

Etude d'impact du changement climatique et de
l'évolution des prélèvements sur les peuplements
piscicoles

-

Complément à l'étude HMUC du SAGE Loire en
Rhône Alpes (Loire 42)

-

Résultats de l'étude microhabitats développée sur les
bassins versants de la Coise, du Lignon et de l'Aix



Le Noyer et le Ban, sous-affluents du bassin de l'Aix

VALIDATION	
Version	<i>Rapport n°E230310 - Mars 2025 ECOGEA pour FDAAPPMA de la Loire</i>
Maître d'œuvre	
Rédacteurs	<i>Jean-Marc LASCAUX et Laurent CAZENEUVE</i>
Relecteur	<i>Pierre GRES (FDAAPPMA de la Loire)</i>
Ont également participé à ce travail	<i>Malo CHEFSON, Nicolas SOUBIRAN, Jean KARDACZ, Virgil PALACIOS</i>

SOMMAIRE

1.	ELEMENTS DE CONTEXTE	1
2.	OBJECTIFS DE L'ETUDE	3
3.	LOCALISATION ET EMPRISE DE LA ZONE D'ETUDE	4
4.	MATERIEL ET METHODE	5
4.1.	DESCRIPTION DU CONTEXTE HYDROLOGIQUE SUR CHACUN DES BASSINS RETENUS	5
4.2.	MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE DES MICROHABITATS SUR CHACUNE DES STATIONS RETENUES.....	6
4.2.1.	<i>Principe de la méthode dite « des microhabitats ».....</i>	6
4.2.2.	<i>Prise de données sur le terrain.....</i>	7
4.2.2.1.	Concernant la modélisation et les études « micro-habitats » sensu-stricto.....	7
4.2.2.2.	Autres prises de données concernant l'habitat des poissons.....	10
4.2.3.	<i>Modélisation hydraulique 2D.....</i>	11
4.2.4.	<i>Evolution des habitats piscicoles en fonction du débit.....</i>	14
4.2.4.1.	Présentation de l'outil HABBY	14
4.2.4.2.	Principe du couplage des paramètres hydrauliques et des préférences biologiques.....	15
4.2.5.	<i>Choix des espèces-cibles et des modèles biologiques utilisés</i>	18
4.2.5.1.	Espèces-cibles.....	18
4.2.5.2.	Modèles biologiques utilisés	20
4.2.6.	<i>Données à disposition après modélisation et traitements par HABBY.....</i>	25
4.3.	DEMARCHE ADOPTEE POUR DEFINIR LES DEBITS DE BON FONCTIONNEMENT DES CYCLES BIOLOGIQUES DES DIFFERENTES ESPECES CIBLES.....	26
4.3.1.	<i>La circulation, le déplacement des poissons</i>	26
4.3.2.	<i>La vie des poissons</i>	28
4.3.3.	<i>La reproduction des poissons.....</i>	29
4.3.4.	<i>Les règles de synthèse : comment détermine t'on les débits minimaux qui autoriseraient, par périodes biologiques, un bon fonctionnement des peuplements piscicoles</i>	31
5.	LES CONTEXTES HYDROLOGIQUES	33
5.1.	BASSIN DE LA COISE	33
5.1.1.	<i>Stations hydrologiques de référence.....</i>	33
5.1.2.	<i>Débits caractéristiques.....</i>	34
5.1.3.	<i>Prélèvements.....</i>	35
5.1.4.	<i>Tendances et perspectives</i>	36
5.2.	BASSIN DU LIGNON	40
5.2.1.	<i>Stations hydrologiques de référence.....</i>	40
5.2.2.	<i>Débits caractéristiques.....</i>	41
5.2.3.	<i>Prélèvements.....</i>	43
5.2.4.	<i>Tendances et perspectives</i>	44
5.3.	BASSIN DE L'AIX	48
5.3.1.	<i>Stations hydrologiques de référence.....</i>	48
5.3.2.	<i>Débits caractéristiques.....</i>	49
5.3.3.	<i>Prélèvements.....</i>	50
5.3.4.	<i>Tendances et perspectives</i>	51
5.4.	HYDROLOGIE RECONSTITUEE AU DROIT DES STATIONS D'ETUDE	55
6.	RESULTATS DES ETUDES MICROHABITATS ET DEBITS DE BON FONCTIONNEMENT	58

6.1.	RESULTATS PAR STATION	58
6.2.	BILAN DES ETUDES D'HABITATS	61
6.2.1.	<i>Bassin de la Coise</i>	61
6.2.1.1.	Disponibilités en caches	61
6.2.1.2.	Les possibilités de déplacement des poissons	61
6.2.1.3.	La reproduction des poissons lithophiles	63
6.2.1.4.	Débits minimaux vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles	65
6.2.1.5.	Synthèse pour le bassin de la Coise	66
6.2.2.	<i>Bassin du Lignon</i>	67
6.2.2.1.	Disponibilités en caches	67
6.2.2.2.	Possibilités de déplacement	68
6.2.2.3.	La reproduction des poissons lithophiles	69
6.2.2.1.	Débits minimaux vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles	72
6.2.2.2.	Synthèse pour le bassin du Lignon	74
6.2.3.	<i>Bassin de l'Aix</i>	76
6.2.3.1.	Disponibilités en caches	76
6.2.3.2.	Possibilités de déplacement	77
6.2.3.3.	La reproduction des poissons lithophiles	78
6.2.3.4.	Débits minimaux vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles	81
6.2.3.5.	Synthèse pour le bassin de l'Aix	83
7.	RELATION HABITATS – ABONDANCES DES POPULATIONS PISCICOLES	84
7.1.	ABONDANCES DES TRUITES VERSUS ALTITUDE DES STATIONS	85
7.2.	ABONDANCES DES TRUITES VERSUS HABITAT PHYSIQUE	89
7.3.	CONSIDERATIONS SUR L'ETAT DES PEUPEMENTS PISCICOLES A L'HORIZON 2050	93
8.	CONCLUSION	97
9.	BIBLIOGRAPHIE	99

Etude d'impact du changement climatique et de l'évolution des prélèvements sur les peuplements piscicoles

-

Complément à l'étude HMUC du SAGE Loire en Rhône Alpes (Loire 42)

-

Résultats de l'étude microhabitats développée sur les bassins versants de la Coise, du Lignon et de l'Aix

1. ELEMENTS DE CONTEXTE

Le territoire de la Loire en Rhône-Alpes appartient au Massif Central et se présente comme un amphithéâtre de moyennes montagnes hercyniennes délimitant deux vastes bassins sédimentaires intramontagnards (plaines du Forez et du Roannais) et une dépression houillère (dépression stéphanoise).

Le territoire de la Loire en Rhône-Alpes est situé à l'amont du grand bassin hydrographique Loire-Bretagne, sur lequel le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) fixe les grandes orientations de la politique de l'eau à l'échelle Loire-Bretagne. Il définit les orientations de gestion et les moyens à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif d'une « gestion durable et solidaire de la ressource en eau ». Toutes les décisions administratives prises dans le domaine de l'eau, les documents d'urbanisme et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), outils locaux de planification, doivent être compatibles avec ce document.

Le périmètre du SAGE Loire en Rhône Alpes (LRA) s'inscrit dans le secteur amont du grand bassin hydrographique Loire Bretagne. Fixé par arrêté préfectoral du 19 janvier 2007, il couvre un territoire constitué par le bassin versant du fleuve Loire de Bas en Basset (Haute-Loire) à Roanne (département de la Loire), en région Auvergne-Rhône-Alpes.

Le SAGE LRA est ainsi le document de planification et de gestion durable de la ressource en eau du bassin versant du fleuve Loire de Bas-en-Basset à Roanne. Elaboré pour une durée de 6 ans, le premier SAGE LRA, approuvé en 2014, est entré en phase de révision.

Afin de garantir la compatibilité du SAGE LRA avec le SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027, l'objectif premier de cette révision sera d'intégrer des **enjeux climatiques et quantitatifs**,

relativement absents d'un document élaboré entre 2007 et 2013, soit à une période où les questions de gestion quantitative n'apparaissaient pas encore prioritaires pour les territoires de la Loire amont.

Depuis sa programmation 2016-2021, le SDAGE Loire-Bretagne est doté d'un volet sur l'adaptation au changement climatique, via son chapitre 7, par la maîtrise des prélèvements et l'amélioration des connaissances. L'essentiel des mises à jour de la version 2022-2027 vise à renforcer cette prise en compte de la gestion quantitative dans un contexte climatique incertain, en confortant la structure et le rôle des études « Hydrologie Milieux Usages Climat (HMUC) » et en invitant à l'élaboration de Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE), notamment sur le périmètre du SAGE LRA.

Une étude pré-HMUC avait été conduite par la DDT42 à la fin 2016, dans le cadre du SAGE. Celle-ci doit aujourd'hui être complétée et mise à jour, tout particulièrement au niveau de l'évaluation des besoins des milieux et sur le volet prospectif.

Enfin, témoignant des déséquilibres quantitatifs croissants sur les territoires « Allier Loire amont », le volet stratégique du programme de mesures du SDAGE se fixe comme objectif l'élaboration de deux PTGE : le premier est en cours sur le SAGE Allier aval, le second concerne le SAGE Loire en Rhône-Alpes.

Contrairement au SAGE, le PTGE n'a pas de portée réglementaire. C'est un outil visant le rétablissement ou la conservation de l'équilibre hydrologique d'un territoire, par l'amélioration des connaissances et la facilitation des échanges entre usagers qu'il permet.

Introduite par le SDAGE Loire Bretagne 2016-2021, l'analyse H.M.U.C pour « Hydrologie, milieux, usages, climat » est une étude d'amélioration des connaissances sur la ressource en eau et ses usages, leurs impacts environnementaux ainsi que leurs évolutions prospectives. Ce type d'étude peut également permettre à un SAGE d'adapter localement certaines dispositions et/ou principes de gestion établis par le SDAGE.

La Commission Locale de l'Eau du SAGE LRA a donc lancé une étude HMUC sur tout le périmètre du SAGE, en vue de croiser les besoins des milieux (débits biologiques) avec les débits influencés et les débits projetés avec le changement climatique, et ce, sur l'ensemble du cycle hydrologique ; et de croiser les projections d'évolution des usages (évolution des prélèvements mais aussi amélioration de la qualité des milieux) avec les projections de débits impactés par le changement climatique.

Cette étude HMUC constituera le socle diagnostique d'un PTGE, qui doit disposer d'une base solide de connaissances pour permettre l'objectivisation des débats.

Cependant, l'échelle de travail de l'étude HMUC ne permettra pas d'approcher **finement** l'impact des débits influencés et de leurs évolutions futures sur les milieux aquatiques.

En conséquence, **la Fédération de la Loire pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques** (FDAAPPMA42) a souhaité disposer **d'éléments complémentaires** sur cette problématique, en ciblant le compartiment intégrateur des poissons, **afin d'objectiver les perturbations** des peuplements salmonicoles qu'elle constate ces dernières années, et qui risquent de s'accroître en réponse au changement climatique et à la pression des usages de l'eau.

Elle souhaite particulièrement évaluer les conséquences de l'accentuation des étiages naturels (captage pompage et/ou diminution de l'hydrologie naturelle) sur la diminution de l'habitat physique des poissons et donc la potentialité de maintenir les populations piscicoles des rivières salmonicoles du département à l'horizon 2050. Elle fait, en effet, le constat d'une forte diminution de la biomasse piscicole sur les secteurs salmonicoles (impact notamment sur la truite fario et l'ombre commun) et intermédiaires (autres espèces comme le barbeau, le hotu, la vandoise) en parallèle à la succession de 7 épisodes d'étiages très sévères entre 2015 et 2022 (seul l'été 2021 a connu des conditions proches des normales avec des précipitations assez fréquentes et des températures plus clémentes).

La FDAAPPMA42 a donc souhaité porter une étude complémentaire à l'étude HMUC, qui permette de préciser l'état actuel et comprendre l'évolution probable, à l'horizon 2050, des populations piscicoles des secteurs salmonicoles, en lien avec l'évolution des débits liée au changement climatique, sur les secteurs où il existe une demande en eau significative, qui devrait impacter le débit des cours d'eau. **Il s'agit de caractériser plus précisément les menaces qui pèsent sur les espèces piscicoles à enjeux** du territoire du SAGE LRA, en lien avec les contraintes hydrologiques, **en mesurant la sensibilité du milieu aux variations de débits**, et en évaluant son niveau de résilience vis-à-vis des effets attendus du changement climatique, combinés à l'augmentation de la demande en eau des usages.

C'est cette étude, menée en parallèle à l'étude HMUC et qui viendra en compléter les données, qui fait l'objet du présent rapport.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Il s'agit de caractériser finement, à l'échelle de stations d'étude, le lien qui existe entre la variation des débits du cours d'eau et l'habitat physique des poissons : ou **comment le débit du cours d'eau détermine la quantité d'habitat mis à la disposition des poissons**.

A la lumière de ces relations et des prospectives hydrologiques, fonction du changement climatique, il devient possible de se projeter sur l'habitat disponible pour les poissons à l'horizon 2050.

Enfin, à partir des données récoltées par la FDAAPPMA42 depuis plus de 20 ans, il est possible d'examiner les **relations abondances piscicoles/habitats**, et donc à nouveau de se projeter sur **l'état probable des peuplements piscicoles à l'horizon 2050**.

A partir des liens débit/habitat physique (proxi de la capacité d'accueil) et habitat physique/abondance des poissons, **l'objectif de l'étude est d'anticiper l'évolution des peuplements piscicoles (et plus particulièrement des populations de truite et d'ombre) des cours d'eau du département de la Loire, à l'horizon 2050**.

3. LOCALISATION ET EMPRISE DE LA ZONE D'ETUDE

Deux sous-bassins, **l'Aix et la Coise**, ont été identifiés par la Fédération comme représentatifs des risques de modifications de leur peuplement piscicole, en lien avec l'évolution climatique et de la demande en eau des usages.

En outre, il apparaissait aussi opportun d'étudier **la portion Lignon-du-Forez** qui abrite une **population d'ombre endémique**, pour déterminer les menaces qui pèsent sur **cette espèce emblématique (*Thymallus ligericus*)**.

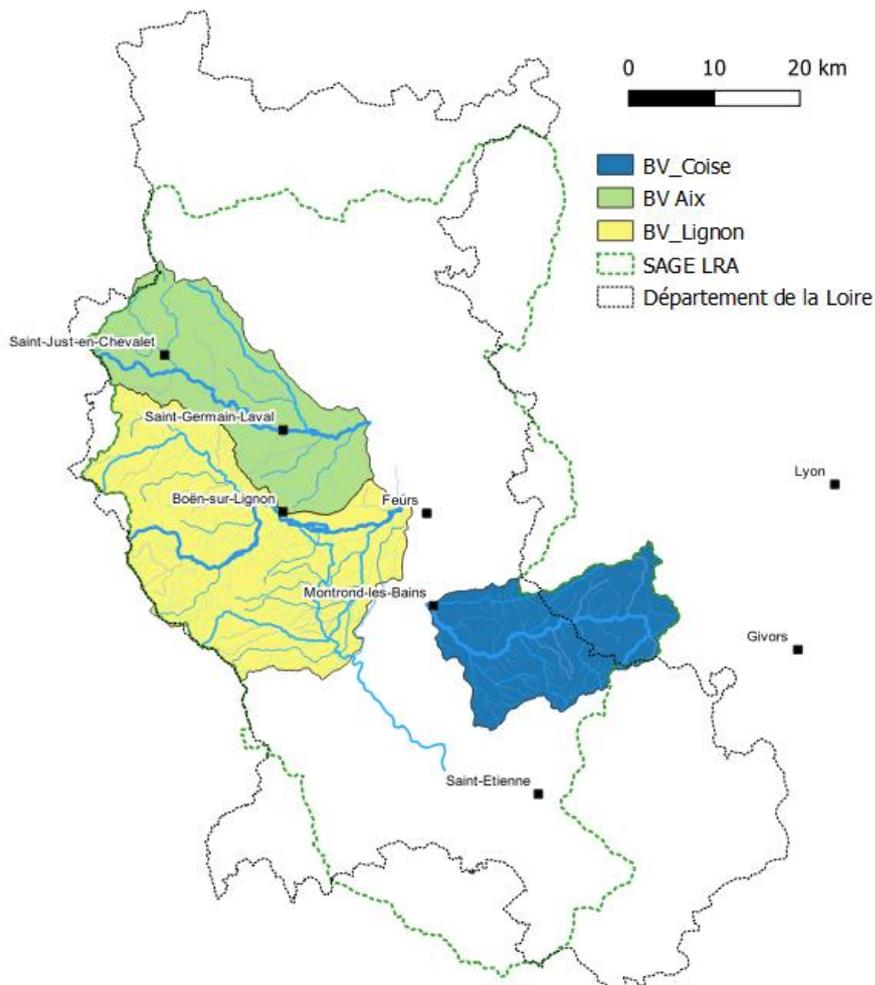


Figure 1 : Localisation des secteurs d'études dans le périmètre du SAGE LRA

17 stations, suivies régulièrement par la Fédération depuis plus de 25 ans, ont été retenues, sur ces 3 bassins, pour cette étude.



Figure 2 : Localisation des 17 stations d'étude

4. MATERIEL ET METHODE

4.1. DESCRIPTION DU CONTEXTE HYDROLOGIQUE SUR CHACUN DES BASSINS RETENUS

Le contexte hydrologique de chaque bassin est décrit à partir des stations hydrométriques disponibles. Les débits caractéristiques en sont extraits à partir **des plus longues périodes statistiques possibles**.

Ces débits sont, aujourd'hui déjà, influencés par les prélèvements. Nous rappellerons, à partir des données présentées dans les fiches de synthèse de l'étude HMUC SAGE Loire en Rhône-Alpes, les effets actuels de ces prélèvements sur les débits.

Les tendances d'évolution long terme (jusqu'à aujourd'hui) concernant le module et les débits d'étiage des cours d'eau seront analysées. Les perspectives à l'horizon 2050 seront aussi rappelées à partir des fiches de synthèse de l'étude HMUC SAGE Loire en Rhône-Alpes.

Enfin, à partir de ces données aux stations hydrométriques, les caractéristiques hydrologiques principales **au droit de chacune de nos stations** d'études seront calculées.

4.2. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE DES MICROHABITATS SUR CHACUNE DES STATIONS RETENUES

Le lien débit – habitat physique disponible pour les poissons est le domaine des études dites de microhabitats (voir par exemple Pouilly et *al.*, 1995).

Le principe d'une étude de « microhabitats » est de choisir une ou plusieurs espèces cibles qui vivent dans le cours d'eau (très généralement des poissons) et d'étudier, sur une station (une partie de cours d'eau), comment évoluent leur habitat physique en fonction du débit, afin, si besoins ou usages, de trouver le bon compromis entre le débit laissé dans la rivière et l'habitat disponible pour les poissons.

L'habitat physique des poissons est défini, dans ce type d'étude, par 3 composantes : la profondeur de l'eau, la vitesse du courant et la nature du fond du cours d'eau (granulométrie, substrat).

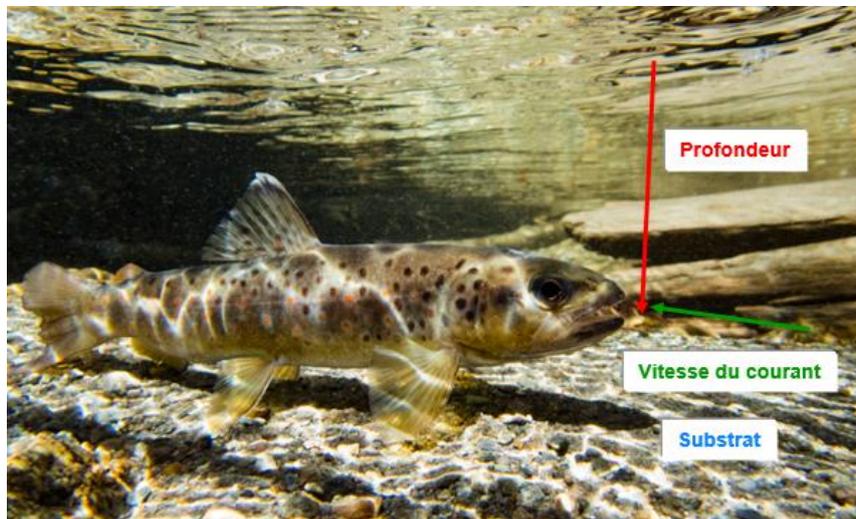


Figure 3 : Les 3 composantes de l'habitat physique des poissons

Une approche « microhabitats », comparable à celle mise en œuvre dans une étude de Débit Minimum Biologique (DMB)¹, a donc été développée ici sur les 17 stations retenues des 3 bassins versants, ceci afin de **préciser les gammes de débits problématiques pour l'ichtyofaune** et ses besoins fondamentaux **pour vivre, se déplacer et se reproduire**.

4.2.1. Principe de la méthode dite « des microhabitats »

Il s'agit en fait d'une famille de méthodes qui ont pour but d'analyser la relation dynamique entre le débit et les variations des paramètres de l'habitat physique (Hauteur, Vitesse, Granulométrie) des cours d'eau. A ce titre, elles constituent de bons supports d'aide à la décision pour le choix d'un débit ou d'un régime biologique, bien que l'information qu'elles

¹ Selon l'article L.214-18 du code de l'environnement, le DMB est un débit qui doit en permanence permettre de garantir la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de la construction d'un aménagement.

produisent ne constitue qu'une partie de l'ensemble des éléments à acquérir pour établir une véritable analyse de situation d'un cours d'eau.

Le principe de ces méthodes est de **coupler la description physique d'un cours d'eau** (mesures par points représentatifs des paramètres hauteur d'eau, vitesse de l'écoulement et qualité du substrat, puis modélisation hydraulique et évolution de ces paramètres avec le débit) **avec des modèles biologiques de préférences** de différentes espèces ou stades de développement d'espèces aquatiques (**l'espèce ciblée « préfère » telle ou telle valeur ou gamme de valeurs pour la profondeur de l'eau, la vitesse du courant ou le substrat**).

Au final, on aboutit à des **surfaces d'habitat favorable** à telle ou telle espèce (sur la base de critères de profondeur d'eau, de vitesse du courant et de nature du substrat), surfaces d'habitat favorable appelées Surfaces Pondérées Utiles (dite **SPU** - en m²), **surfaces qui évoluent en fonction du débit**.

4.2.2. Prise de données sur le terrain

4.2.2.1. Concernant la modélisation et les études « micro-habitats » sensu-stricto

La mise en œuvre de la méthode repose, sur chacune des stations d'études sur :

- La réalisation d'un **relevé topographique** du lit et des berges du cours d'eau,
- La réalisation de **relevés de cotes de ligne d'eau** en rive droite et rive gauche, le long de la station d'études, **à 2 débits différents**, un débit faible proche du débit d'étiage qui va être utilisé pour simuler les écoulements à faibles débits, et un débit moyen à fort utilisé pour simuler les écoulements pour des débits plus importants,
- La description du substrat présent sur la station d'étude avec notamment la spatialisation des zones présentant un substrat favorable à la fraie des poissons lithophiles² (SGF pour Surface granulométriquement favorable à la fraie des lithophiles),
- La **réalisation de jaugeages** afin de déterminer le débit pour chaque campagne de relevés de cotes de ligne d'eau.

² Les poissons lithophiles sont des poissons qui utilisent les graviers et petits galets pour déposer ou enfouir leurs œufs (les truites, ombres, barbeaux, vandoises, ...).

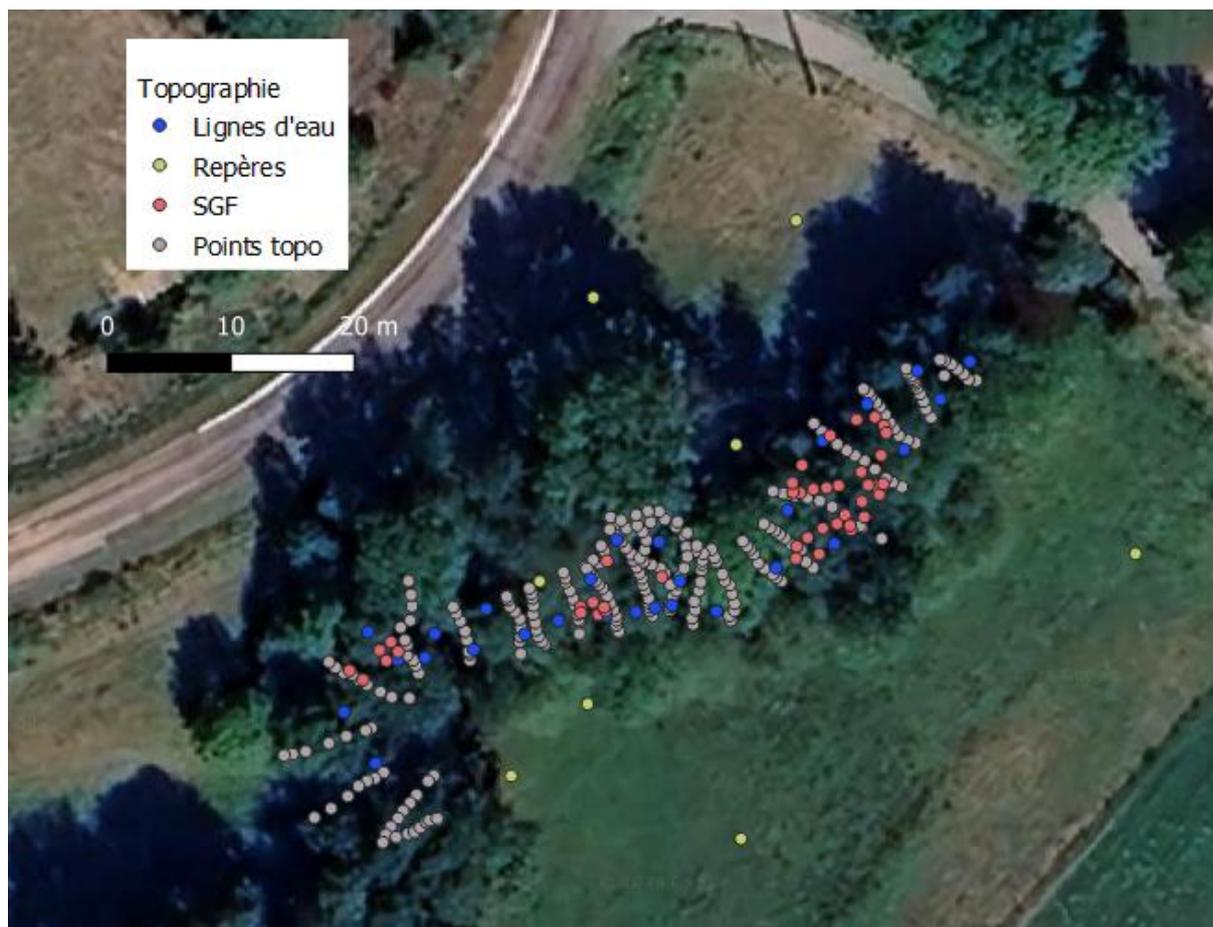
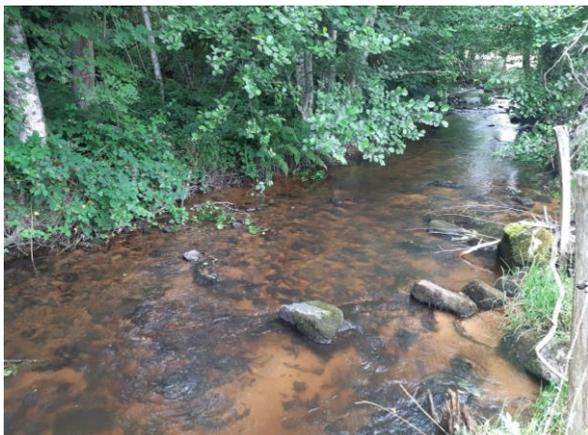


Figure 4 : Exemple de semis de points réalisés lors des levés de terrain sur le Noyer.
Projection (X et Y) en Lambert93.

L'objectif de la réalisation d'un relevé topographique est de décrire au mieux les variations topographiques du lit et des berges de la station d'étude. Les relevés sont effectués à l'aide d'un tachéomètre LEICA permettant de mesurer la cote du fond (z) pour une position x et y donnée. Il s'agit de représenter, à l'aide d'un semis de point, les structures topographiques d'une rivière qui conditionnent l'écoulement de celle-ci. Pour ce faire, des transects sont effectués permettant de décrire les différents faciès d'écoulement de la station et les transitions entre eux (changements de pente). Un semis de points supplémentaires peut être nécessaire entre les transects si certaines structures de la rivière le justifient (bloc, îlot, petite fosse, etc...). Le nombre de transects et de points supplémentaires dépend de la diversité topographique de la station d'étude.

L'utilisation d'un GPS de précision (Trimble Geo7x dans le cas présent) est nécessaire si l'on souhaite pouvoir recalcr les relevés topographiques (coordonnées Lambert 93 ici).

Il s'agit ensuite de caractériser la cote de la surface en eau de la station d'étude à 2 débits différents. Pour cela, toujours à l'aide du tachéomètre, la cote des lignes d'eau est levée tout au long de la station (en rive droite et en rive gauche). Il est nécessaire de réaliser au moins un point pour chaque faciès d'écoulement. Ces points permettront par la suite de vérifier que **la modélisation hydraulique** de la station est proche des mesures effectuées sur le terrain pour un débit donné.



Photos 1 et 2 : Le Boën à Chambodut aux 2 débits contrastés permettant la relève de 2 cotes de ligne d'eau

Une description du substrat est effectuée en utilisant l'échelle de Wentworth (1935) adaptée. Les pourcentages des différents types de substrat ont été exprimés entre 2 transects topographiques.

Concernant la description du substrat, la Surface Granulométriquement Favorable à la fraie des espèces lithophiles (SGF)³ a également été spatialisée.

Pour ce dernier point, la truite, comme l'ombre et le barbeau, ont besoin pour se reproduire **de placettes de graviers-petits galets (0,5 à 5-6 cm de diamètre) assez homogènes**. Dans la description de la granulométrie telle qu'elle est pratiquée dans la méthode des microhabitats, les graviers et petits galets sont souvent présents à des pourcentages de recouvrement non négligeables mais mélangés, dispersés, au milieu de granulats plus grossiers. Ils ne seront alors pas utilisés par les poissons pour la reproduction. A l'inverse, l'habitat réellement utilisé par les truites et ombres (et même barbeau) pour leur reproduction est le plus souvent réparti en quelques placettes sur une station, que l'on a peu de probabilité de représenter correctement par des transects, même resserrés, si l'on n'y porte pas une vigilance particulière. **Les principales zones de reproduction des poissons lithophiles sur la station sont donc spécifiquement cartographiées lors des levés topographiques**, afin d'appréhender le **débit de mise en eau** de ces zones, puis **leurs fonctionnalités hydrauliques** en fonction du débit (SGF + critères hydrauliques [profondeur, vitesse du courant] corrects pour la reproduction = SFR pour surface favorable à la reproduction⁴).

Ce travail sur **la fonctionnalité des zones de reproduction** permet d'avoir des indications sur les débits nécessaires, **les débits de bon fonctionnement**, pour la faune piscicole, à **d'autres moment de l'année que l'étiage** (période de reproduction et de vie sous graviers des alevins, soit fin d'automne, hiver et début du printemps pour la truite, ou début du printemps pour l'ombre et fin du printemps pour le barbeau).

³ Surface homogène de graviers et petits galets de taille adaptée à la fraie des espèces lithophiles.

⁴ SGF = surface de granulométrie favorable à la reproduction. SFR = surface favorable à la reproduction (cad SGF + critères hydrauliques corrects).

Enfin, un jaugeage au courantomètre électromagnétique est réalisé sur chaque station à chaque campagne de relevés de cote de ligne d'eau (soit 2 campagnes pour cette étude, à faible débit puis à débit moyen à fort).

4.2.2.2. *Autres prises de données concernant l'habitat des poissons*

➤ Qualification des abris, des caches

Les caches (sous-berges, embâcles, herbiers, sous-blocs, ...) **ne sont pas prises en compte** dans la méthode des « microhabitats ».

C'est pourtant une composante essentielle de l'habitat de certaines espèces, et particulièrement de la truite commune. Ainsi, Bret *et al.* (2017) montrent que la **mortalité densité dépendante** des truites est très liée aux quantités d'abris disponibles, et même que l'on **peut expliquer** une **part importante de la dynamique des populations de truite** simplement **à partir de la thermie et des quantités d'abris** (Interface DYPOP : <https://dypop.pam-retd.fr/>).

Afin d'avoir un élément de discussion supplémentaire des abondances piscicoles, au moins pour l'espèce truite, nous avons quantifié les caches sur les stations retenues, selon le protocole de Binns, 1982. Ces quantités d'abris ont ensuite été comparées à des références connues pour les cours d'eau du Massif-Central et des Pyrénées (Baran, P., 1995 ; Baran *et al.*, 1999 plus particulièrement pour le département de la Loire).

