



**Suivi thermique estival des rivières
du bassin versant de la Celle (71)
Eté 2019**



Fédération de Saône et Loire pour la Pêche et la Protection du milieu Aquatique



Rédaction : Rémy CHASSGNOL (FDPPMA 71)
Décembre 2019

SOMMAIRE

Liste des figures.....	1
Liste des tableaux.....	2
Liste photographie	2
INTRODUCTION	3
OBJET DE L'ETUDE.....	4
1 Le réchauffement climatique et ses conséquences	4
2 Un suivi à vocation opérationnelle	5
3 Le bassin versant de la Celle, un écosystème aquatique d'eau froide	6
4 La température, élément prépondérant pour les poissons et tout particulièrement pour la truite commune	8
PROTOCOLE DU SUIVI	9
1 Principe.....	9
2 Les stations du suivi thermique	9
3 Analyse des variables météorologiques et hydrologiques.....	12
4 Analyse des données thermiques.....	13
RESULTATS.....	14
1 Caractéristiques hydrologiques et météorologiques de l'été 2019	14
1.1 Caractéristiques hydrologiques.....	14
1.2 Caractéristiques météorologiques	16
2 Caractéristiques du métabolisme thermique de la Celle et de ses affluents	18
2.1 Des secteurs où les eaux se réchauffent fortement.....	19
2.1.1 Le Corterin	19
2.1.2 Le Grand Vernet en aval de Cussy en Morvan	21
2.1.3 La Chaloire	23
2.1.4 La Celle.....	24
2.2 Des secteurs qui restent frais.....	24
2.2.1 Le bassin de la Corcelière.....	24
2.2.2 Les têtes de bassin du Grand Vernet	26
2.2.3 Les têtes de bassin de la Canche.....	27
2.3 Valeur de référence pour la truite commune, la Tm 30j max.....	28
PRESSIONS ET SOLUTIONS	33
CONCLUSION	36

ANNEXES	37
Références.....	38

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Celle au sein du département de Saône-et-Loire	6
Figure 2 : Carte du réseau hydrographique du bassin de la Celle	7
Figure 3 : Carte des stations de mesure thermique.....	11
Figure 4 : Valeurs et anomalie de température observées à l'échelle nationale sur le trimestre estival en France (source meteo-paris.com)	17
Figure 5 : Pourcentage de jour où la température moyenne journalière est supérieure à 19°C (Tmj>19°C).....	20
Figure 6 : Evolution de la température moyenne journalière sur les stations MAL1141 et MAL4246.	25
Figure 7 : Evolution de la température moyenne journalière sur les stations CAN5387 (amont barrage) et CAN6063 (aval barrage).	27
Figure 8 : Evolution des densités de truite en relation avec la moyenne des températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds	29
Figure 9 : Carte des conditions de développement d'une population de truite commune selon la moyenne des températures moyennes des trente jours consécutifs les plus chauds (Tm30jmax).	32
Figure 10 : Profils thermiques longitudinaux de la Canche depuis l'amont immédiat du barrage de la Canche jusqu'à sa confluence avec la Celle	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des stations du suivi thermique estival de la Celle et de ses affluents.....	10
Tableau 5 : Elément de thermie générale.....	18
Tableau 6 : Dépassement du seuil des 19°C (Seuil de stress physiologique de la truite commune) sur les rivières du bassin de la Celle – été 2019.....	21
Tableau 7 : Dépassement du seuil des 25°C (Seuil létal de la truite commune) sur les rivières du bassin de la Celle – été 2019.	22
Tableau 8 : Moyennes des températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30j max) sur la Méchet et ses affluents- Début et fin de période.	29
Tableau 9 : Condition de développement d’une population de truite commune selon la moyenne des températures moyennes des trente jours consécutifs les plus chauds (Tm30jmax).	30

Liste des photographies

Photographie 1 : Truite commune, une espèce sténotherme d’eau froide	4
Photographie 2 : Sonde de mesure de la température et sa base de transfert (USB).....	9
Photographie 3 : Débit très faible de la Celle sur la station la plus aval (CEL22256 – 19-10-2019)	14
Photographie 4 : Assèchement partiel du Corterin sur la station (COR6272- 19-10-2019)..	15
Photographie 5 : Paysage de prairie asséchée sur le bassin voisin du Méchet (19_10_2019)	15
Photographie 6 : Assèchement total du Corterin sur la station (COR2896 – 19-10-2019) ...	16

INTRODUCTION

La Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique participe activement avec le **Syndicat INtercommunal d'Etudes et d'Aménagement de l'Arroux** et de son bassin versant et le Parc Naturel Régional du Morvan à l'étude et la restauration des ruisseaux et rivières de 1^{ère} catégorie.

Parmi toutes les altérations qui affectent la qualité écologique des rivières du Morvan, l'altération du métabolisme thermique des cours d'eau peut être une des problématiques importantes au bon déroulement du cycle écologique de certaines espèces de poissons telles que la truite commune et certaines de ses espèces accompagnatrices (chabot, lamproie de planer,...).

Dans ce contexte, la Fédération de Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a lancé dans le courant de l'été 2019 un suivi de la température des cours d'eau du bassin versant de la Celle.

Des sondes de mesure de température ont ainsi été disposées sur la Celle et ses principaux affluents afin d'estimer si le métabolisme thermique estival des ruisseaux et rivières du bassin pouvait être limitant pour le développement des populations de truite commune et plus largement pour la faune piscicole.

Dans un contexte de réchauffement climatique, de répétition des épisodes caniculaires et d'amplification des sécheresses, les suivis thermiques estivaux des rivières permettent de mieux appréhender les modifications des régimes thermiques des milieux aquatiques et les conséquences qui en découleront pour les espèces piscicoles. Ils peuvent aussi permettre d'anticiper en prévoyant quelques actions de restauration ou de gestion qui pourraient permettre de limiter le réchauffement des eaux.

OBJET DE L'ETUDE

1 LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET SES CONSEQUENCES

Le réchauffement climatique est aujourd'hui avéré par de très nombreux scientifiques.

Le climat du globe a toujours fluctué au cours du temps sous l'influence directe et indirecte de différents phénomènes. Toutefois, les activités anthropiques responsables d'émission de gaz à effet de serre (GES et d'aérosols), ont engendré des modifications climatiques incontestables depuis la fin du XIXe siècle aboutissant à une augmentation de la température de l'air, du niveau moyen des océans mais également à une réduction des surfaces enneigées ou des calottes glaciaires. En France métropolitaine, l'analyse de données rétrospectives a permis d'estimer à environ 1°C l'augmentation moyenne de la température de l'air et à 1,6°C celle de la température de l'eau au cours du XXe siècle (*Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et piste pour l'adaptation – ONEMA 2014*).

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

Ce réchauffement climatique ne sera pas sans incidence sur la ressource en eau avec très certainement une nette tendance à la diminution des quantités et un réchauffement non négligeable des eaux de surfaces (pour ne citer que quelques évolutions...).

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

Les poissons, organismes indicateurs de qualité des cours d'eau figurent parmi les espèces les plus concernées par le changement climatique.



Photographie 1 :Truite commune, une espèce sténotherme d'eau froide

2 UN SUIVI A VOCATION OPERATIONNELLE

Dans le cadre du Contrat Territorial Arroux (Avenant n°1 2017-2019), des études ont été programmées afin de mieux comprendre le fonctionnement des milieux aquatiques, de mieux appréhender leurs qualités et d'être force de proposition pour des opérations de restauration.

Le suivi thermique des rivières du bassin de la Celle vient pleinement s'inscrire dans le cadre évoqué ci-dessus.

Ce suivi, décrit dans la fiche action C11c4 de l'avenant du Contrat territorial Arroux doit apporter des connaissances :

- sur le métabolisme thermique des rivières du bassin de la Celle,
- sur l'état de réchauffement des rivières du bassin de la Celle,
- pour orienter les actions en faveur de plantations ou de restaurations des ripisylves des rivières (la végétation rivulaire limite l'impact du réchauffement),
- et pour mesurer l'impact thermique des étangs présents sur le bassin (en lien avec l'inventaire des étangs menés par le parc naturel du Morvan).

3 LE BASSIN VERSANT DE LA CELLE, UN ECOSYSTEME AQUATIQUE D'EAU FROIDE

La Celle est une rivière morvandelle qui prend sa source sur la commune de Cussy-en-Morvan à 675 m d'altitude et qui se jette dans l'Arroux à Monthelon après un parcours total de 27,7 km. Son bassin versant de 153,9 km² culmine à 768 m d'altitude.

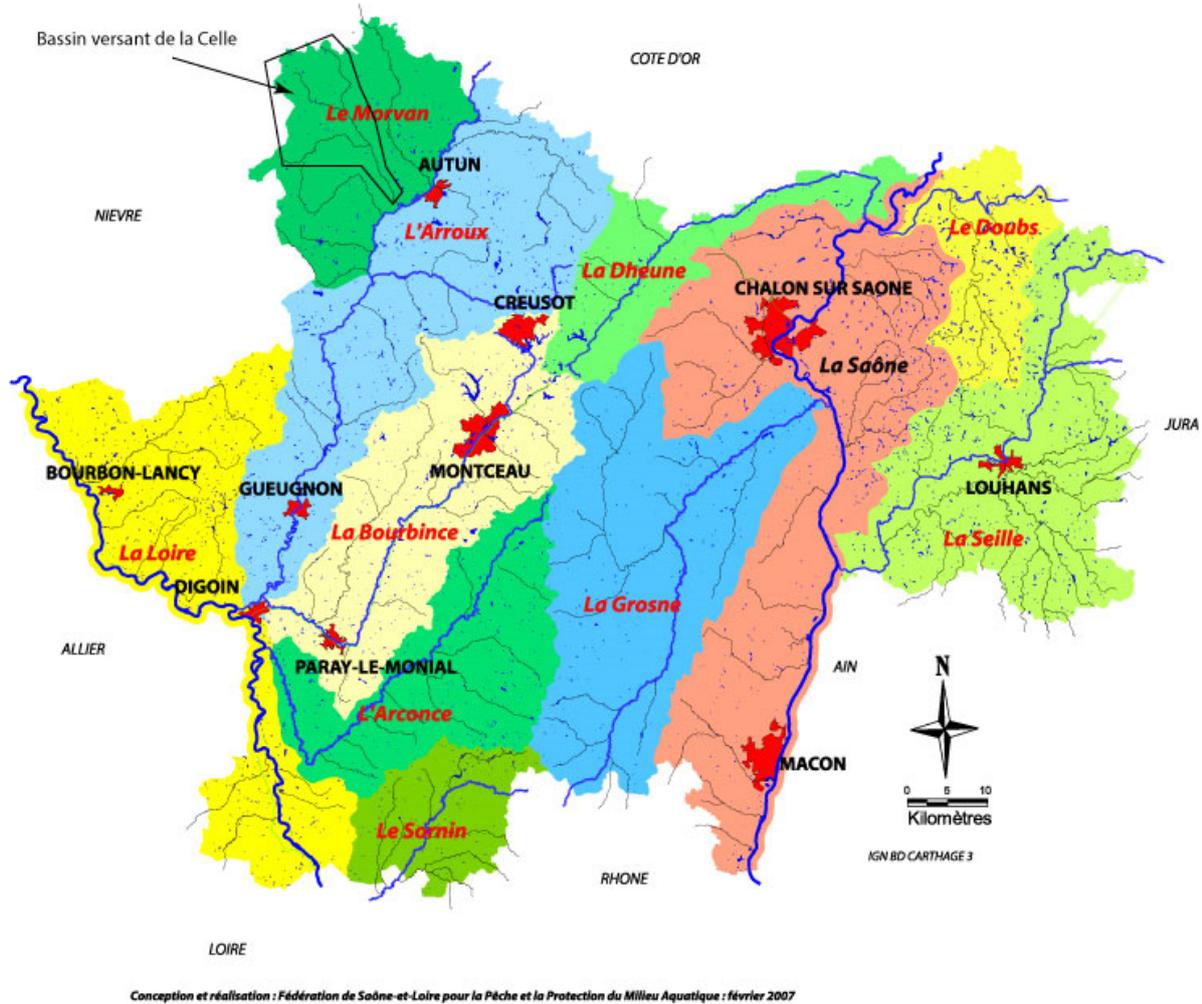


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Celle au sein du département de Saône-et-Loire

Le réseau hydrographique de la Celle est constitué de ruisseaux (largeur 1 à 2 m) et rivières de première catégorie piscicole (4 à 12 m de large), peuplées par des espèces de poissons d'eau froide classiques de la zone à truite (truite commune, chabot, vairon, lamproie de planer, saumon atlantique).

