

Etude de la reproduction de la Truite fario (*Salmo trutta fario*) sur le bassin des Sorgues – Vaucluse 2022

Valentin CAVOY - Technicien FDAAPPMA 84



Valentin Cavoy ©

Sommaire

Introduction	3
Contexte	3
Objectifs de l'étude.....	5
Matériel et méthode	6
Les espèces salmonicoles étudiées.....	6
Sites d'études	7
La restauration et création de frayères salmonicoles	9
Protocoles de suivi biologique	10
Mesure des débits.....	13
Mesures de la température	13
Cartographie des faciès d'écoulement et herbiers	13
Résultats.....	14
Suivi des frayères en secteur médian (couche à activer sur la carte : Qgis Médiane).....	14
Suivi des frayères en secteur amont (couche Frais+Faciès+Herbier)	16
Débit	18
Température de l'eau de la Sorgue	18
Cartographie des faciès d'écoulement (couche Faciès d'écoulement)	19
Cartographie et classification des zones d'herbiers (couche Herbiers).....	19
Analyse et discussion.....	20
Evolution interannuelle sur le secteur médian	20
Evolution interannuelle sur le secteur amont (couche 2022vs2021)	21
La truite a-t-elle un faciès d'écoulement préférentiel lors de la ponte ?.....	21
La truite sur la Sorgue a-t-elle une classe d'herbier préférentielle lors de la ponte ?.....	23
Comment expliquer le déclenchement de la reproduction de la truite sur la Sorgue ?.....	23
Limites de la méthode.....	27
Conclusion.....	28
Bibliographie	29
Annexe	31
Utiliser la carte interactive	31

Introduction

Contexte

La Sorgue prend sa source à la Fontaine de Vaucluse qui fait partie des 5 plus importantes exurgences du monde. L'eau de la fontaine provient d'un immense « karst » de plus de 1500m de profondeur. Ce karst est un réseau d'écoulement souterrain qui s'est développé avec l'érosion de la roche calcaire du massif du Ventoux. En effet, l'aire de collecte des eaux de pluies, impluvium, est très vaste avec une superficie d'environ 1 200 km². La Sorgue est ainsi une des rares rivières de Provence à bénéficier d'une eau fraîche toute l'année (entre 12 et 16°C), même au plus fort de l'été.

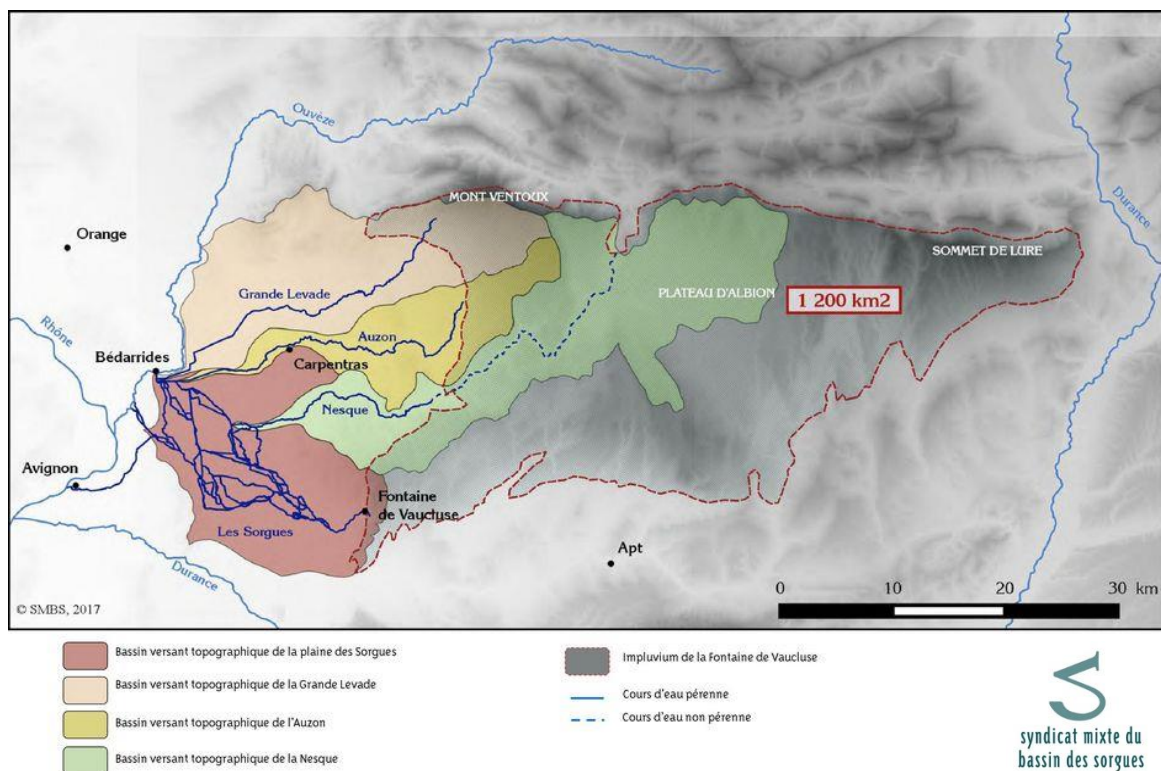


Figure 1 : Impluvium de l'exurgence - source SMBS

La Fontaine de Vaucluse alimente la Sorgue grâce à 2 types d'exurgences : des sources inférieures, dans le lit de la Sorgue, nommées « griffons » ainsi que par l'écoulement du gouffre directement. Ce gouffre de Fontaine est situé au pied d'une falaise de 200 m de haut, d'où l'eau surgit à certaines périodes de l'année (principalement en automne, hiver et au printemps, après des épisodes pluvieux conséquents). La Fontaine de Vaucluse et son gouffre sont par ailleurs célèbres vu leur fonctionnement atypique. Le débit pouvant varier rapidement de quelques m³/s à plusieurs dizaines, sa profondeur est de plus estimée à plus de 300 m. La Sorgue qui découle de cette exurgence est non moins célèbre et attire des pêcheurs du monde entier par sa réputation de rivière salmonicole très productive. L'espèce repère et reine y est la truite fario (*Salmo trutta fario*).

Cette espèce est un attrait pour la pêche récréative, lui conférant des enjeux halieutique et socio-économique importants (Bruslé and Quignard, 2001). Les actions à développer dans le PDPG¹ des cours d'eau salmonicoles s'articulent donc majoritairement autour de cette espèce, afin d'améliorer et/ou soutenir l'état des populations. On trouve également une autre espèce salmonicole présente sur la Sorgue, l'ombre commun (*Thymallus thymallus*), dite « espèce cible » car présentant un fort intérêt de conservation (ici, en extrémité sud de son aire de répartition) mais également halieutique pour les pêcheurs à la mouche (Carmie *et al.*, 1985).

La truite fario et l'ombre sont tous deux soumis à une réglementation de protection nationale : l'arrêté ministériel du 8 décembre 1988 stipulant l'interdiction de détruire ou de prélever les œufs et d'altérer ou de détruire leurs habitats notamment les zones de reproduction (Art. 1). Localement, elles sont également soumises aux réglementations de pêche définies par les FDPPMA² (quotas, taille légale de capture, technique de pêche...).

Espèces		Arrêté du 8/12/1988	Directive Habitats	Liste rouge française*
Nom vernaculaire	Nom scientifique			
Truite commune	<i>Salmo trutta fario</i>	Art. 1	-	LC
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	Art. 1	Annexe V	VU

* LC = préoccupation mineur – VU = Vulnérable

Tableau 1 : Statuts réglementaires de la truite fario et de l'ombre commun

Ces deux espèces de poisson sont exigeantes concernant la qualité de l'eau. Elles peuplent exclusivement des rivières fraîches et bien oxygénées (Huet, 1961; Bagliniere, 1979), où les macrophytes et la végétation rivulaire sont souvent des critères de sélection puisque jouant un rôle d'abris (Persat, 1988; Heggenes, Baglinière and Cunjak, 1999; Keith *et al.*, 2011). Ces deux espèces colonisent donc l'amont des grands fleuves, leurs affluents et les petits cours d'eau côtiers. Mais leur effectif est en perpétuelle diminution depuis quelques années. Le déclin des populations naturelles est lié à plusieurs facteurs environnementaux, socio-économique et à leur synergie :

- **Disparition des habitats de croissance et de reproduction**, due au curage et à la canalisation des cours d'eau, à l'érosion des sols, au réchauffement des eaux provoquant des développements algaux et aux prélèvements d'eau (Brooker, 1981; Malavoi and Souchon, 1989) ;
- **Fragmentation** des habitats due aux obstacles à l'écoulement qui empêchent la migration et déconnecte les populations entre elles ;

¹ Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion piscicole

² Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique

- **Dégradation de la qualité de l'eau** liée aux pollutions chimiques et organiques d'origines urbaines, agricoles et/ou industrielles (Brooker, 1981) ;
- **Pression de prédation, surpêche et braconnage** (Bradford, Myers and Irvine, 2000).

Objectifs de l'étude

Ce projet global sur la reproduction des espèces salmonicoles comprend différentes phases qui passent par des travaux de restauration, du suivi biologique et des analyses sur les variations environnementales. Le but commun est de comprendre et de favoriser la reproduction des espèces salmonicoles, afin d'avoir une population viable sur le bassin versant des Sorgues vaclusien. Le projet vise donc à :

- ✓ **Offrir un support de ponte** artificiel mais favorable à la truite fario (*Salmo trutta fario*) de souche Sorgue, dans les zones médianes du bassin identifiées où les frayères manquent. Ces supports de pontes sont peu nombreux naturellement du fait de la faible déclivité de ces cours d'eau dits "de plaine" à régime constant avec des hautes eaux mais peu de crues permettant un transit sédimentaire ;
- ✓ **Mieux cerner la période propice à la ponte** et un éventuel décalage dû aux conditions climatiques et hydrologiques (variations des niveaux d'eau, réchauffement de l'eau, obstacles à l'écoulement), en recensant et cartographiant les fraies ;
- ✓ **Connaître la viabilité du milieu** pour les populations piscicoles et notamment la survie et la croissance des alevins dans le cours d'eau dans lesquels sont constatées les pontes, par des inventaires piscicoles et des mesures physico-chimiques de l'eau ;
- ✓ **Comprendre** quelles sont les **variables environnementales et physiques** régissant l'activité de fraie chez la truite fario dans la Sorgue.

Etudier la reproduction d'une espèce dans son environnement permet non seulement de connaître la tendance évolutive de l'état des populations, mais également de connaître les variables influençant le plus la biologie de l'espèce, afin de préconiser des actions de restauration du milieu et retrouver ou préserver un écosystème fonctionnel et en équilibre.

Matériel et méthode

Les espèces salmonicoles étudiées

La truite fario (*Salmo trutta fario*)

La truite fario est une espèce du genre *Salmo*, regroupant les espèces de truites et de saumons. Sa large aire de répartition induit une importante diversité génétique et phénotypique. Dans la Sorgue, c'est la souche dite Méditerranéenne qui domine (Berrebi, 2007). Cette souche est visuellement différenciable de la souche Atlantique (plus répandue en France) grâce à ses marbrures formant de grosses taches sombres et ses points noirs non auréolés (**figure 2**).



Figure 2 : Truite fario (*Salmo trutta fario*) de souche méditerranéenne

Pour se reproduire, la truite effectue de courtes migrations pour atteindre son lieu de reproduction (Ovidio *et al.*, 1998). La période de reproduction est hivernale et se situe généralement entre novembre et mars (Bagliniere, 1979; Ombredane, Bagliniere and Marchand, 1998). Si ce mécanisme de reproduction est inscrit dans les gènes, c'est le soleil et principalement la photopériode (i.e. la durée d'ensoleillement d'une journée) qui régit le métabolisme sexuel et qui coordonne les pontes. L'avantage de cette maturation générale et synchronisée est qu'elle permet aux truites de trouver facilement un partenaire sexuel.

Les zones de reproduction (frayères) sont caractérisées par une faible profondeur, en moyenne 28 cm (Belaud *et al.*, 1989; Plasseraud, Lim and Belaud, 1990), et dominées par des graviers et des galets dont le diamètre se situe entre 0.2 et 10 cm (Bagliniere, 1979; Plasseraud, Lim and Belaud, 1990; Bardonnnet and Heland, 1994).

