, ce fleuve étant moins soumis aux températures de l'air que les autres rivières.

Les températures les plus chaudes sont mesurées sur l'Ill (TmJ max = 23,73°C) et la Doller (TmJ max = 23,59°C). Ce n'est pas sur le Rhin que les valeurs estivales les plus importantes sont relevées, mais la température de l'eau dépasse les 20°C durant une plus longue période (inertie thermique importante).

Sur la maximale instantanée, le graphique permet de repérer les rivières ayant dépassé le seuil léthal des 25°C pour les salmonidés, à savoir, uniquement la Thur pour la période étudiée. Ce résultat est dû, pour rappel, aux travaux sur le LKW ayant fortement impacté la thermie de la rivière. La moyenne des températures annuelles du département est de 10,24°C (8,28 ± 13,09).

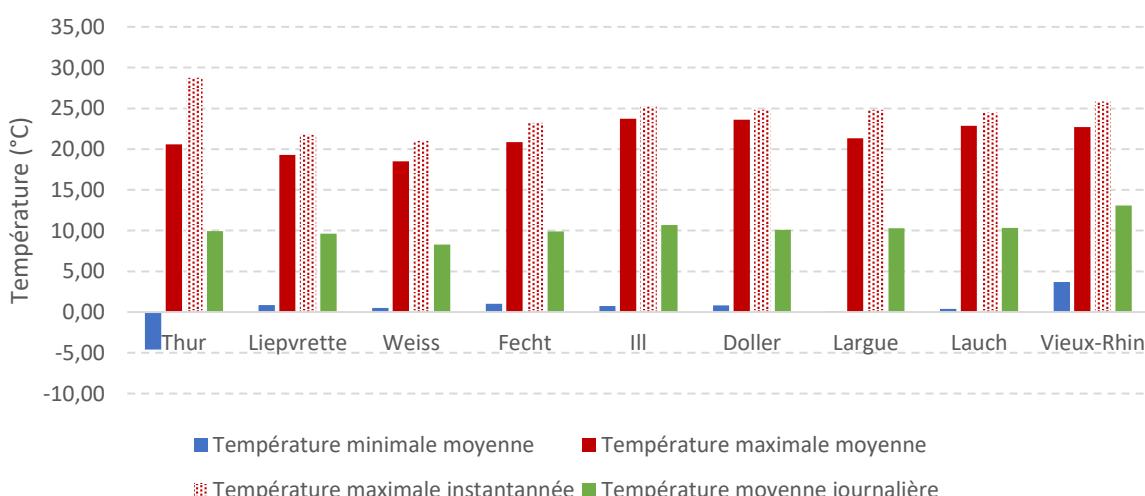


Figure 42 : Température moyenne minimale, température moyenne maximale, température maximale instantanée et température moyenne journalière sur l'ensemble de l'année 2021 (toutes stations confondues) sur les bassins étudiés.

c) Comparaison inter-bassin des proportions des diverses classes de températures correspondants aux préférendums thermique de la truite fario

Le Rhin représente le cours d'eau le moins favorable pour les espèces sténotherme d'eau froide comme la Truite fario avec 67,7% des valeurs comprises entre 4 et 17°C (Figure 43). Les autres bassins globalement moins propices à l'implantation des Salmonidés sont :

- La Lauch (75,9% des valeurs entre 4 et 17°C ; 87,1% entre 4 et 19°C) ;
- La Thur (83,2% des valeurs entre 4 et 17°C ; 90,8% entre 4 et 19°C) ;
- La Doller (83,4% des valeurs entre 4 et 17°C ; 89,7% entre 4 et 19°C) ;
-

Les cours d'eau globalement plus favorables thermiquement à l'implantation des Salmonidés sont :

- La Liepvrette (avec 92,8% des valeurs entre 4 et 17°C ; 94,3% entre 4 et 19°C) ;
- La Fecht (88,8% des valeurs entre 4 et 17°C ; 93,6% entre 4 et 19°C) ;
- L'Ill (88,2% des valeurs entre 4 et 17°C ; 94,2% entre 4 et 19°C) ;

Bien que la Weiss atteigne également de bons pourcentages, ses températures extrêmement fraîches l'hiver (16% des valeurs sous les 4°C) peuvent engendrer des retards de croissance, voire des mortalités, lors de la phase embryo-larvaire de la Truite fario.

Le Rhin est le seul bassin avec des températures moyennes ayant dépassé les 25°C, mais à seulement 0,4% de ses valeurs.

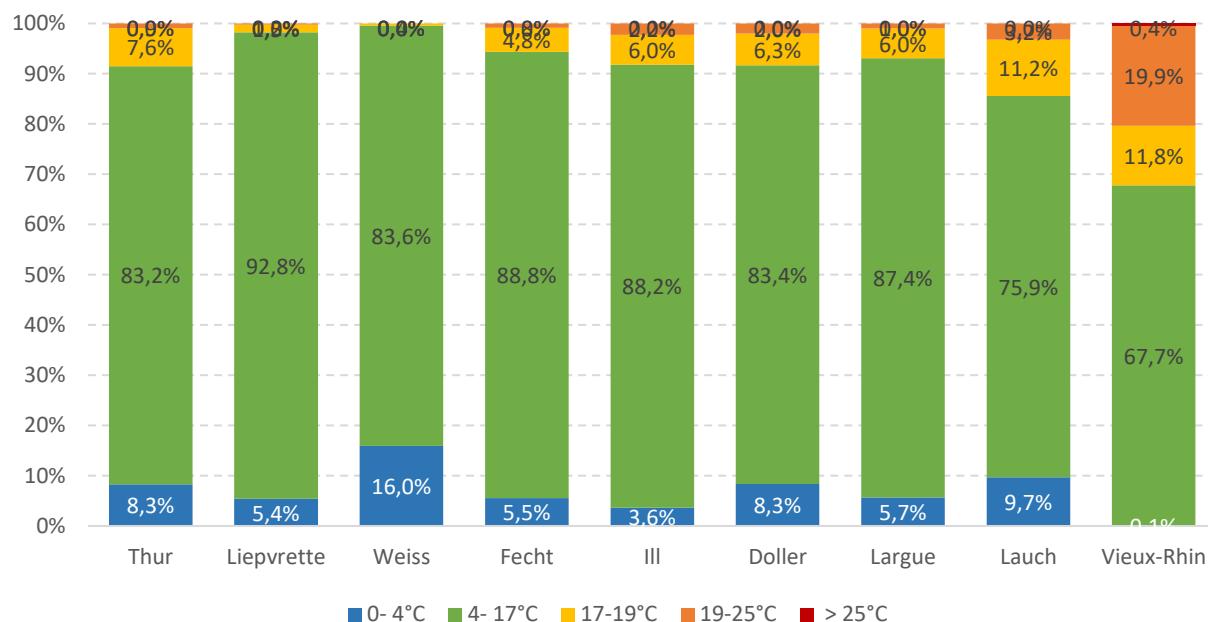


Figure 43 : Répartition des classes de températures moyennes journalières en fonction des limites thermiques de la truite fario (en moyenne sur chaque cours d'eau)

En termes des températures moyennes élevées, c'est le Rhin qui en possède le plus avec 19,9% de ses valeurs comprises entre 19 et 25°C, suivi de la Lauch avec 3,2% et de l'Ill (2,2%). Les rivières ayant le moins de leurs valeurs entre 19 et 25°C sont la Liepvrette et la Weiss, avec, respectivement, 0,2 et 0%.

L'année 2021, pour l'ensemble des rivières du département, a été globalement fraîche avec une limitation de l'augmentation des températures durant le mois de juillet, relativement pluvieux.

L'approche cartographique nous permet de mettre en évidence les résultats globaux d'un point de vue stationnel (Figure 44). Ainsi la figure nous renseigne sur la répartition des stations où la température moyenne des 30 jours les plus chauds :

- reste proche de l'optimum de la truite fario ($<17^{\circ}\text{C}$) ;
- reste comprise dans le préférendum de l'espèce ($4-19^{\circ}\text{C}$) ;
- est comprise entre 19 et 20°C , pouvant induire un stress mineur à fort ($+0,5^{\circ}\text{C}$ à $+1^{\circ}\text{C}$ de la valeur maximale du préférendum) ;
- est supérieure à 20°C , pouvant induire un stress chronique fort jusqu'à la limite létale (25°C).

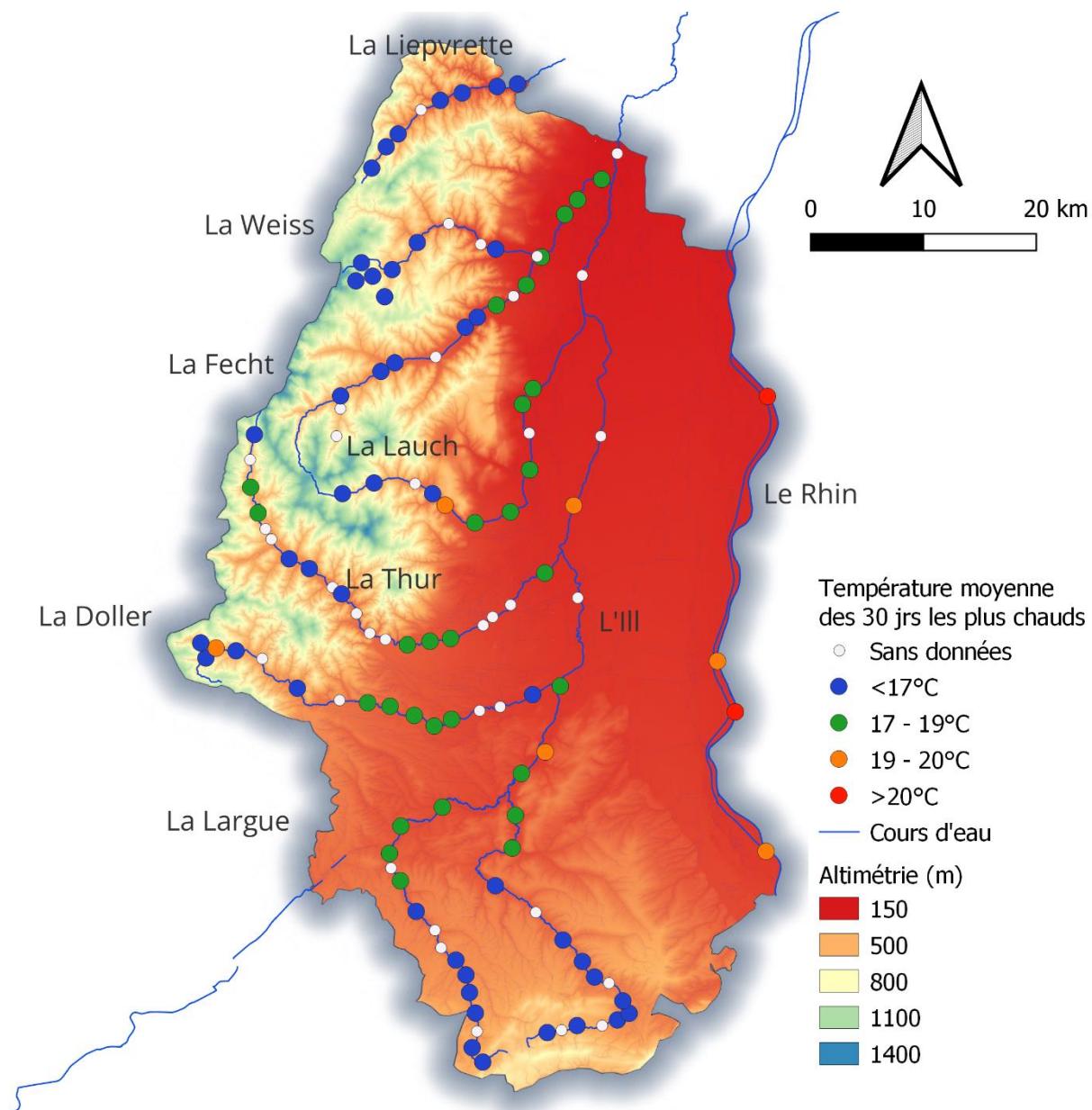


Figure 44 : Températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds en 2021 sur les cours d'eau du Haut-Rhin (codification en fonction des seuils d'optimum et de préférendum thermique de la Truite fario)

Les stations les plus favorables au développement de l'espèce sont donc présentées en bleu et en vert. Les stations qui restent comprises dans l'optimum thermique de la Truite sont majoritairement réparties :

- en amont du Piemont des Vosges, dans les zones plus en altitude (500-1100m) ;
- dans les zones de résurgences phréatiques à l'amont de l'Ill et de la Largue.

Cette approche à l'avantage de présenter les secteurs propices pour la Truite fario de manière schématique. En effet, si des températures adaptées sont nécessaires pour les phases de reproduction et de vie, ce sont bien souvent les extrêmes thermiques (*à fortiori* les Tmoy30J max) qui sont les plus dommageables aux Salmonidés. La plupart des remarques exprimées ci-dessous sont reprises dans le détail dans les différents chapitres du rapport. L'objectif est ici de rappeler les grandes tendances pour favoriser une orientation localisée.

Ainsi :

- La Liepvrette et la Weiss sont globalement favorables sur l'ensemble de leurs cours pour l'année 2021 ;
- La Fecht est globalement favorable, excepté sur les secteurs à l'aval proche de la confluence (et plus particulièrement après la traversée de Turckheim) ;
- Les températures moyennes des 30 jours les plus chauds sont globalement clémentes sur la Lauch jusqu'à Guebwiller. Passé cette commune, la rivière reste vivable pendant la période estivale avec une Tmoy30J entre 17 et 19°C ;
- Les Tmoy30J ne dépassent pas les seuils critiques sur la Thur dont les Tmoy30J ne dépassent pas les 19°C. Les travaux sur le barrage ont clairement impacté le régime thermique de la rivière ;
- Les températures moyennes des 30 jours les plus chauds peuvent clairement induire un stress physiologique modéré à fort selon les secteurs sur la Doller. L'impact thermique du lac de Sewen est clairement tandis que les traversées urbaines ont limité leur influence cette année ;
- Les valeurs présentées sur la Largue ainsi que l'Ill amont sont favorables jusqu'à mi-parcours. Les secteurs de résurgences phréatiques permettent un dépassement modéré du seuil de 17°C lors du mois le plus chaud de l'année. L'amont de l'Ill jusqu'à Altkirch semble particulièrement favorable à l'espèce cible. Sur la Largue, à noter qu'aucun secteur ne dépasse les 19°C.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En impactant directement la répartition, la croissance et le métabolisme des espèces, la température est un paramètre clé pour le suivi de la qualité des écosystèmes aquatiques. Une augmentation ou une diminution de température peut induire des changements ou perturber les organismes les plus sensibles. De plus les poissons étant des organismes poïkilotermes, leur développement dépend grandement des conditions thermiques du milieu. C'est particulièrement le cas pour les espèces sténothermes d'eau froide, comme la Truite fario, qui sont sensibles à des brusques augmentations de températures ou des chroniques de températures supérieures à certains seuils.

L'étude thermique menée ici, renouvelée chaque année depuis 2012, a permis d'apprécier les spécificités des régimes thermiques des principaux cours d'eau du département et de mettre en évidence des problématiques localisées.

D'une manière générale, deux principaux types de profils thermiques sont observés. Le premier est longitudinal, avec une élévation progressive des températures de l'amont vers l'aval. Il concerne les cours d'eau prenant leurs sources dans le massif vosgien et s'écoulant vers la plaine d'Alsace. Le deuxième est plus caractéristique des régimes de source ou de résurgences phréatiques. Il concerne l'Ill et la Largue au sud du département avec des amplitudes thermiques faibles et des profils plus homogènes de l'amont vers l'aval. Les périodes les plus chaudes sont relativement similaires et s'échelonnent sur le mois de juin et d'août, le mois de juillet ayant eu une météorologie en deçà des normales saisonnières avec une pluviométrie importante. Cette dernière a permis une période estivale 2021 moins stressante pour les poissons sténothermes sur certains bassins.

Vis à vis de l'espèce cible que peut être la Truite fario sur les cours d'eau de première catégorie piscicole, il est possible de hiérarchiser les cours d'eau en fonction de leurs potentialités d'accueil par rapport à la thermie. Ceci, en prenant principalement en compte la proportion des valeurs de température comprises dans les limites d'optimum pour le développement des truites entre 4 et 17°C (aussi bien au stade subadulte qu'adulte). Le classement décroissant des cours d'eau qui peut en être fait est le suivant, pour l'année 2021 : Liepvrette – Fecht – Ill (amont) – Largue – Weiss – Doller – Thur - Ill (intermédiaire et aval) – Lauch – Rhin. Chaque cours d'eau présente néanmoins ses spécificités pouvant influer ou non les profils thermiques mesurés.

C'est notamment le cas de plusieurs secteurs potentiellement problématiques qui ont pu être mis en évidence avec des ruptures de profil et généralement un réchauffement estival de l'eau plus important. Une certaine vigilance peut être recommandée vis-à-vis de ces secteurs tel que :

- Le passage de la commune de Turckheim sur la Fecht ;
- Le passage de la commune de Guebwiller sur la Lauch ;
- Le passage de la commune de Vieux-Thann pour la Thur et notamment sa dérivation par le canal usinier ;
- L'impact thermique du lac de Sewen, fortement structurant sur la Doller ainsi que les traversées des communes de Sentheim et de Guewenheim ;
- L'impact (vraisemblablement diffus et difficile à quantifier) des étangs multiples sur la Largue à l'aval du secteur de Courtavon ;
- Le passage de la commune de Fislis sur l'Ill amont ainsi que le secteur compris entre Mulhouse et Ensisheim sur l'Ill aval qui reste la zone aux températures de l'eau les plus élevées du département en été.

Une des autres spécificités thermiques départementale mise en avant est l'impact très structurant (négativement ou positivement selon les sites) que peuvent avoir les nombreux

lacs de barrages de montagne ou les réservoirs d'eau de plaine sur les cours d'eau haut-rhinois. En effet, il semble particulièrement pertinent de continuer à suivre les évolutions des profils thermiques surtout à l'aval des retenues d'eau importantes (lac de Kruth-Wildenstein, lac Blanc, lac Noir, lac de Sewen, lac d'Alfeld, réservoir du Michelbach, etc.).

Des perspectives de réflexions peuvent être émises telles que :

- ✓ Proposer une modification de la prise d'eau et du mode de restitution des eaux du lac de Sewen ;
- ✓ Proposer des solutions pour limiter la dérivation des eaux de la Thur vers le canal usinier de Vieux-Thann ;
- ✓ Faire émerger des actions orientées vers la restauration des parties de cours d'eau les plus anthropisées (recréation de berges naturelles, plantation de ripisylve, suppression ou abaissement des seuils sans usage, reméandrage, restauration de zones humides, augmentation de l'ombre sur les secteurs critiques, etc.),
- ✓ Favoriser l'émergence de projet de restauration orientés sur les têtes de bassin versant, structurantes de la qualité des hydro-systèmes situé à l'aval ;
- ✓ Mener des actions de sensibilisation afin de limiter le gaspillage de la ressource en eau.

En vue de poursuivre ce type d'action, plusieurs projets et actions (de connaissances ou de restaurations) plus localisés pourront émerger en étant favorisé par l'apport de données constante de ce type.

Néanmoins l'utilisation et la valorisation des données thermiques est également un sujet de préoccupation. Il conviendra de proposer dès les années suivantes un développement de ce suivi, qui malgré ses spécificités et ses résultats qualitatifs, se doit d'évoluer. Plusieurs pistes de réflexions peuvent être avancées à l'aide des retours d'expériences obtenus lors des dernières années, comme :

- ✓ Valorisation de la chronique historique de données sur ce vaste maillage de point (analyse statistique interannuelle) ;
- ✓ Réflexion autour de la bancarisation des données (système de base de données en régie ou incorporation dans des systèmes tiers) ;
- ✓ Réflexion autour de la valorisation des données et des résultats (système facilité d'export aux partenaires, communication sur les actions entreprises, incorporation des données au réseau ONDE de l'OFB, etc.) ;
- ✓ Amélioration des comparatifs intra et interbassin à l'aide d'approches statistiques structurées ;
- ✓ Réflexion à porter sur la valorisation des données issues du partenariat avec l'INRAE sur le projet TIGRE, incorporation des projections pour fournir une aide à la hiérarchisation des enjeux thermiques locaux ;
- ✓ Poursuite de l'étude thermie en mobilisant ou sensibilisant les acteurs locaux ;
- ✓ Prendre en compte les préférences thermiques multi-espèces dans l'analyse (pas seulement Truite fario et Brochet) et permettre un comparatif avec les données biologiques obtenues lors des inventaires piscicoles scientifiques de la Fédération.

Ainsi, dans un contexte de changement climatique global, les études thermiques sont prépondérantes. Il apparaît essentiel de continuer à maintenir une attention soutenue sur l'évolution des profils thermiques des cours d'eau. Ceci dans le but de pouvoir quantifier les impacts des changements globaux à venir, mais également de mettre en évidence des zones problématiques sur lesquelles il peut être possible de réaliser des actions concrètes.

BIBLIOGRAPHIE

- ALABASTER J.S., LLOYD R., 1980. Water quality criteria for fresh water fish, Butter Worths Ed., London, 297p.
- ANDERSON C.L., CANNING E.U., OKAMURA B., 1999. 18S rDNA sequences indicate that PKX organism parasites bryozoa. Bulletin of the European association of fish pathologists 19, p. 94-97.
- ARORA, R., TOCKNER, K., VENOHR, M, 2016. Changing river temperatures in northern germany: trends and drivers of change: changing river temperatures in germany, hydrological processes, 30(17), 3084–3096, doi:10.1002/hyp.10849.
- BAGLINIERE J-L, MAISSE G., 2006. La truite biologie et écologie. INRA collection, 308p.
- BARAN P., LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M., HENNIAUX H., BELAUD A., 1999. Etude de l'habitat de la truite commune (*Salmo trutta L.*) dans quatre cours d'eau à haute valeur patrimoniale de la Loire. INP-ENSAT. 70p.+ annexes.
- BEAUFORT A. 2015. Modélisation physique de la température des cours d'eau à l'échelle régionale : application au bassin versant de la loire, phd thesis, université de tours.
- BEAUFORT A., CURIE F., MOATAR F., DUCHARNE A., MELIN E., THIERY, D., 2016. A dynamic model for simulating daily stream temperature at the regional scale based on a network topology: t-net model for simulating stream temperature at a regional scale, hydrological processes, 30(13), 2196–2210, doi:10.1002/hyp.10787, 2016b.
- BEAUFORT A., MOATAR F., CURIE F., DUCHARNE A., BUSTILLO V., THIERY D., 2016. River temperature modelling by strahler order at the regional scale in the loire river basin, france: river temperature modelling by strahler order, river research and applications, 32(4), 597–609, doi:10.1002/rra.2888, 2016a.
- BEAUFORT A., MOATAR F., SAUQUET E., 2020. Thermie en rivière : analyse géostatistique et description de régime : application à l'échelle de la france, inrae ur riverly, université de tours géhco, 63 pages + 53 pages d'annexes.
- BROWN J.H., GILLOOLY J.F., ALLEN A.P., SAVAGE V.M. & WEST G.B., 2004. Toward a metabolic theory of ecology. Ecology 85 (7) : 1771-1789.
- CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., 2007. Evaluation à grande échelle de l'efficacité du repeuplement et comparaison des caractéristiques des truites (*Salmo trutta L.*) sauvages et introduites dans les rivières de Haute-savoie. Rapport final 2002-2006. Rapport SHL 274-2007, 68p + annexes.
- CHANCEREL, 2003. Le Brochet, biologie et gestion, Conseil supérieur de la pêche, 199p.
- CRISP D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. Hydrobiologia 323, p. 201-221.
- DAVID H., SALINGER & JAMES J.A., 2006. Effects of water temperature and flow on adult salmon migration swim speed and delay, transactions of the american fisheries society, 135:1, 188-199.

DE BONO A., PEDUZZI P., KLUSER S. & GIULIANI G., 2004. Impacts of summer 2003. United nations environment programme, 4p.

DE KINKELIN P. & GAY M., 2000. La teracapsulose a *Tetracapsula bryosalmonae*: une bonne cible pour des études épidémiologiques en ichtyopathologie. *Epidémiologie et santé animale* 38, p. 7-18.

DE VLAMING V.L., 1972. Environmental control of teleost reproductive cycles : a brief review. *J. Fish biol.* 4 (1) : 131-140.

DORIER A., 1938. A propos de l'oeuf et de l'alevin de brochet. *Bulletin français de pisciculture* N°110.

DUMOUTIER Q., VIGIER L. et CAUDRON A. 2010. Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles, MACMASalmo1.0. Rapport SHL293.2010 / FDP74.10/03 disponible sur http://www.pechehautsavoie.com/telechargement1_bis.php?categ=5

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., 1975. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology* 44, p. 805-821.

ELLIOTT J-M., HURLEY M-A., 1995. The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout.

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.

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., 2001. Modelling growth of brown trout, *Salmo trutta*, in terms of weight and Energy units. *Freshwater Biology* 46, p. 679-692.

FAURE J.P ET GRES P., 2008. Etude piscicole et astacicole préalable au contrat de rivières Rhins, Rhodon et Trambouzan (département 42 et 69) – 102p.

FEIST S.W., PEELER E.J., GARDINIER R., SMITH E., LONGSHAW M., 2002. Proliferative kidney disease and renal myxosporidiosis in juvenile salmonids from rivers in England and Wales. *Journal of Fish Diseases* 25, p. 451-458.

FROST W.E. ET BROWN M.E., 1967. *The trout*. Collins ed (London). 286p.

GIEC, 2007. Résumé à l'intention des décideurs. In : *changements climatiques 2007 : les éléments scientifiques*. Contribution du groupe de travail i au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [solomon, s., d. Qin, m. Manning, z. Chen, m. Marquis, k.b. averyt, m.tignor et h.l. miller (éds.)]. Cambridge university press, cambridge, uk et new york, ny, usa.

GIEC, 2014. *Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse*. Contribution des groupes de travail i, ii et iii au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur

l'évolution du climat [sous la direction de l'équipe de rédaction principale, r.k. pachauri et l.a. meyer].giec, genève, suisse, 161 p.

GIEC, 2023. Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (Ar6), 85 p.

GRAY J., 1928. The growth of fish iii. the effect of temperature on the development of the eggs of *Salmo fario*. Journal of Experimental Biology 6: 125-130.

HASSLER T.J., 1982. Effect of Temperature on Survival of Northern Pike Embryos and Yolk-sac Larvae. The Progressive Fish-Culturist 44: 174-178.

HOKANSON KEF, MC CORMICK JH, JONES BR, 1973. Temperature requirements for embryos and larvae of the Northern Pike, *Esox lucius* (Linnaeus). Transactions of the American Fisheries Society 102: 89-100.

HUMPESCH H., 1985. Inter-and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and *Thymallus thymallus*. Archive für Hydrobiologie 104: 129-144.

KEITH P., PERSAT H., FEUNTEUN E., ALLARDI J., 2011. Les poissons d'eau douce de France. Biotope Editions, 552p.

LAFAILLE P., CARAGUEL J.M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of european glass eel at the couesnon estuarine dam, estuarine, coastal and shelf science, 73(1-2) : 81-91.

LAHNSTEINER F., 2012. Thermotolerance of brown trout, *Salmo trutta*, gametes and embryos to increased water temperatures. Journal of Applied Ichthyology 28: 745-751.

LESSARD J-I., HAYES D-B., 2003. effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams river research and applications river res. Applic. 19 : 721-732

LILLELUND V.K., 1966. Versuche zur er brutung der Eier vom Hecht, *Esox lucius* L., in Abhängigkeit von Temperatur und Licht. Archiv für Fishereiwissenschaft 17: 95-113.

MCCAULEY R.W. & CASSELMAN J.M., 1981. The final preferendum as an index of the temperature for optimum growth in fish. In World Symposium on Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems B. K. Tiews. Heenemann Verlagsgesellschaft Ed., pp. 81-93.

MILLS D.H., 1971. Salmons and trout resource, its ecology, conservation and management. New York: St. Martin's Press. 351p.

OJANGUREN A.F., BRANA F., 2000. Thermal dependence of swimming endurance in Juvenile brown trout. J. Fish biol. 56 : 1342-1347.

OJANGUREN A.F., BRANA F., 2003. Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. Journal of Fish Biology 62: 580-590.

RATT.J.P., 1988. Synopsis of biological data on the northern pike *esox lucius* linnaeus, 1758. Fao fish.synop. (30) rev.2. Rome : 178.

REALIS-DOYELLE E. Influence de la température sur les premiers stades de vie de trois espèces de poissons dulcicoles : étude de la survie et de la plasticité phénotypique. Sciences agricoles. Université de lorraine, 2016. Français. nnt : 2016lorr0272.

SIEFERT R.E., SPOOR W.A., SYRETT R.F., 1973. Effects of reduced oxygen concentrations on northern pike (*Esox lucius*) embryos and larvae. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 30: 849-852

SKOY C., NILSSON P.A., 2018. Biology and Ecology of Pike, 411p.

SOUCHON Y., 1983. La reproduction du Brochet (*Esox lucius*, L., 1758) dans le milieu naturel, Revue bibliographique dans « Le Brochet, gestion dans le milieu naturel et élevage ». Edition R Billard.

TALMAGES.S., 1977. Thermal effects on aquatic organisms : an annotated bibliography of the 1977 literature. The ecological sciences information center, p. 179.

TELETCHEA F., 2017. Effets de la température sur la survie et le développement des premiers stades de vie de cinq espèces de poissons d'eau douce de France métropolitaine. Université de Lorraine 77p.

TELETCHEA F., FOSTIER A., LE BAIL P-Y., JALABERT B., GARDEUR J-N., FONTAINE P., 2007. STOREFISH : a new database dedicated to the reproduction of temperate freshwater teleost fishes. Cybium 31:227-235.

TELETCHEA F., GARDEUR J.N., KAMLER E. ET FONTAINE P., 2009. The relationship of ovocyte diameter and incubation temperature to incubation time in temperate freshwater fish species. J. Fish biol. 74 (3) : 652-668.

TISSOT L., SOUCHON Y., Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des Rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. Hydroécologie appliquée, edp sciences, 2011, 17, p.17 - p. 76. hal-00602627.

WELCOMME R.L., COWX I., COATES D., BENE C., FUNGE-SMITH S., HALLS A., LORENZEN K., 2010. inland capture fisheries. Philosophical transactions of the royal society b : biological 365 : 2881-2896.

WOLTER C., 2007. Temperature influence on the fish assemblage structure in a large lowland river, the lower oder river, germany.

Webographie :

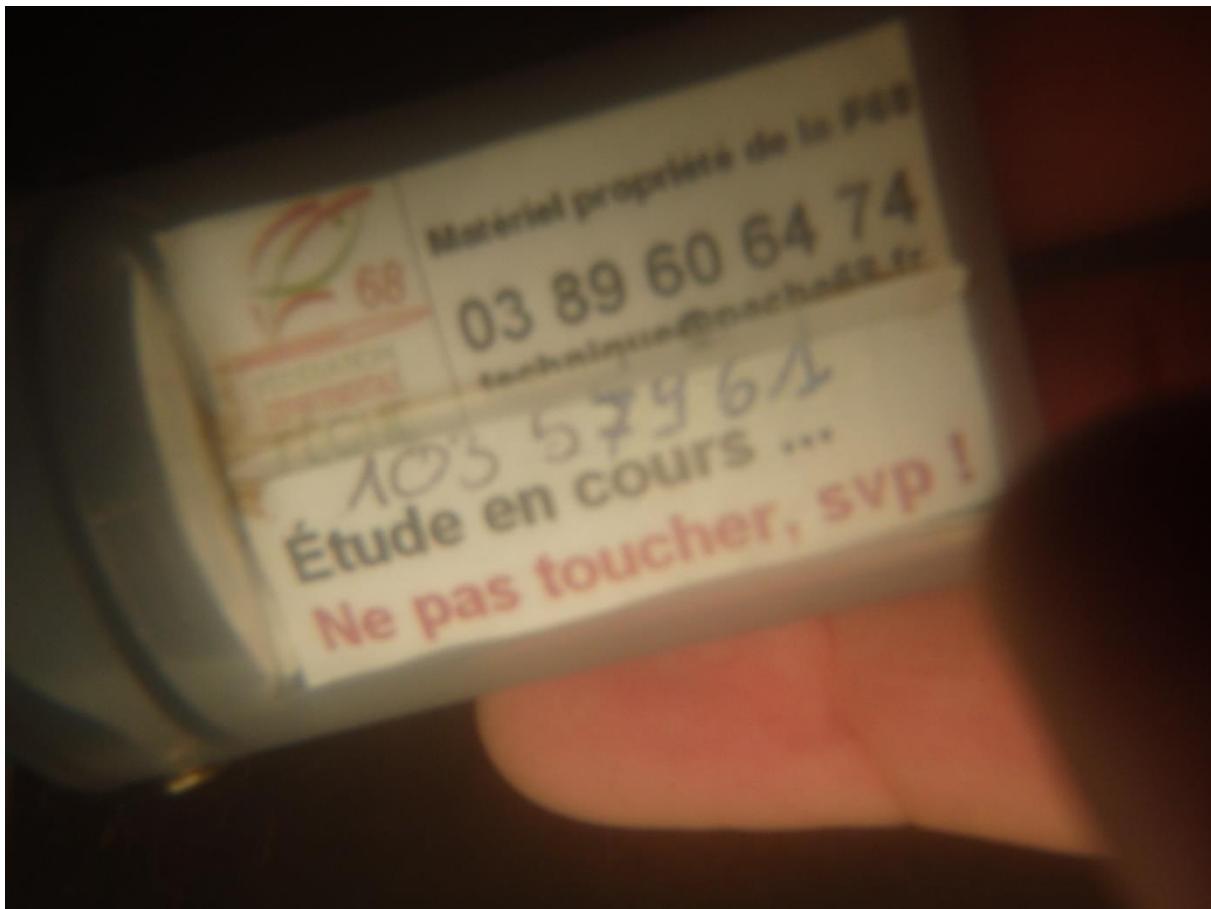
<http://especes-exotiques-envahissantes.fr/>

<https://www.ecologie.gouv.fr>

<https://inpn.mnhn.fr/>

<https://inpn.mnhn.fr/informations/sinp/presentation>

Annexes



Annexe 1 : Liste de l'ensemble des sondes thermiques

Nom_Station	X_Lambert93	Y_Lambert93	Cours d'eau
D16/Source Doller	991089,659	6751693,92	Doller
D14/Sewen	992038,911	6752634,36	Doller
D15/Aval Alfeld	990605,044	6753112,89	Doller
D13/Dolleren	993916,654	6752370,17	Doller
D12/Kirchberg	996369,654	6751630,16	Doller
D1/Masevaux	999660,851	6748861,57	Doller
D3/Sentheim	1003616,9	6747739,48	Doller
D4/Guewenheim	1006244,5	6747496,59	Doller
D5/Amont Michelbach	1008346,21	6747170,31	Doller
D6/Aval Michelbach	1010613,68	6746315,78	Doller
D7/Hardtwald	1012476,42	6745315,32	Doller
D8/Schweighouse-Thann	1014102,21	6745943,06	Doller
D9/Reiningue Amont	1016739,52	6746752,54	Doller
D10/Reiningue Aval	1018661,72	6747124,11	Doller
D17/Lutterbach	1021705,45	6748264,37	Doller
F01/Maison Forest	1003332,08	6772508,17	Fecht
F03/Amont Metzeral	1003694,83	6775075,85	Fecht
F04/Metzeral	1003710,14	6776274,45	Fecht
F06/Leymel	1007487,03	6778576,31	Fecht
F07Munster	1008795,32	6779377,85	Fecht
F09/Wirh au Val	1012627,27	6779927,09	Fecht
F11/Zimmerbach	1015404,19	6782718,53	Fecht
F12/Amont Turckheim	1016518,96	6783652,99	Fecht
F13/Turckheim Gare	1018314,63	6784776,2	Fecht
F14/Ingersheim passerelle	1019911,68	6785627,1	Fecht
F15/Ingersheim Etangs	1021115,74	6786668,74	Fecht
F17/Confluence Fecht Weiss	1022527,09	6789290,06	Fecht
F19/Ostheim	1024718,4	6793295,91	Fecht
F20/Foret Niederwald	1025919,35	6794672,46	Fecht
F22/Amont Illhaeusern	1028180,83	6796589,89	Fecht
I01/Amont Ligsdorf	1023070,82	6716574,91	III
I02/Ligsdrof	1024421,33	6716798,9	III
I03/Muehlengrund	1025868,77	6717224,85	III
I04/Raedersdrof	1028216,03	6717224,5	III
I05/Huttingue	1029645,79	6717753,98	III
I06/Amont Oltingue	1030752,55	6718382,7	III
I07/Oltingue	1030160,22	6719544,7	III
I08/Fislis	1028860,42	6721213,28	III
I09/Werentzhouse	1027505,7	6721780,56	III
I10/Durmenach	1026370,87	6723234,58	III
I12/Waldighoffen	1024544,01	6725252,62	III