Le réchauffement climatique pourrait avoir une incidence forte sur les communautés piscicoles de ce bassin, ce qui se traduirait automatiquement par une dégradation des classes de qualité de l'état des lieux. En effet si les espèces d'eau froide venaient à être remplacées par des espèces plus inféodées aux eaux chaudes, les notes d'Indices Poisson Rivière et les classes de qualités piscicoles se dégraderaient très sensiblement.

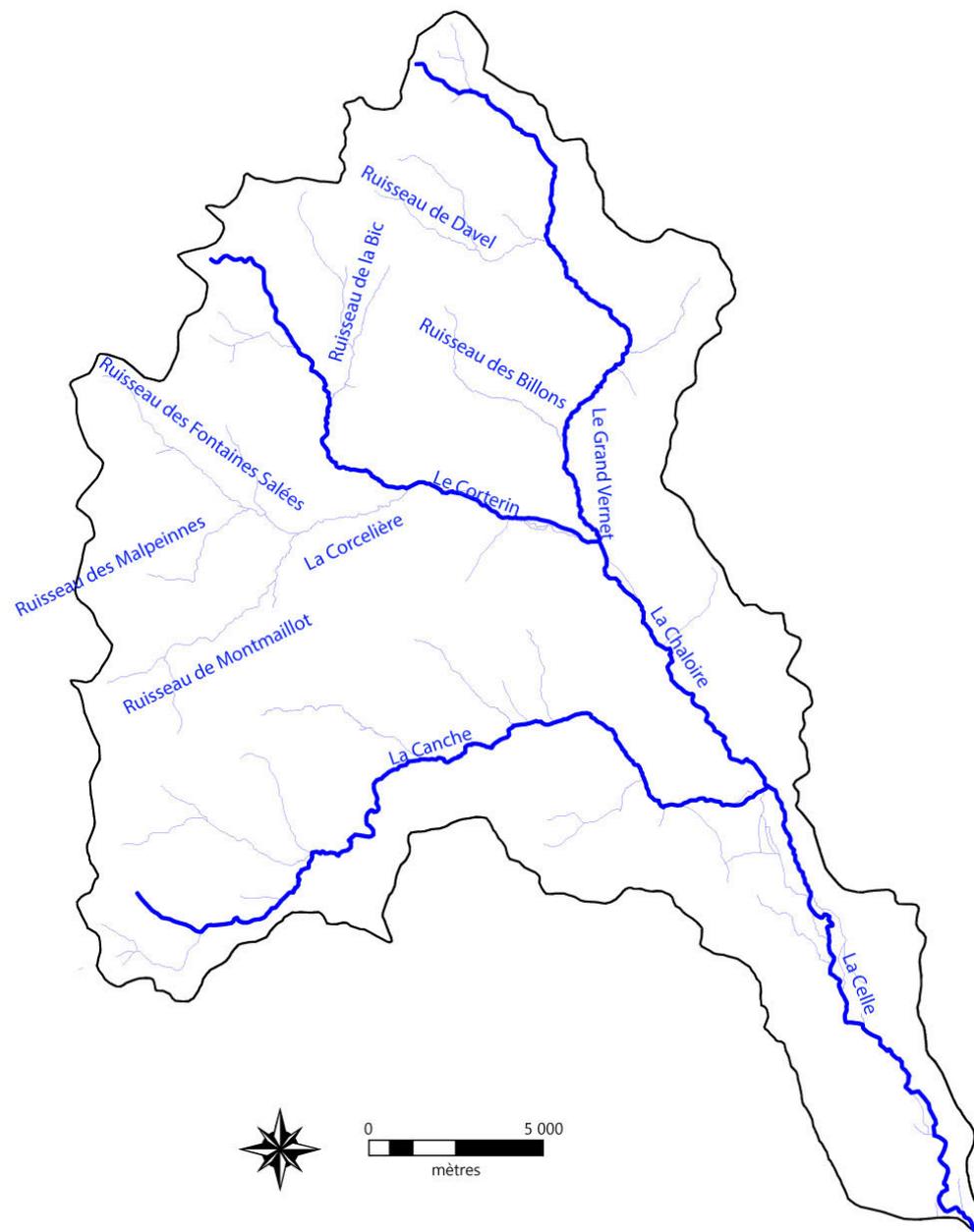


Figure 2 : Carte du réseau hydrographique du bassin de la Celle

4 LA TEMPERATURE, ELEMENT PREPONDERANT POUR LES POISSONS ET TOUT PARTICULIEREMENT POUR LA TRUITE COMMUNE

Elément prépondérant de la répartition des espèces piscicoles, la température de l'eau doit être finement étudiée pour délimiter les zones de vie de chaque espèce. La température joue en effet un rôle fondamental sur la dynamique des populations puisque chaque espèce piscicole et chaque stade de développement (œufs, larves, juvéniles, adultes) possèdent un optimum thermique propre.

La truite fario a des exigences très strictes vis-à-vis de ce paramètre physique des eaux. Pour cette espèce patrimoniale sténotherme d'eau froide, les dangers sont liés essentiellement à une élévation des températures estivales. Le préférendum thermique de la truite s'étend de 4 à 19°C. Au-delà, la truite ne s'alimente plus, elle est en état de stress physiologique. A partir de 25°C, le seuil léthal est atteint (ce seuil peut être inférieur si la qualité d'eau est altérée).

Au-delà de l'échelle individuelle, les valeurs influençant la réponse globale à long terme des populations de truites communes en milieu naturel sont à évaluer sur des périodes plus longues via le calcul de la moyenne des températures moyennes journalières sur les 30 jours consécutifs les plus chauds ($T_{m30j \max}$). Sur cette base la limite des 17,5-18°C influencerait en particulier le stade juvénile de l'année ou 0+ (mécanismes de mortalité, alimentation, croissance ; Elliot, 1995, Elliot et Hurley, 1998, Baran *et al.*, 1999, Baran et Delacoste, 2005, *in* Faure et Grès, 2008). En effet, suivant les études d'Elliot, auteur anglo-saxon ayant beaucoup travaillé sur le métabolisme des truites fario en relation avec les facteurs externes dont la thermie, il apparaîtrait que les truitelles 0+ ont une forte sensibilité au régime thermique des cours d'eau en été dès lors que la $T_{moy30j \max}$ atteint le seuil de 17,5-18°C. A partir de ce seuil, le rendement énergétique est défavorable et l'énergie apportée par l'alimentation est plus faible que celle utilisée pour la capture de ses proies. Ce phénomène induit un amaigrissement des individus ainsi que des mortalités progressives et continues et des dévalaisons potentielles vers des milieux encore moins favorables.

Les poissons plus âgés (1+, 2+ et au-delà) seraient plus robustes et résilients vis-à-vis de la thermie en raison de la relation inversement proportionnelle entre la sensibilité au réchauffement du poisson et son rapport volume/surface.

La température a également un effet indirect sur d'autres paramètres physico-chimiques (oxygénation ...), sur les invertébrés benthiques et sur les agents pathogènes (INTERREG III, 2006).

PROTOCOLE DU SUIVI

1 PRINCIPE

Dans le courant du printemps 2019, 25 enregistreurs thermiques ont été disposés sur la Celle et ses affluents : la Canche, la Chaloire, le ruisseau de Cussy, le Grand Vernet, le Corterin, le ruisseau de la Bic, le ruisseau des Billons, le ruisseau de Davel, le ruisseau des Malpeignes, le ruisseau des Fontaines Salées, le ruisseau de Montmaillot et la Corcelière.

Les enregistreurs thermiques de type HOBO UA-001-64 (HOBO Pendant Temp Logger – 64 K Plage -20 à+70°C) ont été immergés dans des zones calmes et profondes, à l'abri des rayons directs du soleil.



Photographie 2 : Sonde de mesure de la température et sa base de transfert (USB).

Les températures ont été prises avec un pas de temps d'une heure sur une période s'étalant du mois de juin au mois de septembre, période pendant laquelle les conditions thermiques sont les plus défavorables pour la truite commune.

2 LES STATIONS DU SUIVI THERMIQUE

19 sondes ont été réparties de manière à couvrir le plus possible le réseau hydrographique du bassin versant de la Celle. Ainsi disposées, elles permettent de mieux comprendre le métabolisme thermique des rivières du bassin et de distinguer les secteurs où les eaux restent fraîches de celles qui sont sujettes au réchauffement.

6 sondes ont été disposées de manière à étudier sommairement les effets thermiques de quelques plans d'eau recensés dans le cadre de l'étude du Parc Naturel Régional du Morvan (*Inventaire et priorisation des étangs sur le bassin de l'Arroux en Morvan – 2017*).

Les sondes destinées à suivre l'effet thermique des plans d'eau sont les suivantes :

- sur la Canche : CAN6063 et CAN5397,
- sur le Grand Vernet : GRA 932 et GRA 1117,
- sur le ruisseau des Malpeignes : MAL1141.

La codification des sondes respecte les critères suivants : les trois premières lettres du nom de la rivière + la distance à la source.

Code station	Rivière	Commune	Lieu-dit	X	Y	Début Période	Fin Période	Durée (jrs)
CEL22256	La Celle	Monthelon	Chantal	791968	6653506	Sonde exondée dans l'été		
CEL18410	La Celle	La Celle-en-Morvan	Polroy	791045	6656562	01/06/2019	19/09/2019	111
CAN14971	La Canche	La Celle-en-Morvan	La Vèvre / les 2 rivières	790490	6657380	01/06/2019	19/09/2019	111
CAN11598	La Canche	La Celle-en-Morvan	Le Fluteau	788076	6658331	01/06/2019	19/09/2019	111
CAN6063	La Canche	Roussillon en Morvan	Aval barrage Canche	783940	6657126	01/06/2019	19/09/2019	111
CAN5387	La Canche	Roussillon en Morvan	Amont barrage Canche	783833	6656682	01/06/2019	19/09/2019	111
CHA12675	La Chaloire	La Petite Verrière	Le Moulin	788349	6660745	01/06/2019	11/09/2019	103
GRA11127	Le Grand Vernet	La Petite Verrière	Champs de Vauveugé	787710	6661900	01/06/2019	19/09/2019	111
COR9827	Le Corterlin	Anost	Aval Min Roussillon	787500	6661713	Non fonctionnel		
COR6272	Le Corterlin	Anost	Vaumignon	784330	6662590	01/06/2019	19/09/2019	111
BIC3913	Ruisseau de la Bic	Anost	Valterne	783376	6664239	01/06/2019	19/09/2019	111
COR2896	Le Corterlin (Ruisseau du Chenelet)	Anost	Le Fourneau	782849	6664800	01/06/2019	31/08/2019	92
COR7094	La Corcellière	Anost	Vaumignon	784502	6662553	01/06/2019	19/09/2019	111
MON4870	Ruisseau de Montmaillot	Anost	La Pièce	782680	6661822	01/06/2019	19/09/2019	111
FONT4762	Ruisseau des Fontaines Salées	Anost	La Pièce	782671	6661836	01/06/2019	19/09/2019	111
BIL3687	Ruisseau des Billons	Anost	La Chaume	787121	6663442	Sonde exondée dans l'été		
GRA6583	Le Grand Vernet	Cussy-en-Morvan	Le Moulin	788171	6665354	01/06/2019	19/09/2019	111
DAV3747	Le ruisseau de Davel	Cussy-en-Morvan	Le Crot Noir	786772	6666762	01/06/2019	19/09/2019	111
GRA4419	Le Grand Vernet	Cussy-en-Morvan	Le Crot Noir	786953	6666857	01/06/2019	19/09/2019	111
GRA1117	Le Grand Vernet	Cussy-en-Morvan	La Faye	785760	6669260	01/06/2019	19/09/2019	111
CHE1150	Ruisseau du Bois de la Chèvre	Cussy-en-Morvan	La Faye	785642	6669383	01/06/2019	01/08/2019	62
GRA932	Le Grand Vernet	Cussy-en-Morvan	Le Crot Noir	785640	6669260	Non retrouvée		
MAL1141	Ruisseau des Malpeignes	Arleuf (58)	Les Chétifs Près	779870	6661580	01/06/2019	19/09/2019	111
MAL4246	Ruisseau des Malpeignes	Anost	Le Meulet	781810	6662251	01/06/2019	19/09/2019	111
FONT3666	Ruisseau des Fontaines Salées	Anost	Le Meulet	781800	6662261	01/06/2019	19/09/2019	111

Sondes disposées pour mesurer l'incidence thermique de plan d'eau

Tableau 1 : Liste des stations du suivi thermique estival de la Celle et de ses affluents

Sur l'ensemble des sondes disposées (Cf Tableau 1 et Figure3):

- une n'a pas fonctionné (COR9827),
- deux autres ont été exondées rapidement dans l'été (CEL22256 et BIL3687),
- une a été perdue (GRA932).