Les pontes sont toujours massives. La femelle prépare un secteur en remuant le gravier à l'aide de sa queue et y creuse ainsi une petite cuvette où seront déposés les œufs (de 1000 à 1500 pour une femelle de 1 kg) et la laitance du mâle. Ensuite, elle recouvre l'ensemble avec le même gravier et la ponte reste en incubation pendant environ 40 jours à 10°C (soit 400 degré-jours). Après l'éclosion, les jeunes alevins restent dans le substrat et se nourrissent grâce à leurs réserves vitellines. 15 à 20 jours après leur naissance, les alevins quittent le nid et se nourrissent pour croître en rivière.

L'ombre commun (*Thymallus thymallus*)

L'ombre commun appartient également à la famille des Salmonidés, mais est largement moins connu et répandu que les espèces du genre *Salmo*. Il se reconnaît notamment avec sa nageoire dorsale particulièrement développée (appelé aussi « étendard ») et colorée chez le mâle.



Figure 3 : Ombre commun

Tout comme la truite, il effectue de courtes migrations pour atteindre son lieu de reproduction. Ses frayères sont des gravières, avec une granulométrie comprise entre 0.5 et 2cm (Persat, 1988; Keith *et al.*, 2011), pouvant correspondre aux frayères de truites. Sa période de reproduction se situe quant à elle entre mars et avril (Carmie *et al.*, 1985). Cependant, les ombres ne créent pas de nid. En effet, ils enfoncent leurs nageoires caudales dans le substrat (**figure 3**) lors de la reproduction. Les œufs et spermatozoïdes vont alors se mélanger sous les graviers (Vivier, 1958). De plus, les ombres ont la capacité de se reproduire plusieurs fois contrairement à la truite.

Une étude génétique réalisée en 2011 sur la Sorgue et portant sur 40 individus a permis d'établir que la population d'étude possède une forte valeur patrimoniale puisqu'elle est apparentée aux autres souches rhodaniennes tout en étant particulièrement éloignée (Persat Henri, Kathrin Winkler, and Steven Weiss, 2011).

Sites d'études

L'étude porte sur la Sorgue et ses canaux ; de sa source au « partage des eaux » de l'Isle sur la Sorgue pour la partie amont, puis du centre de L'Isle jusqu'au Thor et Velleron pour la partie médiane de l'étude. La Sorgue était un vaste marécage que l'Homme a drainé, assaini et aménagé à partir de l'époque gallo-romain. Elle s'écoule de Fontaine de Vaucluse à Bédarrides sur le territoire de quinze communes (**figure 4**).

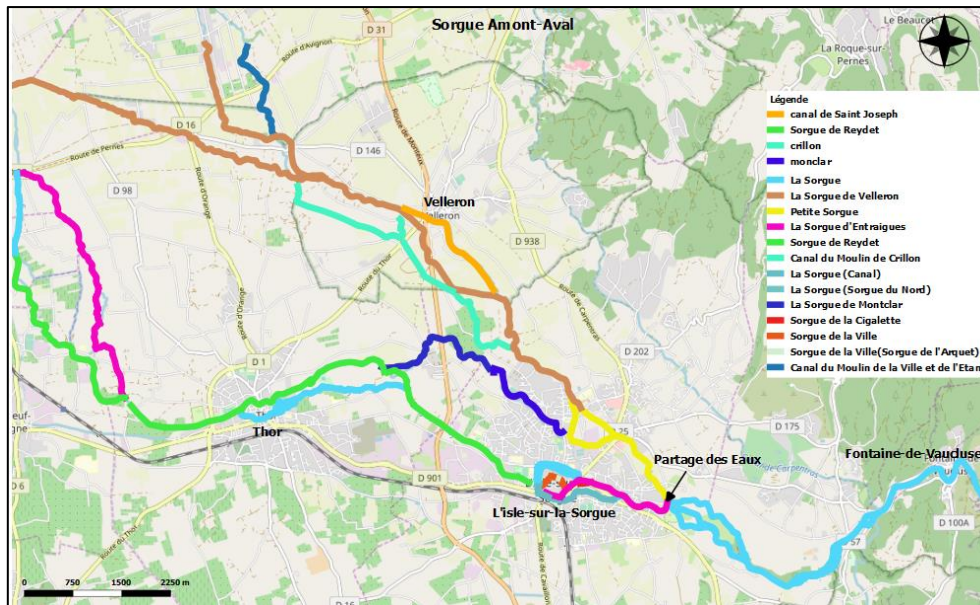


Figure 5 : Représentation cartographique Amont-Médiane de la Sorgue

La restauration et création de frayères salmonicoles

Techniques de restauration

Pour qu'une frayère soit fonctionnelle, un certain nombre de caractéristiques doivent être réunies :

- une granulométrie adéquate, soit du gravier de 1 à 10cm ;
- une lame d'eau suffisante (20 – 60cm) ;
- une vitesse d'écoulement adéquate, $> 1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- l'absence de colmatage rapide par les limons en condition hydrologique normale.

Lorsqu'une frayère est dégradée, *i.e.* qu'elle ne remplit pas toutes les caractéristiques ci-dessus, il convient de la restaurer. Le principe de restauration consiste à améliorer l'état d'un écosystème dégradé afin de le faire revenir dans son état originel. Dans notre cas, une frayère peut être dans différents états de dégradation.

Selon la dégradation observée, l'intervention nécessaire pour sa restauration sera différente (**Tableau 2**). Cet entretien est réalisé avant la saison de reproduction, ici fin d'année 2021.

Situation constatée	Intervention nécessaire
Frayère colmatée ou désorganisée	Entretien simple : grattage au râteau avec remise à niveau
Frayère déchargée ou détruite	Entretien et recharge en gravier
Frayère à fort potentiel ou avec surcreusement (plusieurs nids au même endroit)	Agrandissement de la surface, entretien et recharge en gravier

Tableau 2 : Interventions à mener selon l'état d'une frayère

Lors des suivis des années précédentes, il a été mis en évidence un nombre important de géniteurs sur une même frayère. Ceci peut engendrer un risque de destruction des premières pontes. Pour pallier cela, l'agrandissement ou la création de frayère par surcharge de gravier adéquat peut être fait dans des zones propices.

Diagnostic de la fonctionnalité des frayères

Sur la saison suivant les travaux, il a été décidé de réaliser un diagnostic sur chaque frayère restaurée pour comprendre leur évolution et la pérennisation des travaux effectués. Ce diagnostic est basé sur la morphologie et la fonctionnalité des frayères restaurées. La fonctionnalité de la frayère est déterminée selon la présence de géniteurs, le nombre de nids et le recrutement en truitelles. L'étude de la morphologie quant à elle prend en compte l'évolution de la surface de la frayère artificielle. Ainsi, on pourra calculer le pourcentage de la frayère dégradée à la suite des intempéries hivernales et voir si l'ensemble de la frayère restaurée est utilisé.

En plus d'évaluer l'efficacité des travaux entrepris, ces diagnostics seront utiles pour quantifier les futurs travaux de restauration à mettre en place et pour identifier les zones favorables ou non à la reconduite des travaux (conditions hydrologiques, charriage de sédiment, absence de reproduction sur les sites...).

Protocoles de suivi biologique

Suivi de la reproduction de *Salmo trutta*

Le suivi de reproduction des espèces salmonicoles consiste à recenser les frayères et les nids. Une frayère est une zone regroupant les conditions propices à la reproduction de l'espèce alors qu'un nid est l'endroit où les œufs sont déposés et fécondés. Une frayère fonctionnelle possède donc plusieurs nids.

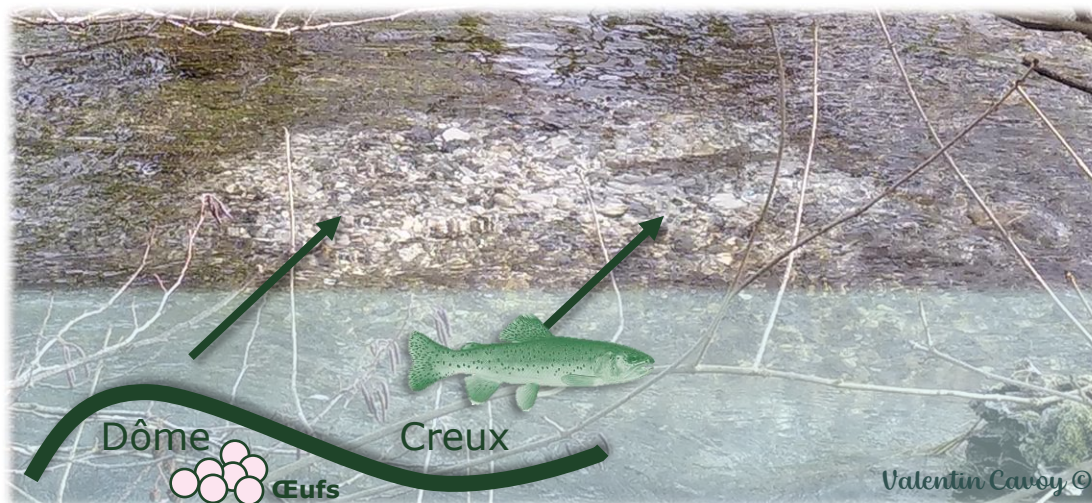


Figure 6 : Nid de truite fario et schéma

L'œil de l'observateur est attiré par une zone blanche créée lors du grattage du gravier par la truite, et un nid peut être identifié par un creux et un dôme à son aval (**figure 6**), le creux correspondant à la chasse de matériel utilisé pour recouvrir la ponte. Les frais des ombres communs sont quant à eux plus difficiles à discerner car ils sont de plus petites tailles et ressemblent à une vague trace de pas. Pour pouvoir identifier avec certitude un nid d'ombre, il faut alors observer un mâle qui reste en position sur son nid ce qui est plus compliqué et long à observer. Seul le recensement des nids de truite fario a donc été réalisé par souci de sûreté et de temps. Le suivi des frayères et le recensement des nids consiste donc à prospecter le linéaire des cours d'eau à pied, le long des berges, de début janvier à fin mai. Dans la mesure du possible, les deux berges sont prospectées afin d'augmenter la visibilité de la totalité du cours d'eau. Le suivi est hebdomadaire car la recolonisation du substrat par les algues, le périphyton, et autres dépôts rendent les nids moins visibles. Lors de cas de surcreusement (plusieurs nids réalisés au même endroit), tous les nids sont comptés.

Dans le secteur amont, des circuits de prospections ont été prédéterminés en fonction de l'accessibilité des berges, de l'observation du cours d'eau, de l'attrait du secteur pour les truites et du temps estimé nécessaire à la prospection.

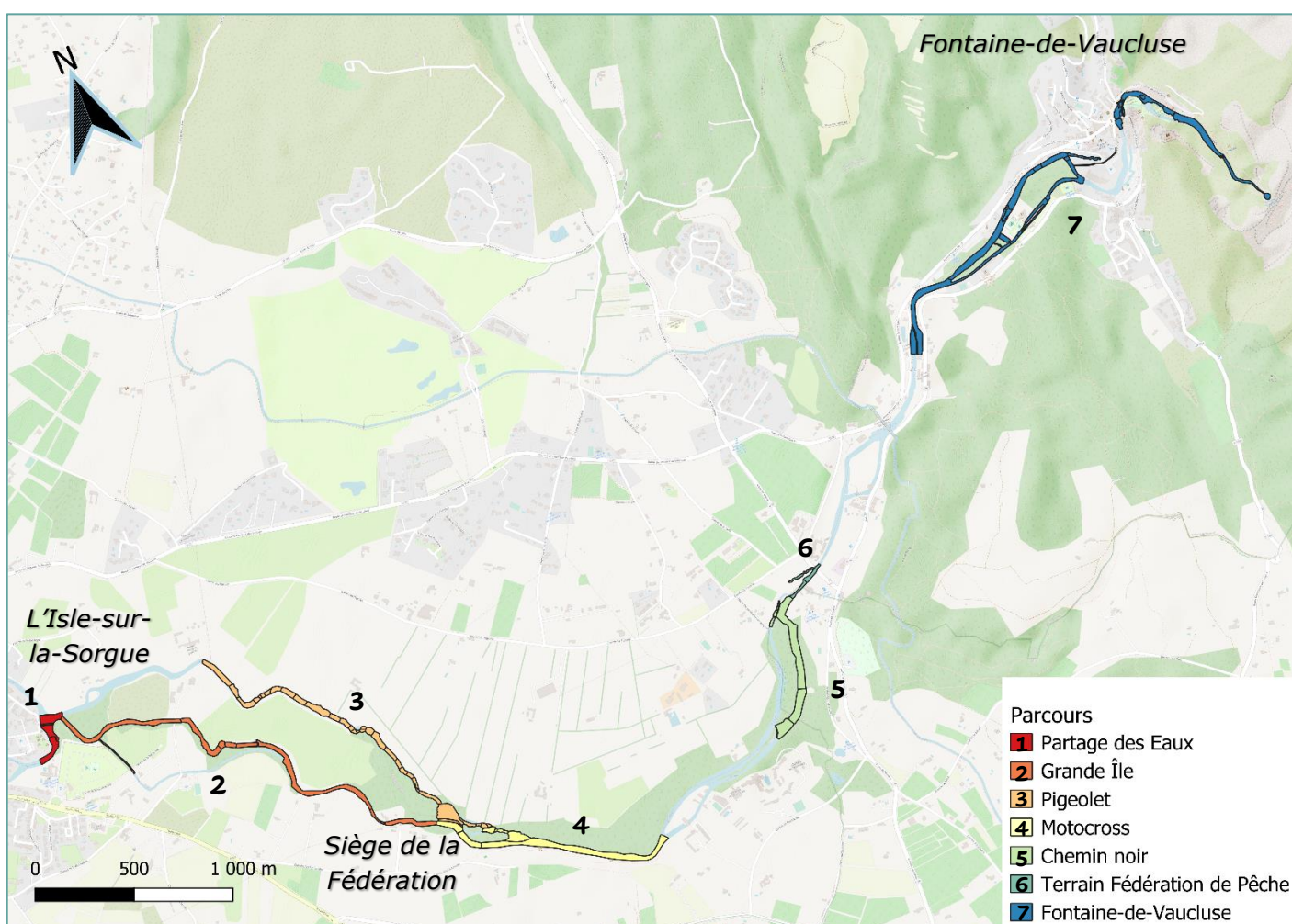


Figure 7 : Représentation cartographique des parcours de suivi sur la Sorgue amont

