

Traitement des données de capteurs de température des rivières pour l'analyse de l'évolution temporelle

Mots-clés : rivières, température, capteurs, critique des données, analyse de chroniques, évolution à long terme, retenues d'eau, communautés aquatiques

Type d'outil	Milieus étudiés	Disciplines mobilisées	Destinataires
Méthode d'analyse des données	Cours d'eau	-Hydrologie -Ecologie -Statistiques	-Gestionnaires de milieu -Bureaux d'études

OBJECTIFS

Analyser l'évolution temporelle de la température des rivières et réaliser son diagnostic thermique :

- Critiquer et valider les mesures issues des capteurs de température en continu ;
- Identifier les évolutions récentes de la température des cours d'eau par rapport à des régimes thermiques établis sur plusieurs années ;
- Identifier les impacts des seuils, et retenues de faible, moyenne et grande profondeur ;
- Caractériser l'occurrence de certains seuils de température en lien avec la survie, la croissance et la reproduction des organismes aquatiques.

L'ESSENTIEL

L'analyse des données de température d'une rivière acquises sur plusieurs années, est essentielle pour évaluer les impacts anthropiques et climatiques. La méthodologie d'analyse présentée dans cette fiche a été appliquée sur les données de 3000 stations du territoire national. Elle a permis d'établir des fiches de synthèse par station, présentant des statistiques de régime thermique dont certaines en lien avec les préférences thermiques des espèces piscicoles.

CONTENU DE L'OUTIL

L'outil décrit dans cette fiche est une méthodologie pour l'analyse des chroniques de températures issues de l'enregistrement des capteurs sur plusieurs années. Des indicateurs thermiques sont proposés à chaque station pour renseigner les facteurs de contrôle de la température de l'eau et les évolutions des communautés aquatiques.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
+ Valorisation des données acquises sur plusieurs années + Extraction d'informations pertinentes pour détecter les évolutions du milieu, pour ensuite en prendre des mesures + Fait le lien avec l'évolution des communautés aquatiques	- Vision réduite à une ou plusieurs stations (pas d'information sur les tronçons entre les stations)

MISE EN ŒUVRE

Moyens humains

- Si personne qualifiée, quelques jours pour le traitement des données sur une station

Compétences

- Compétences en traitement de gros volumes de données

Matériel

- Sondes de température (ex : Hobo)
- Logiciels de traitement de données : Excel (si peu de stations analysées) ou R (si besoin d'automatisation)

Coût

- Achat des sondes
- Achat de données Météofrance (température de l'air au pas de temps horaire)

CONTEXTE

Ces dernières années, notamment après la canicule de 2003, les gestionnaires des bassins versants ont mis en place des suivis de la température des cours d'eau avec des capteurs enregistreurs, au pas de temps horaire ou sub-horaire (ex : 15 min, 30 min, etc.). Ces capteurs génèrent de nombreuses données qui nécessitent d'être exploitées avec des méthodes et indicateurs appropriés pour analyser l'influence des actions anthropiques (seuils, retenues, rejets, changement climatique...) ou des facteurs naturels (végétation de berge, apport des eaux souterraines...) sur la température des cours d'eau pendant les périodes de canicule. Par ailleurs, certaines métriques de température (par exemple le nombre de jours où la température dépasse un seuil donné) constituent des éléments importants à mettre en lien avec l'évolution des espèces et communautés aquatiques.

PRINCIPES DE LA METHODOLOGIE

La méthodologie proposée, comporte 3 étapes :