Classe	% de caches
	(% de la surface mouillée au moment des mesures)
Faible	< 1 %
Moyen	1 à 1,5 %
Fort	> 1,5 %

Tableau 1: Classes d'abondance en caches d'après Baran *et al.*, 1999

➤ Qualification de la SGF

Nous avons défini la SGF précédemment. En plus de son utilisation directe dans les études « microhabitats », et afin d'avoir des éléments de discussions supplémentaires, nous la qualifierons (par rapport au % de la surface mouillée au moment des mesures), et nous la comparerons à des références connues pour les rivières des Pyrénées et du Massif-Central (Delacoste, 1995 ; Baran *et al.*, 1999 plus particulièrement pour le département de la Loire).

Classe	% de SGF (% de la surface mouillée au moment des mesures)
Faible	< 1 %
Moyen	1 à 2 %
Fort	> 2 %

Tableau 2 : Classes d'abondance en SGF d'après Baran et al., 1999

4.2.3. Modélisation hydraulique 2D

Les relevés effectués sur le terrain vont nourrir **une modélisation hydraulique** (en 2D, ce qui permet d'avoir une répartition latérale des vitesses de courant) **qui permettra de connaître l'évolution des paramètres de l'habitat physique des poissons** (hauteur d'eau, vitesse du courant) **avec le débit qui transite sur la station.**

La modélisation numérique 2D sur une station d'étude se déroule selon les étapes suivantes :

- Importation des données brutes de topographie sous QGIS pour délimitation du contour de la station modélisée puis création du maillage avec le logiciel BLUEKENUE,
- Interpolation spatiale en deux dimensions des relevés topographiques sur le maillage,
- Création des conditions aux limites amont et aval,
- Initialisation du lit mouillé,
- Modélisation avec le logiciel TELEMAC 2D,
- Analyse des résultats et calage du modèle avec le logiciel FUDAA.

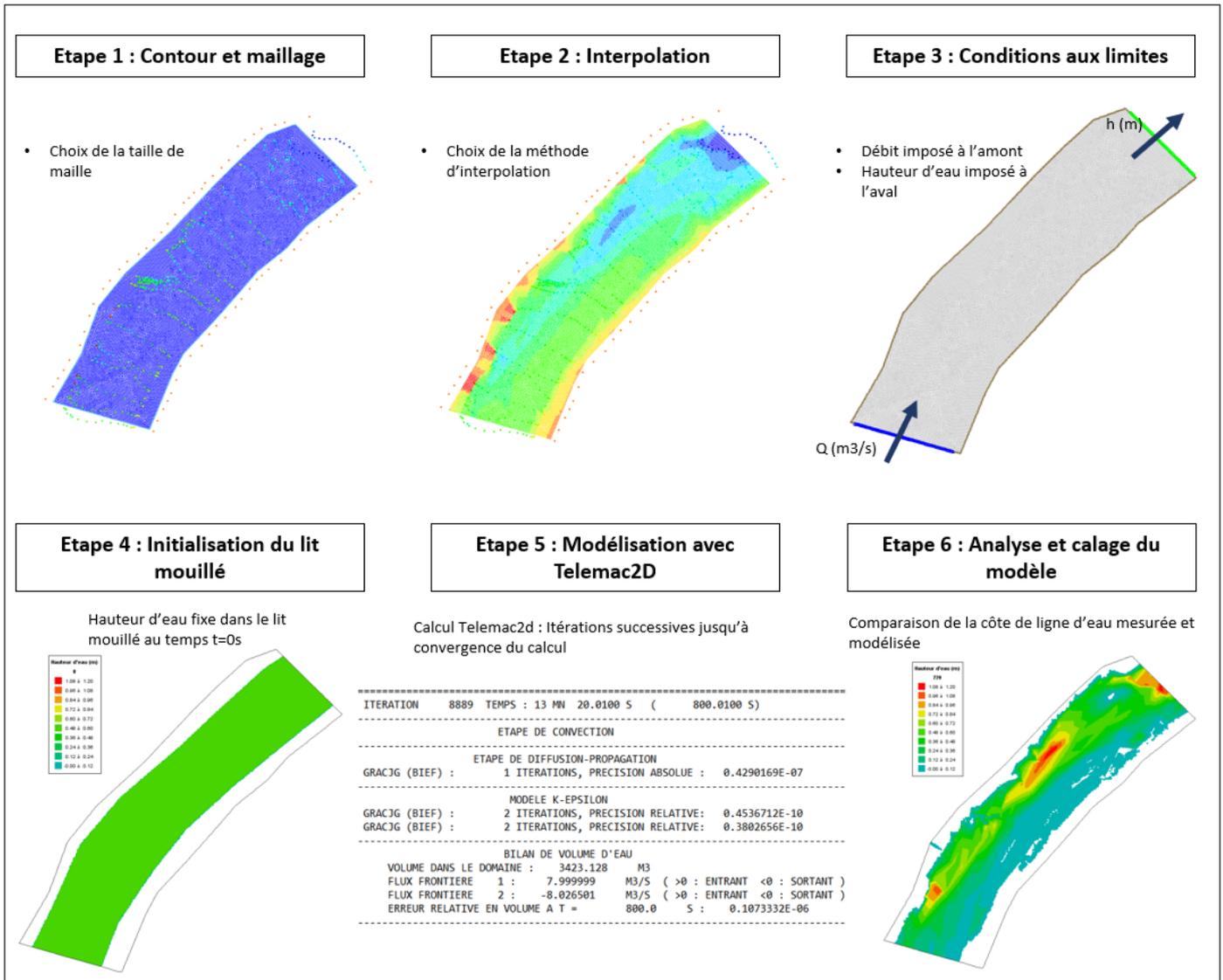


Figure 5 : Description des étapes de la mise en place d'une modélisation hydraulique en deux dimensions avec le logiciel Telemac2D

➤ Présentation de l'outil Telemac2D

Le logiciel TELEMAC-2D est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement d'EDF. Selon le manuel de référence de l'utilisateur du système de modélisation Telemac, écrit en 2010 par Pierre Lang, le logiciel TELEMAC-2D résout les équations de Barré de Saint-Venant (1871) à deux dimensions d'espace horizontal. **Ses résultats principaux** sont, **en chaque point du maillage** de résolution, **la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale**.

➤ Création de la géométrie et du maillage

Le maillage et l'interpolation sont réalisés à l'aide du logiciel open source BlueKenue 3.3.4. Plusieurs types de maillages peuvent être créés et testés, plus ou moins grossiers, de façon à trouver un compromis entre temps de calcul et précision.

En règle générale, la taille de maille doit être adaptée à la précision qui a été choisie lors de la réalisation du relevé topographique. Par exemple, si la topographie de la rivière est caractérisée par des changements pouvant impacter l'écoulement tous les 50 cm, il sera nécessaire d'avoir des tailles de mailles inférieures à 50 cm.

Le plus souvent, le maillage n'est pas homogène, c'est-à-dire que le lit mouillé est raffiné sur certaines zones. Cela permet d'obtenir un temps de calcul acceptable tout en ayant une bonne précision concernant les points clés de l'écoulement.

➤ Réglage des paramètres physiques

Plusieurs paramètres physiques ont besoin d'être ajustés avant la simulation :

- **Conditions aux limites (amont et aval)** : un débit est imposé sur la frontière amont et une hauteur d'eau est fixée sur la frontière aval de la station. Ces valeurs sont déterminées grâce aux mesures de lignes d'eau sur le terrain et à la mesure du débit.
- **Conditions initiales** : plusieurs options s'offrent à nous avec le code TELEM2D. Le choix est fait d'imposer à $t = 0$ une hauteur d'eau uniforme. Cette valeur n'influence pas le résultat de la modélisation, néanmoins cela permet de faire converger le calcul plus rapidement. Cela permet également d'éviter les problèmes de régime torrentiel à $t = 0$.
- **Coefficient de Strickler** : ce coefficient représente la rugosité du fond. Il est différent pour chaque station mais également à l'intérieur des stations, ainsi que pour des débits très différents. Il intervient dans la relation reliant le débit à la hauteur d'eau. Nous verrons dans la suite les réglages du coefficient de Strickler pour faire converger les hauteurs d'eau modélisées vers les hauteurs d'eau mesurées.
- **Modèle de turbulence** : 2 modèles de turbulences sont disponibles avec TELEM2D pour notre configuration :
 - Le modèle à viscosité constante. C'est le plus simple et donc le moins gourmand en temps de calcul. Il considère une viscosité globale sur l'ensemble de la station englobant les viscosités moléculaire et turbulente. Cette valeur est fixée par l'utilisateur et influence la taille des recirculations et l'échelle de dissipation.
 - Le modèle $k-\varepsilon$ est plus complexe. C'est le plus utilisé au niveau industriel. Il ajoute 2 équations au modèle : une pour calculer l'énergie cinématique turbulente (k) et l'autre sa dissipation (ε). Contrairement au modèle précédent, il distingue les différents types de viscosité qu'il calcule lui-même. **Il représente donc mieux les effets de la turbulence, notamment à proximité des obstacles.** Il nécessite cependant un temps de calcul bien plus important.

La différence entre ces deux modèles se voit essentiellement à fort débit ou à proximité des obstacles. **Dans le cadre de la modélisation en rivière c'est le modèle $k-\varepsilon$ qui est utilisé.**

➤ Réglage des paramètres numériques

Des paramètres numériques ont besoin d'être ajustés afin d'assurer la stabilité du calcul. La seule condition que nous vérifions est celle du nombre de Courant :

$$CFL = v \frac{dt}{dx} < 1$$

Avec : v : vitesse dx : pas d'espace dt : pas de temps

Si cette condition n'est pas respectée, le calcul n'est pas stable et les résultats sont faux. La vitesse est déterminée par le débit imposé en entrée et dx par la taille des cellules. L'unique levier d'action se situe au niveau du pas de temps dt. Cette condition impose donc de devoir diminuer le pas de temps lorsque le débit augmente ou lorsqu'on raffine le maillage. Un maillage très fin augmente donc doublement le temps de calcul : par l'ajout de nouveaux points de calculs, mais aussi par la diminution du pas de temps. Par souci d'optimisation, il est préférable d'avoir un nombre de Courant proche de 1 sans pour autant le dépasser.

➤ Méthodologie de calage du modèle numérique 2D

Le calage d'un modèle numérique en deux dimensions consiste à réaliser une succession d'essais numériques afin que la station d'étude modélisée soit hydrauliquement le plus proche des mesures effectuées sur le terrain pour un débit donné. Ce travail est réalisé **en ajustant le coefficient de Strickler**. En théorie, ce coefficient dépend du type de fond. Afin de caler au mieux le comportement hydraulique d'une station d'étude, le coefficient de rugosité est spatialisé le long de la station **d'étude jusqu'à ce que les lignes d'eau mesurées et simulées concordent**.

Dans le cas présent, nous avons modélisé les écoulements sur chacune des 17 stations de 2,5 % du module à 2 fois le module pour 11 débits différents (2,5 % M, 5 % M, 10 % M, 20 % M, 50 % M, 75 % M, 1 M, 1,25 M, 1,5 M, 1,75 M, 2 M).

Les simulations pour la gamme de débits de 2,5 % M à 20 % M ont été calées à partir des mesures de cotes de lignes d'eau à bas débits, alors que le restant des débits modélisés (50 % M à 2 M) ont été calés à partir des seconds relevés de cotes de lignes d'eau.

4.2.4. Evolution des habitats piscicoles en fonction du débit

4.2.4.1. Présentation de l'outil HABBY

HABBY (pour HABitat suitaBilitY - Von Gunten et *al.*, 2018) est une plateforme développée par l'OFB, EDF et INRAE qui va permettre de croiser des modélisations hydrauliques avec des courbes de préférences biologiques, l'objectif final étant d'étudier l'évolution des habitats d'espèces-cibles en fonction des débits.

HABBY permet de réaliser des simulations d'habitat en utilisant les modèles hydrauliques numériques les plus courants (TELEMAC2D, HECRAS1D, HECRAS2D, EVHA etc...).

Il contient aussi une riche bibliothèque de courbes de préférences biologiques documentées, qui s'enrichit au fil des développements scientifiques. Le logiciel offre

également la possibilité de créer et tester des modèles biologiques à l'initiative de l'utilisateur.

4.2.4.2. Principe du couplage des paramètres hydrauliques et des préférences biologiques

La modélisation hydraulique permet d'obtenir pour chaque débit transitant sur la station une cartographie des valeurs des paramètres hauteur d'eau et vitesse du courant (la granulométrie des fonds restant la même sur la gamme de débits modélisés).

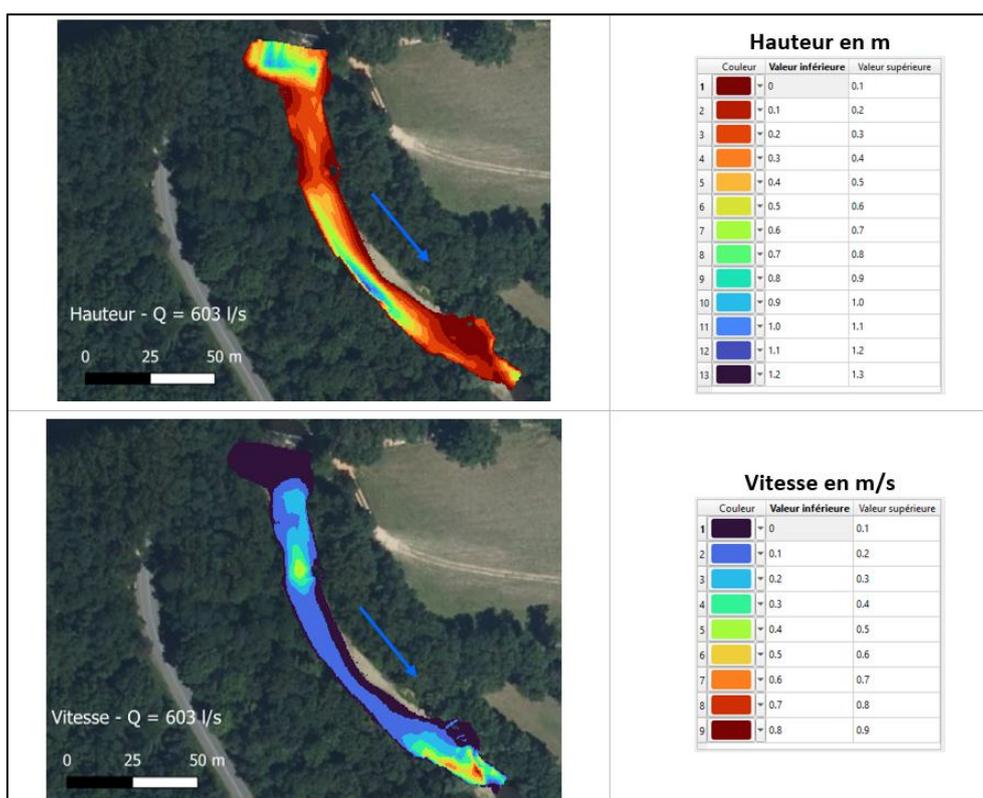


Figure 6 : Cartographies des valeurs de la profondeur et de la vitesse du courant pour le Lignon à Saint-Agathe pour un débit de 603 l/s

Les courbes de préférences de l'espèce ciblée pour les différentes valeurs des paramètres hydrauliques permettent de **transformer les 3 cartes des paramètres hydrauliques en 1 seule carte de valeurs d'habitat à 1 débit.**

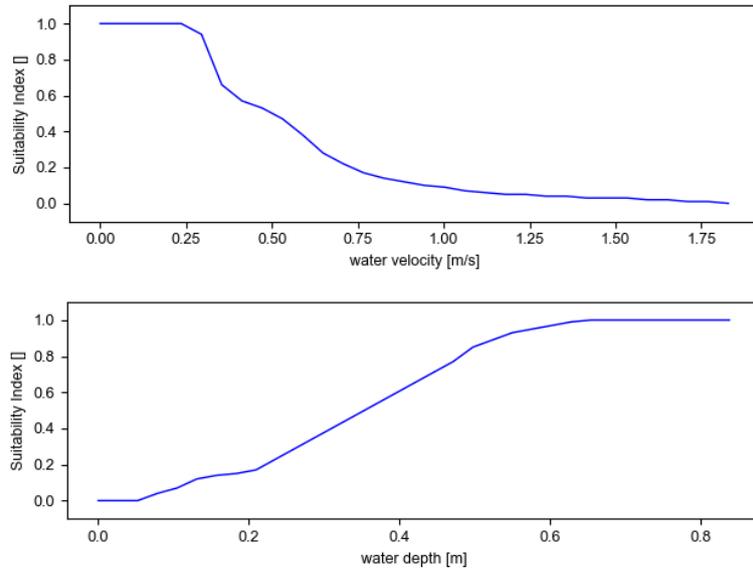
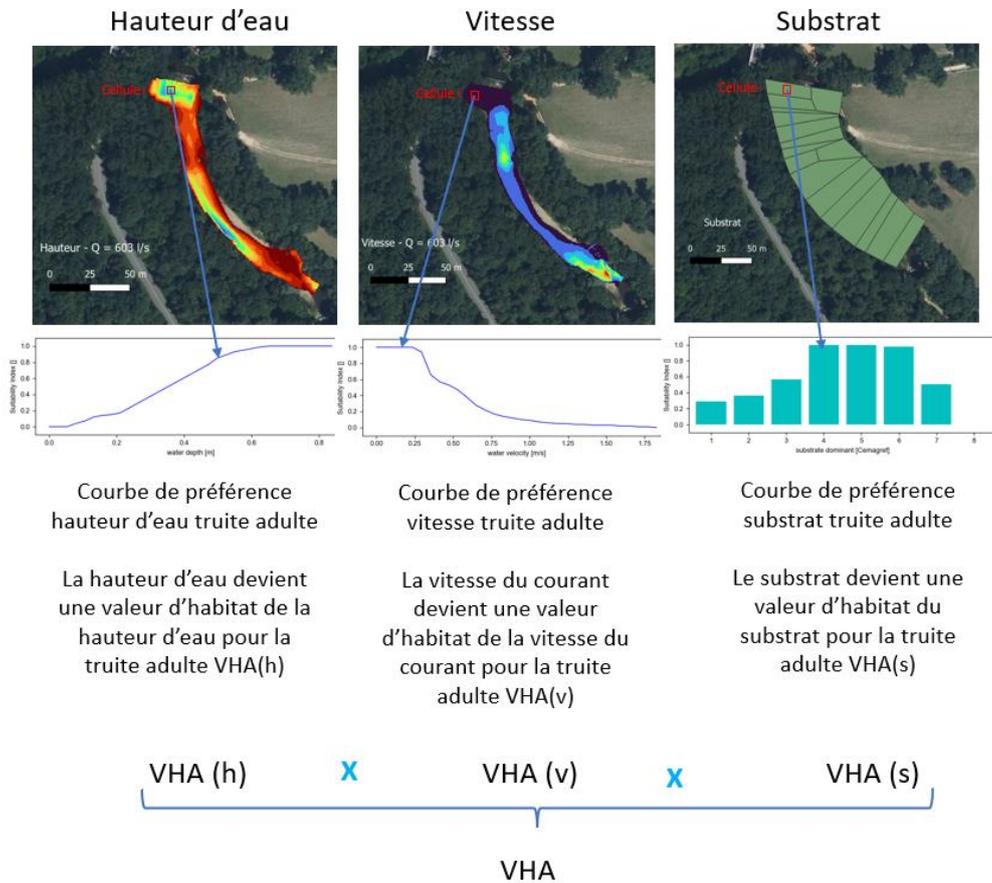
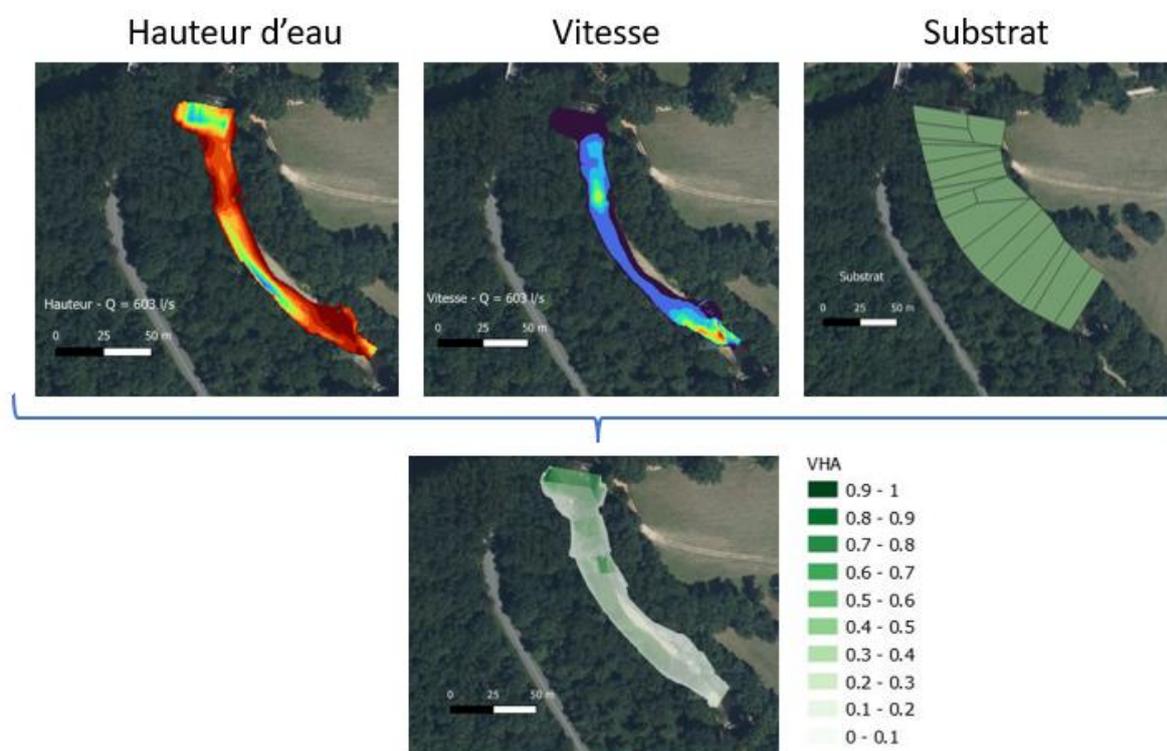


Figure 7 : Courbes de préférences de la truite adulte pour la vitesse du courant (en haut) et pour la profondeur de l'eau (en bas). Courbes Bovee, 1978, modifiées par le Cemagref pour le stade adulte (Souchon et al.,1989). Lecture : sur une échelle de 0 à 1, une truite adulte a une préférence de 0,5 pour une vitesse du courant de 0,5 m/s et une préférence maximale (1) pour les vitesses faibles (en dessous de 0,25 m/s). Elle n'apprécie guère les faibles profondeurs (en dessous de 0,2 m) et au contraire, la préférence est maximale (1) lorsque la profondeur est supérieure à 0,6 m.





Les cartographies Hauteur, Vitesse, Substrat, à 1 débit, passées par le filtre des courbes de préférences se combinent en 1 cartographie de la valeur d'habitat pour l'espèce ciblée à 1 débit

Figure 8 : Schéma de la transformation des valeurs hydrauliques en valeurs d'habitat piscicole

Les valeurs des paramètres hydrauliques et donc les valeurs d'habitats qui en découlent sont affectées à de petites cellules homogènes pour les paramètres en question. Ces cellules ont une certaine surface. C'est en **multipliant cette surface (en m²) par la VHA (valeur d'habitat adimensionnelle) de la cellule que l'on obtient la fameuse Surface Pondérée Utile (SPU) de la cellule (en m²)**. On additionne ensuite toutes les SPU des cellules élémentaires à l'échelle de la station pour avoir la **Surface Pondérée Utile de la station à 1 débit (en m²)**.

Il faut alors voir cette valeur comme la surface d'habitat complètement favorable à l'espèce ciblée sur la station considérée et à 1 débit.

On reprend ensuite tous les calculs pour tous les débits de la gamme de variations envisagée et on obtient l'évolution de la SPU en fonction du débit (exemple sur la figure ci-dessous), **c'est-à-dire l'évolution de la quantité d'habitat favorable (en m²) à l'espèce ciblée en fonction du débit** sur la station étudiée.

On peut réitérer les calculs pour d'autres espèces et/ou pour plusieurs stades de développement chez la même espèce piscicole (les alevins, les juvéniles, les adultes, la reproduction).

La plateforme HABBY permet d'automatiser les calculs et une grande richesse de croisements entre les modèles hydrauliques et les modèles biologiques.

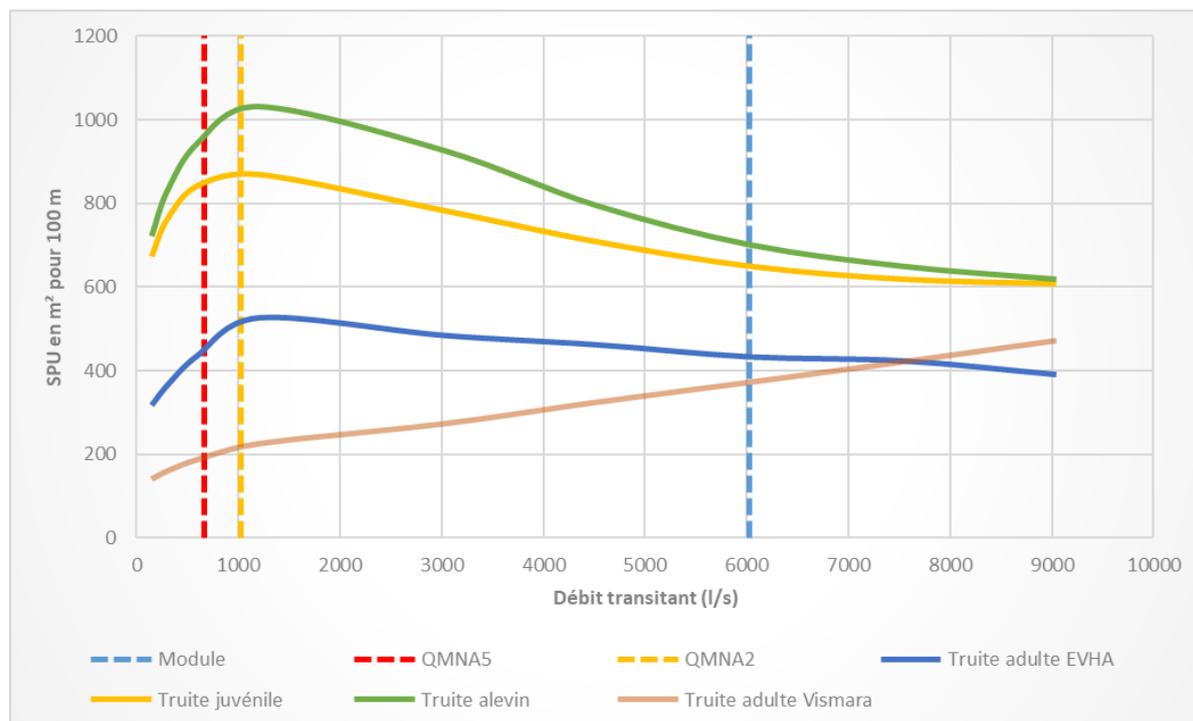


Figure 9 : Exemple, sur le Lignon du Forez à Saint-Agathe, de courbes d'évolution de l'habitat favorable (SPU en m² pour 100 m de cours d'eau) à différents stades de développement de la truite en fonction du débit (et positionnement de quelques valeurs caractéristiques du régime hydrologiques du Lignon : module, QMNA2, QMNA5)

4.2.5. Choix des espèces-cibles et des modèles biologiques utilisés

4.2.5.1. Espèces-cibles

En premier lieu, il s'agissait, pour chacun des cours d'eau, de **définir les espèces-cibles** des études microhabitats, ces dernières pouvant changer selon les cours d'eau et les stations, en fonction des compositions des peuplements piscicoles.

Après analyses des échantillonnages piscicoles réalisés par la FDAAPPMA 42 sur une longue période, nous avons pu proposer, **et retenir en concertation avec la Fédération**, les espèces-cibles mentionnées dans le tableau suivant.

Code station	Nom station	Espèces-cibles ⁵
42_Meylieu	S1 - Coise_Meylieu	BAF, HOT, VAR, SPI
131_PtRomains	S2 - Coise_St Galmier	TRF, BAF, SPI
44_LeBret	S3 - Coise_Le Bret	TRF, BAF, SPI
130_MoulinTrunel	S4 - Coise_Moulin Trunel	TRF
128_CoteRatier	S5 - Couzon	TRF
Lignon_Poncins	S6 - Lignon_Poncins	OBR, TRF, BAF, HOT, VAR
Lignon_SteAgathe	S7 - Lignon_Ste Agathe	OBR, TRF, VAR, CHA
14_Trelins	S8 - Lignon_Trelins	OBR, TRF, CHA
81_Stadefoot	S9 - Lignon_Sail	OBR, TRF, CHA
10_LeSigauds	S10 - Aix_LeSigauds	BAF, HOT, SPI
9_Aix à Grézolles	S11 - Aix_Chateau d'Aix	TRF, OBR, CHA
109_LeTrouillet	S12 - Isable_Le Trouillet	TRF
108_Blanchardon	S13 - Isable_Blanchardon	TRF
Noyer_ChezBras	S14 - Noyer_Chez Bras	TRF, CHA
209_Chambodut	S15 - Boen_Chambodut	TRF, CHA
8_PierreBelle	S16 - Boen_Pierrebelle	TRF
106_Labouré	S17 - Ban_Laboure	TRF

Tableau 3 : Récapitulatif des espèces-cibles considérées sur chacune des stations – les espèces sont mentionnées par ordre de priorité

Ainsi, la truite commune (TRF) sera considérée comme l'espèce-cible principale sur 4 des 5 stations du bassin de la Coise et 7 des 8 stations du bassin de l'Aix. Sur chacun de ces bassins, la station la plus aval (S1 sur la Coise et S10 sur l'Aix) n'abrite plus de truite. C'est

⁵ BAF pour barbeau, HOT pour hotu, VAR pour vandoise (rostrée), SPI pour spirin, TRF pour truite, OBR pour ombre et CHA pour chabot.

pourquoi seront considérés sur ces stations un cortège de cyprinidés rhéophiles, à savoir le barbeau, le hotu et le spirilin notamment.

Le Lignon est différent des 2 autres bassins car il abrite une population remarquable et endémique d'ombre, l'ombre d'Auvergne⁶ (*Thymallus Ligericus*), à caractère fortement patrimonial. Cette espèce sera considérée comme espèce-cible principale sur ce bassin.

4.2.5.2. Modèles biologiques utilisés

Les courbes de préférences utilisées, par stades et phases de développement des espèces considérées, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Stade développement	Alevin	Juvenile	Adulte	Reproduction
Espèce				
TRF	Bovee 1978 modifié par CEMAGREF. Souchon et al., 1989	Bovee 1978 modifié par CEMAGREF. Souchon et al., 1989	Bovee 1978 modifié par CEMAGREF. Souchon et al., 1989 ; Vismara et al., 2001	Bovee 1978 modifié par CEMAGREF. Souchon et al., 1989
OBR	Adapté de Grimardias et Cattaneo, 2011	-	Adapté de Grimardias et Cattaneo, 2011	Adapté de synthèse bibliographique, voir ci-après
CHA	tous stades confondus CEMAGREF, LHQ. Capra et al., 1998			-
BAF	CEMAGREF, LHQ. Capra et al., 1998	CEMAGREF, LHQ. Capra et al., 1998	CEMAGREF, LHQ. Capra et al., 1998	Adapté de synthèse bibliographique, voir ci-après
HOT	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	-
VAR	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	Adapté de synthèse bibliographique, voir ci-après
SPI	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	-	CEMAGREF, LHQ. Lamouroux et al., 1999	-

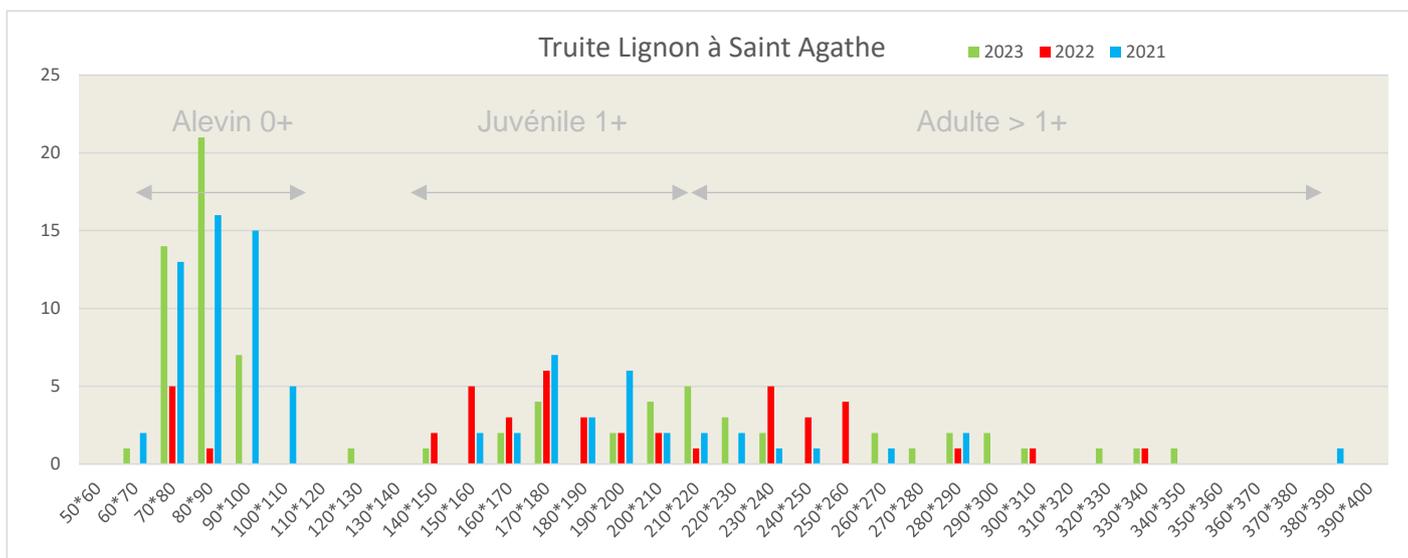
Tableau 4 : Récapitulatif des courbes de préférences utilisées

⁶ L'ombre d'Auvergne est inscrit sur la liste rouge UICN des poissons et écrevisses de la région Auvergne Rhône-Alpes avec le statut **EN** = en danger d'extinction.