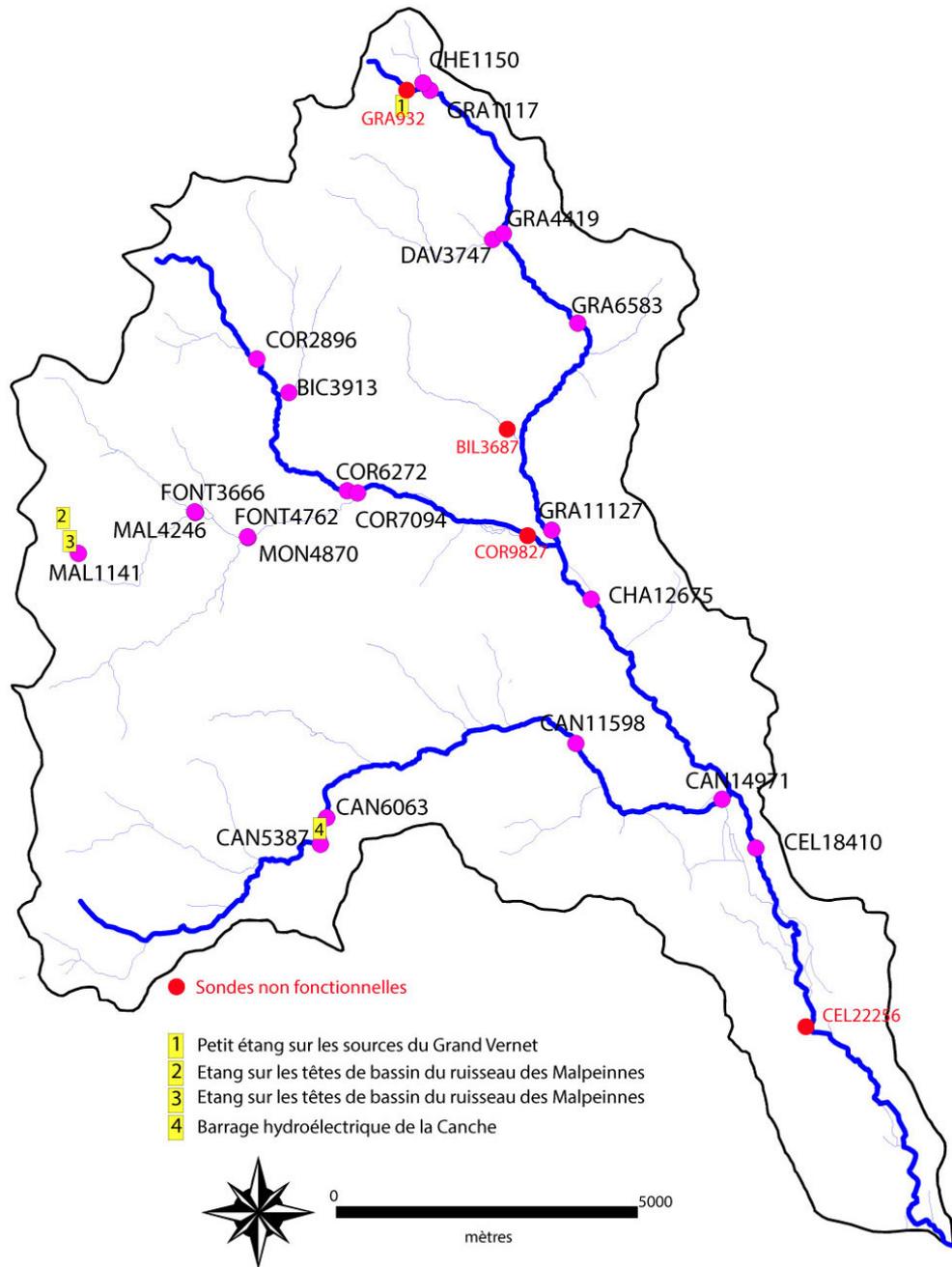


Figure 3 : Carte des stations de mesure thermique

3 ANALYSE DES VARIABLES METEOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

Le métabolisme thermique estival des cours d'eau est étroitement lié aux variables météorologiques et hydrologiques. Avant d'analyser les températures de l'eau des cours d'eau, il est donc important de décrire les conditions météorologiques de l'été (pluviométrie, température de l'air, ensoleillement...)

Suivant l'intensité de l'été, les cours d'eau présentent des tendances aux réchauffements plus ou moins fortes. Aussi, en l'absence de pluie significative, les cours d'eau peuvent connaître des étiages très marqués avec de possibles assèchements.

Comme de nombreuses rivières du Morvan, la Celle et ses affluents présentent des caractéristiques liées à la nature et à l'histoire géologique de leurs bassins versants.

Le Morvan est un vieux massif cristallin dont l'histoire géologique est étroitement liée à la formation du massif central pendant l'ère primaire.

La nature de ces sols granitiques et volcano-sédimentaire empêche l'infiltration des eaux en profondeur. Cette caractéristique essentielle explique l'importance des écoulements de surface dont découle la densité du réseau hydrographique.

Le climat océanique à tendance montagnarde favorise des hivers froids et humides où les précipitations sont abondantes et fréquentes.

Les hivers sont généralement longs et les étés plutôt chauds et secs, ce qui conduit parfois à un déficit d'eau dans ces sols peu épais et imperméables.

La Celle et ses affluents sont donc soumis à de rapides montées des eaux en période de pluie mais aussi à des étiages marqués avec une tendance au réchauffement thermique lorsque les rivières sont particulièrement exposées au rayonnement solaire. Ces extrêmes contraignent la vie piscicole.

Pour décrire les variables hydrologiques, des données de la banque hydro (<http://hydro.eaufrance.fr/> - producteur DREAL Bourgogne) sont classiquement utilisées. La Celle dispose depuis 1969 d'une station de mesure du débit à la Celle en Morvan (K1284810).

Au moment de la rédaction du rapport, ces données étaient indisponibles depuis le 2 juillet 2019. En l'absence de données chiffrées, l'hydrologie des cours d'eau sera donc simplement décrite sur la base d'observations visuelles et de description générale de la sécheresse de l'été 2019.

Concernant la météorologie, elle a été décrite au moyen des bulletins climatiques régionaux de météo France.

4 ANALYSE DES DONNEES THERMIQUES

Les données récupérées par les enregistreurs thermiques ont tout d'abord été vérifiées. En effet, pour des raisons d'ensablements ou de mise hors d'eau, les valeurs enregistrées peuvent être anormales et non représentatives de la température de l'eau de la rivière. Une visite de certaines sondes le 1^{er} aout 2019 a permis de vérifier leur ennoisement.

Après la phase de validation, les données brutes ont été analysées (Classeur excel Macmaslmo : <http://www.pechehautesavoie.com/wp-content/uploads/2012/01/MANUEL-DUTILISATION-MACMA-V1.0.pdf>) afin de calculer différentes valeurs de référence (seuil biologique de développement de la truite fario) :

Thermie générale :

- **Ti min** : température instantanée minimale,
- **Ti max** : température instantanée maximale,
- **Ajmax Ti** : amplitude thermique journalière maximale.

Preferendum thermique de la truite

- **% Tmj 4-19** : pourcentage de jours durant lesquels la température est comprise entre 4 et 19°C (préférence thermique de la truite),
- **Tm 30j max** : température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds.

Stress physiologique de la truite fario (arrêt alimentation)

- **% Tmj>19** : pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 19°C,
- **Nb Ti > 19** : nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure à 19°C,
- **Nb sq Ti>19** : nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C,
- **Nbmax Ti csf>19** : nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C.

Seuil léthal de la truite fario

- **Nb Ti ≥ 25** : nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure ou égale à 25°C,
- **Nb sq Ti≥25** : nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C,
- **Nbmax Ti csf≥25** : nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C.

RESULTATS

1 CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES DE L'ETE 2019

1.1 Caractéristiques hydrologiques

En l'absence de données issues de la banque hydro (<http://hydro.eaufrance.fr/> - producteur DREAL Bourgogne), pour la station de la Celle à la Celle en Morvan, nous pouvons tout de même affirmer que l'été 2019 a été particulièrement sec sur le bassin d'étude.

L'absence de pluie significative depuis l'automne 2018 n'a fait qu'amplifier cette situation. Le secteur de l'Autunois Morvan a été particulièrement concerné par cette sécheresse. Dans la meilleure des situations, les débits des rivières étaient au plus bas. Mais les assèchements étaient nombreux, parfois sur de très longs linéaires.

Nos observations nous ont permis de constater que le Corterin, le ruisseau des Billons, le Ruisseau de Davel (Cf Figure 2) étaient asséchés partiellement ou complètement. Le ruisseau de la Bic a Anost présentait des écoulements infimes. Ces assèchements ont parfois contraint les relevés thermiques (sonde exondée).

Les prairies et forêts du secteurs ont aussi beaucoup souffert. En de nombreux endroits la végétation était grillée.

L'arrêté portant restriction temporaire de certains usages de l'eau sur le département de Saône-et-Loire du 16 juillet 2019 a placé le secteur Arroux Morvan en situation de Crise.



Photographie 3 : Débit très faible de la Celle sur la station la plus aval (CEL22256 – 19-10-2019)



Photographie 4 : Assèchement partiel du Corterin sur la station (COR6272- 19-10-2019).



Photographie 5 : Paysage de prairie asséchée sur le bassin voisin du Méchet (19_10_2019)



Photographie 6 : Assèchement total du Corterin sur la station (COR2896 – 19-10-2019)

1.2 Caractéristiques météorologiques

(Source Météo France)

L'été 2019 a été caractérisé par deux épisodes caniculaires, du 25 au 30 juin et du 21 au 27 juillet, et une vague de chaleur tardive fin août. Ces vagues de chaleurs ont été courtes mais exceptionnellement intenses avec des records de températures observés dans de nombreuses villes de France (plus de 40 et parfois plus de 45°C).

Le territoire du bassin de la Celle n'a pas échappé à ces vagues de chaleurs.

L'été 2019 est le 3^{ème} été le plus chaud jamais observé en France. Il se classe après 2003 et 2018 et juste devant 2017.