- 1) **Détection des valeurs aberrantes et qualification des données** ; en effet, les chroniques acquises par les capteurs peuvent présenter des erreurs qui nécessitent d'être détectées de façon automatique, enlevées ou corrigées. Ainsi, plusieurs filtres peuvent être utilisés pour la détection automatique des valeurs aberrantes des données de température avec des seuils spécifiés en fonction des variabilités connues de la température de l'eau en France (par exemple, la température de l'eau ne peut pas dépasser 33 °C en moyenne mensuelle au mois de juillet).
- 2) **Reconstitution des données aberrantes et données manquantes** ; certaines valeurs aberrantes peuvent être reconstituées en fonction de la température de l'air, s'il existe une bonne corrélation entre les deux variables. Cela permet par la suite, de ne pas pénaliser le calcul des statistiques descriptives sur le régime thermique ou son évolution dans le temps.
- 3) **Détermination des métriques de température des cours d'eau** ; ces métriques sont adaptées aux objectifs visés :
 - **Pour analyser les évolutions pluriannuelles**, des métriques basées sur les moyennes mensuelles, ou sur des extrêmes chauds ou froids (mois ou années) (exemple figure 1) sont déterminées. En complément, les statistiques interannuelles permettent de résumer les variations infra-annuelles de température ainsi que leurs amplitudes. Ces différentes informations peuvent ainsi permettre la comparaison des régimes thermiques entre différentes stations et éventuellement faire l'objet d'une analyse en rapport avec les processus et facteurs de contrôles (températures de l'air, régime hydrologique, hydromorphologie, végétalisation des berges...).
 - **Pour détecter l'impact cumulé des retenues** sur la température de l'eau, la métrique du cumul des écarts entre la température de l'eau et de l'air entre le mois de mars et octobre de chaque année est un bon candidat. Cette métrique montre le réchauffement supplémentaire lié à ces ouvrages. Si des suivis sont disponibles en amont et aval de ces retenues, l'exploitation de ces données est aussi très précieuse.
 - **Pour détecter l'influence des grands barrages**, d'autres métriques sont employées, basées sur le décalage temporel des régimes saisonniers de la température de l'eau et de l'air.
 - **Pour analyser l'évolution des espèces et communautés aquatiques**, des métriques à signification écologique doivent être établis. Un exemple est donné pour la rivière Saône, en fonction des seuils maximum et minimum optimum pour une vingtaine d'espèces piscicoles et sur la base de la température moyenne maximale sur 30 jours consécutifs (cf. figure 2).

Synthèse des données thermiques en rivière – Période 2009–2018

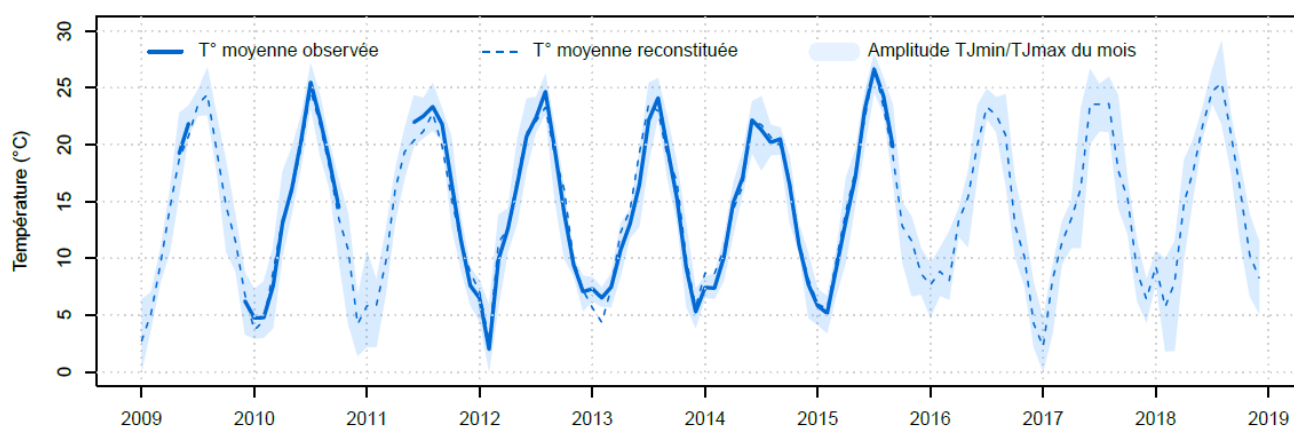
Saone à Anse (69)