Cela a parfois nécessité **quelques adaptations**, soit parce que les courbes de préférence n'étaient pas disponibles (phase reproduction de l'ombre ou de la vandoise par exemple), soit parce que les modèles biologiques tels qu'ils sont proposés actuellement sont très restrictifs par rapport à d'autres sources bibliographiques. C'est particulièrement le cas chez l'ombre adulte.

➤ Chez la truite

Chez la truite, le modèle biologique truite adulte « classique » ou modèle « EVHA⁷ » (courbes de préférences issues des travaux de Fragnoud, 1987 et de Souchon *et al.*, 1989, dérivées des courbes globales de Bovee, 1978) est adapté aux truites dont la taille est comprise entre 14 et 28 cm. C'est le modèle biologique qui va être utilisé sur la grande majorité des stations. Le modèle biologique truite adulte « Vismara » (Vismara *et al.*, 2001) concerne des truites adultes dont la taille est supérieure à 22 cm et paraît donc plus adapté aux truites du Lignon aval (S6 et S7) où la taille des truites dépassent fréquemment les 30 cm.



⁷ Ce modèle est baptisé ainsi car il était, à l'origine, implanté par défaut dans le logiciel EVHA.

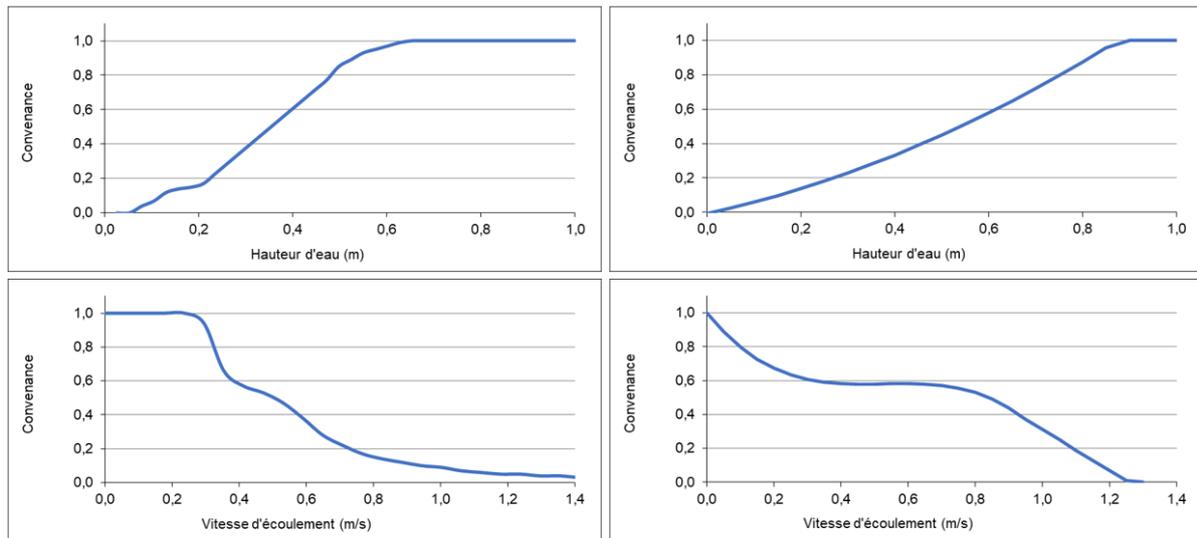


Figure 11 : Préférences de la truite adulte modèle « classique » (à gauche) et modèle « Vismara » (à droite)

➤ Chez l'ombre

Pour l'ombre adulte, nous avons adapté les courbes de préférences, en élargissant ces dernières à partir de la synthèse de Grimardias et Cattaneo (2011) comparativement aux courbes disponibles dans HABBY provenant de Mallet et al. (2000) et établies sur l'Ain.

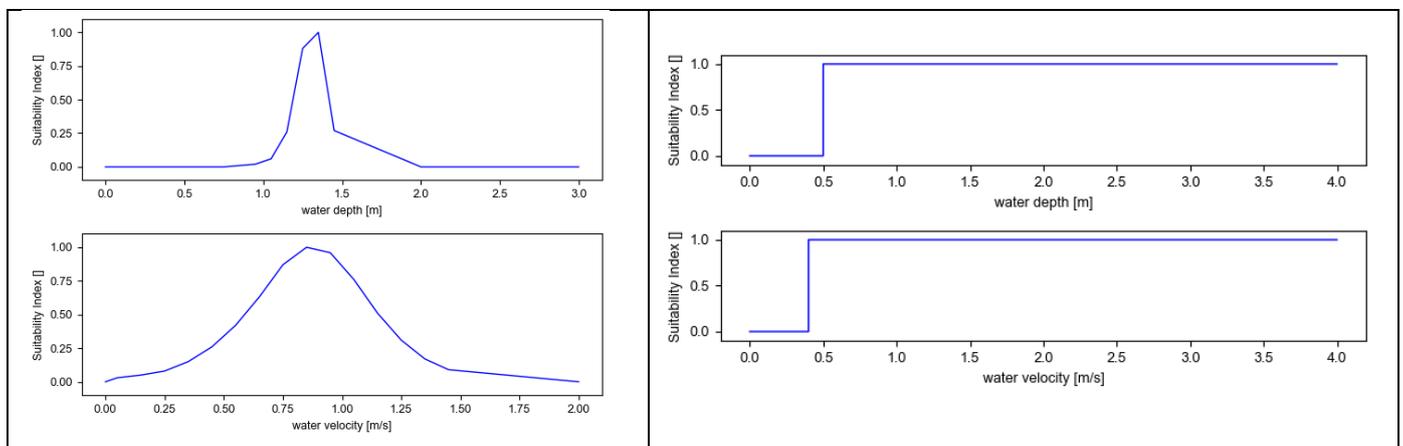


Figure 12 : Préférences de l'ombre adulte selon Mallet et al. (à gauche) et d'après la synthèse bibliographique de Grimardias et Cattaneo (à droite)

Sur la figure ci-dessous, nous utilisons à titre de comparaison, les deux courbes de préférences ombre adulte sur la station S7- Le Lignon à Sainte-Agathe.

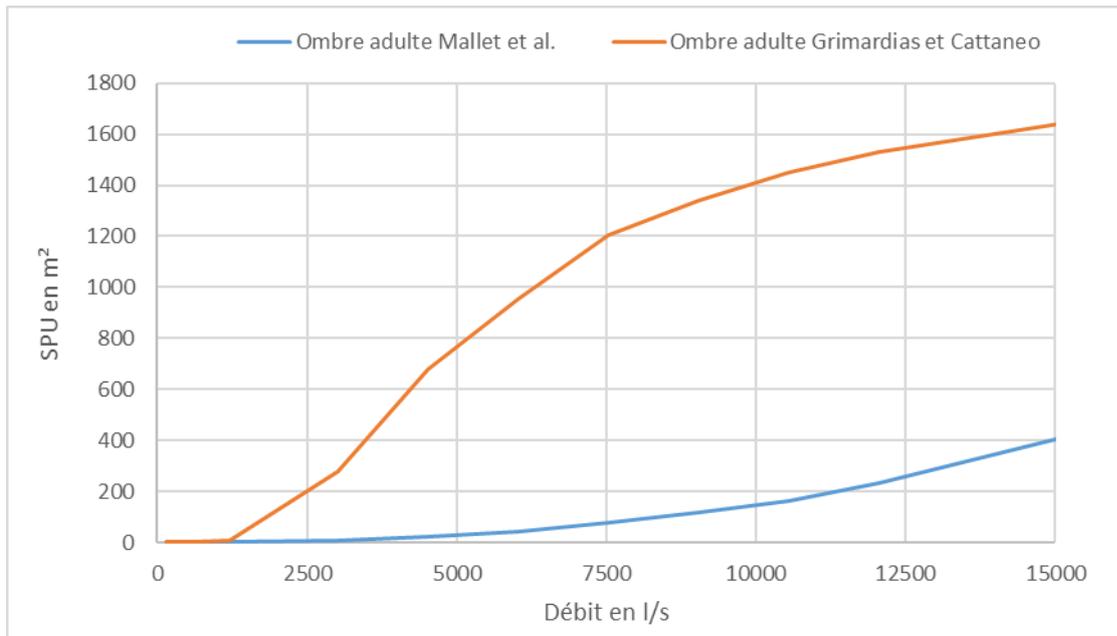


Figure 13 : Comparaison de l'évolution de la SPU du stade adulte d'ombre sur le Lignon à Sainte-Agathe (S7) selon 2 courbes de préférences.

Le modèle « Mallet *et al.*, 2000 » indique des quantités d'habitat favorables très faibles sur le Lignon y compris pour des débits soutenus, avec un accroissement très lent des quantités d'habitat favorable avec le débit. Le modèle « synthèse bibliographique » montre des quantités d'habitat favorable supérieures, et surtout des changements de pente dans la courbe d'évolution de l'habitat en fonction du débit, qui peuvent aider à la décision s'il faut choisir un débit à réserver ou un débit de bon fonctionnement.

Sur le même principe, nous avons créé une courbe de préférence de l'alevin d'ombre en utilisant la synthèse de Grimardias et Cattaneo (2011).

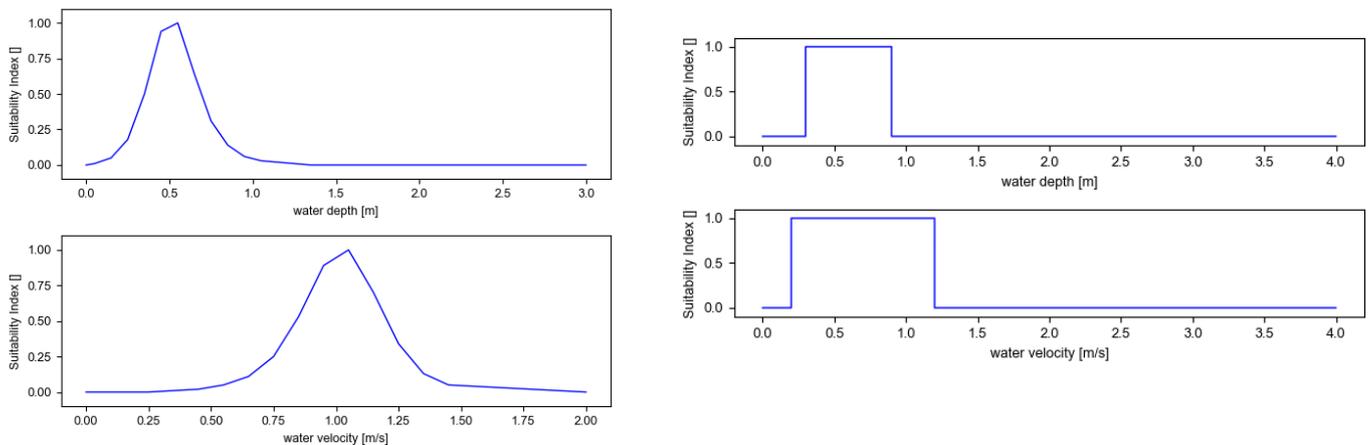


Figure 14 : Préferenda de l'alevin d'ombre selon Mallet et al. (à gauche) et d'après la synthèse bibliographique de Grimardias et Cattaneo (à droite)

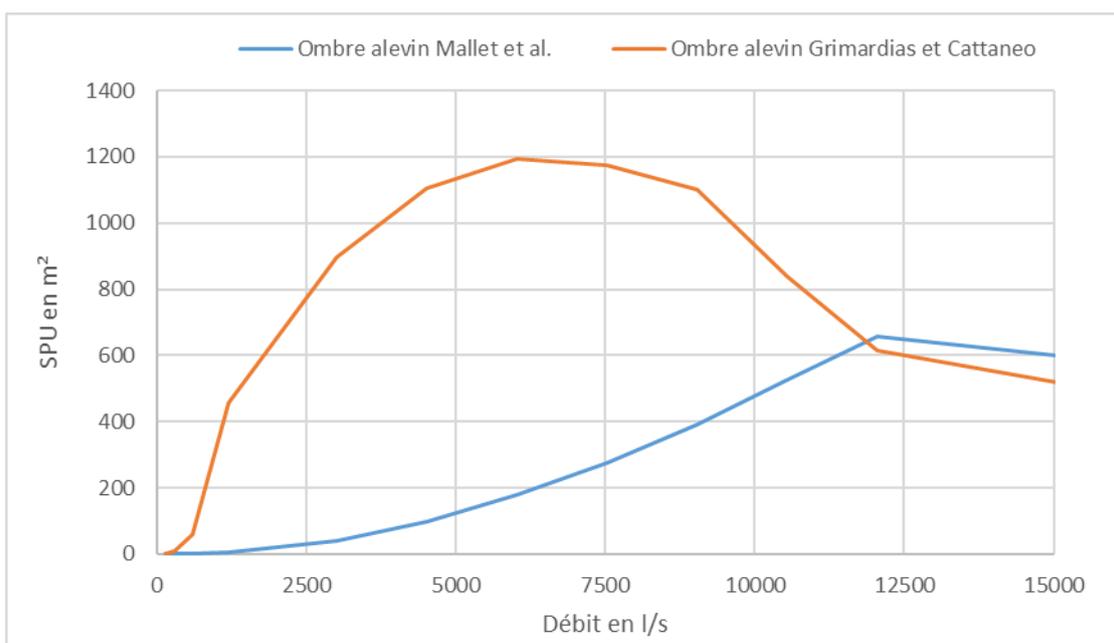


Figure 15 : Comparaison de l'évolution de la SPU du stade alevin d'ombre sur le Lignon à Sainte-Agathe (S7) selon 2 courbes de préférences.

Enfin, en l'absence de modèles biologiques à disposition dans HABBY concernant la phase de reproduction de l'ombre, nous en avons créé un en utilisant des données pour la hauteur d'eau et pour la vitesse du courant issus de la bibliographie (Fabricius et Gustafson,1955, Grandmottet, 1983, Poncin, 1996, Paquet, 2002, Grès et al., 2006 et Keith et al., 2020).

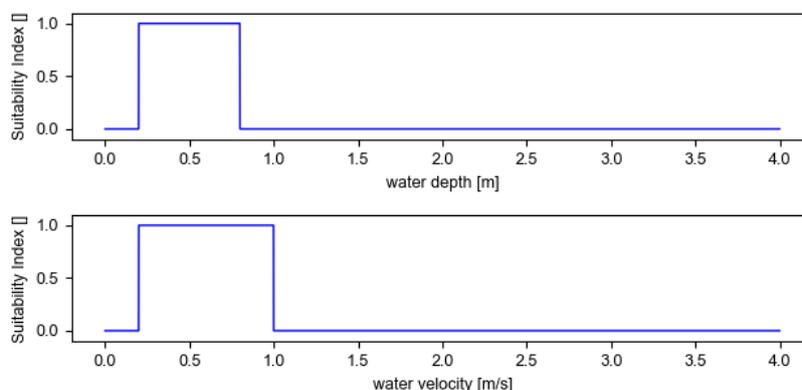


Figure 16 : Preferenda de la phase reproduction chez l'ombre d'après Fabricius et Gustafson (1955), Grandmottet (1983), Poncin (1996), Paquet (2002), Grès et al. (2006) et Keith et al. (2020). (pour la hauteur d'eau en haut et pour la vitesse du courant en bas).

➤ Chez la vandoise

Comme pour l'ombre, il n'y a pas de modèle biologique disponible dans HABBY concernant la phase de reproduction chez la vandoise. Ici aussi, nous en avons créé un en utilisant les données de la bibliographie (Mann, 1974, Mills, 1981, Philippart, 1981, Wurtz-Arlet, 1952).

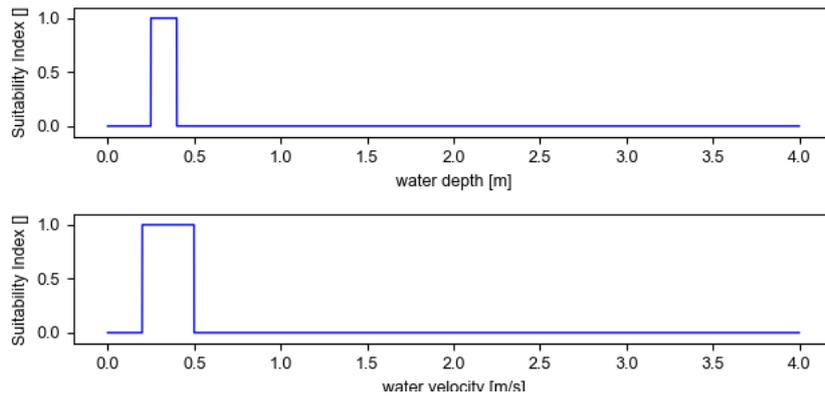


Figure 17 : Préférence de la phase reproduction chez la vandoise (pour la hauteur d'eau en haut et pour la vitesse du courant en bas).

➤ Chez le barbeau

Comme pour l'ombre et la vandoise, il n'y a pas de modèle biologique disponible dans HABBY concernant la phase de reproduction chez le barbeau. Compte-tenu des nombreuses observations que nous avons eu l'occasion de faire sur le bassin de la Dordogne et sur celui de la Cère, tendant à montrer que l'ombre et le barbeau exploitent les mêmes zones de fraie, mais à des périodes de l'année différentes (mars-avril pour l'ombre commun et mai à juin pour le barbeau), nous avons considéré que les caractéristiques hydrauliques (profondeur et vitesse du courant) qui conviennent aux deux espèces étaient assez similaires. Nous avons donc utilisé les mêmes courbes de préférences, pour la phase reproduction, pour ces 2 espèces.

4.2.6. Données à disposition après modélisation et traitements par HABBY

La plateforme HABBY permet d'obtenir différentes formes de sorties : des tableaux de données, des graphiques, des représentations spatialisées. (Notons que dans le cadre de cette étude et pour plus de praticité en l'état actuel d'HABBY, nous avons opté pour l'extension de Telemac2D sous logiciel Qgis pour les représentations spatialisées).

Les données, en aval du traitement sous HABBY, sont disponibles à différentes échelles d'espace : à l'échelle de la station, à l'échelle d'un habitat donné (**zone de fraie notamment**), à l'échelle de chaque maille issue des modèles numériques de terrain.

A ces différentes échelles, les données, issues à la fois des modélisations hydrauliques et de leurs conversions, via les modèles biologiques, en habitats, permettent de disposer de différentes métriques pour tous les débits modélisés (et donc de disposer de leur évolution avec le débit). Nous utiliserons particulièrement celles présentées dans le tableau ci-dessous.

Métriques issues d'HABBY
Surface mouillée (en m ²)
Hauteur d'eau moyenne (en m)
Vitesse d'écoulement moyenne sur la colonne d'eau (en m/s)
Valeur d'habitat (VHA) pour une espèce ou un stade de développement donné (adimensionnelle)
Surface d'habitat favorable (SPU, SFR) pour une espèce et un stade de développement donné (en m ²)

Tableau 5 : Métriques descriptives d'une entité surfacique (cellule, aire remarquable et/ou station) issues de l'outil HABBY

4.3. DEMARCHE ADOPTEE POUR DEFINIR LES DEBITS DE BON FONCTIONNEMENT DES CYCLES BIOLOGIQUES DES DIFFERENTES ESPECES CIBLES

Nous sommes repartis de la définition d'un débit biologique.

C'est un débit qui garantit en permanence (1) la vie, (2) la circulation et (3) la reproduction des espèces vivant dans le cours d'eau.

4.3.1. La circulation, le déplacement des poissons

La circulation des poissons dont il est question ici **ne concerne pas le franchissement d'obstacles à la continuité écologique** des cours d'eau. D'autres diagnostics sont à enclencher pour s'occuper de ces problèmes qui affectent aussi les peuplements piscicoles.

Dans le cadre de cette étude, nous examinons les **déplacements des poissons dans le cours d'eau en dehors des obstacles**. Quels est le débit minimum qui leur faut pour se déplacer sans entrave le long du linéaire du cours d'eau ? (pour aller chercher des refuges, des abris, des habitats particuliers pour la reproduction par exemple).

Il va falloir s'assurer que partout, aux bas débits, une lame d'eau suffisante soit maintenue permettant aux poissons de circuler. La biologie des espèces cibles (truite, ombre et cyprinidés rhéophiles) nous permet de fixer un **objectif de lame d'eau minimale à respecter de 10 cm** pour permettre leurs déplacements (tirant d'eau minimum extrait du guide ICE – Baudoin *et al.*, 2014 – pour valider l'existence d'une voie de passage sur les seuils en enrochements d'une pente inférieure ou égale à 5 %, soit des conditions proches de celles rencontrées **au niveau des radiers** sur l'ensemble des bassins-versants).

Il s'agira donc de déterminer le débit à partir duquel la profondeur moyenne du transect positionné au niveau du radier le moins profond de la station dépasse les 10 cm.



Figure 18 : Exemple d'évaluation des possibilités de déplacement des poissons sur la Coise en S3 – Le Bret

4.3.2. La vie des poissons

Dans cette étude, le proxi de « vivre » sera une quantité d'habitat physique suffisante pour les poissons.

Dans ces cours d'eau du Massif Central, à régime pluvial, l'habitat du stade adulte à l'étiage est considéré comme le facteur limitant, et particulièrement pour les populations de truite (biomasse en place - Souchon *et al.*, 1989).

La quantité d'habitat favorable du stade adulte est d'ailleurs, hors cas exceptionnel, systématiquement nettement inférieure aux quantités d'habitat favorables aux stades alevins et juvéniles, comme l'illustre la figure ci-dessous.

C'est donc (sauf exception) sur les courbes d'évolution de l'habitat favorable (la SPU) aux adultes en fonction du débit que nous allons raisonner.

Deux seuils de débits pouvant correspondre à une quantité d'habitat physique suffisante pour les poissons adultes vont être calculés.

- i) Un **seuil d'accroissement du risque** (SAR) sur la courbe d'évolution de la SPU adulte en fonction du débit.

Il s'agit ici d'identifier, sur cette courbe d'évolution de la SPU adulte en fonction du débit des points en deçà desquels la perte d'habitat piscicole s'accélère alors que le débit se réduit.

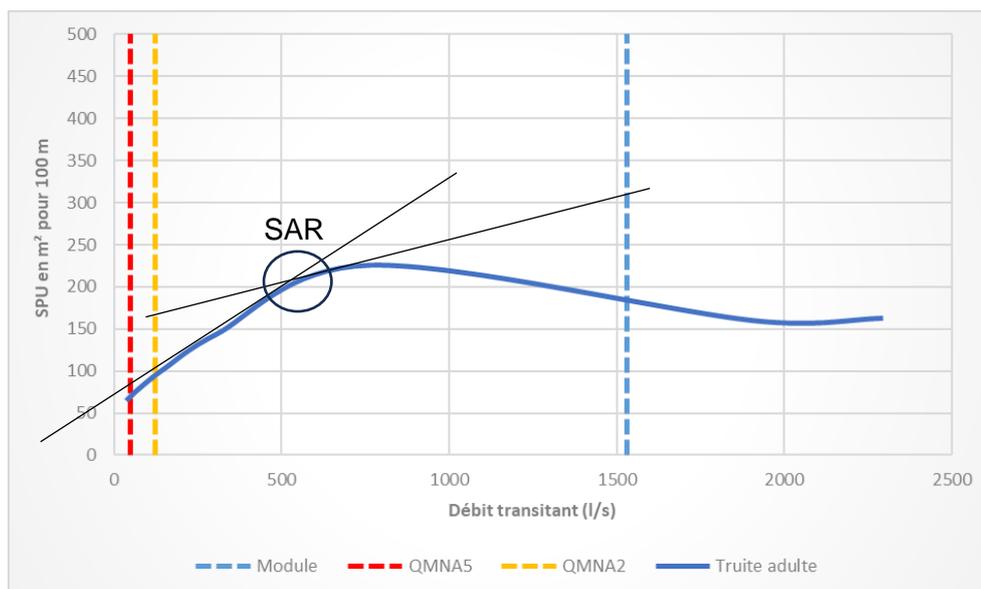


Figure 19 : Courbe de la SPU adulte en fonction du débit chez la truite en S3 – Le Bret sur la rivière Coise et fenêtre du SAR

- ii) Un seuil de débit en dessous duquel la SPU disponible pour les adultes devient inférieure à la moyenne de la SPU disponible pendant les 3 saisons principales d'activité des poissons sous nos latitudes (printemps, été, automne).

Ce critère permet d'éviter l'écueil des courbes d'évolution de la SPU sans véritable changement de pente (figure ci-dessous).

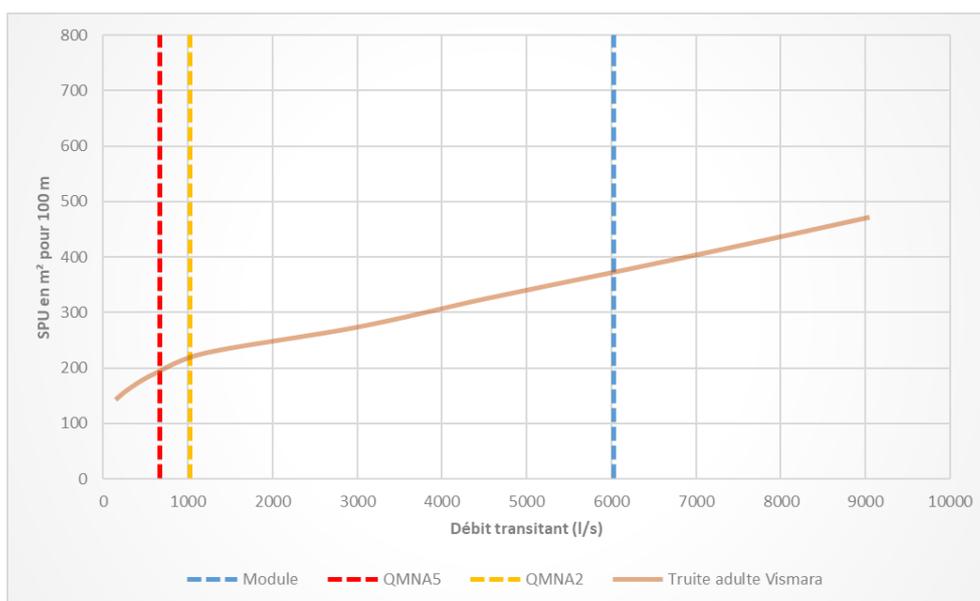


Figure 20 : Courbe de la SPU adulte en fonction du débit chez la truite (modèle Vismara) en S7 – Ste Agathe sur le Lignon du Forez. L'habitat disponible croît régulièrement avec le débit sans changement de pente dans la relation.

Au final, l'objectif étant de trouver le débit minimal qui autorise le bon fonctionnement des populations piscicoles, on retiendra le plus petit des deux seuils pour la fonctionnalité « vie des poissons ».

4.3.3. La reproduction des poissons

Concernant la reproduction des poissons, outre l'aspect qualitatif sur la SGF (surface granulométriquement favorable à la reproduction des poissons lithophiles), que l'on apprécie par des classes basées sur de nombreuses mesures dans les cours d'eau du Massif Central et des Pyrénées (**Baran**, 1995 ; **Baran et al.**, 1999 plus particulièrement pour le département de la Loire – revoir § 4.2.2.2), on calcule également des seuils de débit qui nous garantissent un bon déroulement de cette phase de reproduction.

- i) Un **seuil d'accroissement du risque** (SAR) sur la courbe d'évolution de la SFR (surface favorable à la reproduction) en fonction du débit.

Il s'agit ici d'identifier, sur cette courbe d'évolution de la SFR en fonction du débit des points en deçà desquels la perte de surface favorable s'accélère alors que le débit se réduit.

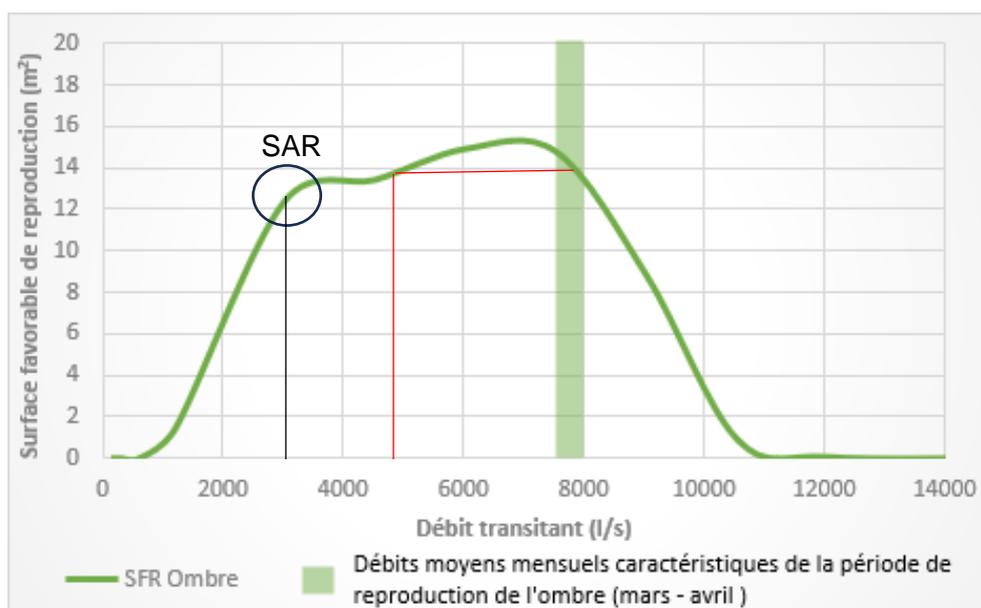


Figure 21 : Courbe de la SFR en fonction du débit pour l'ombre en S7 – Saint Agathe sur le Lignon, fenêtre du SAR et seuil « SFR < SFR normale période de reproduction »)

- ii) Un seuil de débit en dessous duquel la **SFR disponible devient inférieure à la surface moyenne disponible pendant la période de reproduction classique** (novembre-décembre pour la truite, mars-avril pour l'ombre par exemple) (seuil « SFR < SFR normale période de reproduction », voir figure ci-dessus).

Ce critère permet de vérifier que l'on ne s'éloigne pas trop de conditions « normales » en période de reproduction.

L'objectif étant de trouver le débit minimal qui autorise le bon fonctionnement des populations piscicoles, on retiendra, comme pour la SPU, le plus petit des deux seuils pour la fonctionnalité « reproduction des poissons ».

Mais concernant cette phase biologique, **un troisième seuil de débit** est important à considérer. En effet, après la phase de reproduction proprement dite des poissons lithophiles, il est vital que les surfaces de graviers et petits galets dans lesquels ont été enfouis les œufs restent en eau durant toute la période de développement embryonnaire qui se déroule dans ce substrat de graviers et petits galets. Cette période (développement des œufs puis des larves jusqu'à l'émergence des alevins, leur sortie des graviers de la frayère) peut être longue. Chez la truite par exemple, elle va durer de novembre-décembre jusqu'en mars-avril, voire mai si la température de l'eau est très froide (puisque cette phase de développement dépend de la température de l'eau). Chez l'ombre, ce sera un peu plus court (de mars-avril à mai) et encore un peu plus court chez le barbeau (mai-juin). **Durant toute cette période de vie sous graviers des œufs et des larves, il faut donc que les zones de fraie des poissons restent en eau.** On va donc chercher à déterminer le débit qui maintient correctement en eau les zones de SGF (donc les surfaces de granulométrie

favorable à la reproduction des lithophiles, soit les surfaces de graviers et petits galets, sans critère hydraulique⁸).

