



# Réseau de suivi à distance de la température de la vallée de l'Ain (Jura)

Jean-Baptiste Fagot  
Fédération du Jura pour la Pêche  
et la Protection des Milieux Aquatiques

Version finale  
30 mars 2021

---

Le travail réalisé au cours des années 2019-2020 a permis l'installation de dispositifs de suivi de la température de l'Ain (cours principal et retenue de Vouglans).

Ces équipements acquièrent et transmettent de manière autonome les données acquises sur sites, qui sont ensuite intégrées au système d'information interne par différents processus automatisés. Ces données sont ensuite consultables en temps sub-réel à travers une plateforme accessible en ligne.

Une analyse des premières données collectées fait état de différents niveaux de variabilité spatiale et temporelle. Le cours de l'Ain présente un comportement fluctuant tandis que la retenue de Vouglans semble avoir une dynamique spatiale plus homogène. Les fluctuations inter-annuelles, bien visibles sur la période 2019-2021, doivent être observées sur un temps plus long afin de pouvoir en apprécier les caractéristiques intrinsèques.

Les données ici collectées permettent une modélisation des périodes théoriques de reproduction de quelques espèces piscicoles. Ces calculs devront être confrontées à des observations de terrain afin d'obtenir une image fiable des périodes concernées. Ceci permettra également de réaliser un croisement avec les marnages de la retenue de Vouglans, du fait de l'usage hydro-électrique, qui transforment des habitats théoriques de reproduction en zones accessibles et favorables ou à l'inverse en zones hors d'eau malgré de récentes pontes.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Contexte et objectifs</b>	<b>4</b>
2.1	Contexte . . . . .	4
2.2	Acteurs . . . . .	4
2.3	Objectifs . . . . .	4
2.4	Opérateur . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Principales observations</b>	<b>6</b>
3.1	Description du bassin versant . . . . .	6
3.2	Stratégie d'échantillonnage . . . . .	7
3.2.1	Principes de répartition . . . . .	7
3.2.2	Organisation du maillage . . . . .	7
3.3	Méthodes d'investigation . . . . .	9
3.3.1	Matériel utilisé . . . . .	9
3.3.2	Implantation . . . . .	9
3.3.3	Circuit des données . . . . .	11
3.4	Résultats . . . . .	11
3.4.1	Interface de visualisation . . . . .	11
3.4.2	Résultats thermiques . . . . .	12
3.4.3	Période de reproduction d'espèces piscicoles . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Synthèse</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Annexes</b>	<b>20</b>
.1	Suivi de terrain . . . . .	20
.2	Suivi de terrain . . . . .	22
.3	Informations techniques . . . . .	22

## Contexte et objectifs

### 2.1 Contexte

L'Ain est un cours d'eau dont le bassin versant s'organise selon un axe globalement Nord-Sud dans les départements du Jura (amont) et de l'Ain (aval). Son cours, long de 190 km, présente de nombreux faciès très diversifiés, avec notamment la présence de nombreux ouvrages de production hydroélectrique. Il faut également souligner la présence de nombreux lacs naturels sur le bassin versant.

### 2.2 Acteurs

La gestion, l'entretien et la restauration de l'Ain et de ses affluents est assurée par le différents opérateurs dans la partie jurassienne (le Parc Naturel Régional du Haut-Jura (PNRHJ) au titre de la compétence GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI) et le Conseil Départemental du Jura (CD39) au titre de la politique Espace Naturel Sensible (ENS)) et par le Syndicat de la Rivière d'Ain Aval et de ses Affluents (SR3A) dans le département de l'Ain.

### 2.3 Objectifs

Le contexte géographique naturel et de dérèglement climatique observé depuis plusieurs années amène à des situations tendues d'un point de vue écologique (état des milieux, mesures de gestion de crise, etc.) comme liés aux usages (production hydroélectrique, Alimentation en Eau Potable (AEP), activités nautiques et/ou de pêche récréative, etc.). Il paraît donc nécessaire de se doter de dispositifs permettant de disposer de données fiables au moment opportun, tant en termes de suivi que d'aide à la décision. Ces données peuvent également, en second lieu, alimenter les besoins propres à chacune des activités.

L'hydrologie fait actuellement l'objet de suivis accessibles en temps réel sur cet axe, sous la responsabilité de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) (<http://www.rdbrmc.com/hydroreel2/listestation.php?dep=39>). À l'inverse, la température de l'eau n'est accessible aujourd'hui qu'au prix de manipulations *in situ* nécessaires à la relève de capteurs automatiques, voire de mesures



ponctuelles. Ce paramètre mésologique prépondérant explique pour partie la répartition des espèces aquatiques tant animales que végétales (VERNEAUX 1976, MAGNUSON, CROWDER et MEDVICK 1979, SMITH 1972). Cette variable est également, avec la photopériode et l'hydrologie, le principal déclencheur de la reproduction des espèces (BRUSLÉ et QUIGNARD 2004). C'est enfin et surtout un des paramètres critiques, avec la saturation en oxygène de l'eau, pour la faune piscicole lors d'épisodes de canicule (TISSOT et SOUCHON 2010).

Les objectifs de ce projet sont les suivants :

- Installer des dispositifs d'acquisition de la température/qualité de l'eau de l'Ain et une chaîne de transmission et de traitement des données ;
- Évaluer la variabilité spatiale et temporelle de ce métabolisme au sein de la retenue de Vouglans.

## 2.4 Opérateur

Le projet ici présenté a été porté par la Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FJPPMA), représentant les Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (AAPPMA) du département et dont les missions statutaires sont :

- le développement durable de la pêche amateur, la mise en œuvre d'actions de promotion du loisir-pêche par toutes mesures adaptées, en cohérence avec les orientations nationales ;
- la protection des milieux aquatiques, la mise en valeur et la surveillance du domaine piscicole départemental.

Le projet ici présenté a été porté par la FJPPMA au titre de ses missions statutaires précédemment citées, mais également en tant qu'animateur du Réseau de Suivi de la Température des Milieux Aquatiques du Jura (RSTMAJ) (FAGOT 2019).

## Principales observations

Les données collectées au cours de ce suivi, ainsi que ce rapport, ont été produits via le programme R (R CORE TEAM 2020) à travers RStudio (RSTUDIO TEAM 2021), couplés à différents packages (WILKE 2019; GROLEMUND et WICKHAM 2011; KAHLE et WICKHAM 2013; WICKHAM et al. 2007; WICKHAM et al. 2011; WICKHAM 2009; WICKHAM et al. 2020; SLOWIKOWSKI 2020; AUGUIE 2017; XIE 2020; WICKHAM et BRYAN 2019; WICKHAM 2020; WICKHAM et HENRY 2020; DAHL 2019; WICKHAM et al. 2019; WICKHAM et RUIZ 2020; DUNNINGTON et RUIZ 2020; PEBESMA 2018; WICKHAM 2019; PEBESMA, MAILUND et HIEBERT 2016; FAGOT 2021). QGIS, PostgreSQL et PostGIS ont également été utilisés (QGIS DEVELOPMENT TEAM 2021; POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP 2020; *PostGIS* 2020).