Description de la station

Nom (code producteur) : Saone à Anse (6053800)
Département : RHONE (69)
Producteur de la donnée : RNT_OFB
Coordonnées (Lambert 93) : X = 833888 ; Y = 6540153
Altitude : 170 m
Surface de bassin versant (source : RHT) : 27917 km²
Distance à la source (source : RHT) : 575 km
Ordre de Strahler (source : RHT) : 7
Pente du tronçon (source : RHT) : 1.1 ‰



Températures moyennes mensuelles



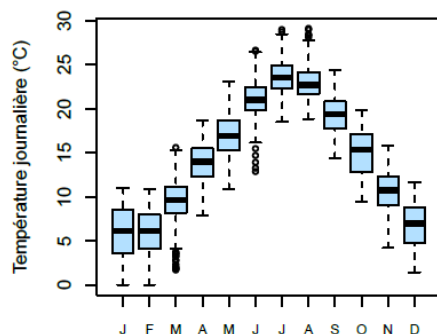
Températures moyennes mensuelles, annuelles et températures maximales sur 1, 7 et 30 jours (°C)

	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	TAmoy
2009	2.7	5.1	9.5	14.4	19.2	21.8	23.5	24.4	19.4	14.6	11.5	6.2	14.3
2010	4.7	4.8	7.6	13.1	16.1	20.4	25.5	22.2	18.6	14.5	10.7	4.2	13.3
2011	5.8	5.9	9.7	16	19.4	22	22.5	23.3	21.8	16.6	11.6	7.6	14.7
2012	6.5	2	9.9	12.6	16.5	20.7	22.4	24.6	19.5	14	9.4	7.1	13.8
2013	7.3	6.5	7.5	10.7	13	16.4	22.1	24.1	19.6	15.3	9.1	5.3	13.1
2014	7.4	7.4	10.1	14.9	17.1	22.2	21.3	20.2	20.5	16.5	11.2	7.7	14.7
2015	5.8	5.2	9.2	13.3	17.1	23.1	26.6	24.2	19.8	12.8	11.5	8.6	14.9
2016	7.7	8.8	8	13.3	15.4	20	23.3	22.6	20.8	12.9	10.1	4.2	13.9
2017	2.2	8.1	11.4	13.5	16.1	23.6	23.5	23.6	17.7	15.2	8.8	6.4	14.2
2018	9.3	5.7	7.9	14.9	17.7	21.7	24.7	25.4	20.9	15.9	10.3	8.3	15.3

TJmax (date)	T7Jmax (date)	T30Jmax (date)
26.8 (22/08)	26.4 (20/08)	24.5 (30/07)
26.5 (12/07)	26.3 (06/07)	24.9 (29/06)
26.3 (26/08)	25.7 (22/08)	22.9 (03/08)
26.2 (24/08)	25.8 (21/08)	24.7 (31/07)
25.8 (07/08)	25.2 (03/08)	24.6 (22/07)
24.2 (05/07)	23.8 (02/07)	23.3 (11/06)
29 (08/07)	28.4 (06/07)	27 (01/07)
24.9 (28/07)	24.4 (26/07)	23.4 (07/07)
26.6 (25/06)	26.4 (23/06)	24.4 (18/06)
29.1 (09/08)	28.4 (05/08)	26.1 (18/07)

Calcul réalisé à partir de données journalières reconstituées (si plus de 3 observations journalières manquantes dans le mois)

Régime thermique



Synthèse interannuelle et températures classées (°C)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmoy	5.9	5.9	9.5	13.9	16.8	21.1	23.5	23.1	19.3	15	10.6	6.8
TJmax	11	10.9	15.6	18.7	23.2	26.6	29	29.1	24.4	19.8	15.8	11.7
TJmin	0	0	1.6	7.8	10.9	12.8	18.5	18.9	14.4	9.5	4.2	1.4

Freq. au dépassement	1%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	99%
TJmoy	26.5	24.4	23.1	20.2	14.2	8.8	5.2	3.7	1.3

Pour plus de précisions sur les statistiques présentées, veuillez consulter la notice de lecture associée à la fiche

Résultats issus du projet TIGRE (contact : florentina.moatar@inrae.fr), en partenariat avec :



Figure 1 Exemple de fiche de synthèse de la rivière Saône : statistiques de régime thermique sur la période 2009-2018