Pour cela, nous allons déterminer :

- iii) un seuil d'accroissement du risque (SAR) sur la courbe d'évolution de la SGF en fonction du débit, soit un seuil de débit en dessous duquel l'exondation de la SGF augmente rapidement avec la réduction du débit (illustration ci-dessous).

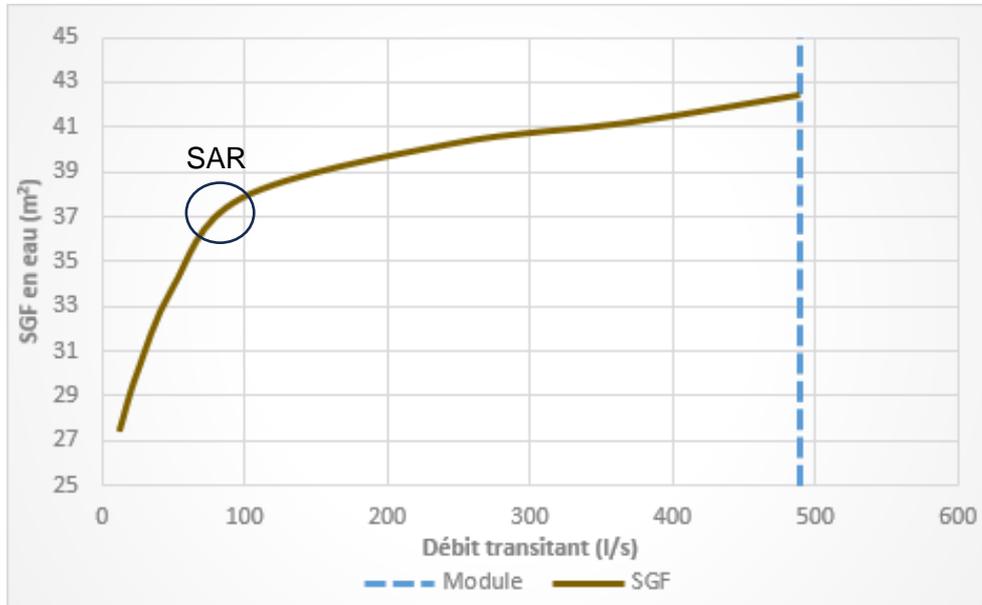


Figure 22 : Courbe de la SGF en fonction du débit pour la tuite en S14 – Chez Bras sur le Noyer et fenêtre du « SAR SGF »

4.3.4. Les règles de synthèse : comment détermine t'on les débits minimaux qui autoriseraient, par périodes biologiques, un bon fonctionnement des peuplements piscicoles

Au terme de la démarche, pour chaque cours d'eau étudié, on aboutit, a minima, à **6 critères de débit** portant sur la circulation, la vie et la reproduction **de chaque espèce piscicole ciblée**. Il faut alors ordonner tout cela pour proposer, en quelque sorte, **un régime hydrologique** « minimal » sur l'année **en dessous duquel on sait que des limitations** (pouvant être très conséquentes) **vont apparaître dans le fonctionnement du peuplement piscicole ciblé**.

⁸ On accepte ici implicitement une « simplification » du critère, car dans les faits, si la hauteur d'eau n'a plus guère d'importance sur ces zones de fraie durant la phase de développement sous graviers, il faut par contre qu'un mouvement d'eau, donc un peu de vitesse de courant, pour assurer la circulation de l'eau dans la frayère (apport d'oxygène et nettoyage des déchets métaboliques des œufs puis larves).

SYNTHESE						
	Critères (I/s)	Espèces-cibles (par ordre de priorité)				
		OBR	TRF (adultes de grande taille)	TRF (adultes de taille moyenne)	VAR	CHA
Se déplacer (1 critère)	Déplacement	Existence d'une voie de passage avec hauteur d'eau supérieure ou égale à 10 cm	603			
	Vivre (2 critères)	Habitat des adultes	Seuil d'Accroissement des Risques (SAR)	4500	-	900
		Débit pour lequel SPU < SPU moyenne printemps été automne	4600	5100	700	4600
Se reproduire (3 critères)	Reproduction	Seuil d'accroissement des risques pour la fonctionnalité des zones de reproduction (SAR SFR)	2800	2600		900
		Débit pour lequel SFR < SFR normale reproduction	4600	950		600
		Seuil d'accroissement des risques pour la mise en eau de la SGF (SAR SGF)	900		-	

Figure 23 : Les critères de débits disponibles en S7, pour le Lignon à Saint Agathe. Ici l'espèce prioritaire sera l'ombre endémique *Thymallus ligericus*, puis les truites sauvages (priorité 2), puis la vandoise et le chabot

Il nous faut d'abord **hiérarchiser** les espèces-cibles retenues (patrimonialité, intérêt socio-économique, ...) pour lesquelles tous les indicateurs des 3 fonctionnalités (se déplacer, vivre, se reproduire) ont été calculés.

On va alors retenir le débit minimal octroyant une capacité d'accueil physique encore correcte pour les adultes de cette espèce prioritaire.

On vérifie ensuite que ce débit permette aussi **un déroulement satisfaisant des autres phases biologiques de cette espèce prioritaire**. Si ce n'est pas le cas, ce débit est modifié, pour la période, pour autoriser le bon déroulement de la phase (se déplacer, se reproduire).

On regarde ensuite si **les débits définis** pour un bon fonctionnement du cycle de l'espèce prioritaire **peuvent aussi convenir aux autres espèces ciblées**, avec un nouveau compromis si besoins.

Enfin, on compare le compromis hydrologique pour un fonctionnement correct des cycles biologiques des espèces ciblées, auquel on est arrivé, avec les débits moyens mensuels disponibles dans les cours d'eau et on en tire les conclusions.

Dans la suite du document, nous présentons **les résultats du travail sur les contextes hydrologiques des 3 bassins étudiés**. Puis **les résultats des études microhabitats** et des débits autorisant un bon fonctionnement des cycles biologiques des différentes espèces ciblées. Pour cette partie, nous présenterons d'abord les résultats obtenus pour chacune des 17 stations sous la forme d'un **document « appendice »** regroupant toutes les fiches « station », puis nous rédigerons **une synthèse globale de ces études** pour chacun des 3 bassins étudiés. Enfin nous présenterons **les résultats de l'exploration des relations habitat/abondance piscicole et les projections** que l'on peut en faire pour le futur.

5. LES CONTEXTES HYDROLOGIQUES

5.1. BASSIN DE LA COISE

La Coise prend sa source sur la commune de Saint-Romain-en-Jarez dans les monts du Lyonnais. C'est un affluent de la Loire qui conflue à Montrond-les-Bains, dans la plaine du Forez, après un parcours de 49,6 km. Son bassin versant couvre 350 km², drainé par un linéaire de cours d'eau d'environ 200 km.

5.1.1. Stations hydrologiques de référence

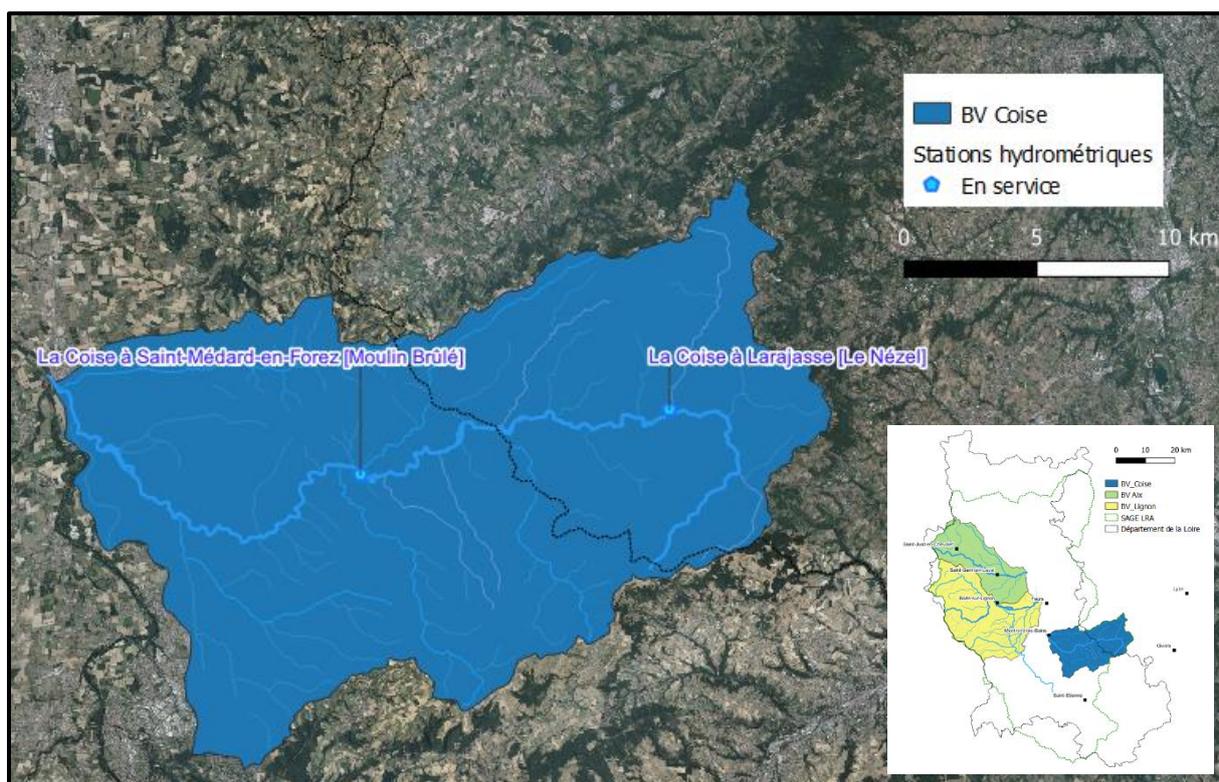


Figure 24 : Stations de mesures hydrométriques du bassin versant la Coise

Il existe deux stations de suivi de l'hydrologie de la Coise sur son bassin versant :

- La Coise à Larajasse [Le Nézel] (K0663310) pour un bassin versant de 61 km², et mesurant les débits sur la période 1970-2023,
- La Coise à Saint-Médard-en-Forez [Moulin Brûlé] (K0673310) pour un bassin versant de 181 km², et mesurant les débits sur la période 1961-2023.

5.1.2. Débits caractéristiques

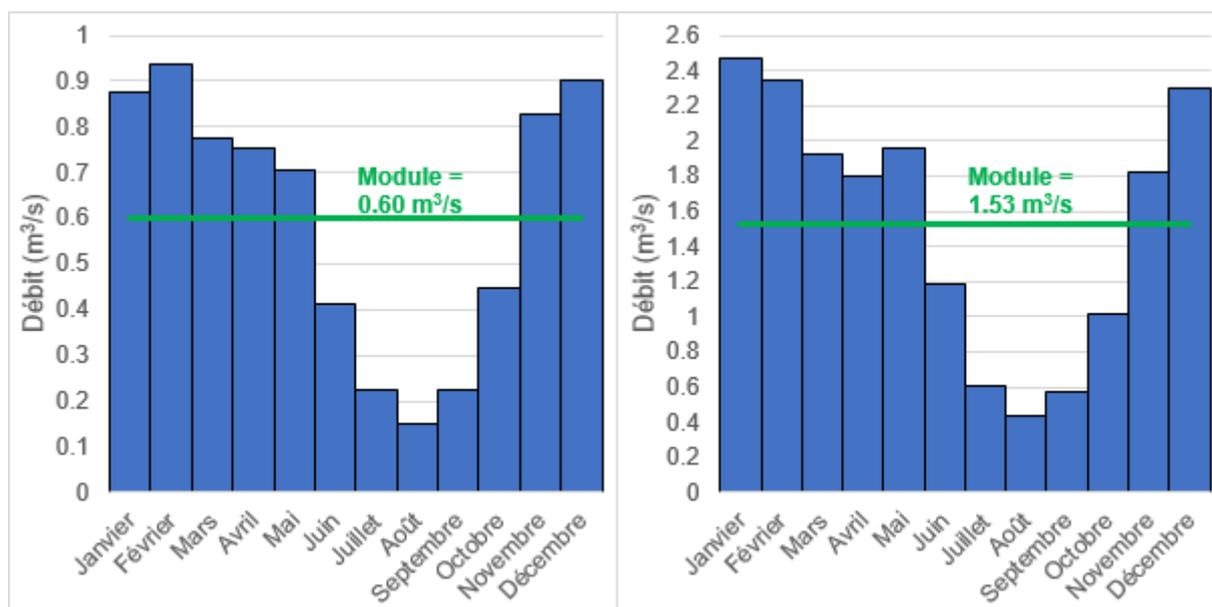


Figure 25 : Débits moyens mensuels de la Coise à Larajasse (à gauche, période 1970-2023) et à Saint-Médard-en-Forez (à droite, période 1961-2023 - données HydroPortail)

Le régime hydrologique de la Coise est de type pluvial avec des hautes eaux de novembre à mai et des débits nettement plus faibles de juin à octobre. Le mois d'août est historiquement le mois le plus sec. **Le module est égal à 0,6 m³/s à Larajasse (61 km²) sur la période 1970-2023 (débit spécifique de 9,84 l/s/km²) et 1,53 m³/s à Saint-Médard-en-Forez sur la période 1961-2023 (181 km²) (débit spécifique de 8,45 l/s/km²).**

	La Coise à Larajasse (BV=61km2) Période 1970-2023		La Coise à Saint-Médard-en-Forez (BV=181km²) Période 1961-2023	
Module	0.601	/ Module (M)	1.53	/ Module (M)
QMNA ₂	0.06 [0.047 ; 0.076]	10.0%	0.125 [0.093 ; 0.166]	8.2%
QMNA ₅	0.028 [0.021 ; 0.038]	4.7%	0.049 [0.034 ; 0.068]	3.2%
VCN ₃₂	0.019 [0.013 ; 0.025]	3.2%	0.032 [0.022 ; 0.045]	2.1%
VCN ₃₅	0.007 [0.005 ; 0.01]	1.2%	0.011 [0.007 ; 0.016]	0.7%
Crue 2	6.95 [5.52 ; 8.45]	11.6 x M	15.2 [12.2 ; 18.2]	9.9 x M
Crue 5	12.2 [10 ; 14.6]	20.3 x M	25.6 [20.9 ; 31]	16.7 x M
Crue 10	15.7 [12.7 ; 18.8]	26.1 x M	32.6 [26.3 ; 39.5]	21.3 x M

Tableau 6 : Débits caractéristiques (en m³/s) de la Coise à Larajasse (période 1970-2023) et à Saint-Médard-en-Forez (période 1961-2023 - données HydroPortail) – les débits de crue sont des débits moyens journaliers

Les débits mensuels minimaux annuels ayant une période de retour 2 ans (QMNA₂) sont égaux à 10 % du module à Larajasse et 8,2 % du module à Saint-Médard-en Forez. Les débits

mensuels minimaux annuels ayant une période de retour 5 ans (QMNA5) sont respectivement égaux à 4,7 % et 3,2 % du module, ce qui est très faible.

Les crues les plus intenses ont lieu durant la période hivernale, de mi-novembre à février. Des crues ont également lieu en mai, dont une crue cinquantennale qui s'est produite en 1989. **L'étiage se déroule généralement en août-septembre mais peut apparaître dès mi-juin et se prolonger jusqu'à fin octobre.**

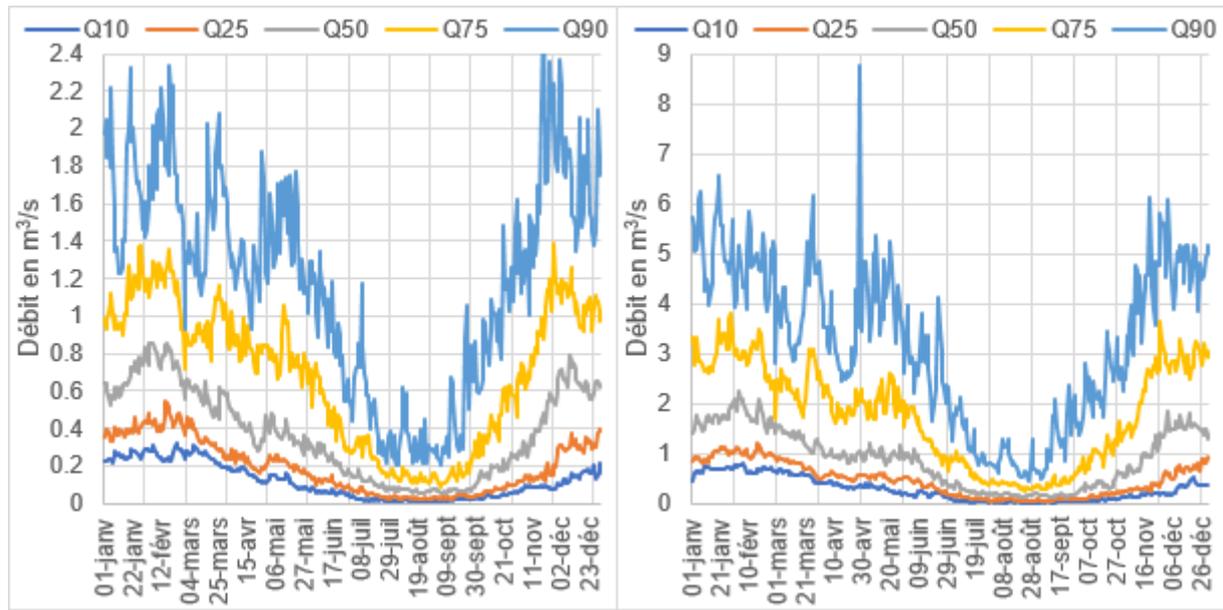


Figure 26 : Débits moyens journaliers classés de la Coise à Larajasse (à gauche, période 1973-2023) et à Saint-Médard-en-Forez (à droite, période 1961-2023) – le Qx correspond au débit non dépassé x % du temps

5.1.3. Prélèvements

Nous reprenons ici les données présentées dans la fiche de synthèse de l'unité de gestion Coise dans le cadre de l'étude HMUC SAGE Loire en Rhône-Alpes et de la fiche station des débits biologiques concernant la Coise (Antea Group et Conseil Départemental de la Loire, 2024).

Les débits mesurés à Saint-Médard-en-Forez sont influencés par les différents prélèvements réalisés au niveau du bassin versant. Les volumes prélevés directement sont de l'ordre de 3,5 Mm³ pour l'année 2020. **Ces prélèvements sont destinés à l'agriculture (irrigation + abreuvement - 44 % du total prélevé), à l'alimentation en eau potable (35 %) et à l'industrie (20 %).**

Sur la période 2000-2020, le module influencé à Saint-Médard-en-Forez est égal à 1,31 m³/s et le débit désinfluencé (en considérant l'ensemble des prélèvements au droit de la station hydrométrique) est égal à 1,3 m³/s, soit des prélèvements de l'ordre de 1 % à l'échelle annuelle.

Toutefois, la proportion de débit prélevé est plus importante en période d'étiage. Sur la période 2000-2020, le QMNA5 influencé est égal à 50 l/s et le QMNA5 désinfluencé égal à 60 l/s, soit des prélèvements de l'ordre de 17 % du débit transitant.

Ces prélèvements diminuent donc de manière très notable les débits d'étiage des cours d'eau du bassin versant de la Coise, alors que la ressource est très peu abondante à cette période (débit spécifique pour l'étiage quinquennal désinfluencé : 0,33 l/s/km²)

5.1.4. Tendances et perspectives

Pour plus de lisibilité, l'étude temporelle de l'évolution des débits porte sur la station aval, la Coise à Saint-Médard-en-Forez qui possède en outre la chronique la plus longue.

Sur la période 1961-2023, les débits moyens annuels sont variables (coefficient de variabilité = 39 %). On remarque une légère tendance à la diminution des débits annuels avec notamment les 4 plus faibles valeurs de débit annuel au cours des 7 dernières années, sans que celle-ci soit pour le moment statistiquement significative.

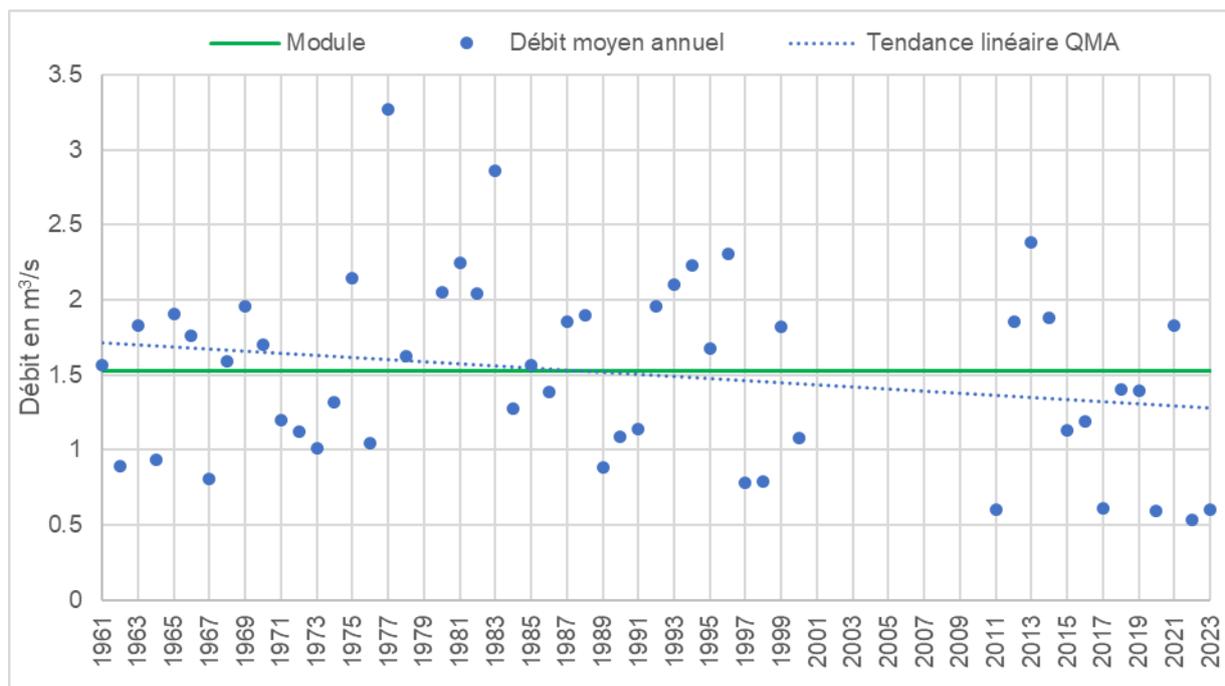


Figure 27 : Evolution du débit moyen annuel de la Coise à Saint-Médard-en-Forez sur la période 1961-2023 (seules les années avec plus de 90% des données présentes ont été représentées)

Néanmoins, les prévisions longs termes indiquent selon le scénario RCP 8.5⁹ développé en détail dans l'étude HMUC, une tendance à une légère augmentation du débit moyen annuel

⁹ Les scénarios RCP (pour « Representative Concentration Pathway » en anglais, « Trajectoires représentatives de concentration » en français) sont quatre scénarios de trajectoire du forçage radiatif de la terre jusqu'à l'horizon 2100. Un scénario RCP permet de modéliser le climat futur. Ces

sur la période 2040–2060 puis 2060–2080, comparativement à la période 1985–2005. Le gain serait en valeur médiane de l'ordre de 9 % pour la première période et environ 4,4 % pour la seconde (Antea Group et CD Loire, 2024).

Évolution du régime annuel moyen de la station **La Coise à Saint-Médard-en-Forez - Moulin Brûlé (n°K067331001)** pour le scénario **RCP 8.5**

Scénario **RCP 8.5** sur la période 2040-2060 et **les valeurs historiques** sur 1985-2005

Modèle hydrologique : CemaNeigeGR6j KGE (0.90)

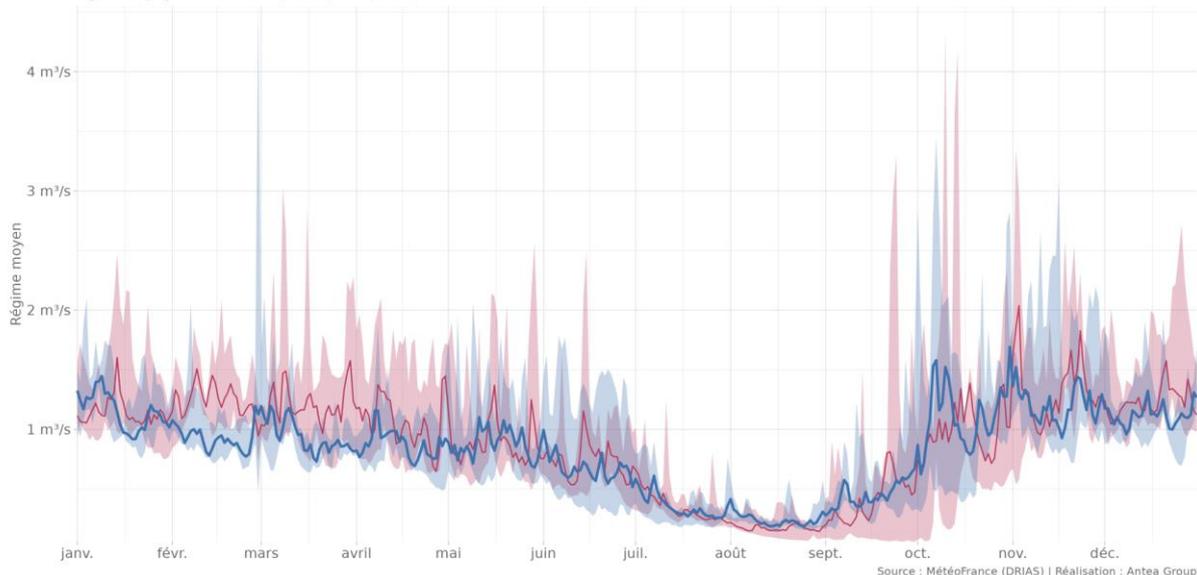


Figure 28 : Comparaison des chroniques de débits de la Coise à Saint-Médard-en-Forez sur les périodes 1985–2005 (en bleu) et 2040–2060 (en rouge) selon le scénario RCP 8.5 – Antea Group et CD Loire, 2024

Plus en détails, les débits de la Coise pourraient être plus soutenus de décembre à avril et à l'inverse inférieurs aux valeurs de 1985–2005 de mai à novembre.

Concernant les bas débits sur la période 1961–2023, les débits moyens mensuels minimaux (QMNA) sont assez variables (coefficient de variabilité = 93%). Une tendance à la diminution semble se dessiner, mais elle n'est pas significative avec ce type de données. Remarquons toutefois que pour les 9 dernières années, les étiages ont été inférieurs au QMNA2 8 fois et inférieurs au QMNA5 4 fois ! Seule sur cette période, l'année 2021 n'a pas proposé d'étiage sévère.

scénarios ont été établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le scénario RCP 8.5 est le plus pessimiste le concernant l'évolution des températures et des précipitations. C'est le scénario pour lequel les émissions de gaz à effets de serre (GES) continueraient à augmenter à la même vitesse qu'actuellement, ce qui aboutirait en 2100 à un forçage radiatif de +8,5 Watts par m². Le scénario RCP 4.5 (qui aboutirait en 2100 à un forçage radiatif de la Terre +4,5 Watts par m²) considère que les émissions de GES seraient stabilisées à partir de 2050.

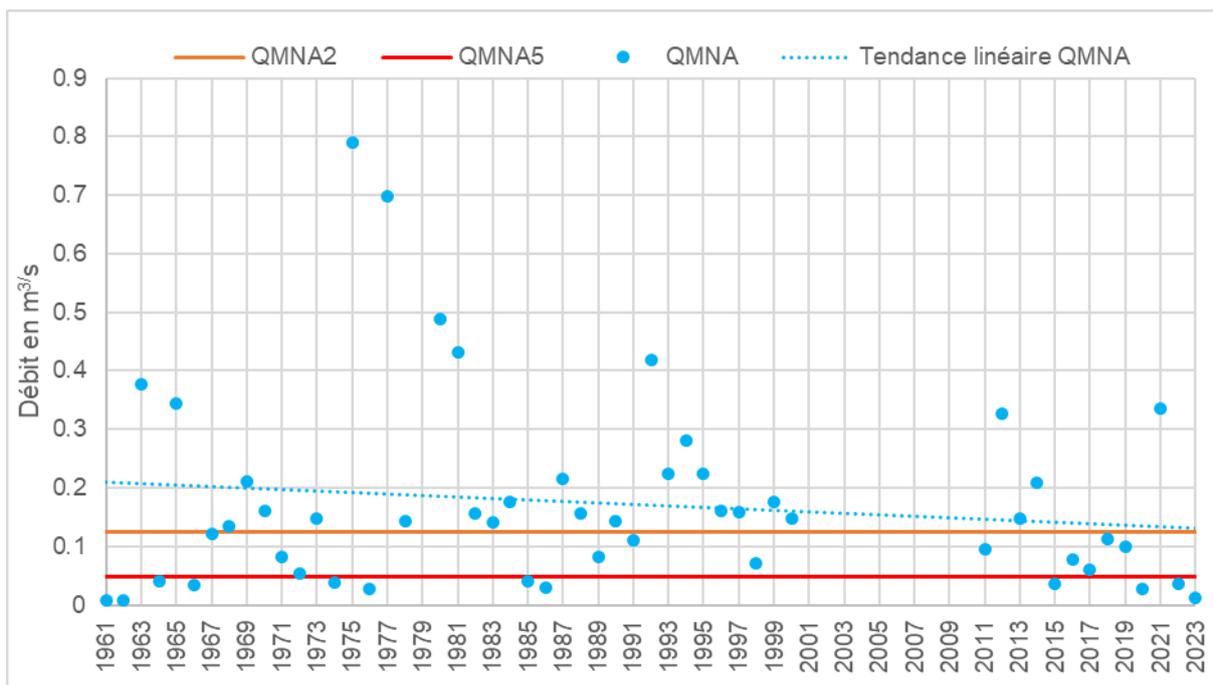


Figure 29 : Evolution du débit moyen mensuel minimal de la Coise à Saint-Médard-en-Forez sur la période 1961-2023 (seules les années avec des données complètes ont été représentées) - la courbe de tendance linéaire des QMNA est figurée en pointillés bleus

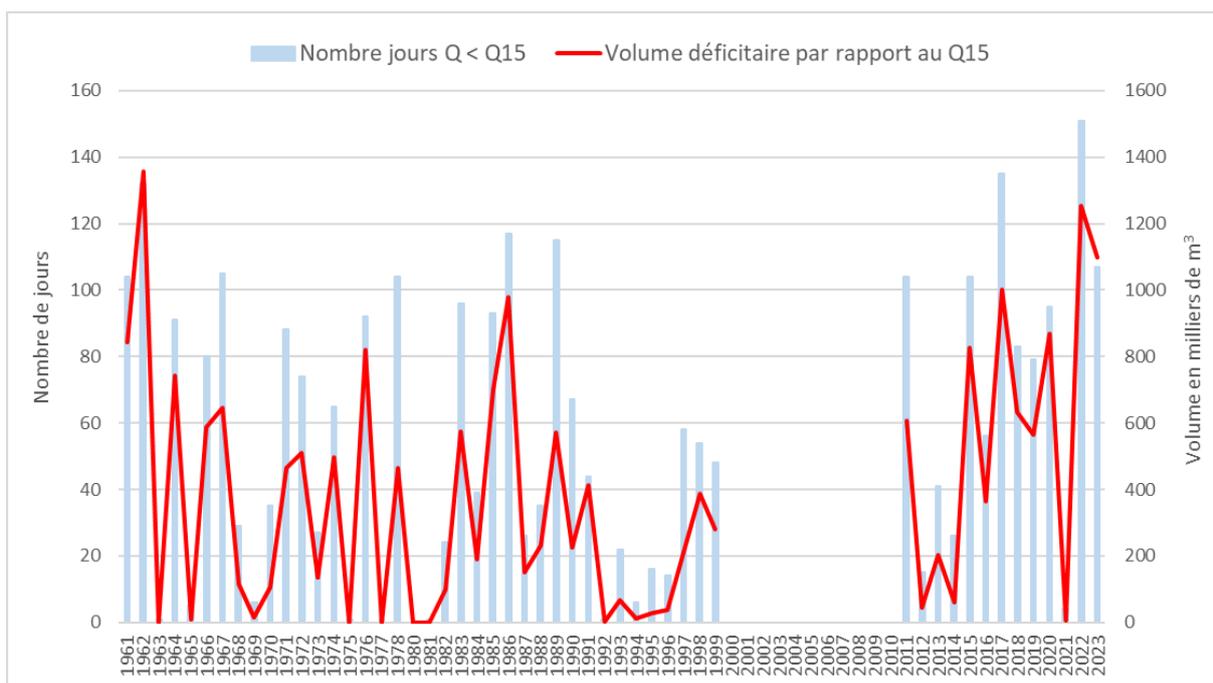


Figure 30 : Evolution du nombre de jours pour lesquels le débit est inférieur au Q15 (débit non dépassé 15 % du temps et égal à 0,151 m³/s la Coise à Saint-Médard-en-Forez qui constitue ici un marqueur de l'étiage) et évolution du volume déficitaire par rapport au Q15

Effectivement, l'évolution de la durée durant laquelle les débits ont été inférieurs au Q15 ainsi que les volumes d'eau déficitaires par rapport à ce seuil témoignent également d'une **accentuation des étiages depuis 2015 avec comme seule exception l'année 2021.**

Selon le scénario RCP 8.5, la baisse du débit minimum annuel (QMNA) serait en valeur médiane égale à 22,5 % sur la période 2040-2060 et 36,7 % sur la période 2060-2080 comparativement à la période 1985-2005 (Antea Group et CD Loire, 2024).