L'atteinte de ces objectifs nécessite la mise en œuvre d'une stratégie adaptée aux enjeux locaux, tant environnementaux que d'usages anthropiques.

### 3.1 Description du bassin versant

Le cours de l'Ain dans le département du Jura représente un linéaire d'environ 114 kilomètres. Son linéaire est alternativement classé en première ou en deuxième catégorie piscicole. L'hydrologie globale du bassin présente un certain nombre de particularités qu'il est important de prendre en considération, comme certains constats hydrogéomorphologiques :

- une tête de bassin vallonnée et constituées de zones de gorges,
- une partie médiane, présentant une plaine alluviale, comprenant une retenue artificielle (barrage de Blye), et alimentée par les eaux issues de lacs naturels,
- une partie aval, fortement aménagée avec la présence de plusieurs ouvrages hydro-électriques (retenues de Vouglans, de Saut-Mortier, de Coiselet et Cize-Bolozon).

## 3.2 Stratégie d'échantillonnage

### 3.2.1 Principes de répartition

La définition d'une stratégie dans le cadre de la constitution d'un réseau de suivi doit répondre à certains principes (BARTRAM et BALLANCE 1996, AGENCY 2012, DIXON et CHISWELL 1996, DIXON, SMYTH et CHISWELL 1999). Parmi les considérations essentielles à prendre en compte dans le suivi envisagé ici figurent principalement :

- les objectifs fixés,
- l'échelle à laquelle on souhaite travailler (tant en termes spatiaux que temporels),
- les moyens (humains, matériels, financiers) dont on dispose, et la concordance ou non avec les objectifs fixés,
- les informations que l'on souhaite tirer de ces mesures de terrain, et les outils disponibles pour cela.

Les choix propres au réseau de suivi de la température de l'Ain vont maintenant être détaillés.

### 3.2.2 Organisation du maillage

La répartition mise en place, visible sur la figure 3.1, permet de répondre aux objectifs fixés :

- Les sondes dotées d'un dispositif de télétransmission seront consultables en temps réel. Elles couvrent la température le long du continuum de l'Ain, ainsi la retenue de Vouglans en deux points centraux. De plus, la qualité de l'eau (température, oxygénation et conductivité) est également disponible en période critique au niveau de Marigny (Ain exutoire Chalain).
- Les sondes passives permettront de compléter à un coût moindre la collecte de données sur les parties amont et aval de la retenue de Vouglans.

Cette combinaison, détaillée dans le tableau 3.1, permet de limiter les coûts tout en apportant de façon combinée les informations nécessaires à différents acteurs et objectifs de gestion (récréatif, écologique, socio-économique, etc.).

TABLE 3.1 – Répartition des points de suivi mis en place

Nom	Capteur	Type	Collecte	Ancrage
Ain - Amont confluence Balerne	Level TROLL 400	Thermie/hauteur	Télétransmission	Berge
Ain - Aval exutoire Chalain	Aqua TROLL 500	Thermie/hauteur/qualité	Télétransmission	Pile de pont
Vouglans - Bellecin	HOBO Pendant Temp logger	Thermie	Manuelle	Bouée
Vouglans - Chartreuse	HOBO Pendant Temp logger	Thermie	Manuelle	Bouée
Bouée - Port du Gringalet	HOBO Pendant Temp logger	Thermie	Manuelle	Bouée
Vouglans - Port du Meix	Level TROLL 400	Thermie	Télétransmission	Ponton
Bouée - Port de la Saisse	HOBO Pendant Temp logger	Thermie	Manuelle	Bouée
Vouglans - Port du Surchauffant	Level TROLL 400	Thermie	Télétransmission	Ponton



FIGURE 3.1 – Répartition spatiale des points de suivi installés

## 3.3 Méthodes d'investigation

### 3.3.1 Matériel utilisé

Le matériel utilisé est de différents types, en fonction de l'information recherchée :

- concernant la collecte **manuelle** (données dites « froides »), les capteurs enregistreurs utilisés sont des Hobo UA-001-64 et Hobo MX2201 de la marque Onset ;
- concernant la collecte **automatique** (données dites « chaudes ») :
  - les modems utilisés sont des modèles Tube-300R 3G EU de la marque In-Situ (fonctionnement sur batterie lithium),
  - Les capteurs utilisés sont :
    - niveau et température : LevelTroll 400 11m de la marque In-Situ,
    - oxygène : RDO Pro-X de la marque In-Situ,
    - qualité au sens large (niveau, température, conductivité, nitrates, ammonium, pH, turbidité) : AquaTroll 500 de la marque In-Situ.



FIGURE 3.2 – In-Situ LevelTroll 400 (diamètre de 18.3 mm et longueur de 216 mm)



FIGURE 3.3 – In-Situ AquaTroll 500 (diamètre de 47 mm et longueur de 592 mm)



FIGURE 3.4 – In-Situ Tube 300 (diamètre de 52 mm et longueur de 480 mm)

### 3.3.2 Implantation

L'implantation sur chaque site constitue une phase délicate, qui doit permettre de réunir un certain nombre de critères :

- accord des ayants-droits,
- accessibilité relativement simple,
- représentativité des paramètres suivis,
- sécurité pour le matériel (vol, dégradation volontaire ou involontaire, etc.),
- sécurité pour le personnel.



Les figures 3.5 et 3.6 donnent deux exemples d'implantation utilisées dans le cadre de ce projet.



FIGURE 3.5 – Implantation sur l'Ain à Marigny



FIGURE 3.6 – Implantation sur un ponton de la retenue de Vouglans

Aucun calage altitudinal n'a été réalisé au niveau des stations situées sur l'Ain : seule une altitude relative de la ligne d'eau est disponible, ce qui permet néanmoins de suivre l'évolution de celle-ci.

### 3.3.3 Circuit des données

Une vue schématique de l'organisation de la circulation des données entre les points de mesure et l'affichage en ligne est représentée sur la figure 3.7.