Ainsi, 7 parcours (**figure 7**) ont été tracés et parcourus hebdomadairement de la semaine 1 à 21 de l'année 2022. Ils sont répartis comme suit en remontant la Sorgue depuis l'Isle sur la Sorgue :

- ✓ Parcours Partage des eaux ;
- ✓ Parcours Grande Île ;
- ✓ Parcours Pigeolet ;
- ✓ Parcours Motocross ;
- ✓ Parcours Chemin Noir ;
- ✓ Parcours Terrain Fédération de pêche ;
- ✓ Parcours Fontaine-de-Vaucluse.

Les secteurs non prospectés représentant seulement 30 % de la surface de la Sorgue amont, il peut être admis que ce suivi est représentatif de l'ensemble de la zone amont. Par ailleurs, les secteurs non prospectés sont en majorité des secteurs très peu intéressants pour le frai, comme le bras du barrage de Mousquety ou de Gallas qui sont des zones lenticules très anthropisées. Chaque nouveau nid identifié est géolocalisé et les coordonnées GPS sont entrées dans un tableau. Le géoréférencement des nids permet de les représenter sur un logiciel de cartographie (QGIS). Un traitement des données cartographiques est ensuite réalisé pour représenter et analyser les données.

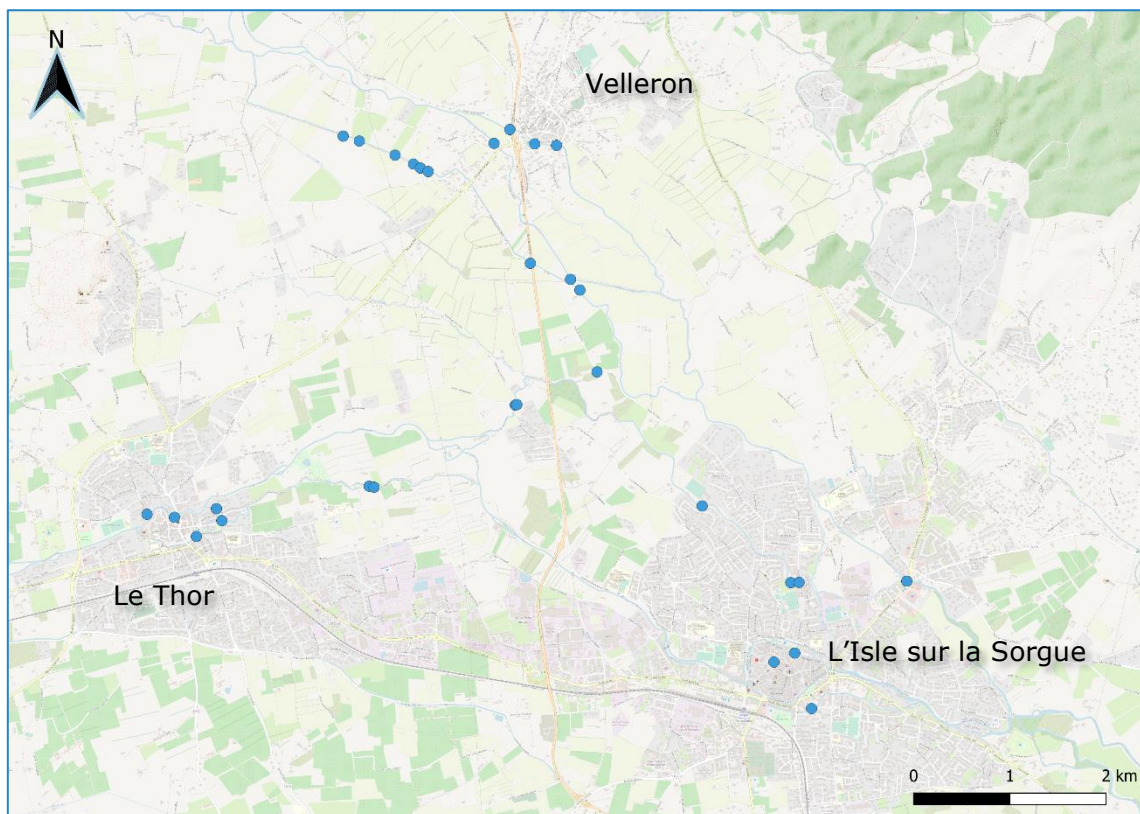


Figure 8 : Localisation des frayères artificielles sur la Sorgue aval

Dans le secteur aval, le suivi est concentré sur les 30 frayères artificielles (restaurées ou créées) qui sont géoréférencées (**figure 8**). Le recensement des nids se fait donc uniquement sur ces points.

Mesure des débits

Les débits retenus sont ceux de la station de Fontaine-de-Vaucluse (V615 5020) dont les données sont disponibles sur l'Hydroportail (<https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/V6155020/fiche>). Des moyennes hebdomadaires ont été réalisées à partir des données de la station.

Mesures de la température

La température a été mesurée devant le siège de la Fédération à 5,5 km linéaires de la source, soit sur l'amont du parcours Grande Île, peu après la jonction avec Motocross et Pigeolet. La sonde est située un peu plus loin que le milieu de la zone d'étude Sorgue amont, longue de 7,2 km mais est représentative de la température de l'eau sur l'ensemble de l'amont.

L'appareil de mesure est une sonde thermique de marque HOBO, modèle Onset, réglée pour prendre une mesure par heure. Une fois les données récupérées, des moyennes journalières puis hebdomadaires ont été réalisées.

Cartographie des faciès d'écoulement

Afin d'étudier la relation entre les caractéristiques physiques du milieu et la localisation des nids, une cartographie fine des faciès d'écoulement sur les parcours prospectés de la Sorgue amont a été réalisée sur la base de la méthode proposée par Malavoi et Souchon (Malavoi and Souchon, 1989).

Cartographie des herbiers

De même, afin d'étudier l'impact de la présence ou non d'herbier sur le choix de la zone de reproduction de la truite, une cartographie du recouvrement du fond de la rivière par les herbiers a été réalisées. 5 classes décrivent ce recouvrement :

- ✓ Classe 0 : Absence à moins de 1% de recouvrement ;
- ✓ Classe 1 : Moins de 25%, Herbiers formant de petits patchs éloignés ;
- ✓ Classe 2 : Moins de 50%, Herbiers formant des petits tapis éparses ;
- ✓ Classe 3 : Moins de 75%, Herbiers vigoureux rapprochés ;
- ✓ Classe 4 : Jusqu'à 100% de recouvrement, Herbiers très fournis et jointifs.

On rencontre sur la Sorgue trois espèces d'angiospermes aquatiques très dominantes. Les premières sont d'ailleurs caractéristiques et emblématiques de la rivière, il s'agit des berles avec *Apium nodiflorum* et *Berula erecta*. La troisième est *Stuckenia pectinata*, le potamot pectiné.



Figure 9 : Herbiers de la Sorgue

Résultats

Toutes les cartes sont disponibles [sur notre hébergeur en cliquant ici](#) et vous permettront d'avoir accès à la donnée fine pour chaque résultat de l'étude. Il vous est vivement conseillé de l'ouvrir.

Remarque : Guide d'utilisation disponible en annexe

Suivi des frayères en secteur médian (couche à activer sur la carte : Qgis Médiane)

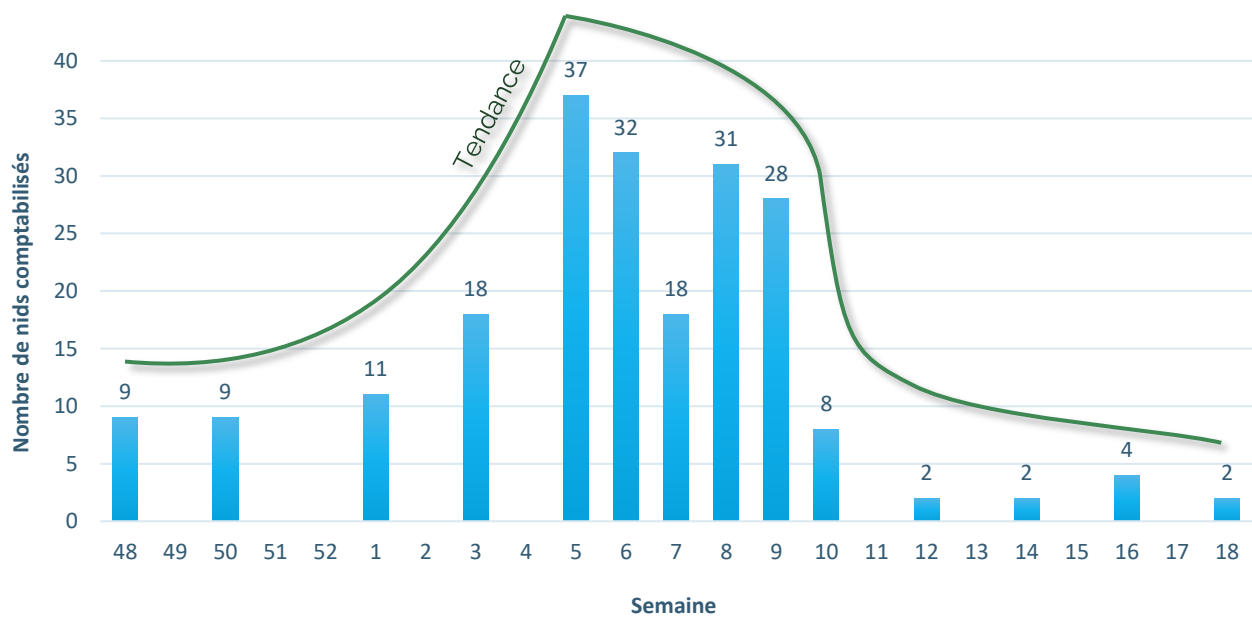


Figure 10 : Nombre de nids observés sur secteur médian

Le suivi a commencé fin 2021 (semaine 48) et s'est terminé la semaine 18 de 2022 avec une fréquence d'environ un passage toutes les deux semaines sauf lors du pic d'activité. Il a été comptabilisé un total de 223 nids sur l'ensemble des 30 frayères artificielles suivies. Un maximum de 37 nids a été observé en semaine 5 (**figure 10**).

Cependant, force est de constater que l'efficacité des frayères est très hétérogène. Alors que la grande frayère située dans le centre de l'Isle sur la Sorgue (« Portalet ») cumule 33 nids sur la saison, la frayère du Cancet sur le canal Crillon n'a pas été fréquentée une seule fois (**figure 11**).

Sur les 30 frayères :

- ✓ 15 ont accueilli entre 1 et 5 nids, ce qui reste plutôt faible (en moyenne un nid par mois, en jaune sur la **figure 11**) ;
- ✓ 8 ont présenté de 6 à 9 nids (en moyenne un nid toutes les deux semaines, en bleu) ;
- ✓ 5 frayères où 10 à 18 nids ont été comptés (presque un toutes les semaines en moyennes, vert clair) ;
- ✓ Enfin, 1 frayère a hébergé 33 nids, soit plus de 2 par semaine (vert foncé).