Évolution des QMNA à la station sur la Coise à Saint-Médard-en-Forez - Moulin Brûlé (RCP 8.5)

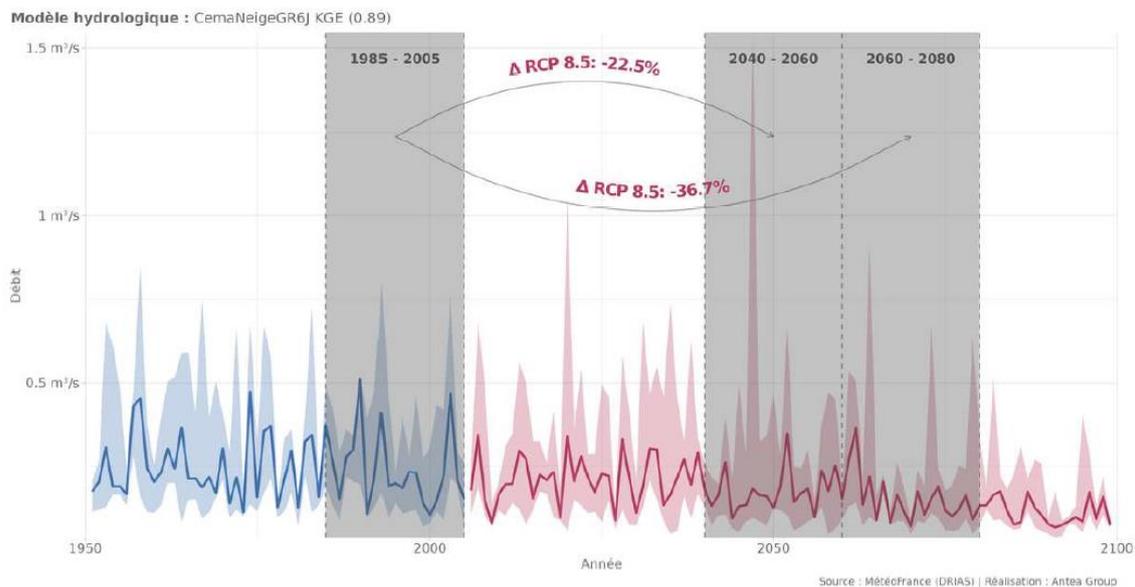


Figure 31 : Evolution des QMNA selon le scénario RCP 8.5 sur la Coise - Antea Group et CD Loire, 2024

Les valeurs du QMNA2 passeraient donc de 157 l/s sur la période 1985-2005 à 122 l/s sur la période 2040-2060 et à 100 l/s sur la période 2060-2080.

A l'échelle journalière, des situations d'assec ou d'intermittence sont d'ailleurs simulées par les modèles.

5.2. BASSIN DU LIGNON

Le Lignon du Forez prend sa source dans les monts du Forez, à Chalmazel (1490 m) et conflue avec la Loire 59 km en aval, à Poncins. Ses principaux affluents sont l'Anzon, en rive gauche, qui conflue en amont de Boën sur Lignon et le Vizezy, en rive droite, un peu en amont de Poncins.

5.2.1. Stations hydrologiques de référence

3 stations hydrométriques sont présentes le long du Lignon, de l'amont vers l'aval :

- Le Lignon à Chalmazel [Chevelières] (K0733220) avec un bassin versant de 60,5 km², et mesurant les débits sur la période 1958-2023.
- Le Lignon à Boën (K0753210) avec un bassin versant de 371 km², et mesurant les débits sur la période 1982-2023.
- Le Lignon à Poncins (K0773220) avec un bassin versant de 664 km², et mesurant les débits sur la période 1966-2023.

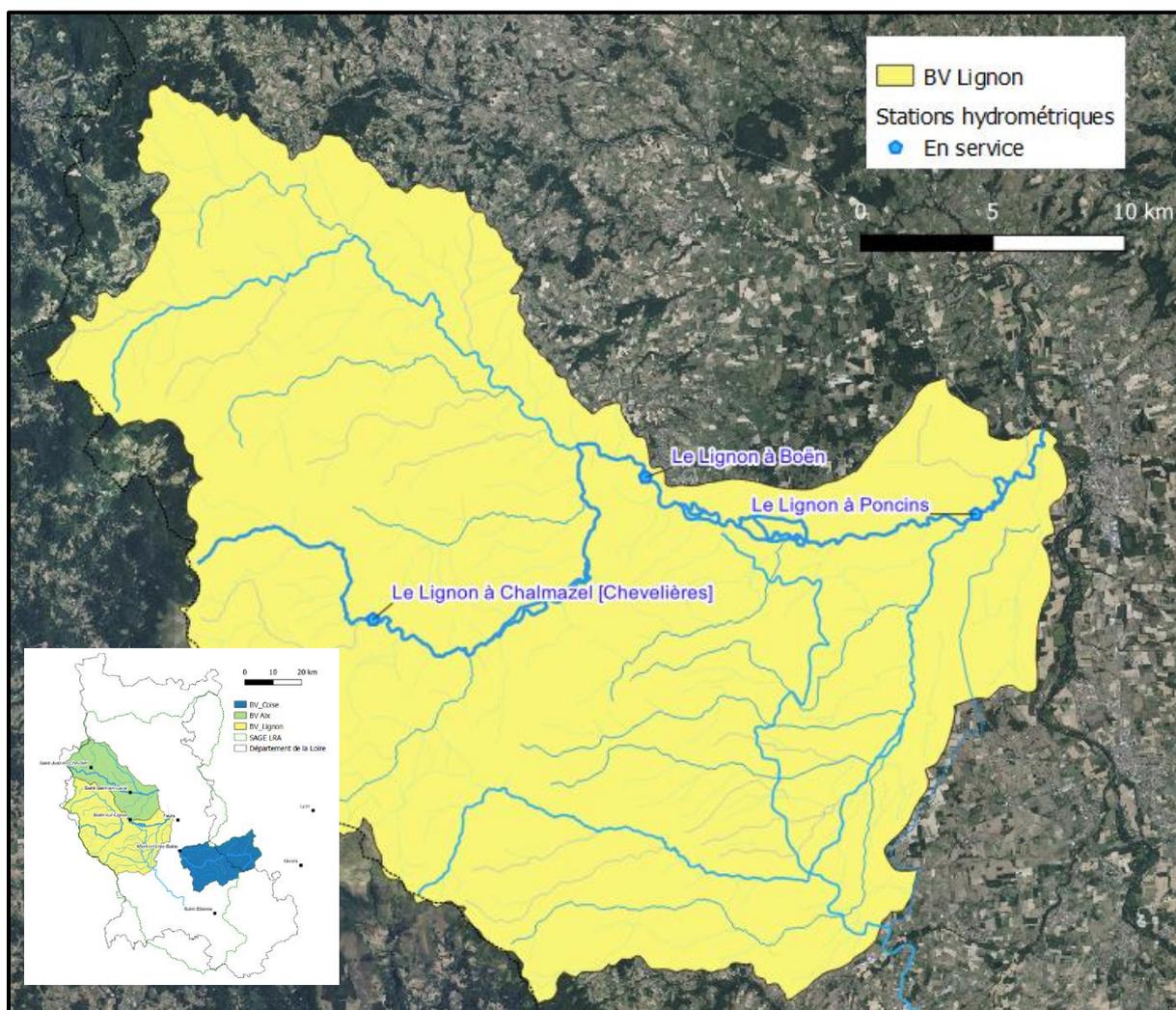


Figure 32 : Stations de mesures hydrométriques sur le cours du Lignon

5.2.2. Débits caractéristiques

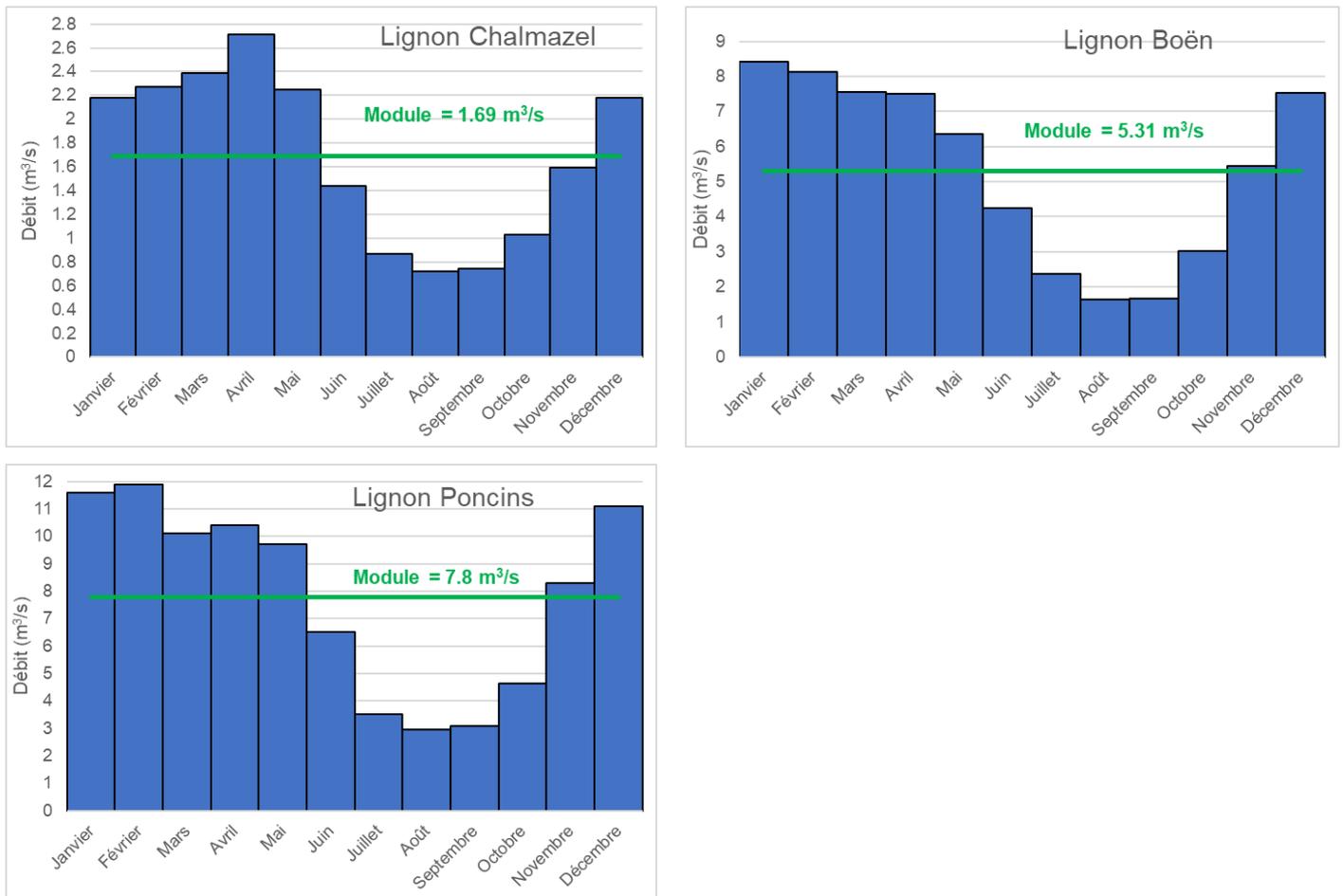


Figure 33 : Débits moyens mensuels du Lignon à Chalmazel (1958-2023), Boën (1982-2023) et Poncins (1966-2023) – données HydroPortail

Le régime hydrologique du Lignon est de type pluvial sur les 2 stations les plus aval, qui se caractérisent par des plus hautes eaux de décembre à mai alors qu’une composante nivale est observée au niveau de Chalmazel, avec notamment des mois de mars et avril pour lesquels les débits sont plus soutenus que le restant de l’année. La période d’étiage s’étend généralement du mois de juillet au mois d’octobre.

Le module est égal à 1,69 m³/s à Chalmazel (60,5 km²) sur la période 1958-2023 (Qsp=27,93 l/s/km²), 5,31 m³/s à Boën sur la période 1982-2023 (371 km²) (Qsp=14,31 l/s/km²) et 7,8 m³/s à Poncins (664 km²) sur la période 1966-2023 (Qsp=11,75 l/s/km²).

Le Lignon à Chalmazel (BV=60.5km ²) Période 1958-2023			Le Lignon à Boën (BV=371km ²) Période 1982-2023		
Module	1.69	/ Module (M)	Module	5.31	/ Module (M)
QMNA ₂	0.442 [0.398 ; 0.487]	26.2%	QMNA ₂	0.949 [0.764 ; 1.18]	17.9%
QMNA ₅	0.309 [0.273 ; 0.294]	18.3%	QMNA ₅	0.58 [0.481 ; 0.709]	10.9%
VCN _{3₂}	0.298 [0.266 ; 0.333]	17.6%	VCN _{3₂}	0.493 [0.406 ; 0.599]	9.3%
VCN _{3₅}	0.202 [0.176 ; 0.231]	12.0%	VCN _{3₅}	0.289 [0.231 ; 0.362]	5.4%
Crue 2	11.3 [9.61 ; 13.3]	6.7 x M	Crue 2	42.8 [36.1 ; 50]	8.1 x M
Crue 5	18.2 [15.5 ; 21.5]	10.8 x M	Crue 5	64.1 [53.6 ; 76.2]	12.3 x M
Crue 10	22.8 [19.2 ; 27.1]	13.5 x M	Crue 10	78.3 [64.6 ; 94.1]	14.7 x M

Le Lignon à Poncins (BV=664 km ²) Période 1966-2023		
Module	7.8	/ Module (M)
QMNA ₂	1.71 [1.51 ; 1.96]	21.9%
QMNA ₅	1.12 [0.963 ; 1.32]	14.4%
VCN _{3₂}	0.831 [0.691 ; 0.995]	10.7%
VCN _{3₅}	0.45 [0.363 ; 0.564]	5.8%
Crue 2	57 [50.1 ; 64.7]	7.3 x M
Crue 5	83.9 [72.8 ; 95.7]	10.8 x M
Crue 10	102 [87.1 ; 117]	13.1 x M

Tableau 7 : Débits caractéristiques (en m³/s) du Lignon à Chalmazel (1958-2023), Boën (1982-2023) et Poncins (1966-2023) - données HydroPortail - les débits de crue sont des débits moyens journaliers

Les débits mensuels minimaux annuels ayant une période de retour 2 ans (QMNA₂) sont égaux à 26,2 % du module à Chalmazel, 17,9 % du module à Boën et 21,9 % du module à Poncins. Les débits mensuels minimaux annuels ayant une période de retour 5 ans (QMNA₅) sont respectivement égaux à 18,3 %, 10,9 % et 14,4 % du module. La variabilité de cette proportion est en lien avec la période des mesures, plus récente pour la station de Boën. Dans tous les cas, il s'agit de valeurs bien supérieures à ce que l'on peut observer au niveau des bassins versants de la Coise et de l'Aix et qui font la singularité du Lignon.

Les crues les plus intenses ont lieu généralement entre janvier et début mai. L'étiage se déroule généralement en juillet et octobre mais peut apparaître dès le mois de juin certaines années.

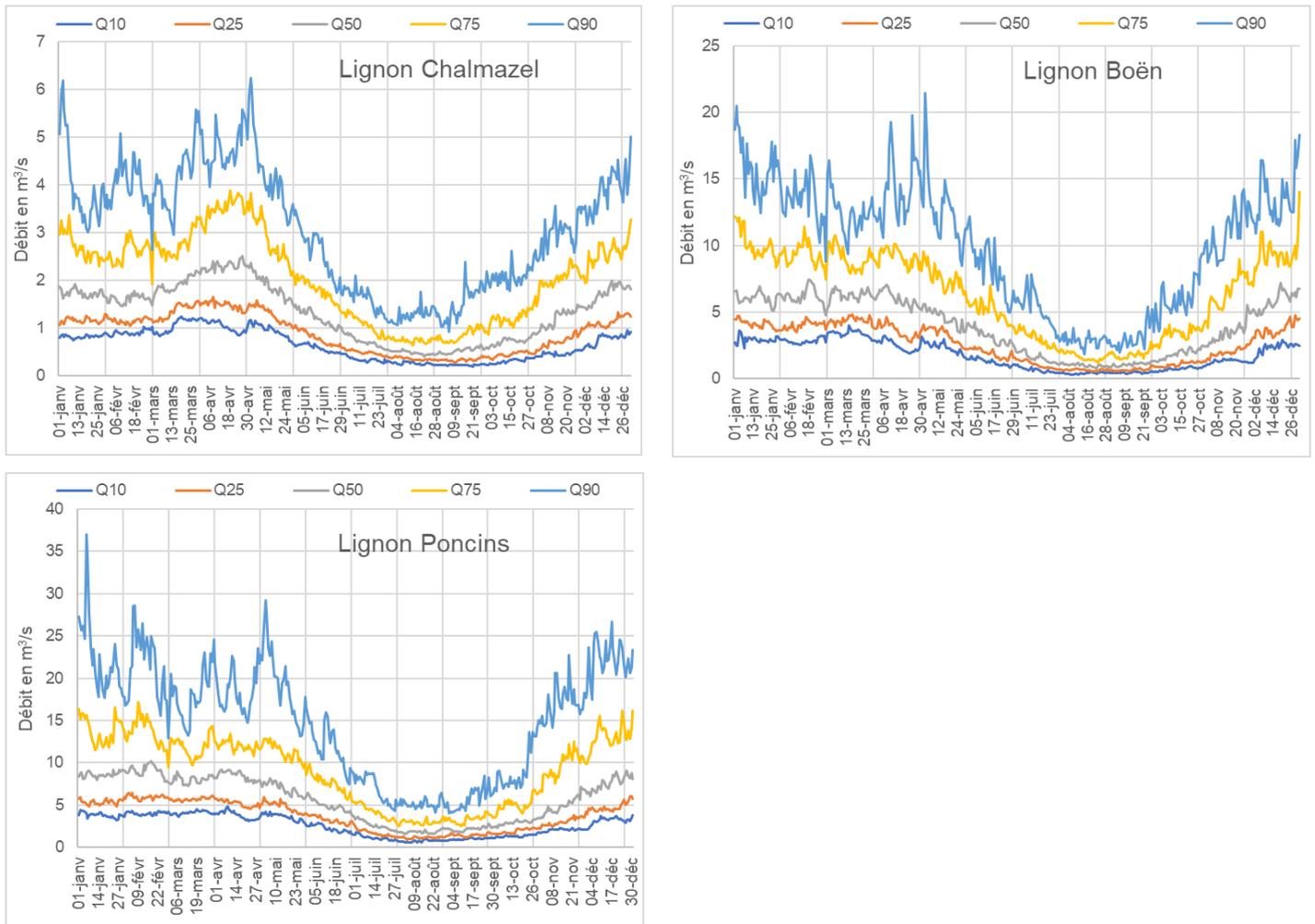


Figure 34 : Débits classés journaliers du Lignon à Chalmazel (1958-2023), Boën (1982-2023) et Poncins (1966-2023) – données HydroPortail

5.2.3. Prélèvements

Nous reprenons ici les données présentées dans la fiche de synthèse de l'unité de gestion Lignon dans le cadre de l'étude HMUC SAGE Loire en Rhône-Alpes et de la fiche station des débits biologiques concernant le Lignon à Leigneux (Antea Group et Conseil Départemental Loire, 2024).

Sur la période 2000-2020, le module influencé à Poncins est égal à 7,03 m³/s et le débit désinfluencé (en considérant l'ensemble des prélèvements au droit de la station hydrométrique) est égal à 7,06 m³/s soit des prélèvements de l'ordre de 0,5 % à l'échelle annuelle.

Les débits mesurés au droit de cette station hydrométrique sont influencés par les différents prélèvements réalisés au niveau du bassin versant. **Ces prélèvements directs sont principalement destinés à l'alimentation en eau potable (60 %) et à l'agriculture (irrigation + abreuvement – 38 %).**

Toutefois, la proportion de débit prélevé est plus importante en période d'étiage. Sur la période 2000-2020, le QMNA5 influencé à Leigneux (en aval de l'Anzon et amont proche de

Boën) est égal à 570 l/s et le désinfluencé égal à 600 l/s, soit des prélèvements de l'ordre de 5 % du débit transitant.

Ces prélèvements diminuent donc de manière sensible les débits d'étiage des cours d'eau du bassin versant du Lignon.

5.2.4. Tendances et perspectives

Pour plus de lisibilité, l'étude temporelle de l'évolution des débits porte sur la station aval, le Lignon à Poncins qui possède une chronique particulièrement longue.

Sur la période 1966-2023, les débits moyens annuels sont variables (coefficient de variabilité = 31 %). On remarque une tendance à la diminution des débits annuels passant d'environ 9,1 m³/s sur la période 1966-1985 à 6,8 m³/s sur la période 2004-2023, soit une perte d'environ 34 % en 40 ans environ.

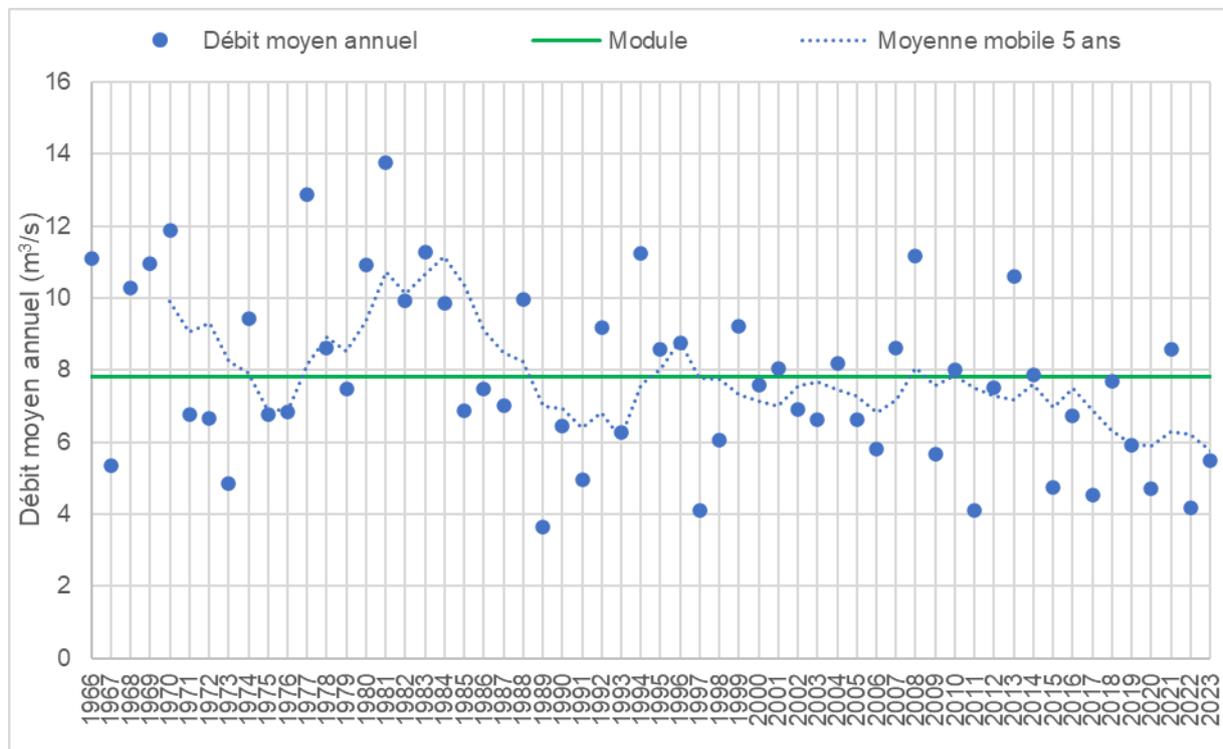


Figure 35 : Evolution du débit moyen annuel du Lignon à Poncins sur la période 1966-2023 (seules les années avec plus de 90% des données présentes ont été représentées)

Néanmoins, les prévisions longs termes indiquent, selon le scénario RCP 8.5, une tendance à une légère augmentation du débit moyen annuel sur la période 2040-2060 puis 2060-2080, comparativement à la période 1985-2005. Le gain serait en valeur médiane de l'ordre de 5,4 % pour la première période et environ 1,6 % pour la seconde (Antea Group et Conseil départemental Loire, 2024).

Évolution du régime annuel moyen de la station **Le Lignon à Poncins - Le Bourg (n°K077322001)** pour le scénario **RCP 8.5**

Scénario **RCP 8.5** sur la période 2040-2060 et **les valeurs historiques** sur 1985-2005

Modèle hydrologique : CemaNeigeGR4J KGE (0.93)

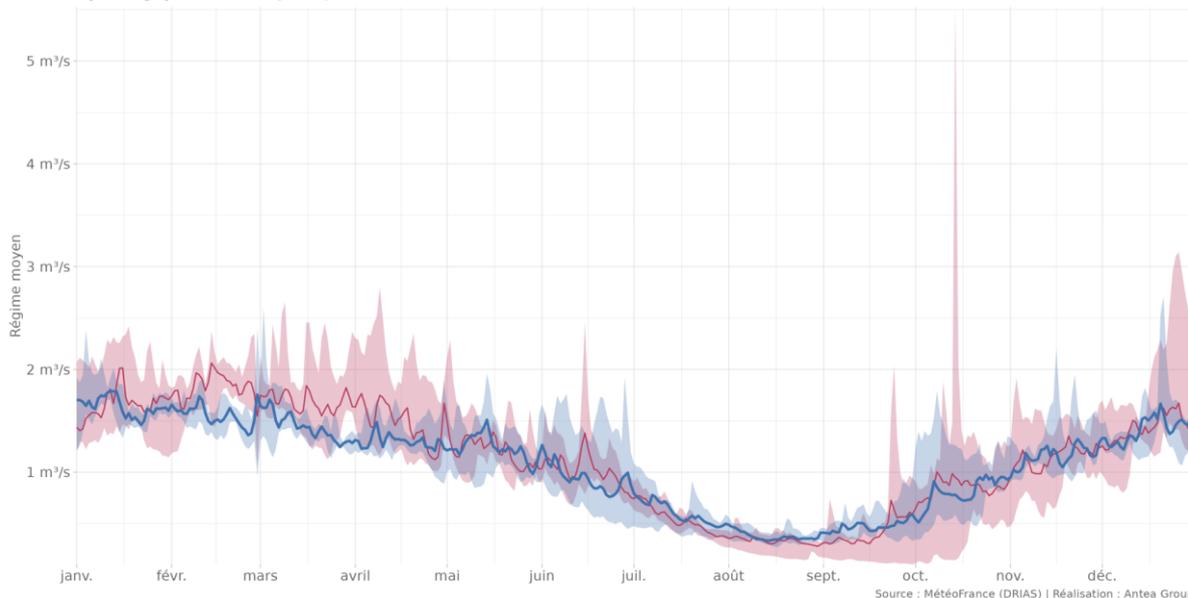


Figure 36 : Comparaison des chroniques de débits du Lignon à Poncins sur les périodes 1985-2005 (en bleu) et 2040-2060 (en rouge) selon le scénario RCP 8.5 - Antea Group et CD Loire, 2024

A échelle plus fine, les débits du Lignon en 2040-2060 pourraient être plus soutenus de janvier à avril et à l'inverse inférieurs aux valeurs de 1985-2005 entre juillet et septembre, avec des périodes de très faibles débits se prolongeant jusqu'à la mi-octobre. Des assècs sont d'ailleurs simulés à horizon 2070 d'août à octobre.

Concernant les bas débits sur la période 1961-2023, il n'y a pas de véritable tendance qui se dégage sur les QMNA. Remarquons toutefois que pour les 9 dernières années, les étiages ont été inférieurs au QMNA2 8 fois et inférieurs au QMNA5 5 fois, avec toujours une année 2021 atypique.

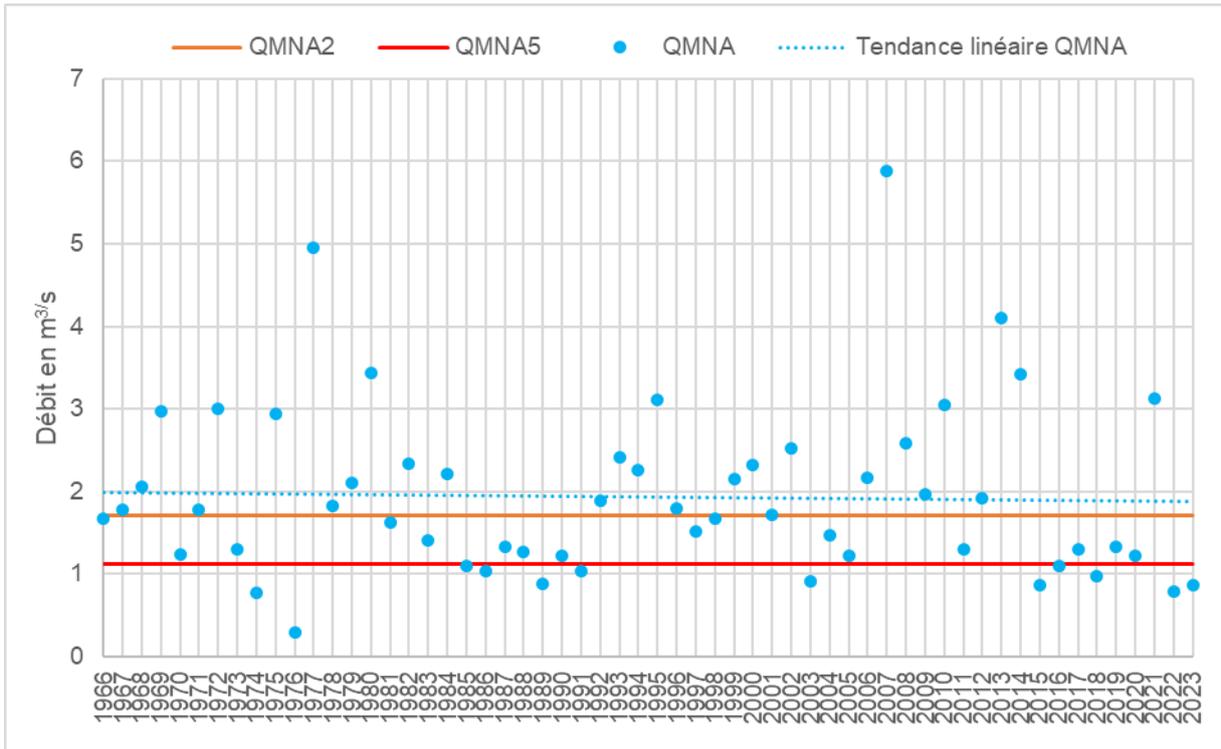


Figure 37 : Evolution du débit moyen mensuel minimal du Lignon à Poncins sur la période 1966-2023 (seules les années avec des données complètes ont été représentées)

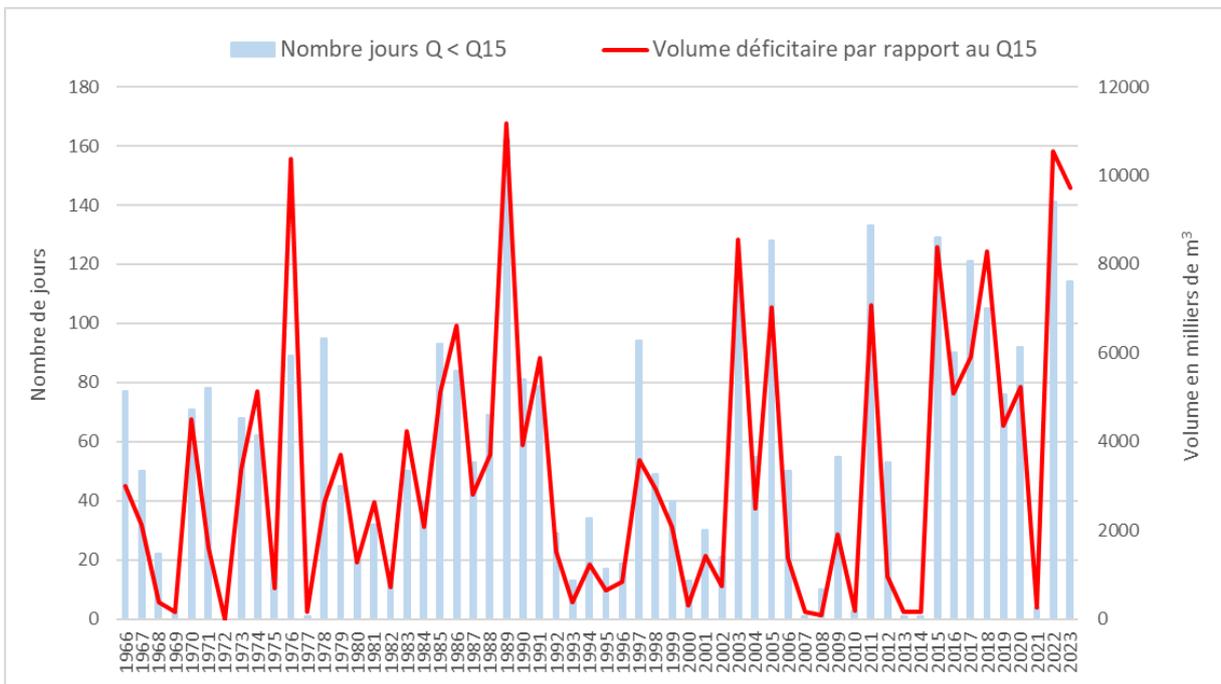


Figure 38 : Evolution du nombre de jours pour lesquels le débit est inférieur au Q15 (débit non dépassé 15 % du temps et égal à 1,94 m³/s sur le Lignon à Poncins qui constitue ici un marqueur de l'étiage) et évolution du volume déficitaire par rapport au Q15

Comme sur le bassin de la Coise, les durées annuelles pour lesquelles les débits restent inférieurs au Q15 tendent à augmenter depuis 2015 avec 5 années sur les 9 dernières à plus de 100 jours contre seulement 4 années de la sorte sur la période 1966-2014. Les volumes déficitaires associés sont également très conséquents, dépassant les 8000 m³ au cours de 3 des 9 dernières années contre seulement 3 années sur la période 1966-2014.