Tolérance thermique des espèces piscicoles – Période 2009–2018

Saone à Anse (69)

Tolérance au stade juvénile* vs température moyenne maximale sur 30 jours

	Opt. min.	5	4	6		13	14	7	15		13	12	12		19	10	7			25		14	7	13	
	Opt. max.	26	17	25		15	25	27	25		24	24	25		25	25	21			30		28	25	28	
	Mortal.	27	25	29		30					32				31	32	30			34		34	30	30	
Année	T30Jmax	CHA	TRF	LOF	OBR	BLN	CHE	GOU	HOT	TOX	BAF	SPI	VAN	BOU	BRO	PER	GAR	ABL	CCO	SAN	BRB	BRE	GRE	PES	SIL
2009	24.5		+			?					+	+					+			-					
2010	24.9		+			?					+	+					+			-					
2011	22.9		+			?											+			-					
2012	24.7		+			?					+	+					+			-					
2013	24.6		+			?					+	+					+			-					
2014	23.3		+			?											+			-					
2015	27	+		+		?	+		?		+	?	?		+	+	+						+		
2016	23.4		+			?											+			-					
2017	24.4		+			?					+	+					+			-					
2018	26.1	+		+		?	+		?		+	?	?		+	+	+						+		

Tolérance au stade adulte* vs température moyenne maximale sur 30 jours

	Opt. min.	4	4	4	4	10	14	7	15	16	10	12	10	12	10	16	12	20	15	10	16	10	15	12	12
	Opt. max.	26	19	28	20	18	24	30	24	25	24	24	25	30	24	27	25	30	30	27	25	26	25	30	28
	Mortal.	27	25	29	23	27	30	36			32	27	32	37	31	33	31	35	35	35		35	31	35	32
Année	T30Jmax	CHA	TRF	LOF	OBR	BLN	CHE	GOU	HOT	TOX	BAF	SPI	VAN	BOU	BRO	PER	GAR	ABL	CCO	SAN	BRB	BRE	GRE	PES	SIL
2009	24.5		+			+	+		+		+	+			+										
2010	24.9		+			+	+		+		+	+			+										
2011	22.9		+		+	+																			
2012	24.7		+			+	+		+		+	+			+										
2013	24.6		+			+	+		+		+	+			+										
2014	23.3		+			+																			
2015	27	+				+	+		?	?	+	+	+		+		+				?	+	+		
2016	23.4		+			+																			
2017	24.4		+			+	+		+		+	+			+										
2018	26.1	+				+	+		?	?	+	+	+		+		+				?	+	+		

Legende

CHA : Chabot	BOU : Bouvière	T30Jmax dans l'optimum biologique
TRF : Truite fario	BRO : Brochet	T30Jmax < optimum biologique (écart inférieur à 1°C)
LOF : Loche franche	PER : Perche	T30Jmax > optimum biologique (écart inférieur à 1°C)
OBR : Ombre commun	GAR : Gardon	T30Jmax << optimum biologique (écart supérieur à 1°C)
BLN : Blageon	ABL : Ablette	T30Jmax >> optimum biologique (écart supérieur à 1°C)
CHE : Chevaie	CCO : Carpe	T30Jmax >> optimum biologique (seuil de mortalité non documenté)
GOU : Goujon	SAN : Sandre	T30Jmax > seuil de mortalité
HOT : Hotu	BRB : Brème bordelière	Seuils de tolérance non documentés
TOX : Toxostome	BRE : Brème commune	
BAF : Barbeau	GRE : Grémille	
SPI : Spirin	PES : Perche soleil	
VAN : Vandoise	SIL : Silure	

*D'après Frisk et al. (2012), Tissot & Souchon (2010), Mallet et al. (1999), Casselman et Lewis (1996), Elliott & Elliott (1995), Elliott et al. (1994), Persat (1988), Elliott (1981)

Résultats issus du projet TIGRE (contact : florentina.moatar@inrae.fr), en partenariat avec :



Figure 2 - Exemple de fiche de synthèse de la rivière Saône :
évolution des tolérances thermiques des espèces piscicoles pendant la période 2009-2018