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

I14/Henflingen	1022009,9	6727849,8	III
I15/Hirsingue	1018214,69	6730344,14	III
I16/Altkirch	1019791,71	6733878,67	III
I17/Tagolsheim	1020095,14	6736945,65	III
I18/Froeningen	1020651,83	6740872,36	III
I20/Didenheim	1022890,07	6742879,28	III
I19/Mulhouse	1024298,94	6749060,16	III
I21/Amont Ensisheim	1025934,25	6757339,9	III
I22/Meyenheim	1025559,65	6765999,04	III
I23/Oberhergheim	1028091,92	6772497,48	III
I24/Ladhof	1026356,31	6787572,43	III
I25/Guemar	1029637,36	6799001,37	III
LG01/Levoncourt	1017032,77	6713804,86	Largue
LG02/Courtavon	1016035,45	6715159,77	Largue
LG03/Plan Eau Courtavon	1016485,39	6716682,61	Largue
LG04/Pfetterhouse	1016344,29	6718403,75	Largue
LG05/Mooslargue	1015791,65	6720328,98	Largue
LG06/Amont Seppoisle Haut	1015459,68	6721974,67	Largue
LG07/Aval Seppois le Haut	1014514,33	6723369,85	Largue
LG08/Seppois le Bas	1013128,38	6724517,75	Largue
LG10/Friesen	1012556,18	6726168,16	Largue
LG11/Hindlingen	1010791,54	6727939,57	Largue
LG12/Amont Altenach	1009325,49	6730805,71	Largue
LG13/Manspach	1008444,14	6731995,07	Largue
LG14/Dannemarie	1008285,73	6733361,93	Largue
LG15/Wolfersdorf	1009355,83	6735932,76	Largue
LG16/Uebekummen	1013249,14	6737713,6	Largue
L01/Mais.Forest.Dauvillers	1003888,25	6767112,29	Lauch
L03/Linthal	1006848,85	6768113,07	Lauch
L05/Lautenbach	1010693,74	6768043,96	Lauch
L06/Buhl	1012331,73	6767107,11	Lauch
L07/Guebwiller	1013505,73	6766025,65	Lauch
L08/Guebwiller Aval	1016296,34	6764377,1	Lauch
L10/Merxheim	1019621,38	6765390,98	Lauch
L12/Rouffach Amont	1021435,83	6769347,55	Lauch
L14/Pfaffenheim Amont	1021386,12	6772782	Lauch
L16/Hattstatt	1020749,74	6775488,59	Lauch
L17/Herrlisheim	1021737,25	6776952,23	Lauch
Li1/Aval Wuestenloch	1006625,13	6797639,03	Liepvrette
Li2/Amont Echery	1007989,21	6799638,15	Liepvrette
Li3/Echery	1009102,85	6800842,46	Liepvrette
Li4/Sainte Marie aux Mines	1011242,2	6803097,25	Liepvrette
Li5/Sainte Croix aux Mines	1013053,99	6803983,62	Liepvrette
Li6/Aval Sainte Croix aux Mines	1015101,94	6804689	Liepvrette

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

Li7/Liepvre	1018378,07	6805286,83	Liepvrette
Li8/Bois l'Abesse	1020290,44	6805531,5	Liepvrette
T1/Wildenstein	995630,938	6772653,85	Thur
T2/Amont LKW	995226,203	6770291,9	Thur
T3/Aval/LKW	995283,824	6767702,35	Thur
T4/Kruth	995980,418	6765289,58	Thur
T5/Oderen	996675,161	6763796,45	Thur
T6/Fellering	997226,872	6762832,6	Thur
T7/H-Wesserling	998890,553	6760998,25	Thur
T8/St-Amarin	1000782,66	6760075,65	Thur
T9/Moosch	1002956,69	6758323,61	Thur
T10/Willer-sur-Thur	1003812,7	6757702,7	Thur
T11/Bitschwiller	1005203,21	6755866,26	Thur
T12/Thann	1006447,39	6754019,44	Thur
T13/Thann Athanor	1007914,36	6753436,52	Thur
T14/Vieux-Thann	1009970	6752934,92	Thur
T15/Cernay	1012086,51	6753266,97	Thur
T16/Cernay Am.STEP	1014021,82	6753531,42	Thur
T17/Wittelsheim	1017076,76	6754760,38	Thur
T18/Staff D19	1017957,49	6755544,09	Thur
T19/Staffelfelden D430	1019640,82	6756679,82	Thur
T20/Ensisheim	1022852,64	6759667,44	Thur
VR1/Village Neuf	1043575,64	6733561,77	Vieux-Rhin
VR4/Petit Landau	1040694,85	6746648,25	Vieux-Rhin
VR3/Geiswasser	1043710,55	6776227,23	Vieux-Rhin
W01/Aval Lac Noir	1005148,53	6787059,8	Weiss
W02/Pairis	1006712,23	6787500,14	Weiss
W03/Amont Orbey	1008538,97	6788117,66	Weiss
W04/Aval Lac Blanc	1005668,91	6788762,4	Weiss
W05/Orbey les Grands Prés	1010898,03	6790659,28	Weiss
W06/Basses Huttes	1007841,24	6785576,86	Weiss
W07/Amont Kaysersberg	1013852,39	6792422,62	Weiss
W09/Kaysersberg	1016847,65	6790488,79	Weiss
W10/Ammerschwihr	1018245,22	6790042,15	Weiss
W12/Amont confluence Fecht	1022132,02	6789361,4	Weiss

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

Annexe 2 : Fiches de synthèse par station et par bassin versant

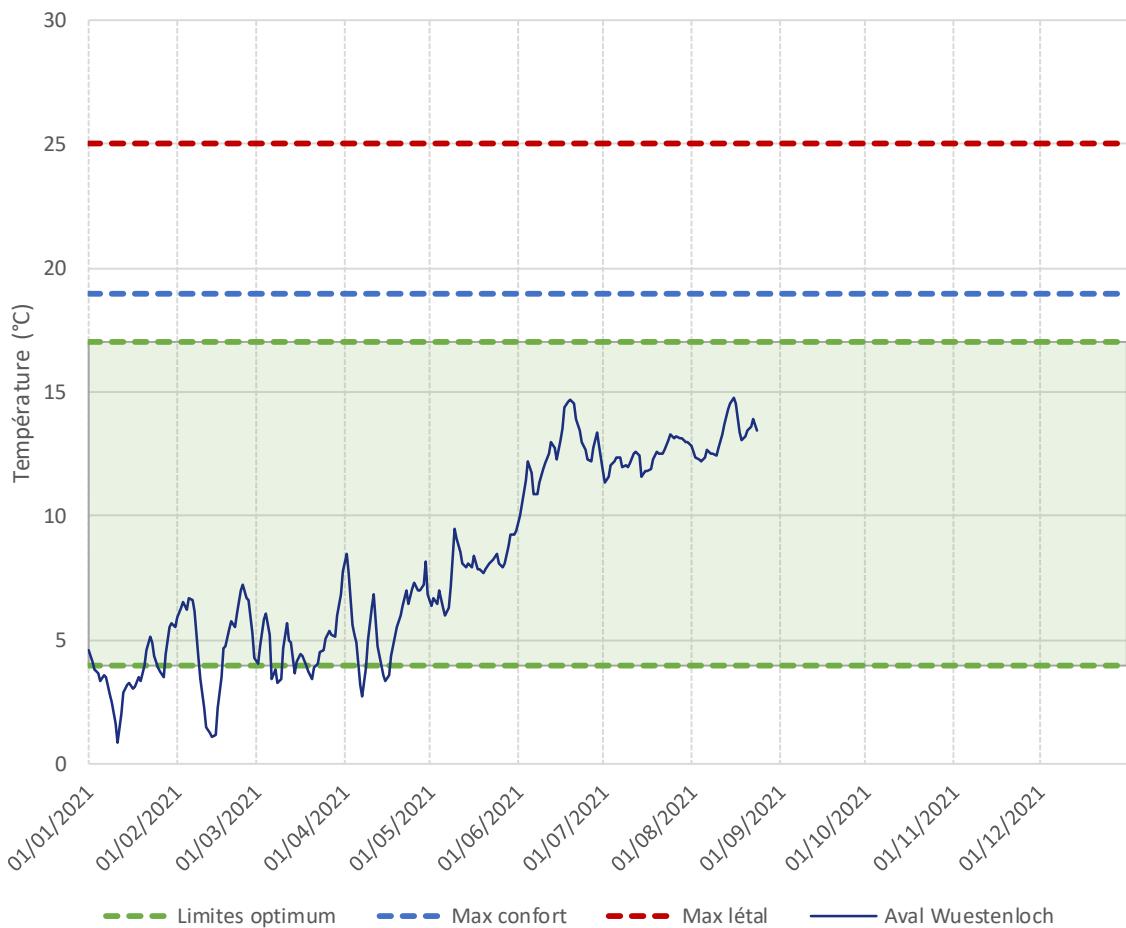
Les fiches station produites sont listées de l'amont vers l'aval dans l'ordre des bassins versant suivant (les stations lacunaires en données ont été écartées) :

- Liepvrette
- Weiss
- Fecht
- Lauch
- Thur
- Doller
- Largue
- III
- Vieux-Rhin

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

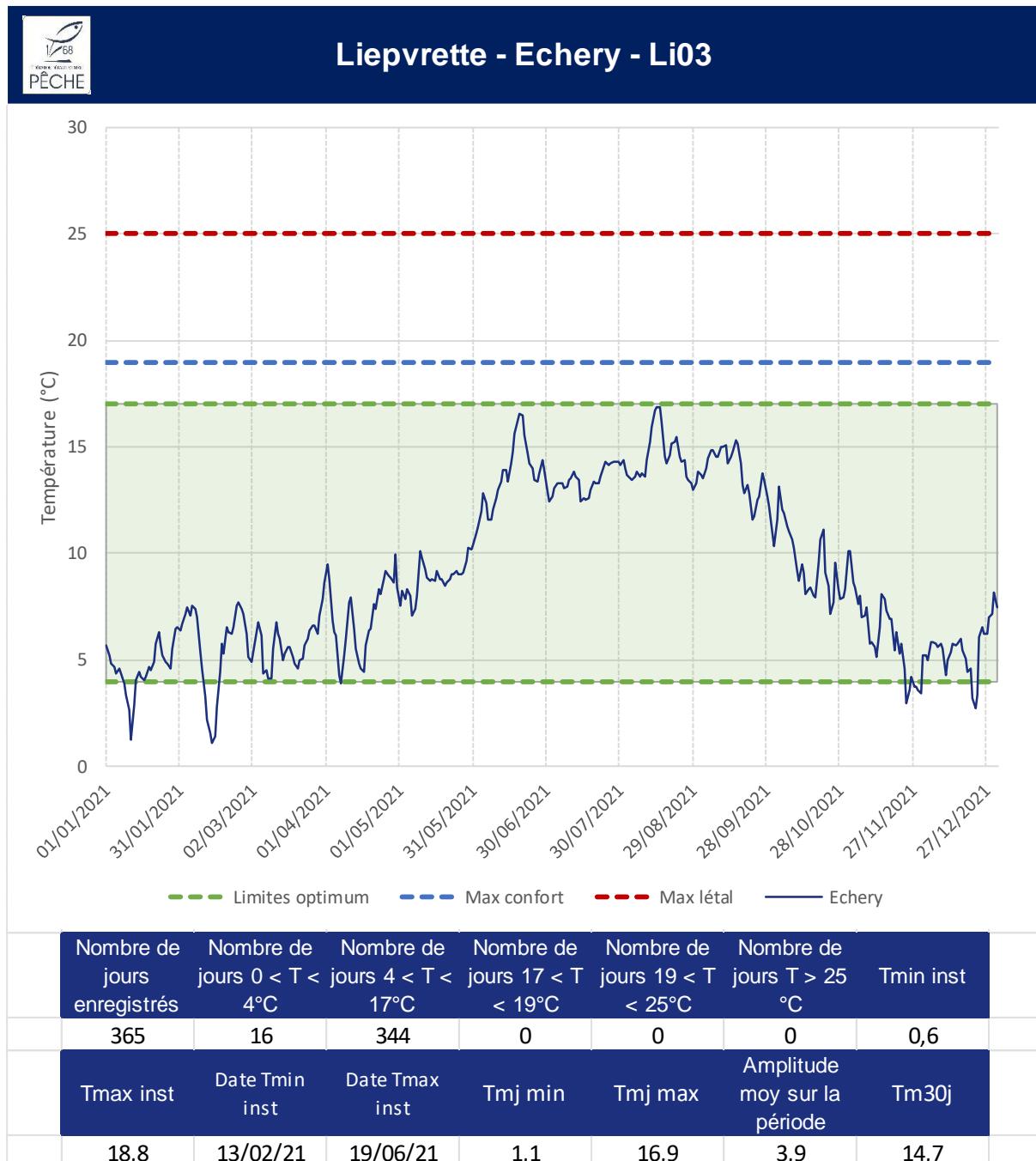


Liepvrette - Aval Wuestenloch - Li01

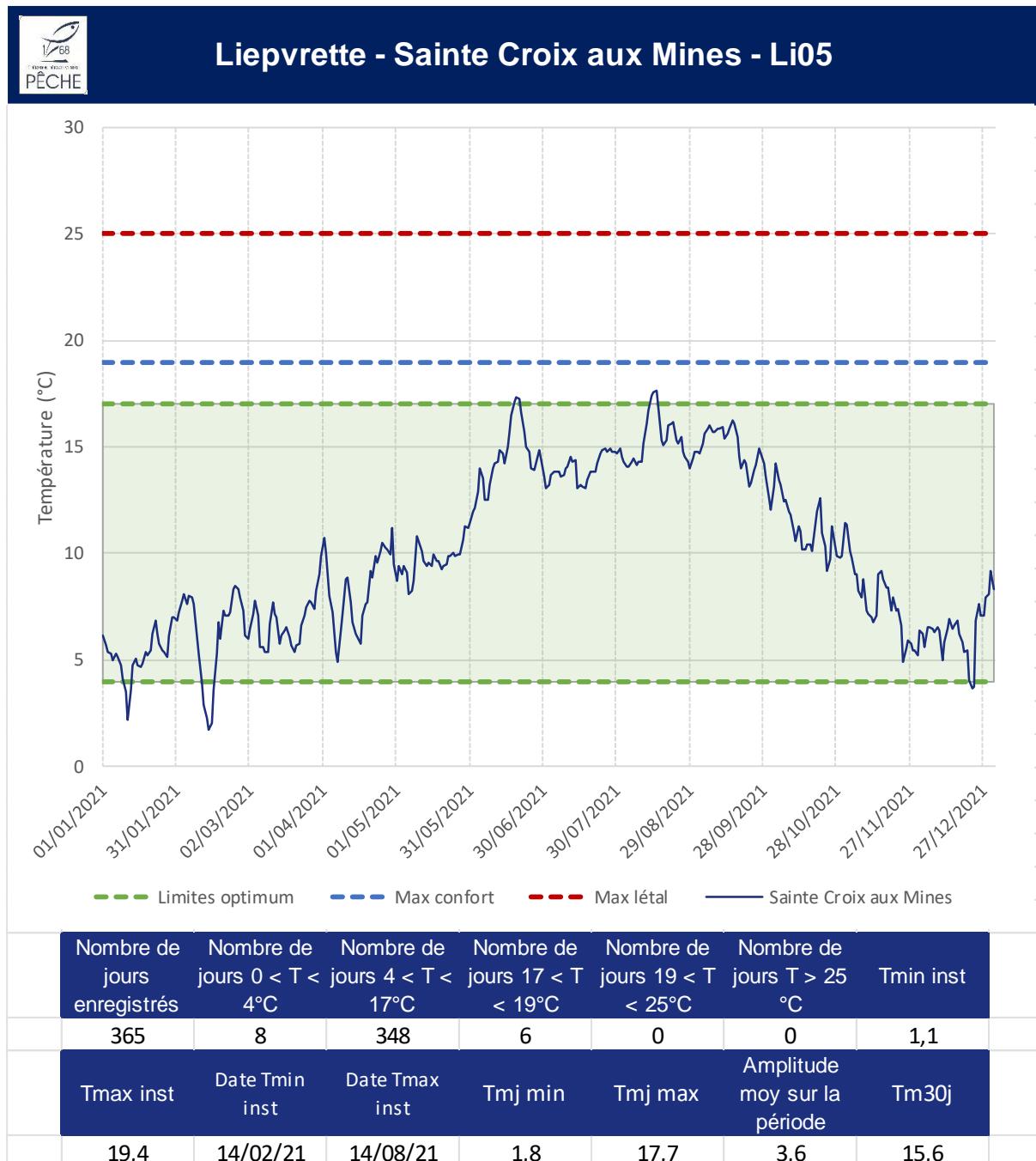


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
285	48	392	0	0	0	0,8
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
15,8	13/02/21	19/06/21	10,9	16,8	3,1	13,8

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



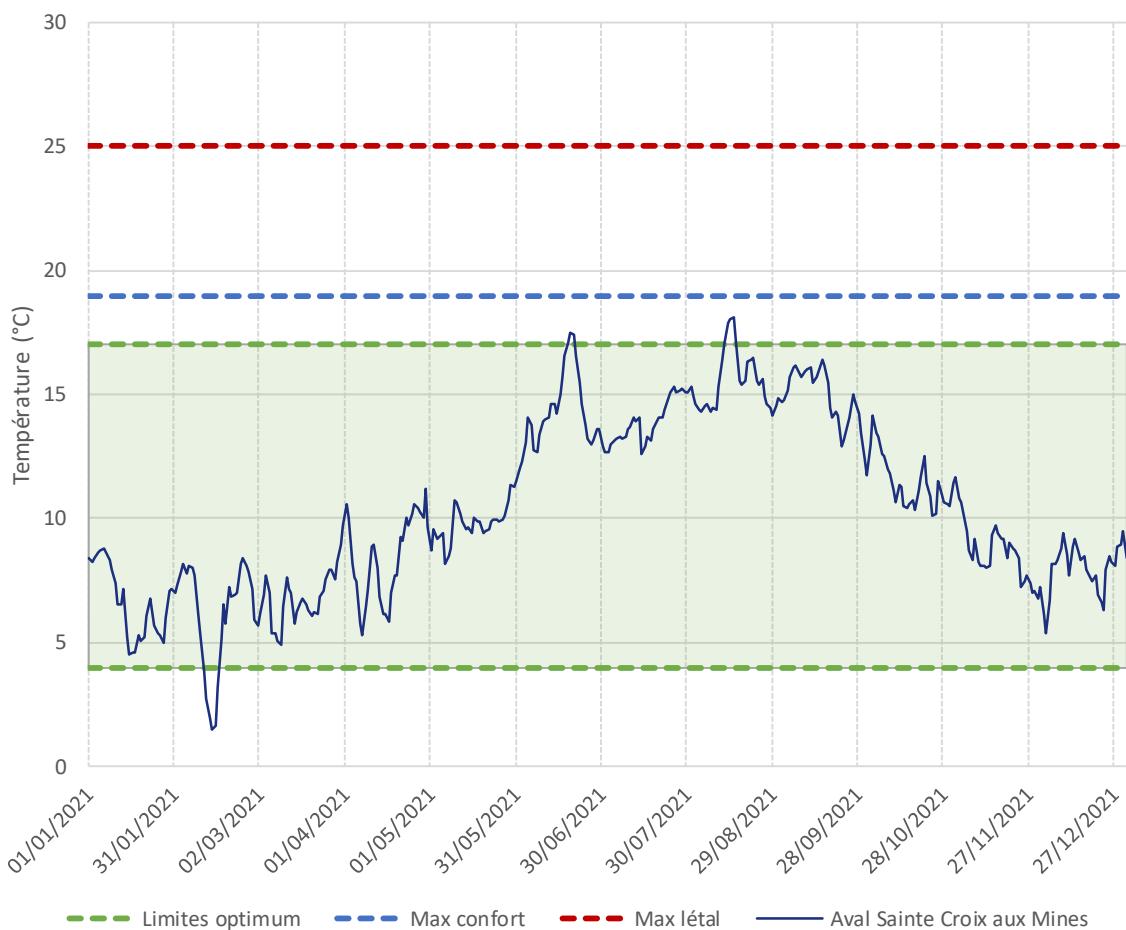
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

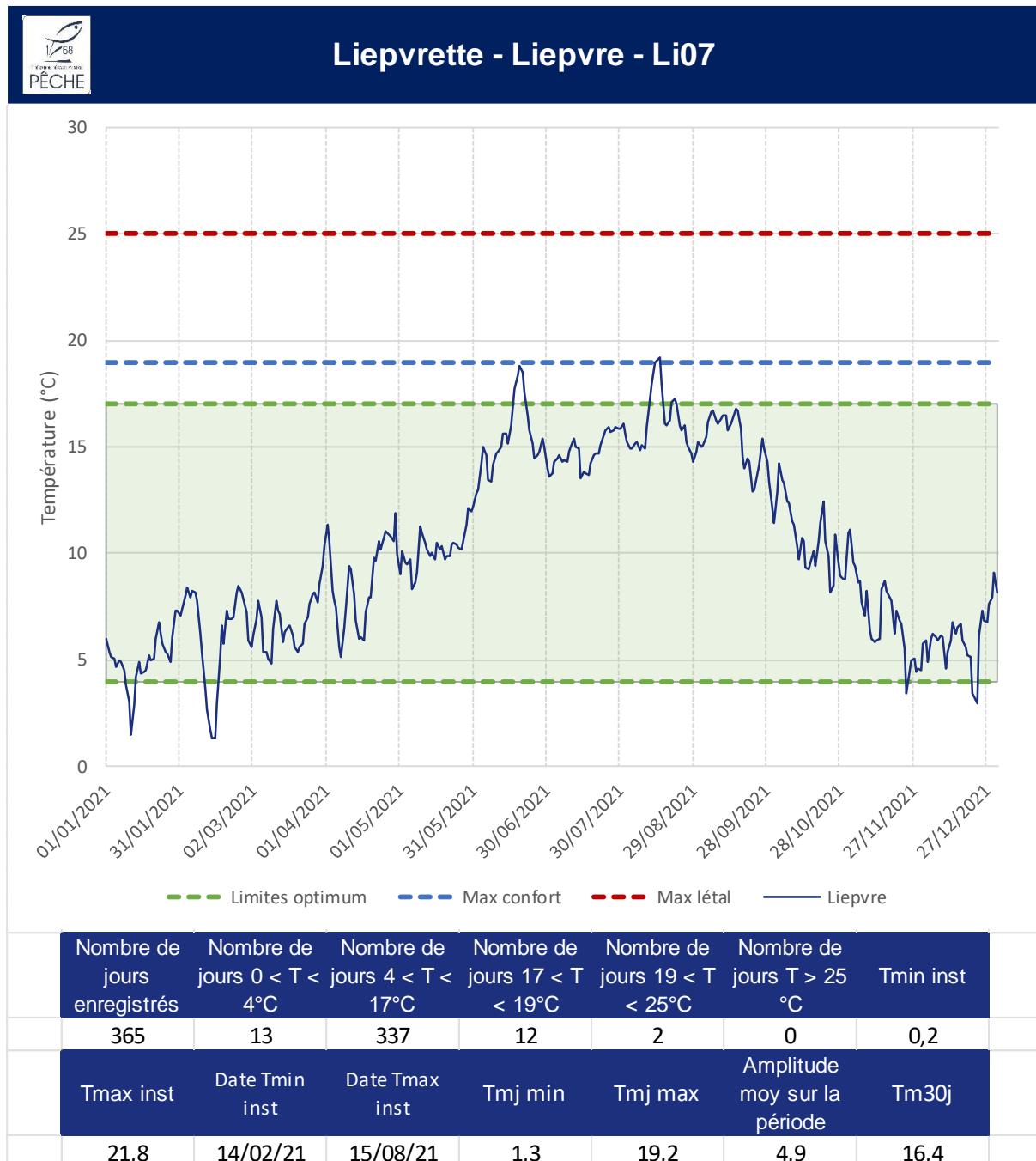


Liepvrette - Aval Sainte Croix aux Mines - Li06



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	0	351	8	0	0	0,7
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
19,9	14/02/21	14/08/21	1,5	18,1	4,0	15,8

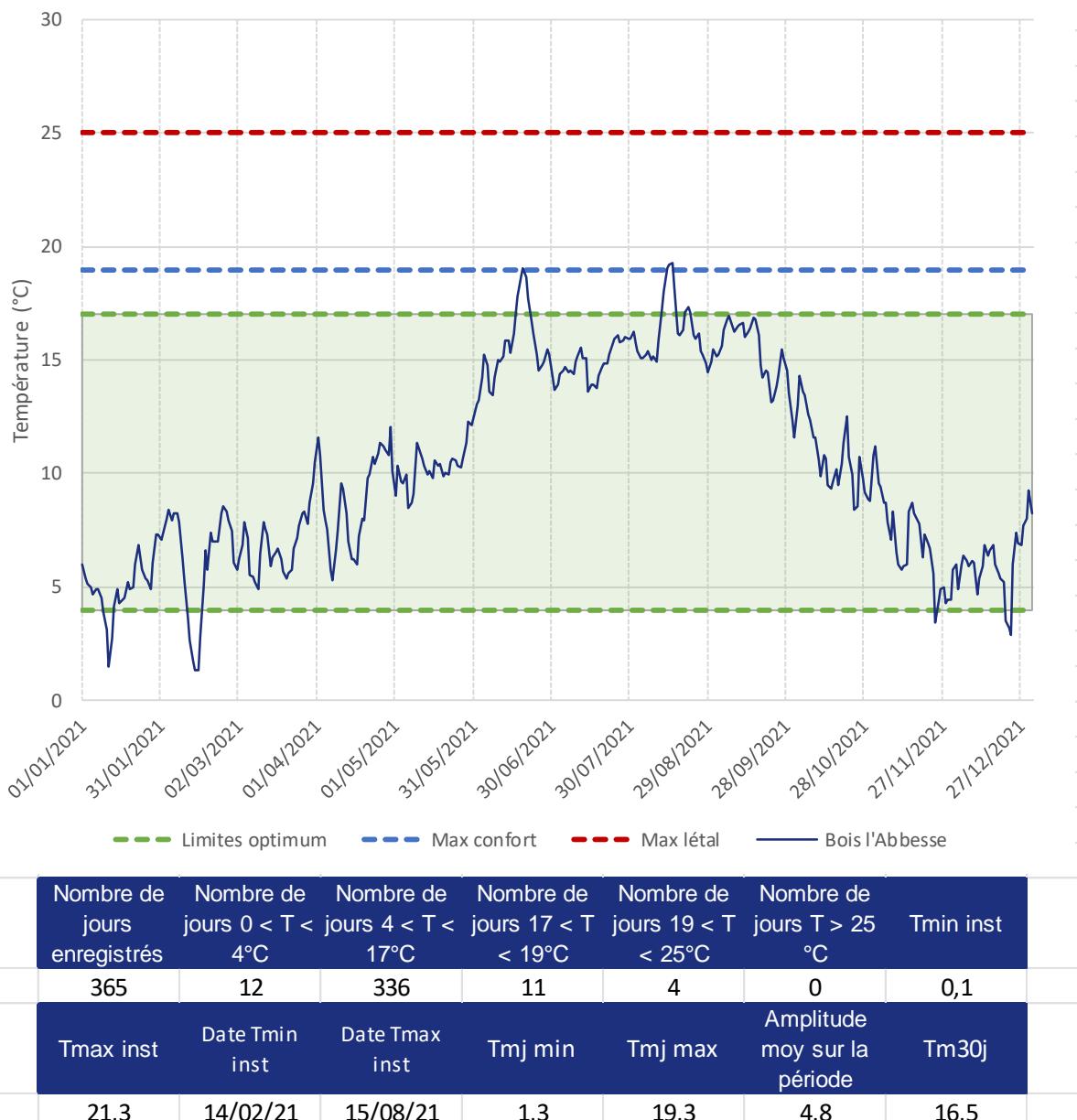
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



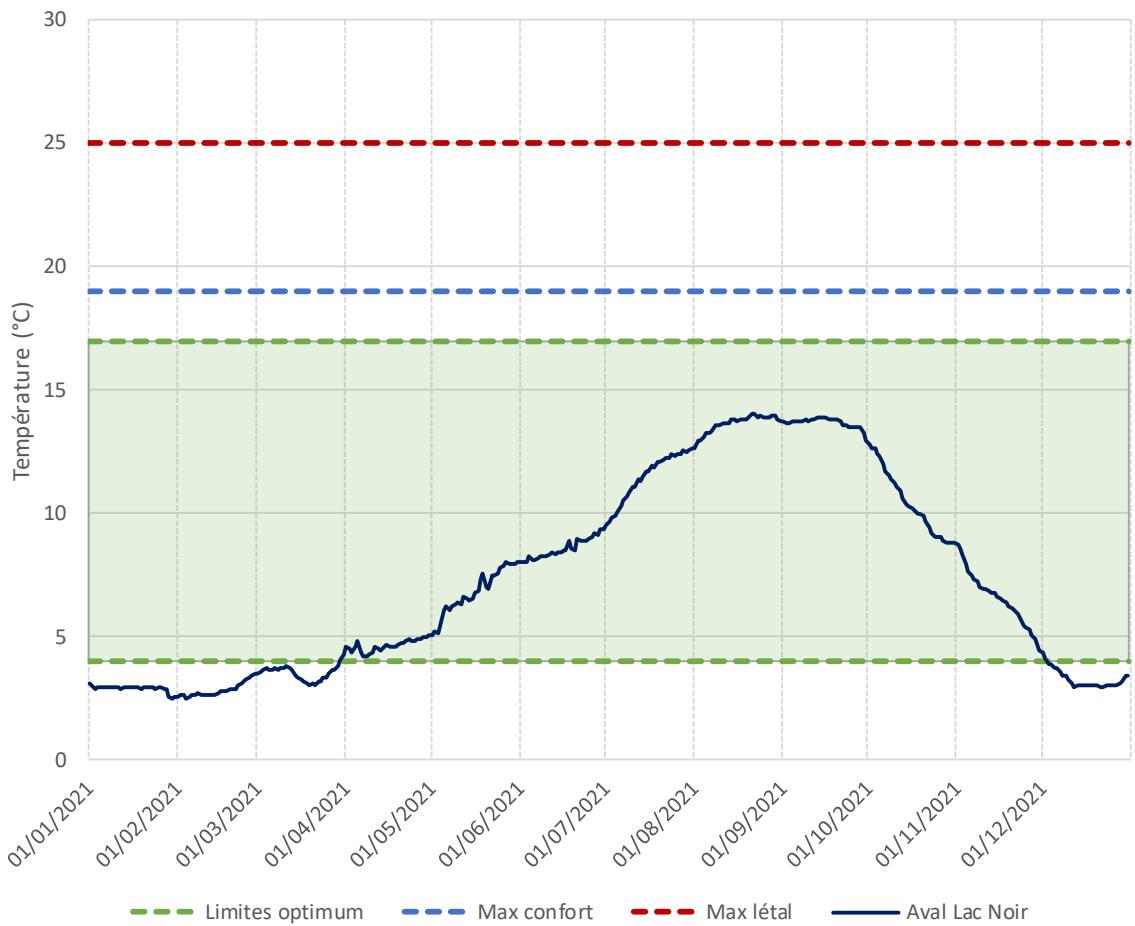
Liepvrette - Bois l'Abesse - Li08



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

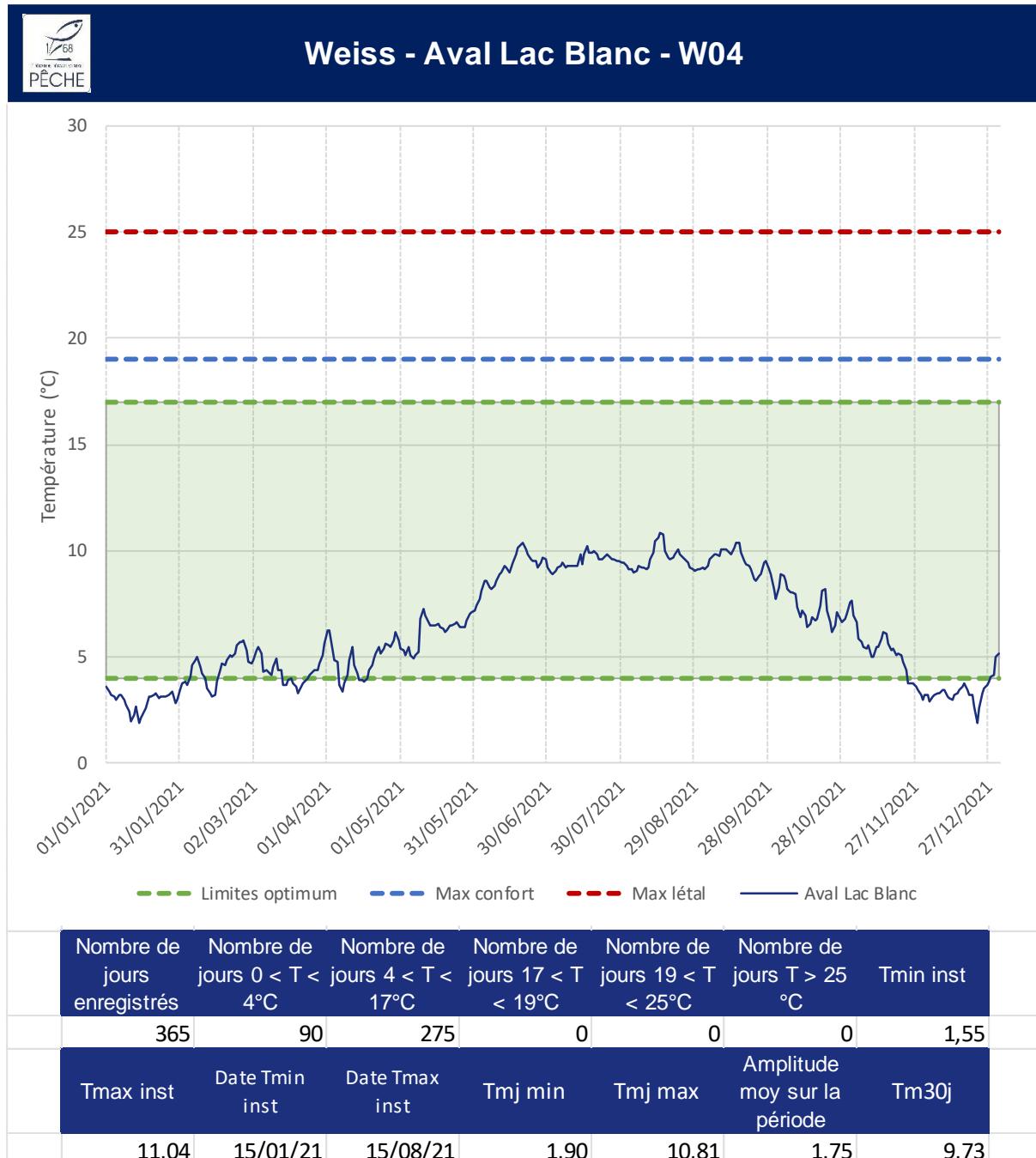


Weiss - Aval Lac Noir - W01



	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	117	248	0	0	0	2,20
	Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
	14,42	07/03/20	21/08/21	2,45	14,04	0,40	13,84

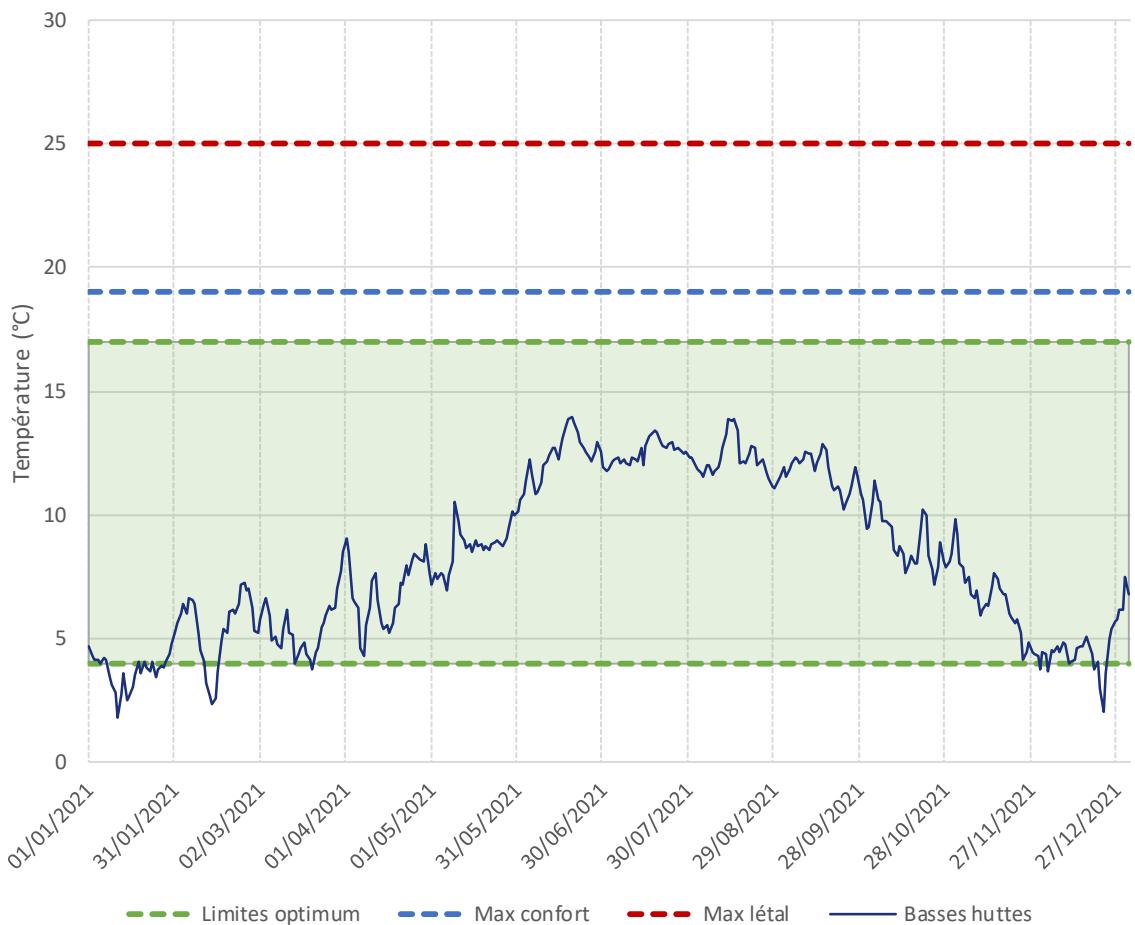
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