Selon le scénario RCP 8.5, la baisse du débit minimum annuel (QMNA) serait en valeur médiane égale à 24,8 % sur la période 2040-2060 et 32,1 % sur la période 2060-2080 comparativement à la période 1985-2005 (Antea Group et CD Loire, 2024).

Évolution des QMNA à la station sur le Lignon à Poncins - Le Bourg (RCP 8.5)

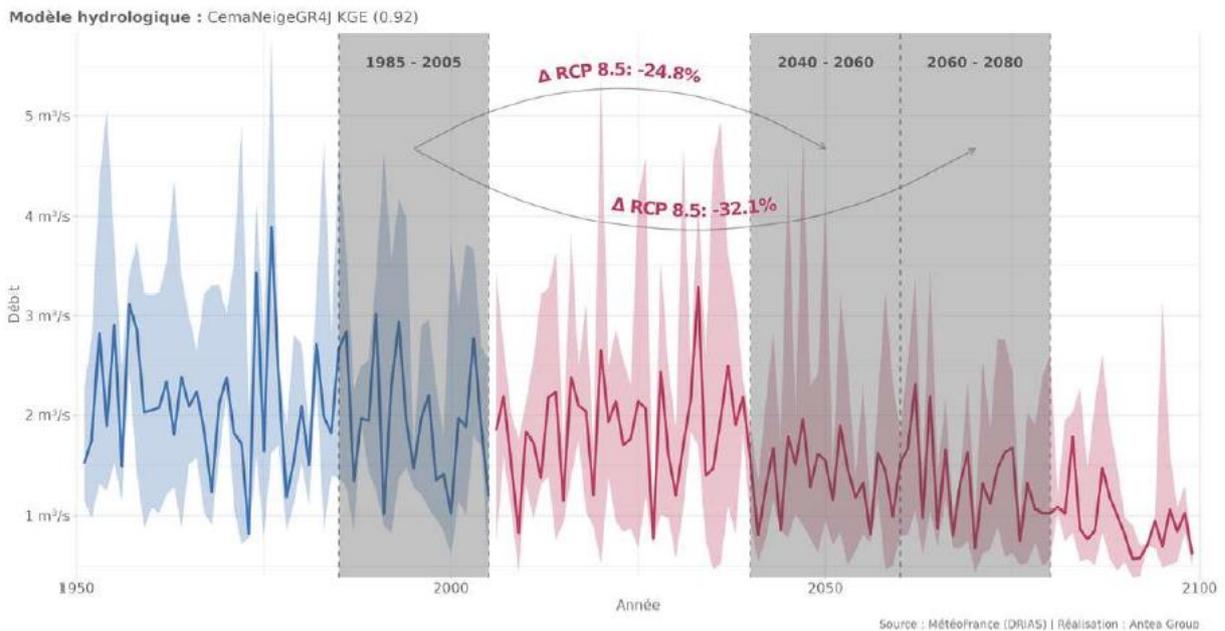


Figure 39 : Evolution des QMNA selon le scénario RCP 8.5 sur le Lignon à Poncins - Antea Group et CD Loire, 2024

Les valeurs du QMNA2 passeraient donc de 1,51 m³/s sur la période 1985-2005 à 1,13 m³/s sur la période 2040-2060 et à 1 m³/s sur la période 2060-2080.

5.3. BASSIN DE L'AIX

L'Aix prend sa source à 1041 m d'altitude dans les monts de la Madeleine (Nord-Ouest du département de la Loire). Son principal affluent est l'Isable qui conflue en rive gauche au niveau de Pommiers-en-Forez. Après un cours de 51 km et une surface de bassin versant d'environ 436 km², l'Aix se jette dans la Loire sur la commune de Nervieux.

5.3.1. Stations hydrologiques de référence

Historiquement, il existe deux stations de suivi de l'hydrologie de l'Aix sur son bassin versant :

- L'Aix à Grézolles [Château d'Aix] (KB0813010) avec un bassin versant de 174 km², et mesurant les débits sur la période 1965-1995.
- L'Aix à Saint-Germain-Laval (K0813020), avec un bassin versant de 193 km², et mesurant les débits sur la période 1973-2023.

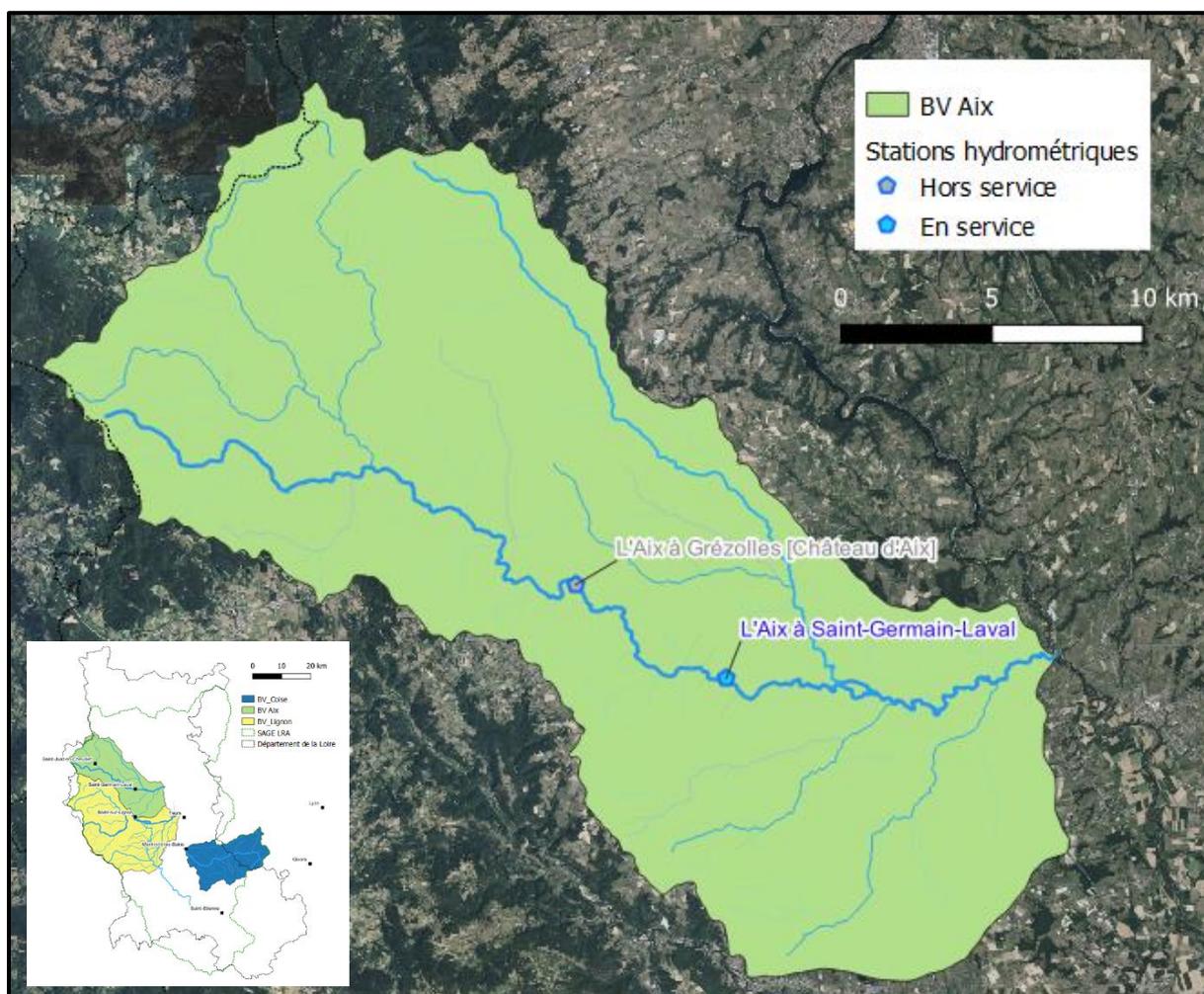


Figure 40 : Stations de mesures hydrométriques du bassin versant de l'Aix

5.3.2. Débits caractéristiques

Nous présentons ici les données de la station l'Aix à Saint-Germain-Laval, station qui possède la chronique de débits la plus récente et la plus longue.

L'Aix présente un régime de type pluvial. Le débit maximal mensuel est atteint en février avec les épisodes pluvieux hivernaux, puis le débit décroît progressivement à partir de mars. La période de basses eaux s'étire de juin à octobre, le débit minimum étant atteint en général au mois d'août. Le débit repart à la hausse en automne avec l'arrivée des précipitations. **Le module de l'Aix à Saint-Germain-Laval (193 km²) est égal à 2,87 m³/s sur la période 1973-2023 (débit spécifique = 14,87 l/s/km²).**

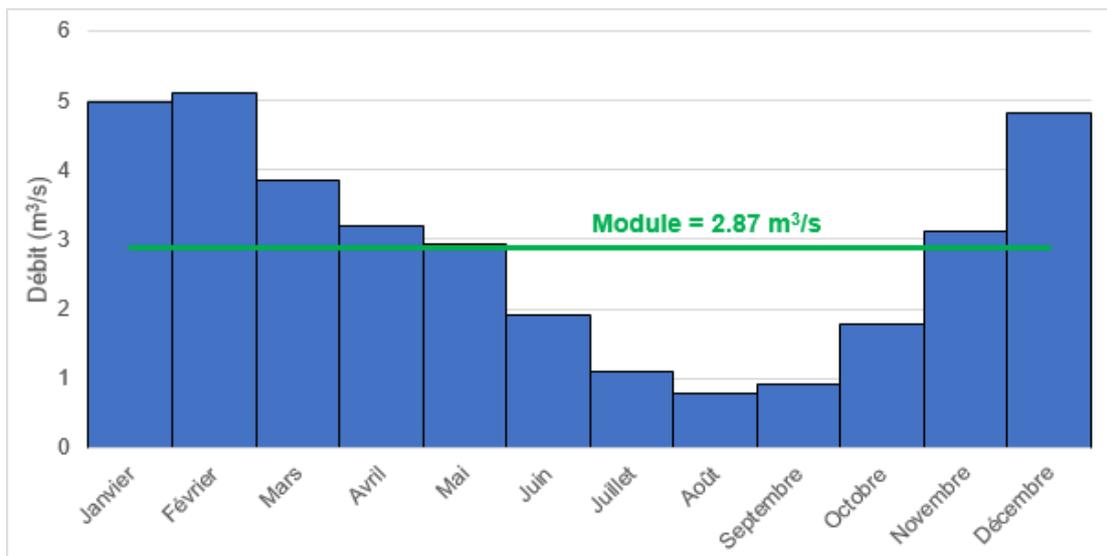


Figure 41 : Débits moyens mensuels de l'Aix à Saint-Germain-Laval pour la période 1973-2023 (données HydroPortail)

Les débits mensuels minimaux annuels ayant une période de retour 2 ans (QMNA2) et ayant une période de retour 5 ans (QMNA5) sont sévères, respectivement égaux à 13 % et 7 % du module. Le débit de crue de fréquence biennale est égal à 8,3 fois le module et le débit de crue de fréquence quinquennale est égal à 12 fois le module.

en m ³ /s	L'Aix à Saint-Germain-Laval (BV=193km ²) 1973-2023	
Module	2.87	/ Module (M)
QMNA ₂	0.38 [0.298 ; 0.478]	13.2%
QMNA ₅	0.207 [0.156 ; 0.274]	7.2%
VCN _{3₂}	0.152 [0.12 ; 0.19]	5.3%
VCN _{3₅}	0.068 [0.042 ; 0.096]	2.4%
Crue 2	23.9 [20.7 ; 27.2]	8.3 x LM
Crue 5	34.3 [29.4 ; 39.6]	12.0 x M
Crue 10	41.2 [34.9 ; 48.1]	14.4 x M

Tableau 8 : Débits caractéristiques de l'Aix à Saint-Germain-Laval sur la période 1973-2023 (données HydroPortail)

Les crues les plus intenses ont lieu durant la période hivernale, de décembre à mi-février. L'étiage se déroule généralement en août-septembre mais peut apparaître dès mi-juin et se prolonger jusqu'à fin octobre.

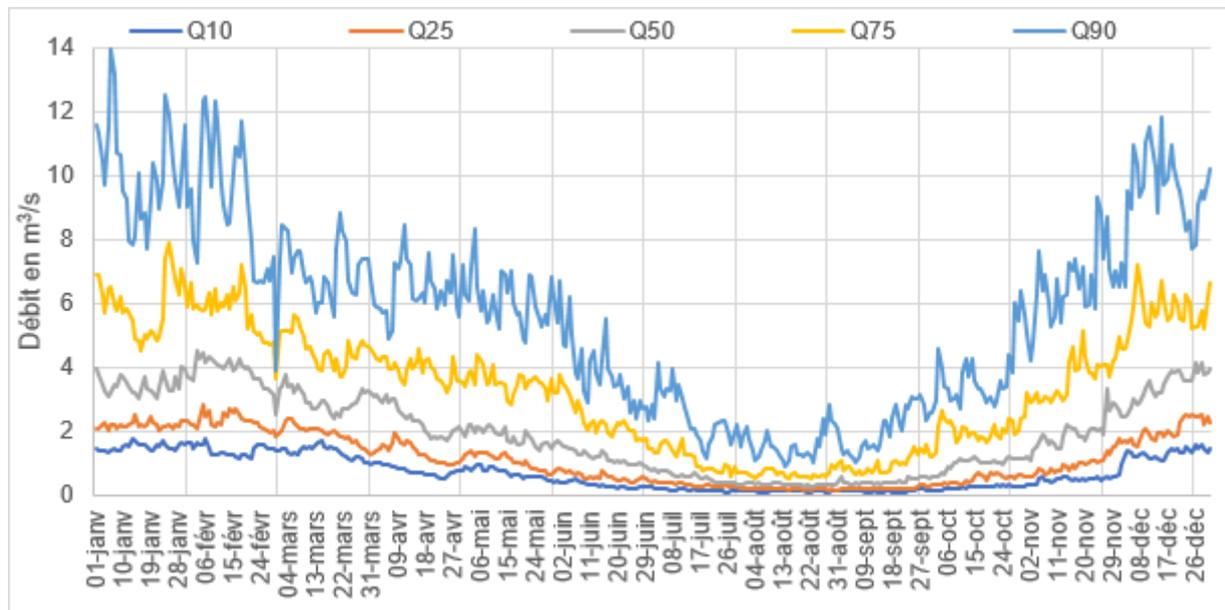


Figure 42 : Débits classés journaliers de l'Aix à Saint-Germain-Laval sur la période 1973-2023

5.3.3. Prélèvements

Les débits mesurés au droit de cette station hydrométrique sont influencés par les différents prélèvements réalisés au niveau du bassin versant. **Ces prélèvements sont majoritairement (61,6 %) destinés à l'alimentation en eau potable, notamment sur le Boën.**

Sur la période 2000-2020, le module influencé est égal à 2,51 m³/s et le débit désinfluencé (en considérant l'ensemble des prélèvements au droit de la station hydrométrique) est égal à 2,57 m³/s, soit des prélèvements de l'ordre de 2,3 % à l'échelle annuelle (Antea Group et Conseil Départemental Loire, 2024).

Toutefois, la proportion de débit prélevé est plus importante en période d'étiage. Elle atteint environ 35 % des débits transitant durant l'étiage 2020. Sur la période 2000-2020, le QMNA5 influencé est égal à 160 l/s et le désinfluencé égal à 220 l/s (Qsp = 1,14 l/s/km²), soit des prélèvements de l'ordre de 27,3 % du débit transitant.

Ces prélèvements diminuent donc déjà de manière considérable les débits d'étiages des cours d'eau du bassin versant de l'Aix.

5.3.4. Tendances et perspectives

Sur la période 1973-2023, les débits moyens annuels sont variables (coefficient de variabilité = 31%). On constate toutefois une tendance à la diminution, passant d'environ 3,2 m³/s sur la période 1973-1994 à 2,5 m³/s sur la période 2004-2023, soit une perte d'environ 22 % en 30 ans environ.

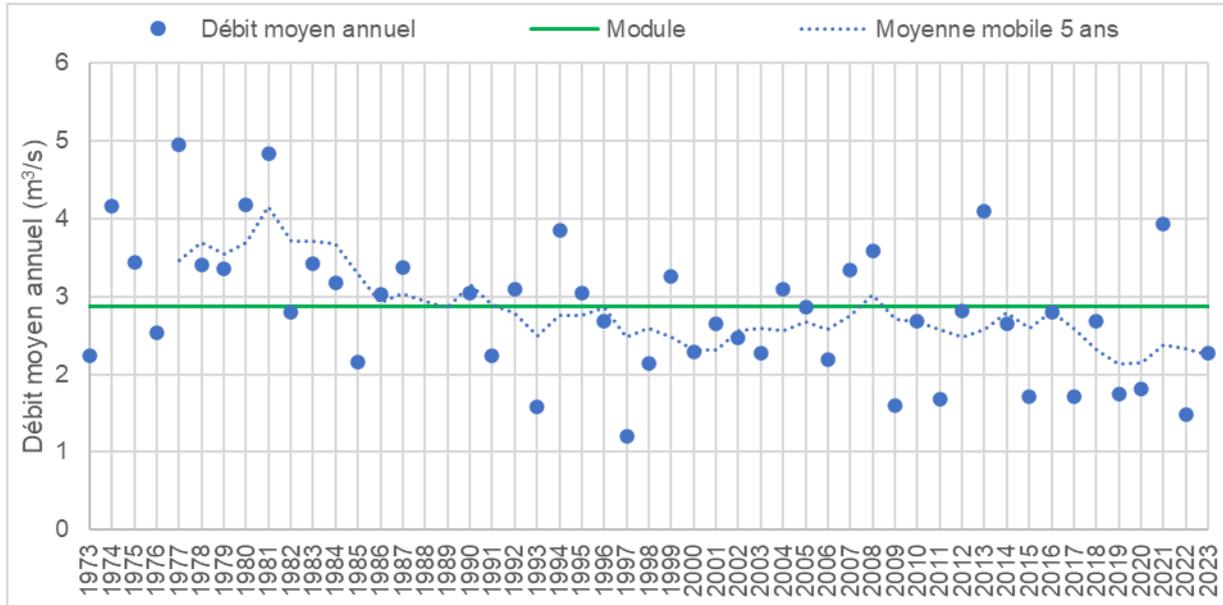


Figure 43 : Evolution du débit moyen annuel de l'Aix à Saint-Germain-Laval sur la période 1973-2023 (seules les années avec plus de 90% des données présentes ont été représentées)

Néanmoins, les prévisions longs termes indiquent selon le scénario RCP 8.5 développé dans l'étude HMUC, une tendance à une légère augmentation du débit moyen annuel sur la période 2040-2060 puis 2060-2080, comparativement à la période 1985-2005. Le gain serait en valeur médiane de l'ordre de 7,3 % pour la première période et environ 3,1 % pour la seconde.

Évolution du régime annuel moyen de la station **L'Aix à Saint-Germain-Laval (n°K081302001)** pour le scénario **RCP 8.5**

Scénario **RCP 8.5** sur la période 2040-2060 et **les valeurs historiques** sur 1985-2005

Modèle hydrologique : CemaNeigeGR4J KGE (0.90)

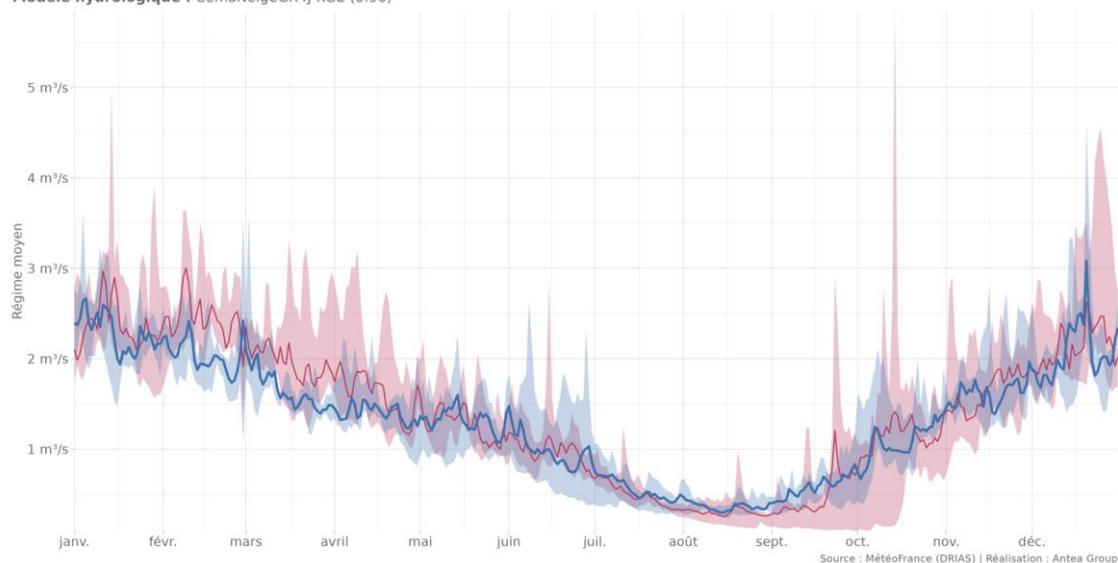


Figure 44 : Comparaison des chroniques de débits de l'Aix à St Germain-Laval sur les périodes 1985-2005 (en bleu) et 2040-2060 (en rouge) selon le scénario RCP 8.5 - Antea Group et CD Loire, 2024

Plus en détails, les débits de l'Aix pourraient être plus soutenus de novembre à avril et à l'inverse inférieurs aux valeurs 1985-2005 de juillet à septembre.

Sur la période 1973-2023, les débits moyens mensuels minimaux sont assez variables (coefficient de variabilité = 79 %). Il n'y a pas de tendance nette à la diminution sur cette période. Toutefois, on constate que le débit moyen minimum mensuel a été proche ou inférieur au QMNA5 à 8 reprises sur les 9 dernières années, ce qui n'était jamais arrivé dans la chronique.

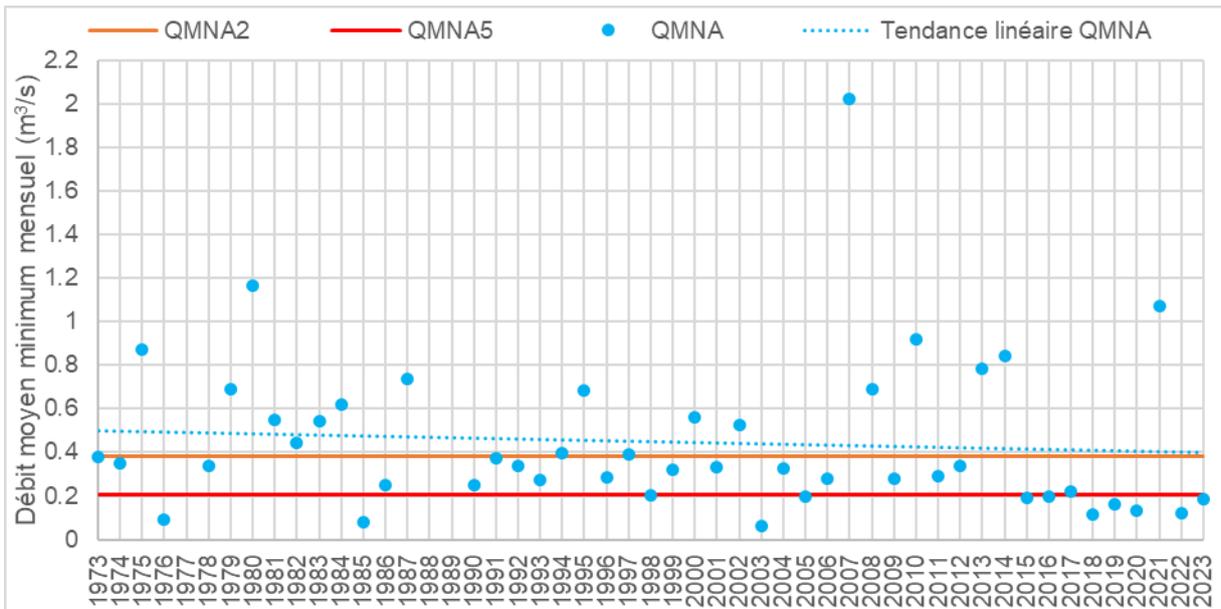


Figure 45 : Evolution du débit moyen mensuel minimal estival de l'Aix à Saint-Germain-Laval sur la période 1973-2023 (seules les années avec des données complètes ont été représentées)

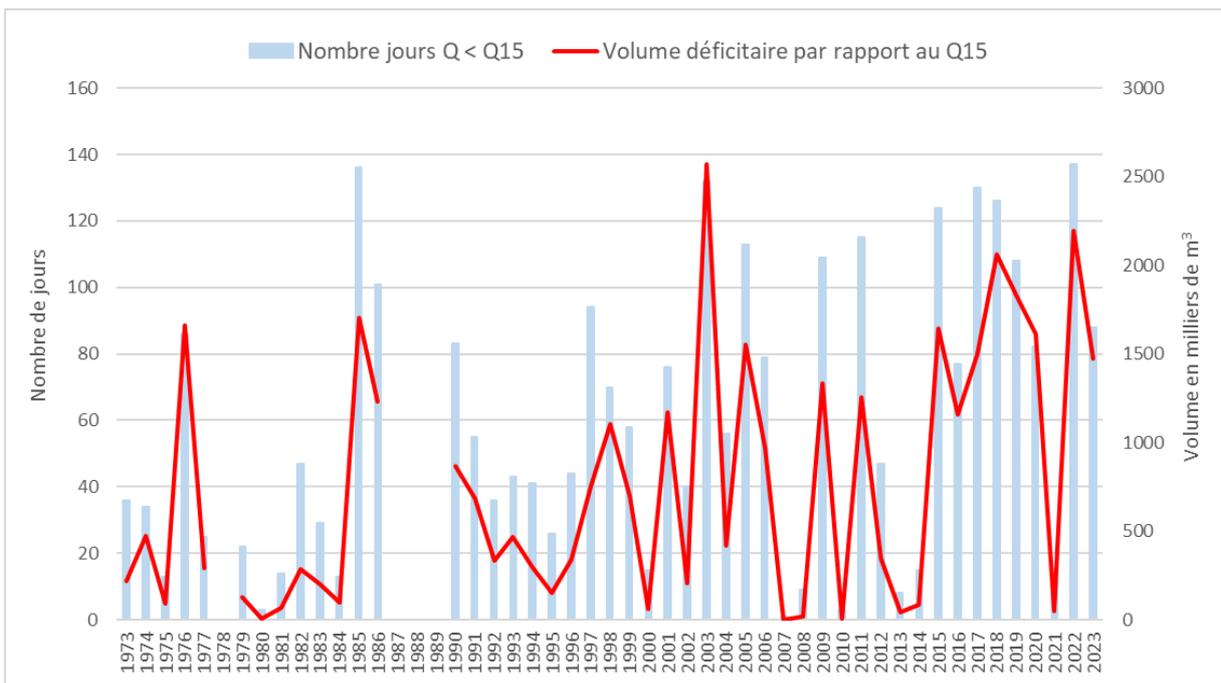


Figure 46 : Evolution du nombre de jours pour lesquels le débit est inférieur au Q15 (débit non dépassé 15 % du temps et égal à 0,372 m³/s sur l'Aix à Saint-Germain-Laval qui constitue ici un marqueur de l'étiage) et évolution du volume déficitaire par rapport au Q15

Sur ce bassin, les durées annuelles pour lesquelles les débits restent inférieurs au Q15 progressent depuis le début des années 90, avec notamment 4 années sur 9 entre 2015 et 2023 à plus de 120 jours contre seulement 4 années en 40 ans auparavant. Cette

progression se traduit bien évidemment par des volumes déficitaires importants quelle que soit l'année au cours de la période 2015-2023, à l'exception de 2021.

Selon le scénario RCP 8.5, la baisse du débit minimum annuel (QMNA) serait en valeur médiane égale à 31,3 % sur la période 2040-2060 et 39,1 % sur la période 2060-2080 comparativement à la période 1985-2005 (Antea Group et CD Loire, 2024).

Évolution des débits de la station **L'Aix à Saint-Germain-Laval (n°K081302001)** pour le scénario **RCP 8.5**

Indicateur : QMNA (Débit moyen mensuel le plus bas de l'année)

Modèle hydrologique : CemaNeigeGR4J KGE (0.90)

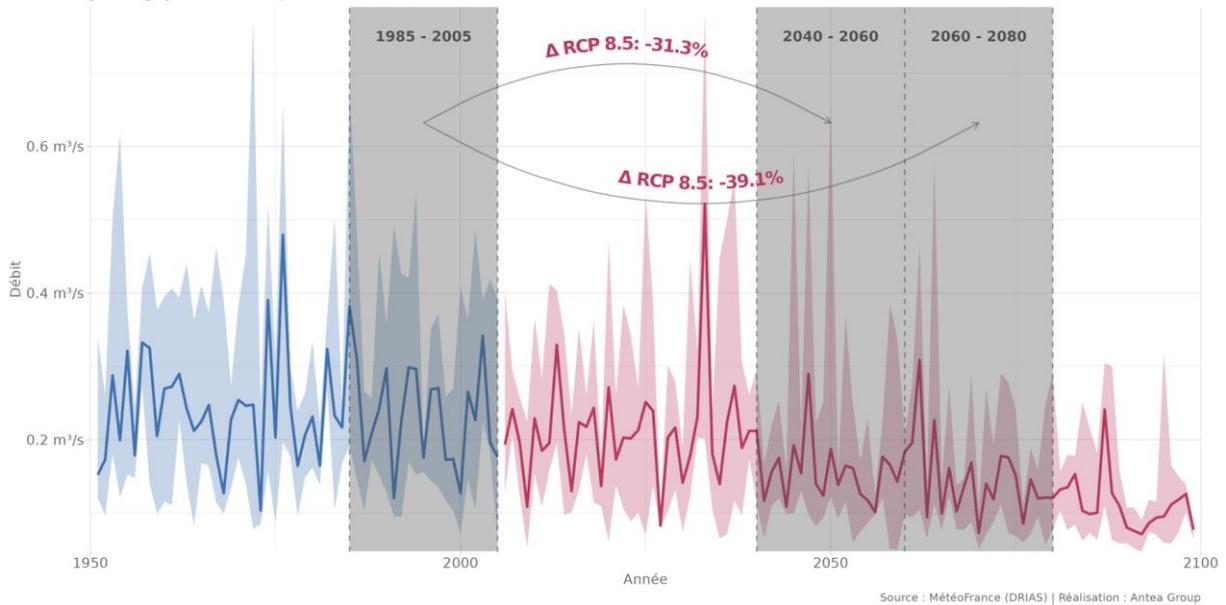


Figure 47 : Evolution des QMNA selon le scénario RCP 8.5 sur l'Aix - Antea Group et CD Loire, 2024

Les valeurs du QMNA2 passeraient donc de 325 l/s sur la période 1985-2005 à 223 l/s sur la période 2040-2060 et à 208 l/s sur la période 2060-2080, ce qui correspond peu ou prou à la valeur du QMNA5 calculé sur la chronique la plus longue (1973-2023).