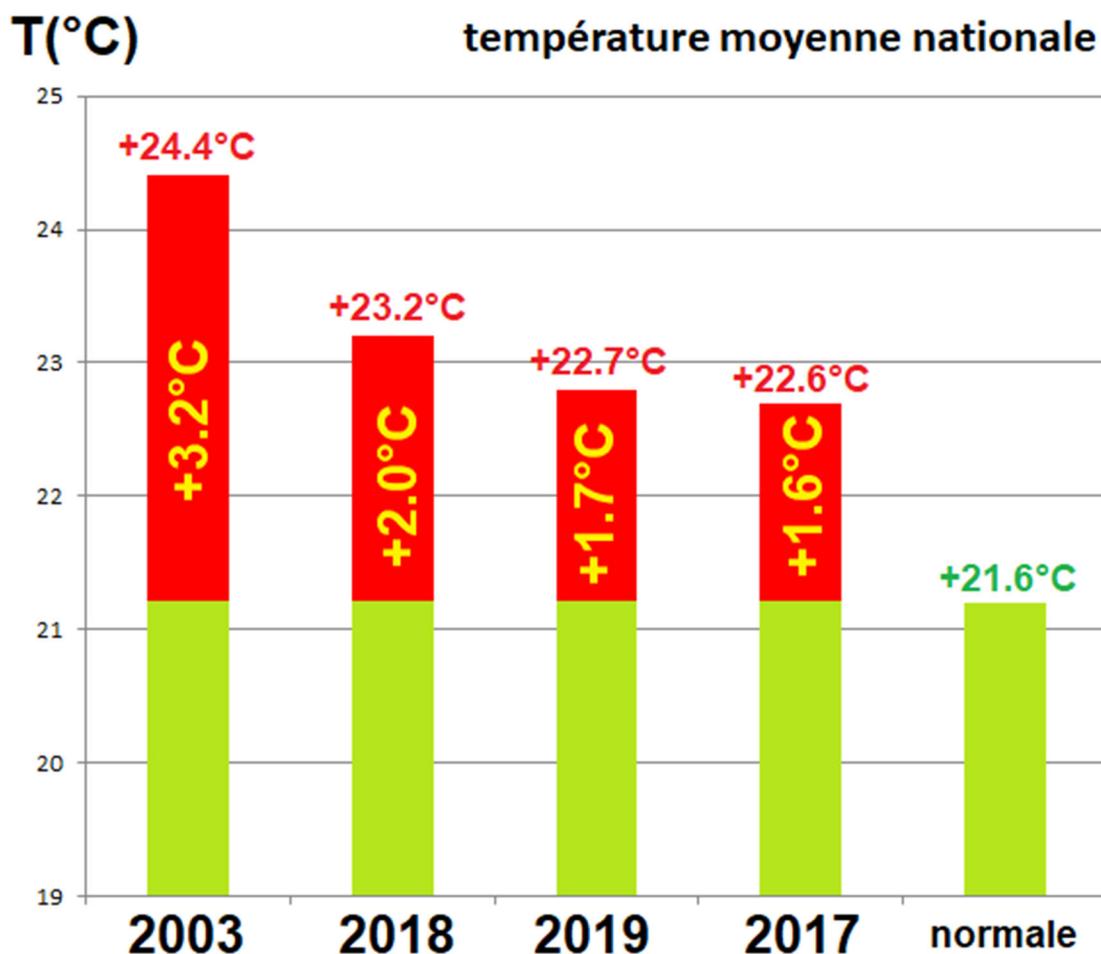


Figure 4 : Valeurs et anomalie de température observées à l'échelle nationale sur le trimestre estival en France (source meteo-paris.com)

Cette chaleur excessive ayant été associée à un déficit de pluviométrie très marqué sur le Morvan (juin, juillet et aout), les conditions hydrologiques et météorologiques ont été très défavorables à la vie piscicole.

Les valeurs de température mesurées dans le cadre de ce suivi sont celles d'un été très chaud, qui malheureusement pourrait devenir la norme dans le futur.

2 CARACTERISTIQUES DU METABOLISME THERMIQUE DE LA CELLE ET DE SES AFFLUENTS

Dans un contexte d'été très chaud, avec deux périodes intenses de canicule et une forte sécheresse, les rivières du bassin versant de la Celle n'ont pas toutes présentées le même métabolisme thermique.

Certains cours d'eau ont été sujets à de forts réchauffements alors que d'autres ont conservé des températures de l'eau assez fraîches et acceptables pour les espèces piscicoles, dites d'eau froide (truite commune et ses espèces accompagnatrices).

Code station	Ti min	Ti max	Ajmax Ti
COR2896	9,6	27,3	11
GRA11127	9,7	26,3	8,3
GRA6583	8,1	25,4	8,9
CHA12675	10	24,9	7,2
BIC3913	8,7	24,2	8,7
CEL18410	11,2	23,5	4,3
DAV3747	8,6	23,3	9,9
COR6272	9,4	23,2	7,1
CAN14971	10,4	22,6	4,6
CAN11598	10	22,6	5,9
MON4870	8,7	22,2	6,4
COR7094	9,2	21,8	5,7
GRA4419	7,7	21,8	7,9
FONT4762	8,2	21,7	5,9
CAN6063	9,4	21,6	5,5
CHE1150	9,3	21	7,6
MAL1141	9	20,7	6,5
CAN5387	7,4	19,8	5,7
FONT3666	8,5	19,7	4,4
MAL4246	8,2	19,5	4,4
GRA1117	8,6	19,3	7,9

Tableau 5 : Elément de thermie générale

Timin : température instantanée minimale

Ti max : température instantanée maximale

Ajmax Ti : amplitude thermique journalière maximale

Les cours d'eau de tête de bassin versant n'ont pas forcément toujours été les plus frais. Certains ont d'ailleurs connu les températures les plus chaudes du bassin de la Celle (exemple de station la plus amont sur le Corterin : COR2896 (Cf. Tableau 5).

Inversement, certaines stations aval du bassin ont pu être plus profitables aux espèces piscicoles sensibles. D'une part leur débit était plus soutenu, d'autre part leur température de l'eau était légèrement moins chaude (inférieure à 24°C) et enfin et surtout l'amplitude thermique journalière était la plus réduite ; autour de 4,5°C (exemple de la Celle aval CEL18410 et de la Canche aval (CAN14971).

Enfin, la période où les eaux des rivières du bassin ont été les plus chaudes de l'été (les 30 jours consécutifs les plus chaud) a été comprise entre la fin juin et la fin juillet (du 27/06 au 26/07 ou du 28/06 au 27/07 selon les stations). Cette observation est évidemment étroitement liée avec les deux épisodes caniculaires de l'été 2019. (25 au 30 juin et du 21 au 27 juillet).

2.1 Des secteurs où les eaux se réchauffent fortement

Sur le bassin de la Celle, le suivi thermique a mis en avant 3 secteurs particulièrement sensibles au réchauffement :

- le Corterin depuis sa zone de source,
- le Grand Vernet en aval de Cussy en Morvan,
- et la Chaloire.

Il est aussi possible de citer la Celle, mais l'arrivée des eaux un peu plus fraîches de son affluent la Canche limite quelque peu le réchauffement; tant et si bien que la Celle située tout en aval du bassin est plus fraîche que les trois secteurs cités ci-dessus.

2.1.1 Le Corterin

Depuis la commune d'Anost, le Corterin présente des températures très excessives pour la truite et ses espèces accompagnatrices. Sur la station COR2896, la température maximale a atteint 27,3°C et l'amplitude journalière maximale mesurée est de 11°C (Cf. Tableau 5). Ces valeurs sont extrêmes et très nettement situées au-dessus du seuil légal de survie de la truite fario. Sur ce ruisseau, la température moyenne journalière a été fréquemment supérieure à 19°C (27% du temps. Cf. Figure 5) et de nombreux dépassement du seuil des 25°C ont été enregistrés (Cf. Tableau 7). Ainsi la température a été supérieure à 25°C aux cours de 52 heures réparties sur 11 séquences dont la plus longue a été de 6 heures consécutives.

Toujours sur la commune d'Anost, le ruisseau de la Bic, a lui aussi présenté des températures excessives, juste avant sa confluence avec le Corterin. Si sur ce ruisseau, la température n'a pas atteint les 25°C, le seuil de 24°C a été atteint et l'amplitude thermique journalière maximale a été de 8,7°C (Cf. Tableau 5). Ces valeurs sont à nouveau très excessives pour la truite commune. Sur ce petit ruisseau, le seuil des 19°C correspondant au seuil de stress physiologique de la truite commune a été très régulièrement dépassé : la séquence la plus longue a été de 19 heures consécutives (Cf. Tableau 6).

Plus en aval sur le Corterin (station COR6272), la situation tend à s'améliorer quelque peu. La température maximale mesurée sur la station a été de 23,2°C avec une amplitude journalière maximale de 7,1°C. Mais le seuil des 19°C a été très souvent dépassé : 379 heures réparties sur 26 séquences dont la plus longue a été de 26 heures consécutives.

Après la Confluence avec la Corcelière qui apporte des eaux plus fraîches au Corterin, on peut imaginer que la température des eaux continue encore à baisser. Néanmoins, le dysfonctionnement de la sonde COR9827 ne nous permet pas de l'affirmer avec certitude.

Une chose reste certaine, le Corterin est un cours d'eau sujet au réchauffement thermique. Ses eaux, lors d'été chaud sont nettement défavorables à la vie salmonicole. Lors de ce suivi thermique, il a de plus été constatés de nombreux assèchs en fin d'été, parfois total comme sur le Corterin dans « le bourg » d'Anost (COR2896) et parfois partiel comme sur la station COR6272 (Cf Photographies 3 et 5). Le ruisseau de la Bic en aval de sa confluence avec le Corterin n'a pas été constaté asséché, mais le débit et la lame d'eau étaient très faibles en septembre.

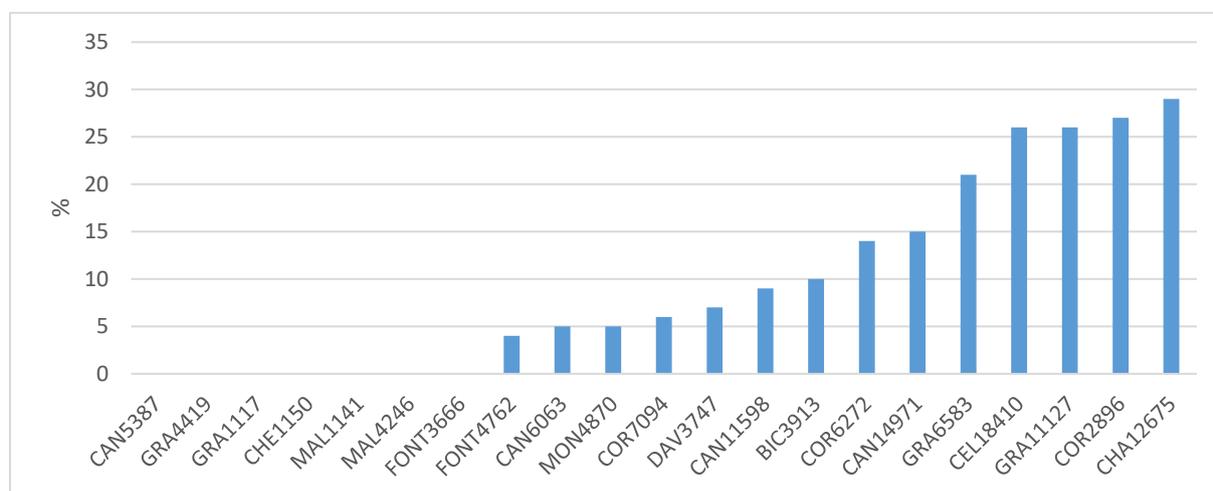


Figure 5 : Pourcentage de jour où la température moyenne journalière est supérieure à 19°C ($T_{mj} > 19^{\circ}\text{C}$).