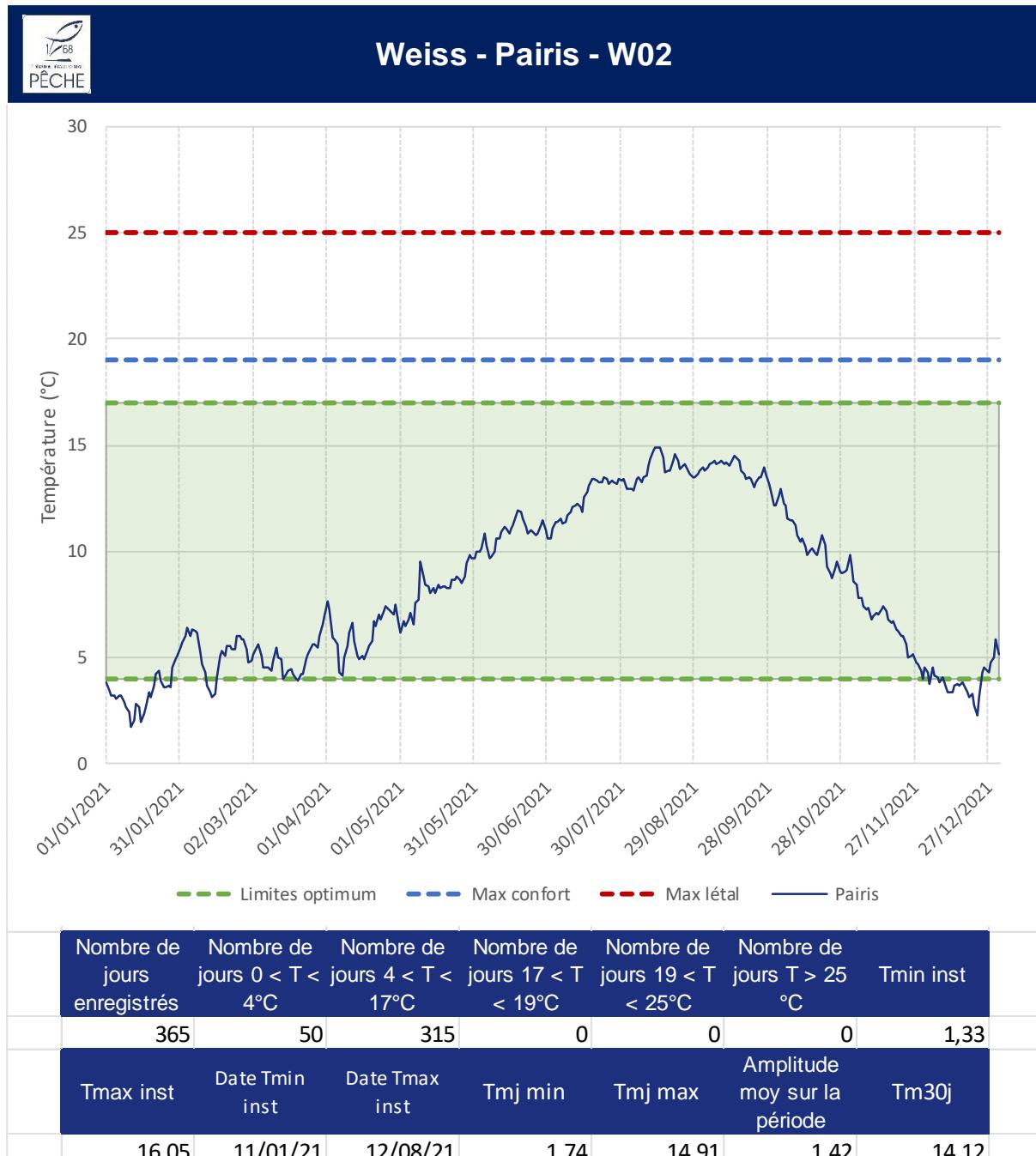


Weiss - Basses huttes - W06



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	32	333	0	0	0	0	1,11
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
15,86	11/01/21	19/06/21	1,77	13,99	2,38	12,61	

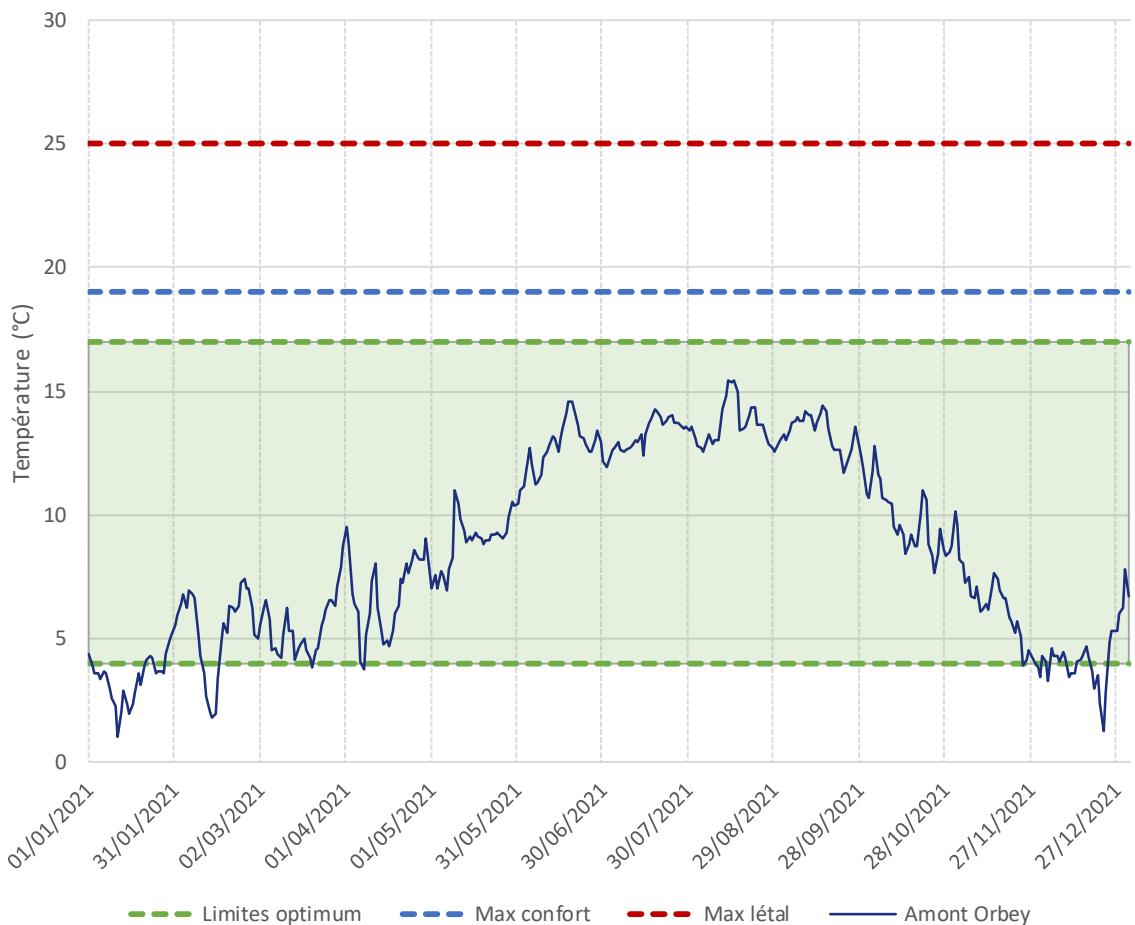
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Weiss - Amont Orbey - W03

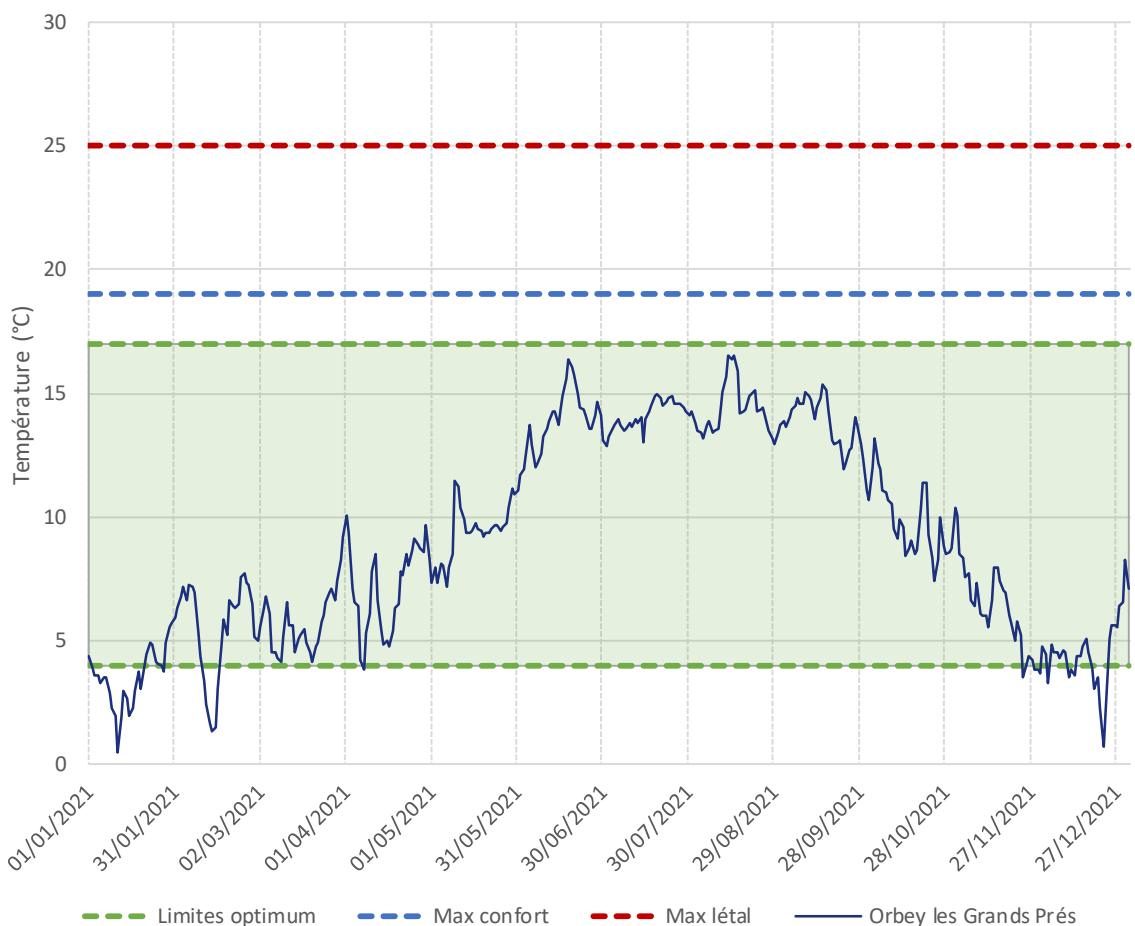


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	44	321	0	0	0	0	0,67
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
16,62	11/01/21	13/08/21	1,03	15,46	2,92	13,81	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Weiss - Orbey les Grands Prés - W05

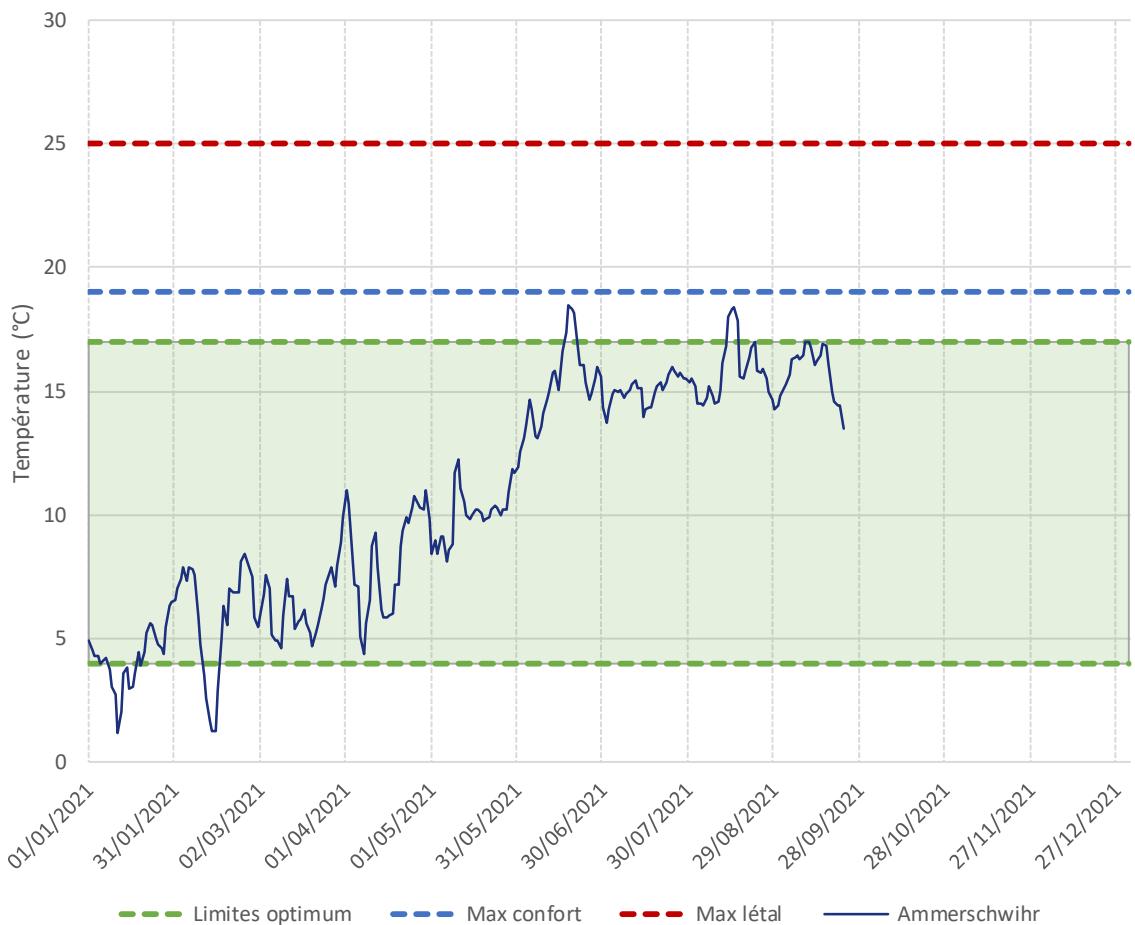


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	41	324	0	0	0	0,01
	Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
	20,52	11/01/21	18/06/21	0,51	16,54	3,61	14,56

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

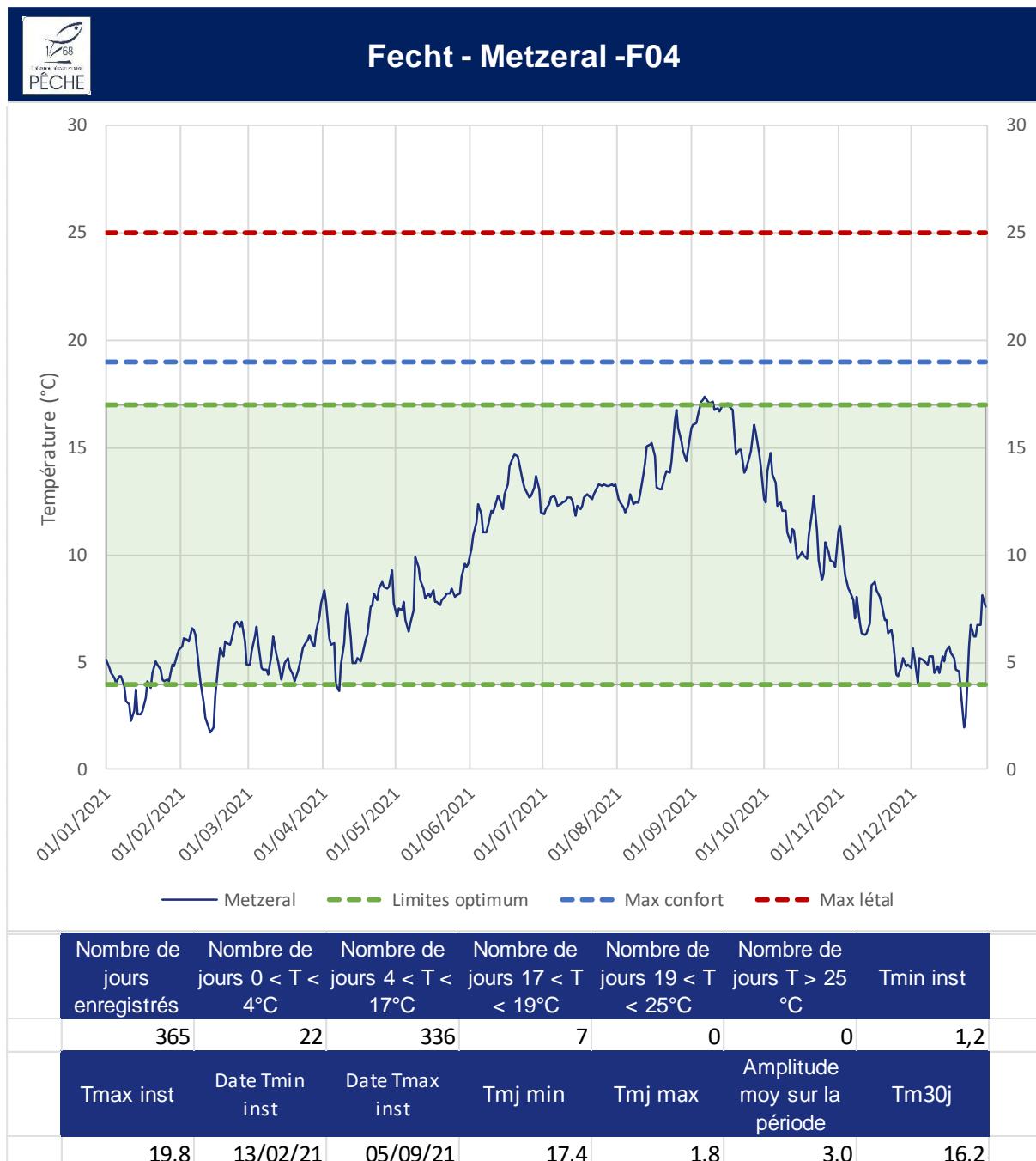


Weiss - Ammerschwihr - W10

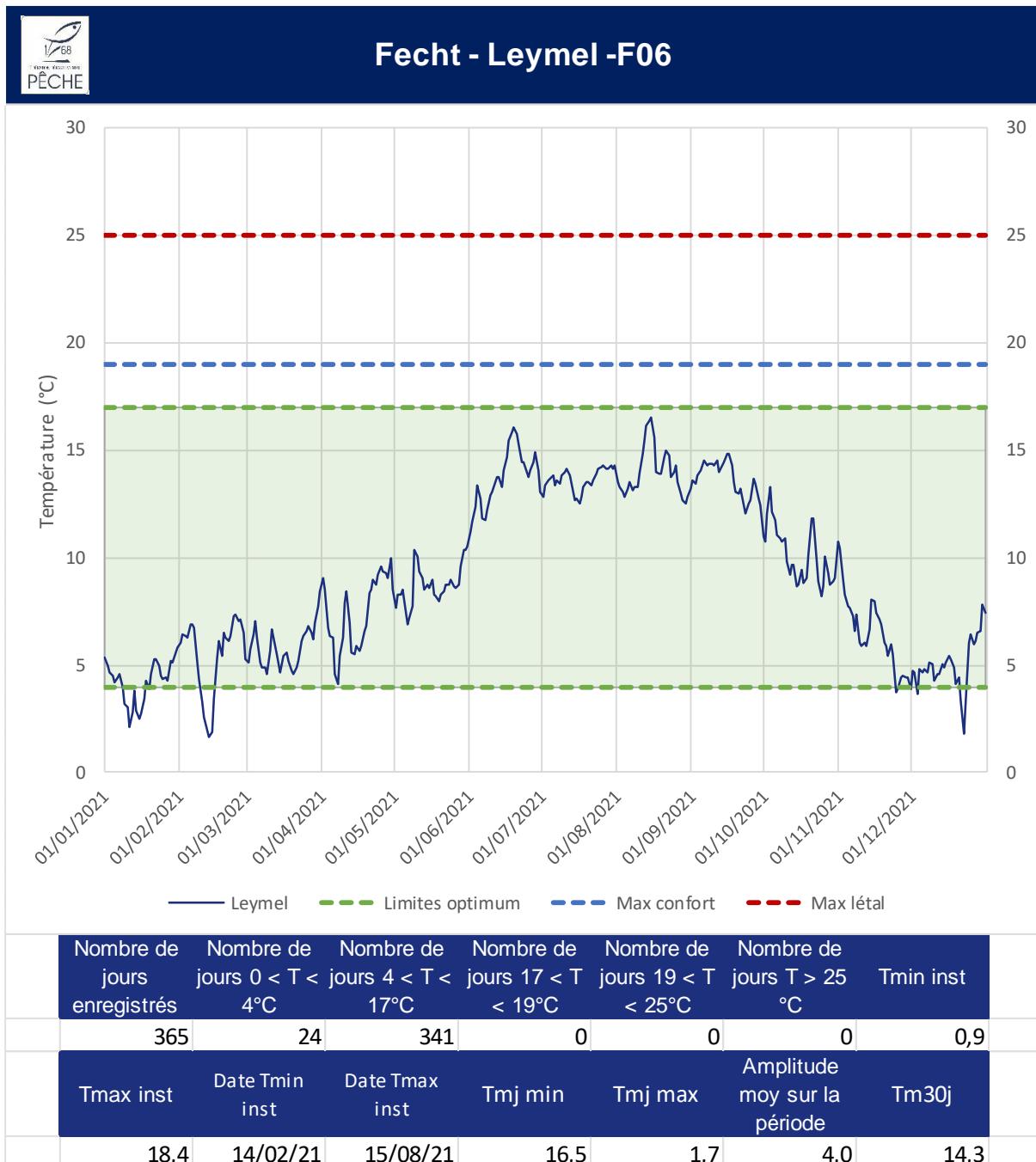


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
265	18	237	10	0	0	0,23	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
21,00	14/02/21	18/06/21	1,16	18,48	4,12	16,15	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



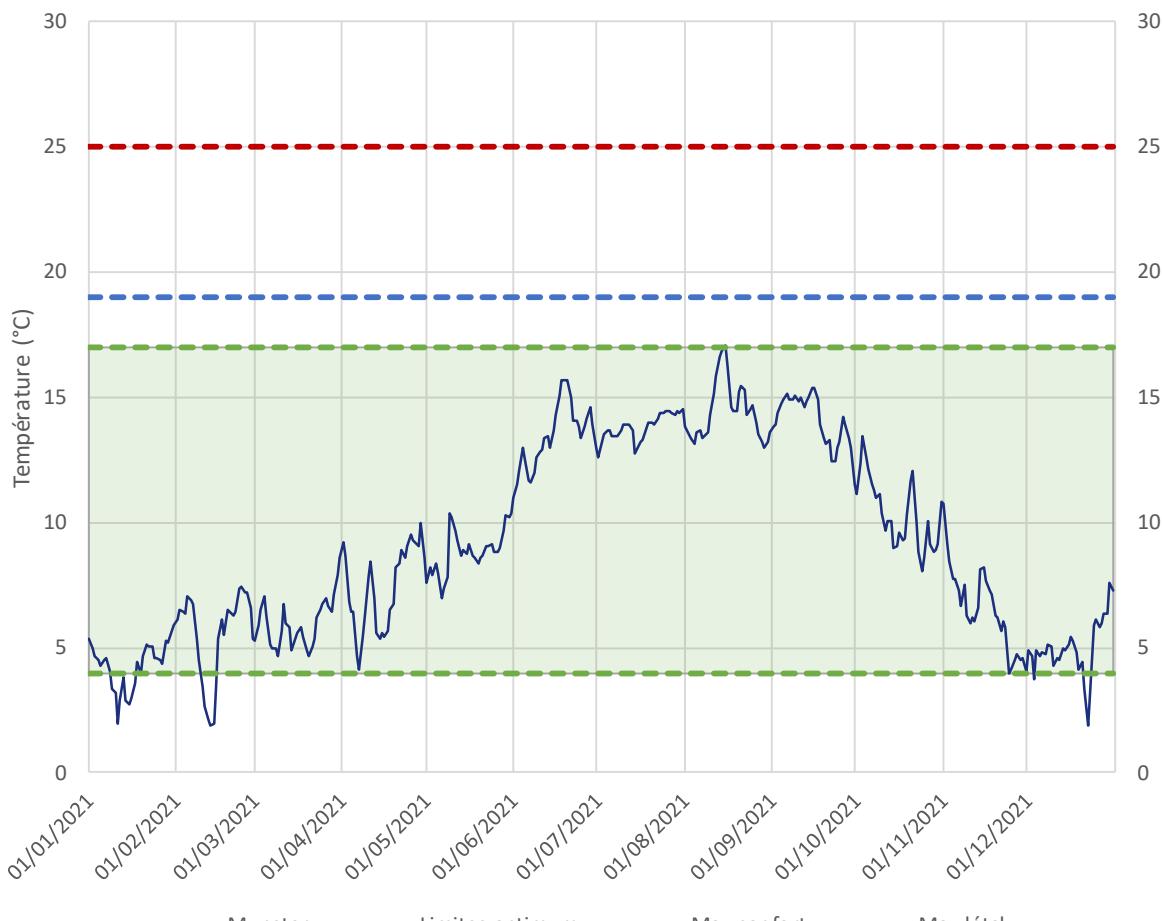
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Fecht - Munster -F07

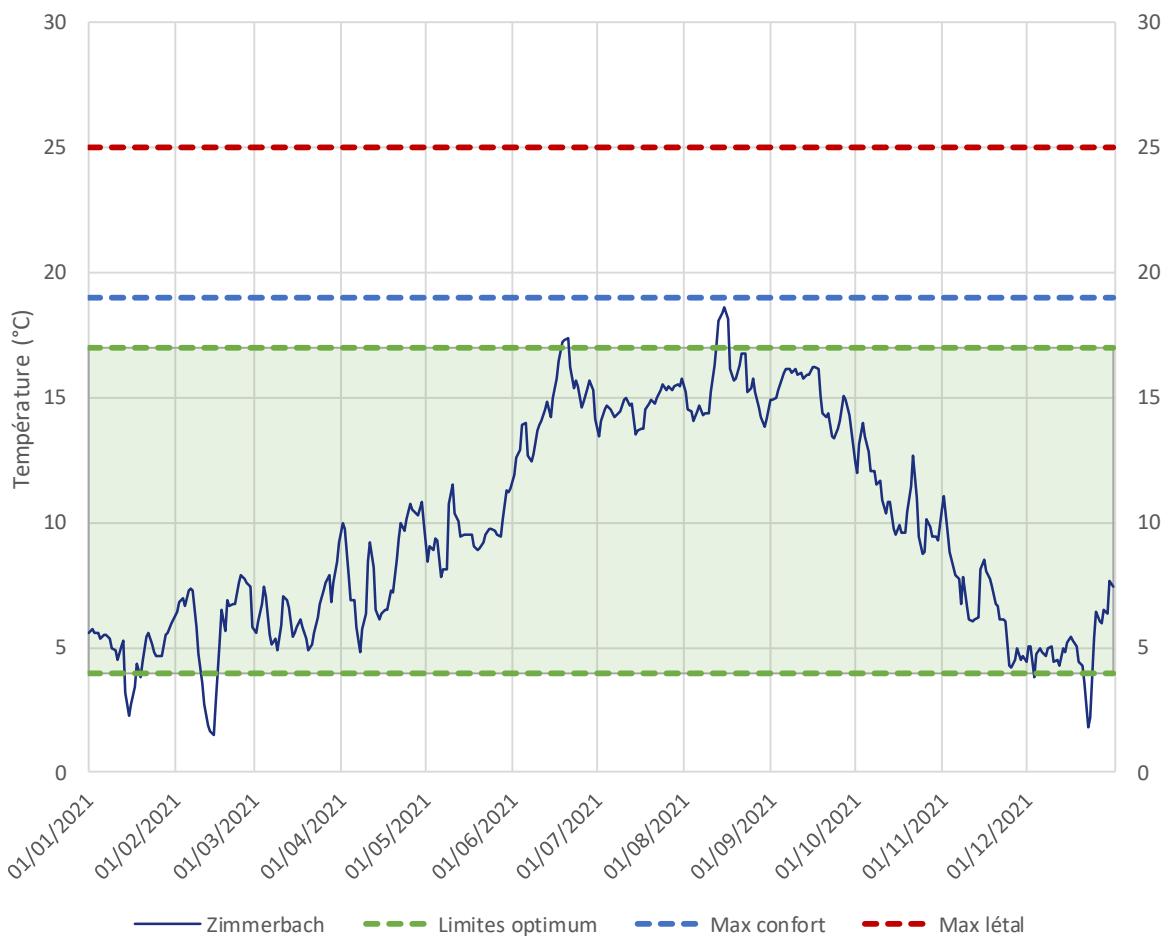


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	21	343	1	0	0	1,0
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
18,7	14/02/21	15/08/21	17,1	1,9	4,1	14,8	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

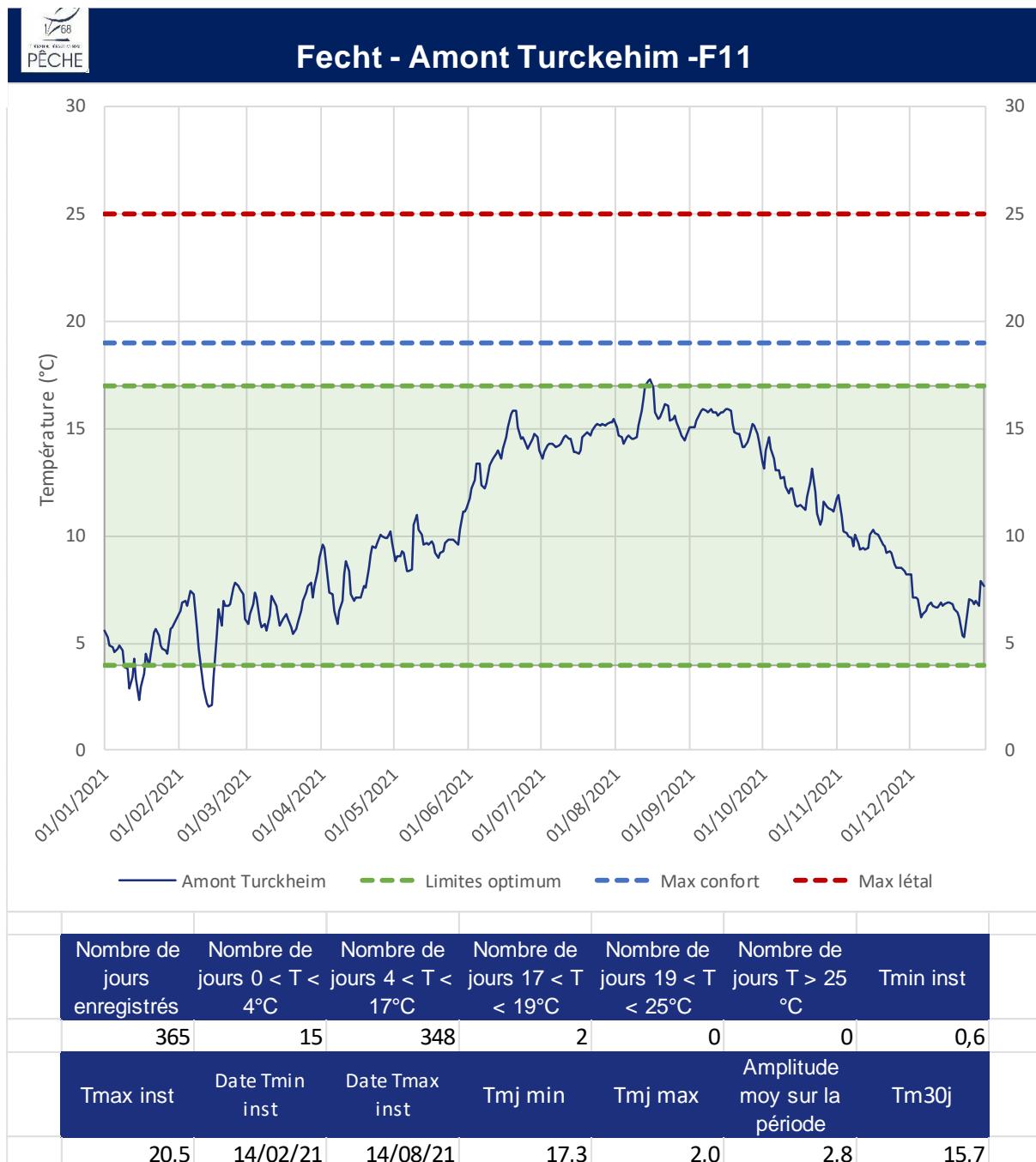


Fecht - Zimmerbach -F11

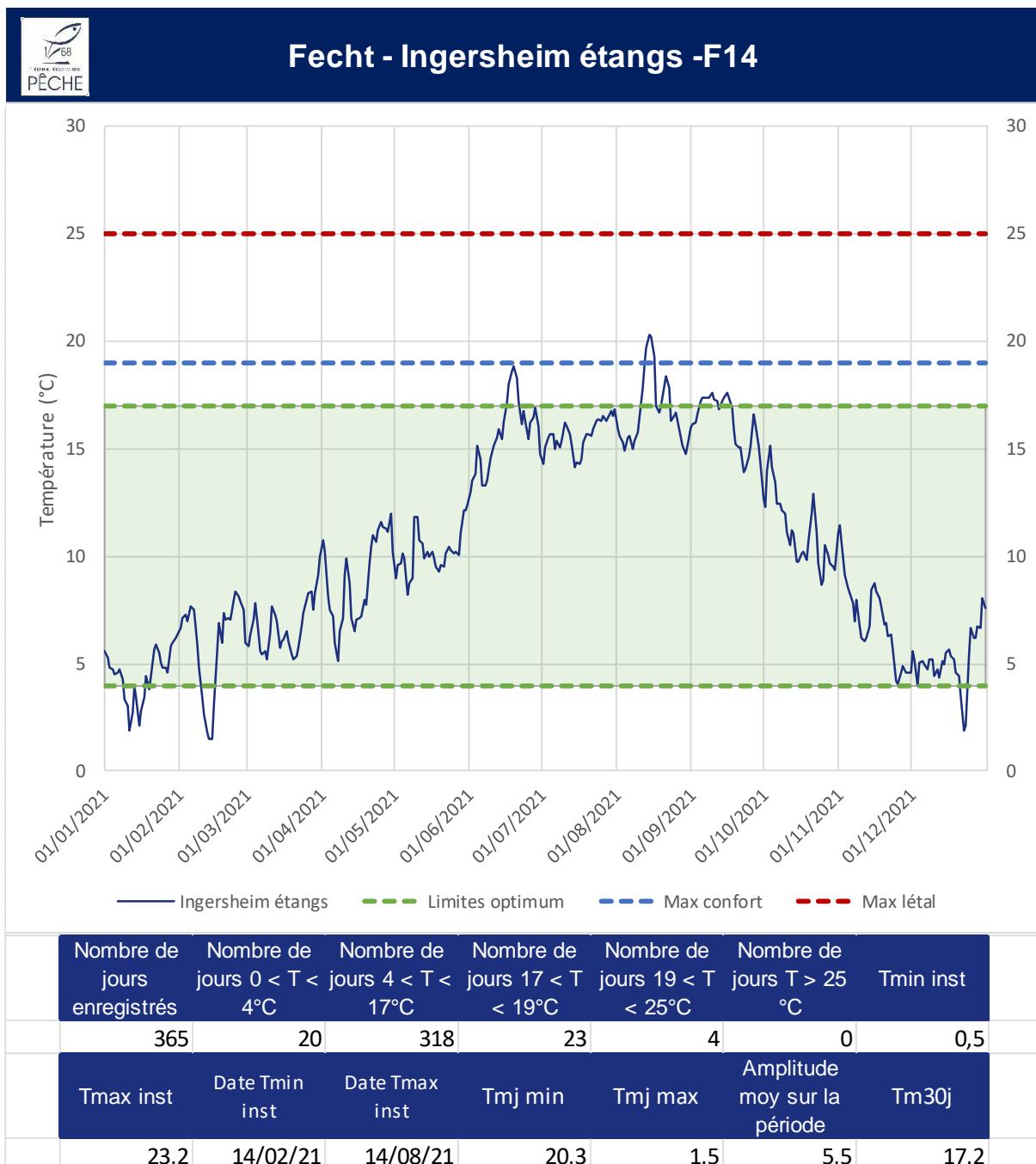


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	15	342	8	0	0	0,6
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
20,5	14/02/21	14/08/21	18,6	1,5	4,8	16,0	