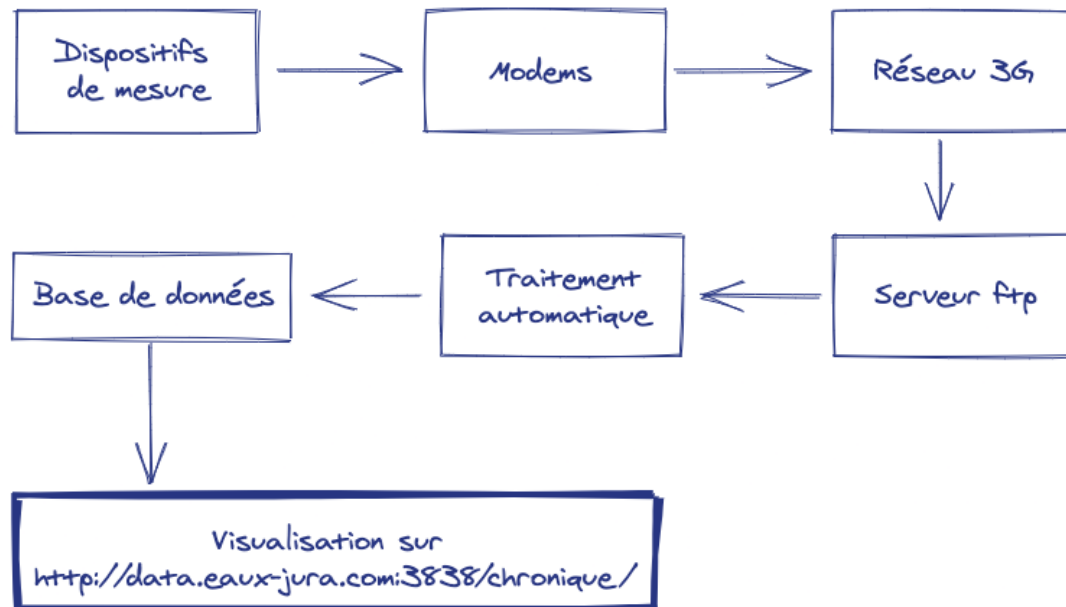


FIGURE 3.7 – Schéma synoptique du cheminement des données

## 3.4 Résultats

### 3.4.1 Interface de visualisation

Les données mesurées et télétransmises peuvent être consultées en temps sub-réel (télétransmission toutes les 24 heures), via l'interface accessible de manière restreinte à l'adresse <http://data.eaux-jura.com:3838/chronique/> et visible sur les figures 3.8 et 3.9. Cette interface a été développée avec les packages Shiny (CHANG et al. 2021) et dygraphs (VANDERKAM et al. 2018).

Cette haute disponibilité des données a notamment permis d'alimenter les échanges de la « cellule sécheresse » départementale lors des épisodes d'étiage 2019 et 2020, concernant le cours principal de l'Ain.

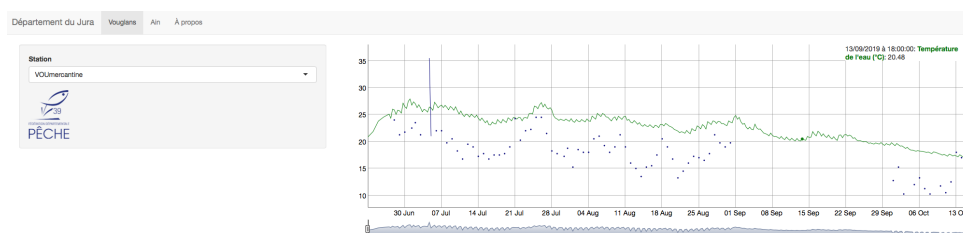


FIGURE 3.8 – Vue générale de l'interface de visualisation en ligne

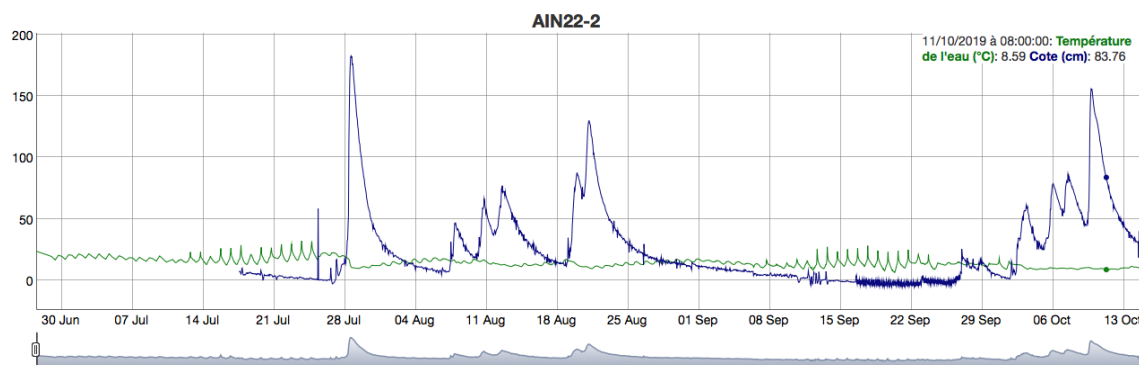


FIGURE 3.9 – Vue détaillée de l'interface de visualisation en ligne - Exemple de la page relative à la station AIN22-2 - Valeur présente sous la souris affichée de manière détaillée en haut à droite, et zoom possible sur une période données à l'aide de la barre inférieure

### 3.4.2 Résultats thermiques

Le dispositif a été installé en différentes phases au cours du printemps 2019 (voir détails en annexe .1.1). Le suivi thermique de l'année 2019 est donc lacunaire.

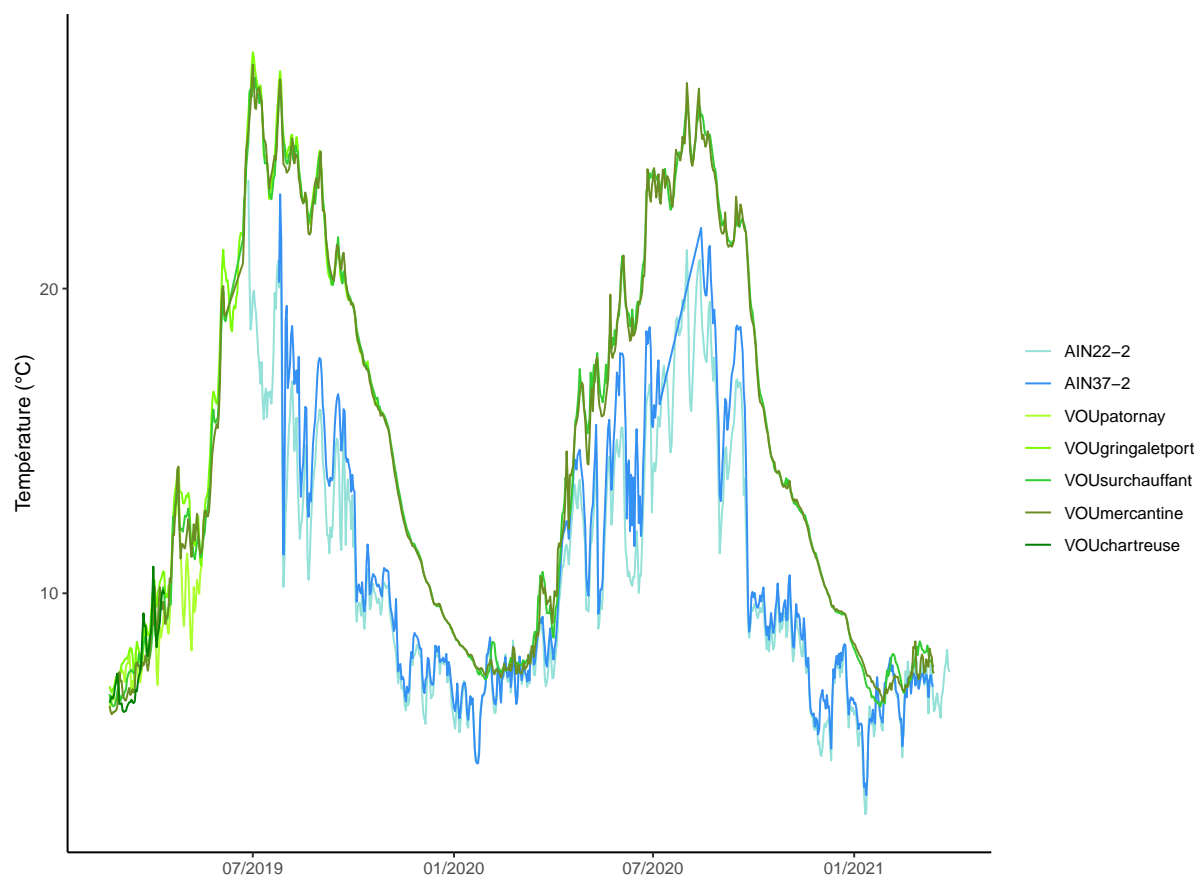


FIGURE 3.10 – Chronique des mesures de température de l'eau réalisées au niveau des différents points de suivi



