

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

Mots-clés : rivières, températures maximales, capteurs, modélisation, extrapolation spatiale, communautés aquatiques

Type d'outil	Milieus étudiés	Disciplines mobilisées	Destinataires
Modélisation géostatistique	Cours d'eau	-Hydrologie -Ecologie -Statistiques	- Bureaux d'études - Gestionnaires de milieu

OBJECTIFS

Identifier les tronçons de rivière les plus sensibles au réchauffement climatique et ceux les plus régulés par les apports de nappe ou la végétation.

CONTENU DE L'OUTIL

L'outil décrit dans cette fiche est une méthodologie pour analyser et modéliser l'évolution spatiale de la température d'une rivière, à partir de données de capteurs. Cette méthodologie passe par la caractérisation des régimes saisonniers de la température des cours d'eau (chaud, froid, variabilité...) à partir des chroniques de températures enregistrées sur plusieurs années. Une étape de modélisation permet ensuite d'extrapoler deux métriques de température extrêmes le long du réseau hydrographique (type BD Carthage) : la moyenne inter-annuelle (2009-2018) des températures moyennes maximales annuelles sur 30 jours consécutifs (MT30jmax) et sur 7 jours consécutifs (MT7jmax). Ces métriques ont été retenues pour caractériser les conditions de température extrêmes estivales et leurs conséquences en matière de développement et de survie des espèces aquatiques. Elles sont en effet largement utilisées par les fédérations de pêche et sont par exemple exploitables pour le calcul des indices biotiques d'invertébrés aquatiques.

L'ESSENTIEL

La connaissance régionale des régimes thermiques des cours d'eau est primordiale pour l'étude de la dynamique des écosystèmes et pour la gestion des milieux. La méthodologie présentée ici permet de modéliser les évolutions spatiales de la température, le long du réseau hydrographique. Appliquée sur le bassin du Rhône, elle a permis d'identifier les tronçons les plus sensibles aux changements climatiques et ceux les plus régulés par les apports de nappe et la présence de végétation de berge, qui pourraient constituer des refuges thermiques lors des périodes de canicule.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
+ Valorisation des données acquises sur plusieurs années + Extraction d'informations pertinentes pour détecter les évolutions à travers les réseaux hydrographiques, pour ensuite prendre des mesures + Fait le lien avec l'évolution des communautés aquatiques	- Vision réduite à une ou plusieurs métriques statistiques établies en moyenne sur plusieurs années - Impossibilité d'obtenir une estimation sur certains tronçons

MISE EN ŒUVRE

Moyens humains

- Pour les étapes 1 à 4 de la méthodologie, quelques jours pour le traitement des données sur une station (si personne qualifiée)

Compétences

- Traitement de gros volumes de données
- SIG et modélisation statistique multivariée

Matériel

- Sondes de température (ex : Hobo)
- Logiciels de traitement de données (SIG, R..)

Coût

- Achat des sondes
- Achat de données Météofrance (température de l'air)

CONTEXTE

La connaissance régionale des régimes thermiques des cours d'eau est primordiale pour l'étude de la dynamique des écosystèmes aquatiques et pour la gestion des milieux sous changement climatique. Cependant, les stations de suivis ne sont pas disposées de façon homogène sur le territoire et certaines zones restent peu couvertes comme le sud-est de la France. Par ailleurs, certains gestionnaires ont choisi de densifier les suivis spatiaux de certains territoires parfois au détriment des suivis temporels. D'autres régions bénéficient de suivis en continu de plusieurs années mais avec uniquement quelques stations localisées généralement sur les moyens et grands cours d'eau. Dans ce contexte, des développements innovants ont été engagés afin de spatialiser des métriques de température avec des modèles géostatistiques en intégrant plusieurs variables explicatives environnementales (hydrologie, topographie, climat, végétation, géomorphologie).