PERSPECTIVES ET PRECONISATIONS

La bancarisation des données pourra aider à développer des modélisations thermiques des rivières pour déchiffrer l'impact du changement climatique et des actions anthropiques. L'équipe de recherche RiverLy d'INRAE a collecté récemment dans une étude à l'échelle de la France, les données d'environ 400 stations de suivi de la température de l'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée auprès de plusieurs acteurs (OFB, DREAL, Fédérations de Pêche, EDF...) ayant plus d'un an d'observations (figure 3). Ces données ont été critiquées, validées et reconstituées lorsque les chroniques présentaient des valeurs manquantes.

Des fiches de synthèse ont ensuite été réalisées pour chacune des stations avec des statistiques de régime thermique sur la période 2009-2018 et l'évolution des tolérances thermiques des espèces piscicoles pendant cette période. Ces fiches sont téléchargeables à l'adresse <http://thermie-rivieres.inrae.fr/> (figure 4). Les gestionnaires peuvent signaler via cette plateforme s'ils souhaitent transmettre des données à l'équipe du projet afin d'utiliser ces données pour des études scientifiques. L'équipe s'engage à produire des fiches de synthèse sur les stations transmises et à les diffuser aux producteurs de données.

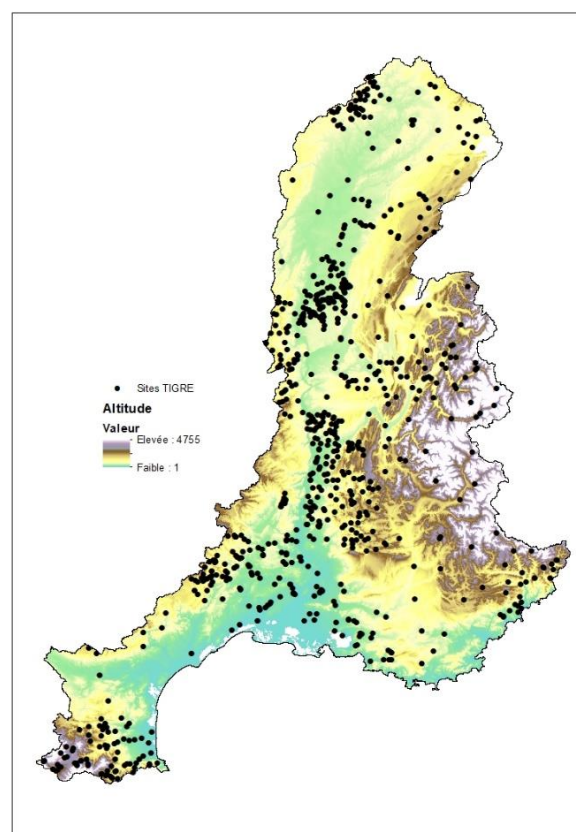


Figure 3 Carte des stations de suivi sur le bassin Rhône-Méditerranée

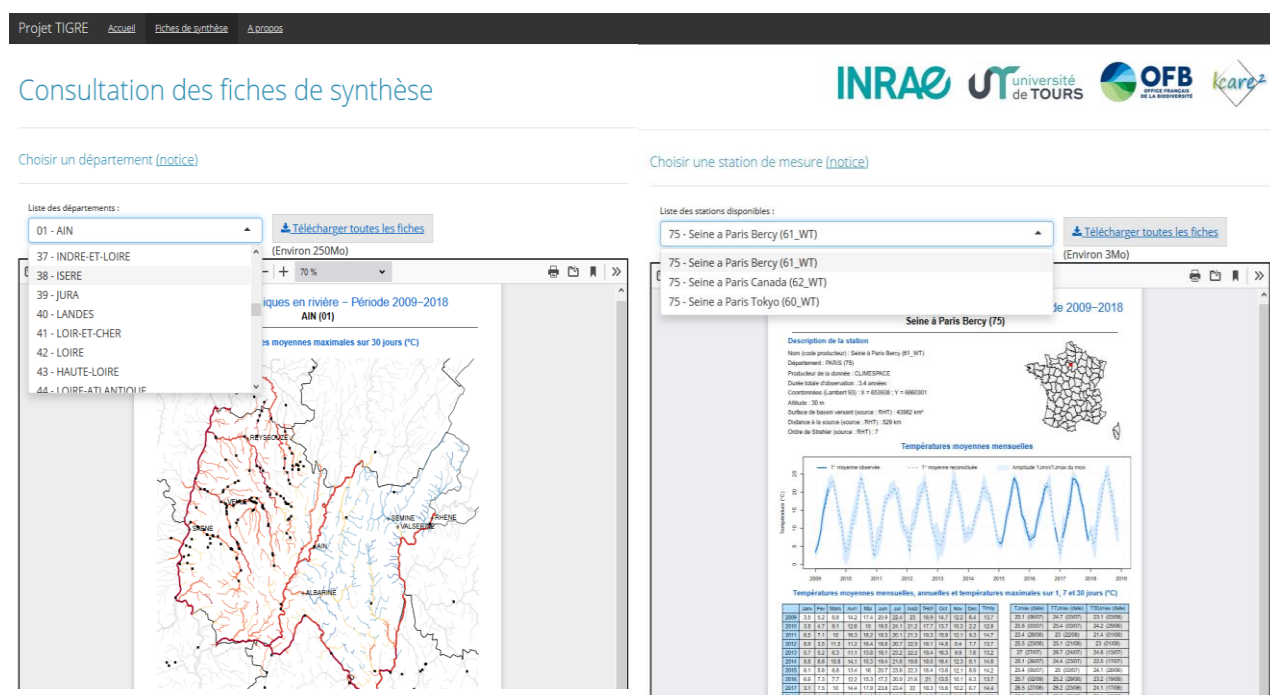


Figure 4 Site Thermie-rivieres.inrae.fr pour la consultation de fiches de synthèse par station

PERSONNE RESSOURCE

Florentina MOATAR

INRAE – Unité de recherche RiverLy
 Centre de Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes
Florentina.moatar@inrae.fr