La figure 3.10 permet de visualiser de manière globale les mesures de température de l'eau réalisées au niveau des différents points de suivi. On remarque un profil plus froid sur l'Ain, avec un gradient amont-aval. À l'inverse, la situation semble très homogène à l'échelle de la retenue de Vouglans, bien que ces premières observations demandent un suivi diachronique plus long et un complément synchronique à travers une campagne de prise de vue thermique sur l'ensemble de la retenue.

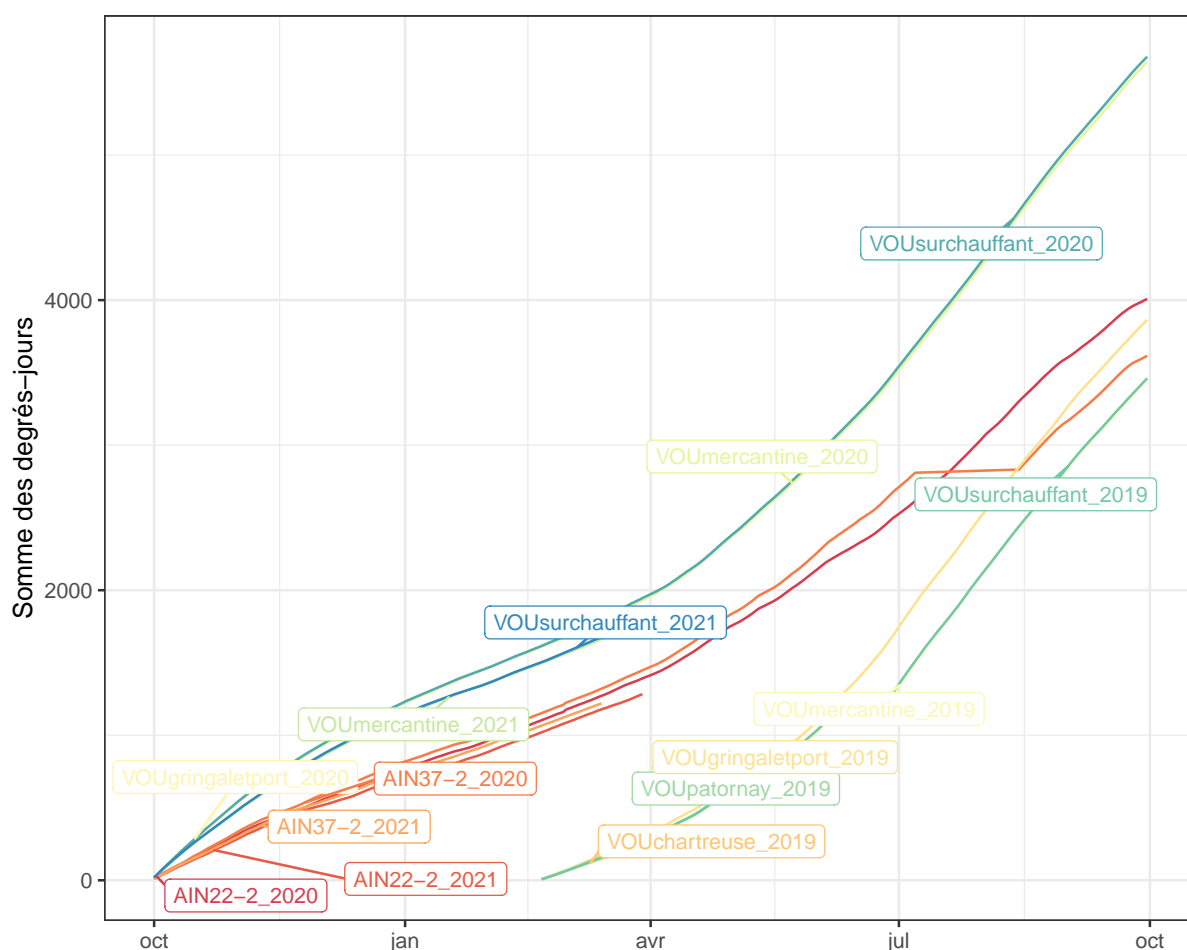


FIGURE 3.11 – Vue du cumul des degrés-jours des différents points de suivi

Une représentation d'une autre forme, disponible à travers la figure 3.11, permet d'analyser les températures sous forme de cumul. Le jeu de données ici disponibles ne présente pas une amplitude importante, mais permet néanmoins de réaliser quelques constats :

- en confirmation de la figure 3.10, les profils thermiques des ports de la mercantaine et du Meix (Surchauffant) sont parfaitement similaires ;
- l'année 2021 démarre de manière plus froide que l'année 2020.

### 3.4.3 Période de reproduction d'espèces piscicoles

La mise en rapport des suivis thermiques à des références bibliographiques de température de déclenchement et de durée de reproduction de certaines espèces piscicoles permet de calculer, de manière théorique, des durées entre début de la reproduction et émergence des alevins (BRUSLÉ et QUIGNARD 2013; KEITH et al. 2020). Les données de référence utilisées figurent en annexe .2.1.