Code station	%j Tmj 4-19	Nb Ti > 19	Nb sq Ti > 19	Nbmax Ti csf > 19
CHA12675	71	706	58	85
COR2896	73	760	68	59
CEL18410	74	634	31	113
GRA11127	74	816	53	110
GRA6583	79	652	71	22
CAN14971	85	445	31	84
COR6272	86	379	26	58
BIC3913	90	399	52	19
CAN11598	91	307	29	22
DAV3747	93	359	44	38
COR7094	94	195	20	20
CAN6063	95	125	18	19
MON4870	95	231	28	15
FONT4762	96	146	19	15
CAN5387	100	21	5	6
GRA4419	100	137	23	12
GRA1117	100	2	1	2
CHE1150	100	78	12	11
MAL1141	100	63	9	9
MAL4246	100	17	5	5
FONT3666	100	28	7	7

Tableau 6 : Dépassement du seuil des 19°C (Seuil de stress physiologique de la truite commune) sur les rivières du bassin de la Celle – été 2019.

% Tmj 4-19 : pourcentage de jours durant lesquels la température est comprise entre 4 et 19°C (préférence thermique de la truite),

Nb Ti > 19 : nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure à 19°C

Nb sq Ti>19 : nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C,

Nbmax Ti csf>19 : nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures à 19°C.

2.1.2 Le Grand Vernet en aval de Cussy en Morvan

Le Grand Vernet en situation intermédiaire (GRA6583) et aval (GRA11127) présente les eaux les plus chaudes du bassin versant après le Corterin à Anost.

La température de l'eau a atteint un maximum de 26,3°C sur la station aval GRA11127 et de 25,4°C sur la station intermédiaire GRA6583 avec respectivement des amplitudes thermiques journalières maximales de 8,3 et 8,9°C.

Sur ces deux stations, la température a été très régulièrement supérieure à 19°C (Cf Tableau 6) et la température de 25°C a été dépassée pendant (Cf. Tableau 7) :

- 25 heures réparties sur 5 séquences dont la plus longue a été de 7 heures consécutives sur la station GRA11127,

- et 11 heures réparties sur 4 séquences dont la plus longue a été de 4 heures consécutives sur la station GRA6583.

Ces conditions sont bien évidemment très défavorables à la survie de la truite commune.

Code station	Nb Ti >= 25	Nb sq Ti >= 25	Nbmax Ti csf >= 25
COR2896	52	11	6
GRA11127	25	5	7
GRA6583	11	4	4
CEL18410	0	0	0
CAN14971	0	0	0
CAN11598	0	0	0
CAN6063	0	0	0
CAN5387	0	0	0
CHA12675	0	0	0
COR6272	0	0	0
BIC3913	0	0	0
COR7094	0	0	0
MON4870	0	0	0
FONT4762	0	0	0
DAV3747	0	0	0
GRA4419	0	0	0
CHE1150	0	0	0
GRA1117	0	0	0
MAL1141	0	0	0
MAL4246	0	0	0
FONT3666	0	0	0

Tableau 7 : Dépassement du seuil des 25°C (Seuil létal de la truite commune) sur les rivières du bassin de la Celle – été 2019.

Nb Ti ≥ 25 : nombre d'heures total où la température instantanée est supérieure ou égale à 25°C,

Nb sq Ti ≥ 25 : nombre de séquences durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C,

Nbmax Ti csf ≥ 25 : nombre d'heures max consécutives durant lesquelles les températures restent supérieures ou égales à 25°C.

En aval de Cussy en Morvan, un affluent du Grand Vernet a aussi fait l'objet de mesure dans le cadre du suivi thermique. Il s'agit du ruisseau des Billons avec la station BIL3687.

Le ruisseau de Billon a été asséché beaucoup plus tôt dans l'été, tant et si bien que les données de la sonde n'ont pas pu être complètement prises en considération. Néanmoins l'observation et la comparaison des données avec la station déjà chaude et toute proche du Grand Vernet GRA6583 a été possible sur le mois de juin 2019 (1^{er} au 20 juin). La température du ruisseau de Billon était alors en moyenne supérieure de 1,5 à 5°C à celle du Grand Vernet. Ce ruisseau semble donc excessivement chaud et non propice à la vie salmonicole (truite commune).

Dans l'ensemble, ce secteur du bassin versant du Grand Vernet, est fortement sujet au réchauffement thermique.

2.1.3 La Chaloire

La Chaloire est formée par les eaux du Corterin et du Grand Vernet. Ces deux cours d'eau étant particulièrement chauds, les eaux de la Chaloire présentent fort logiquement un métabolisme thermique élevé.

La température maximale observée a été de 24,9°C pour une amplitude thermique maximale de 7,2°C (Cf. Tableau 5). Très régulièrement le seuil de stress physiologique (19°C), au-delà duquel les truites cessent de s'alimenter a été dépassé (Cf. Tableau 6). Ainsi la Chaloire a été la rivière du bassin pour laquelle la température moyenne journalière a été le plus souvent supérieure à 19°C (29% des jours de mesures – Cf. Figure 5).

Dans ces conditions, la vie salmonicole n'a quasiment pas été possible. On peut imaginer que les truites ont cherché à fuir le secteur où alors ont passé l'été en situation de « survie ».

Néanmoins, la Chaloire a été légèrement moins chaude que le Grand Vernet à l'aval (GRA11127) car les eaux du Corterin aval très certainement refroidi par celle de la Corcelière ont permis un léger abaissement de la température.

2.1.4 La Celle

La Celle est l'exutoire final de tous les cours d'eau du bassin. En situation très aval sur le bassin, les eaux de la Celle ont été logiquement assez chaudes lors de l'été 2019.

La température instantanée maximale mesurée a été de 23,5°C à la station CEL18410. L'amplitude thermique journalière maximale a néanmoins été très faible puisqu'elle a été mesurée à 4,3°C. La température des eaux de la Celle fluctue assez peu dans la journée.

Cette faible amplitude thermique journalière associée à des températures maximales ne dépassant pas 23,5°C peut permettre la survie et le maintien sur le secteur des individus adultes de truite commune.

Cependant les eaux de la Celle ont été très fréquemment supérieures à 19°C : 634 heures réparties sur 31 séquences dont la plus longue a été de 113 heures consécutives. Compte tenu de la sensibilité des juvéniles de truite fario au dépassement du seuil des 17 à 18°C, la Celle reste peu propice à la survie des truitelles de l'année.

2.2 Des secteurs qui restent frais

Parmi les secteurs qui restent frais on peut citer :

- le bassin de la Corcelière, et plus particulièrement le ruisseau des Malpeignes et le ruisseau des Fontaines Salées,
- les têtes de bassin du Grand Vernet (en amont de Cussy en Morvan),
- et les têtes de bassin de la Canche.

2.2.1 Le bassin de la Corcelière.

Sur le sous bassin de la Corcelière, le ruisseau des Malpeignes et le ruisseau des Fontaines Salées sont deux cours d'eau de tête de bassin versant dont l'occupation des sols est majoritairement forestière. Protégés des rayonnements du soleil, ces deux ruisseaux sont restés frais.

Les températures maximales relevées ont été proches des 20°C (Cf. tableau 5 – station MAL1141, MAL4246 et FONT3666) et le seuil des 19°C a été assez rarement dépassé (Cf. Tableau 6).

Si les amplitudes thermiques journalières maximales sont restées faibles sur la station amont des Fontaines Salées et aval du ruisseau des Malpeignes (4.4°C pour les deux stations), cette dernière a été plus élevée pour le ruisseau des Malpeignes proche de ses sources (en aval de plans d'eau).

Le 1^{er} juin 2019, la sonde de la station MAL1141 a enregistré une amplitude thermique maximale journalière de 6,5°C. Cette station étant située en aval immédiat d'une zone d'étangs (suivi dans le cadre de cette étude), on peut imaginer un apport d'eau plus chaude depuis les étangs. D'ailleurs, lors de la période d'étude, la température de l'eau était plus chaude sur la station en aval immédiat des plans d'eau (MAL1141) que sur la station la plus aval du ruisseau de Malpeignes (MAL4246 - positionnée plus de 3 km en aval).

Ceci s'observait surtout en fin de printemps et début d'été (Cf. Figure 6), période à laquelle la sécheresse n'était pas encore trop marquée et / ou le plan d'eau devait peut-être restituer davantage d'eau au ruisseau. Tout ceci reste très incertain et à préciser lors d'un suivi plus spécifique sur le secteur.

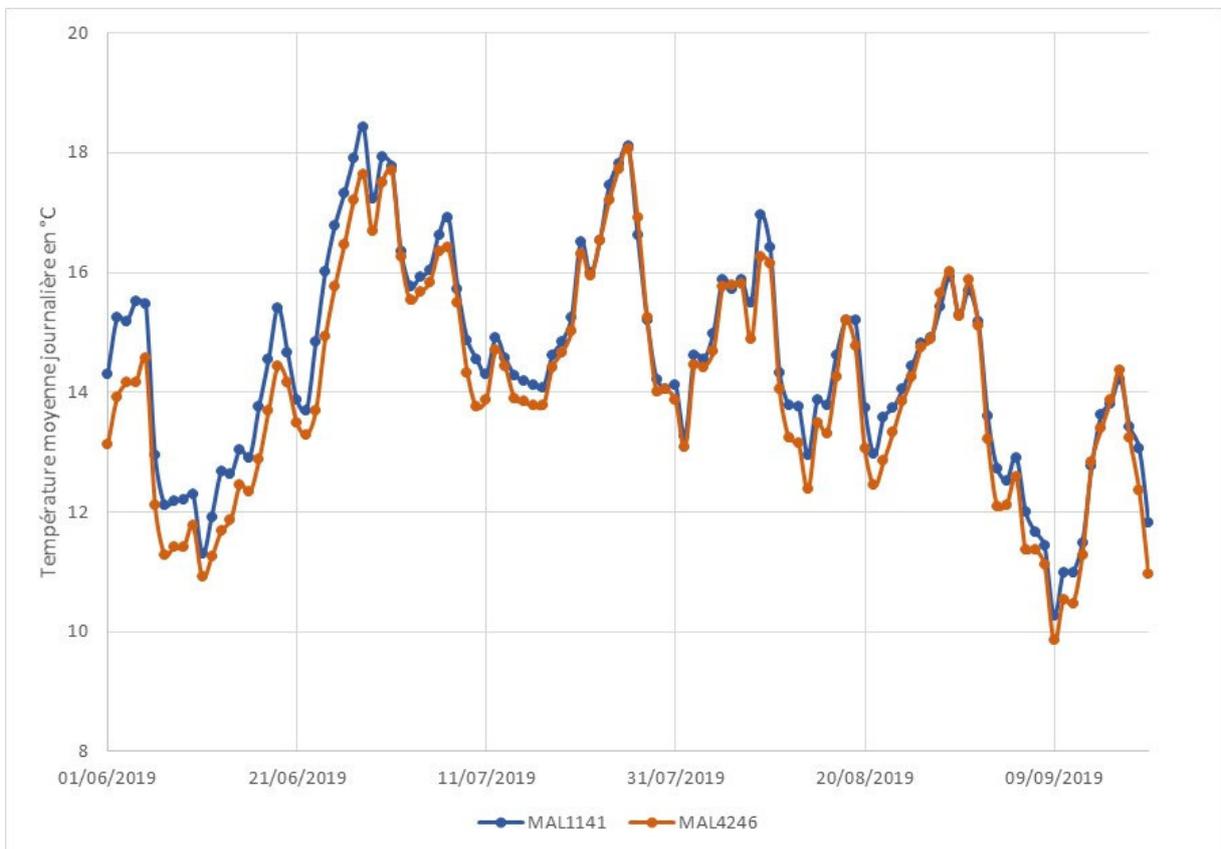


Figure 6 : Evolution de la température moyenne journalière sur les stations MAL1141 et MAL4246.

Plus en aval sur le bassin, il faut signaler que le ruisseau des Fontaines Salées est nettement plus sensible aux réchauffements. En amont immédiat de sa confluence avec le ruisseau de Montmaillot (station FONT4762), la température maximale de l'eau a atteint 21,7°C (Cf. Tableau 5) et 4% du temps les températures moyennes journalières ont été supérieures à 19°C (Cf. Figure 5).