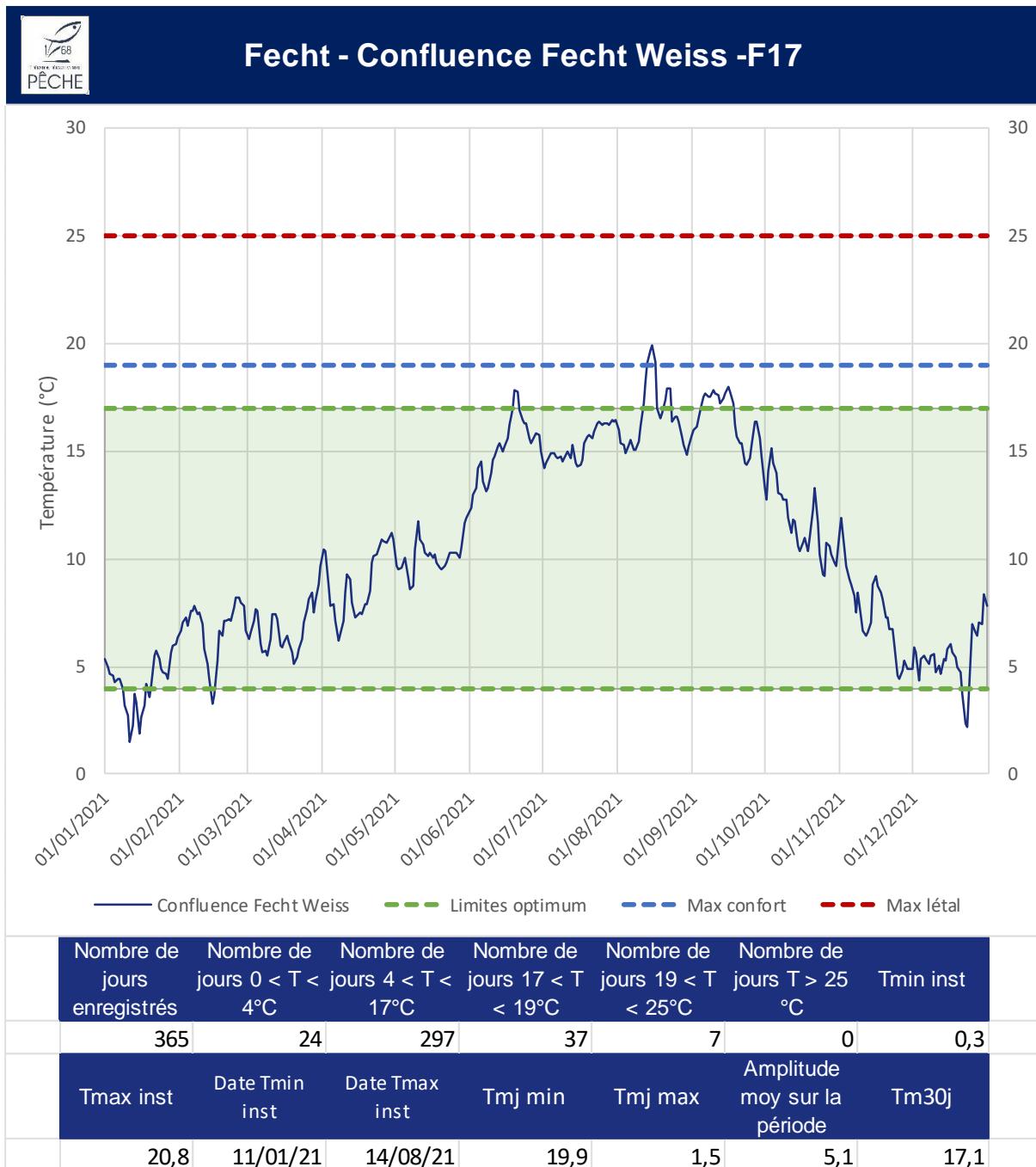
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



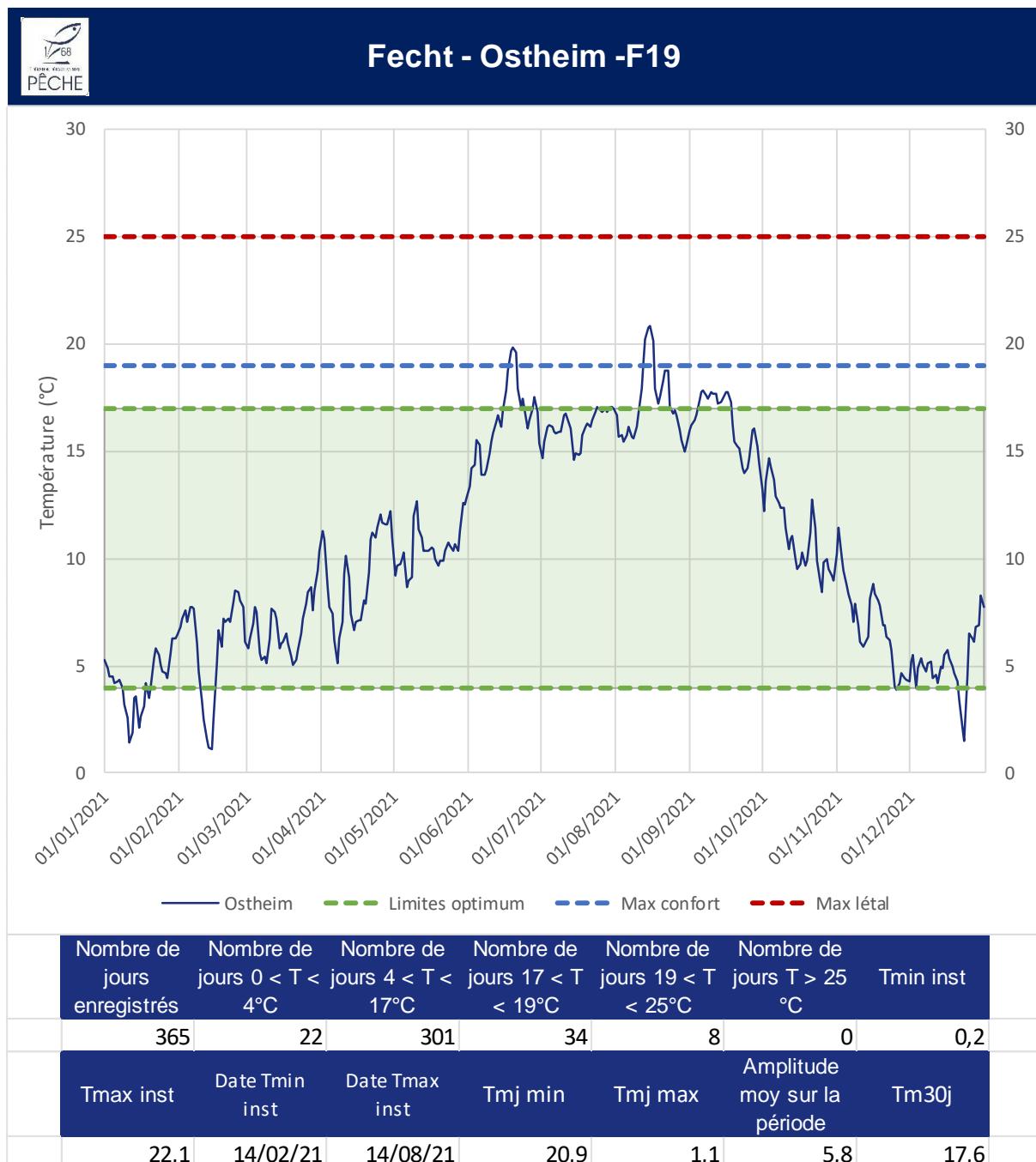
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



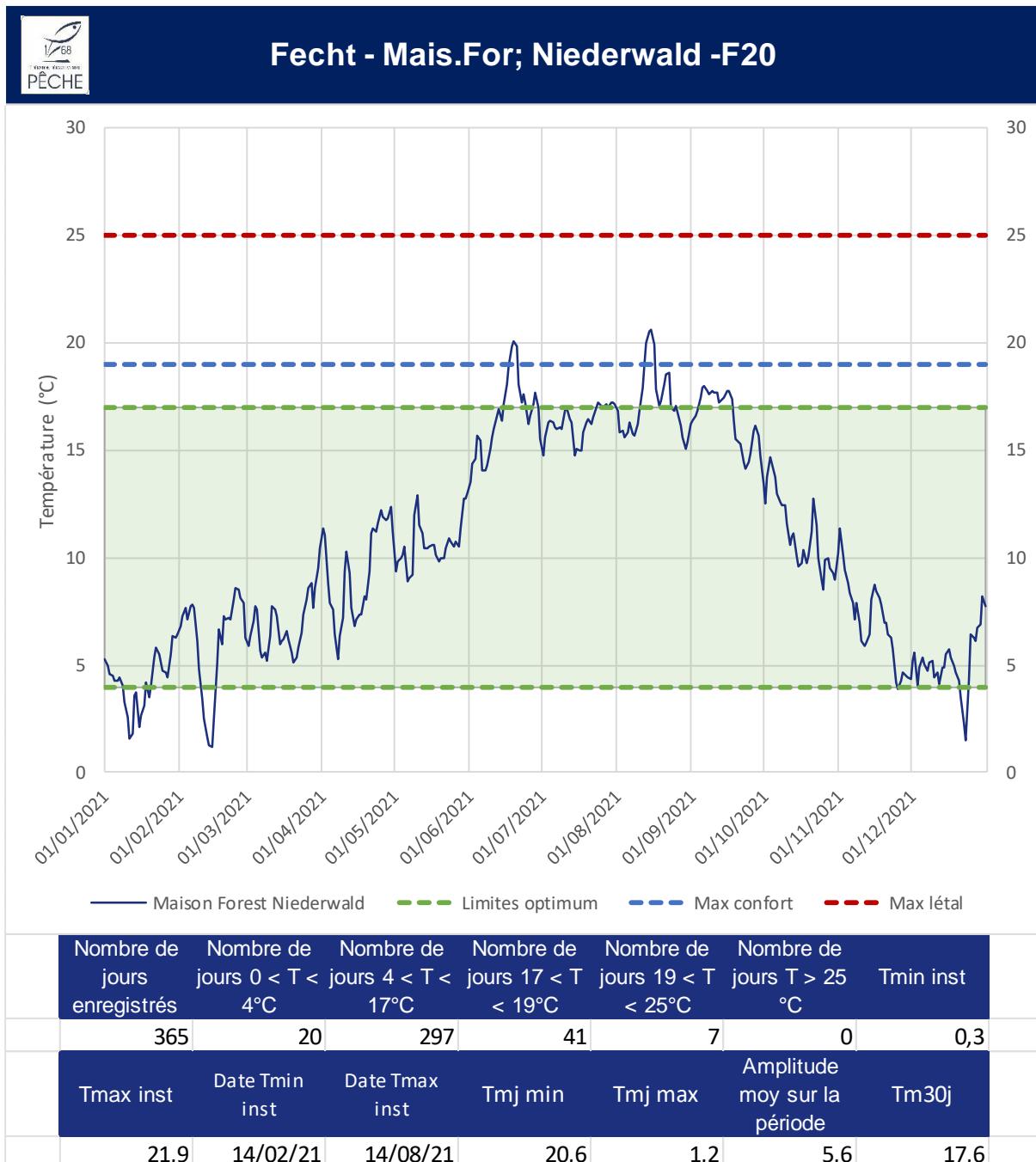
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



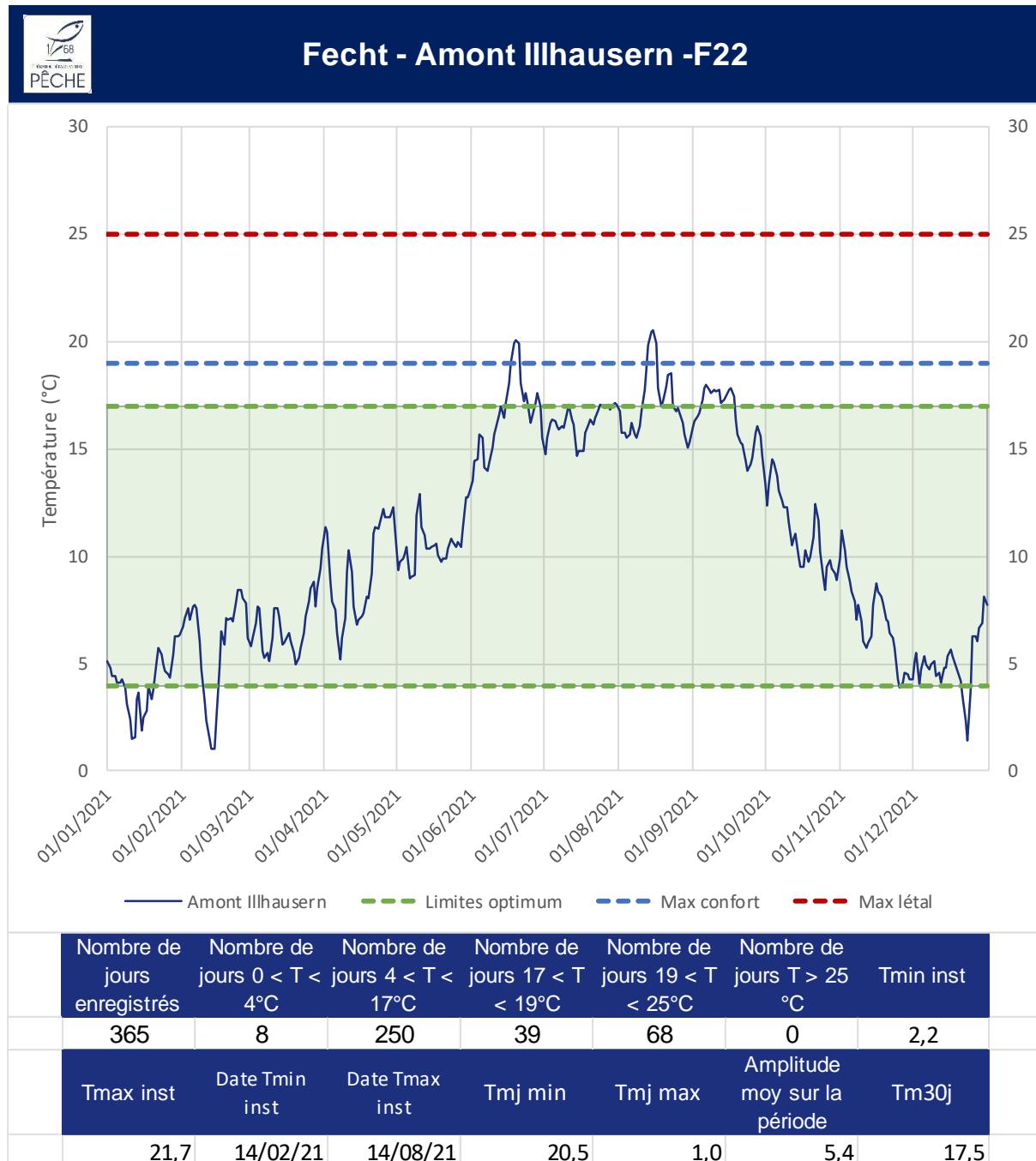
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



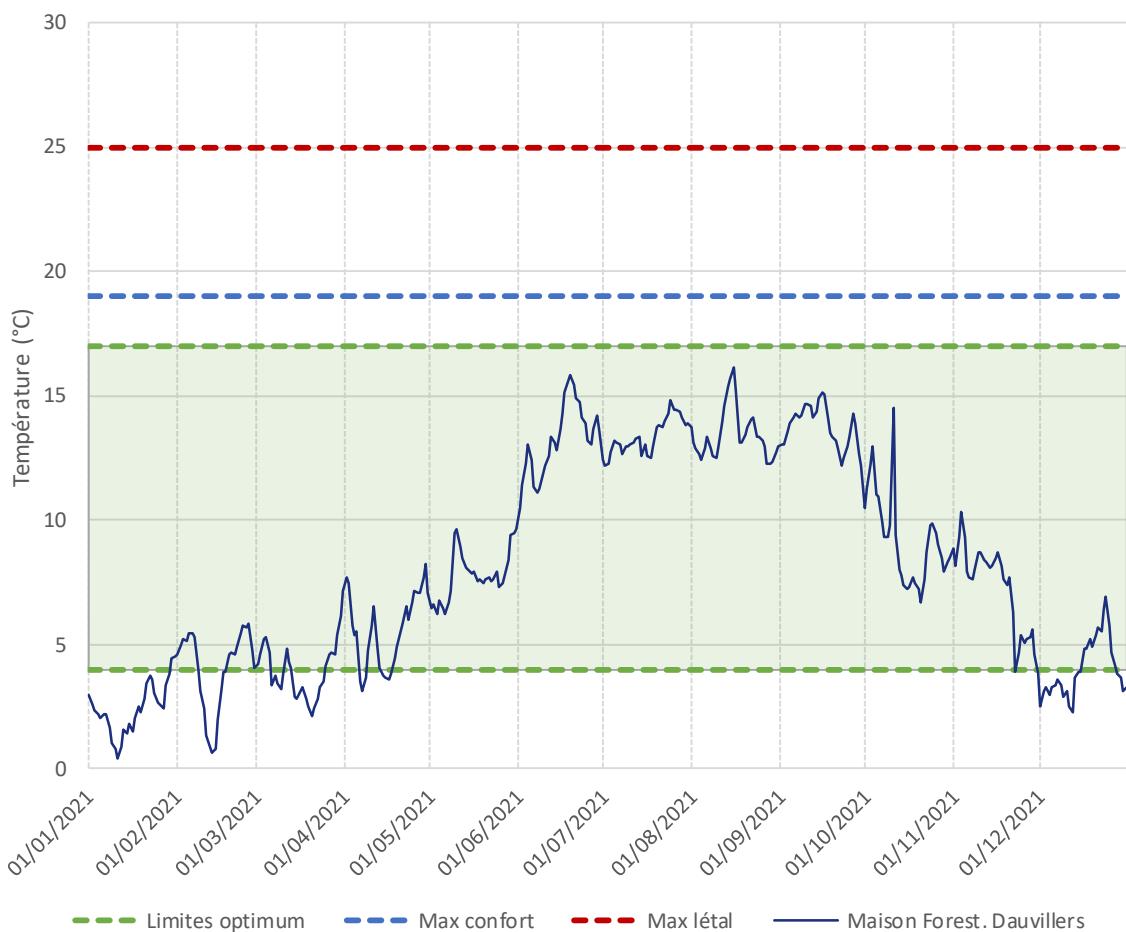
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Lauch - Mais. Fores.Dauviller - L01

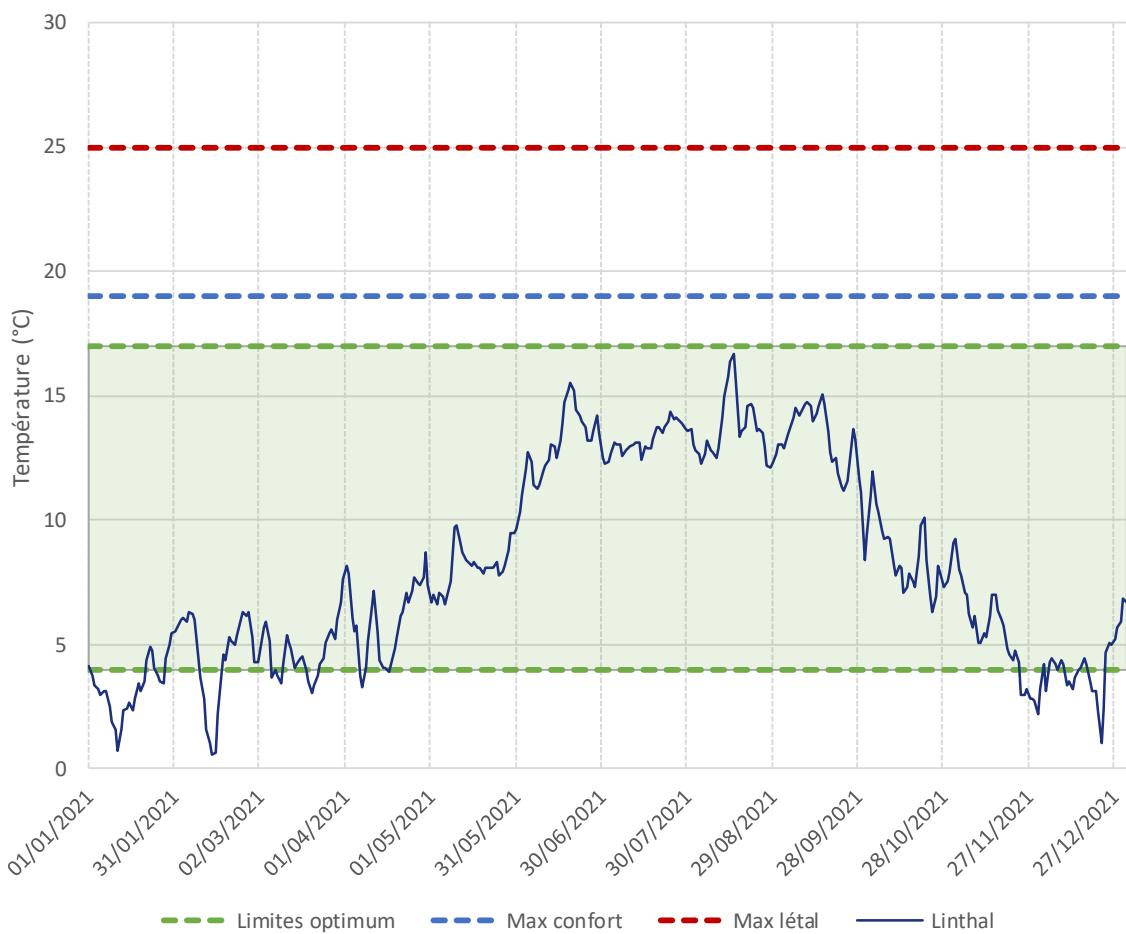


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Nombre de Tmin inst
365	84	281	0	0	0	0,1
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
17,9	11/01/21	01/10/21	0,4	16,2	3,7	13,9

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

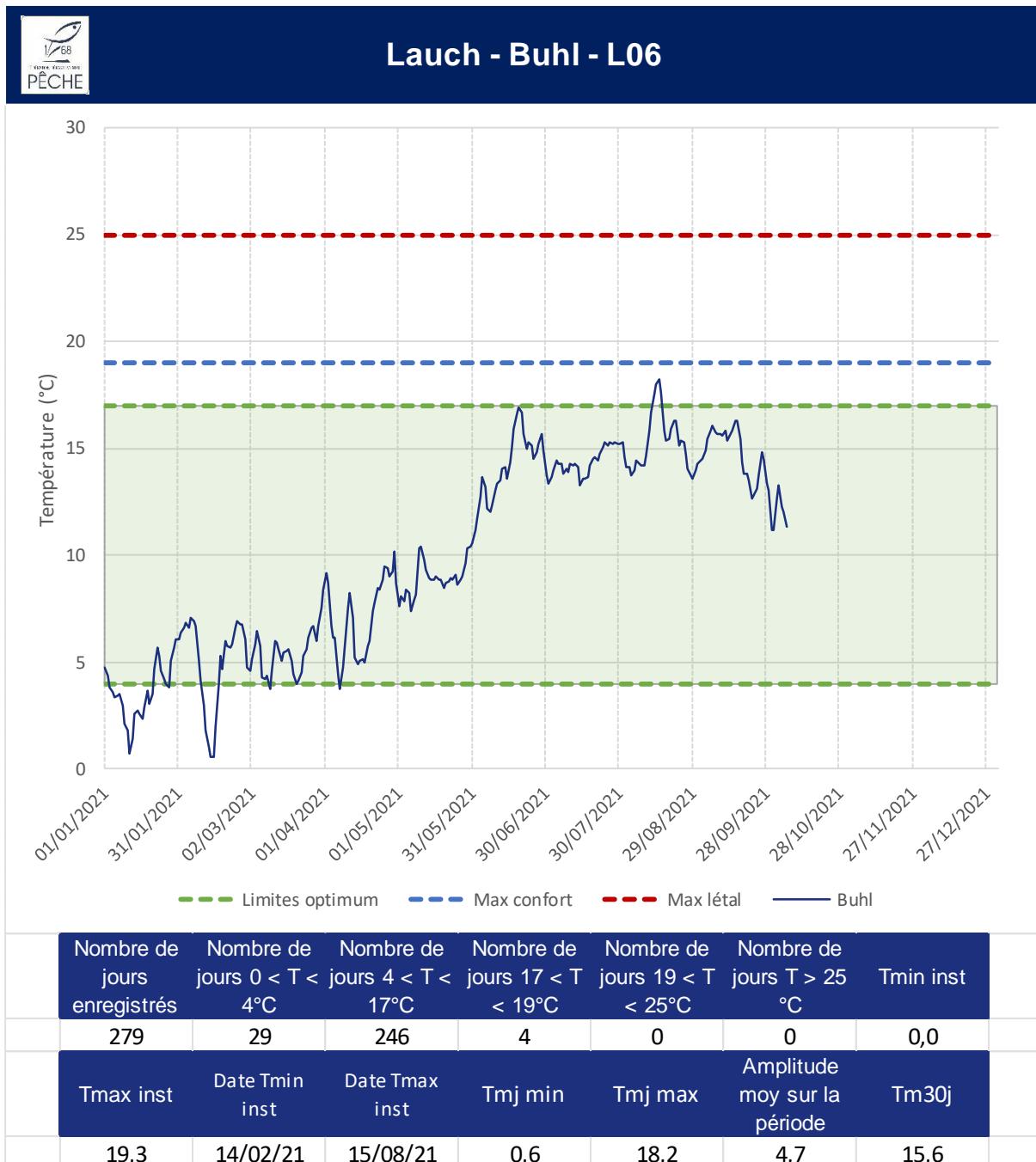


Lauch - Linthal - L03

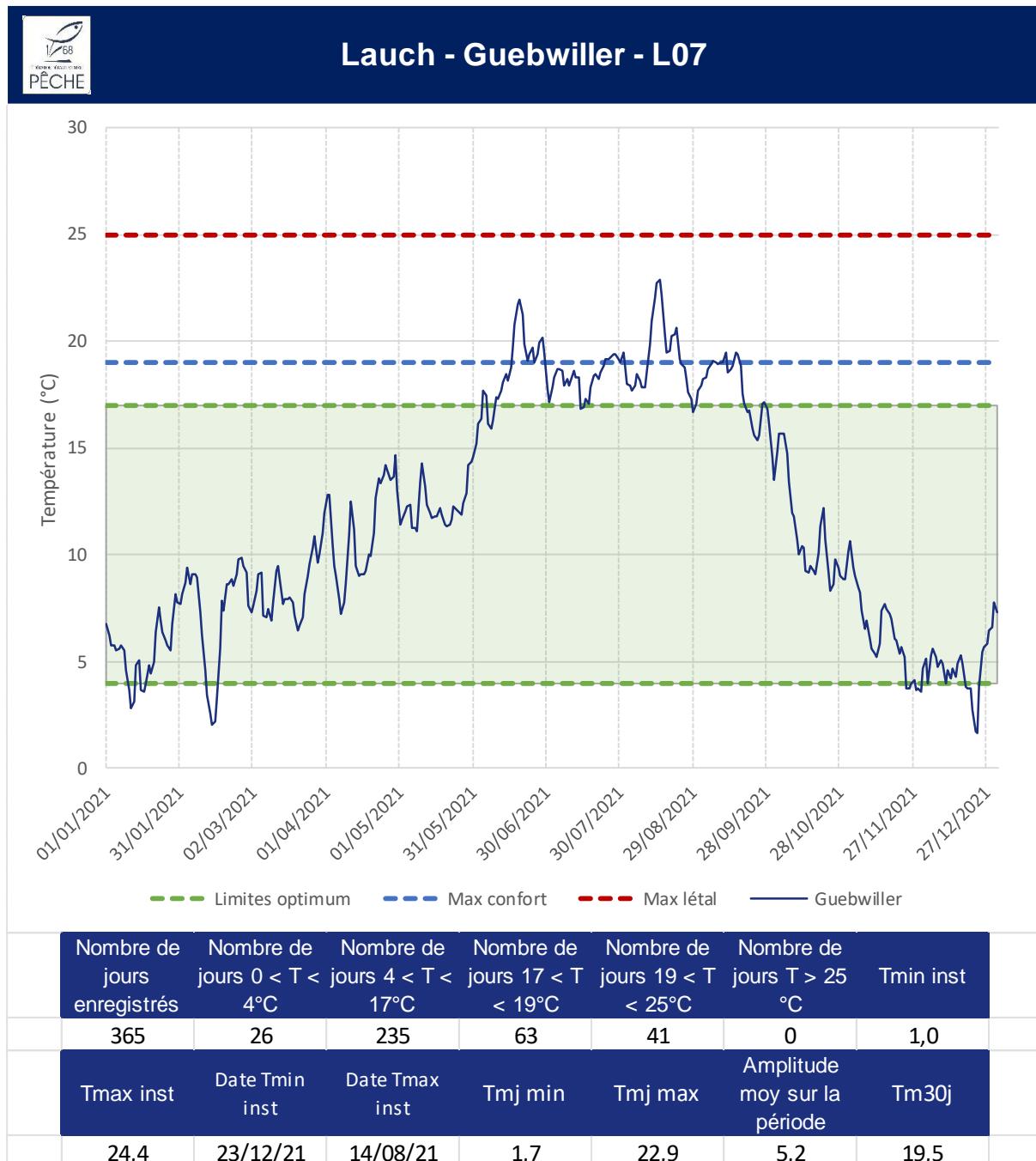


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	62	303	0	0	0	0,1
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période		Tm30j
18,7	14/02/21	14/08/21	0,6	16,7	4,6	14,0	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



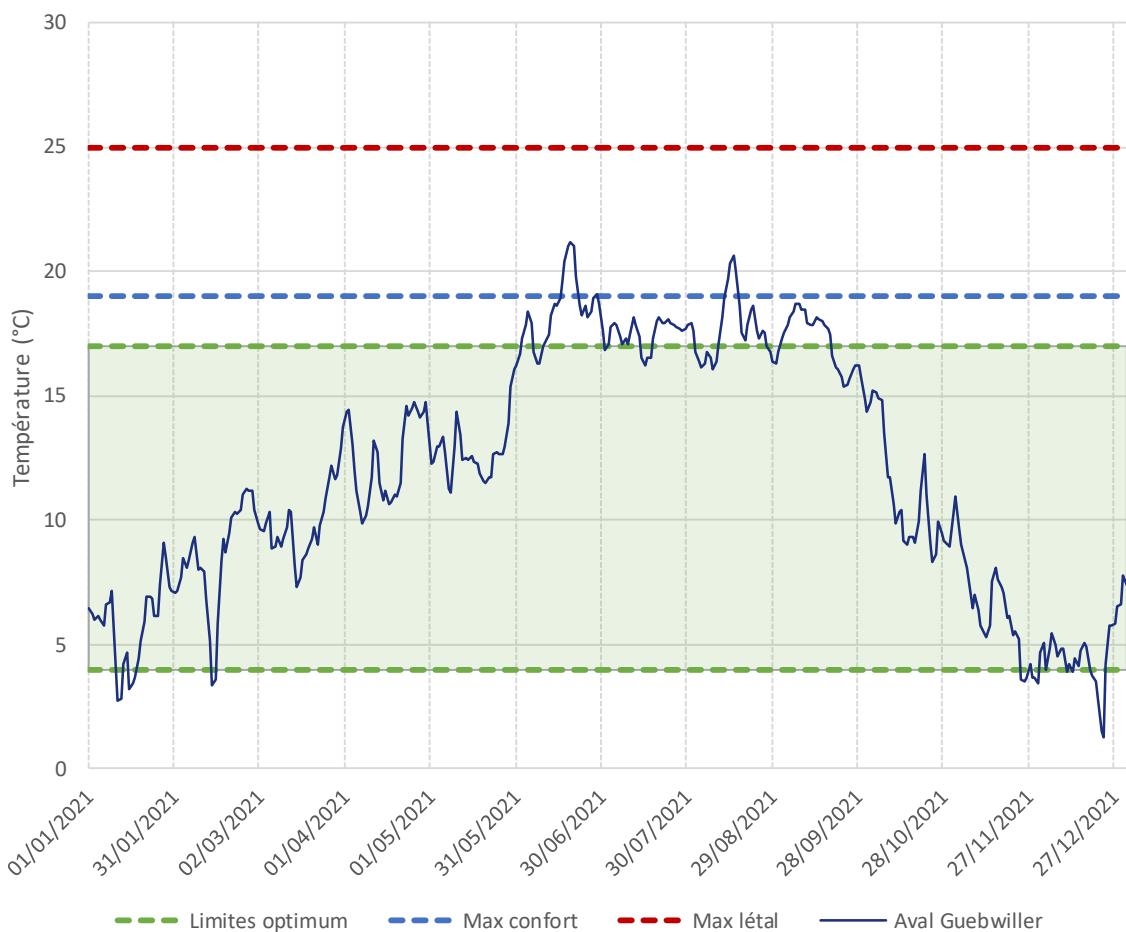
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

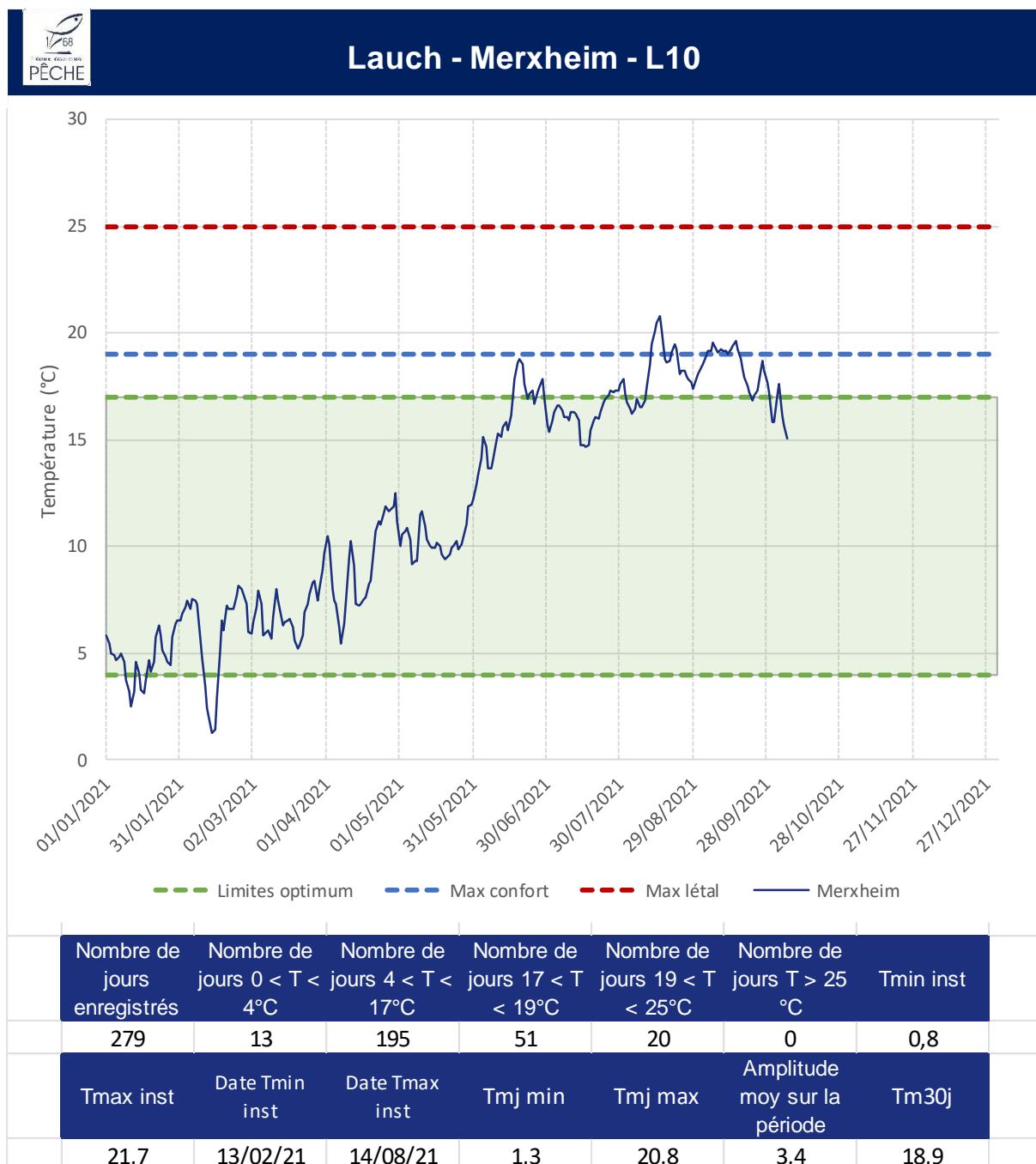


Lauch - Aval Guebwiller - L08



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	22	255	77	11	0	0,6
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
22,2	23/12/21	18/06/21	1,2	21,2	4,4	18,5

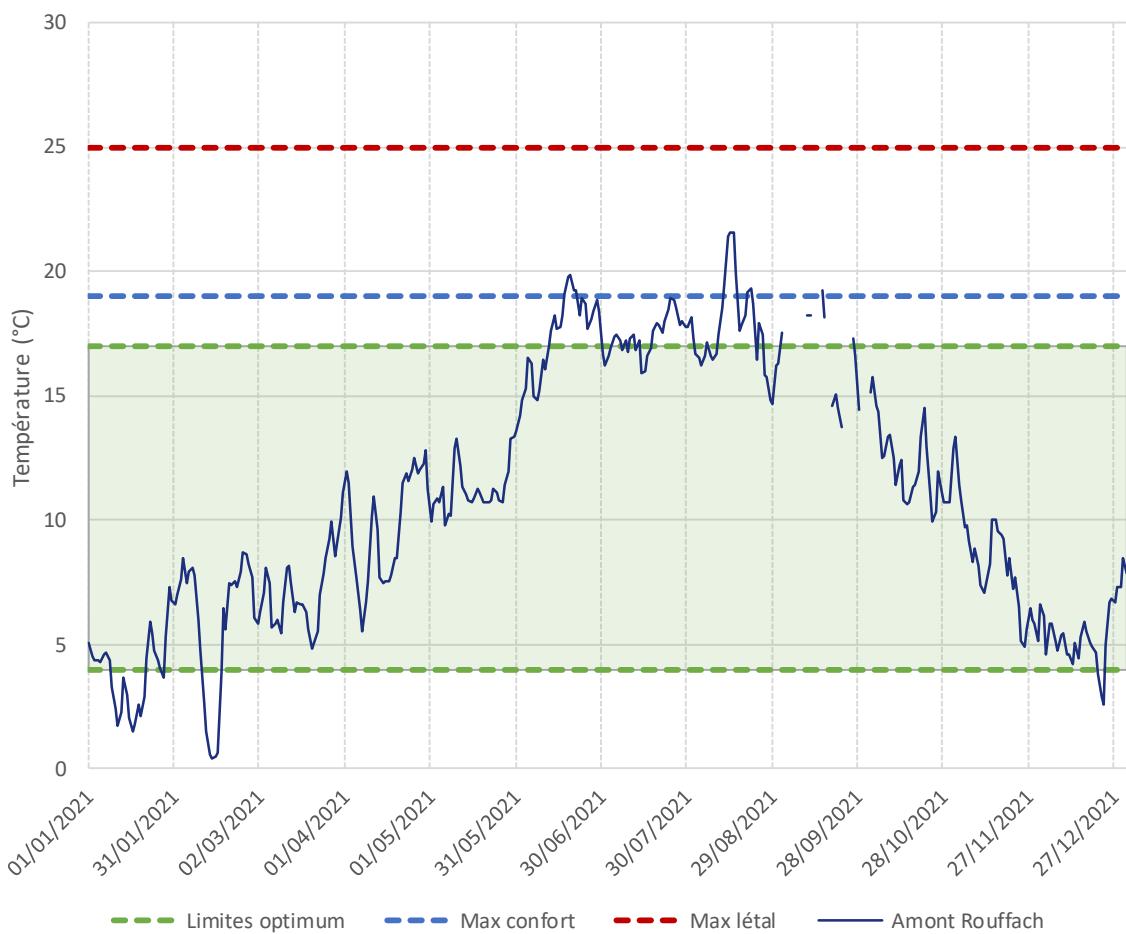
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