 Tél : 04 72 20 87 57

- > N'hésitez pas à lui transmettre de nouvelles données
- > Téléchargement des fiches de synthèse : <http://thermie-rivieres.inrae.fr/>

DOCUMENT SOURCE

Beaufort, A., F. Moatar, E. Sauquet, C. Magand, 2020. Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France, INRAE UR RiverLy, Université de Tours GÉHCO, rapport final projet TIGRE, 63 pages + 53 pages d'annexes - https://florentinamoatar.files.wordpress.com/2020/12/projet-tigre_rapport_final_2020.pdf

AUTEURS

-Florentina Moatar, Martial Ferréol, Aurélien Beaufort, Eric Sauquet, Laurent Valette (INRAE RiverLy)
 -Clotaire Catalogne (bureau d'étude Icare²)

STRUCTURE(S) PORTEUSE(S) DU PROJET

INRAE – RiverLy équipes Ecoflows, HyBV

SITES ET OBSERVATOIRES DE LA ZABR MOBILISES

Les stations analysées couvrent l'ensemble du bassin Rhône Méditerranée Corse.

THEMATIQUES ZABR ABORDEES

Flux, Formes, Habitats, Biocénoses (FFHB) / Changements climatiques et ressources

PROJETS

Ce travail a été initié dans le cadre d'une action INRAE – OFB à l'échelle de la France (projet TIGRE). Une action est en cours de montage pour une modélisation couplée hydrologie et thermie dans le bassin de la Saône.

BIBLIOGRAPHIE

H. Seyedhasemi, F. Moatar, J.Ph Vidal, J. Diamond, Beaufort A. Chandesris, L. Valette. 2020. Using thermal signatures to identify the influence of dams and ponds on stream temperature at the regional scale. Science of Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142667>

A Beaufort, F Moatar, E Sauquet, P Loicq, D. M. Hannah, 2020. Influence of landscape and hydrological factors on Stream-Air temperature relationships at regional scale Hydrological Processes, vol 34 (3): 583-597, <https://doi.org/10.1002/hyp.13608>