Le ruisseau de Montmaillot (MON4870), en amont immédiat de sa confluence avec le ruisseau des Fontaines Salées, est lui aussi encore un peu plus chaud avec une température maximale mesurée à 22,2°C et des dépassements encore plus fréquents de la température de 19°C (Cf. Figure 5 et Tableau 6).

Enfin, la Corcelière, formée par les eaux des ruisseaux de Montmaillot et des Fontaines Salées présente un métabolisme thermique très proche de celui des Fontaines Salées dans sa partie aval.

L'ensemble de ce sous bassin du réseau hydrographique de la Celle reste donc propice à la vie salmonicole, y compris lors d'été très chaud comme celui de 2019.

2.2.2 Les têtes de bassin du Grand Vernet

En amont de Cussy en Morvan, les ruisseaux du Grand Vernet et les ruisseaux du Bois de la Chèvre sont des ruisseaux aux eaux fraîches. Pour le ruisseau de Davel, la situation est plus contrastée.

Le Grand Vernet en zone de source (GRA1117) est la portion de cours d'eau la plus fraîche du bassin versant. La température instantanée maximale mesurée a été de 19,3°C. Le seuil des 19°C n'a été dépassé que pendant 2 heures au cours des 111 jours d'étude. Malgré la présence d'un plan d'eau (suivi dans le cadre de l'étude) et l'intensité de l'été 2019, cette portion de rivière est restée très fraîche et favorable à la truite.

Sur le même secteur géographique, son affluent le ruisseau du Bois de la Chèvre (station CHE1150) présente un métabolisme thermique légèrement plus élevé. La température maximale instantanée mesurée a été de 21°C et le seuil des 19°C a été dépassé pendant 78 heures au cours de 12 séquences dont la plus longue a été de 11 heures consécutives.

Plus en aval, peu avant la confluence avec le ruisseau de Davel, le Grand Vernet (station GRA4419) est encore caractérisé par un métabolisme thermique tout à fait adapté à la vie salmonicole.

Pour le ruisseau de Davel, malgré l'intensité de l'été, ce dernier n'a pas connu de fort réchauffement (température maximale mesurée à 23,3°C). Mais l'amplitude thermique journalière maximale mesurée a été très forte avec une valeur de 9,9°C. Le ruisseau a aussi connu des dépassements réguliers des 19°C (Tableau 6) et il a été partiellement asséché en septembre. Cette zone, des têtes de bassin versant du Grand Vernet est la moins propice sur le plan thermique à la vie salmonicole.

2.2.3 Les têtes de bassin de la Canche

En amont immédiat du barrage hydroélectrique de la Canche, les eaux de la Canche (CAN 5387) sont très fraîches et propices au développement des populations de truite commune. La température instantanée maximale mesurée a été de 19,8°C (Cf. Tableau 5) et la température moyenne journalière n'a jamais excédée les 19°C.

En aval immédiat du barrage, la situation se dégrade assez nettement. La température de l'eau (CAN6063) reste encore globalement propice aux exigences physiologiques de la truite commune mais cette dernière est beaucoup plus élevée (Cf Figure 7).

En moyenne, la température moyenne journalière est 1,8 fois plus élevée en aval immédiat du barrage qu'en amont immédiat de ce dernier.

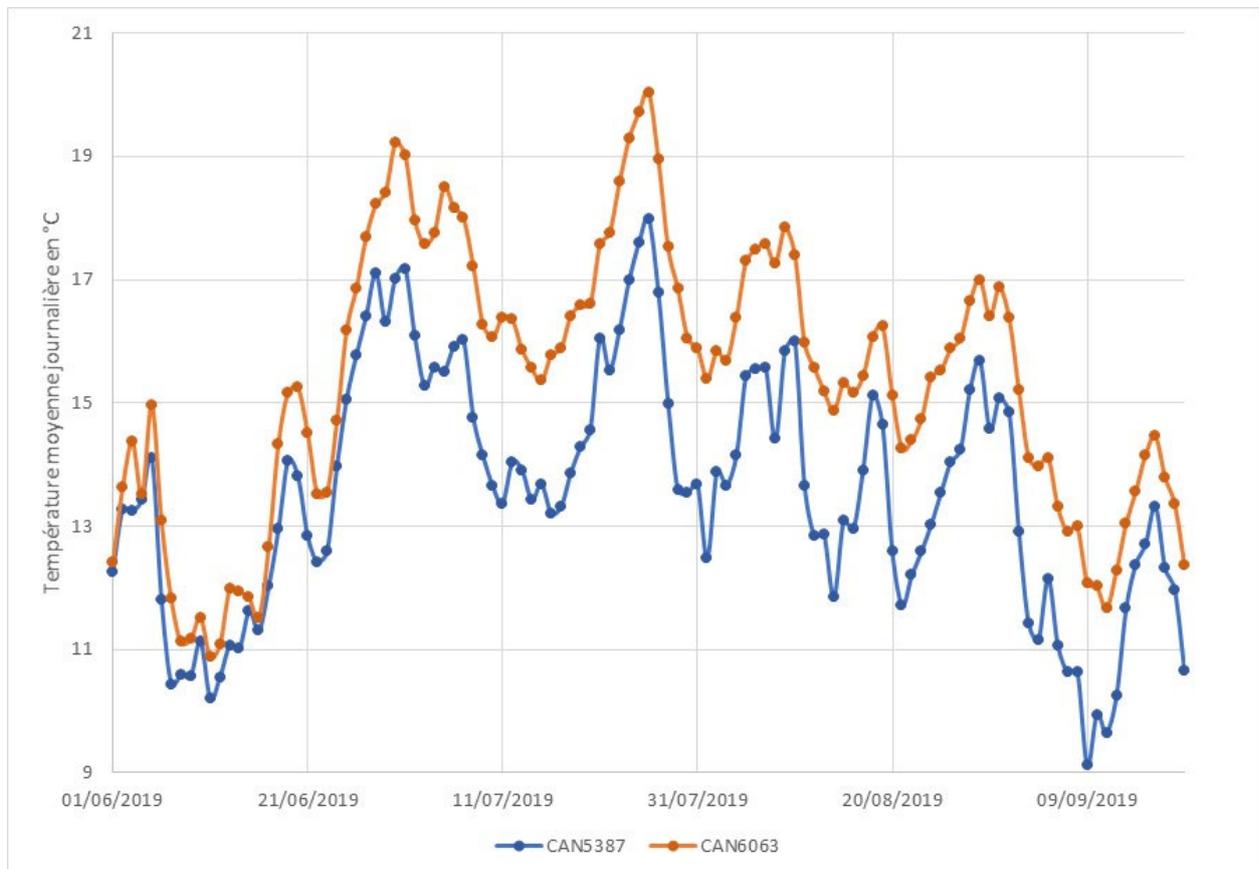


Figure 7 : Evolution de la température moyenne journalière sur les stations CAN5387 (amont barrage) et CAN6063 (aval barrage).

La retenue du barrage de la Canche contribue fortement à augmenter la température des eaux de la Canche.

Plus en aval la situation continue à se dégrader jusqu'à la confluence avec la Celle, mais compte tenu de l'intensité de l'été 2019, on peut tout de même considérer que les eaux de la Canche sont sur le plan thermique assez favorables au développement d'une population de truite fario. D'ailleurs les eaux de la Canche contribuent à diminuer très sensiblement la température de l'eau de la rivière Celle ; rivière qui compte tenu de sa situation longitudinale (plus de 18 km des sources) reste assez fraîche au regard d'autres références thermiques du département de Saône-et-Loire. A titre de comparaison, la moyenne des températures moyennes journalière sur les 30 jours consécutifs les plus chauds est plus fraîche sur la Celle (station CEL18410) que sur certaines stations plus apicales du Méchet (bassin salmonicole voisin).

2.3 Valeur de référence pour la truite commune, la Tm 30j max

Jusqu'alors, il a été évoqué les valeurs thermiques instantanées ou moyennes qui permettent de décrire le métabolisme thermique des cours d'eau du bassin du Celle lors de l'été 2019. Selon l'importance de ces valeurs, le dysfonctionnement thermique des rivières a pu en partie être décrit. Il a ainsi été aisé de distinguer les zones très sensibles aux réchauffements des eaux de celles présentant une forte résilience thermique.

Mais pour mieux caractériser l'évolution sur le long terme d'une population de truite commune, on calcul la moyenne des températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30j max).

Sur cette base, la limite des 17,5 - 18°C influencerait en particulier le stade juvénile de l'année (0+). En effet, suivant les études d'Elliot, auteur anglo-saxon ayant beaucoup travaillé sur le métabolisme des truites communes en relation avec les facteurs externes dont la thermie, il apparaîtrait que les truitelles 0+ ont une forte sensibilité au régime thermique des cours d'eau en été dès lors que la moyenne des températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30j max) atteint le seuil de 17,5-18°C.

A partir de ce seuil, le rendement énergétique est défavorable et l'énergie apportée par l'alimentation est plus faible que celle utilisée pour la capture de ses proies. Ce phénomène induit un amaigrissement des individus ainsi que des mortalités progressives et continues et des dévalaisons potentielles vers des milieux encore moins favorables.

Des récentes et nombreuses mesures ont montré qu'un gain de 0,5°C au-delà du seuil de 17°C (de Tm30j max) entraînait une baisse des densités d'un facteur 2 à 3.

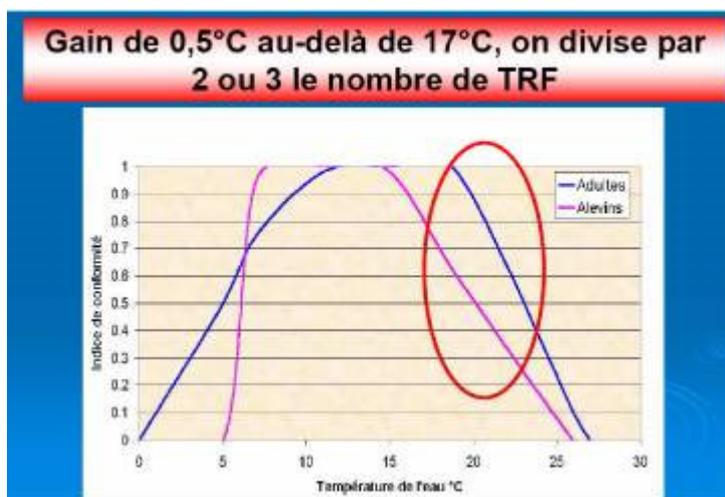


Figure 8 : Evolution des densités de truite en relation avec la moyenne des températures moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds

Code station	Tm30j max	Dd Tm30j max	Df Tm30j max
GRA11127	19,97	27/06/2019	26/07/2019
COR2896	19,69	27/06/2019	26/07/2019
CHA12675	19,44	27/06/2019	26/07/2019
CEL18410	19,3	27/06/2019	26/07/2019
GRA6583	18,87	27/06/2019	26/07/2019
CAN14971	18,55	27/06/2019	26/07/2019
COR6272	18,41	27/06/2019	26/07/2019
BIC3913	18,02	27/06/2019	26/07/2019
CAN11598	18	27/06/2019	26/07/2019
DAV3747	17,81	27/06/2019	26/07/2019
CAN6063	17,5	28/06/2019	27/07/2019
COR7094	17,37	27/06/2019	26/07/2019
MON4870	17,18	27/06/2019	26/07/2019
FONT4762	16,77	27/06/2019	26/07/2019
GRA4419	16,45	27/06/2019	26/07/2019
CHE1150	16,22	27/06/2019	26/07/2019
FONT3666	16,06	28/06/2019	27/07/2019
MAL1141	15,98	27/06/2019	26/07/2019
MAL4246	15,69	27/06/2019	26/07/2019
CAN5387	15,31	28/06/2019	27/07/2019
GRA1117	14,88	27/06/2019	26/07/2019

Tableau 8 : Moyennes des températures moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tm30j max) sur la Celle et ses affluents- Début et fin de période.