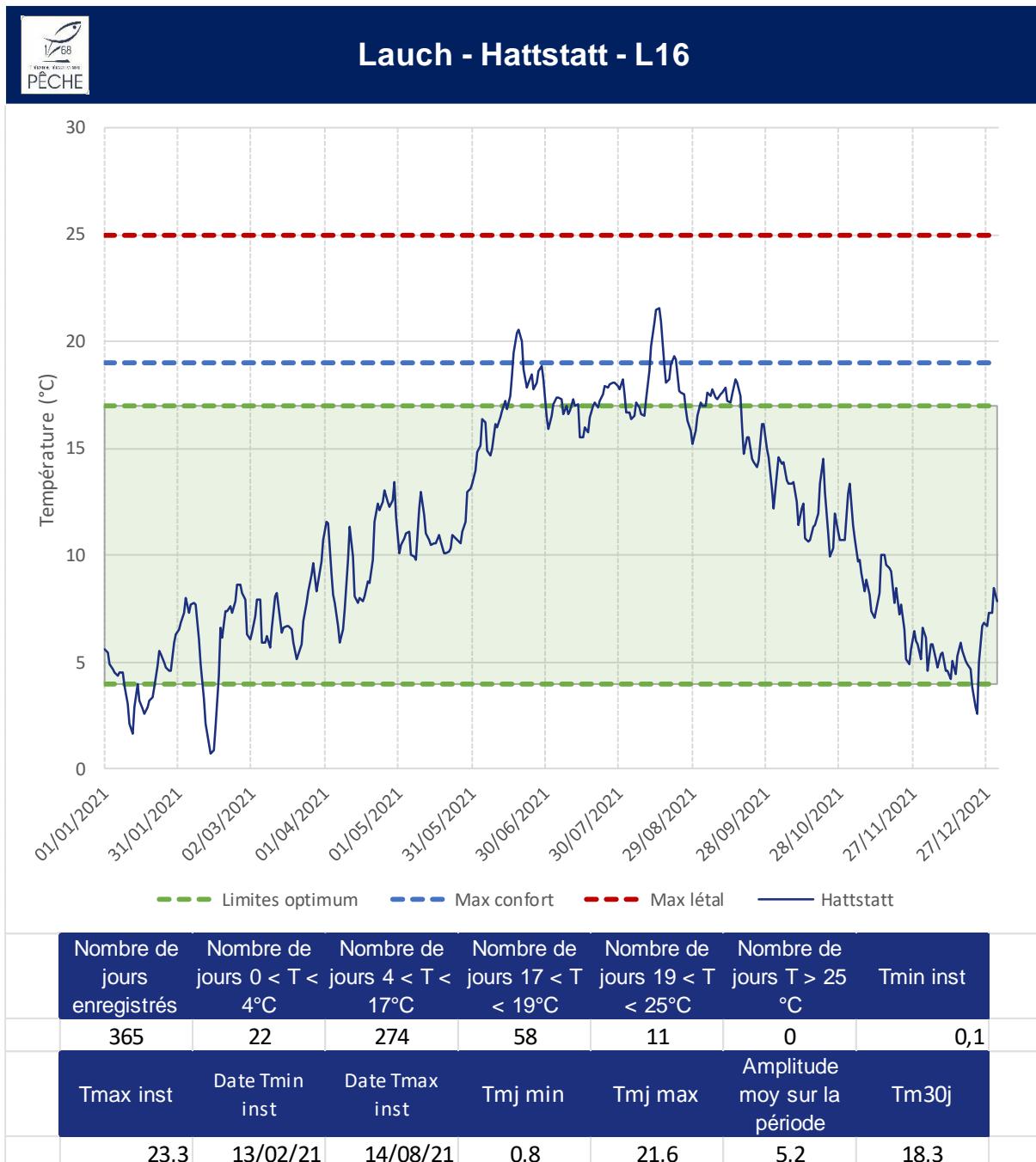


Lauch - Amont Rouffach - L12

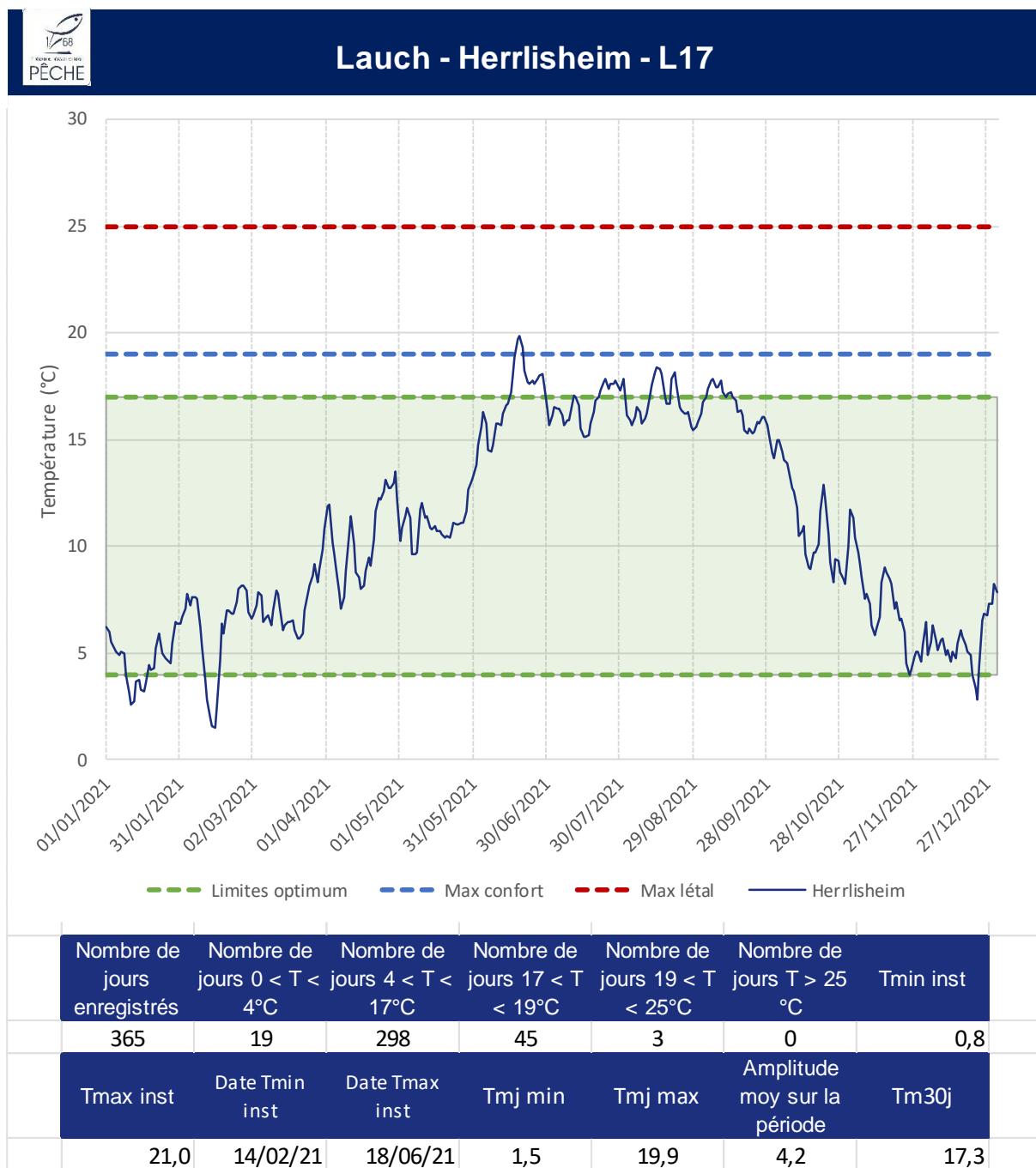


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
	346	23	261	49	13	0	0,1
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période		Tm30j
24,6	13/02/21	14/08/21	0,4	21,5	5,3	18,2	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



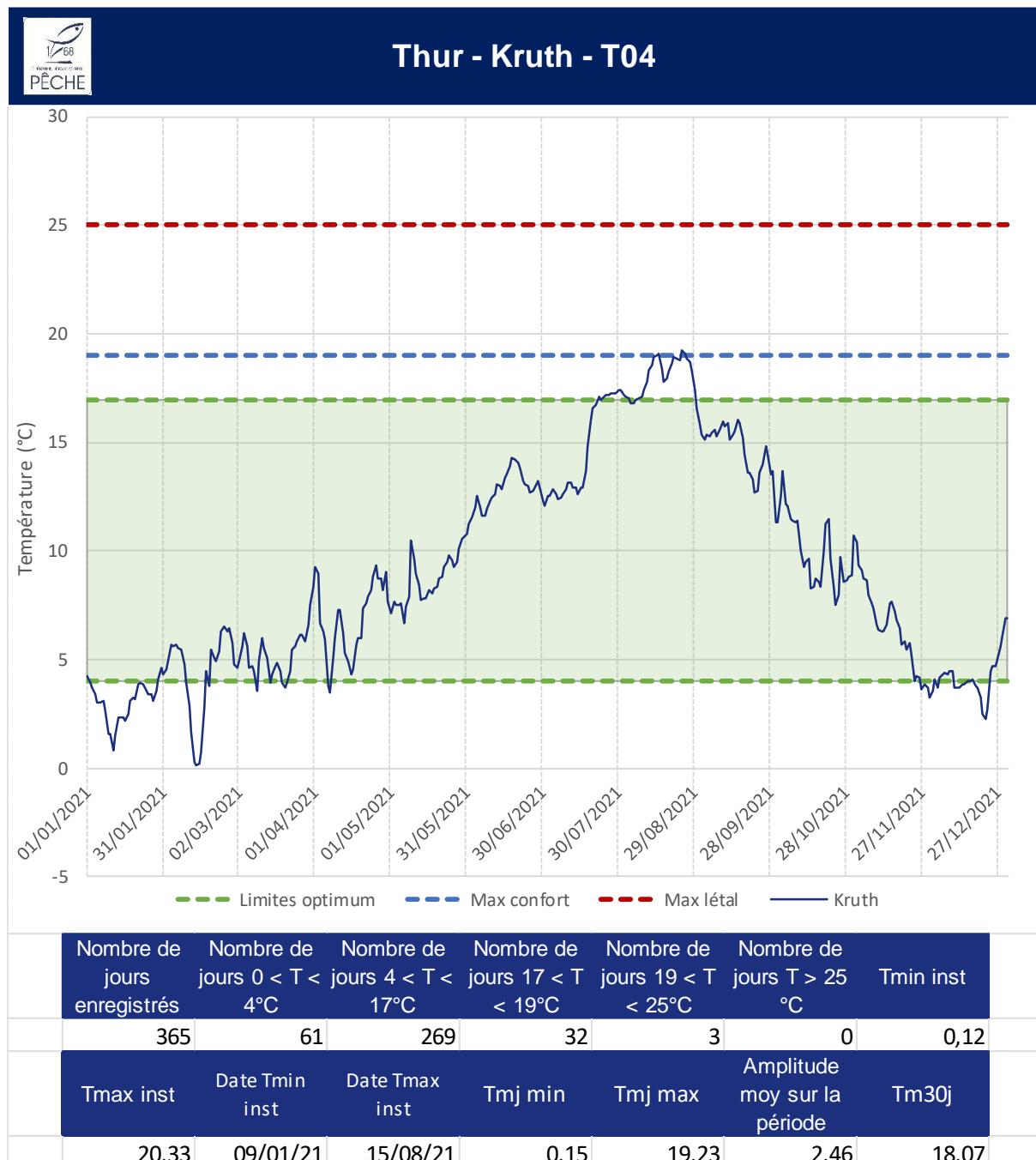
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



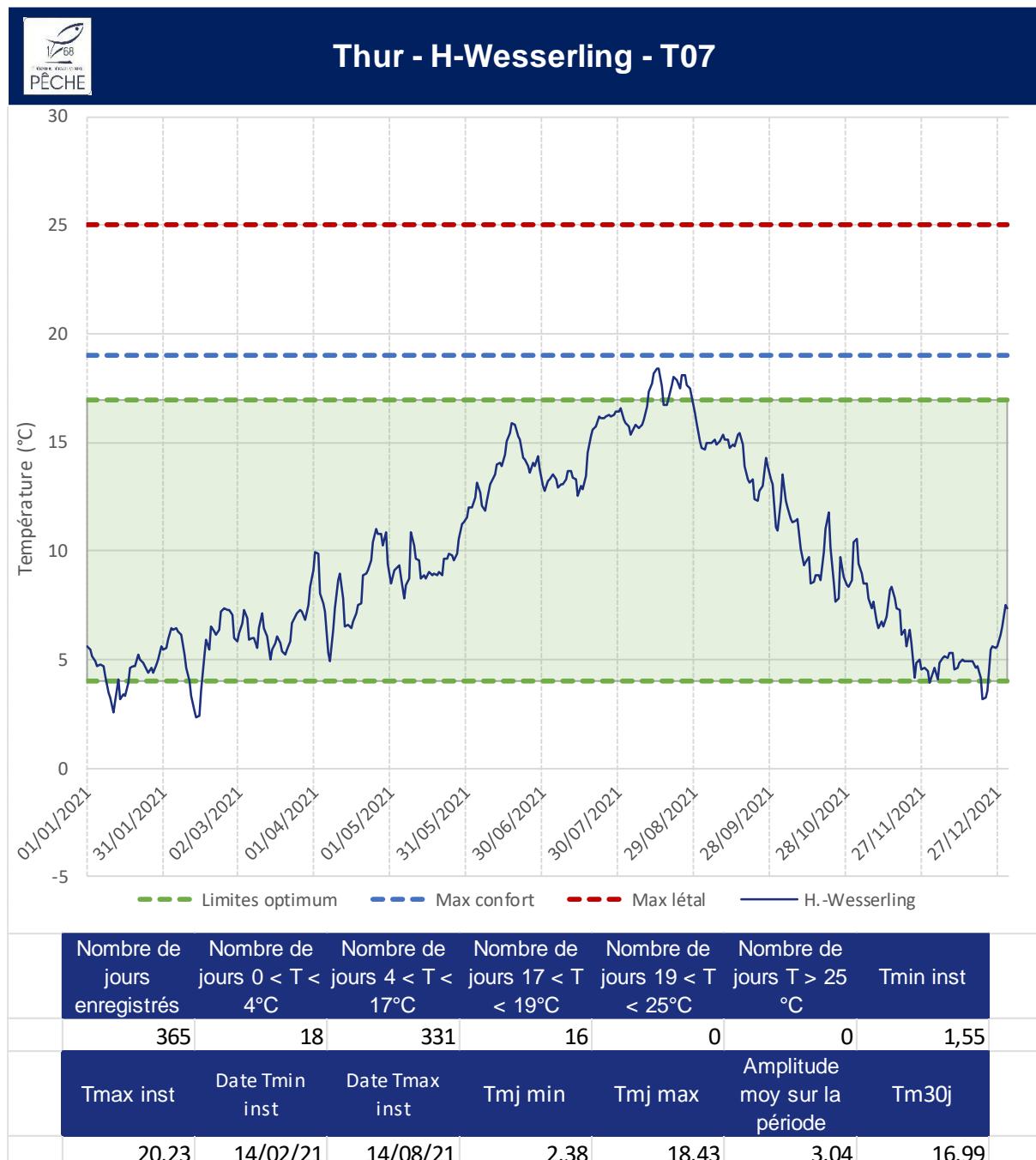
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



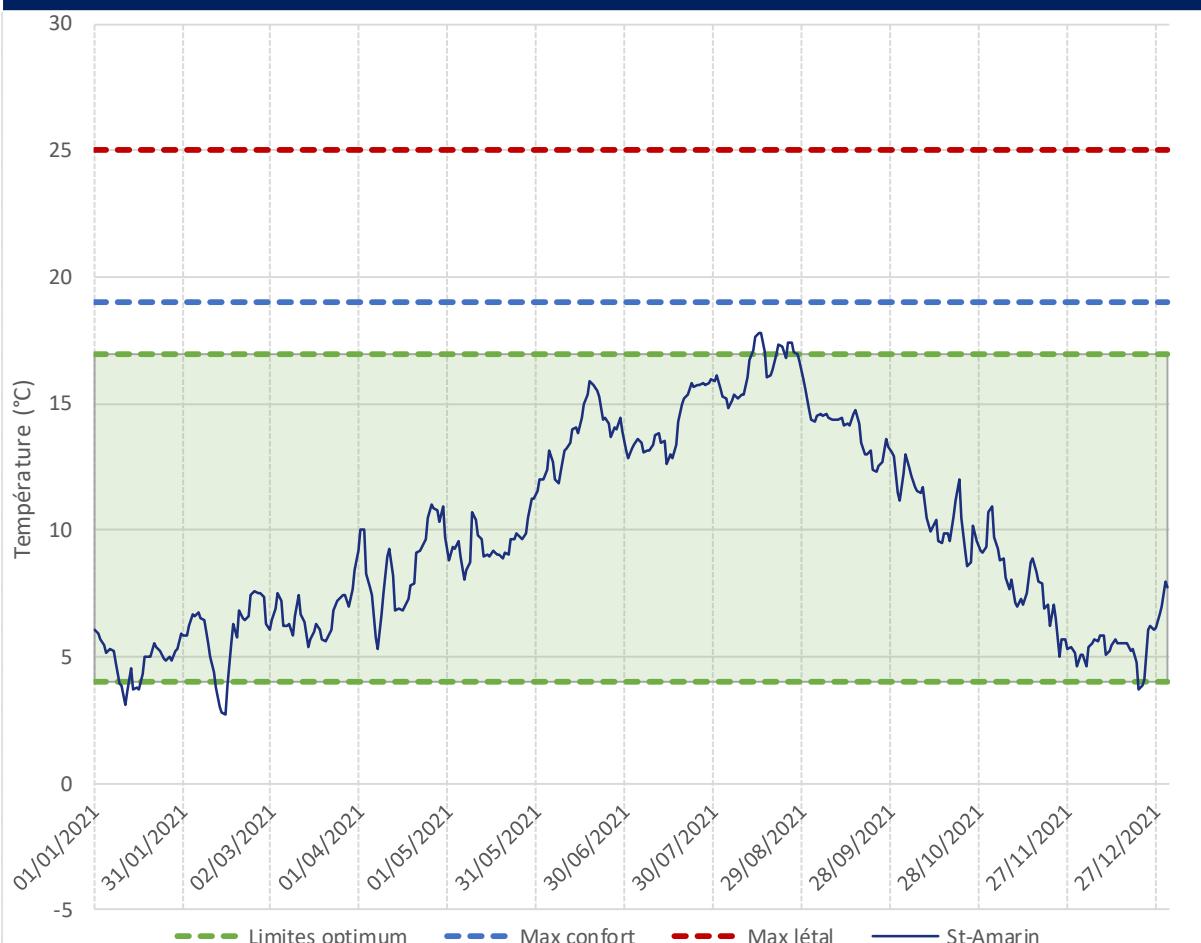
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Thur - St-Amarin - T08



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	14	341	10	0	0	1,87	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
19,66	14/02/21	14/08/21	2,76	17,81	2,96	16,41	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Thur - Willer sur Thur - T10

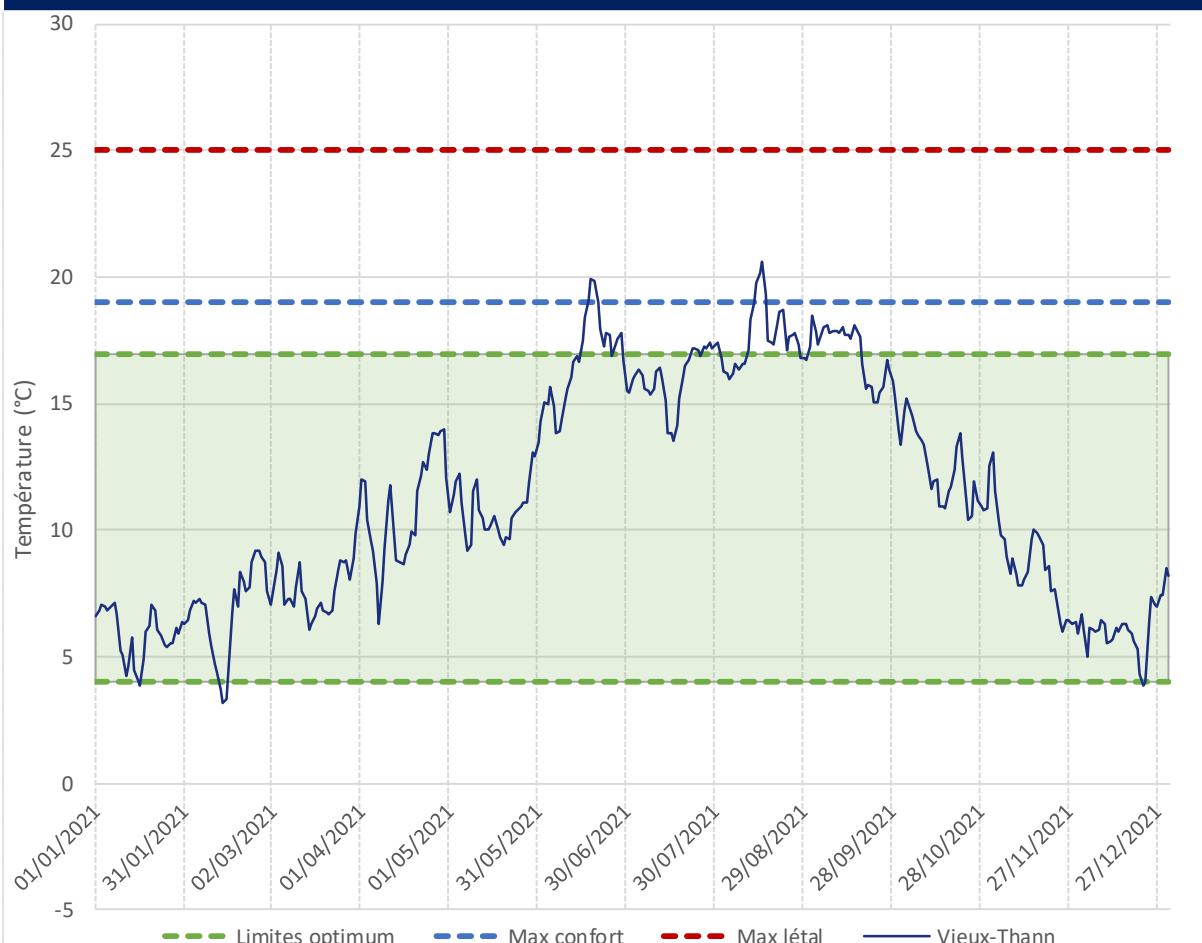


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	15	341	9	0	0	1,22	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
19,85	14/02/21	17/06/21	2,24	18,12	3,35	16,33	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Thur - Vieux-Thann - T14

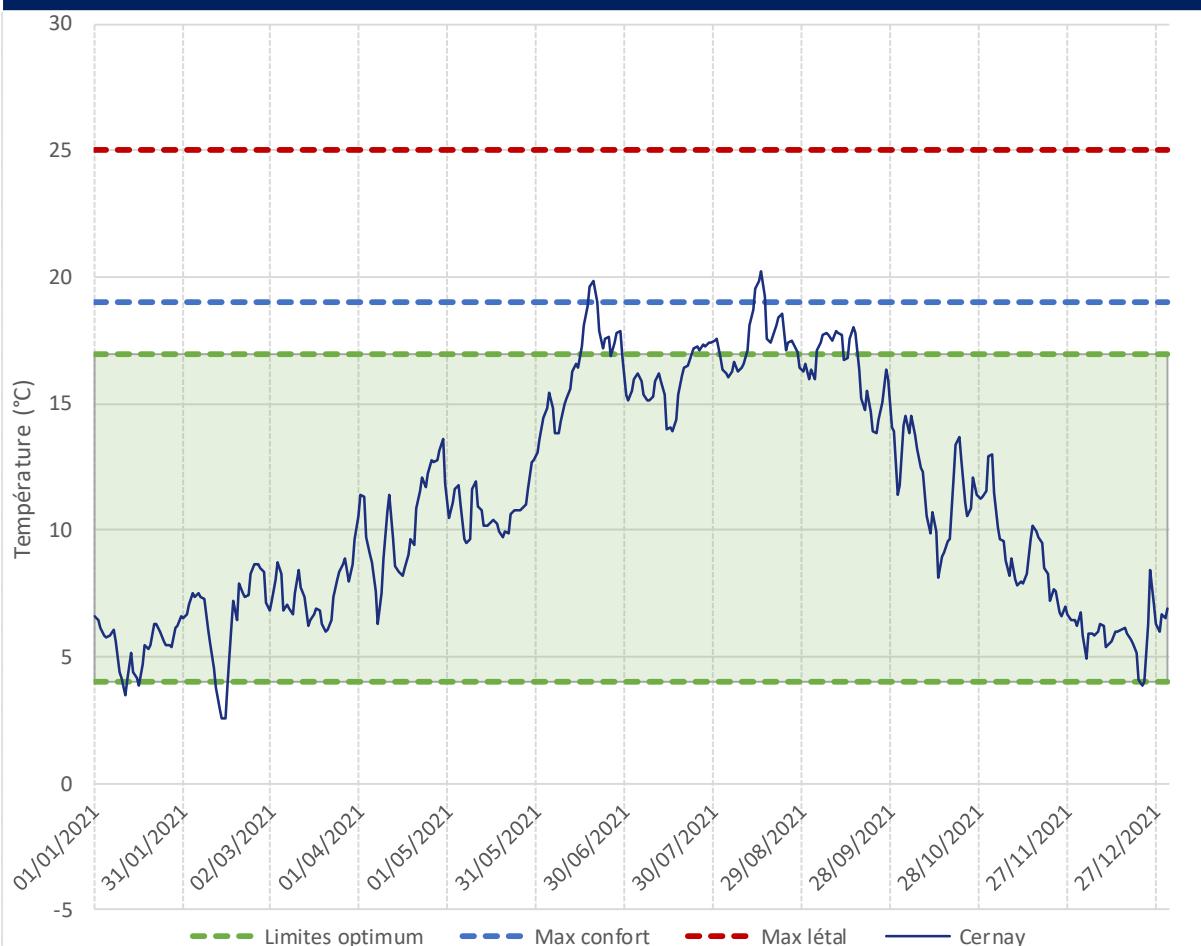


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	5	302	51	7	0	1,55	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
21,76	13/02/21	18/06/21	3,21	20,59	3,85	18,05	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

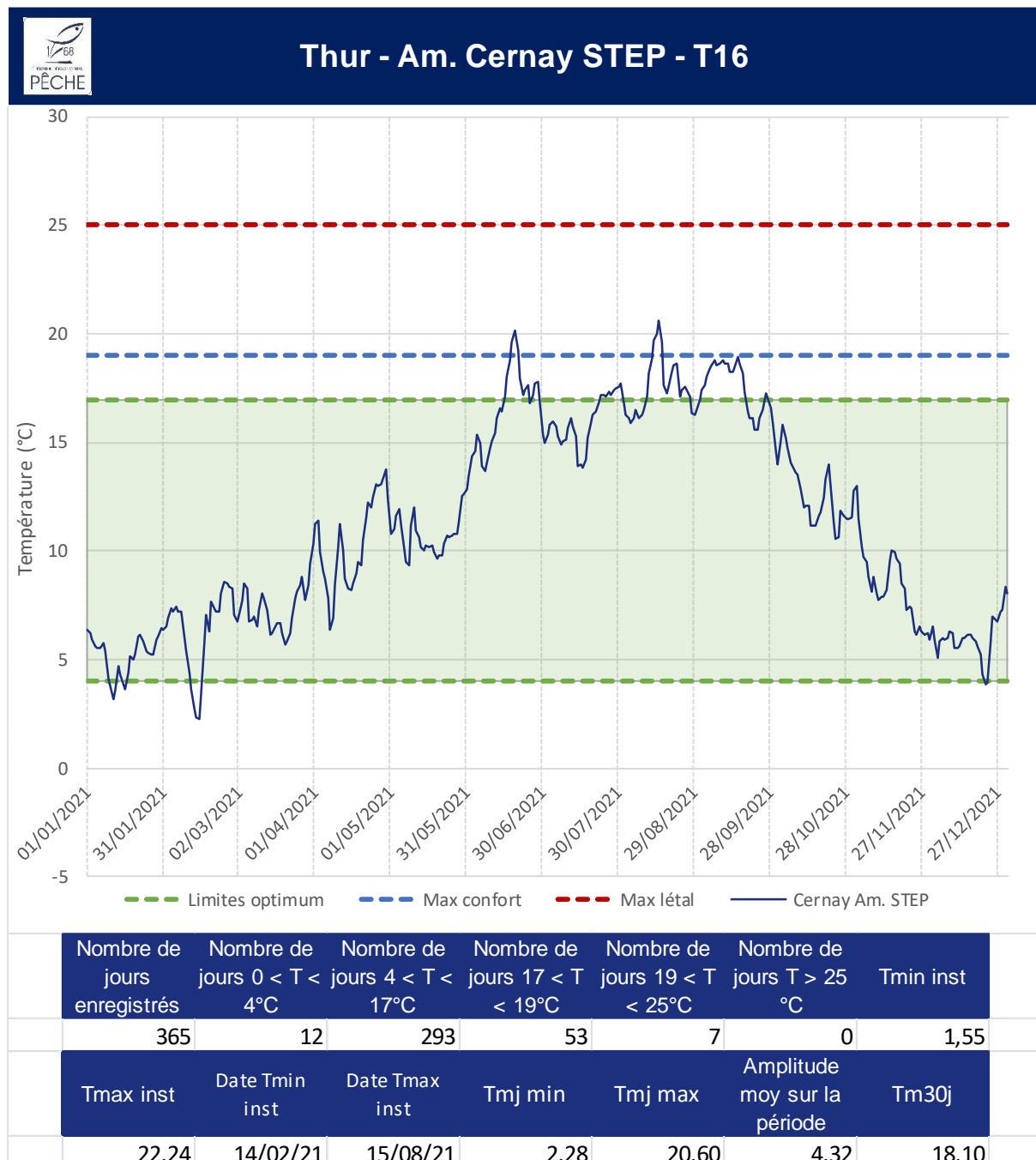


Thur - Cernay - T15



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	8	305	45	7	0	1,66
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
21,47	14/02/21	15/08/21	2,55	20,23	4,25	17,69

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



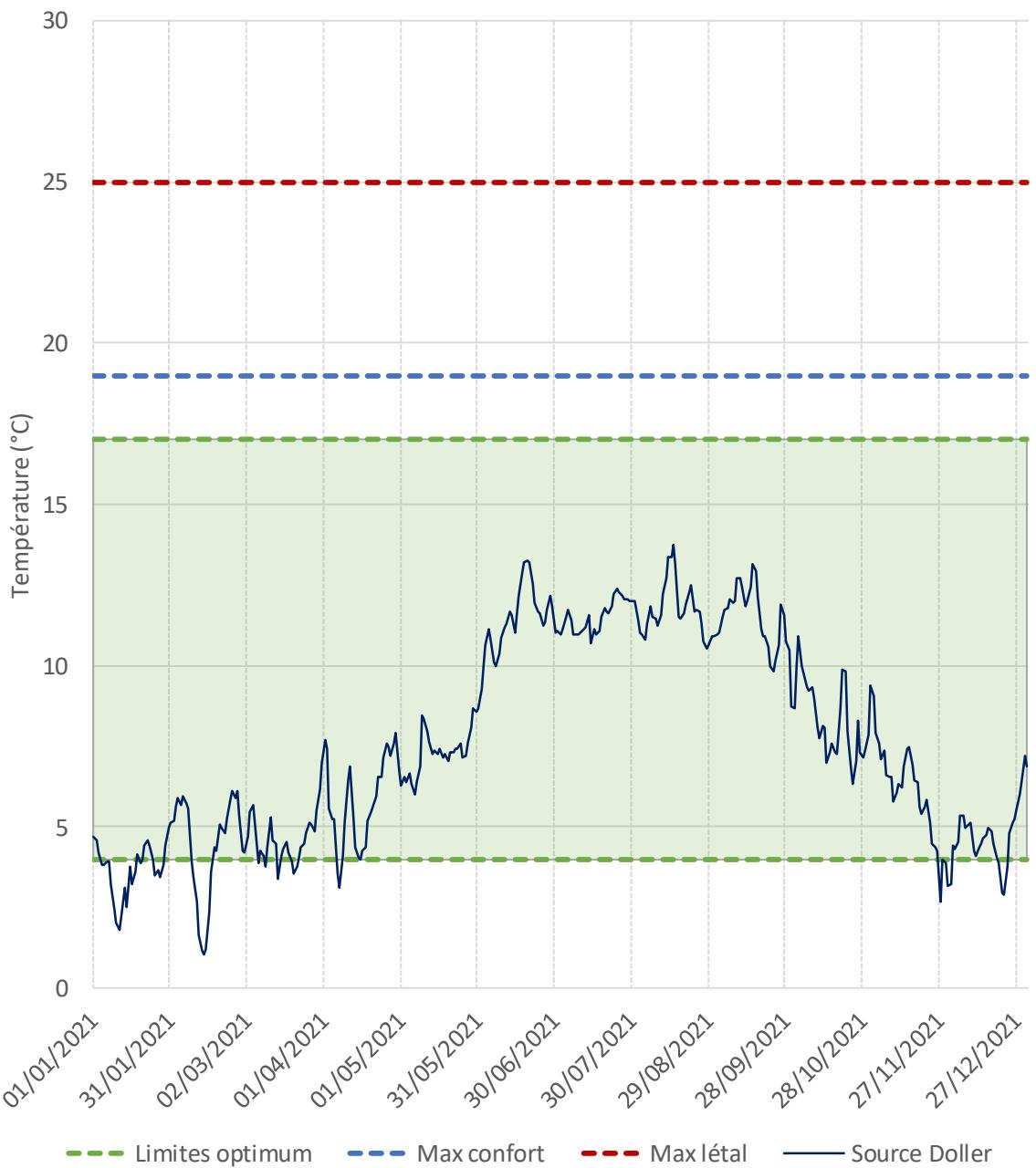
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

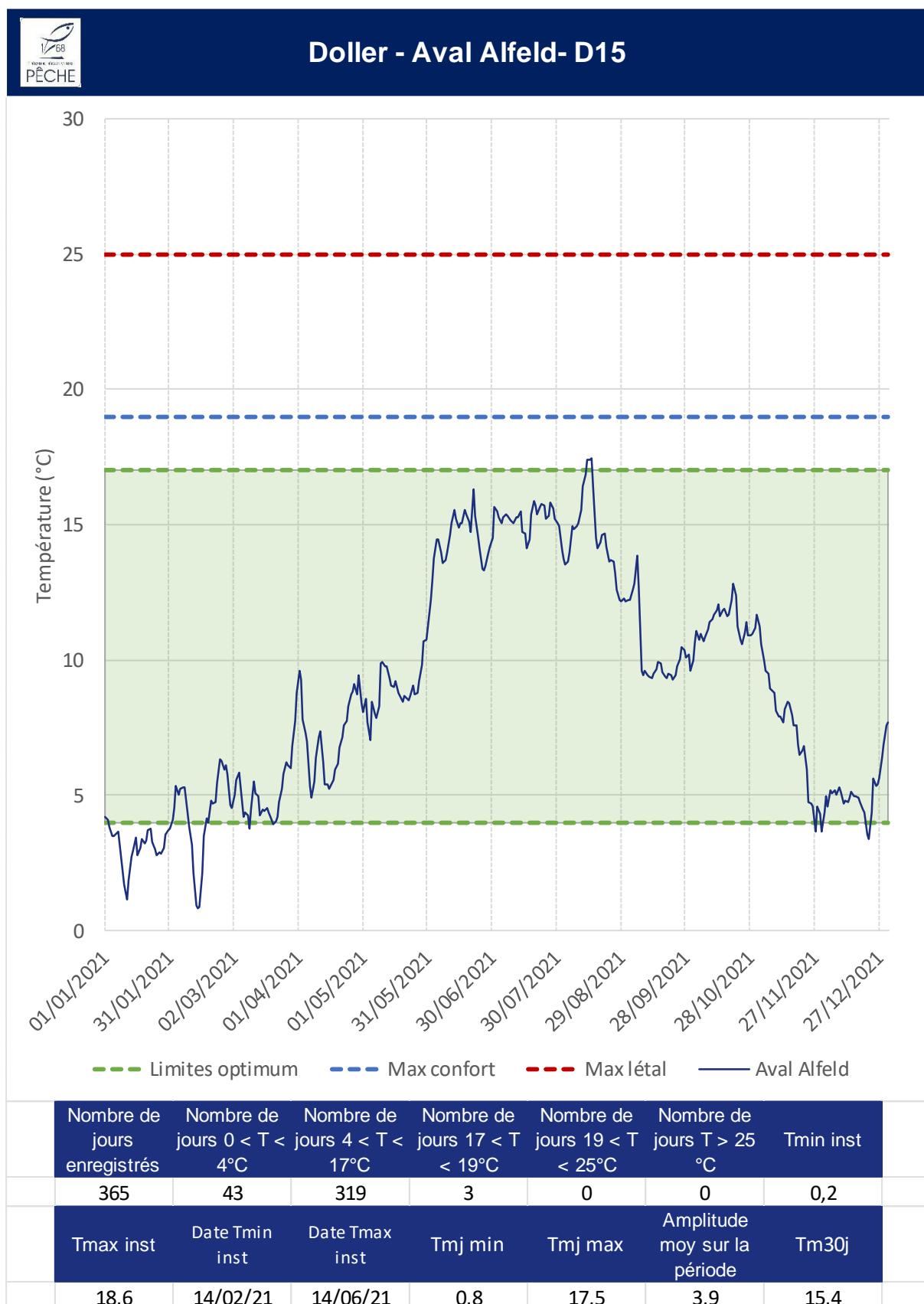


Doller - Source Doller - D16



	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
	365	48	317	0	0	0	0,9
	Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
	14,7	14/02/21	15/08/21	1,1	13,7	2,9	12,0