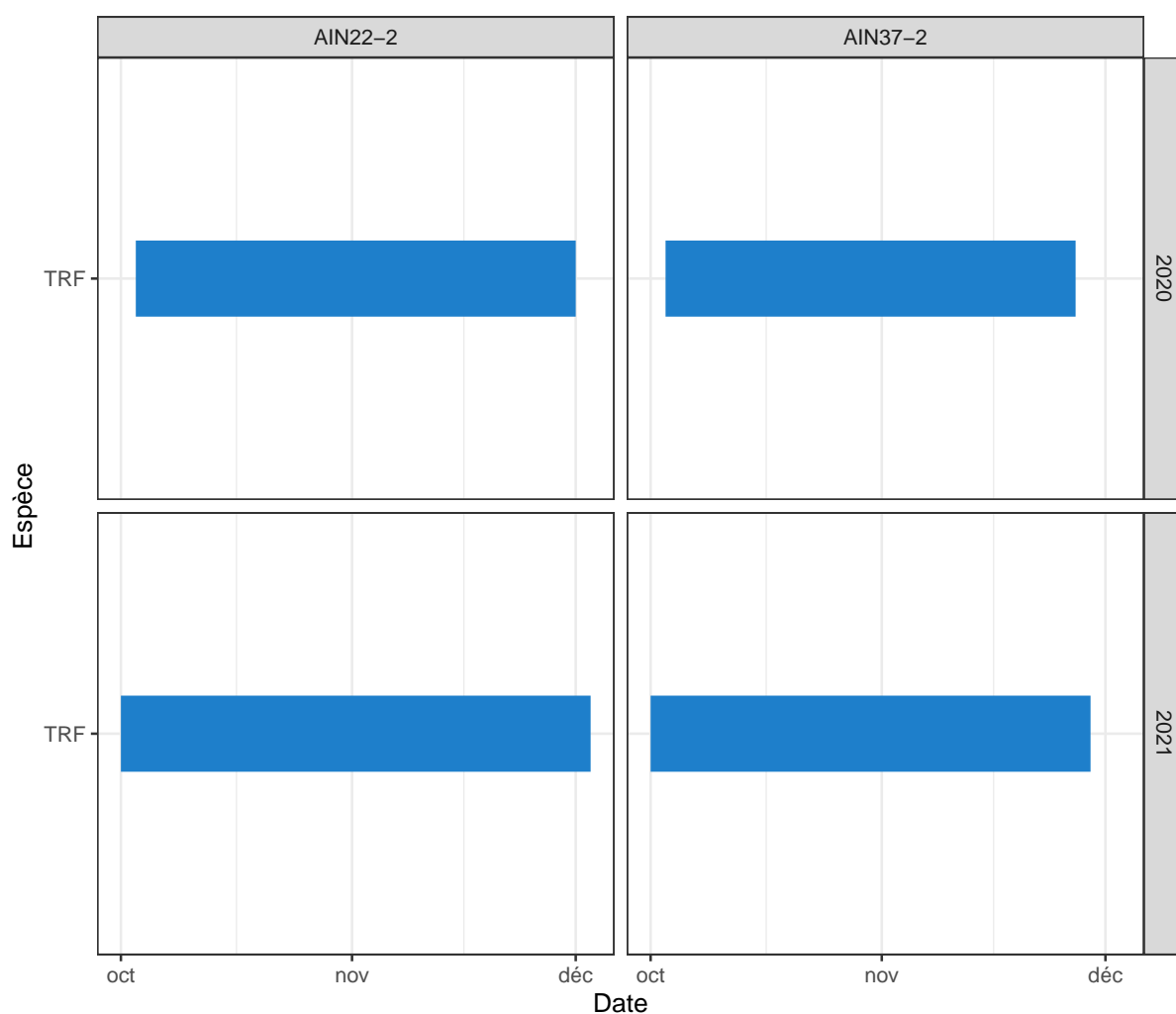


FIGURE 3.12 – Répartition calendaire des périodes théoriques de reproduction de quelques espèces piscicoles sur les stations installées sur l'Ain

La figure 3.12 permet de visualiser, de manière théorique, la période de reproduction de la truite fario (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758). On peut remarquer que la période concernée est semblable entre les deux stations situées sur l'Ain. Les dates de démarrage sont identiques au jour près, mais la période se termine plus rapidement (de 3 à 4 jours) sur la station la plus aval, présentant une thermie légèrement plus chaude. Comme remarqué précédemment, on peut également observer que l'année biologique 2021 démarre de manière plus fraîche que l'année biologique 2020, avec une précocité supérieure et une durée légèrement plus importante.

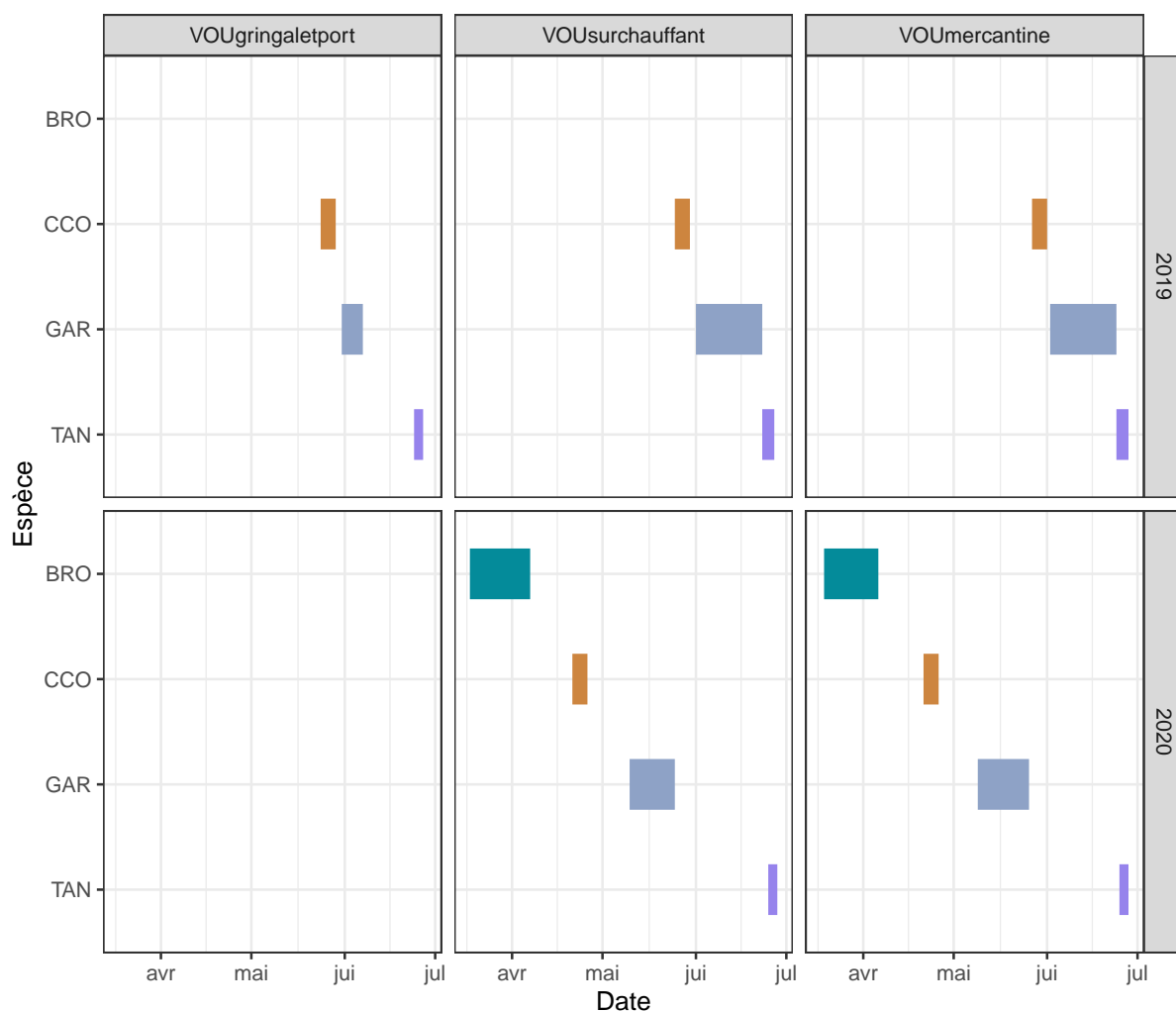


FIGURE 3.13 – Répartition calendaire des périodes théoriques de reproduction de quelques espèces piscicoles sur les stations installées sur la retenue de Vouglans

Pour sa part, la figure 3.13 permet d’observer, toujours de manière théorique, la reproduction de différentes espèces du plan d’eau :

- le brochet (*Esox lucius* Linnaeus, 1758),
- la carpe commune (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758),
- le gardon (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758),
- la tanche (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758).