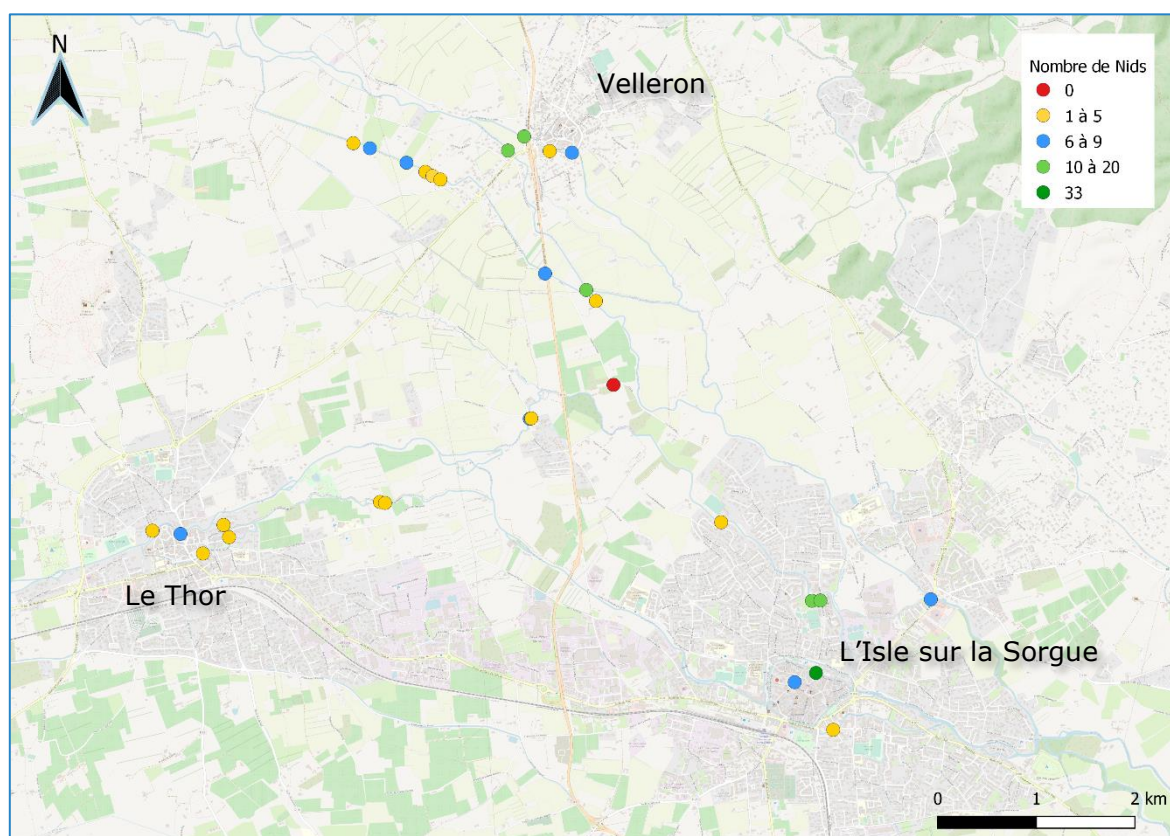


Figure 11 : Efficacité des frayères artificielles médianes (couche Qgis Médiane)

Suivi des frayères en secteur amont (couche Frais+Faciès+Herbier)

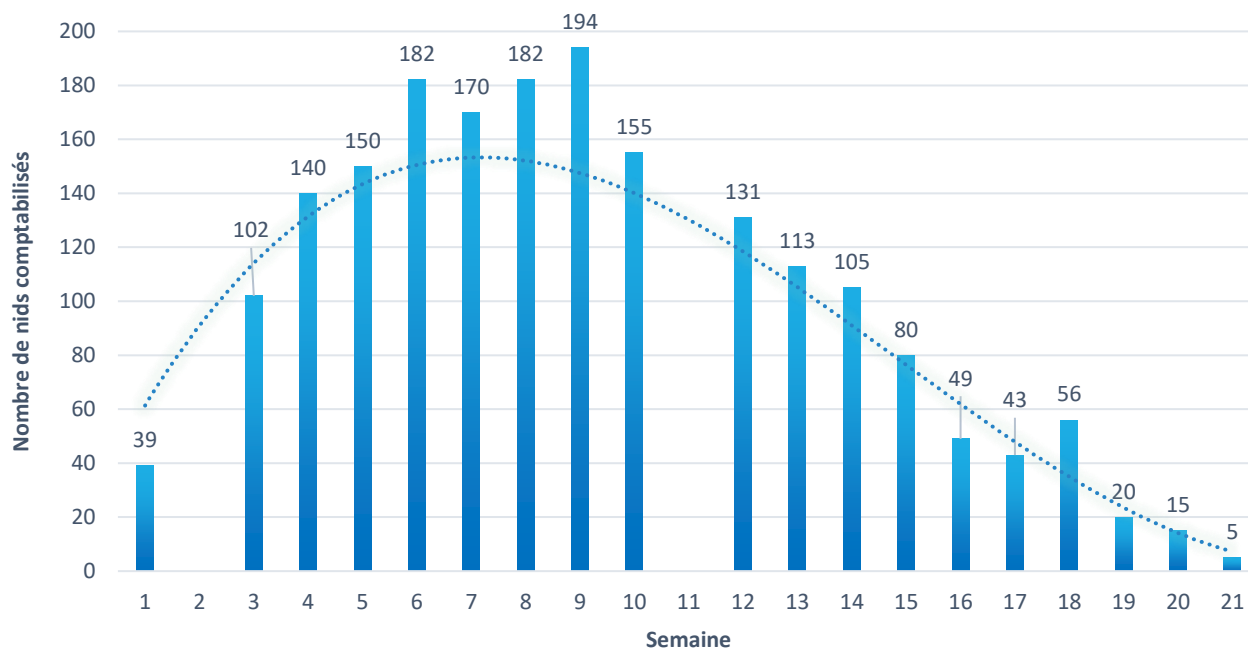


Figure 12 : Nombre de nids observés sur secteur amont

Malgré l'impossibilité d'effectuer le suivi les semaines 2 et 11, les observations sont quasi complètes sur la période de reproduction 2022. Au total, 1930 nids ont donc été comptés et géoréférencés. La répartition des nids de type gaussienne sur la **figure 12** est caractéristique de ces comptages et est similaire au secteur médian. Seulement, le pic d'activité est ici observé en semaine 9 (contre semaine 5 en aval) avec pas moins de 194 nids sur une seule semaine.

Première observation, les pics de frais sont décalés dans le temps. Plus on s'éloigne de la source, de la fontaine, plus la période de haute activité est tôt dans l'année (semaine 4 au Partage des Eaux contre semaine 10-11 à Fontaine de Vaucluse).

Si l'on s'intéresse au total de nids par parcours, avec respectivement 400, 578 et 691 nids comptés, les parcours du Motocross, Fontaine de Vaucluse et du Pigeolet sont les plus prolifiques (**Tableau 3**).

Cependant, il est impossible de conclure sur ces chiffres si l'on ne prend pas en compte la surface des zones considérées. En effet, si l'on rapporte le nombre de nids à la surface du parcours, on obtient une autre vision avec de l'aval vers l'amont :

- ✓ Partage des Eaux : 0,66 Ha et 167 nids.Ha⁻¹ → Une densité supérieure à la moyenne (130 nids.Ha⁻¹ sur l'ensemble des parcours) ;
- ✓ Grande Île : 2,63 Ha et 22 nids.Ha⁻¹ → Secteur pauvre en nids, dégradé et très lentique notamment impacté par des seuils ;

- ✓ Pigeolet : 2,49 Ha et 277 nids.Ha⁻¹ → La plus grosse densité observée, sûrement le secteur le plus « sauvage » et le moins impacté par l'activité humaine ;
- ✓ Motocross : 2,25 Ha et 178 nids.Ha⁻¹ → Deuxième grand secteur montrant la plus forte densité, assez naturel et propice à la reproduction lui aussi mais sous l'influence de seuils ;
- ✓ Chemin Noir : 1,72 Ha et 22 nids.Ha⁻¹ → Fort impact du barrage de Mousquety situé à l'aval, milieu trop lentique ;
- ✓ Terrain de la Fédération : 0,25 Ha et 215 nids.Ha⁻¹ → Petit secteur très prolifique, idéal pour le frais ;
- ✓ Fontaine de Vaucluse : 4,41 Ha et 131 nids.Ha⁻¹ → Vaste zone comportant chenaux et canaux multiples très remodelés par la main de l'Homme. Sur les secteurs propices, très forte densité de nids.

<i>Semaine</i>	Partage des Eaux	Grande île	Le Pigeolet	Moto-cross	Chemin Noir	Terrain Fédé	Fontaine Vaucluse	
1	7	4	16	8			4	
3	15	5	39	12		10	20	
4	25		47	38	3	3	23	
5	17	4	51	21	9	10	38	
6	10	8	66	32	8	3	55	
7	8	3	79	34	3	5	38	
8	9	6	74	41	4	3	45	
9	9	11	75	45	3	3	48	
10	5	5	57	26	4	3	55	
12		5	45	21	3	5	52	
13	2	1	37	32	1	3	37	
14		1	31	24			49	
15			22	21			37	
16	1	1	11	13			23	
17	3	1	7	8		3	21	
18		2	19	14		2	19	
19			10	6			4	
20			5	2		1	7	
21				2			3	
<i>Total</i>	111	57	691	400	38	54	578	
<i>Surface</i>	m ²	6629	26275	24928	22511	17249	2510	44072
	Ha	0,66	2,63	2,49	2,25	1,72	0,25	4,41
<i>Densité</i>	m ²	0,017	0,002	0,028	0,018	0,002	0,022	0,013
	Ha	167	22	277	178	22	215	131

Tableau 3 : Détails par parcours sur la Sorgue amont (case blanche = pas de nids)

Débit

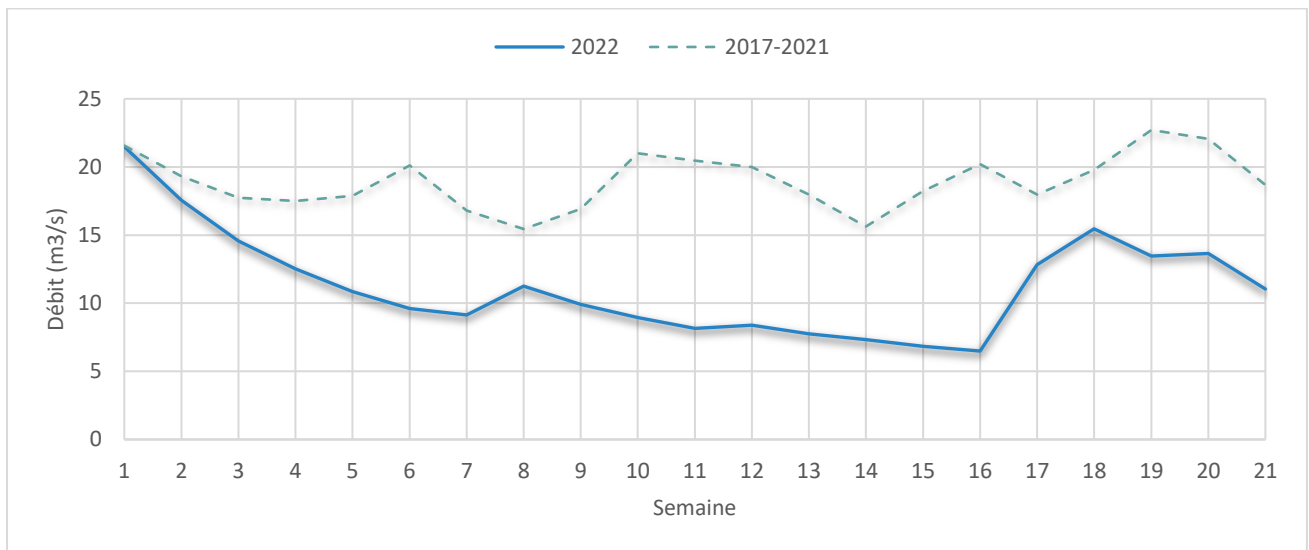


Figure 13 : Débit moyen hebdomadaire de la Sorgue en 2022 et débit moyen sur la période 2017-2021 pendant la période de reproduction de la truite

L'année 2022 est caractérisée par un niveau d'eau moyen de 11,3 m³/s, par un maximum de 21,5 m³/s ainsi que par un minimum de 6,5 m³/s. Le niveau d'eau est néanmoins globalement bas puisque sur la période d'activité préférentielle le débit moyen de ces 5 dernières années est de 19 m³/s.