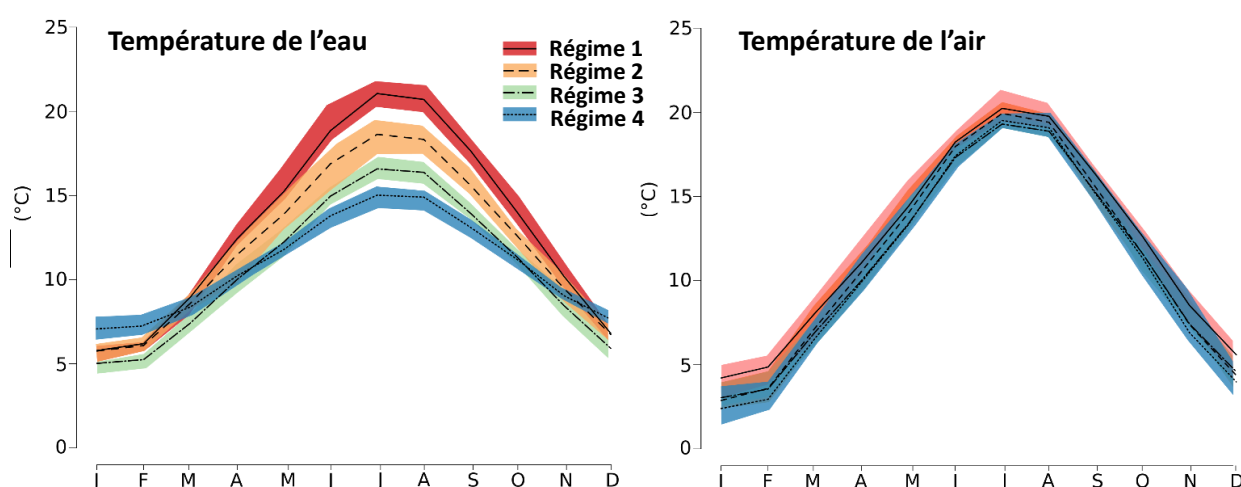
PRINCIPES

Méthodologie

La méthodologie proposée, comporte 5 étapes :

- 1) **Détection des valeurs aberrantes et qualification des données**
- 2) **Reconstitution des données aberrantes et données manquantes**
- 3) **Détermination du régime saisonnier d'une station donnée ou d'un tronçon de rivière non-suivi.** En effet, 4 régimes saisonniers ont été identifiés par INRAE à l'échelle de la France (Figure 1), sur la base de 5 métriques thermiques, dont 3 sont présentées dans le tableau ci-après. Ensuite, pour les tronçons où il n'existe pas de station de suivi, une prédiction du régime thermique a été réalisée en fonction de variables environnementales (figure 2 à gauche).

Etapes décrites dans la fiche outil
ZABR « Analyse temporelle »



Type de régime	Tair-Teau (Janvier)	Tair-Teau (Aout)	MTJ30max
Régime 1 – Chaud et très variable	-2.6 °C	-1.1°C	22.0°C
Régime 2- Chaud et variabilité modérée	-4.8°C	+0.9°C	19.4°C
Régime 3 –Froid et variabilité modérée	-2.9°C	+2.4°C	17.4°C
Régime 4 – Froid et peu variable	-5.7°C	+4.0°C	15.5°C

Figure 1 Graphiques des régimes thermiques de la température de l'eau et de l'air identifiés par INRAE et tableau avec métriques moyennées pour les stations de chaque régime déterminé

Les stations ayant un régime dit « **chaud et très variable** » (**régime 1**), sont situées sur des cours d'eau moyens ou grands, dont le régime est influencé par les échanges avec l'atmosphère. Une autre partie des stations de ce groupe sont situées sur des cours d'eau plus petits mais n'étant que très faiblement régulés par un soutien d'étiage ou par l'ombrage provenant de la végétation de berge. Les stations de ce régime sont situées sur des cours d'eau de plaine ayant de faibles pentes et une altitude globalement inférieure à 500 m. Ces cours d'eau sont très sensibles aux échauffements en période estivale. Ceci explique leur grande amplitude annuelle (environ 16°C) et leur fort MT30jmax (> 22°C). Les caractéristiques du régime « **chaud et variabilité modérée** » (**régime 2**), sont assez similaires au régime 1, mais se distinguent par un taux de

végétation de berge supérieur à 75 % pour une majorité de stations. Les stations appartenant au régime dit « **froid et variabilité modérée** » (**régime 3**), se distinguent de celles du régime 2 par leur plus fortes pentes (> 13m/km) et une température de l'air plus fraîche en été. Enfin le **régime 4**, dit « **froid et peu variable** », bénéficie d'un soutien d'étiage important. Une partie des stations sont situées à des altitudes plus élevées que les stations des régimes 1 et 2.

- 4) **Détermination de deux métriques extrêmes** de température des cours d'eau, sur les stations étudiées : la moyenne inter-annuelle (2009-2018) des températures moyennes maximales annuelles sur 30 jours consécutifs (MT30jmax) et sur 7 jours consécutifs (MT7jmax).
- 5) **Extrapolation de deux métriques extrêmes le long du réseau hydrographique** : les deux métriques extrêmes d'intérêts (MTw30J et MTw7J) sont extrapolées à l'aide de trois modèles statistiques (régression multiple, random forest, réseaux de neurones). Ces modèles ont été calibrés sur un jeu de 1700 stations en France (dont 400 dans le bassin du Rhône) et font appel à différentes variables explicatives telles que la température de l'air, la surface du bassin versant à la station, la pente moyenne du bassin versant, des indicateurs hydrologiques, les apports de nappe, le taux de végétation de berge moyen à la station, la proportion d'élargissement du cours d'eau en amont de la station, etc. Les différentes estimations obtenues sont ensuite combinées sous la forme d'une estimation multimodèle, plus robuste.