On peut remarquer que les périodes de reproduction sont semblables entre les différents points de suivi du lac pour une même espèce. À l’inverse, l’année 2020, particulièrement chaude et précoce, semble avoir entraînée un déclenchement rapide de la reproduction du brochet, de la carpe commune et du gardon, sans affecter la tanche. Cette variabilité pourra être mieux comprise avec de plus nombreuses années de suivi, et surtout avec un couplage entre cette approche théorique et des observations de terrain.

Le travail réalisé au cours des années 2019-2020 a permis l'installation de dispositifs de suivi de la température de l'Ain (cours principal et retenue de Vouglans). Ces équipements acquièrent et transmettent de manière autonome les données, qui sont ensuite intégrées au système d'information de la FJPPMA par différents processus automatisés. Ces données sont ensuite consultables en temps sub-réel.

Une analyse des premières données collectées fait état de différentes variabilités spatiales et temporelles. Le cours de l'Ain présente un comportement fluctuant tandis que la retenue de Vouglans semble avoir une dynamique spatiale plus homogène. Les fluctuations inter-annuelles doivent être observées sur un temps plus long afin de pouvoir en apprécier les caractéristiques intrinsèques.

Les données ici collectées, permettant une modélisation des périodes théoriques de reproduction de quelques espèces piscicoles, devront, à l'avenir, être confrontées à des observations de terrain. Il est également indispensable, dans le cas de la retenue de Vouglans, d'engager un travail d'analyse et de modélisation de ces périodes de reproduction en rapport aux marnages de la retenue du fait de l'exploitation hydro-électrique, ennoyant et exondant les habitats de reproduction de ces mêmes espèces. Le succès ou l'échec de la reproduction de certaines espèces piscicoles (brochet notamment, poisson dit « fourrage » également) constitue la résultante de l'ensemble de ces facteurs, qu'il faut donc analyser de manière concomitante.



## Bibliographie

- AGENCY, European Environment (2012). *European Waters — Assessment of Status and Pressures*. Rapp. tech. Copenhagen : European Environment Agency, p. 96.
- AUGUIE, Baptiste (2017). *gridExtra : Miscellaneous Functions for “Grid” Graphics*.
- BARTRAM, Jamie et Richard BALLANCE (1996). *Water Quality Monitoring : A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. CRC Press.
- BRUSLÉ, Jacques et Jean-Pierre QUIGNARD (2004). *Les poissons et leur environnement : écophysiologie et comportements adaptatifs*. français. Londres ; Paris ; New York : Éd. Tec & Doc. ISBN : 2-7430-0679-X.
- (juil. 2013). *Biologie des poissons d’eau douce européens*. Français. 2e édition. Paris : Tec & Doc Lavoisier. ISBN : 978-2-7430-1496-4.
- CHANG, Winston et al. (2021). *Shiny : Web Application Framework for R*.
- DAHL, David B. (2019). *Xtable : Export Tables to LaTeX or HTML*.
- DIXON, William et Barry CHISWELL (sept. 1996). « Review of Aquatic Monitoring Program Design ». In : *Water Research* 30.9, p. 1935-1948. ISSN : 0043-1354. DOI : 10.1016/0043-1354(96)00087-5.
- DIXON, William, Gordon K SMYTH et Barry CHISWELL (mar. 1999). « Optimized Selection of River Sampling Sites ». In : *Water Research* 33.4, p. 971-978. ISSN : 0043-1354. DOI : 10.1016/S0043-1354(98)00289-9.
- DUNNINGTON, Dewey et Edgar RUIZ (2020). *Ggspatial : Spatial Data Framework for Ggplot2*.
- FAGOT, Jean-Baptiste (nov. 2019). *Réseau de Suivi Thermique Des Milieux Aquatiques Du Jura - 2016-2019*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura, p. 30.
- (2021). *Aquatools : Tools for Freshwater Managers*.
- GROLEMUND, Garrett et Hadley WICKHAM (2011). « Dates and Times Made Easy with Lubridate ». In : *Journal of Statistical Software* 40.3, p. 1-25.
- KAHLE, David et Hadley WICKHAM (2013). « Ggmap : Spatial Visualization with Ggplot2 ». In : *The R Journal* 5.1, p. 144-161.
- KEITH, Philippe et al. (déc. 2020). *Les poissons d’eau douce de France*. Français. 2e édition. Coédition Biotope. ISBN : 978-2-36662-247-8.
- MAGNUSON, John J., Larry B. CROWDER et Patricia A. MEDVICK (1979). « Temperature as an Ecological Resource ». en. In : *American Zoologist* 19.1, p. 331-343. ISSN : 1540-7063, 1557-7023. DOI : 10.1093/icb/19.1.331.

- PEBESMA, Edzer (2018). « Simple Features for R : Standardized Support for Spatial Vector Data ». In : *The R Journal*.
- PEBESMA, Edzer, Thomas MAILUND et James HIEBERT (2016). « Measurement Units in {R} ». In : *The R Journal* 8.2, p. 486-494.
- PostGIS (fév. 2020).
- POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP (mai 2020). *PostgreSQL*.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (jan. 2021). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation.
- R CORE TEAM (juin 2020). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienne, Autriche.
- RSTUDIO TEAM (jan. 2021). *RStudio : Integrated Development for R*. RStudio, Inc. Boston, MA.
- SLOWIKOWSKI, Kamil (2020). *Ggrepel : Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'Ggplot2'*.
- SMITH, Keith (1972). « River Water Temperatures - An Environmental Review ». In : *Scottish Geographical Magazine* 88.3, p. 211-220. DOI : 10.1080/00369227208736229.
- TISSOT, L. et Y. SOUCHON (2010). « Synthèse Des Tolérances Thermiques Des Principales Espèces de Poissons Des Rivières et Fleuves de Plaine de l'ouest Européen ». In : *Hydroécologie Appliquée* 17, p. 60. DOI : 10.1051/hydro/2010004.
- VANDERKAM, Dan et al. (2018). *Dygraphs : Interface to 'Dygraphs' Interactive Time Series Charting Library*.
- VERNEAUX, Jean (1976). « Biotypologie de l'écosystème « Eau Courante » - La Structure Biotypologique ». In : *Comptes-Rendu de l'Académie des sciences, Paris, Série D* 283, p. 1663-1666.
- WICKHAM, Hadley (2009). *Ggplot2 : Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer New York. ISBN : 978-0-387-98140-6.
- (2019). *Stringr : Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations*.
- (2020). *Scales : Scale Functions for Visualization*.
- WICKHAM, Hadley et Jennifer BRYAN (2019). *Readxl : Read Excel Files*.
- WICKHAM, Hadley et Lionel HENRY (2020). *Tidyr : Tidy Messy Data*.
- WICKHAM, Hadley et Edgar RUIZ (2020). *Dbplyr : A 'dplyr' Back End for Databases*.
- WICKHAM, Hadley et al. (2007). « Reshaping Data with the Reshape Package ». In : *Journal of Statistical Software* 21.12, p. 1-20.
- (2011). « The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis ». In : *Journal of Statistical Software* 40.1, p. 1-29.
- WICKHAM, Hadley et al. (nov. 2019). « Welcome to the Tidyverse ». In : *Journal of Open Source Software* 4.43, p. 1686. ISSN : 2475-9066. DOI : 10/ggddkj.
- WICKHAM, Hadley et al. (2020). *Dplyr : A Grammar of Data Manipulation*.
- WILKE, Claus O. (2019). *Cowplot : Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'Ggplot2'*.
- XIE, Yihui (2020). *Knitr : A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R*.