Température de l'eau de la Sorgue

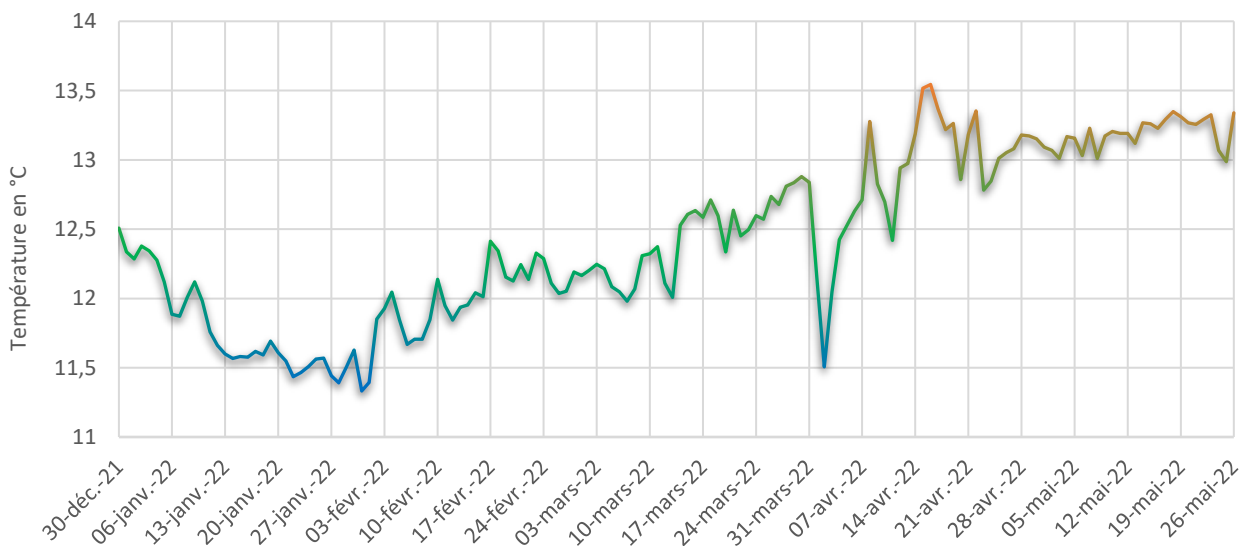


Figure 14 : Température de la Sorgue pendant la reproduction de la truite

La température hebdomadaire de l'eau a fluctué entre 11,5°C (semaines 4 et 5) et 13,3°C (semaine 16). D'un point de vue journalier, la chute de température de la semaine 14 est très importante, presque 1,5°C de perdu en 2 jours, vu la stabilité thermique de la Sorgue. En effet, la rivière est connue pour sa faible amplitude thermique d'une valeur de 2,21°C sur cette période.

Cartographie des faciès d'écoulement (couche *Faciès d'écoulement*)

<i>Faciès d'écoulement</i>	Surface (Ha)	Représentativité (%)
<i>Chenal lotique</i>	6,73	47
<i>Chenal lentique</i>	3,00	21
<i>Plat courant</i>	1,58	11
<i>Radier</i>	0,82	6
<i>Plat lentique</i>	0,80	6
<i>Mouille de concavité</i>	0,49	3
<i>Rapide</i>	0,39	3
<i>Seuil</i>	0,17	1
<i>Régime torrentiel</i>	0,16	1
<i>Fosse de dissipation</i>	0,17	1
<i>Fosse</i>	0,07	< 1
Total	14,37	100

Tableau 4 : Faciès d'écoulement sur la Sorgue

À la suite de la cartographie, les surfaces des différents faciès d'écoulement ont été calculées. Il ressort que la zone amont est fortement caractérisée par les chenaux lotiques et lentiques.

Cartographie et classification des zones d'herbiers (couche *Herbiers*)

<i>Classe Herbiers</i>	Partage des Eaux	Grande île	Le Pigeolet	Moto-cross	Chemin noir	Terrain Fédé	Fontaine Vaucluse	Total Parcours
0	0	5	23	3	0	29	16	10
1	0	7	41	25	51	10	16	23
2	32	11	24	24	49	0	18	23
3	5	2	1	31	0	52	33	15
4	63	75	11	18	0	9	18	29

Tableau 5 : Classification des herbiers sur la Sorgue

On voit ici qu'une grande hétérogénéité est présente dans la répartition des herbiers entre parcours, néanmoins ils restent très présents sur la Sorgue puisque la classe dominante est la classe 4 (voir **Cartographie des herbiers**) à hauteur de 29 % de la surface totale.

Analyse et discussion

Evolution interannuelle sur le secteur médian

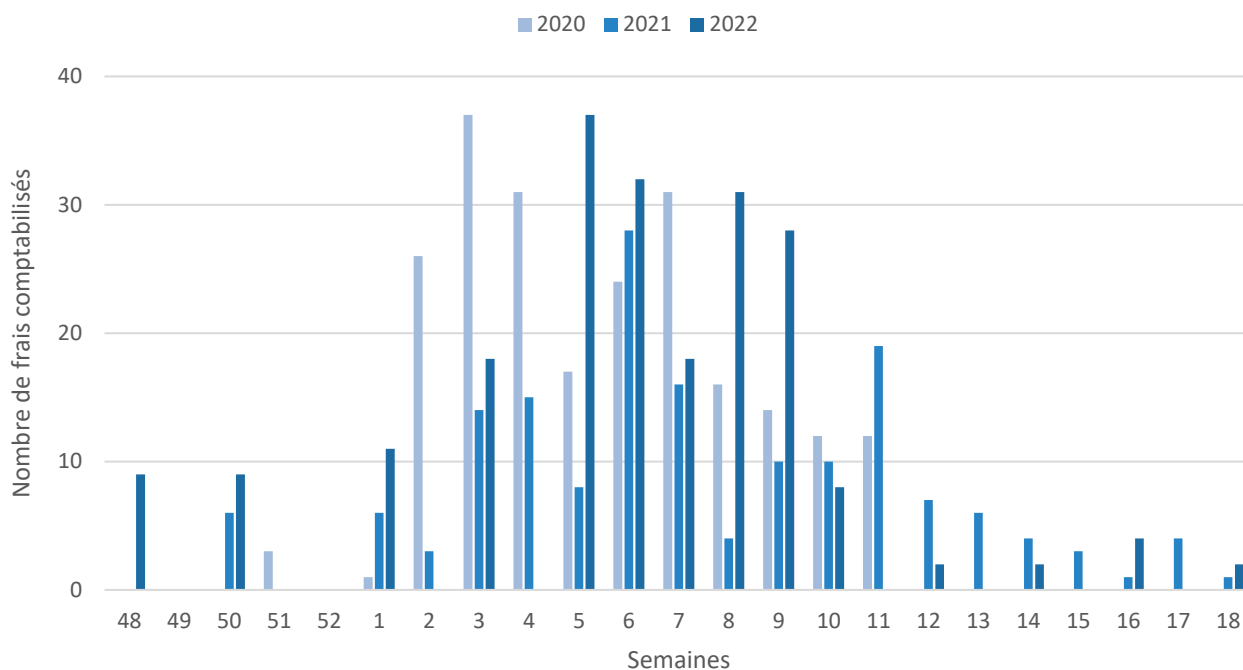


Figure 15 : Nombre de nids au cours des trois dernières années sur le secteur médian

Le nombre de nid varie de 190 (2021) à 230 nids (2020, de plus incomplète cause covid), avec 223 nids en 2022. Le niveau est donc stable avec des variations dans la précocité du pic d'activité : semaine 3 en 2020 (37 nids), semaine 5 en 2022 (37 nids) et semaine 6 en 2021 (28 nids).

Même si quelques frayères ont été abandonnées sur ces trois années, le niveau de fréquentation et de ponte persiste démontrant la pérennité et l'efficacité de l'action. De plus, les frayères abandonnées étaient bel et bien non fonctionnelles à la vue de ce bilan.

Evolution interannuelle sur le secteur amont (couche 2022vs2021)

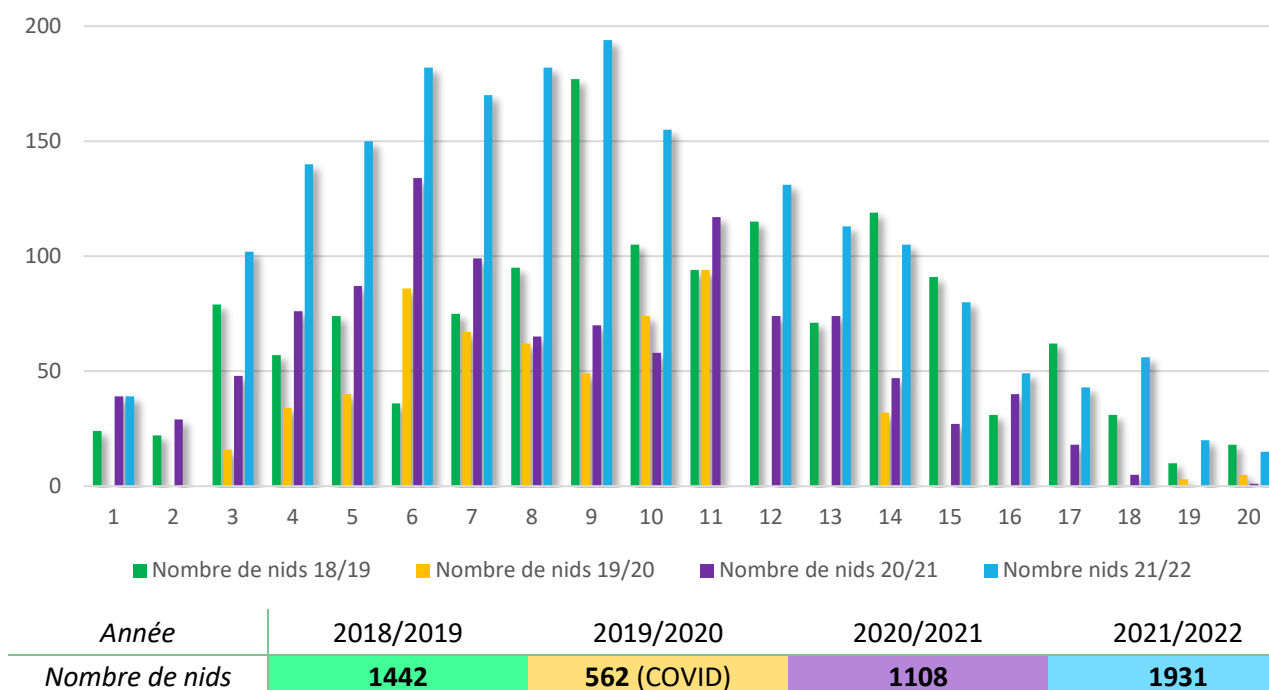


Figure 16 : Nombre de nids au cours des quatre dernières années en secteur amont

Sur les 3 années où le suivi est complet (2020 tronqué cause COVID), le nombre de nids moyen est de 1494 nids par an. 2022 se place donc comme étant l’année présentant la meilleure reproduction depuis le début du suivi (malgré deux semaines manquantes). Comme pour le secteur médian, on constate des variations dans l’arrivée du pic d’activité. L’année 2022 est d’ailleurs « typique » d’un comptage puisqu’elle est une Gaussienne parfaite, contrairement aux années 2019 et 2021 présentant des pics au sein d’une Gaussienne déformée.

La truite a-t-elle un faciès d’écoulement préférentiel lors de la ponte ?

Un des objectifs liés à la cartographie des faciès sur la Sorgue était de répondre à la problématique suivante : Est-ce que la truite choisit sa frayère et sa zone de reproduction en fonction du faciès d’écoulement ?

S’il existe une préférence chez la truite, une des actions pour favoriser la reproduction de l’espèce serait donc la préservation de ces zones d’écoulement sélectionnées par les géniteurs.

A cette fin, chaque nid géolocalisé et compté en 2022 a été associé à son faciès d’écoulement correspondant sous QGIS (logiciel SIG), ainsi qu’à la classe d’herbier. En plus du nombre de nids total par couple faciès/herbier, la surface totale de chacun de ces couples a aussi été calculée. Pour finir, on a donc accès à la densité de nids à l’hectare pour chaque faciès (redécoupés par classe d’herbier).