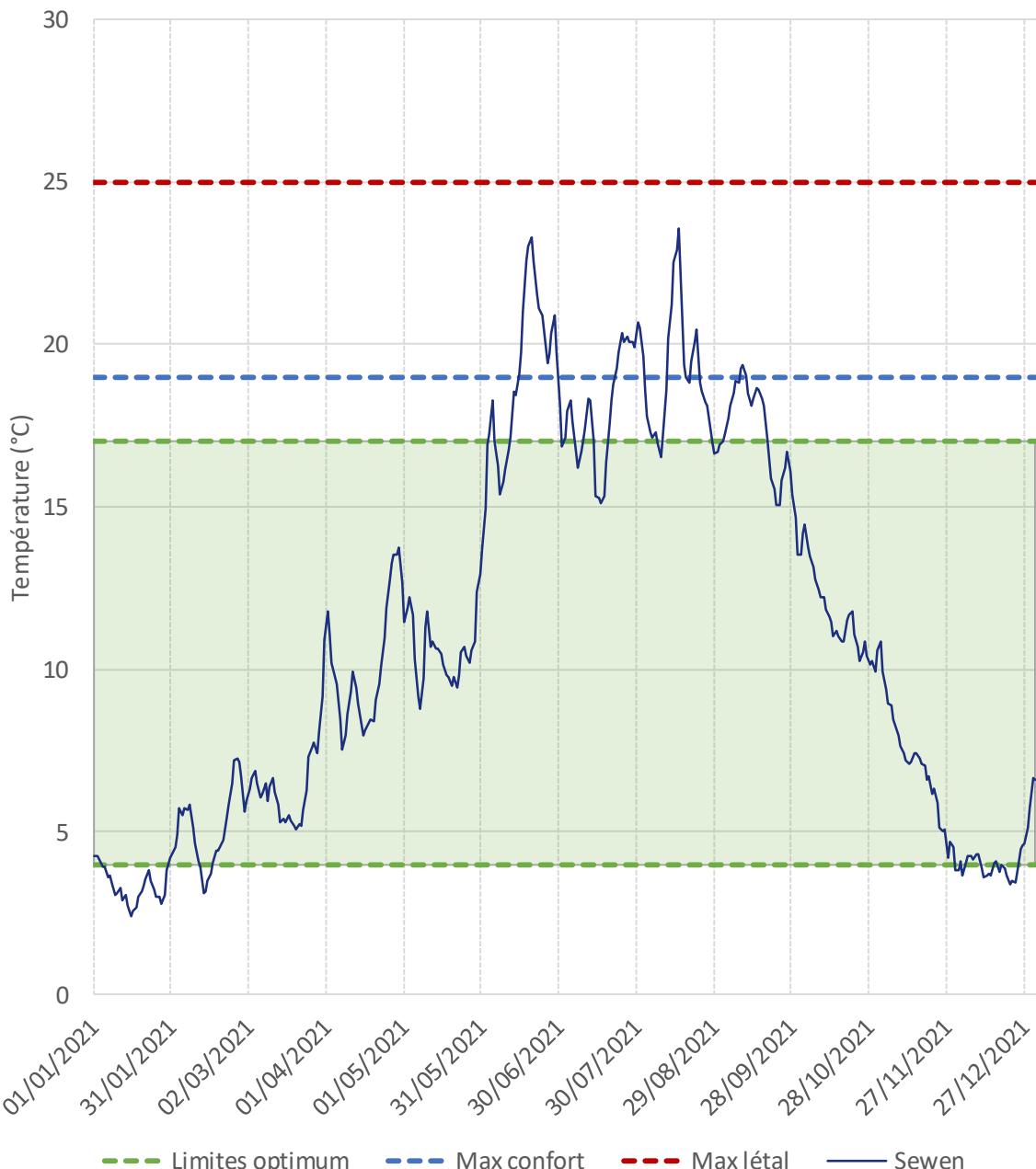
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

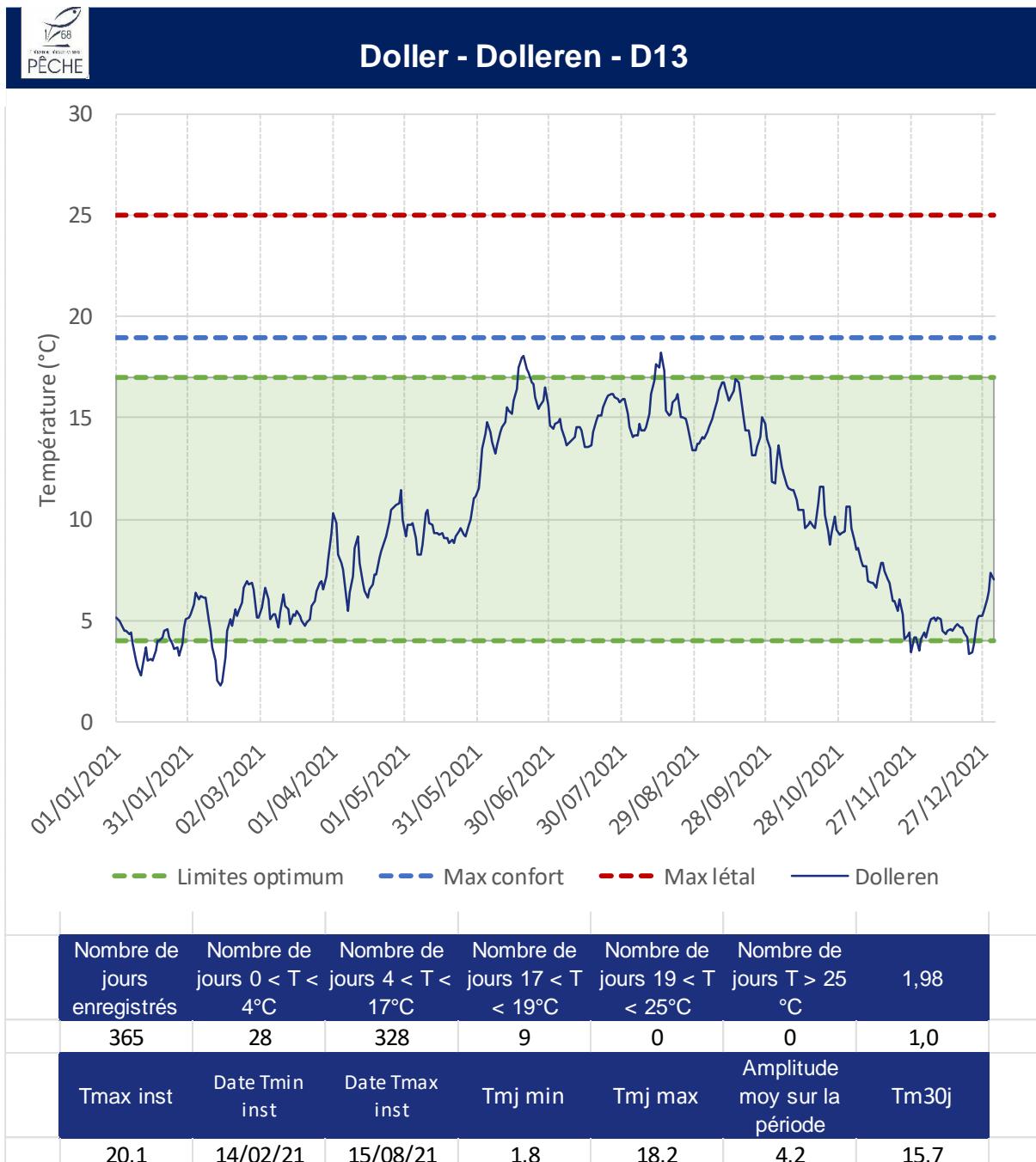


Doller -Sewen- D14

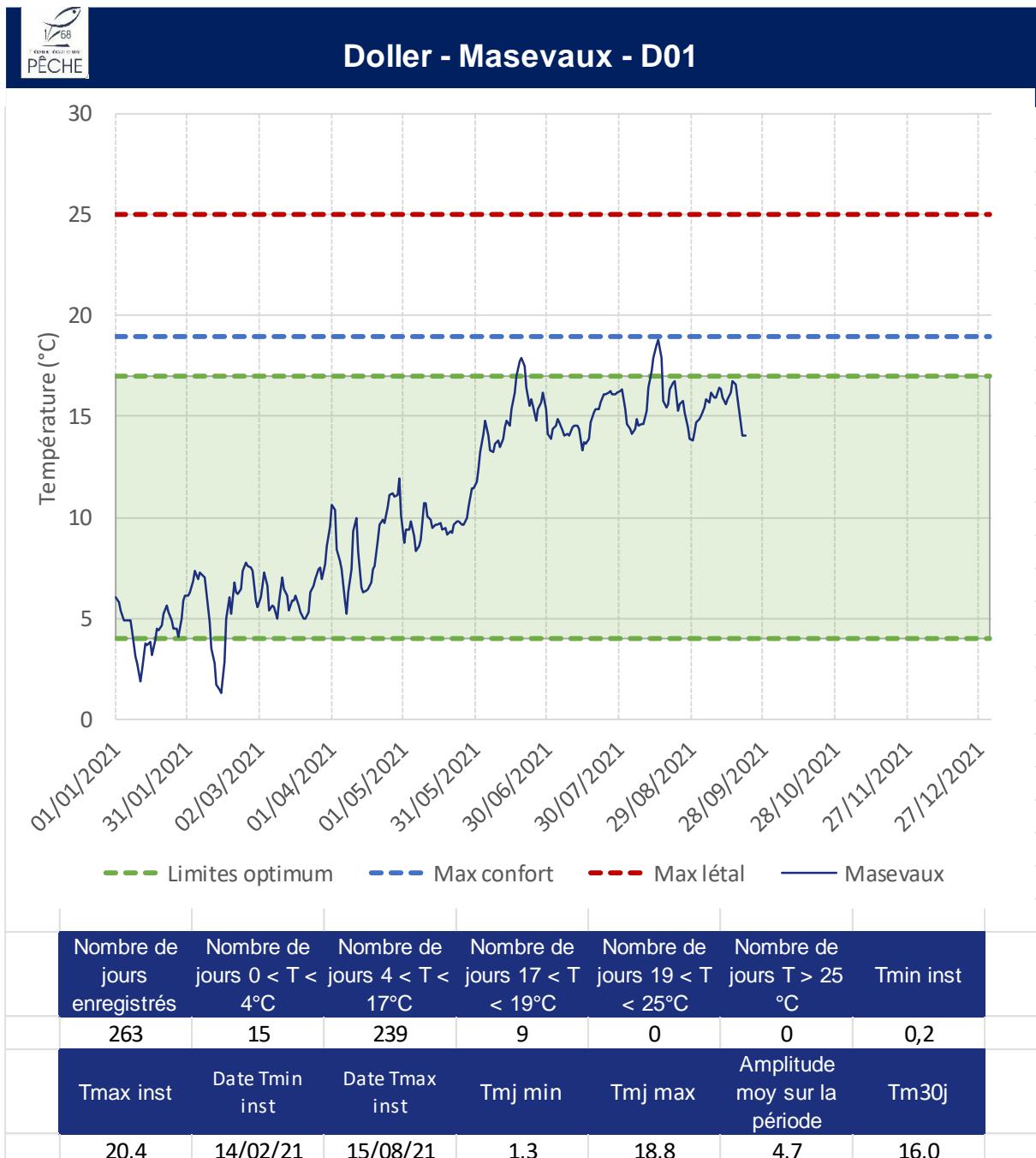


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	47	230	48	40	0	2,2
	Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
	24,8	15/01/21	19/06/21	2,4	23,6	7,0	19,6

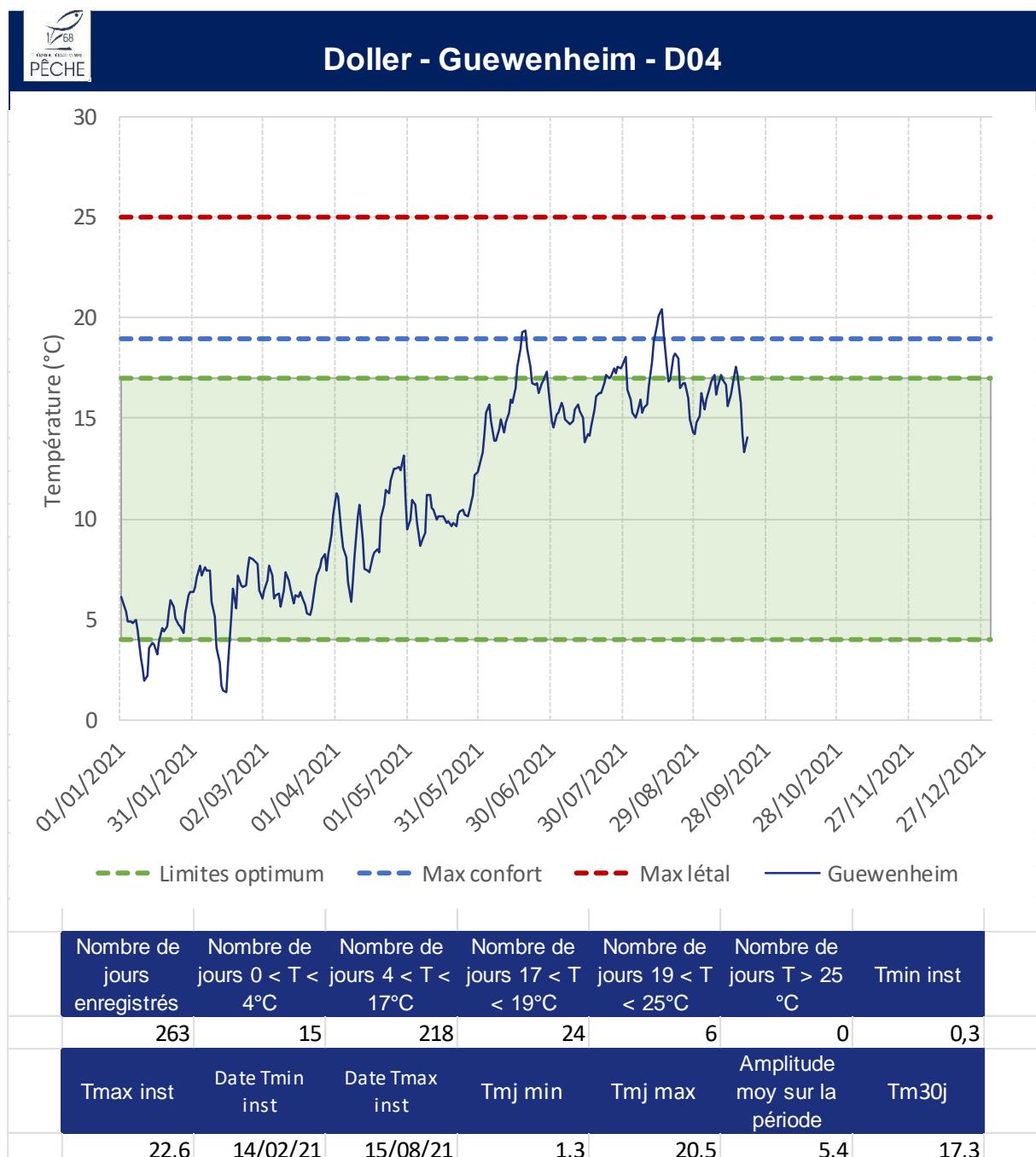
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



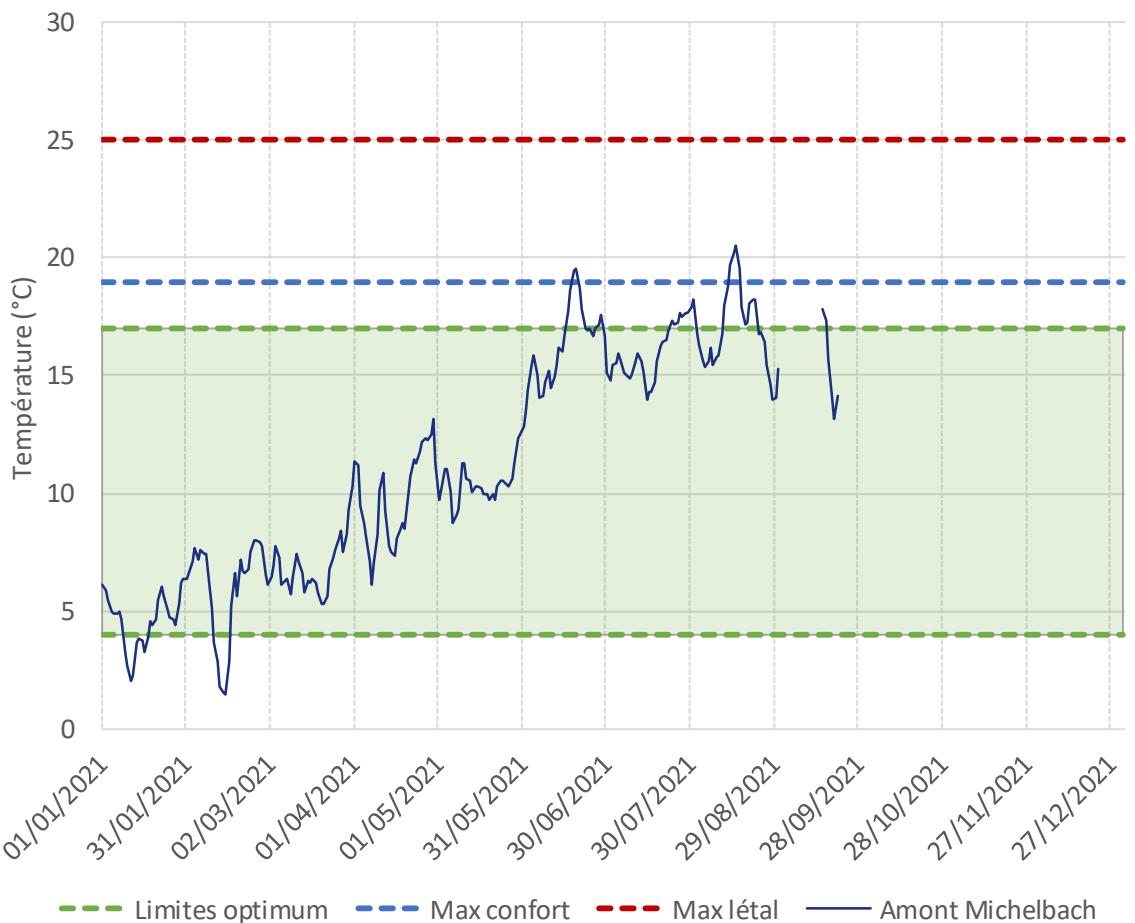
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Doller - Amont Michelbach - D05

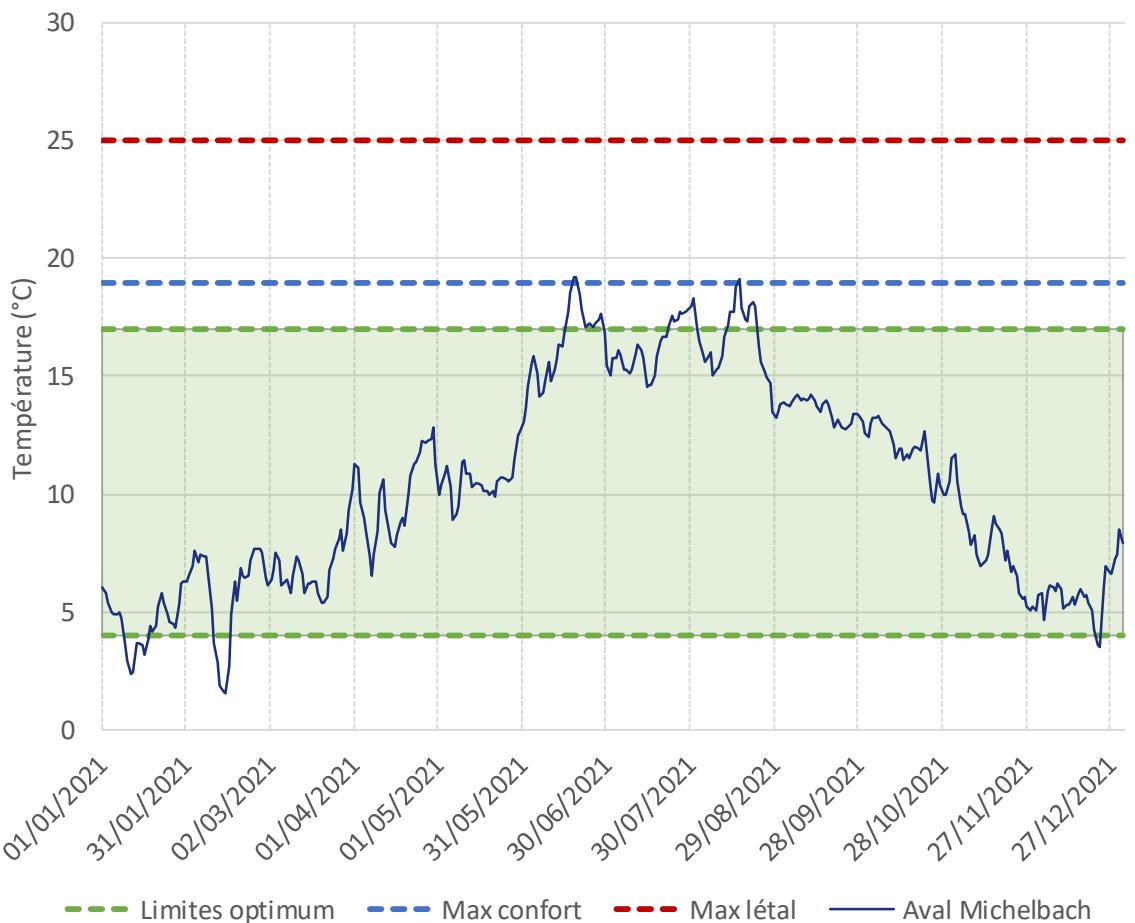


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 25°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
248	15	200	27	6	0	0,6	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
22,3	14/02/21	21/08/21	1,4	20,5	5,2	17,5	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Doller - Aval Michelbach - D06

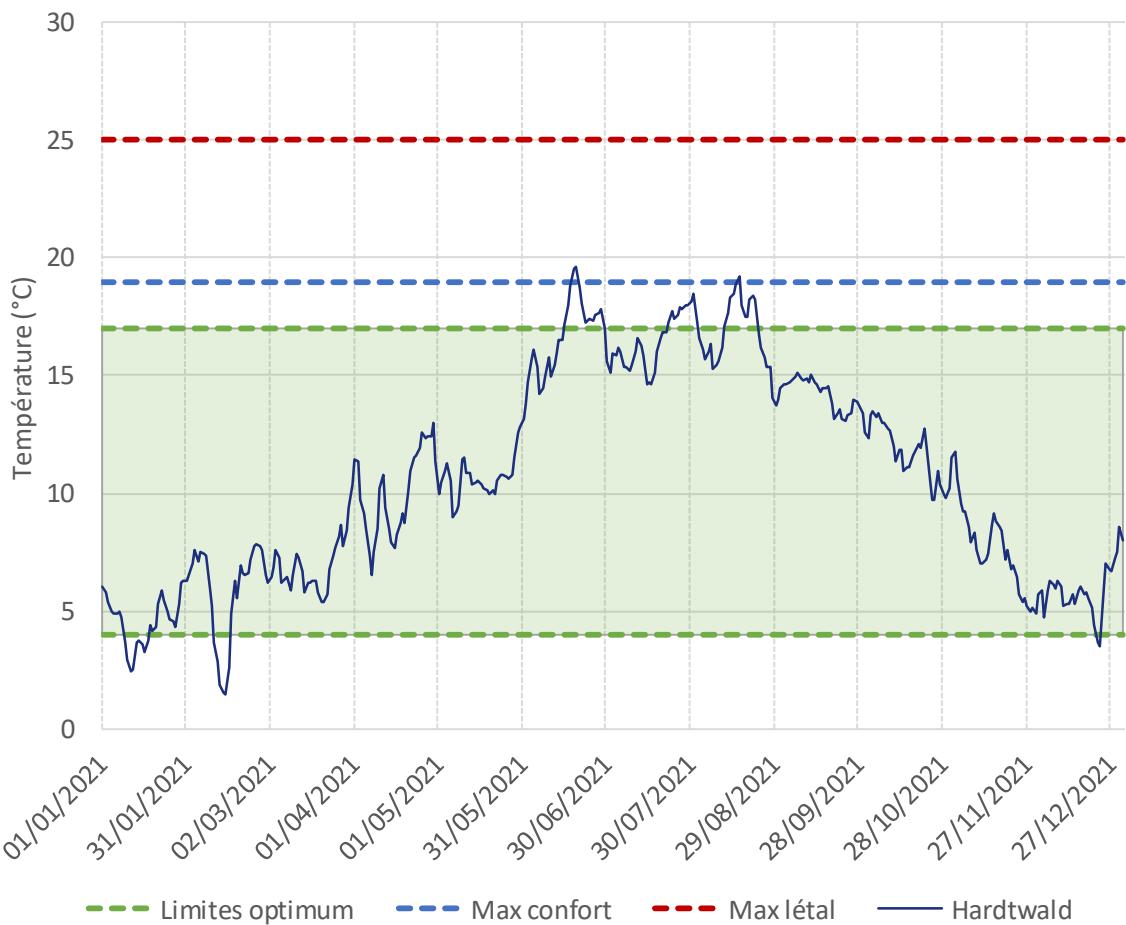


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	17	313	32	3	0	0,7	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
21,4	14/02/21	18/06/21	1,5	19,2	4,1	17,1	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

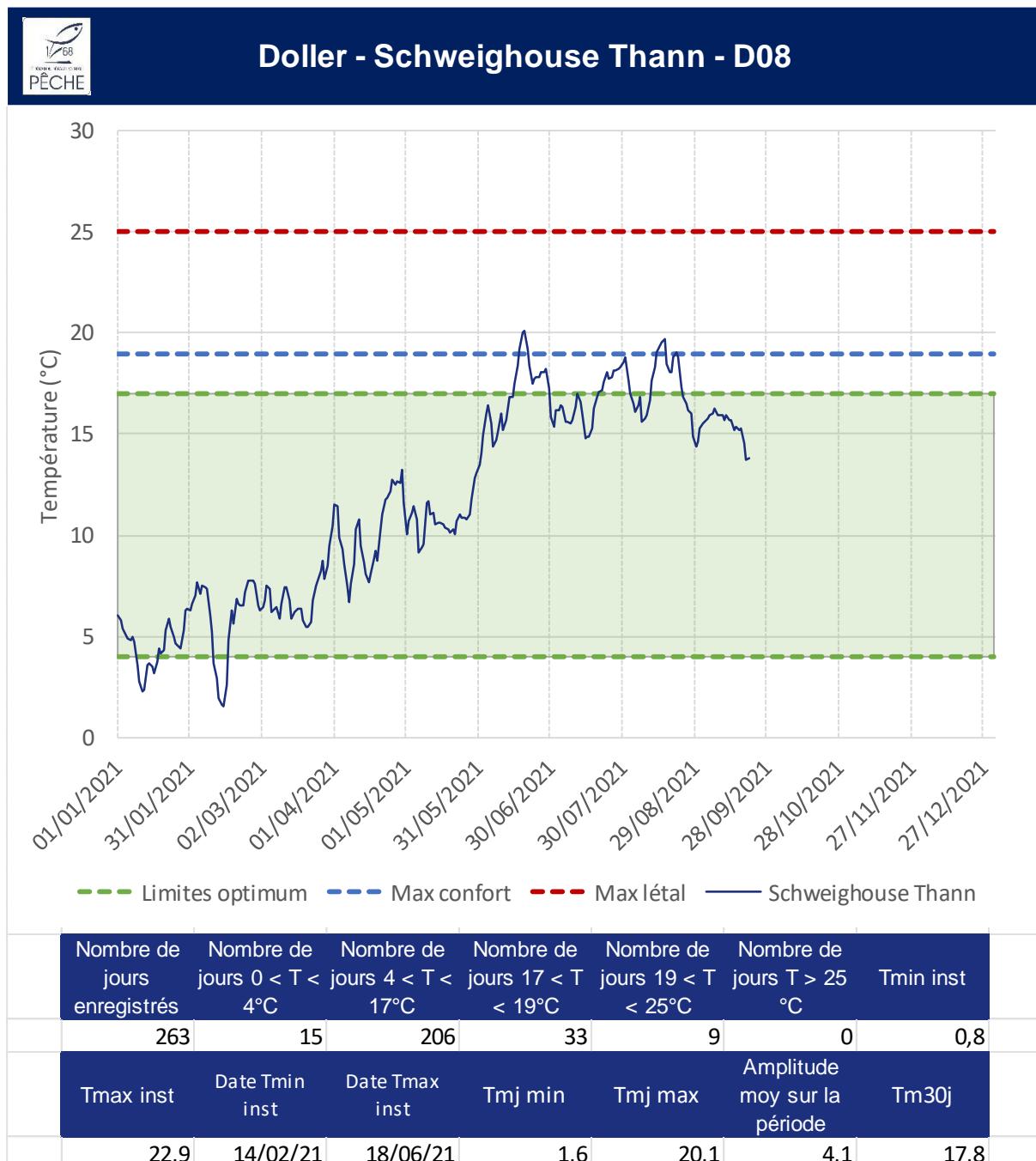


Doller - Hardtwald - D07



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	17	311	34	3	0	0,7	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
21,8	14/02/21	18/06/21	1,5	19,6	4,0	17,4	

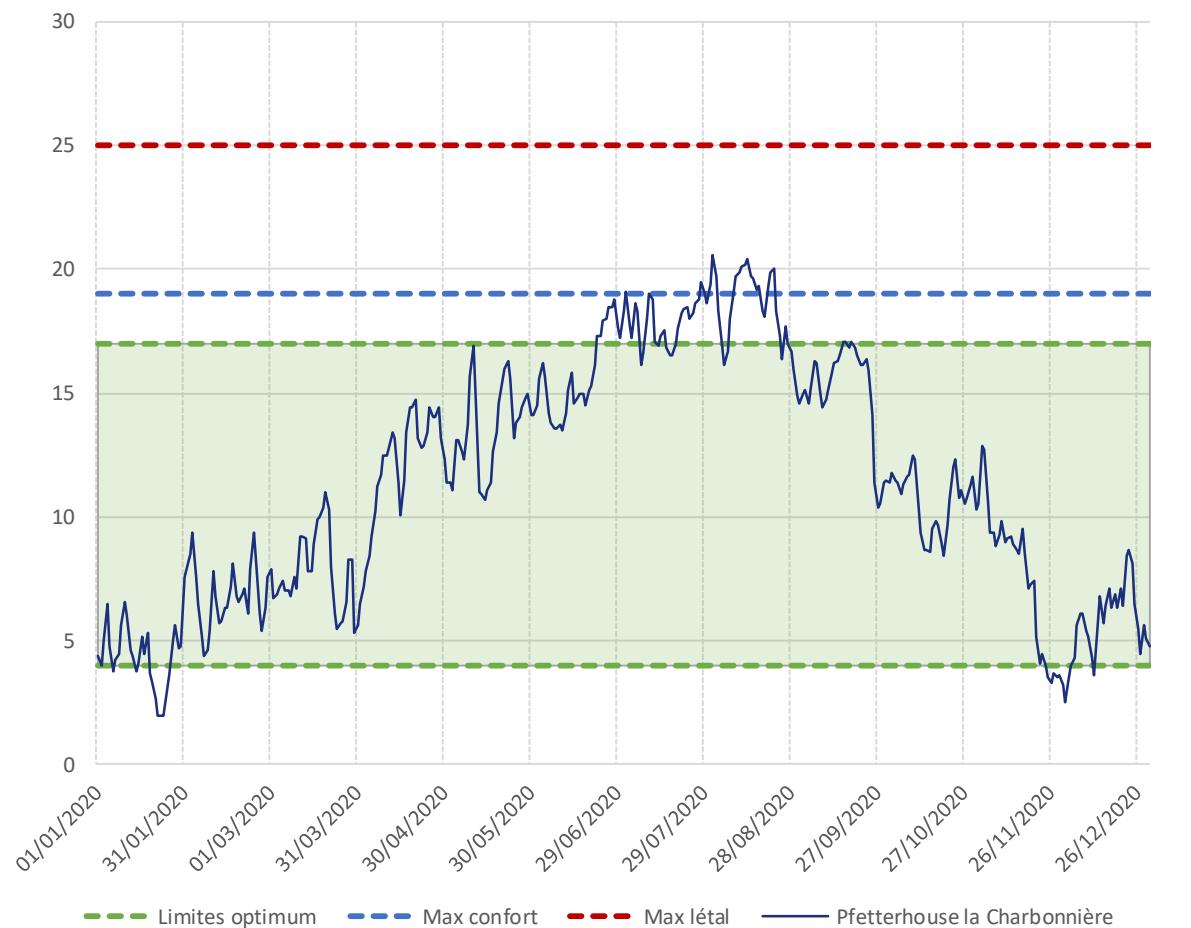
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

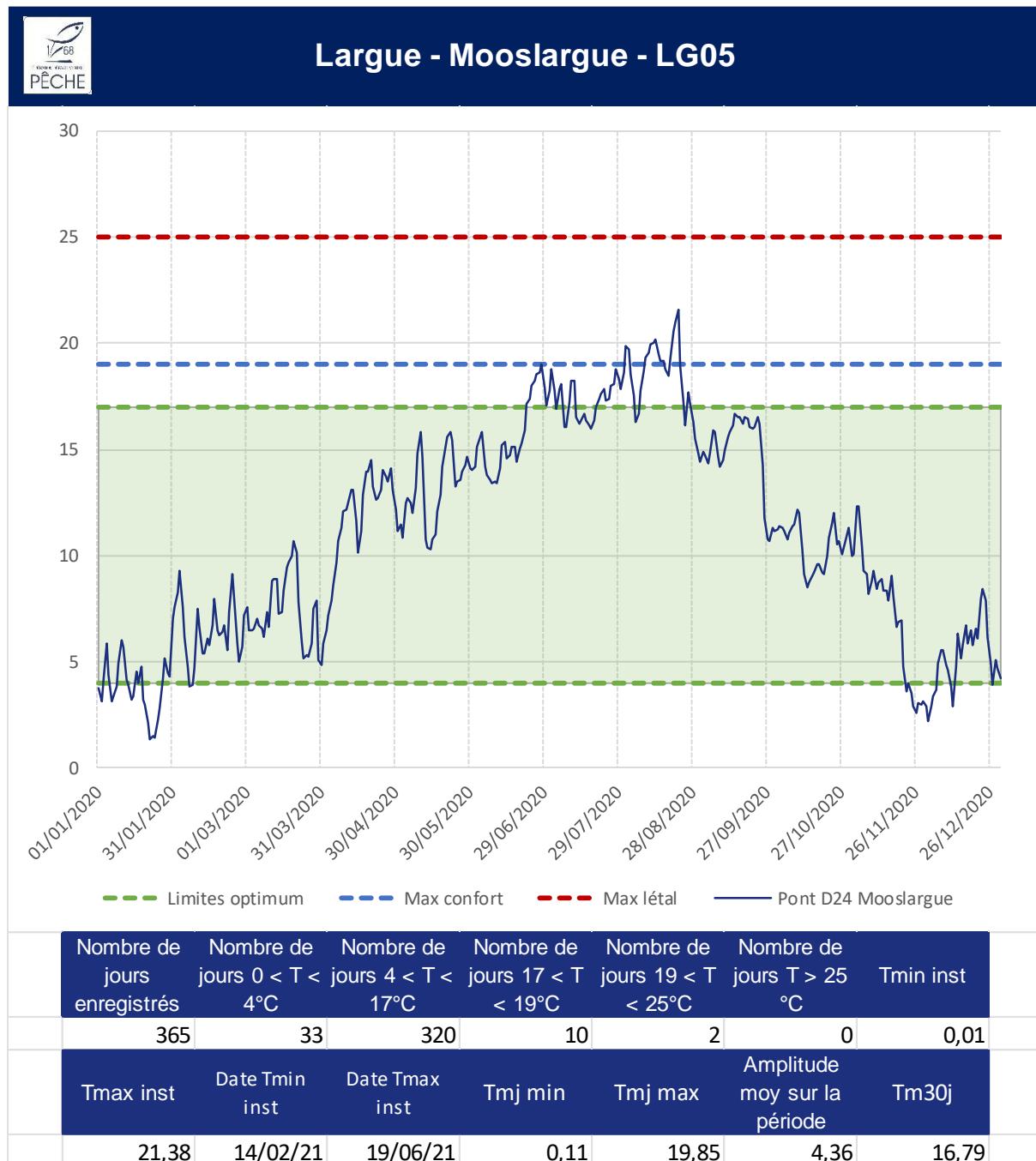


Largue - Pfetterhouse - LG04



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	20	308	10	0	0	0,23
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
24,00	11/01/21	28/06/21	0,03	19,09	3,70	18,18