A l'échelle journalière, des situations d'assec ou d'intermittence seraient d'ailleurs simulé par les modèles.

5.4. HYDROLOGIE RECONSTITUEE AU DROIT DES STATIONS D'ETUDE

Les débits caractéristiques au droit de chacune des stations microhabitats ont été reconstitués (au besoin) en utilisant la formule de Myer qui met en relation les débits en deux points de bassins versants aux caractéristiques proches et suivant la surface de bassin versant en ces points :

$$Q_1/Q_2 = (S_1/S_2)^\alpha$$

avec : Q1 et Q2, les débits aux points 1 et 2

S1 et S2, les surfaces de bassin versant aux points 1 et 2

α , exposant appelé également coefficient de Myer

Cette formule de Myer a été appliquée sur les débits moyens mensuels (mêmes mois et années) **de 2 stations hydrométriques d'un même bassin** pour calculer les valeurs du coefficient alpha α par gammes de débit.

Mois	Rapport au module	Larajasse 61 km ²	St Médard 181 km ²	alpha
janv-70	1.176372712	0.707	1.39	0.62156488
janv-71	1.963394343	1.18	2.7	0.76105158
janv-72	1.490848586	0.896	2.26	0.85064359
janv-73	1.422628952	0.855	2.06	0.80851514
janv-74	0.396006656	0.238	0.677	0.96117905
janv-75	1.327787022	0.798	1.68	0.68446544
janv-76	0.848585691	0.51	0.925	0.54741663
janv-77	1.650582363	0.992	3.04	1.029667
janv-78	1.249584027	0.751	1.77	0.78825939
janv-79	2.113144759	1.27	3.2	0.84968207
janv-80	3.760399334	2.26	6.43	0.96137132
janv-81	2.27953411	1.37	3.32	0.81384258
janv-82	1.133111481	0.681	1.23	0.54357719
janv-83	0.364392679	0.219	0.563	0.86813883
janv-84	1.216306156	0.731	2.68	1.19449333
janv-85	0.404326123	0.243	0.478	0.62204384
janv-86	1.249584027	0.751	2.01	0.90517045
janv-87	1.522462562	0.915	2.43	0.8980339

Figure 48 : Exemples de calculs de coefficients α de la formule de Myer sur le bassin de la Coise entre la station hydrométrique de Larajasse (BV de 61 km²) et celle de Saint-Médard (BV de 181 km²) pour le mois de janvier

Nous avons ensuite utilisé les alphas (α) médians par gammes de débit pour chaque bassin pour reconstituer les débits caractéristiques au droit de chacune de nos stations, en les appliquant sur les débits caractéristiques de la station limnimétrique de la station la plus proche.

Bassin Coise	
Gamme de débit	alpha médian
<0.05 M	1.164
0.05-0.1 M	0.848
0.1 - 0.25 M	0.833
0.25 - 0.5 M	0.785
0.5 - 0.75 M	0.816
0.75 - 1 M	0.776
1-1.25 M	0.844
1.25 - 1.5 M	0.847
1.5 - 2 M	0.860
2-2.5 M	0.893
2.5-3 M	0.864
>3 M	0.866

Figure 49 : Exemples de valeurs du coefficient α par gammes de débit utilisées sur le bassin de la Coise

Il nous a été impossible d'appliquer cette méthodologie sur le bassin versant de l'Aix, les surfaces de bassins versants étant trop proches entre les 2 stations hydrométriques (193 km² à Saint-Germain-Laval et 184 km² à Grézolles) pour donner des résultats cohérents. **Nous avons donc utilisé sur ce bassin versant**, pour reconstituer les débits au droit de nos stations d'études, **un coefficient α égal à 0,8**, ce qui est une valeur classiquement utilisée sur le territoire français.

Les débits moyens mensuels ont donc été reconstitués au droit de chacune de nos stations d'étude, de même que le module et les débits caractéristiques de l'étiage (QMNA2 et QMNA5).

Code station HMUC	Chronique	Nom station	Surface BV km ²	Module m ³ /s	QMNA2 m ³ /s	QMNA5 m ³ /s
42_Meylieu	1961-2023	S1 - Coise_Meylieu	308.8	2.401	0.197	0.091
131_PtRomains	1961-2023	S2 - Coise_St Galmier	223.8	1.830	0.150	0.063
44_LeBret	1961-2023	S3 - Coise_Le Bret	181.0	1.530	0.125	0.049
130_MoulinTrunel	1961-2023	S4 - Coise_Moulin Trunel	135.0	1.194	0.097	0.035
128_CoteRatier	1961-2023	S5 - Couzon	17.8	0.216	0.017	0.003
Lignon_Poncins	1966-2023	S6 - Lignon_Poncins	664.0	7.780	1.690	1.100
Lignon_SteAgathe	1966-2023	S7 - Lignon_Ste Agathe	391.4	6.028	1.022	0.665
14_Trelins	1966-2023	S8 - Lignon_Trelins	378.1	5.928	0.989	0.644
81_Stadefoot	1958-2023	S9 - Lignon_Sail	165.4	3.155	0.733	0.469
10_Les Sigauds	1973-2023	S10 - Aix_Les Sigauds	313.7	4.174	0.549	0.298
9_Aix à Grézolles	1973-2023	S11 - Aix_Chateau d'Aix	174.0	2.605	0.348	0.192
109_LeTrouillet	1973-2023	S12 - Isable_Le Trouillet	52.8	1.003	0.132	0.072
108_Blanchardon	1973-2023	S13 - Isable_Blanchardon	7.3	0.205	0.027	0.015
Noyer_ChezBras	1973-2023	S14 - Noyer_Chez Bras	21.5	0.489	0.064	0.035
209_Chambodut	1973-2023	S15 - Boen_Chambodut	29.9	0.636	0.084	0.045
8_PierreBelle	1973-2023	S16 - Boen_Pierrebelle	4.5	0.139	0.018	0.010
106_Labouré	1973-2023	S17 - Ban_Laboure	16.0	0.387	0.051	0.028

Tableau 9 : Débits caractéristiques (Module, QMNA2 et QMNA5) calculés au droit de chacune des stations dans le cadre de l'étude microhabitat

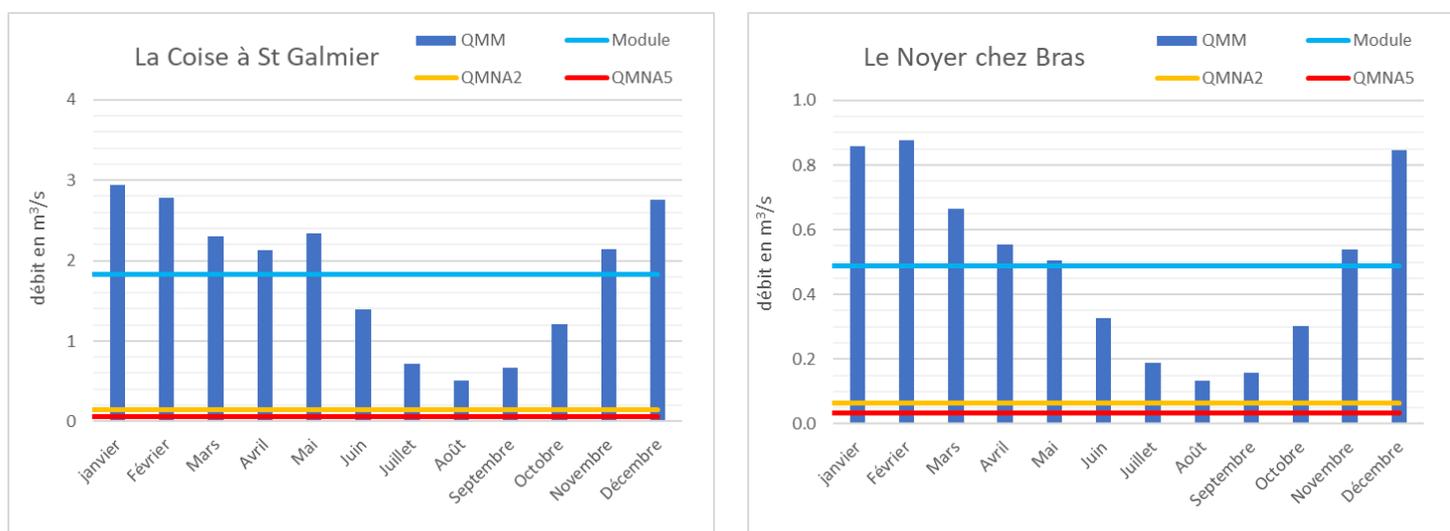


Figure 50 : Exemples de débits moyens mensuels reconstitués sur la Coise à Saint-Galmier (Station S2) et sur le Noyer (Station S14)

6. RESULTATS DES ETUDES MICROHABITATS ET DEBITS DE BON FONCTIONNEMENT

6.1. RESULTATS PAR STATION

Les résultats pour chaque station étudiée (au nombre de 17) sont présentés **sous forme de fiches** (1 fiche par station).

Dans chaque fiche, on va trouver :

- Une présentation de la station (nom de la rivière, nom de la station, carte de situation, longueur, largeur de la station, débits de calage, biotype de Verneaux, espèces piscicoles classées par ordre de priorité, quelques photos),
- Le contexte hydrologique de la station (régime moyen, surface de bassin-versant, station hydrologique de référence, période statistique utilisée, module, QMNA2 et QMNA5),
- Une cartographie de la station pour un bas débit (les profondeurs et vitesses sur la station pour ce débit et la localisation des habitats de reproduction [SGF]),
- Une quantification et une qualification de la SGF et des abris,
- L'évolution des habitats piscicoles de la station en fonction du débit (évolution des SPU des différents stades de développement des espèces cibles, évolution de la SFR des espèces cibles, évolution de la SGF),
- Un tableau de synthèse contenant les seuils de débit, hiérarchisés en fonction des espèces-cibles, pour les 3 fonctionnalités (se déplacer, vivre, se reproduire),
- Une conclusion concernant les débits nécessaires au bon fonctionnement du peuplement piscicole de la station en regard des débits actuellement disponibles.

NOYER – CHEZ BRAS

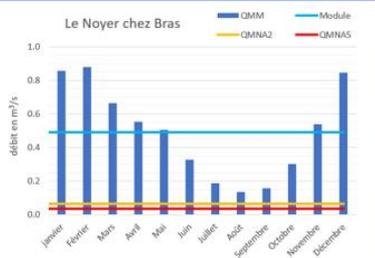
Présentation de la station



Longueur : 74 m
Largeur : 4.0 m
Débits de calage :
 93 l/s le 11/07/2023
 571 l/s le 17/01/2024
Biotype : B2 – Zone à truite supérieure
Espèces-cibles (par ordre de priorité) :
 TRF et CHA



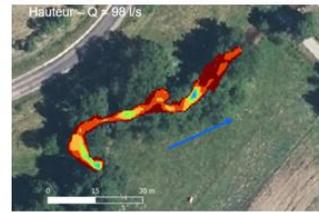
Hydrologie



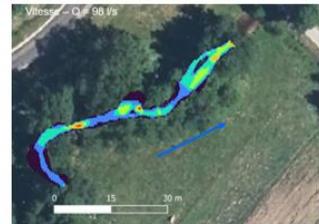
Code station	Noyer_ChezBras
HMUC	
Nom station	S14 - Noyer_Chez Bras
Surface BV	21.5 km ²
Station hydrologique de référence	L'aix à Saint-Germain-Laval K0813020
Période pour les statistiques	1973-1995
Module	0.489 m ³ /s
QMNA2	0.064 m ³ /s
QMNA5	0.035 m ³ /s

Hauteur en m		
Couleur	Valeur inférieure	Valeur supérieure
1	0	0.1
2	0.1	0.2
3	0.2	0.3
4	0.3	0.4
5	0.4	0.5
6	0.5	0.6
7	0.6	0.7

Cartographie de la station



Hauteur en m		
Couleur	Valeur inférieure	Valeur supérieure
1	0	0.1
2	0.1	0.2
3	0.2	0.3
4	0.3	0.4
5	0.4	0.5
6	0.5	0.6
7	0.6	0.7



Vitesse en m/s		
Couleur	Valeur inférieure	Valeur supérieure
1	0	0.1
2	0.1	0.2
3	0.2	0.3
4	0.3	0.4
5	0.4	0.5
6	0.5	0.6
7	0.6	0.7

Surfaces d'habitats remarquables (SGF, abris)



Hauteur en m		
Couleur	Valeur inférieure	Valeur supérieure
1	0	0.1
2	0.1	0.2
3	0.2	0.3
4	0.3	0.4
5	0.4	0.5
6	0.5	0.6
7	0.6	0.7

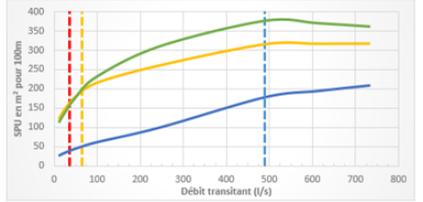
	Qualification
SGF 43.7 m ² répartis en plusieurs zones soit 59.1 m ² pour 100 m et 14.6% de la surface mouillée	Fort
Caches 16.6 m ² : 83.3% racines et sous-berge soit 5.5% de la surface mouillée	Fort

Evolution des habitats piscicoles en fonction du débit

Surface d'habitat favorable (SPU)

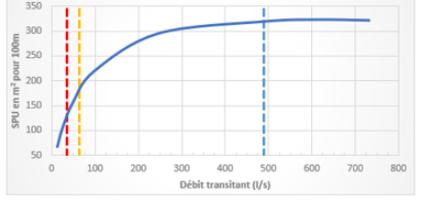
Truite

- Module
- - - QMNA5
- - - QMNA2
- Truite adulte
- Truite juvénile
- Truite alevin



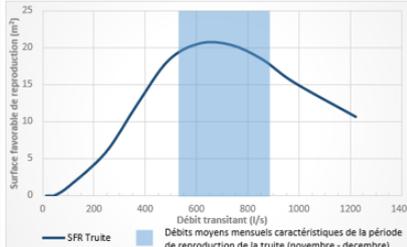
Chabot

- Module
- - - QMNA5
- - - QMNA2
- Chabot



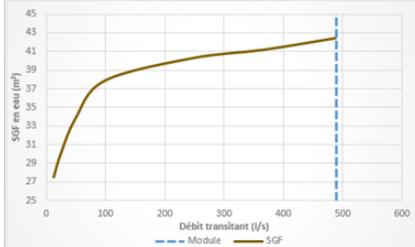
Surface Favorable à la Reproduction (SFR)

Truite



Maintien en eau des plages de graviers-galets

Mise en eau de la SGF (Surface Granulométrique Favorable à la reproduction)



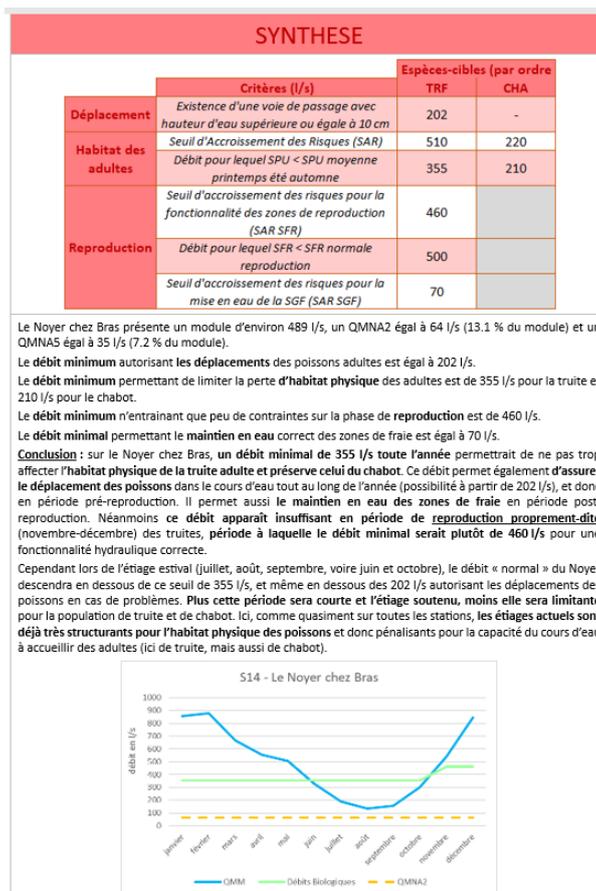


Figure 51 : Exemple de fiche des résultats « microhabitats » par station. Le ruisseau le Noyer chez Bras

Un appendice lié à ce rapport contient l'ensemble des fiches des 17 stations étudiées.

6.2. BILAN DES ETUDES D'HABITATS

6.2.1. Bassin de la Coise

6.2.1.1. Disponibilités en caches

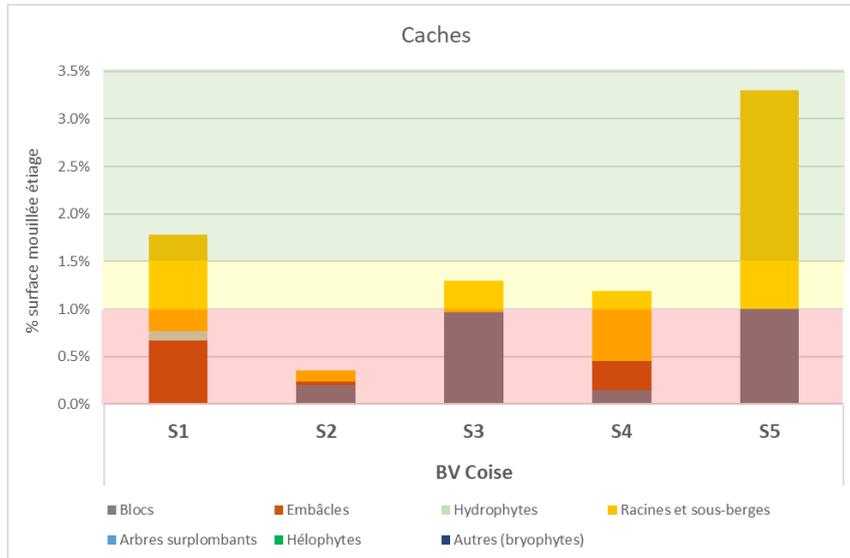


Figure 52 : Pourcentages d'abris sur les stations du bassin versant de la Coise (surface par rapport à la surface mouillée de la station à l'étiage)

(S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S4-Moulin Trunel ; S5-Couzon-Cote Ratier)

La quantité de caches disponibles varie entre 0,35 % et 3,3 % sur les 5 stations de Coise. Il s'agit d'une **quantité de caches faible pour la station S2** (caches de type sous-blocs dominantes à 58 %), de **quantités moyennes en S3** (caches de type sous-blocs dominantes à 74 %) et **S4** (caches de type racines et sous-berges dominantes – 62 %) et **de quantités fortes en S1** (type racines et sous-berges dominantes – 57 %) **et S5** (type racines et sous-berges dominantes – 70 %).

6.2.1.2. Les possibilités de déplacement des poissons

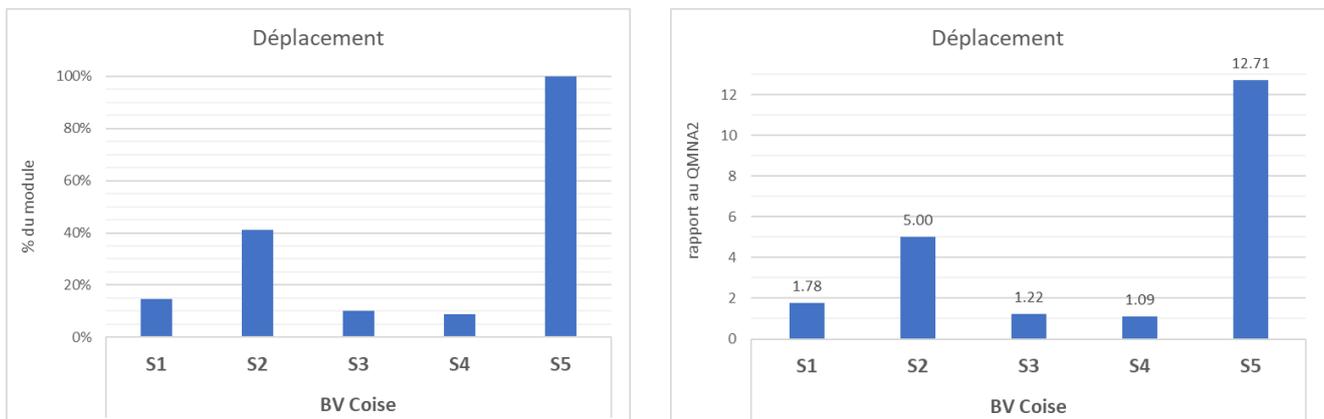


Figure 53 : Débits permettant d'assurer le déplacement des poissons sur le bassin versant de la Coise (exprimés en % du module et par rapport au QMNA2)

(S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S4-Moulin Trunel ; S5-Couzon-Cote Ratier)

Les déplacements des poissons, et notamment des truites, deviennent possibles sur **l'axe Coise** pour des valeurs de débits comprises entre 8,9 % et 14,6 % du module (S1, S3 et S4). Par rapport au QMNA2, les ratios sont supérieurs à 1 sur ces 3 stations (1,09 à 1,78), ce qui sous-entend que **les déplacements des poissons sont difficiles à l'étiage, voire impossible en étiage sévère**. Ce peut être particulièrement pénalisant pour les truites qui vont être dans l'incapacité de se déplacer pour accéder à des zones thermiques plus favorables en période estivale. Ceci d'autant plus que le régime thermique est déjà identifié comme limitant pour la population de truite de la Coise (FDAAPPMA 42, 2024).

La station S2 est atypique, pour ce critère du déplacement des poisson, pour l'axe Coise. En effet, un des radiers modélisés sur cette station S2, a une morphologie singulière et des hauteurs d'eau très faibles, configuration que nous n'avons pas retrouvée ailleurs sur la Coise.

Sur le Couzon (S5), petit affluent de la Coise, les **possibilités de déplacement** des truites ne sont effectives que pour des **débits se situant autour du module** (soit presque 13 fois le débit d'étiage normal), ce qui n'est pas forcément surprenant compte-tenu de la pente de ce ruisseau (19 ‰). Toutefois, la thermie estivale est, à l'heure actuelle, encore favorable aux truites sur ce ruisseau (température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds ne dépassant qu'une seule fois les 18°C entre 2009 et 2022). Il n'est donc pas vital, à l'heure actuelle, pour les poissons qu'ils puissent se déplacer en période estivale. Par contre, dans ce petit milieu, les truites peuvent avoir à se déplacer, en automne, pour former des couples de géniteurs et gagner des places de reproduction. Fin octobre et en novembre, normalement, les débits augmentent et sont fréquemment supérieurs au module, ce qui permet les mouvements des poissons pour la reproduction.

6.2.1.3. La reproduction des poissons lithophiles

i) Les quantités de SGF

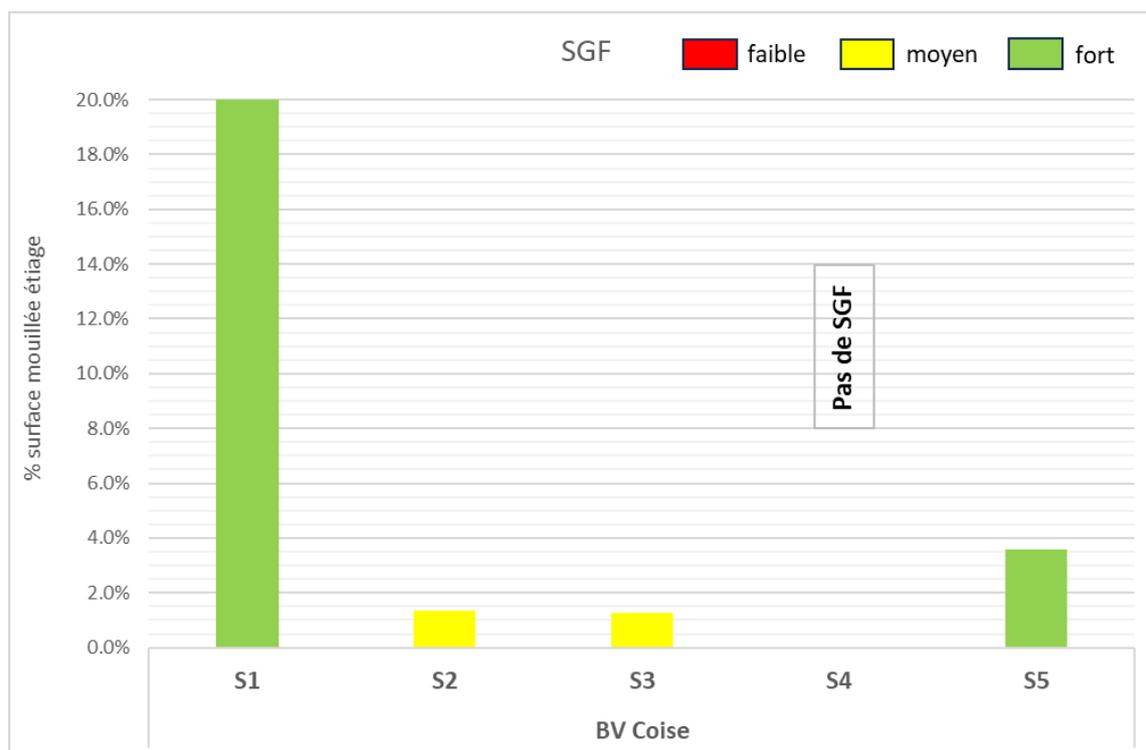


Figure 54 : Quantités de SGF sur les stations du bassin versant de la Coise (en surface par rapport à la surface mouillée de la station à l'étiage)
(S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S4-Moulin Trunel ; S5-Couzon-Cote Ratier)

La Coise dans sa partie salmonicole (S2 à S4) n'est pas très bien pourvue en fractions granulométriques favorables à la fraie des lithophiles. On peut retenir une **SGF de l'ordre de 1,3 % de la surface mouillée pour cette zone salmonicole de l'axe Coise, ce qui est moyen**. L'enjeu sera donc important à ce que cette SGF soit, au maximum, hydrauliquement fonctionnelle pendant la reproduction et qu'ensuite les débits la maintiennent en eau jusqu'à l'émergence des alevins.

Son affluent, le **Couzon** (S5), également en zone à truites, est **mieux pourvu en SGF** (3,6 % de la surface mouillée, classe forte).

La station aval de la Coise (S1), en zone à barbeaux, est, elle, riche en SGF, avec 20 % de la surface mouillée.

ii) Fonctionnalité de la SGF (SFR)

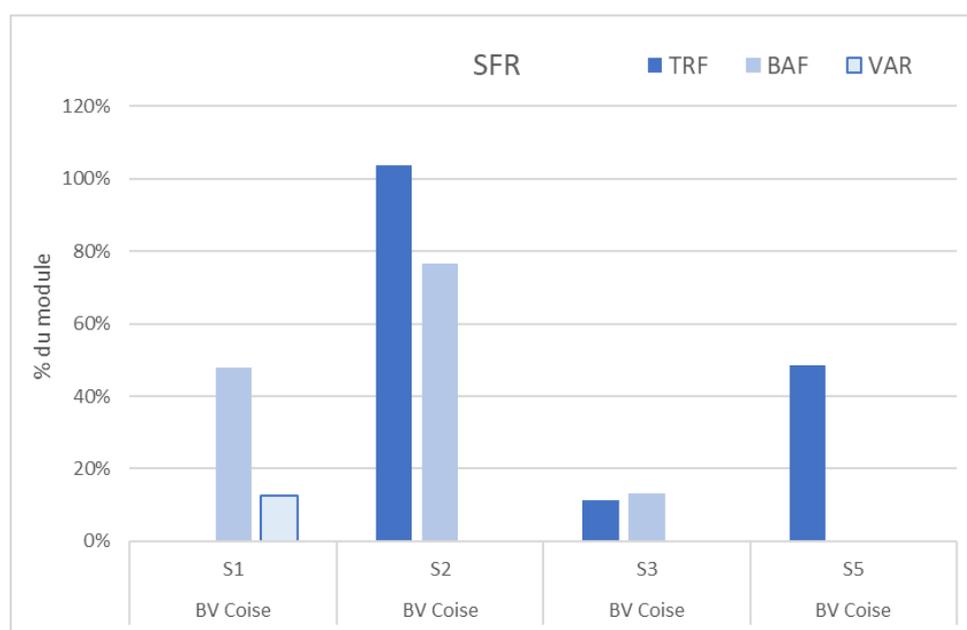


Figure 55 : Seuils de bon fonctionnement des zones de fraie (SFR) de la truite, du barbeau et de la vandoise, exprimé en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de la Coise (S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S5-Couzon-Cote Ratier)

Rappel : La SFR correspond aux zones granulométriquement et hydrauliquement favorables à la reproduction (SGF sous bonnes conditions de vitesse de courant et de profondeur pour la reproduction des espèces).

Pour la truite, les seuils de bon fonctionnement des zones de fraie se situent entre 11,4 % et 103,8 % du module sur **l'axe Coise et le Couzon**. Cette forte variabilité est en lien avec des positionnements différents de la SGF au sein de chacune des stations.

On retiendra donc des débits qui peuvent être conséquents pour assurer la fonctionnalité des zones de fraie des truites sur le bassin versant de la Coise. Toutefois, en novembre-décembre, période de reproduction des truites, ces niveaux de débits sont normalement atteints dans ces cours d'eau.

La variabilité inter-stationnelle de ce critère est également importante pour le barbeau avec des valeurs variant de 13 % (S3) à 76 % (S2) du module, pour une moyenne à 46% du module.

On retiendra donc aussi des débits qui peuvent être conséquents pour assurer la fonctionnalité des zones de fraie des barbeaux sur le bassin versant de la Coise. En mai-juin, période de reproduction des barbeaux, ces niveaux de débits sont normalement atteints. Cela peut cependant être « limite » en juin.

Enfin pour la vandoise en S1, les seuils de bon fonctionnement des zones de fraie est égal à 12,5 % du module, ce qui ne posera pas de problème en mars-avril.

iii) **Maintien en eau de la SGF**

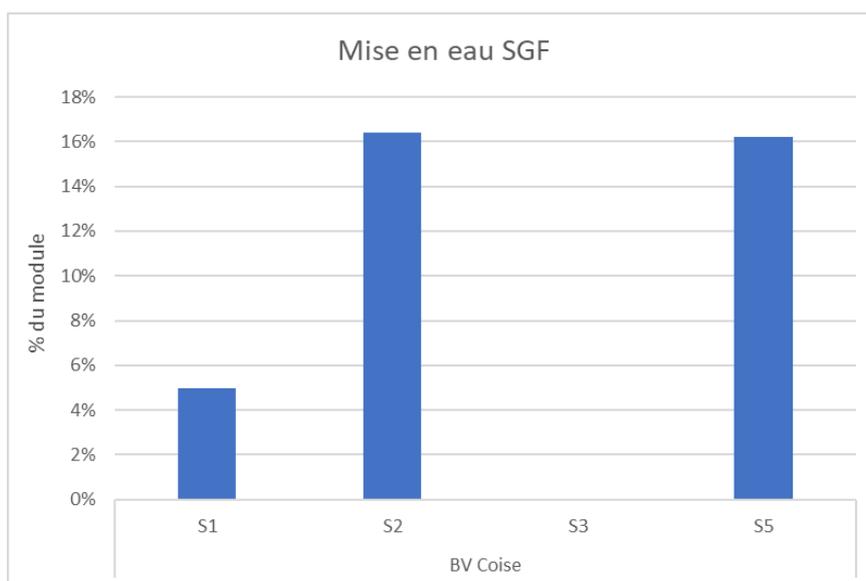


Figure 56 : Seuils de maintien en eau de la SGF exprimé en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de la Coise (S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S5-Couzon-Cote Ratier)

La SGF reste en eau quel que soit le débit en S3. Pour les autres stations, il faut entre 5 % et 16 % du module pour maintenir en eau les surfaces de graviers-petits galets qui abritent les œufs des différentes espèces de lithophiles, ce qui, en situation normale (moyenne statistique) ne posera pas de problème.