Classe herbier	Plat courant	Chenal lotique	Radier	Mouille concavité	Plat lentique	Rapides	Chenal lentique	Régime torrentiel	Fosse dissipation	Fosse	Moyenne
0	491	243	212	16		0	15	13	10	23	114
1	631	70	100	31	19	52	11		40		119
2	426	154	231	12	19	11	19		0	0	97
3	257	129	20		0	0	35				74
4	173	279	39				9		0		100
Moy.	478	162	110	19	19	18	13	13	13	15	

Tableau 6 : Densité de nids par hectare selon le faciès d'écoulement et la classe d'herbier sur la Sorgue amont en 2022

Au premier abord, il semble que le plat courant soit un faciès attractif pour le salmonidé (478 nids.Ha⁻¹ en moyenne) et cela vient confirmer ce qui était déjà décrit dans la littérature en introduction. Viennent ensuite les chenaux lotiques et les radiers (162 et 110 nids.Ha⁻¹). Les faciès restants semblent peu attractifs avec moins de 20 nids.Ha⁻¹.

On peut vérifier tout cela avec des tests statistiques et, dans cet optique, un test de Kruskal-Wallis, aussi appelé analyse de la variance (ANOVA) non paramétrique, a été réalisé sous R via l'interface R Studio (<https://www.R-project.org/>). La formule employée est `kruskal.test(Densite~Facies)` qui nous confirme un effet très significatif du facteur Faciès sur la variable Densité (P-value = 0.0012 **). Autrement dit, la densité est différente en fonction du faciès considéré mais on peut aller plus loin avec des tests deux à deux de Wilcoxon pour voir quels sont les faciès ayant des moyennes différentes les uns des autres.

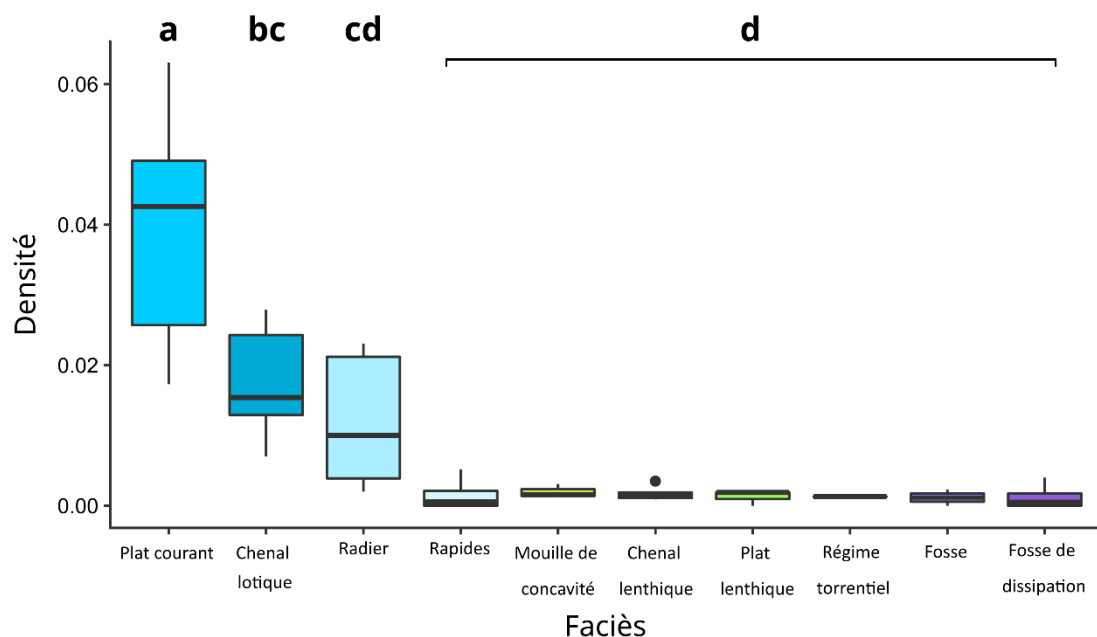


Figure 17 : Sélectivité des faciès d'écoulement, les lettres montrent les différences significatives entre faciès à la suite des tests de Wilcoxon

En conclusion, malgré qu'il ne représente que 11 % de la surface totale de la zone amont prospectée, le faciès plat courant est très significativement sélectionné par la truite avec des densités à l'hectare de 478 nids.Ha⁻¹ en moyenne.

La truite sur la Sorgue a-t-elle une classe d'herbier préférentielle lors de la ponte ?

Comme pour les faciès, la truite préfère-t-elle des zones très abondantes en herbiers ? Sans herbier ? Ou peut-être n'a-t-elle pas de préférence ?

Dans le **Tableau 6** précédant, on voyait que les densités par hectare selon la classe d'herbier variaient de 74 à 119 nids.Ha⁻¹. Ces chiffres sont beaucoup moins hétérogènes que pour les faciès d'écoulement (13 à 478 nids.Ha⁻¹) ce qui laisse présager d'une absence de sélection des zones d'herbiers par les truites.

Comme précédemment, on vérifie notre hypothèse par le biais d'un test statistique, ici `kruskal.test(Densite~Herbier)`. On obtient une P-value de 0.88 confirmant que la truite ne sélectionne en aucun cas sa frayère en fonction de l'absence ou présence des herbiers.

Comment expliquer le déclenchement de la reproduction de la truite sur la Sorgue ?

En France, la truite se reproduit de façon générale entre novembre et février (Keith *et al.*, 2011). Comme on l'a vu, la Sorgue déroge complètement à cette règle puisque la reproduction commence en décembre et peut se prolonger jusqu'à fin juin voire juillet sur les hauts de Fontaine de Vaucluse. Une des principales caractéristiques de la Sorgue, sa stabilité thermique, explique sûrement cette différence dans la fenêtre de reproduction. En effet, alors qu'autre part en France les truites pondent en hiver lors d'une fenêtre thermique propice courte, la Sorgue reste à une température plus que confortable pour la reproduction sur une très longue période de l'année.

A partir de là, on peut essayer de chercher quels sont les paramètres environnementaux qui viennent déclencher le frais chez les géniteurs. Après lecture de la bibliographie et un peu d'analyse exploratoire, le paramètre le plus intéressant est indéniablement la photopériode, où plus simplement, la durée du jour.

En combinant toutes nos données de 2019 à 2022 et en utilisant un modèle statistique appelé Modèle Additif Généralisé (Hastie and Tibshirani, 1990), on peut évaluer si cette variable photopériode explique significativement le nombre de nids comptés par semaine. On utilise pour cela la formule `gam(Nombre_de_nids~s(Photoperiode, bs = "tp")`, du packages `mgcv` (Wood, 2022) et `gratia` (Simpson and Singmann, 2022).

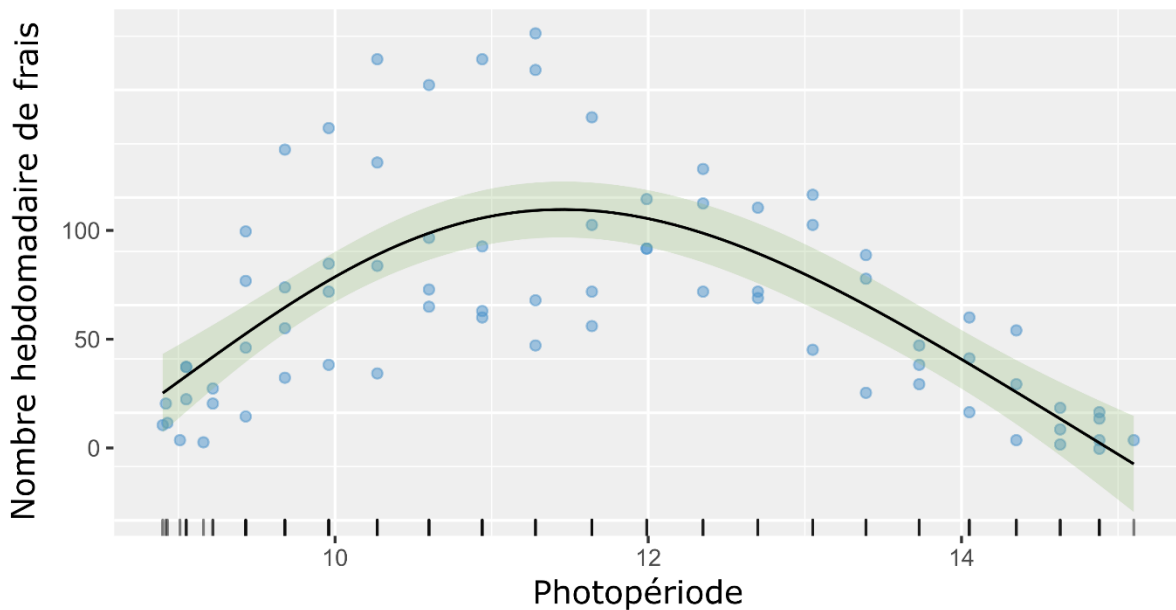


Figure 18 : Modèle Additif Généralisé (GAM) Nombre de nids/Photopériode

Le modèle obtenu est alors très significatif ($P\text{-value} < 2e-16$ ***) et explique à lui seul le nombre de nids compté par semaine à hauteur de 53 %. En effet, on voit très clairement sur la **figure 18** ci-dessus que l'on décrit bien la tendance reproductive, même si la période du pic semble être beaucoup plus fluctuante. Cela laisse penser qu'un autre facteur entre en interaction avec la photopériode lors de la période de forte activité de ponte de la truite.

De nombreuses pistes ont alors été investiguées, à savoir : la température de l'air, l'amplitude thermique, la durée d'insolation, le rayonnement solaire, les précipitations, le vent, le débit, la NAO (North Atlantic Oscillation) et la pression atmosphérique. Seule la dernière variable, la pression atmosphérique est explicative de ses écarts au modèle lors du pic. Elle était par ailleurs déjà connue comme ayant des effets sur les poissons et notamment sur la migration et la reproduction de l'anguille. En effet, les captures d'anguilles argentées à la dévalaison, que ce soit *A. anguilla* ou *A. japonica*, sont significativement plus fortes à la suite de dépressions (Okamura et al., 2002; Acou et al., 2008).

Les données de pression atmosphériques de la base SYNOP de météo France pour les aéroports de Marseille, Montpellier et Montélimar ont de ce fait été récupérées. Afin d'approcher la pression sur le secteur d'étude, situé dans le triangle formé par les trois stations, les moyennes hebdomadaires des trois aéroports ont été utilisées.

Année 2019

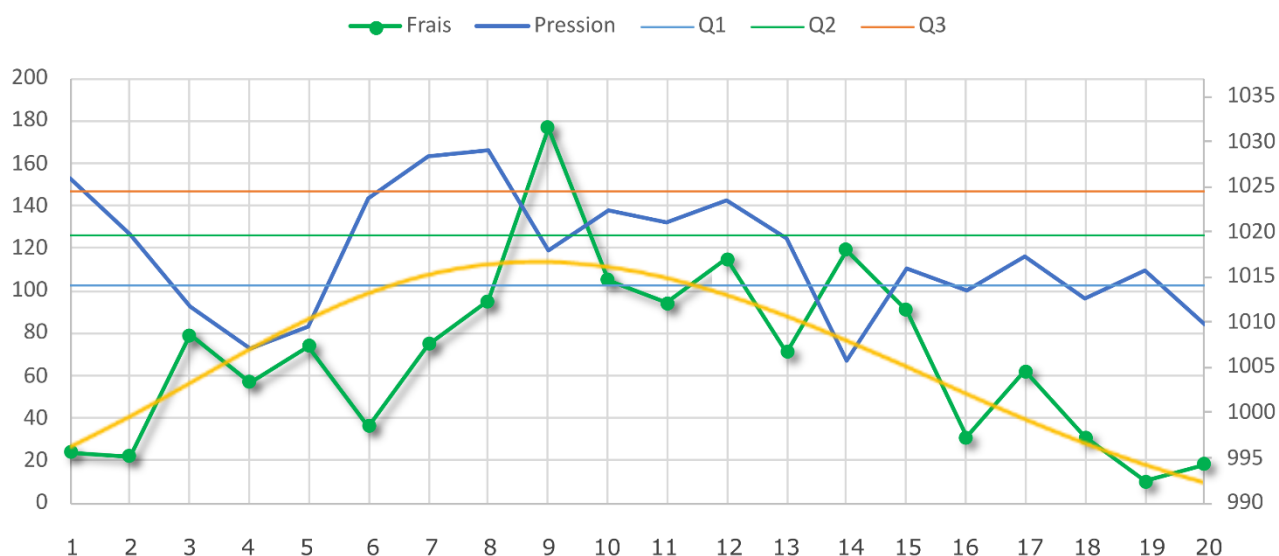


Figure 19 : Courbe de pression, nombre de nids et modèle photopériode (jaune) 2019
(lignes horizontales = quartiles 1, 3 et médiane de la pression atmosphérique en hPa)

Sur la première année de donnée, à savoir 2019 (**figure 19**), le nombre de nids (vert) semble globalement suivre le modèle photopériode (jaune). On remarque cependant trois « anomalies » dans cette relation. La première se situe semaines 6 et 7 où il est observé beaucoup moins de nids que prévu par le modèle, mais qui est relié à un phénomène de forte augmentation de la pression atmosphérique, passant de 1009 hPa (semaine 5) à plus de 1024 hPa la semaine d'après.