Tm30j max	
>19°C	Très défavorable
18,5 - 19°C	Défavorable
18 - 18,5°C	Faiblement favorable
17,5 - 18°C	Moyennement favorable
17-17,5°C	Assez Favorable
16,5°C-17°C	Favorable
<16,5° C	Très favorable

Tableau 9 : Condition de développement d'une population de truite commune selon la moyenne des températures moyennes des trente jours consécutifs les plus chauds (Tm30jmax).

L'analyse de la Tm30j max montre une situation contrastée sur le bassin de la Celle.

Lors de l'été 2019, **les zones favorables à très favorables** au développement d'une population de truite commune se limitent :

- aux ruisseaux des Fontaines Salées et des Malpeignes sur le sous bassin de la Corcelière,
- à la Canche en amont du barrage de centrale hydroélectrique,
- au Grand Vernet en amont de Cussy en Morvan.

Les zones **assez favorables** aux exigences au développement d'une population de truite commune se limitent :

- à la Corcelière,
- au ruisseau de Montmaillot,
- au ruisseau de Davel,
- et à la Canche en aval du barrage de la centrale hydroélectrique.

L'été 2019 ayant été particulièrement chaud, on peut imaginer que lors d'un été plus frais, ces cours d'eau auraient présenté des caractéristiques thermiques beaucoup plus propices à la truite (classe de qualité favorable à très favorable).

Les zones **faiblement favorables** au développement d'une population de truite commune sont localisées sur :

- le ruisseau de la Bic,
- la Canche en situation intermédiaire (CAN11598),
- le Corterin en amont de sa confluence avec la Corcelière (COR6272).

Enfin, les zones **défavorables à très défavorables** au développement d'une population de truite commune sont situées :

- sur le Corterin au niveau d'Anost,
- sur le Grand Vernet en aval de Cussy-en-Morvan,
- sur la Chaloire,
- sur l'aval de la Canche,
- et sur la Celle.

Il convient de rappeler qu'on parle de développement d'une population de truite commune. Cela sous-entend alors la possibilité aux individus de toutes tailles et de tous âges de se développer et de survivre. Si les sujets adultes sont moins sensibles aux réchauffements des eaux, les alevins de l'année sont particulièrement affectés par des températures moyennes dépassant le seuil des 17°C. S'il peut subsister sur certains cours d'eau dont le régime thermique est excessif de « gros » poissons, il n'en est pas de même pour les alevins de l'année dont l'avenir est condamné.

Il convient aussi de rappeler que l'été 2019 a été très chaud (3^{ème} été le plus chaud jamais enregistré). Dans une situation plus fraîche, les classes de qualité évoquées ci-dessus auraient été très sensiblement améliorées.

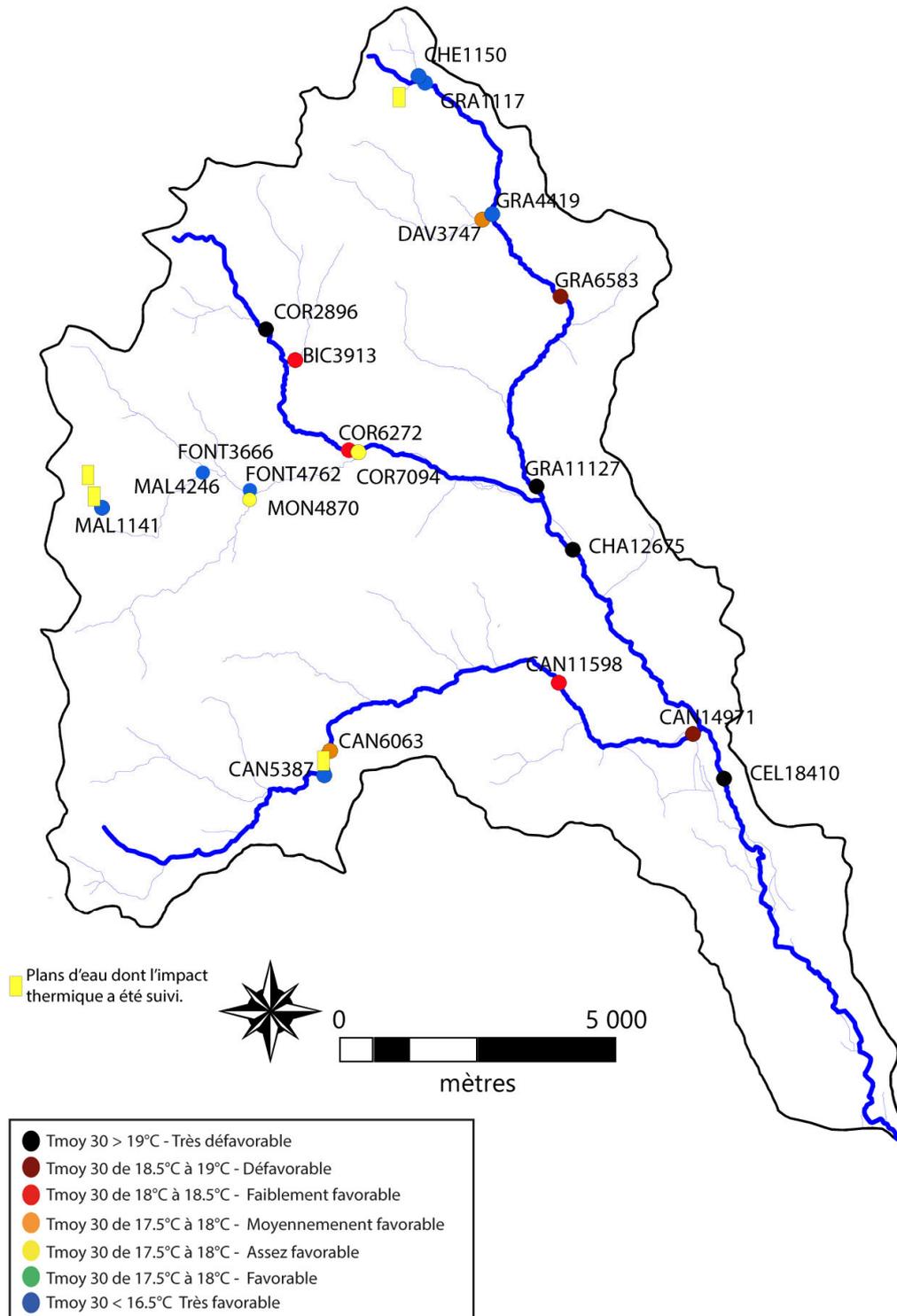


Figure 9 : Carte des conditions de développement d'une population de truite commune selon la moyenne des températures moyennes des trente jours consécutifs les plus chauds ($T_{m30jmax}$).

PRESSIONS ET SOLUTIONS

Le réchauffement climatique terrestre explique pour partie la hausse des températures des eaux des ruisseaux et rivières. Cependant le suivi thermique du bassin versant de la Celle a montré que des zones pouvaient être relativement épargnées et conserver un métabolisme thermique d'eau fraîche, garant de la survie des populations d'espèces piscicoles sensibles et donc d'un bon état écologique des eaux.

L'occupation des sols et la gestion des berges de cours d'eau jouent un rôle prépondérant dans l'évolution de la température de l'eau.

Lorsque les cours d'eau sont en partis forestiers comme c'est le cas sur les têtes de bassins de la Corcelière (ruisseau des Fontaines Salée et des Malpeignes), du Grand Vernet et de la Canche, la température de l'eau reste fraîche malgré des températures de l'air très excessives comme lors de cet été 2019.

Lorsque les cours d'eau s'écoulent dans des prairies et que leurs berges sont dépourvues de ripisylve alors la température de l'eau monte très rapidement et peut même dépasser les 25°C en zone de source.

Sur le bassin de la Celle, le suivi a montré que le ruisseau de la Bic et le Corterin sur le secteur d'Anost sont sujets à de forts réchauffements. Pour ces petits cours d'eau aux faibles débits et lames d'eau, l'absence de végétation rivulaire, même sur quelques centaines de mètres est automatiquement source de réchauffement des eaux. Concernant le ruisseau de la Bic, certaines zones de sources s'écoulent majoritairement en prairie et la ripisylve est souvent absente (observation par photographie aérienne, vérifications terrain nécessaires). Concernant le ruisseau du Corterin, peu avant la station de mesure de température, il s'écoule en prairie ou la végétation rivulaire est peu présente. Plus en amont, certaines zones de sources sont localisées dans des forêts qui viennent d'être coupées. Cette absence de végétation expose le ruisseau aux rayonnements solaires et favorisent grandement le réchauffement des eaux.

Le Grand Vernet en aval de Cussy-en-Morvan est aussi particulièrement sensible aux réchauffements thermiques. En ces lieux, la rivière présente des zones dépourvues de ripisylve. Certains de ses affluents sont aussi très fortement exposés aux rayons du soleil (exemple ruisseau des Billons, ruisseau de Davel). Une expertise de la ripisylve et des travaux de restauration de cette dernière sur le Grand Vernet et ses affluents pourraient permettre d'améliorer le métabolisme thermique de la rivière.

Ceci est important, car dès lors que l'eau des rivières s'est réchauffée, la situation ne peut guère s'améliorer en allant vers l'aval. En imaginant que toutes les portions amont puissent être préservées du rayonnement solaire et que l'eau puisse rester froide, la Chaloire et la Celle situées à l'exutoire du bassin pourraient être des rivières aux eaux fraîches, beaucoup plus propices au développement d'une faune sensible et indicatrice.

Parmi les autres pressions expliquant les hausses thermiques, il faut évoquer le cas des plans d'eau. Tous n'ont pas le même impact. Certains étés, la sécheresse fait que les plans d'eau ne restituent pas tous de l'eau aux rivières. En ce cas, ils ne contribuent pas nécessairement aux réchauffements des eaux.

Lors du suivi thermique des rivières du bassin de la Celle, plusieurs plans d'eau ont été étudiés sommairement (mise en place de sonde à l'aval et parfois à l'amont). Il s'est avéré qu'un seul plan d'eau avait une incidence très forte sur le métabolisme thermique. Il s'agit du barrage hydroélectrique situé sur la Canche. En effet ce barrage explique pour une très grande partie l'élévation thermique des eaux de la Canche. La température moyenne journalière de l'eau augmente de 1,8°C à l'aval immédiat du barrage.

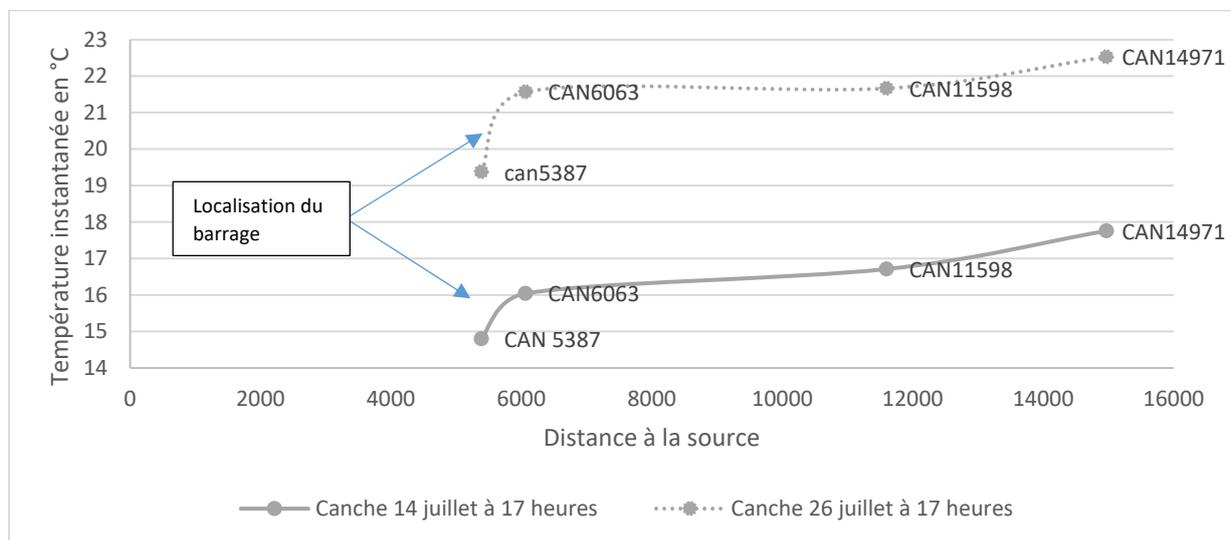


Figure 10 : Profils thermiques longitudinaux de la Canche depuis l'amont immédiat du barrage de la Canche jusqu'à sa confluence avec la Celle

Les figures 7 et 10 montrent très clairement l'impact du barrage. Trouver une solution technique pour limiter son impact sur le réchauffement des eaux permettrait d'améliorer très sensiblement la qualité écologique de la Canche aval et de la Celle.