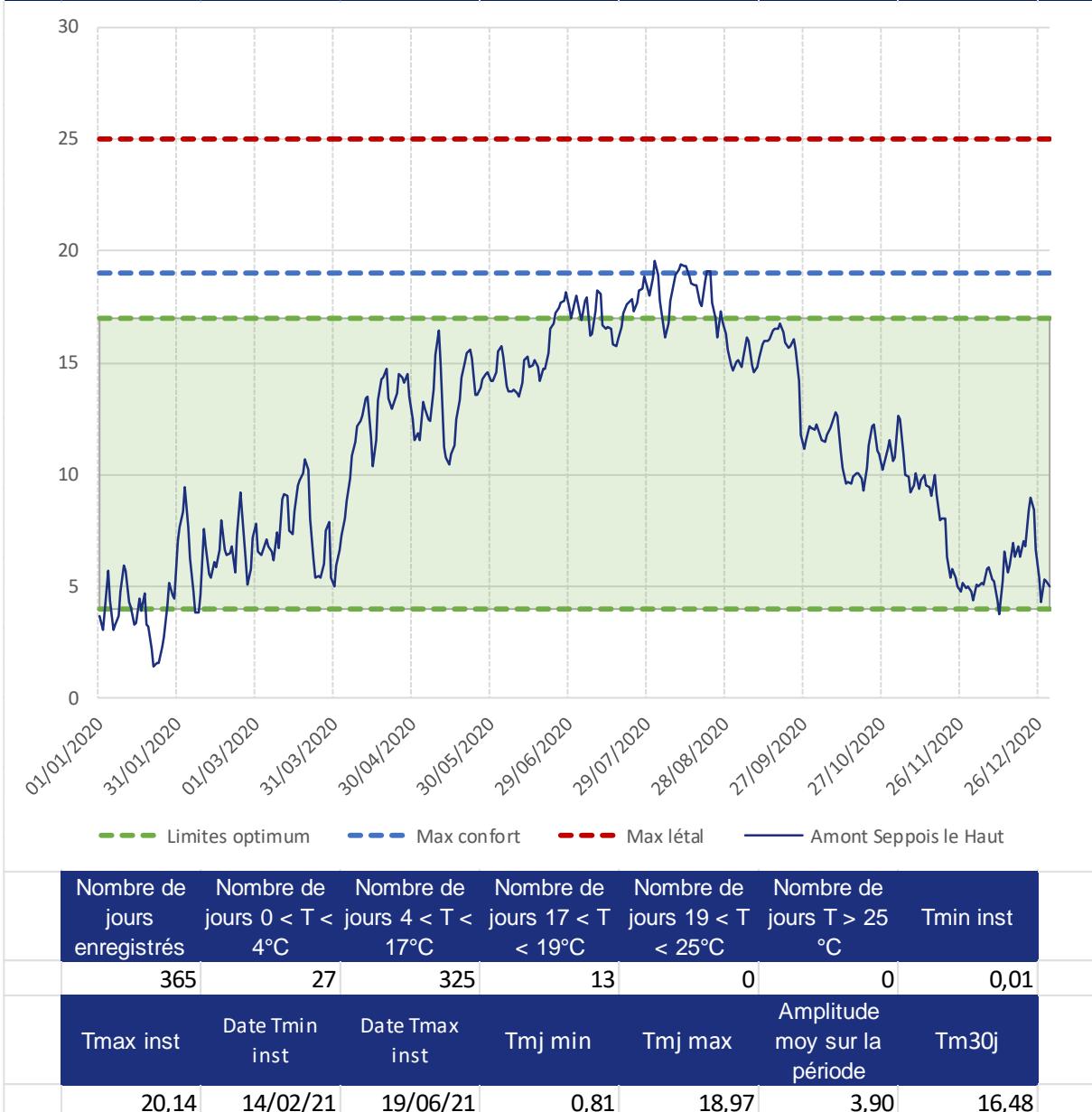
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



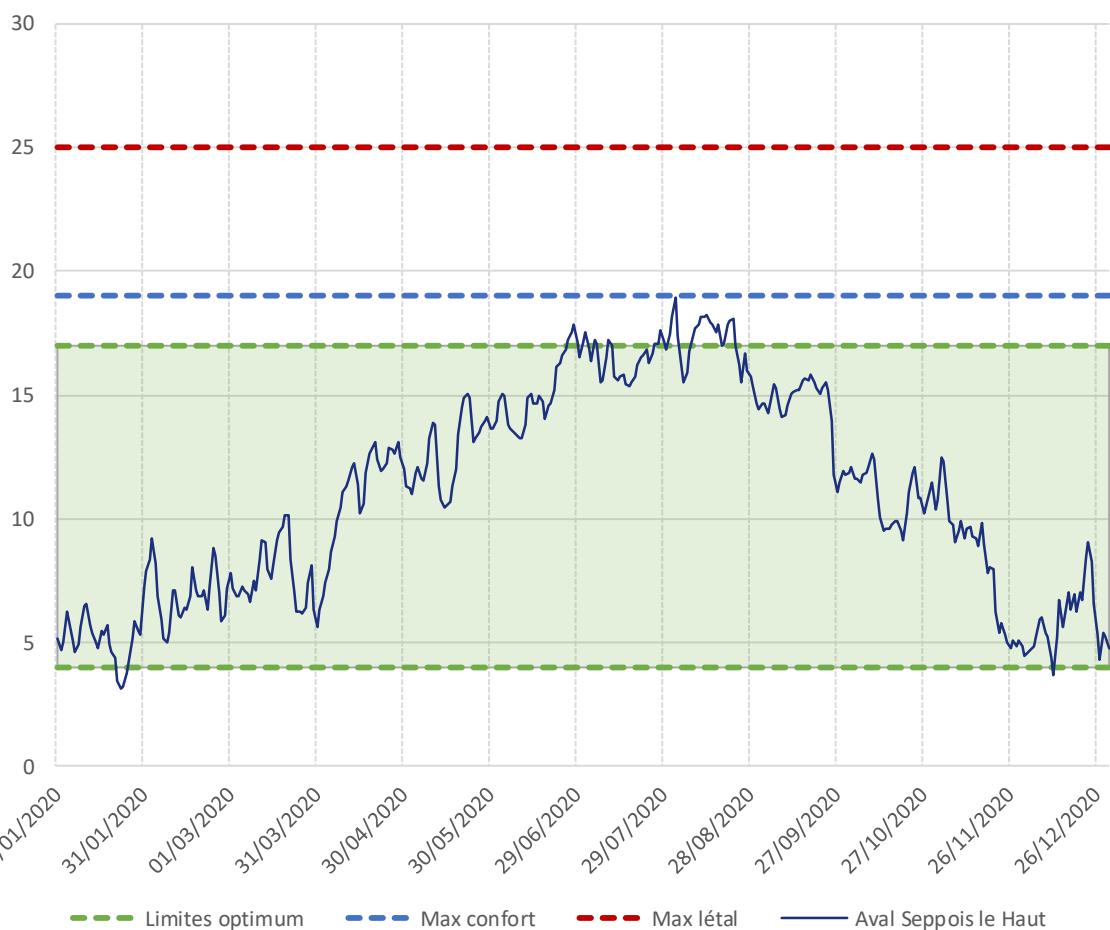
Lague - Amont Seppois le Haut - LG06



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Largue - Aval Seppois le Haut - LG07

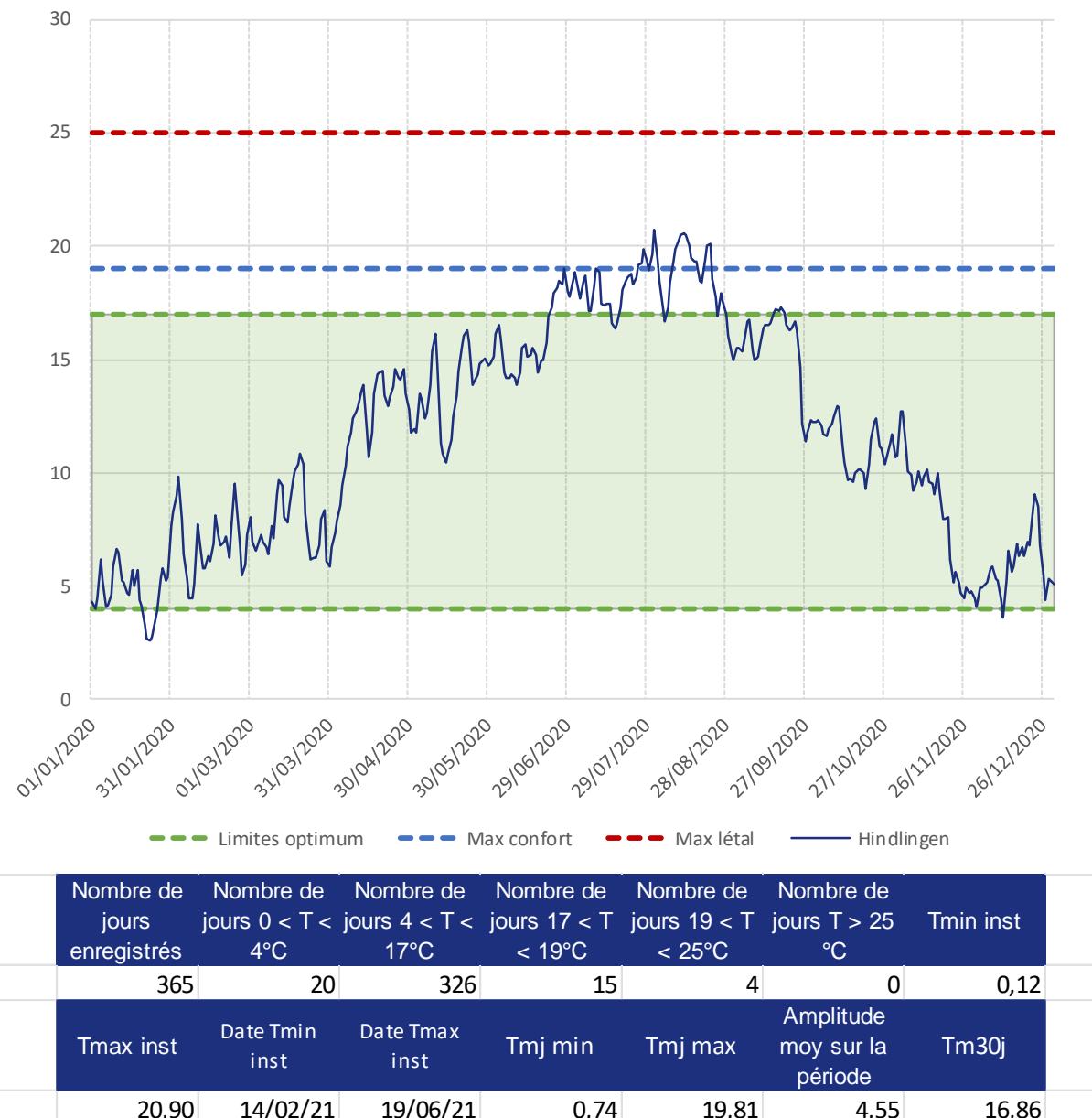


	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
	365	21	336	8	0	0	0	0,45
Tmax inst		Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période		Tm30j
	19,28	14/02/21	19/06/21	1,07	18,29	3,28		16,14

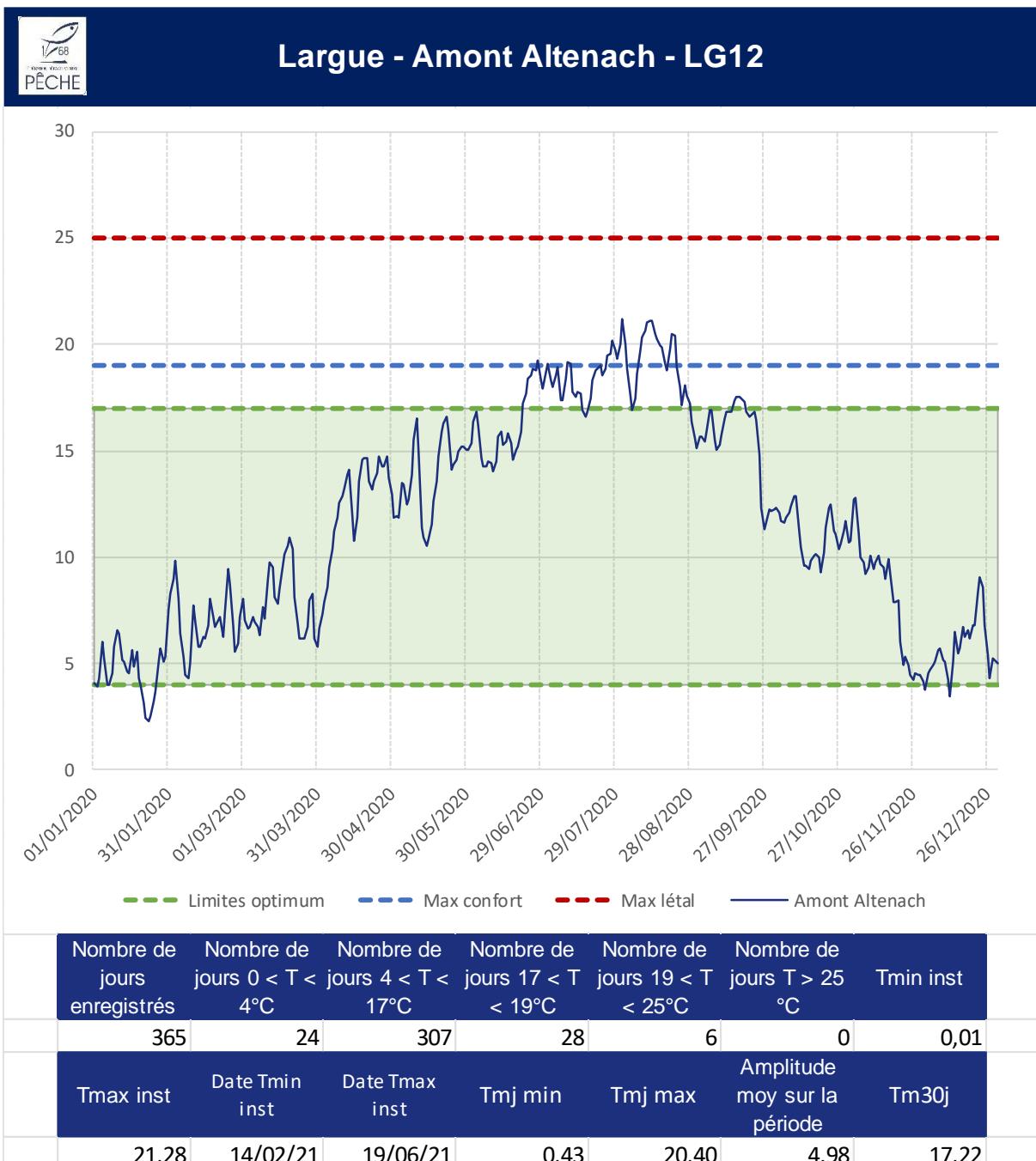
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Largue - Hindlingen - LG11



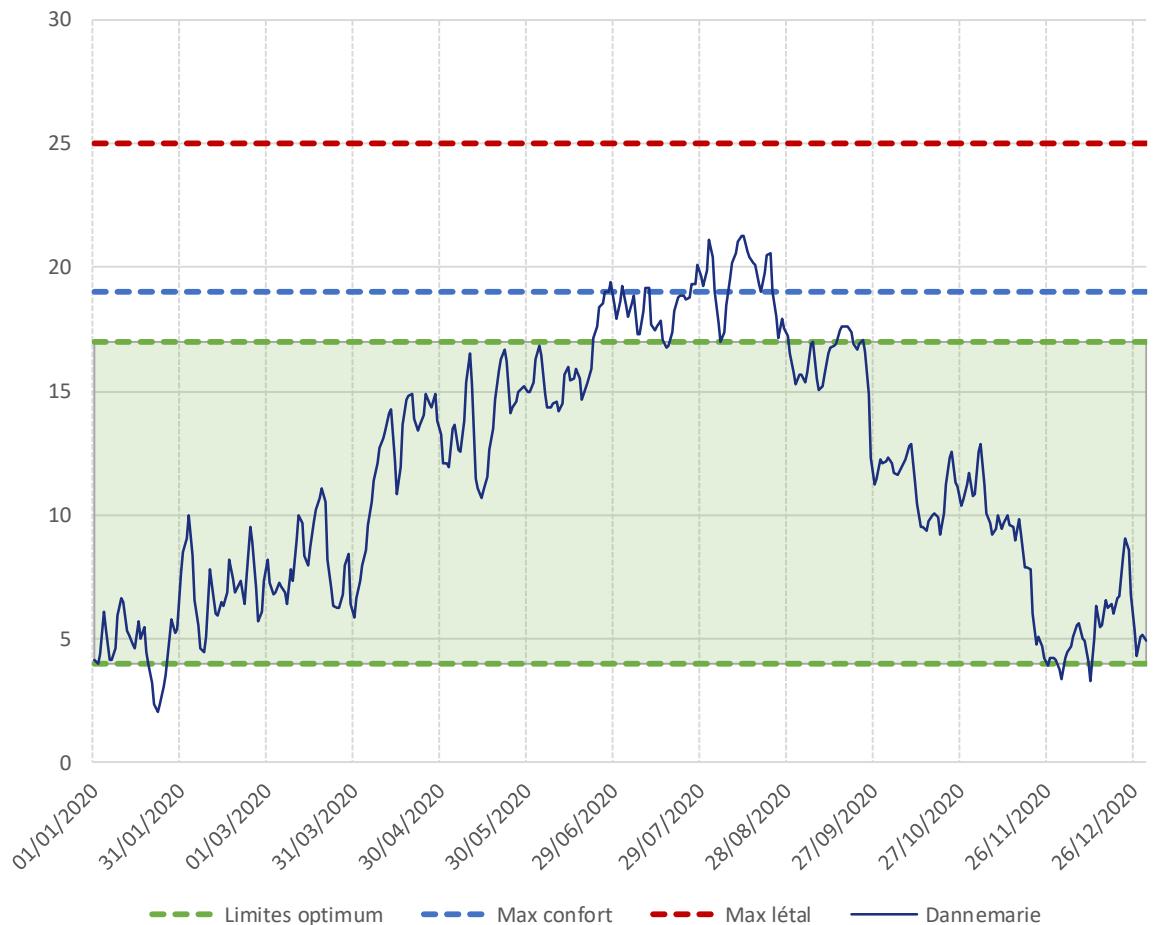
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

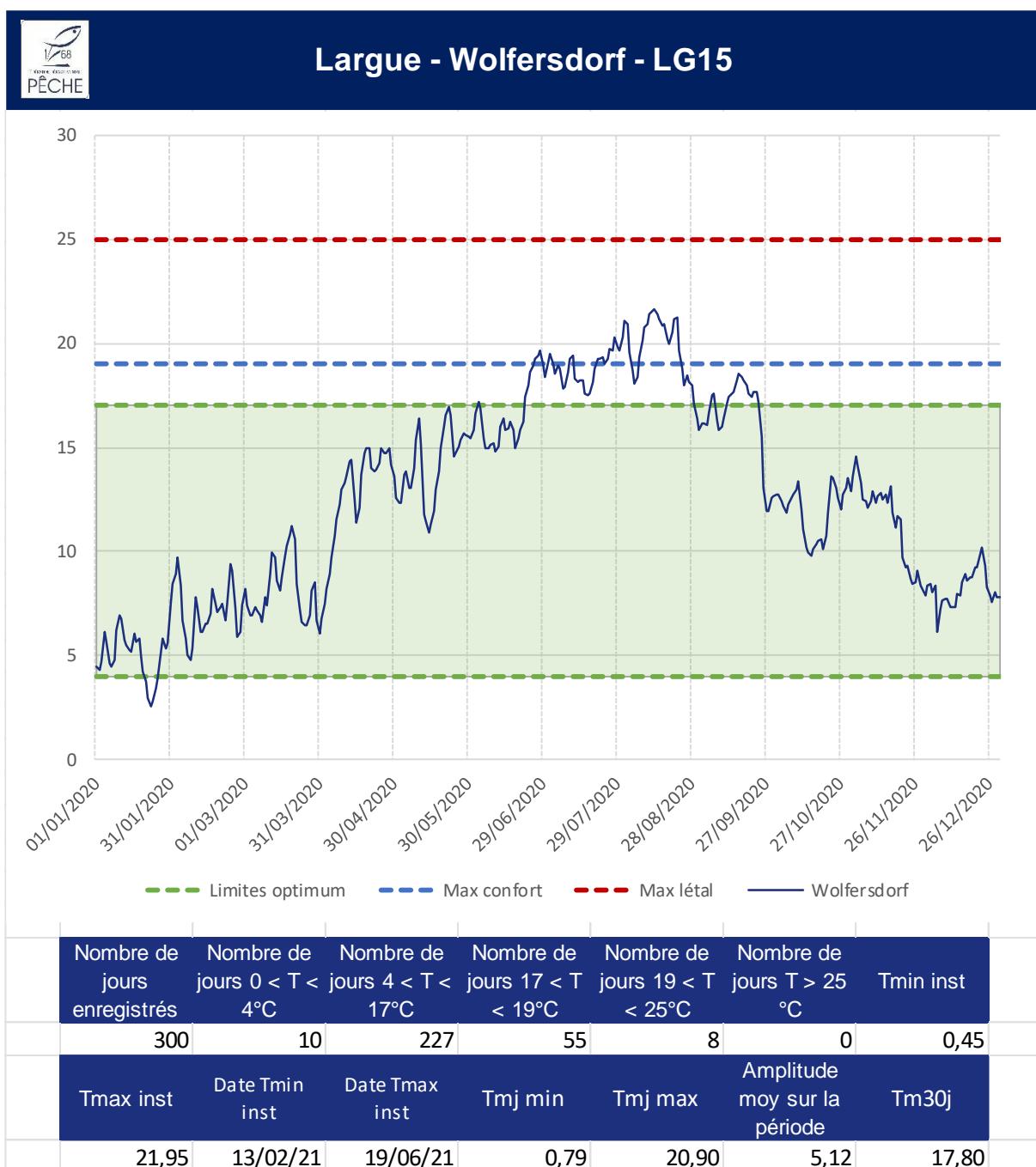


Largue - Dannemarie - LG14



	Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
	365	28	294	36	7	0	0,01
	Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
	21,57	13/02/21	19/06/21	0,31	20,73	5,24	17,42

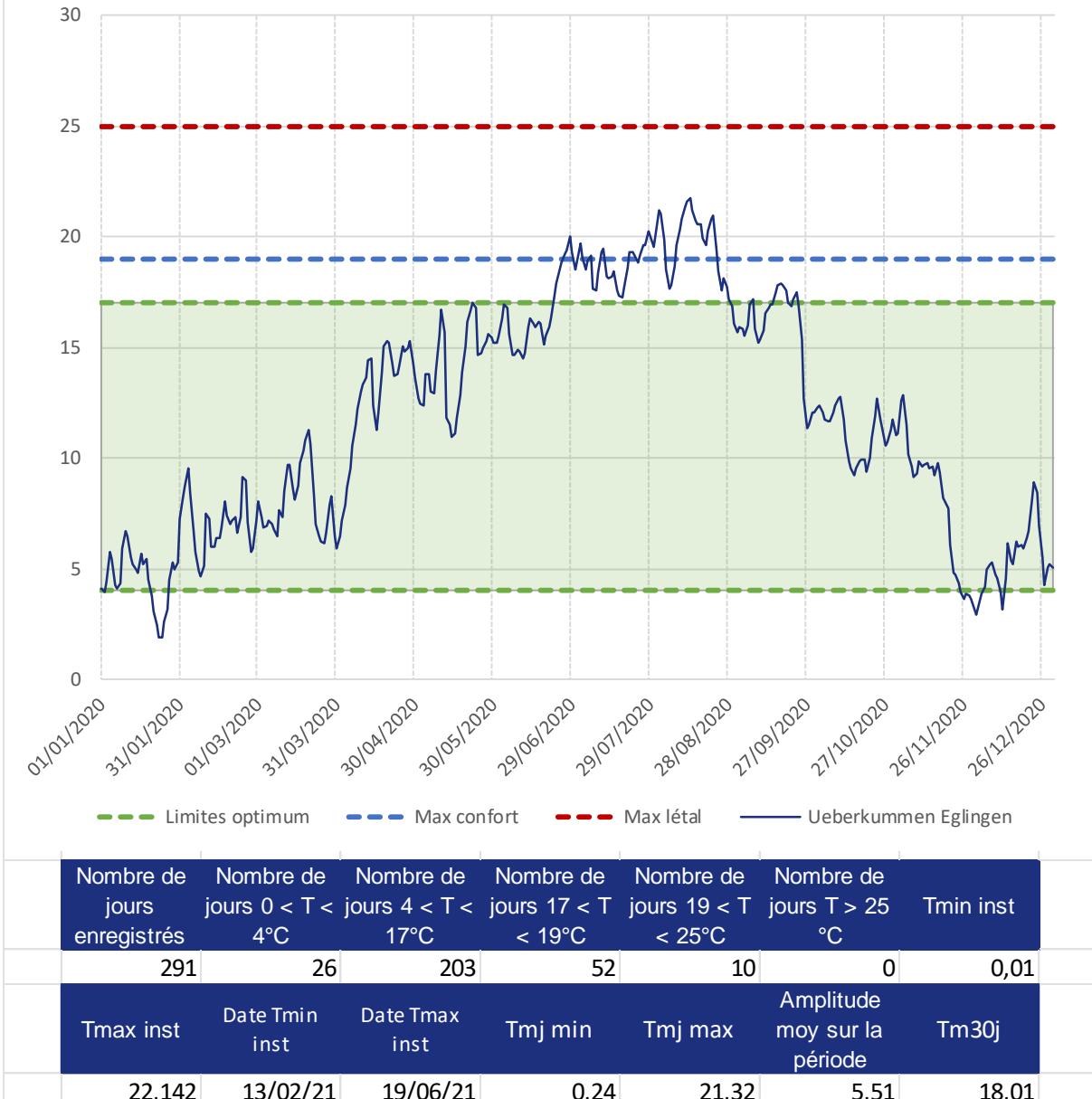
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



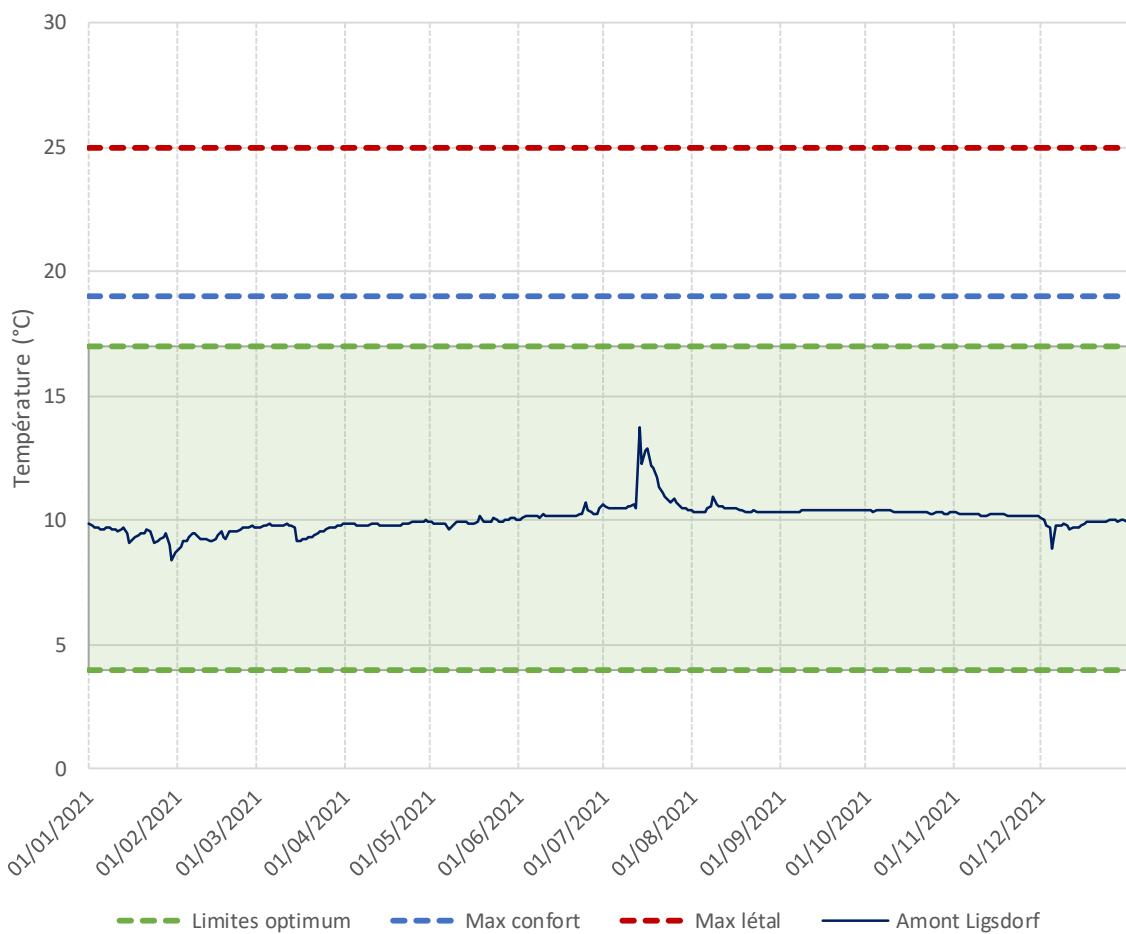
Lague - Eglingen - LG16



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



III - Amont Ligsdorf - I01

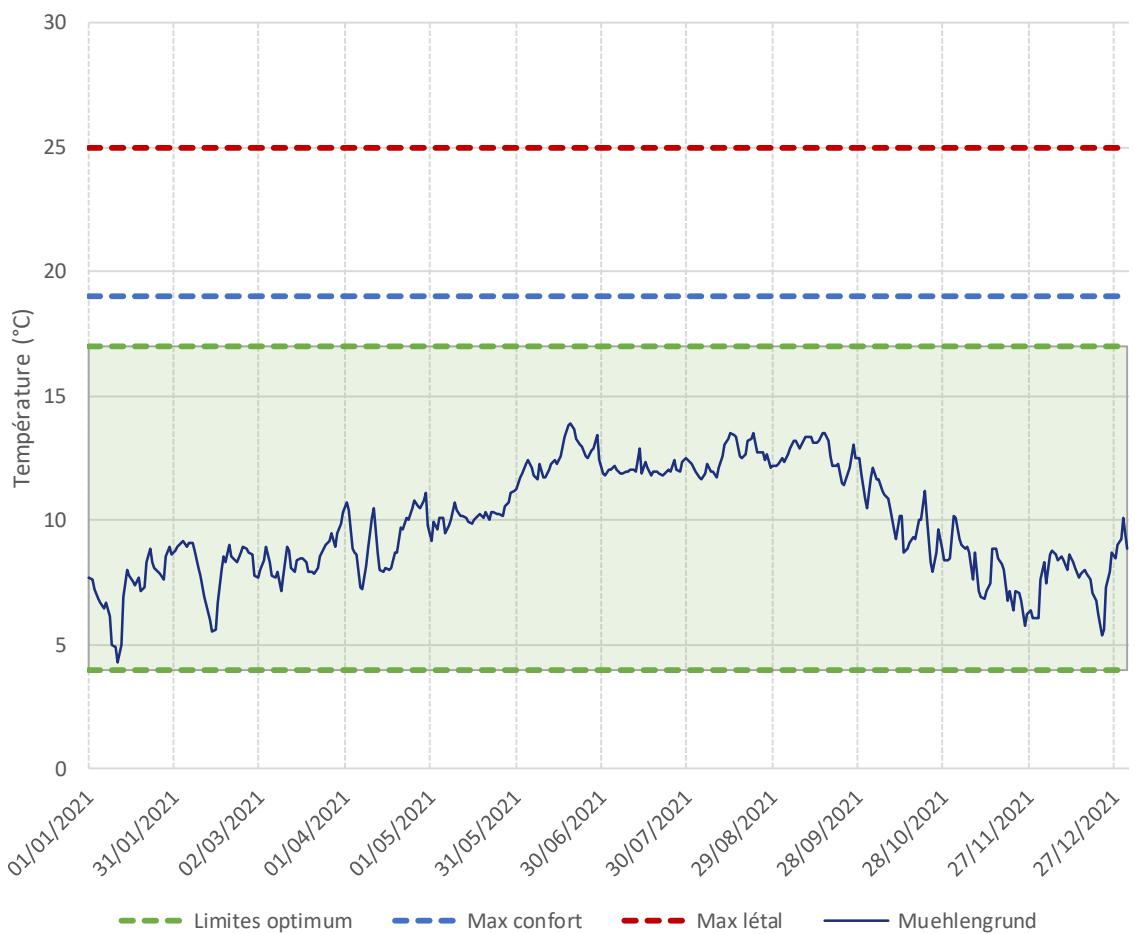


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
365	0	365	0	0	0	7,38
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
14,71	04/12/21	13/07/21	8,36	13,72	3,26	11,09

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

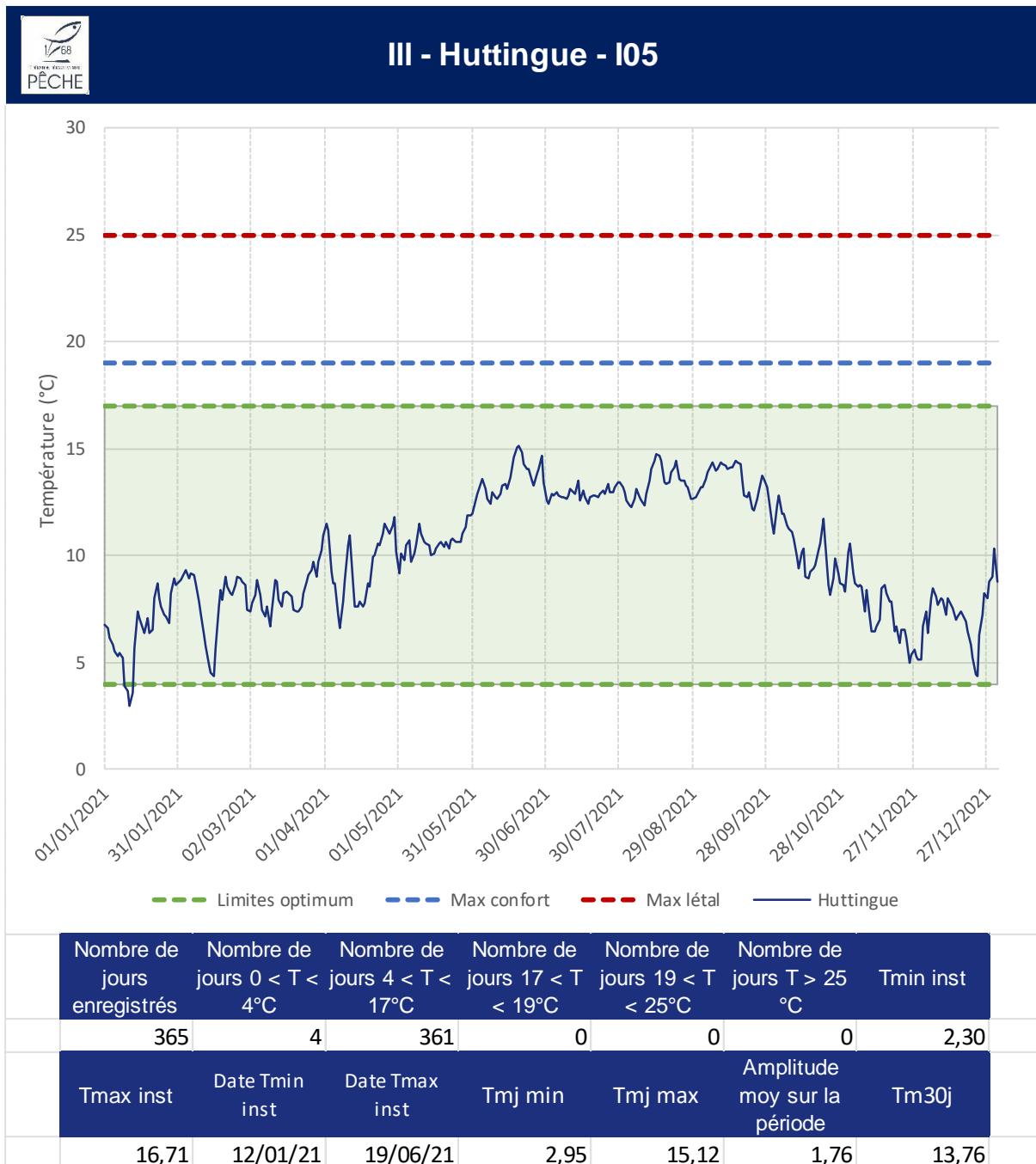


III - Meuhlengrund - I03



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
365	0	365	0	0	0	3,89
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
15,76	11/01/21	19/06/21	4,26	13,92	1,39	16,4

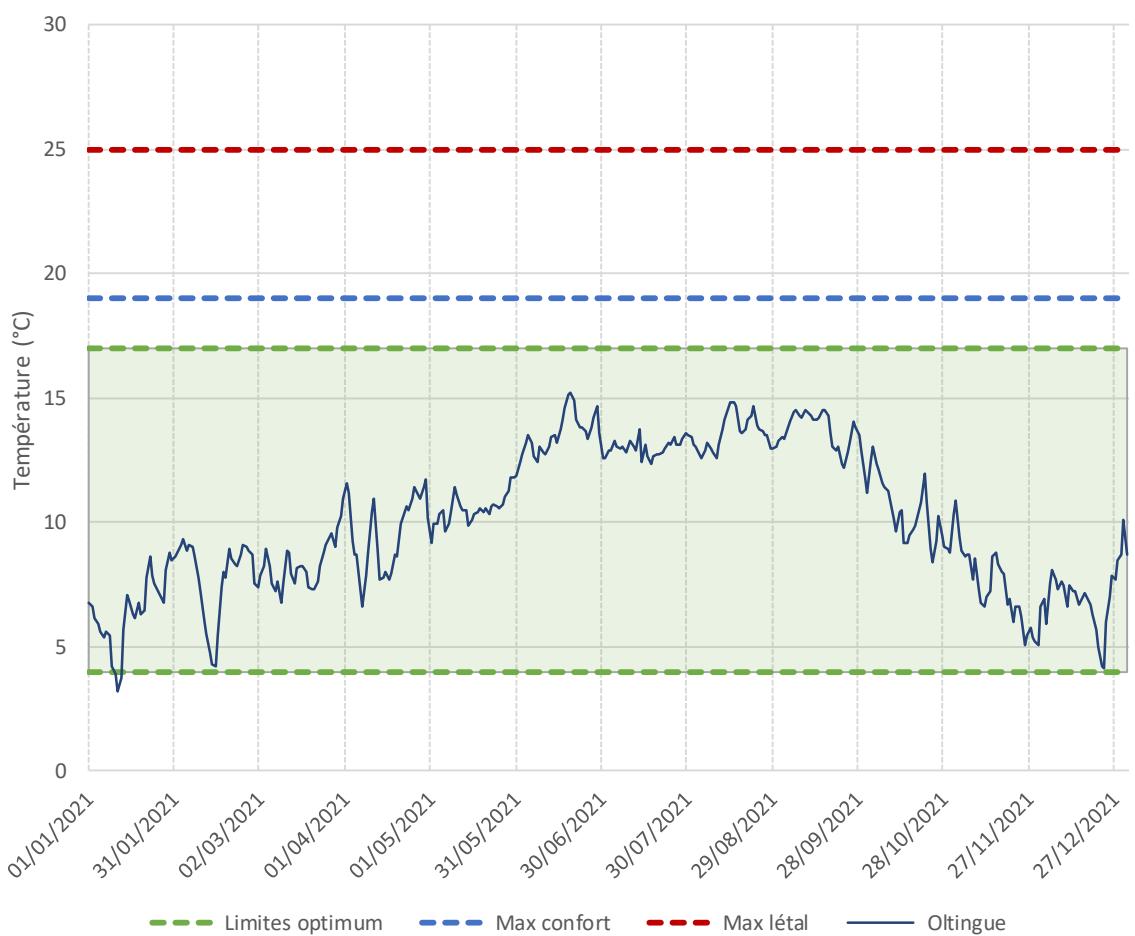
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