## .1 Suivi de terrain

TABLE .1.1 – Suivi de terrain des stations

Station	Date	Heure	Capteur	Action
AIN22-2	2020-08-12	09 :20 :00	624992	Relève
AIN22-2	2020-08-12	09 :20 :00	18124487	Relève
AIN22-2	2020-04-23	12 :05 :00	18124487	Relève
AIN22-2	2020-04-23	11 :15 :00	624992	Relève
AIN22-2	2019-09-06	08 :15 :00	18124487	Relève
AIN22-2	2019-09-06	08 :10 :00	624992	Relève
AIN22-2	2019-09-06	08 :10 :00	20319653	Dépose
AIN22-2	2019-07-25	08 :20 :00	18124487	Relève
AIN22-2	2019-07-25	08 :20 :00	20319653	Relève
AIN22-2	2019-07-25	08 :20 :00	624992	Relève
AIN22-2	2019-07-17	11 :30 :00	624992	Relève
AIN22-2	2019-07-17	11 :30 :00		Mesure manuelle
AIN22-2	2019-07-10	10 :15 :00	624992	Relève
AIN22-2	2019-07-10	10 :15 :00	18124487	Relève
AIN22-2	2019-07-10	10 :02 :00	20319653	Relève
AIN22-2	2019-07-02	11 :05 :00	20319653	Pose
AIN22-2	2019-06-28	08 :30 :00	624992	Pose
AIN22-2	2019-06-28	08 :30 :00		Mesure manuelle
AIN22-2	2019-06-28	08 :30 :00	663469	Pose
AIN22-2	2019-06-28	08 :30 :00	18124487	Pose
AIN37-2	2020-08-12	07 :40 :00	631745	Relève
AIN37-2	2020-08-12	07 :40 :00	631745	Relève
AIN37-2	2020-08-12	07 :40 :00	637281	Relève
AIN37-2	2020-08-12	07 :40 :00	631745	Relève
AIN37-2	2020-08-12	07 :40 :00	631745	Relève
AIN37-2	2020-04-23	08 :40 :00	631745	Relève
AIN37-2	2020-04-23	08 :40 :00	18124488	Relève
AIN37-2	2020-04-23	08 :40 :00	637281	Relève
AIN37-2	2019-09-06	09 :55 :00	631745	Relève
AIN37-2	2019-09-06	09 :55 :00	637281	Relève
AIN37-2	2019-09-06	09 :55 :00	18124488	Relève
AIN37-2	2019-07-25	10 :50 :00		Mesure manuelle



AIN37-2	2019-07-25	10 :50 :00		Mesure manuelle
AIN37-2	2019-07-25	10 :50 :00		Mesure manuelle
AIN37-2	2019-07-25	10 :20 :00	18124488	Relève
AIN37-2	2019-07-17	08 :10 :00	18124488	Relève
AIN37-2	2019-07-17	07 :50 :00	631745	Pose
AIN37-2	2019-07-17	07 :50 :00	631745	Pose
AIN37-2	2019-07-17	07 :50 :00		Mesure manuelle
AIN37-2	2019-07-17	07 :50 :00	637281	Relève
AIN37-2	2019-07-10	13 :00 :00	18124488	Relève
AIN37-2	2019-07-10	12 :45 :00	631745	Pose
AIN37-2	2019-07-10	12 :45 :00	637281	Pose
AIN37-2	2019-07-10	12 :45 :00	631745	Dépose
AIN37-2	2019-07-10	12 :15 :00		Mesure manuelle
AIN37-2	2019-07-02	10 :30 :00		Mesure manuelle
AIN37-2	2019-07-02	10 :00 :00	18124488	Pose
VOUbellecin	2020-06-15	09 :52 :00	20358132	Pose
VOUchartreuse	2020-06-15	10 :15 :00	20858138	Pose
VOUchartreuse	2020-06-15	10 :15 :00	20320997	Dépose
VOUchartreuse	2019-10-31	10 :27 :00	20320997	Relève
VOUchartreuse	2019-05-15	10 :24 :00	20320997	Relève
VOUchartreuse	2019-02-20	10 :15 :00	20320997	Pose
VOUgringaletport	2019-10-31	09 :10 :00	20347260	Relève
VOUgringaletport	2019-05-15	09 :10 :00	20347260	Relève
VOUgringaletport	2019-02-20	11 :48 :00	20347260	Pose
VOUmercantine	2019-10-31	11 :30 :00	625081	Entretien
VOUmercantine	2019-10-31	11 :30 :00	18124485	Entretien
VOUmercantine	2019-10-31	11 :30 :00	20320995	Relève
VOUmercantine	2019-06-26	09 :01 :00	18124485	Relève
VOUmercantine	2019-06-21	08 :10 :00	625081	Relève
VOUmercantine	2019-06-21	08 :10 :00	18124485	Relève
VOUmercantine	2019-06-19	10 :10 :00	625081	Pose
VOUmercantine	2019-06-19	10 :10 :00	18124485	Pose
VOUmercantine	2019-06-06	10 :20 :00	20320995	Relève
VOUmercantine	2019-05-15	10 :37 :00	20320995	Relève
VOUmercantine	2019-03-19	13 :57 :00	20320995	Relève
VOUmercantine	2019-02-20	09 :48 :00	20320995	Pose
VOUpatornay	2020-06-15	07 :57 :00	20858137	Pose
VOUpatornay	2020-06-15	07 :57 :00	20320996	Dépose
VOUpatornay	2019-10-31	08 :53 :00	20320996	Relève
VOUpatornay	2019-05-15	08 :57 :00	20320996	Relève
VOUpatornay	2019-02-20	11 :00 :00	20320996	Pose
VOUsurchauffant	2020-06-15	09 :10 :00	20320998	Dépose
VOUsurchauffant	2019-10-31	12 :04 :00	624698	Entretien
VOUsurchauffant	2019-10-31	11 :58 :00	20320998	Relève
VOUsurchauffant	2019-10-31	11 :58 :00	18124486	Entretien
VOUsurchauffant	2019-06-26	09 :24 :00	18124486	Relève
VOUsurchauffant	2019-06-21	08 :45 :00	624698	Relève
VOUsurchauffant	2019-06-21	08 :45 :00	18124486	Relève
VOUsurchauffant	2019-06-19	11 :30 :00	624698	Pose
VOUsurchauffant	2019-06-19	11 :30 :00	642224	Pose
VOUsurchauffant	2019-06-19	11 :30 :00	18124486	Pose