Figure 11 : Carte de synthèse du suivi thermique du bassin de la Celle - été 2019.

CONCLUSION

Le suivi thermique des rivières du bassin versant de la Celle est une première approche pour mieux cerner le métabolisme thermique des milieux aquatiques de ce bassin versant emblématique du Morvan.

Les ruisseaux et rivières du bassin versant de la Celle constituent un ensemble de cours d'eau de 1^{ère} catégorie piscicole dont la truite fario, espèce sténotherme d'eau froide, est l'espèce piscicole repère.

Dans un contexte généralisé de réchauffement climatique, le bon état des populations de truite commune du bassin de la Celle et de ses espèce accompagnatrices (chabot, vairon, lamproie de planer) dépendra en grande partie de la capacité des cours d'eau à conserver des eaux fraîches.

Ce suivi thermique a été réalisé lors de l'été 2019, été particulièrement chaud puisqu'il se classe parmi les trois étés les plus chauds après les étés 2018 et 2003.

Dans ces conditions très particulières, certaines rivières du bassin versant ont conservé des eaux très fraîches, malgré des températures de l'air très excessives. Il s'agit pour la plupart de ruisseaux de tête de bassin versant localisés en secteur forestier : le ruisseau des Fontaines Salées, le ruisseau des Malpeignes, le Grand Vernet en amont de Cussy en Morvan et la Canche en amont du barrage hydroélectrique.

Mais d'autres têtes de bassin versant n'ont pas connu les mêmes conditions thermiques. Les ruisseaux du Corterin et de la Bic sur Anost ont été sujets à des forts réchauffements thermiques au point de rendre la vie salmonicole impossible lors de l'été 2019.

Plus en aval, la situation sur les rivières s'est très souvent dégradée avec des températures de l'eau trop souvent trop élevées pour la physiologie de la truite commune. Néanmoins il convient de souligner que la rivière Celle à l'exutoire de son bassin présente, grâce à l'apport des eaux plus fraîches de la Canche, un métabolisme thermique mieux préserver que nombreuses rivières à truite du département. Sur ces portions aval, la Celle peut permettre la survie de sujet adulte.

Parmi les pressions expliquant la hausse des températures, il y a bien sur le réchauffement climatique terrestre, mais il y a aussi l'occupation des sols et la gestion des berges de cours d'eau qui jouent un rôle prépondérant dans l'évolution de la température de l'eau. Avec des ripisylves mieux préservées sur tout le linéaire des cours d'eau, la température de l'eau serait bien souvent beaucoup moins excessive.

La présence de plan peut aussi expliquer la hausse du métabolisme thermique de certaines rivières. C'est le cas du barrage hydroélectrique de la Canche.

Agir sur ces pressions permettrait d'améliorer le fonctionnement écologique des rivières du bassin et garantirait le maintien d'un bon état écologique malgré la hausse des températures de l'air.

ANNEXES

ANNEXE 1

Code station	X	Y	Code Etude	Dd Période	Df Période	Durée	Ti min	Ti max	ATI	Ajmax Ti	D Ajmax Ti	Tmj min	Tmj max	ATmj	D Tmj max	Tmp	Tm30j max	Od Tm30j max	Df Tm30j max	Nbj Tmj 4-19	%j Tmj 4-19	%j Tmj >19	Nb Ti > 19	Nb sq Ti > 19	Nbmax Ti csf > 19	Nb Ti >= 25	Nb sq Ti >= 25	Nbmax Ti csf >= 25					
CEL22256	791968	6653506	1	Hors d'eau à partir du 25 juin, Sonde exclue de l'étude																													
CEL18410	791045	6656562	2	01/06/2019	19/09/2019	111	11,2	23,5	12,3	4,3	02/06/2019	12,3	22,1	9,8	28/06/2019	17,21	19,3	27/06/2019	26/07/2019	82	74	26	634	31	113	0	0	0					
CAN14971	790490	6657380	3	01/06/2019	19/09/2019	111	10,4	22,6	12,2	4,6	01/06/2019	12	21,3	9,3	26/07/2019	16,64	18,55	27/06/2019	26/07/2019	94	85	15	445	31	84	0	0	0					
CAN11598	788076	6658331	4	01/06/2019	19/09/2019	111	10	22,6	12,6	5,9	02/06/2019	11,5	20,6	9,1	26/07/2019	16,02	18	27/06/2019	26/07/2019	101	91	9	307	29	22	0	0	0					
CAN6063	783940	6657126	5	01/06/2019	19/09/2019	111	9,4	21,6	12,2	5,5	02/06/2019	10,9	20	9,1	26/07/2019	15,36	17,5	28/06/2019	27/07/2019	106	95	5	125	18	19	0	0	0					
CAN5387	783833	6656682	6	01/06/2019	19/09/2019	111	7,4	19,8	12,4	5,7	02/06/2019	9,1	18	8,9	26/07/2019	13,56	15,31	28/06/2019	27/07/2019	111	100	0	21	5	6	0	0	0					
CHA12675	788349	6660745	7	01/06/2019	11/09/2019	103	10	24,9	14,9	7,2	23/08/2019	12,1	22,2	10,1	28/06/2019	17,41	19,44	27/06/2019	26/07/2019	73	71	29	706	58	85	0	0	0					
GRA11127	787710	6661900	8	01/06/2019	19/09/2019	111	9,7	26,3	16,6	8,3	01/06/2019	11,4	23,3	11,9	28/06/2019	17,49	19,97	27/06/2019	26/07/2019	82	74	26	816	53	110	25	5	7					
COR9827	787500	6661713	9	Non fonctionnel																													
COR6272	784330	6662590	10	01/06/2019	19/09/2019	111	9,4	23,2	13,8	7,1	02/06/2019	10,8	21,6	10,8	01/07/2019	16,15	18,41	27/06/2019	26/07/2019	96	86	14	379	26	58	0	0	0					
BIC3913	783376	6664239	11	01/06/2019	19/09/2019	111	8,7	24,2	15,5	8,7	02/06/2019	11,1	20,4	9,3	01/07/2019	16,01	18,02	27/06/2019	26/07/2019	100	90	10	399	52	19	0	0	0					
COR2896	782849	6664800	12	01/06/2019	31/08/2019	92	9,6	27,3	17,7	11	05/07/2019	11,7	22,7	11	26/07/2019	17,59	19,69	27/06/2019	26/07/2019	67	73	27	760	68	59	52	11	6					
COR7094	784502	6662553	13	01/06/2019	19/09/2019	111	9,2	21,8	12,6	5,7	02/06/2019	10,6	19,9	9,3	26/07/2019	15,46	17,37	27/06/2019	26/07/2019	104	94	6	195	20	20	0	0	0					
MON4870	782680	6661822	14	01/06/2019	19/09/2019	111	8,7	22,2	13,5	6,4	02/06/2019	10,7	19,9	9,2	26/07/2019	15,36	17,18	27/06/2019	26/07/2019	106	95	5	231	28	15	0	0	0					
FONT4762	782671	6661836	15	01/06/2019	19/09/2019	111	8,2	21,7	13,5	5,9	02/06/2019	10,1	19,4	9,3	26/07/2019	14,96	16,77	27/06/2019	26/07/2019	107	96	4	146	19	15	0	0	0					
BIL3687	787121	6663442	16	Sonde exondée. Non intégrée car aucune certitude sur le monde d'exondation																													
GRA6583	788171	6665354	17	01/06/2019	19/09/2019	111	8,1	25,4	17,3	8,9	30/06/2019	11	21,6	10,6	26/07/2019	16,71	18,87	27/06/2019	26/07/2019	88	79	21	652	71	22	11	4	4					
DAV3747	786772	6666762	18	01/06/2019	19/09/2019	111	8,6	23,3	14,7	9,9	26/08/2019	10,4	20,4	10	28/06/2019	15,81	17,81	27/06/2019	26/07/2019	103	93	7	359	44	38	0	0	0					
GRA4419	786953	6666857	19	01/06/2019	19/09/2019	111	7,7	21,8	14,1	7,9	02/06/2019	9,9	18,8	8,9	28/06/2019	14,79	16,45	27/06/2019	26/07/2019	111	100	0	137	23	12	0	0	0					
GRA932	785760	6669260	22	Non retrouvé																													
CHE1150	785642	6669383	21	01/06/2019	01/08/2019	62	9,3	21	11,7	7,6	02/06/2019	10,7	18,7	8	26/07/2019	14,82	16,22	27/06/2019	26/07/2019	62	100	0	78	12	11	0	0	0					
GRA1117	785640	6669260	20	01/06/2019	19/09/2019	111	8,6	19,3	10,7	7,9	17/06/2019	10,3	16,5	6,2	30/06/2019	13,72	14,88	27/06/2019	26/07/2019	111	100	0	2	1	2	0	0	0					
MAL1141	779870	6661580	23	01/06/2019	19/09/2019	111	9	20,7	11,7	6,5	01/06/2019	10,3	18,4	8,1	28/06/2019	14,51	15,98	27/06/2019	26/07/2019	111	100	0	63	9	9	0	0	0					
MAL4246	781810	6662251	24	01/06/2019	19/09/2019	111	8,2	19,5	11,3	4,4	02/06/2019	9,8	18,1	8,3	26/07/2019	14,1	15,69	27/06/2019	26/07/2019	111	100	0	17	5	5	0	0	0					
FONT3666	781800	6662261	25	01/06/2019	19/09/2019	111	8,5	19,7	11,2	4,4	23/08/2019	10,1	18,4	8,3	26/07/2019	14,49	16,06	28/06/2019	27/07/2019	111	100	0	28	7	7	0	0	0					

+ glossaire

REFERENCES

- Baran P., Lagarrigue T., Lascaux J.M., Henniaux H. et 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.
- Baptist F., Poulet N., Seon-Massin N., 2014. Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour leur adaptation.
- Carle F.L. & Strub M.R., 1978. A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics*, 34 : 621-630.
- Caudron A., Chassignol R., 2017. Etude génétique de la population de truite commune (*Salmo Trutta*) du cours principal du Méchet (71).
- Chassignol R., 2015. Suivi technique des opérations de restauration de ripisylves – Ruisseau des Vernottes à la Grande Verrière. Etat initial.
- Elliott, J. M. & Hurley, J. 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. (1998a). An individual-based model for predicting the emergence period of sea trout fry in a Lake District stream. *Journal of Fish Biology* 53, 414–433. doi: 10.1111/j.1095-8649.1998.tb00990.x
- Elliott, J. M. & Hurley, M. A. (1998b). Predicting fluctuations in the size of newly emerged sea-trout fry in a Lake District stream. *Journal of Fish Biology* 53, 1120–1133. doi: 10.1111/j.1095-8649.1998.tb00468.x
- Faure J.P & Grès P., 2008. Etude piscicole et astacicole préalable au contrat de rivières Rhins, Rhodon et Trambouzan (département 42 et 69) – 102p.
- Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles. Version 1.0, mars 2010. Fédération de Haute Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.
- Merle P., Inventaire et priorisation des étangs sur le bassin versant de l'Arroux en Morvan - 52 p.