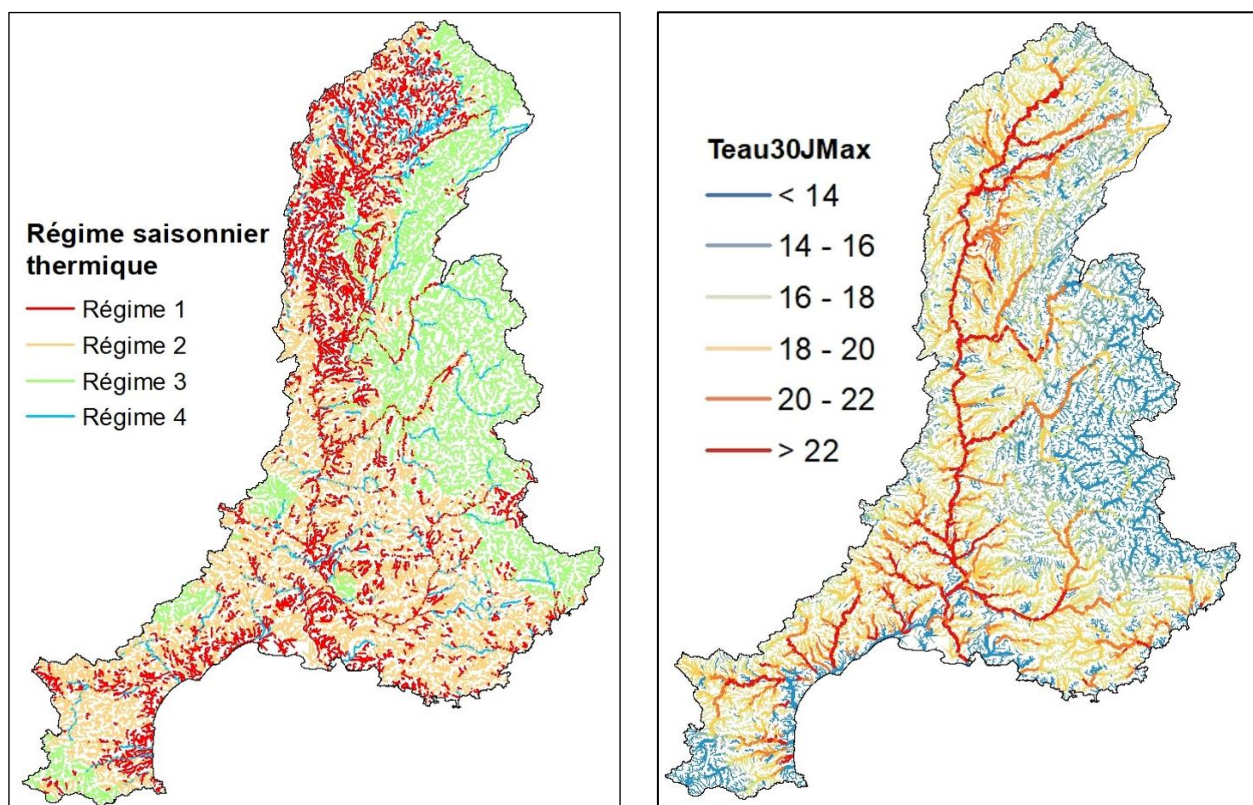


Figure 2. Cartes de la reconstitution des quatre régimes thermiques (à gauche) et de la métrique de la température maximale sur 30 jours consécutifs (moyenne 2009-2018) à droite - Valeurs présentées au travers de sept classes de température (du bleu pour les températures les plus froides au rouge pour les températures les plus chaudes ; en gris : tronçon sans estimation), ajustées pour chaque département et chaque indicateur de manière à faire ressortir au mieux les contrastes thermiques.

Applications

La bancarisation des données peut 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. Ces données ont été critiquées, validées et reconstituées lorsque les chroniques présentaient des valeurs manquantes. Elles ont ensuite été analysées dans différents contextes (climatiques, hydrologiques/hydrogéologiques, végétation de berge, impacts anthropiques). Les modèles à base physique permettent de prédire l'évolution future en fonction de

scénarios. Les modèles statistiques permettent de reconstituer des chroniques de température manquantes et d'extrapoler des métriques de température à l'échelle des réseaux hydrographiques.

La figure 2 (à droite) présente une image de la modélisation réalisée à partir de ces données (estimation multimodèle). Le résultat est restitué sur le Réseau Hydrographique Théorique (RHT, Pella *et al.*, 2012), offrant une assez bonne précision spatiale avec environ 115 000 brins d'une longueur moyenne de 2,5 km. Compte tenu des différentes sources d'incertitude liées aux données et aux méthodes d'interpolation, et malgré une précision indiquée à 0,5°C près, ces valeurs restent des ordres de grandeur permettant avant tout de caractériser les grandes tendances d'évolution de la température le long du réseau hydrographique. A une échelle plus fine, les résultats doivent faire l'objet d'un regard critique. Par ailleurs, les méthodes d'interpolation n'ont pas permis d'obtenir une estimation sur certains tronçons.

PERSPECTIVES ET PRECONISATIONS

Des fiches de synthèse ont été réalisées par INRAE pour chacune des 400 stations étudiées avec des statistiques de régime thermique sur la période 2009-2018 et l'évolution des tolérances thermiques des espèces piscicoles pendant cette période. Des fiches avec les extrapolations des deux métriques extrêmes par département complètent ces informations. Ces fiches sont téléchargeables à l'adresse <http://thermie-rivieres.inrae.fr/>. 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.

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

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>