Puis, semaine 9, où le pic d'activité est très au-dessus de la courbe moyenne. A ce moment, la pression atmosphérique est nettement redescendue (-10 hPa en 1 semaine). *Les truites rattrapent-elles le retard pris précédemment ?* Enfin, alors que la courbe devrait diminuer en suivant le modèle, lors de la semaine 14, on observe un regain du nombre de nids en même temps qu'une forte dépression à lieu (1006 hPa).

A première vue, les hautes pressions provoquent une diminution du nombre de nid par rapport au modèle basé sur la photopériode et les dépressions produisent l'effet contraire, c'est-à-dire une forte activité reproductive. Les deux autres années viennent-elles confirmer ces hypothèses ?

Année 2021

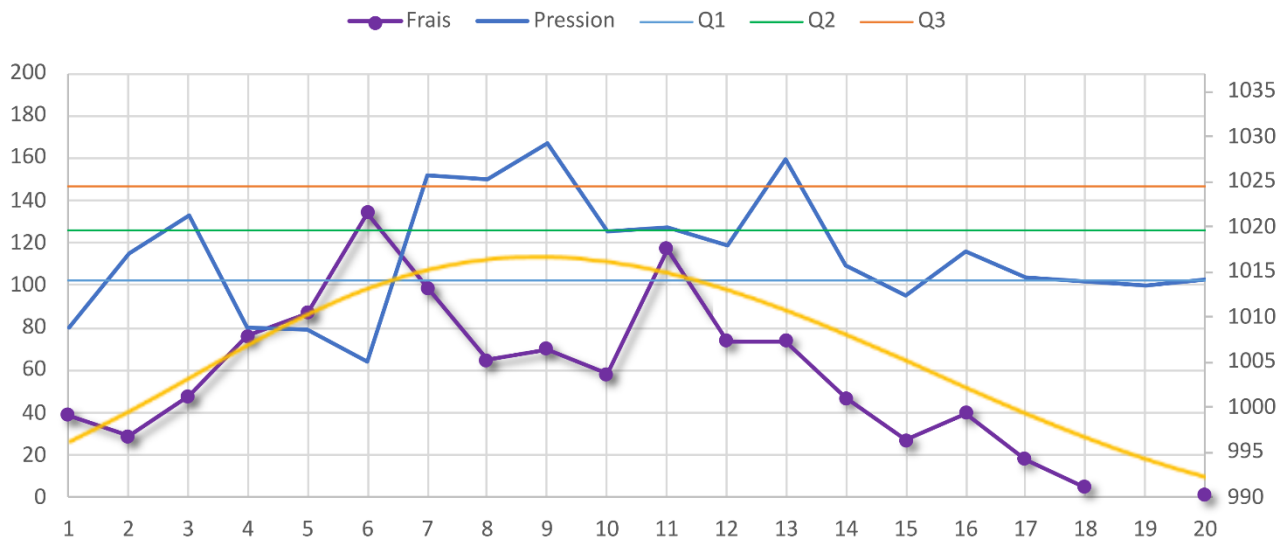


Figure 20 : Courbe de pression, nombre de nids et modèle photopériode (jaune) 2021
(lignes horizontales = quartiles 1, 3 et médiane de la pression atmosphérique en hPa)

En 2021, le modèle photopériode ne semble pas coller à nos observations (**figure 20**). En effet, on a deux pics d'activités en semaines 6 et 11. Cependant, si l'on regarde encore une fois la pression atmosphérique, le premier pic fait suite à une dépression qui semble déclencher la période de haute intensité de frais de la truite et qui devrait continuer selon notre modèle. Seulement, on observe ensuite une très forte augmentation des pressions (+ 20 hPa en une semaine) qui va venir couper court l'intensité des frais. À la suite d'une baisse modérée des pressions qui redeviennent moyennes en semaines 10, 11 et 12, une reprise du frais est constatée semaine 11 et engendre le second pic d'activité.

Finalement, nos observations qui semblaient dévier du modèle photopériode peuvent être expliquées par les variations de pressions. Si la répartition du nombre de nids sur l'année 2021 est bimodale, c'est à cause de cette forte hausse de la pression en plein milieu de la phase plateau théorique de forte activité qui vient casser la dynamique reproductive. Si on va un peu plus loin, on peut même envisager que ce « freinage » du frais explique que l'année 2021 soit la moins abondante en nid dans notre jeu de données.

Année 2022

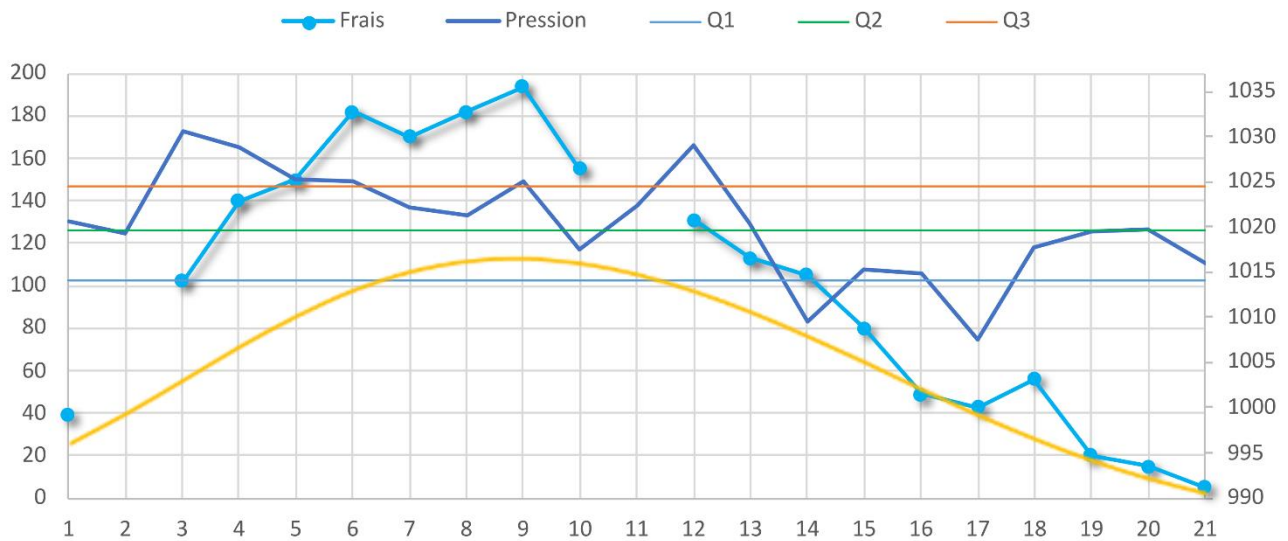


Figure 21 : Courbe de pression, nombre de nids et modèle photopériode (jaune) 2022
(lignes horizontales = quartiles 1, 3 et médiane de la pression atmosphérique en hPa)

La dernière année complète, 2022, possède une courbe du nombre de nid qui suit le modèle mais avec un niveau de base plus haut. Même si on ne possède pas de dépression qui déclenche la période de haute intensité de frais, la pression reste stable avec une tendance descendante de la semaine 3 à 10. Cette année semble porter une information complémentaire : ce sont des variations fortes et rapides de pressions qui provoquent des anomalies au modèle photopériode/observations. Effectivement, 2022 est caractérisée par une pression atmosphérique plutôt élevée (1020 hPa en moyenne) mais avec des écarts hebdomadaires faibles. Pendant le pic d'activité, l'écart inter-semaine le plus élevé est en effet de 7 hPa et correspond à une baisse de pression. Cela ne paraît pas assez brusque et fort pour provoquer une stimulation ou inhibition du frai chez la truite.

Limites de la méthode

La nature du protocole de suivi nous amène à considérer qu'il puisse y avoir des biais, rendant nos observations plus éloignées de la réalité que ce que l'on ne croit :

- La hauteur d'eau de la Sorgue influe sur la visibilité des nids. Ainsi, si l'année 2022, caractérisée par un niveau relativement bas des eaux dès le printemps, est l'année où la truite s'est le plus reproduit, c'est aussi l'année où les nids pouvaient être plus facilement visibles ;
- Les conditions météorologiques sont aussi déterminantes, que ce soit la luminosité ou le vent. Elles influent elles aussi sur la visibilité du fond de la rivière mais sont facilement gérables en décalant notre suivi sur les jours de la semaine les moins impactés ;

- Sur les secteurs présentant beaucoup d'herbier, il pourrait y avoir une proportion de nids non visibles et cachés dans les plantes. Cette hypothèse reste peut plausible, la présence de nids au sein des herbiers devant diminuer la quantité d'oxygène arrivant aux œufs ;
- Une autre source d'erreur est la possibilité pour la truite de frayer sur des nids déjà existants. Sur des secteurs à très hautes densité de frais, il est possible que deux nids soient complètement superposés et qu'un seul soit compté si tous les œufs ont été pondus la même semaine. Cela dit ce cas de figure semble très rare et donc peu impactant ;
- Les secteurs pouvant être prospectés sur les deux berges peuvent amener à compter deux fois le même nid. Toutefois, avec le géoréférencement, les quelques erreurs sont facilement corrigées ;
- La plus grosse source d'erreur, avec la visibilité, est sûrement celle du biais induit par l'observateur. En effet, chaque année c'est un nouvel opérateur terrain qui s'occupe de ce suivi. L'absence de continuité au niveau de l'observateur est notamment synonyme d'une sensibilité dans la détection des nids qui varie de façon interannuelle. Cela amène potentiellement à une variation des niveaux de base du comptage de nids (l'observateur **a** détectant 5 nids contre 6 pour l'observateur **b** dans des conditions similaires) mais la tendance évolutive de la reproduction sur une même année avec un même observateur n'est en aucun cas impactée.

Conclusion

L'année 2022 a été une année favorable au frais de la truite. Le dispositif de frayères artificielles sur le secteur médian a une nouvelle fois porté ces fruits et le suivi permet d'améliorer son efficacité. L'étude cartographique des faciès en Sorgue amont a mis en évidence la forte sélection des plats courants ainsi que dans une moindre mesure celle des radiers et chenaux lotiques par la truite comme lieu de ponte. A l'avenir, cette information doit être prise en compte dans notre gestion de la rivière afin de privilégier la bonne santé de ces secteurs ayant un fort potentiel reproductif. Pour les secteurs déficients en nids (Chemin noir, Grande île par exemple) et par conséquent en ces faciès attractifs, des actions pourraient être envisagées. En effet, les secteurs concernés sont très souvent sous un fort impact de seuils ce qui rendent l'écoulement plus lentique. Or, les faciès les plus sélectionnés sont des faciès lotiques plus ou moins profonds. Des aménagements favorisant le retour de zones lotiques et des recharges en sédiments adéquats sur certaines zones pourraient être très bénéfiques aux truites de ces secteurs.

L'étude des herbiers n'a quant à elle pas permis d'identifier une tendance nette. Les géniteurs ne semblent pas choisir leur lieu de ponte suivant la présence d'herbiers et donc de caches, garde-manger pour leur progéniture.

Cependant, des zones d'herbiers sont proches de tous les nids référencés sur la Sorgue et cette non-sélection des zones d'herbiers s'explique sûrement par ce fait. Peu importe où les parents fraient, les truitelles pourront sans problèmes et rapidement trouvé un secteur avec des zones de refuge, d'alimentation... Enfin, grâce à un suivi ambitieux réalisé depuis maintenant plusieurs années, il nous est maintenant possible de mieux comprendre la reproduction de la truite sur la Sorgue. Sur cette rivière où la température est stable et ne contraint pas à une fenêtre reproductive courte, la ponte de la truite semble être conditionnée par deux principaux paramètres. Le premier fournit un cadre général : la photopériode donne en effet la large fenêtre d'activité reproductive connue sur la Sorgue. Vient ensuite le paramètre de la pression atmosphérique qui affine ce premier cadre. Les variations de pression provoquent des pics ou baisse d'activité par rapport au nombre de nids attendus compte tenu de la photopériode.