VOUsurchauffant	2019-06-06	10 :38 :00	20320998	Relève
VOUsurchauffant	2019-05-15	11 :20 :00	20320998	Relève
VOUsurchauffant	2019-03-19	14 :42 :00	20320998	Relève
VOUsurchauffant	2019-02-20	12 :10 :00	20320998	Pose

## .2 Suivi de terrain

TABLE .2.1 – Valeurs de référence pour la reproduction de quelques espèces piscicoles

Paramètre	BRO	CCO	GAR	TAN	TRF
Température déclenchement reproduction descendante					12
Température déclenchement reproduction ascendante	9	15	17	22	
Durée d'incubation après la ponte	120	85	150	80	385
Durée d'émergence après la ponte	300				659

## .3 Informations techniques

```
## Error in get(genname, envir = envir) : objet 'testthat_print' introuvable
## - Session info -----
##   setting      value
##   version      R version 4.0.2 (2020-06-22)
##   os           macOS Catalina 10.15.7
##   system       x86_64, darwin17.0
##   ui           X11
##   language     (EN)
##   collate      fr_FR.UTF-8
##   ctype        fr_FR.UTF-8
##   tz           Europe/Paris
##   date         2021-03-30
##
## - Packages -----
##   package      * version date      lib source
##   abind         1.4-5   2016-07-21 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   afd39         * 0.0.5   2021-03-10 [1] local
##   aquatools     * 0.0.135 2021-03-30 [1] local
##   assertthat    0.2.1   2019-03-21 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   backports     1.1.8   2020-06-17 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   bitops        1.0-6   2013-08-17 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   blob          1.2.1   2020-01-20 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   broom         0.7.0   2020-07-09 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   callr         3.4.3   2020-03-28 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   cellranger    1.1.0   2016-07-27 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   class         7.3-17  2020-04-26 [1] CRAN (R 4.0.2)
##   classInt      0.4-3   2020-04-07 [1] CRAN (R 4.0.2)
```

##	cli	2.0.2	2020-02-28	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	codetools	0.2-16	2018-12-24	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	colorspace	1.4-1	2019-03-18	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	cowplot	* 1.0.0	2019-07-11	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	crayon	1.3.4	2017-09-16	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	DBI	1.1.0	2019-12-15	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	dbplyr	* 1.4.4	2020-05-27	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	desc	1.2.0	2018-05-01	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	devtools	2.3.1	2020-07-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	digest	0.6.25	2020-02-23	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	dplyr	* 1.0.1	2020-07-31	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	e1071	1.7-3	2019-11-26	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ellipsis	0.3.1	2020-05-15	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	evaluate	0.14	2019-05-28	[1]	CRAN	(R 4.0.1)
##	fansi	0.4.1	2020-01-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	farver	2.0.3	2020-01-16	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	forcats	* 0.5.0	2020-03-01	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	fs	1.5.0	2020-07-31	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	FSA	0.8.30	2020-03-09	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	generics	0.0.2	2018-11-29	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ggmap	* 3.0.0	2019-02-05	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ggplot2	* 3.3.2	2020-06-19	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ggrepel	* 0.8.2	2020-03-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ggspatial	* 1.1.4	2020-07-12	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	glue	* 1.4.1	2020-05-13	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	gridExtra	* 2.3	2017-09-09	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	gtable	0.3.0	2019-03-25	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	haven	2.3.1	2020-06-01	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	highr	0.8	2019-03-20	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	hms	0.5.3	2020-01-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	httr	1.4.2	2020-07-20	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	jpeg	0.1-8.1	2019-10-24	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	jsonlite	1.7.0	2020-06-25	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	KernSmooth	2.23-17	2020-04-26	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	keyring	1.1.0	2018-07-16	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	knitr	* 1.29	2020-06-23	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	labeling	0.3	2014-08-23	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	lattice	0.20-41	2020-04-02	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	lifecycle	0.2.0	2020-03-06	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	lubridate	* 1.7.9	2020-06-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	magrittr	1.5	2014-11-22	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	memoise	1.1.0	2017-04-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	modelr	0.1.8	2020-05-19	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	munsell	0.5.0	2018-06-12	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	openxlsx	4.2.3	2020-10-27	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	pillar	1.4.6	2020-07-10	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	pkgbuild	1.1.0	2020-07-13	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	pkgconfig	2.0.3	2019-09-22	[1]	CRAN	(R 4.0.2)

##	pkgload	1.1.0	2020-05-29	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	plyr	1.8.6	2020-03-03	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	png	0.1-7	2013-12-03	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	prettymapr	0.2.2	2017-09-20	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	prettyunits	1.1.1	2020-01-24	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	processx	3.4.3	2020-07-05	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	ps	1.3.3	2020-05-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	purrr	* 0.3.4	2020-04-17	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	R6	2.4.1	2019-11-12	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	raster	3.3-13	2020-07-17	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	RColorBrewer	1.1-2	2014-12-07	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	Rcpp	1.0.5	2020-07-06	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	RcppRoll	0.3.0	2018-06-05	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	readr	* 1.3.1	2018-12-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	readxl	* 1.3.1	2019-03-13	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	remotes	2.2.0	2020-07-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	reprex	0.3.0	2019-05-16	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	reshape2	* 1.4.4	2020-04-09	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rgdal	1.5-16	2020-08-07	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rgeoapi	1.1.0	2020-08-10	[1]	Github (ColinFay/rgeoapi@684f090)	
##	RgoogleMaps	1.4.5.3	2020-02-12	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rjson	0.2.20	2018-06-08	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rlang	0.4.10	2020-12-30	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rosm	0.2.5	2019-07-22	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	RPostgreSQL	0.6-2	2017-06-24	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rprojroot	1.3-2	2018-01-03	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rstudioapi	0.11	2020-02-07	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	rvest	0.3.6	2020-07-25	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	scales	* 1.1.1	2020-05-11	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	sessioninfo	1.1.1	2018-11-05	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	sf	* 0.9-5	2020-07-14	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	sp	1.4-2	2020-05-20	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	stringi	1.4.6	2020-02-17	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	stringr	* 1.4.0	2019-02-10	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	testit	0.11	2019-11-12	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	testthat	2.3.2	2020-03-02	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	tibble	* 3.0.3	2020-07-10	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	tidyr	* 1.1.1	2020-07-31	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	tidyselect	1.1.0	2020-05-11	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	tidyverse	* 1.3.0	2019-11-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	units	* 0.6-7	2020-06-13	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	usethis	1.6.1	2020-04-29	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	vctrs	0.3.2	2020-07-15	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	withr	2.2.0	2020-04-20	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	xfun	0.16	2020-07-24	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	xml2	1.3.2	2020-04-23	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	xtable	* 1.8-4	2019-04-21	[1]	CRAN	(R 4.0.2)
##	zip	2.1.1	2020-08-27	[1]	CRAN	(R 4.0.2)

```
##  
## [1] /Library/Frameworks/R.framework/Versions/4.0/Resources/library
```