III - Oltingue - I07

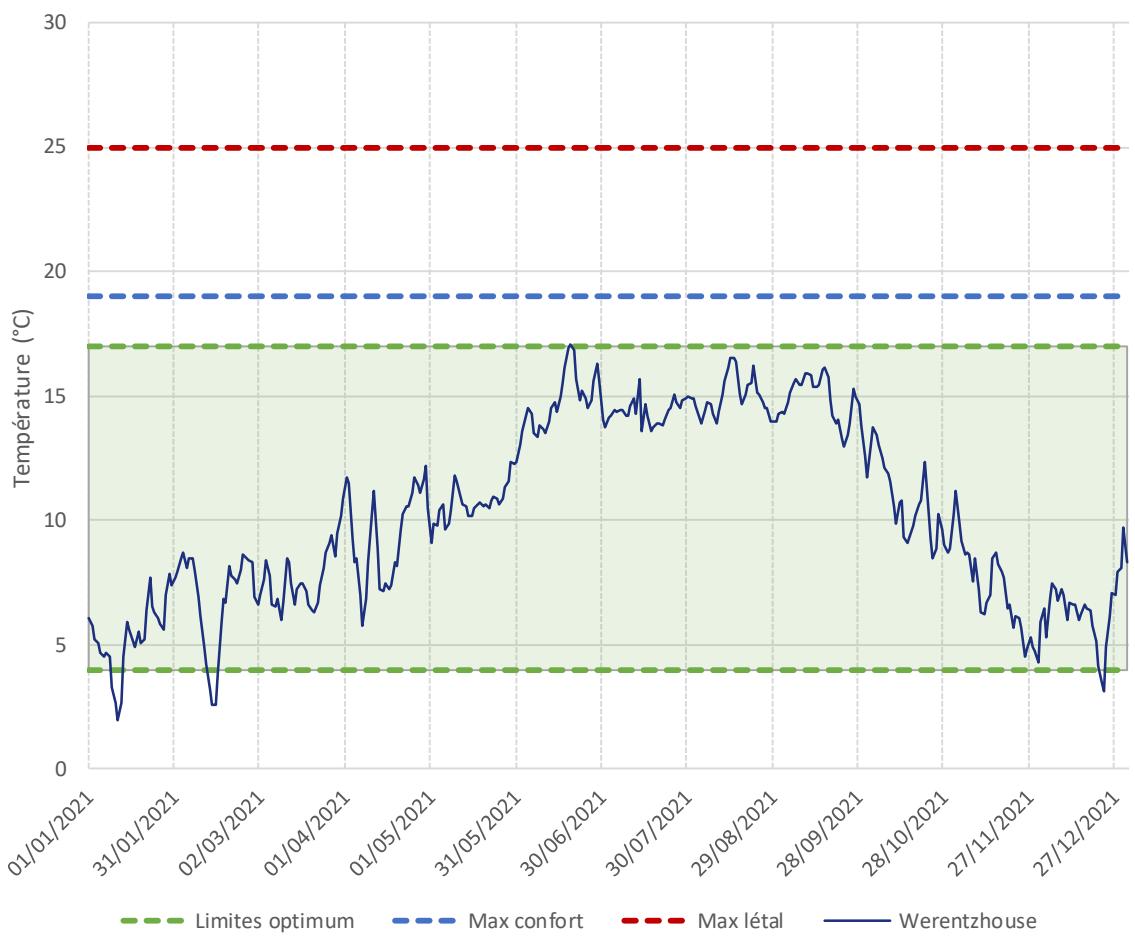


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
365	3	362	0	0	0	2,73
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
16,62	14/02/21	19/06/21	3,17	15,24	1,86	13,97

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

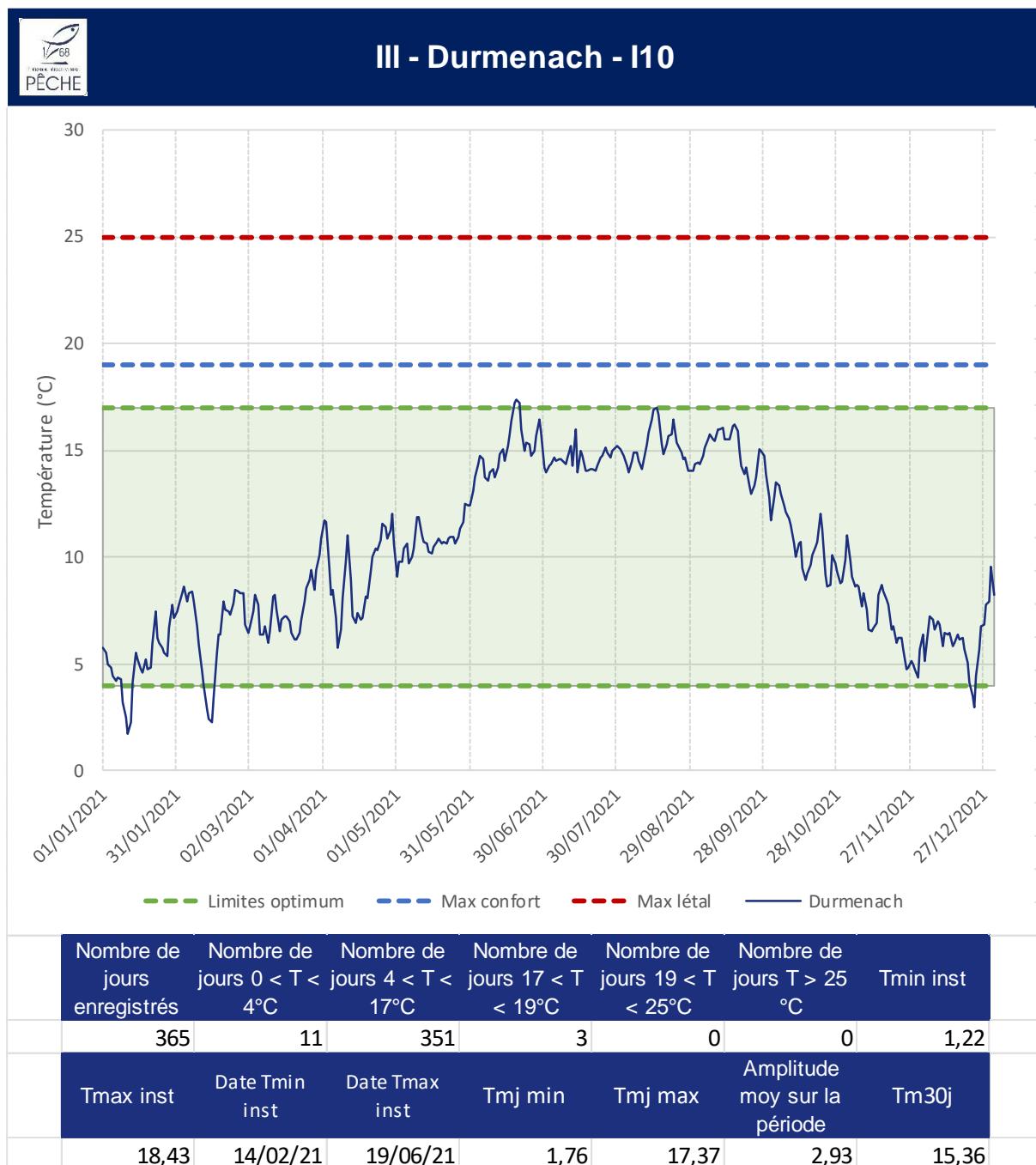


III - Werentzhouse - I09



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	10	354	1	0	0	1,44
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
18,33	14/02/21	19/06/21	2,01	17,09	2,63	15,21

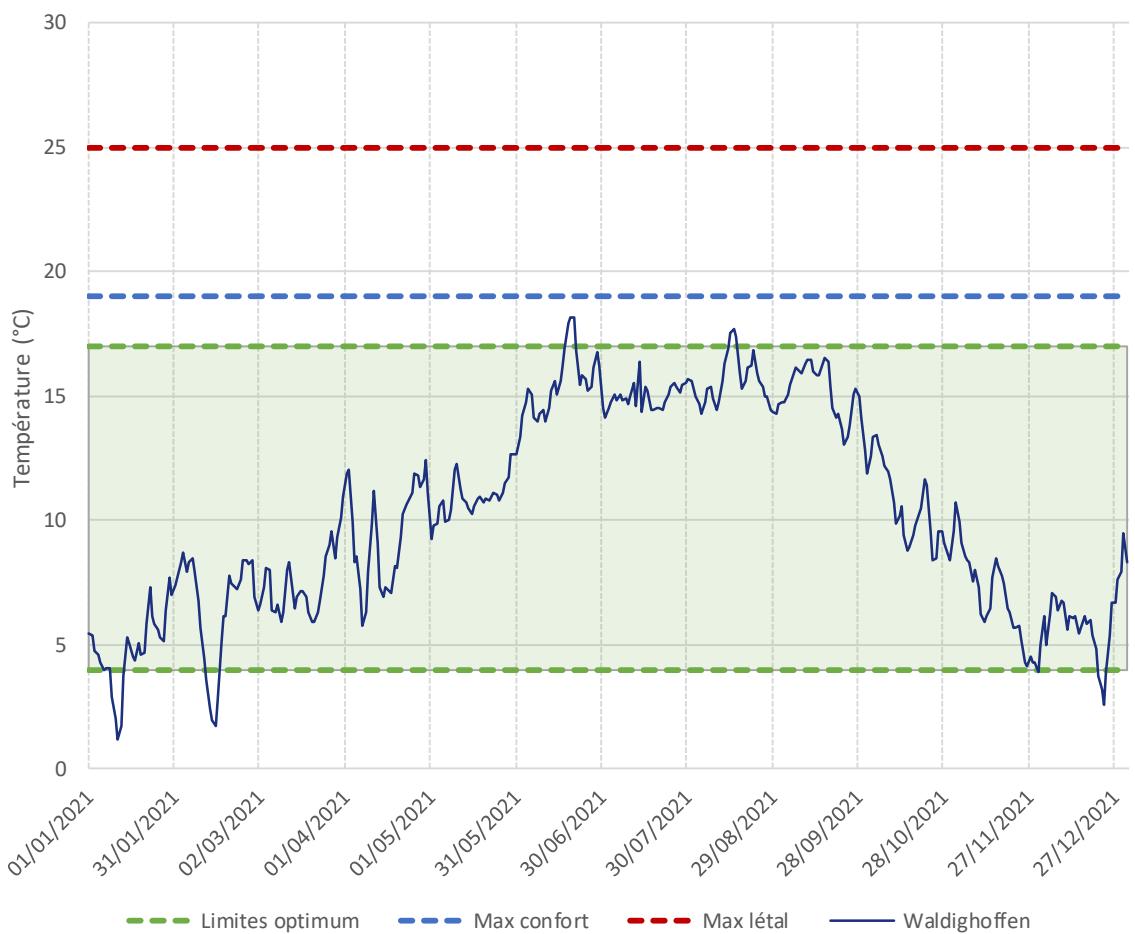
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



III - Waldghoffen - I12

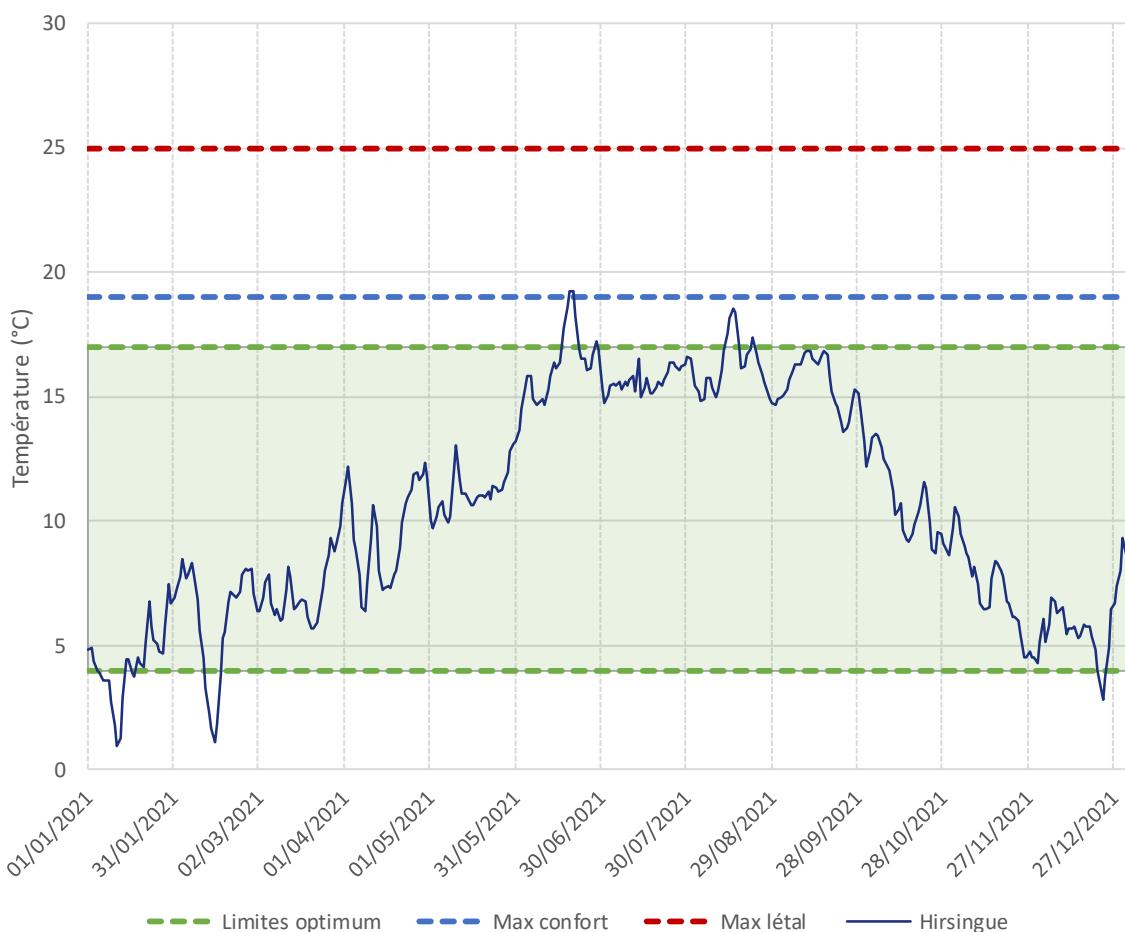


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Nombre de Tmin inst
365	16	343	6	0	0	0,78
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
18,62	11/01/21	19/06/21	1,21	18,13	3,41	15,77

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



III - Hirsingue- I15

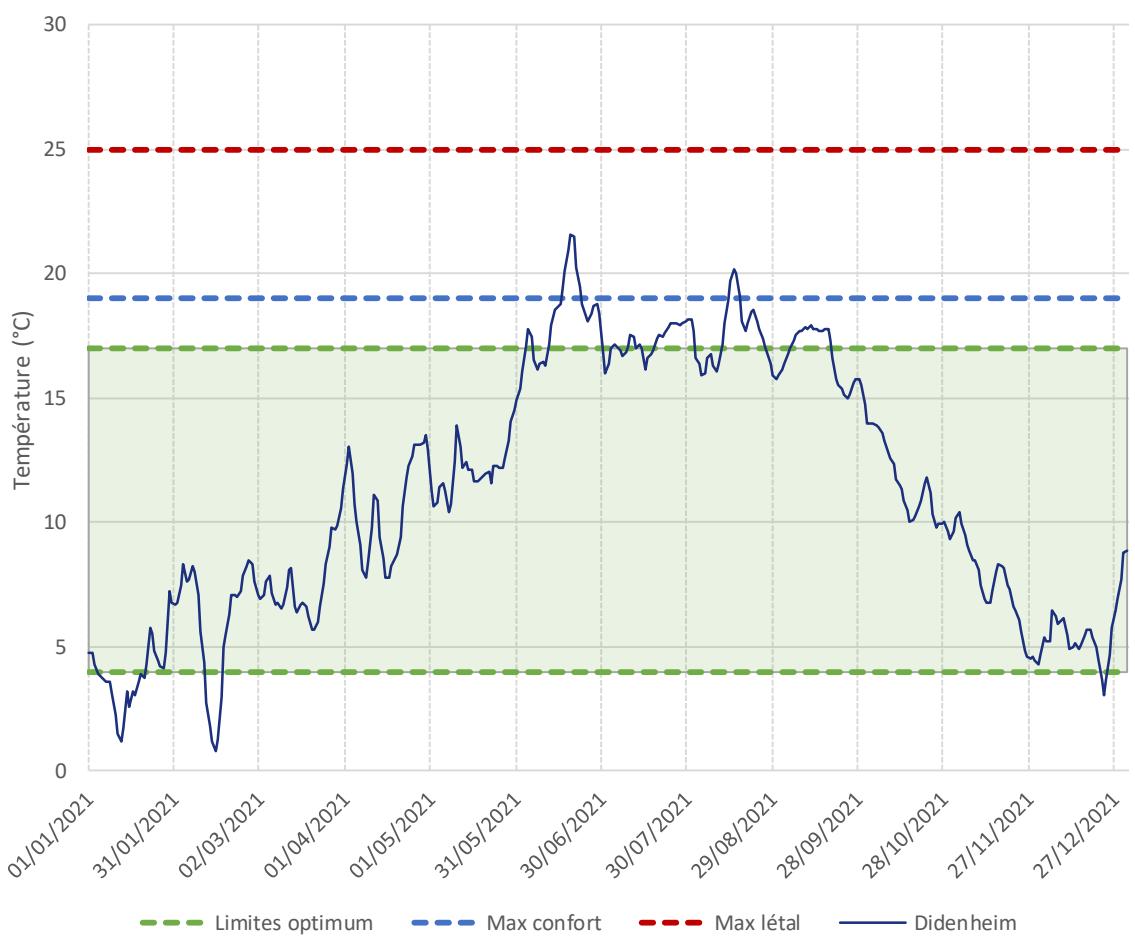


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	21	331	11	2	0	0,56	
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j	
19,85	14/02/21	19/06/21	0,97	19,28	4,53	16,43	

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

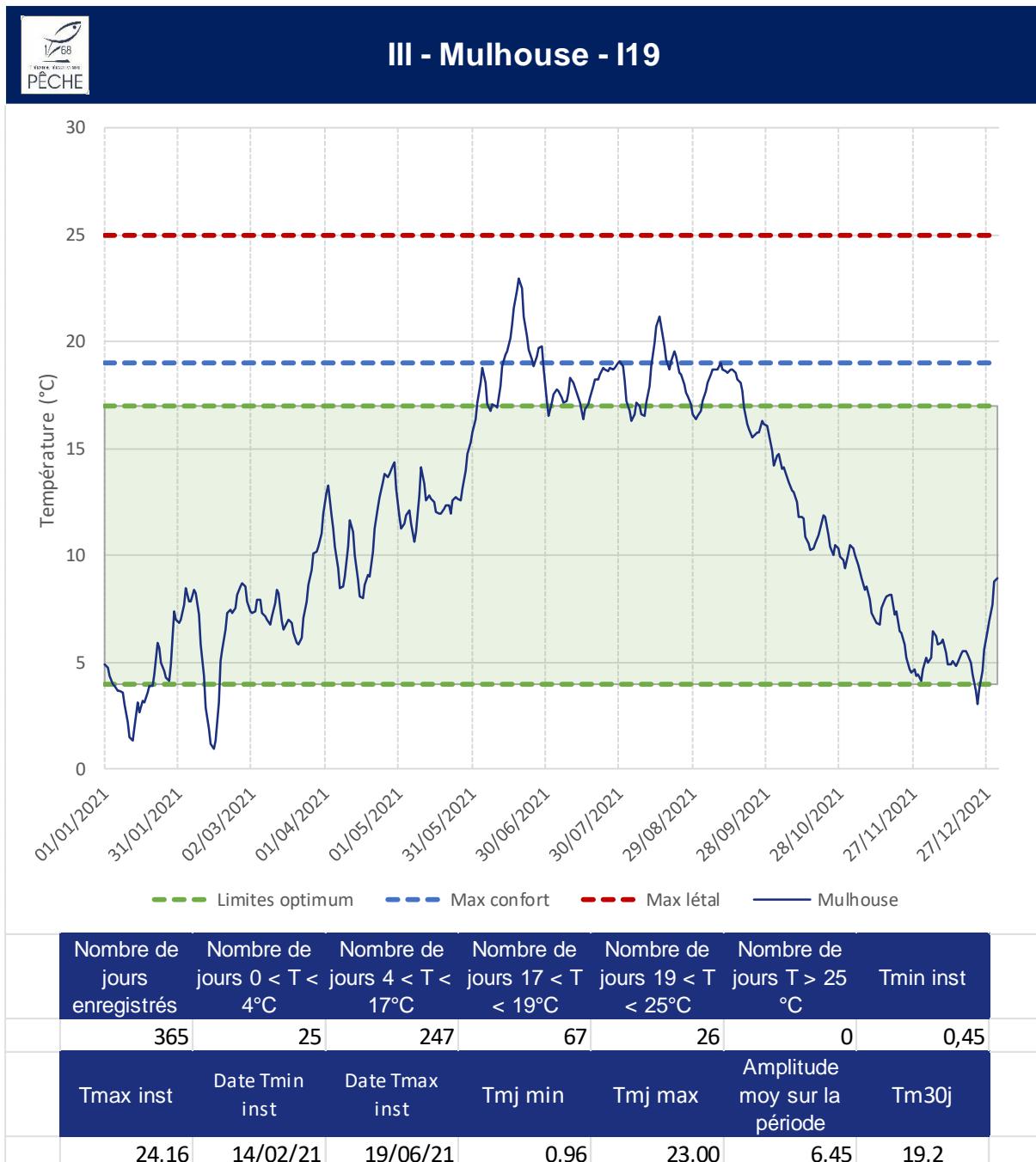


III - Didenheim- I20



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours $0 < T < 4^\circ\text{C}$	Nombre de jours $4 < T < 17^\circ\text{C}$	Nombre de jours $17 < T < 19^\circ\text{C}$	Nombre de jours $19 < T < 25^\circ\text{C}$	Nombre de jours $T > 25^\circ\text{C}$	Tmin inst
365	26	266	62	11	0	0,56
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
22,72	14/02/21	19/06/21	0,82	21,56	5,56	18,32

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



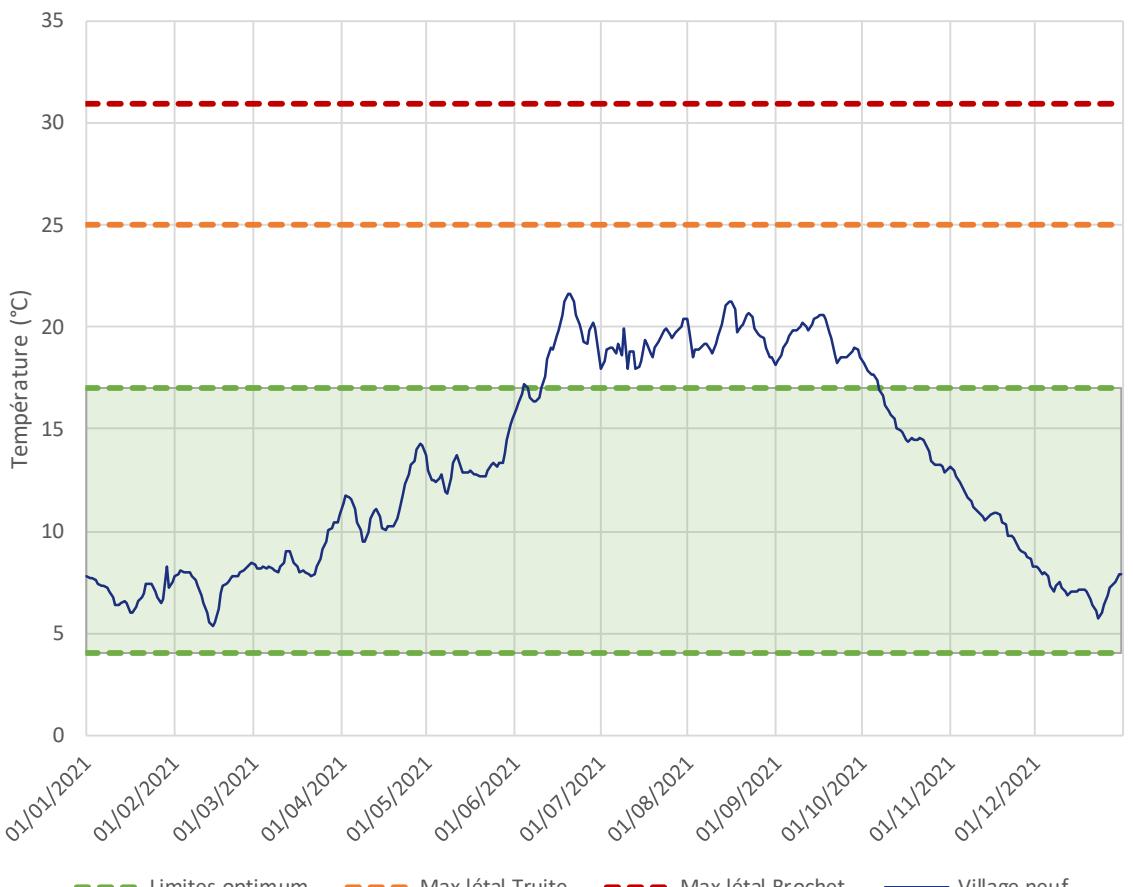
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

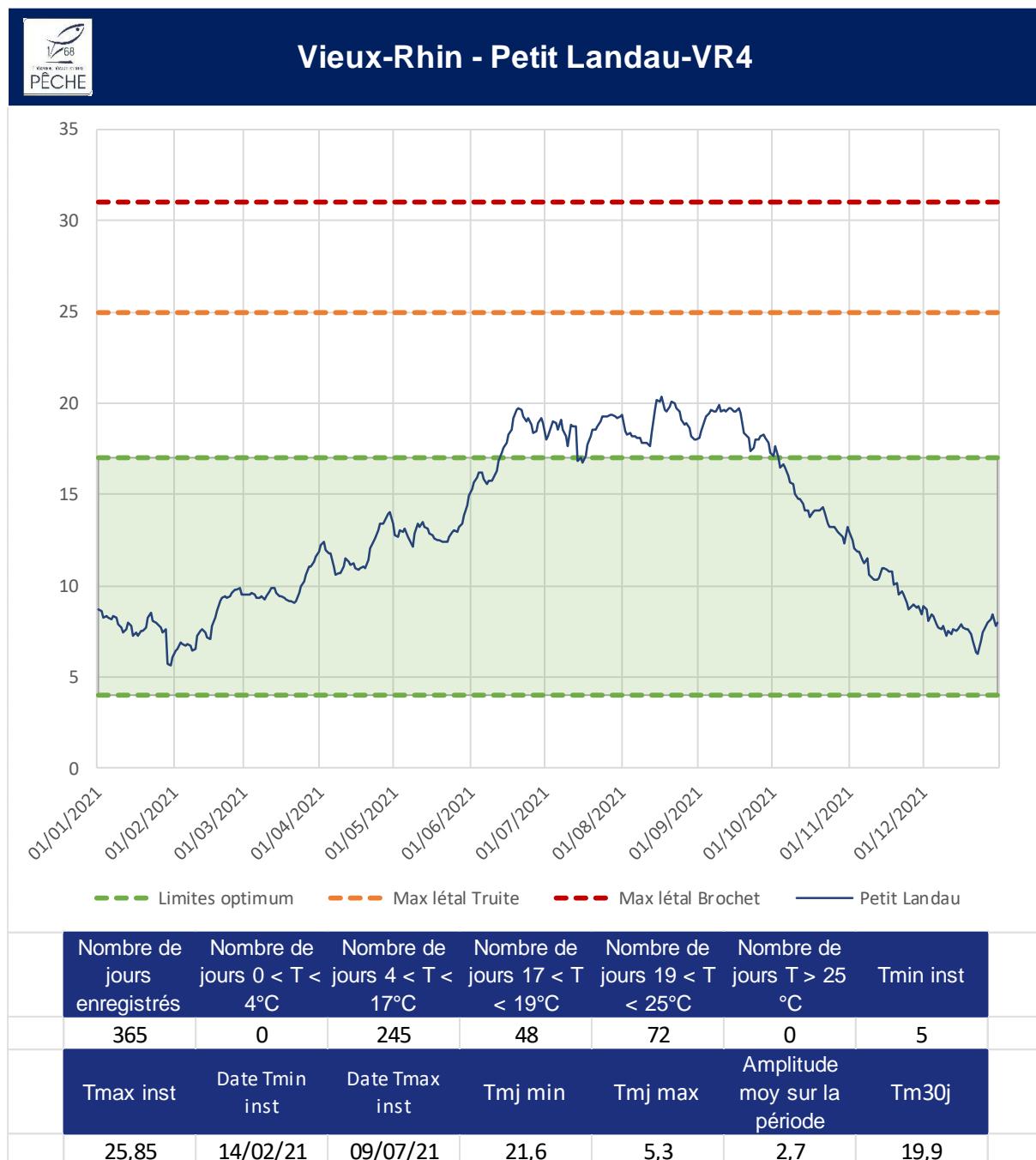


Vieux-Rhin - Village-Neuf -VR1



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25 °C	Tmin inst
365	0	245	48	72	0	5
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
25,85	14/02/21	09/07/21	21,6	5,3	2,7	19,9

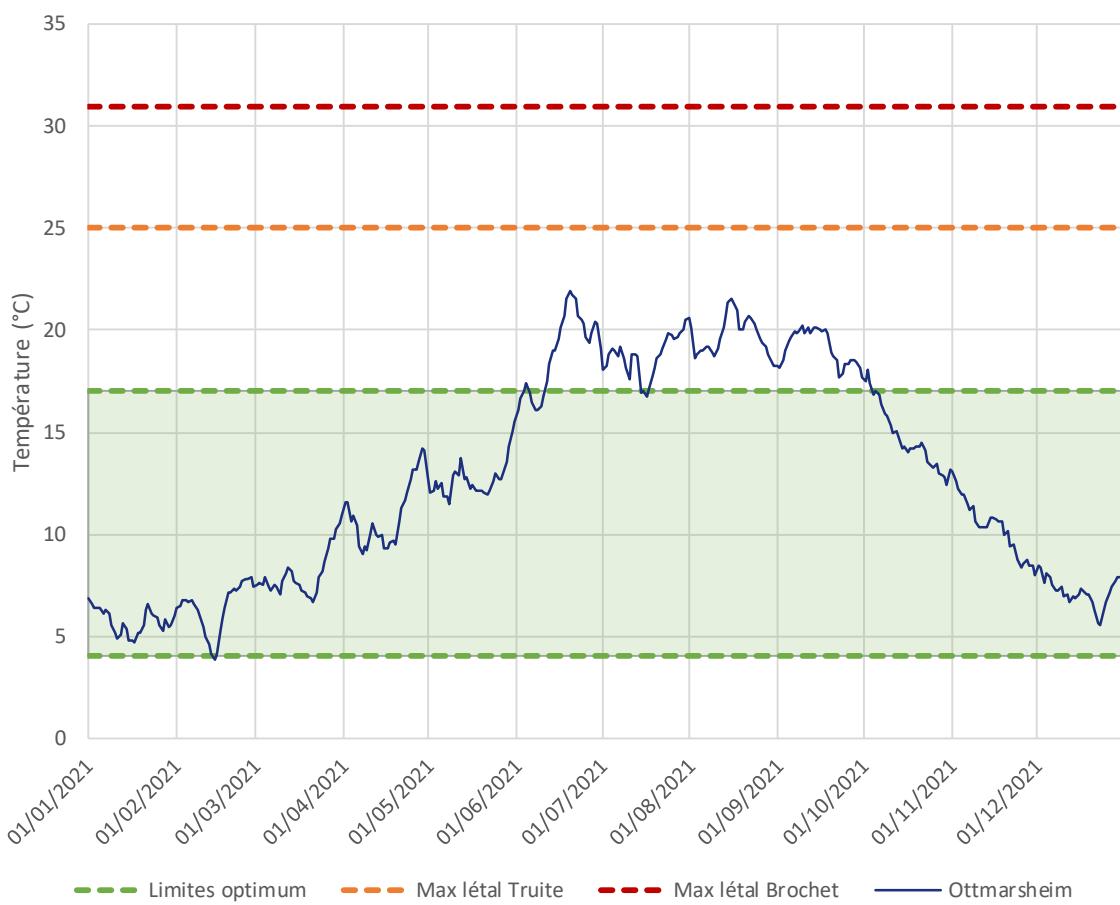
Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Vieux-Rhin - Ottmarsheim -VR2

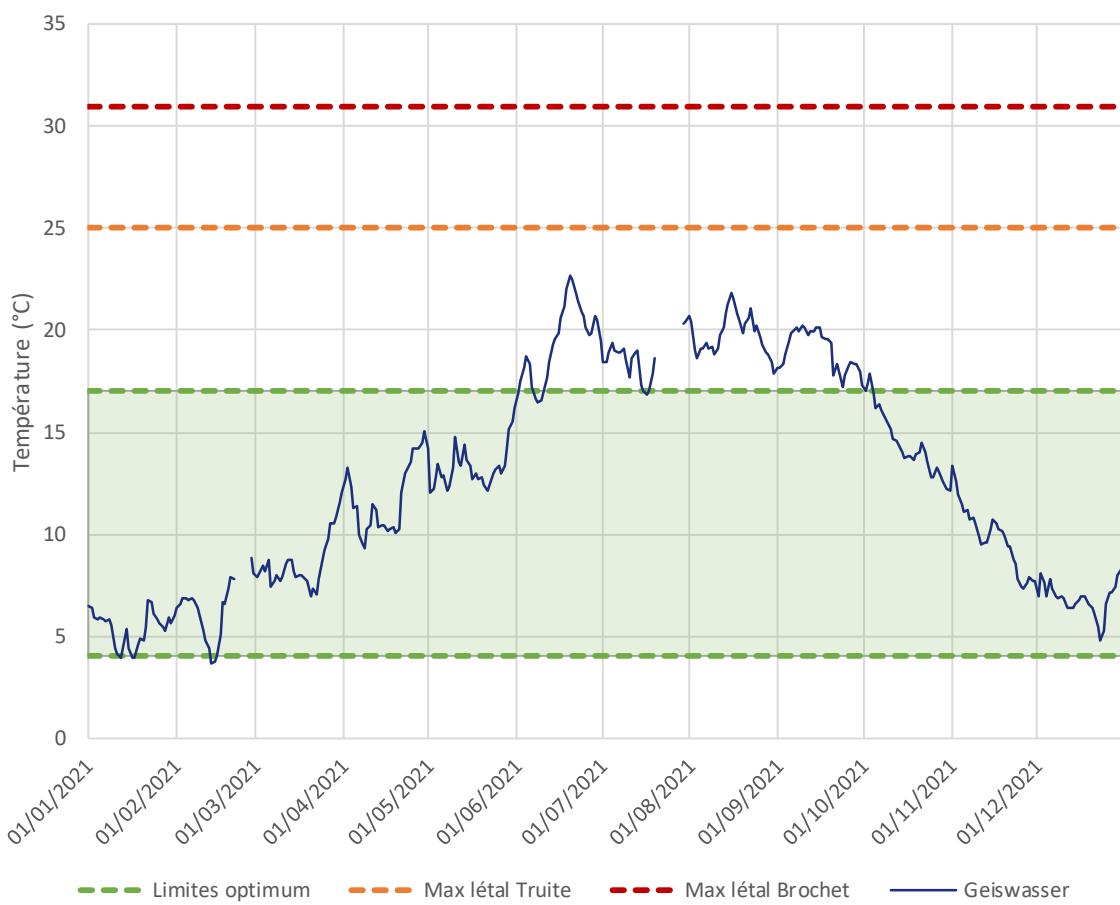


Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25°C	Tmin inst
365	1	249	48	67	0	3,16
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
23,2	14/02/21	19/06/21	21,92	3,83	2,9	20,0

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021



Vieux-Rhin - Geiswasser -VR3



Nombre de jours enregistrés	Nombre de jours 0 < T < 4°C	Nombre de jours 4 < T < 17°C	Nombre de jours 17 < T < 19°C	Nombre de jours 19 < T < 25°C	Nombre de jours T > 25°C	Tmin inst
351	5	237	45	64	0	3,37
Tmax inst	Date Tmin inst	Date Tmax inst	Tmj min	Tmj max	Amplitude moy sur la période	Tm30j
23,58	13/02/21	19/06/21	22,7	3,7	3,1	20,1

Suivi thermique des eaux du département du Haut-Rhin : 2021