En résumé, la période de forte intensité reproductive est atteinte lorsque la photopériode est comprise entre 10 et 13 heures de luminosité par jour. Dans ce schéma général, de fortes dépressions atmosphériques stimulent la reproduction des truites au contraire des hautes pressions qui freinent fortement les pontes.

Bibliographie

Acou, A., Laffaille, P., Legault, A. and Feunteun, E. (2008) 'Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system', *Ecology of Freshwater Fish*, 17(3), pp. 432-442. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00295.x>.

Bagliniere, J.L. (1979) 'Dévalaison de truites (*Salmo trutta*) sur la rivière Ellé', *Bulletin Français de Pisciculture*, (275), pp. 49-60. Available at: <https://doi.org/10.1051/kmae:1979001>.

Bardonnat, A. and Heland, M. (1994) 'The influence of potential predators on the habitat preference of emerging brown trout', *Journal of Fish Biology*, 45(sA), pp. 131-142. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1994.tb01088.x>.

Belaud, A., Chaveroche, P., Lim, P. and Sabaton, C. (1989) 'Probability-of-use curves applied to brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in rivers of southern France', *Regulated Rivers: Research & Management*, 3(1), pp. 321-336. Available at: <https://doi.org/10.1002/rrr.3450030130>.

Berrebi, P. (2007) 'Les Premières Descriptions de Truite et l'Etat des Connaissances avant le LIFE'.

Bradford, M.J., Myers, R.A. and Irvine, J.R. (2000) 'Reference points for coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) harvest rates and escapement goals based on freshwater production', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(4), pp. 677-686. Available at: <https://doi.org/10.1139/f99-281>.

Brooker, M. (1981) 'The impact of impoundments on the downstream fisheries and general ecology of rivers', *Advances in Applied Biology* [Preprint]. Available at: https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_journal_articles/363.

Carmie, H., Morelet, B., Maisse, G., Jonard, L. and Cuinat, R. (1985) 'Observations sur la reproduction artificielle de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*)', *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (296), pp. 2-16. Available at: <https://doi.org/10.1051/kmae:1985003>.

- Hastie, T. and Tibshirani, R. (1990) 'Exploring the Nature of Covariate Effects in the Proportional Hazards Model', *Biometrics*, 46(4), pp. 1005–1016. Available at: <https://doi.org/10.2307/2532444>.
- Heggenes, J., Baglinière, J.L. and Cunjak, R.A. (1999) 'Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams', *Ecology of Freshwater Fish*, 8(1), pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1999.tb00048.x>.
- Huet, M. (1961) 'Reproduction et migrations de la truite commune (*Salmo trutta fario* L.) dans un ruisseau salmonicole de l'Ardenne belge', *SIL Proceedings, 1922-2010*, 14(2), pp. 757–762. Available at: <https://doi.org/10.1080/03680770.1959.11899361>.
- Malavoi, J.-R. and Souchon, Y. (1989) 'Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux: exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie) / A methodology for the description and the quantification of the morphodynamic variables along a gravel bed river: a reach of the Fillière river (Haute-Savoie) as an example', *Géocarrefour*, 64(4), pp. 252–259. Available at: <https://doi.org/10.3406/geoca.1989.5699>.
- Okamura, A., Yamada, Y., Tanaka, S., Horie, N., Utoh, T., Mikawa, N., Akazawa, A. and Oka, H.P. (2002) 'Atmospheric depression as the final trigger for the seaward migration of the Japanese eel *Anguilla japonica*', *Marine Ecology Progress Series*, 234, pp. 281–288. Available at: <https://doi.org/10.3354/meps234281>.
- Ombredane, D., Bagliniere, J.L. and Marchand, F. (1998) 'The effects of Passive Integrated Transponder tags on survival and growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) and their use for studying movement in a small river', *Hydrobiologia*, 371(0), pp. 99–106. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1017022026937>.
- Ovidio, M., Baras, E., Goffaux, D., Birtles, C. and Philippart, J.C. (1998) 'Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes', in J.-P. Lagardère, M.-L.B. Anras, and G. Claireaux (eds) *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry*. Dordrecht: Springer Netherlands (Developments in Hydrobiology), pp. 263–274. Available at: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5090-3_30.
- Persat, H., Keith, P., Feunteun, É. and Allardi, J. (2011) *Les Poissons d'eau douce de France*. BIOTOPE.
- Persat, H. (1988) *De la biologie des populations de l'ombre commun *Thymallus thymallus* (L. 1758) à la dynamique des communautés dans un hydrosystème fluvial aménagé, le Haut-Rhône français: éléments pour un changement d'échelles*. These de doctorat. Lyon 1. Available at: <https://www.theses.fr/1988LYO10025>.
- Persat Henri, Kathrin Winkler, and Steven Weiss (2011) *Diversité génétique de la population d'ombre commun de la Sorgue*.
- Plasseraud, O., Lim, P. and Belaud, A. (1990) 'Observations préliminaires sur le fonctionnement des zones de frayères de la truite commune (*Salmo trutta fario*) dans deux cours d'eau ariégeois (le Salat et l'Alet)', *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (318), pp. 72–81. Available at: <https://doi.org/10.1051/kmae:1990010>.
- Simpson, G.L. and Singmann, H. (2022) 'gratia: Graceful 'ggplot'-Based Graphics and Other Functions for GAMs Fitted Using "mgcv"'. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=gratia>.
- Vivier, P. (1958) 'L'ombre commun (*Thymallus thymallus* L.). Sa reproduction et son élevage', *Bulletin Français de Pisciculture*, (191), pp. 45–58. Available at: <https://doi.org/10.1051/kmae:1958001>.
- Wood, S. (2022) 'mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation'. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=mgcv> (Accessed: 26 July 2022)

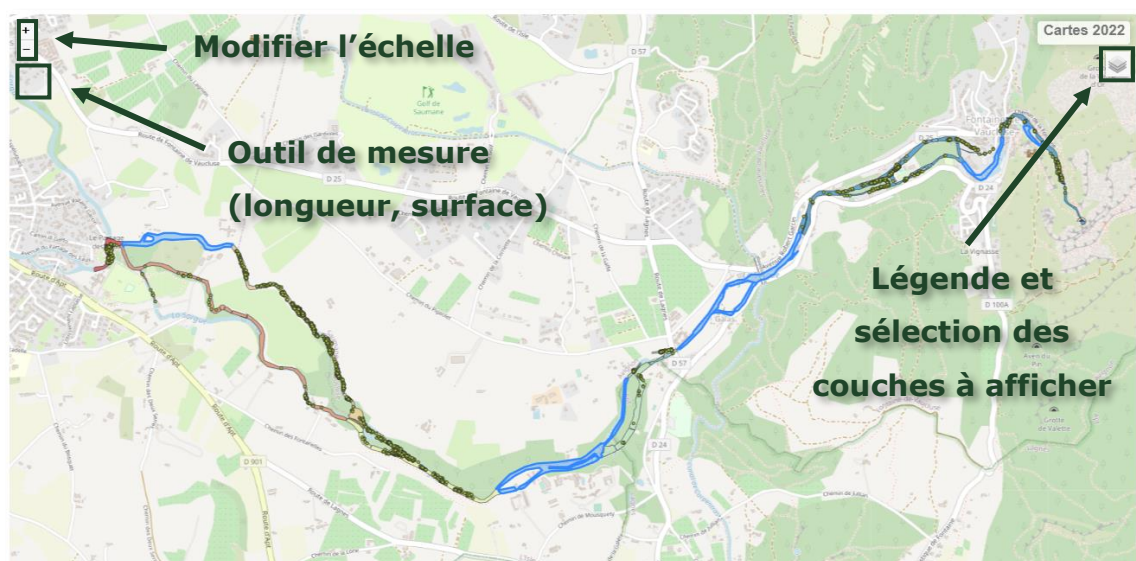
Annexe

Utiliser la carte interactive

Ouvrir la carte en cliquant sur le lien ci-contre

<https://pechevacluse.github.io/TruiteSorgue2022.github.io/>

Vous arriverez sur cette page

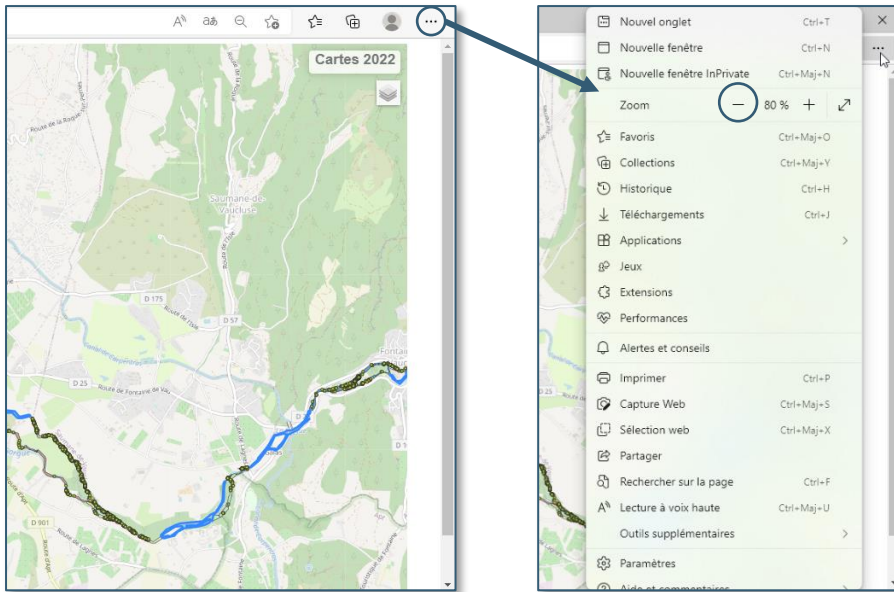


De base, seules quelques couches sont activées à l'ouverture mais vous pouvez modifier cela dans l'onglet en haut à droite, sous **Cartes 2022**, comme indiqué ci-dessus.

En haut à gauche, vous disposez aussi d'une mise à l'échelle et d'un outil de mesure de distances...

Remarque : Il se peut qu'une partie de la carte, notamment le haut droit, soit inaccessible lorsque vous ouvrirez cette dernière.

Pas de panique, cela est dû à un mauvais réglage du zoom de votre fenêtre internet.

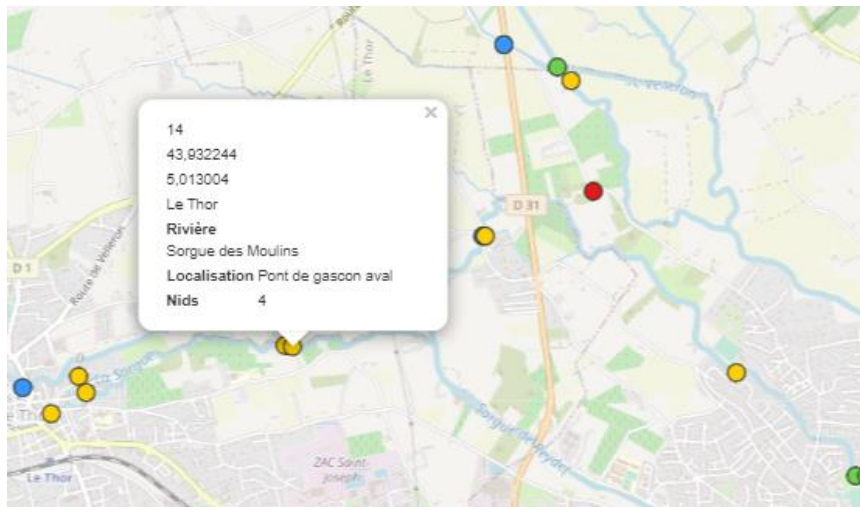


Cliquez ici,

Un onglet apparaît avec une ligne appelée « Zoom ».

Réglez-le sur 80% et le problème devrait être réglé.

Enfin, une fois la couche qui vous intéresse activée, vous pouvez cliquer sur une entité, ici une frayère artificielle, pour consulter ces informations.



Dans notre exemple, on y apprend que c'est la frayère n°14, ces coordonnées GPS sont indiquées, elle se situe au Thor sur la Sorgue des Moulins à la localisation Pont de Gascon (aval) et a hébergé 4 nids au cours de l'année.