6.2.1.4. *Débits minimaux vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles*

i) **Chez la truite**

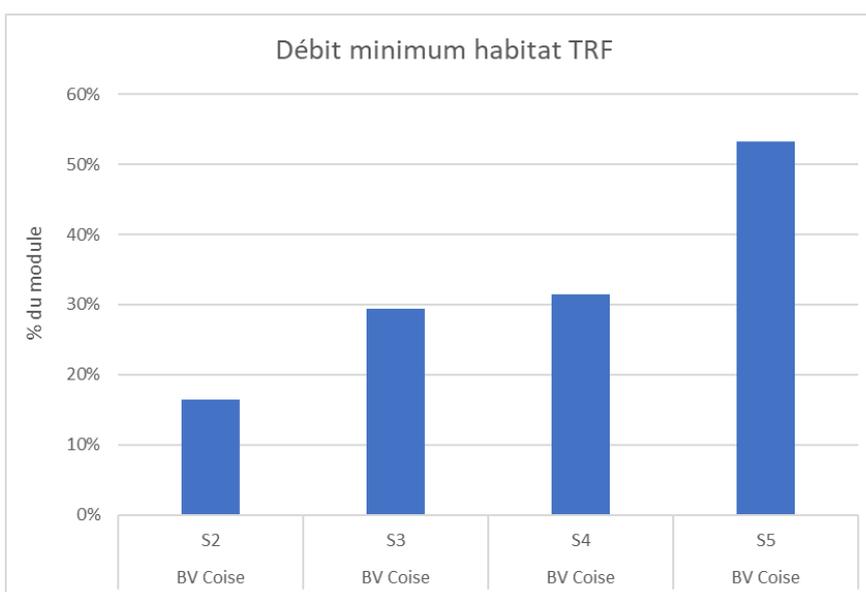


Figure 57 : Débits minimaux pour le maintien de conditions d'habitats correctes chez la truite, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de la Coise (S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret ; S4-Moulin Trunel ; S5-Couzon-Cote Ratier)

Sur l'axe **Coise**, les débits minimums permettant de préserver l'habitat des truites se situent entre 16 % et 31 % du module, soit des valeurs très supérieures aux étiages naturels du cours d'eau (QMNA2 de l'ordre de 8 % du module). **Sur le Couzon**, c'est même 53 % du module qu'il faut pour maintenir un habitat correct pour des truites adultes.

Les débits d'étiage apparaissent dès lors, et déjà en situation actuelle, très structurants pour les populations de truite.

ii) *Chez le barbeau*

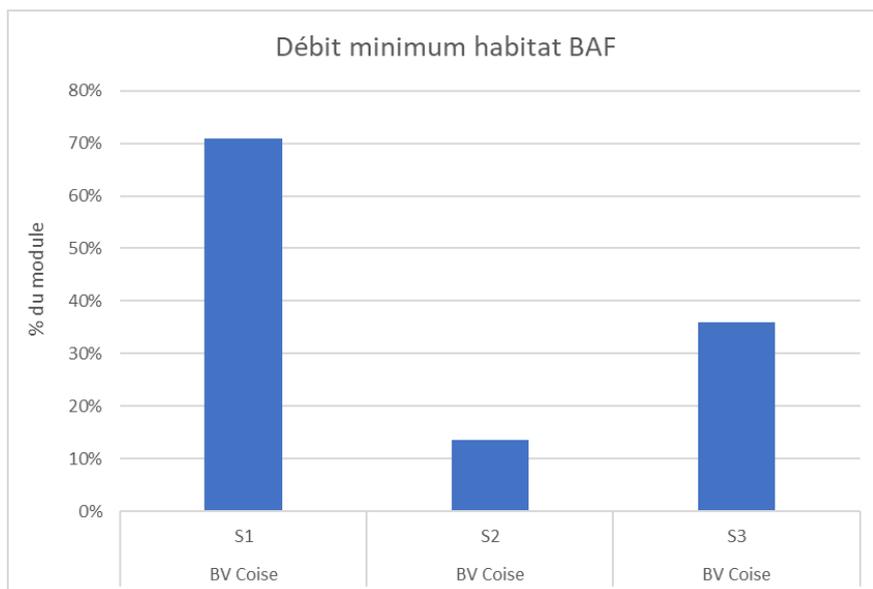


Figure 58 : Débits minimums pour le maintien de conditions d'habitats correctes chez le barbeau, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de la Coise (S1-Meylieu ; S2-Saint Galmier-Pt Romain ; S3-Le Bret)

A l'instar de la truite, les débits minimums permettant de préserver l'habitat des barbeaux, variant entre 13 % et 70 % du module (moyenne à 39%), sont **très supérieurs aux débits d'étiage** du cours d'eau et apparaissent donc, **d'ores et déjà, comme structurants vis-à-vis de la population de barbeau.**

6.2.1.5. Synthèse pour le bassin de la Coise

L'étude de l'habitat piscicole développée sur le bassin de la Coise a permis de mettre en évidence :

- Des déplacements des poissons au niveau des radiers **difficiles voire impossibles en conditions d'étiage** (il faut des débits entre 1 et 2 fois le QMNA2 pour que les poissons circulent sans problème). Or la conservation de ces possibilités de déplacements sont d'autant plus nécessaires sur ce bassin que les eaux de l'axe Coise peuvent être considérées comme « chaudes » en période estivale par rapport aux exigences biologiques de la truite et que celle-ci doit pouvoir se déplacer vers des refuges thermiques pour plus de résilience.

- Une reproduction qui pour se faire dans des conditions correctes peut nécessiter des débits de l'ordre du module pour les truites, et de l'ordre de 75% du module pour les barbeaux. Aux périodes de reproduction de ces espèces (novembre-décembre et mai-juin) et en hydrologie normale, cela ne doit pas être problématique.
- Le maintien en eau dans la durée des zones de fraie nécessite au plus 16% du module, ce qui n'est pas non plus une difficulté en hydrologie normale de novembre à juin.
- En revanche, pour préserver un habitat physique correct pour des poissons adultes, il faudrait maintenir, a minima, en moyenne pour la truite 26% du module sur l'axe Coise, et 53% du module sur de petits affluents comme le Couzon. Pour le barbeau, il faudrait a minima 39% du module sur la Coise. **D'ores et déjà, ces débits ne sont pas disponibles** sur le bassin de la Coise, **en hydrologie normale**, durant **une large période estivale**. Et c'est cette contrainte qui est structurante pour les populations piscicoles.

6.2.2. Bassin du Lignon

6.2.2.1. Disponibilités en caches

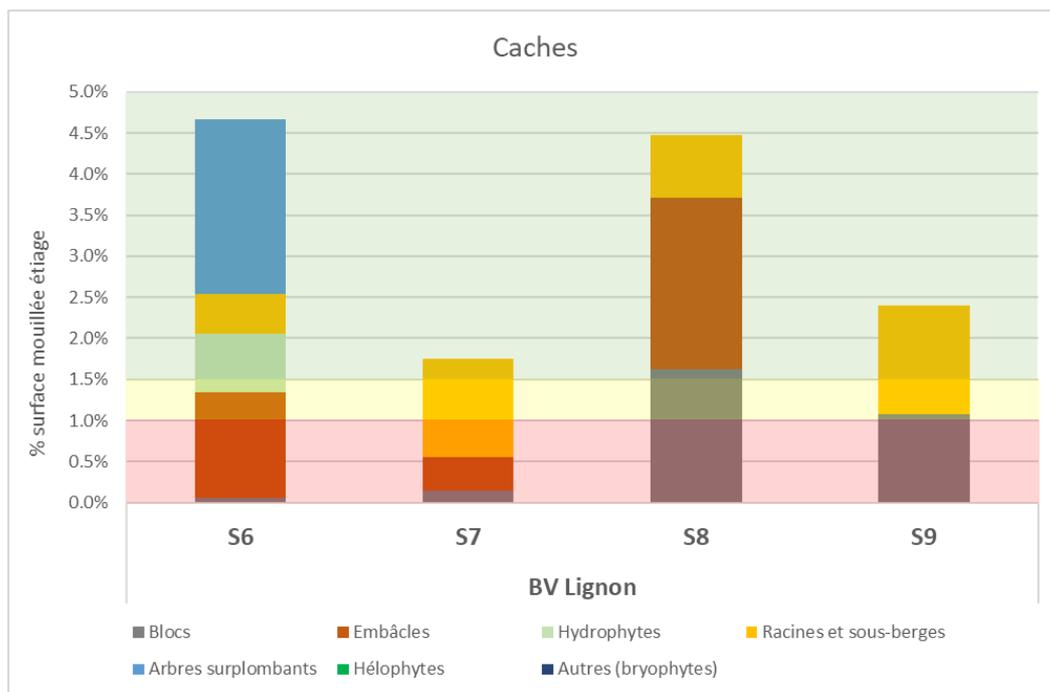


Figure 59 : Pourcentages de caches selon le type d'abris sur les stations du bassin versant du Lignon (surface par rapport à la surface mouillée de la station à l'étiage) (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

La quantité de caches disponibles peut être systématiquement considérée comme forte sur le Lignon, avec des proportions variant entre 1,7 % et 4,7 % de la surface mouillée à l'étiage. Les 2 stations les mieux pourvues sont les stations S6 (gamme dominante de type arbres surplombants – 45,6 %) et S8 (gamme dominante de type embâcle – 46,4%) alors qu'un peu moins de caches sont disponibles en S7 (gamme dominante de type racines et

sous-berges – 68,3%) et S9 (gammes dominantes de types racines et sous-berges – 54,9 % et blocs – 45,1 %).

6.2.2.2. Possibilités de déplacement

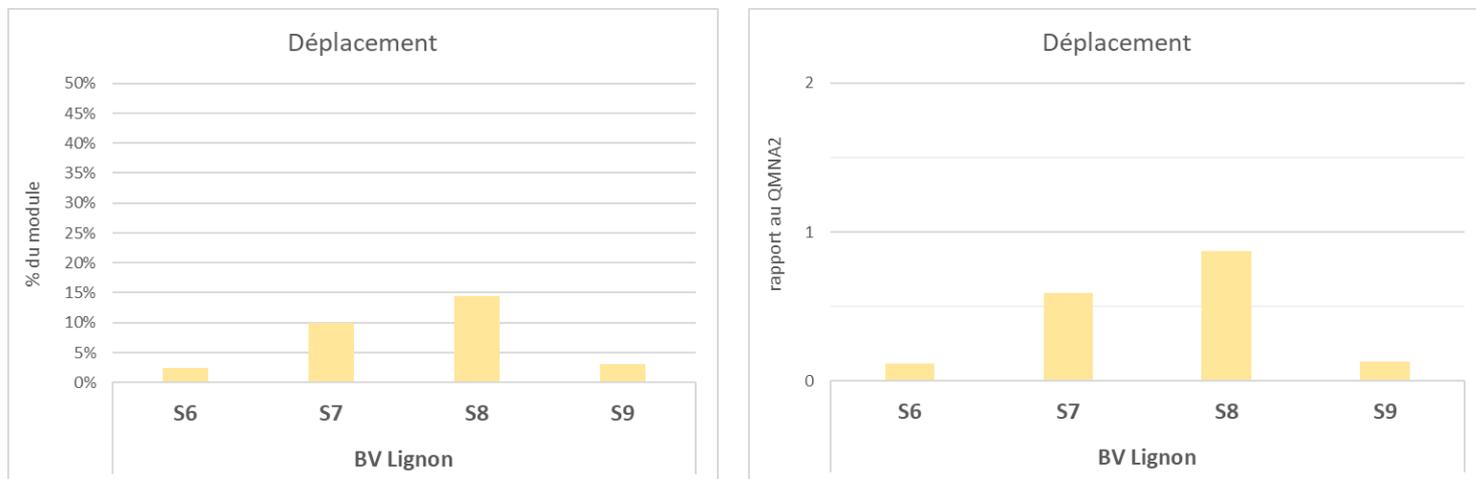


Figure 60 : Débits permettant d'assurer le déplacement des poissons sur le bassin versant du Lignon (exprimés en % du module et % du QMNA2) (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

Les possibilités de déplacement des poissons au niveau des radiers sont possibles pour des valeurs de débits comprises **entre 2,5 % et 14,5 % du module sur le Lignon**. Il s'agit de **valeurs de débit inférieures au QMNA2** (ratios inférieurs à 1), ce qui sous-entend des possibilités de déplacement quasi-systématiquement conservées lors des étiages.

Cela a bien entendu son importance sur ce cours d'eau, dont les températures peuvent être considérées comme limitantes pour les populations de salmonidés en aval de Sail-sous-Couzan (FDAAPPMA 42, 2024).

6.2.2.3. La reproduction des poissons lithophiles

i) Quantité de SGF

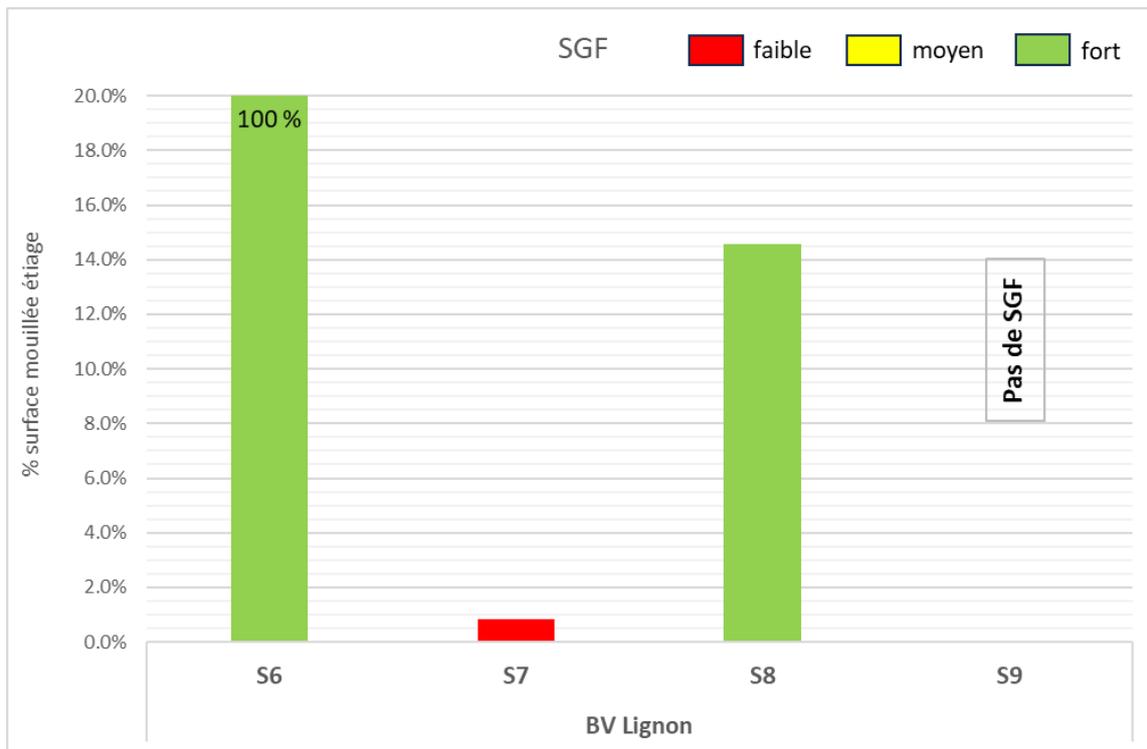


Figure 61 : Quantités de SGF en pourcentage de la surface mouillée sur les stations du bassin versant du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

La variabilité de la disponibilité en SGF est très importante selon les stations sur le Lignon.

Pratiquement la totalité de la station de Poncins (S6) peut être considérée comme de la SGF. C'est moins de 1 % de la surface mouillée de SGF en S7 à Saint-Agathe, ce qui est faible, 14,5 % de SGF en S8 (Trelins), soit abondance forte en granulométrie favorable à la reproduction des poissons lithophiles, et en revanche pas SGF sur la station de Sail-sous-Couzan (S9), probablement en lien avec une morphologie de cours d'eau peu naturelle sur la station (secteur rectiligne et berges enrochées entre logements et stade de football).

Ce constat montre que les poissons peuvent avoir à se déplacer pour accéder à leurs sites de reproduction sur ce cours d'eau et donc qu'il faut que le débit le leur permette. Le paragraphe précédent conduit à conclure qu'en période de pré-reproduction des truites ou des ombres (des barbeaux), il n'y aura pas de problème de circulation des poissons sur le linéaire libre du Lignon (problématique à regarder en revanche au cas par cas au niveau des obstacles liés aux activités humaines).

Ce constat suppose aussi que, sur certains secteurs du Lignon, la fonctionnalité des sites de fraie existants, quantitativement réduits, doit être préservée.

ii) Fonctionnalité de la SGF (SFR)

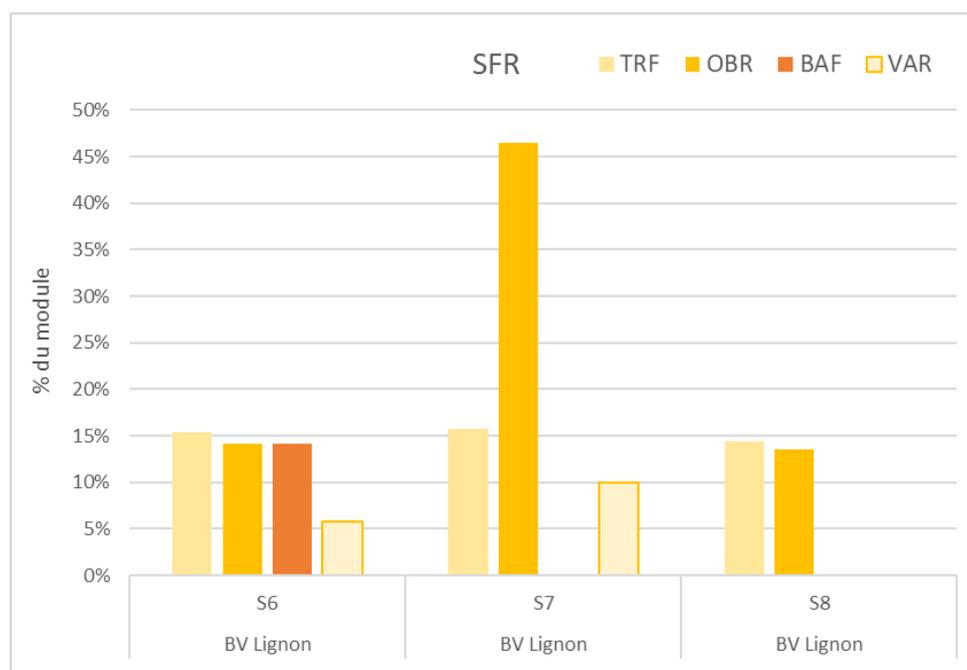


Figure 62 : Seuils de bon fonctionnement des zones de fraie (SFR) de l'ombre, de la truite, du barbeau et de la vandoise, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins)

Pour la **truite**, les **seuils de bon fonctionnement des zones de fraie** se situent autour de **15 % du module** sur les 3 stations possédant de la granulométrie favorable à la fraie investiguées.

De telles valeurs sont également observées **chez l'ombre** en S6 (cas du barbeau identique sur cette station) et S8, avec respectivement des **seuils de bon fonctionnement des zones de fraie à 14,1 % et 13,5 % du module**. Sur la station S7, à Saint-Agathe, le seuil de bon fonctionnement des zones de fraie de l'ombre est plus élevé, égal à 46,4 % du module.

Comme sur la Coise, les besoins en débit de la vandoise pour un bon fonctionnement de ses zones de fraie sont plus faibles que pour les espèces truite, ombre et barbeau, avec des valeurs inférieures à 10 % du module.

On retiendra donc des débits, qui, même s'ils peuvent être conséquents pour assurer la fonctionnalité de zones de fraie de l'ombre dans certains cas (représentés par la S7 ici), ne poseront pas, en hydrologie normale, de difficultés pour la reproduction des truites en novembre-décembre, des ombres ou de la vandoise en mars-avril, ni même du barbeau en mai-juin.

On peut en revanche se poser la question, pour la truite mais surtout pour l'ombre, dans le cas de débits réservés de l'ordre de 10 % du module. Et ceci d'autant plus lorsque les places de fraie sont rares (cas de notre station S7 par exemple).

iii) Maintien en eau de la SGF

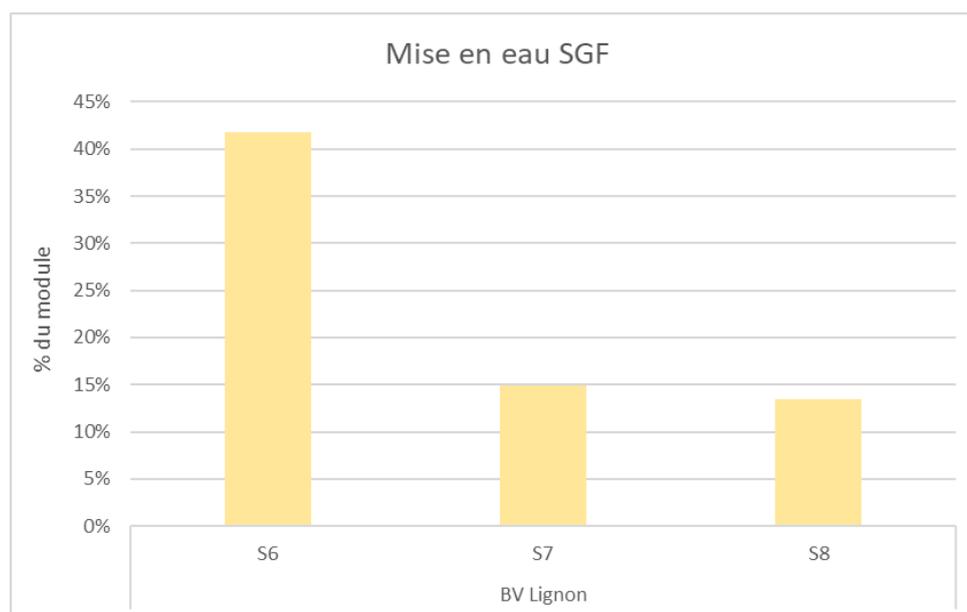


Figure 63 : Seuils de maintien en eau de la SGF exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins)

En S7 et S8¹⁰, il faut 15 % et 13 % du module pour maintenir en eau les surfaces de graviers-petits galets qui abritent les œufs des différentes espèces de lithophiles. En S6 par contre (Poncins, station la plus aval), il faudrait 42 % du module pour maintenir correctement en eau le lit du Lignon et sa SGF.

En hydrologie normale (moyenne statistique), pour la zone à truite et à ombre, de décembre jusqu'au mois de mai (vie sous graviers des œufs et larves jusqu'à l'émergence des alevins d'ombre), les frayères devraient facilement restées en eau (débits moyens mensuels supérieurs au module). Même en S6, secteur aval du Lignon, et pour les barbeaux (ce qui veut dire un maintien en eau de la SGF jusqu'en juin), l'hydrologie « normale » fournit les 42% du module nécessaire jusqu'en juillet, ce qui doit éviter les problèmes.

¹⁰ Rappelons qu'il n'y a pas de SGF sur la station S9.

6.2.2.1. Débits minimums vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles

i) Chez l'ombre commun

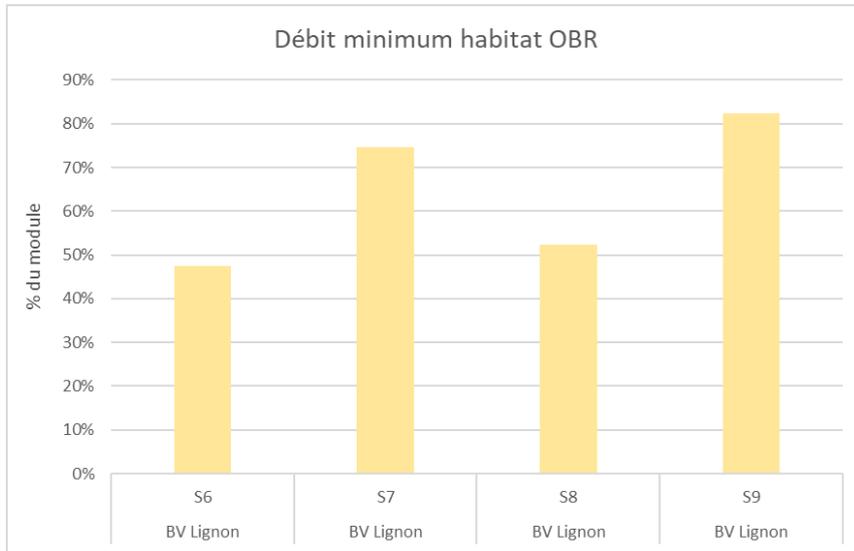


Figure 64 : Débits minimums pour le maintien de conditions d'habitats correctes chez l'ombre, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

Sur le bassin versant du Lignon, les débits minimums permettant de préserver l'habitat des ombres se situent entre 47,5 % et 82,4 % du module, avec une moyenne égale à 64,2 % du module. En conséquence, **les débits d'étiage**, de l'ordre de 17-20 % du module pour le QMNA2, apparaissent, **d'ores et déjà, très limitants** pour la population d'ombre du Lignon **en contraignant très largement son habitat** (et les débits réservés de 10% module encore plus).

ii) Chez la truite

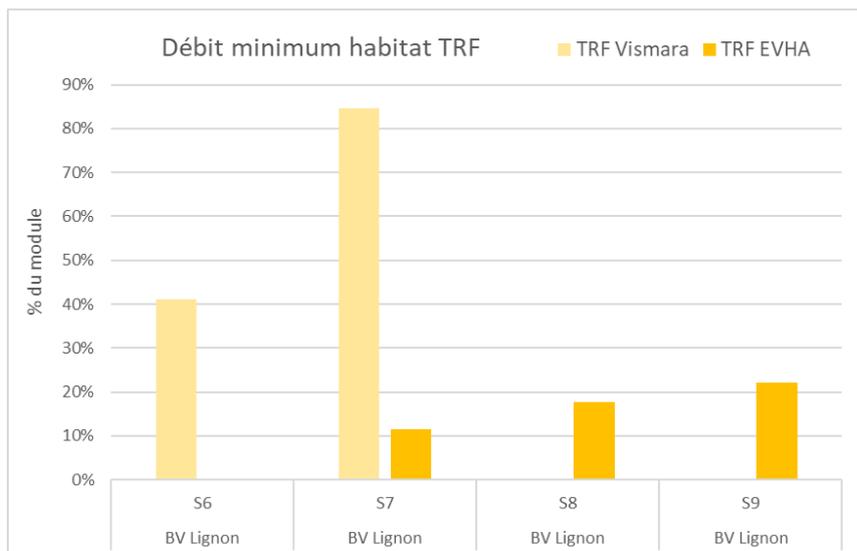


Figure 65 : Débits minimums pour le maintien des conditions d'habitats correctes chez la truite exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

Chez la truite, 2 modèles biologiques ont été développés sur le Lignon. Les besoins en matière de débit des grandes truites (Vismara et al., *op.cit*) sont plus importants que pour les truites de taille moyenne (modèle classique EVHA).

Ainsi, les débits minimums permettant de préserver des conditions d'habitat correctes pour les **grandes truites** se situe **entre 41 % et 84 % du module** (partie aval du Lignon, stations S6 et S7). Pour les **truites de taille moyenne**, les débits minimums permettant de préserver des conditions d'habitat correctes varient de **11 % à 22 % du module pour une moyenne à 17 % du module**.

Les débits d'étiage du Lignon sont donc **clairement limitants** pour les **grandes truites du Lignon aval**. Ils sont **moins (ou pas) pénalisants** pour les **truites de taille moyenne** au niveau des **stations médianes et amont**.

iii) Chez le chabot

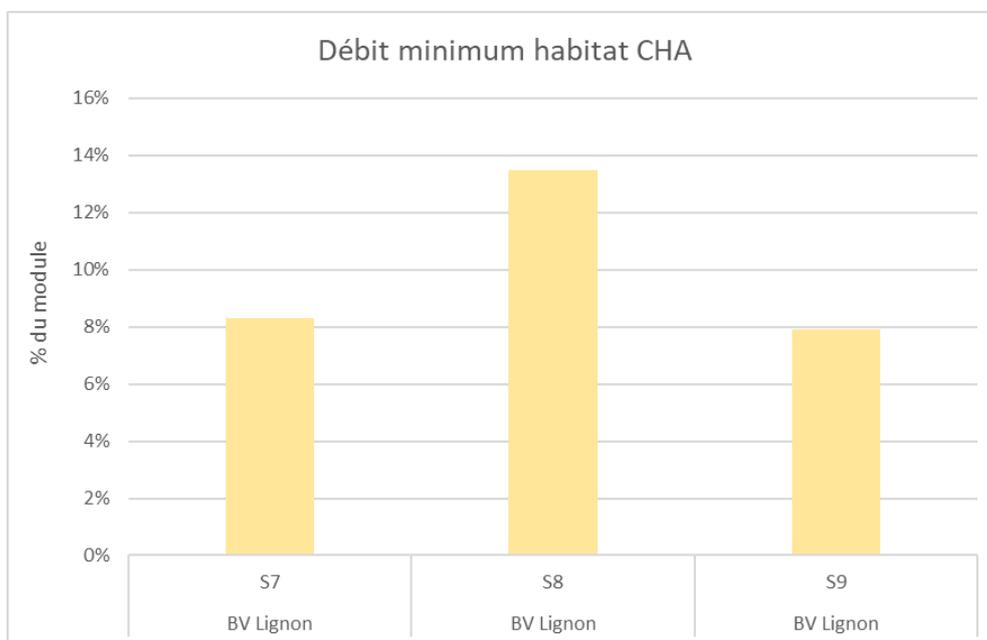


Figure 66 : Débits minimums pour le maintien des conditions d'habitats correctes chez le chabot, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant du Lignon (S7-Lignon Sainte Agathe ; S8-Lignon Trelins ; S9-Lignon Sail sous Couzan)

Les débits minimums permettant de préserver des conditions d'habitat correctes pour le chabot varient entre 8 % et 13 % du module sur les stations qu'il est sensé coloniser. **Les débits d'étiage actuels du cours d'eau octroient donc une quantité d'habitat correcte à cette espèce.**

iv) Chez les cyprinidés d'eaux vives

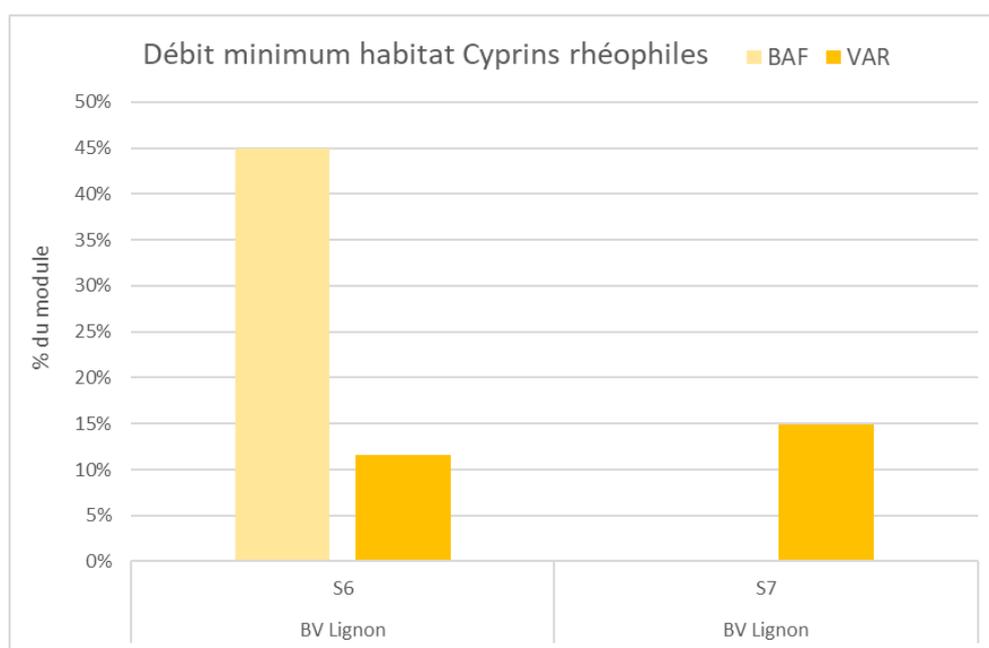


Figure 67 : Débits minimums pour le maintien de conditions d'habitats correctes chez le barbeau et la vandoise exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant du Lignon (S6-Lignon Poncins ; S7-Lignon Sainte Agathe)

Le débit minimal permettant de préserver correctement **l'habitat des barbeaux** est égal à **45 % du module en S6** (secteur du Lignon qui lui convient typologiquement). On retombe ici sur des valeurs que l'on a pu obtenir pour l'ombre ou les grandes truites (cohérence fonction de la taille des poissons). Le schéma est donc, encore une fois, **des débits d'étiage qui sont d'ores et déjà très limitants** vis-à-vis de **l'habitat physique** disponible pour les **adultes de cette espèce**.

Pour la **vandoise**, les débits minimums préservant son habitat physique sont de **11,6 %** du module en S6 et de **14,9 %** du module en S7, valeurs qui se situent en dessous des débits d'étiage actuels du cours d'eau.

6.2.2.2. Synthèse pour le bassin du Lignon

L'étude de l'habitat piscicole développée sur le bassin du Lignon a permis de mettre en évidence :

- Des déplacements des poissons au niveau des radiers possibles pour des valeurs de débits comprises entre 2,5 % et 14,5 % du module sur le Lignon. Il s'agit de **valeurs de débit inférieures au QMNA2**, ce qui sous-entend des possibilités de déplacement conservées même lors des étiages. C'est important pour ce cours d'eau, dont les températures peuvent être considérées comme limitantes pour les populations de salmonidés en aval de Sail-sous-Couzan (FDAAPPMA 42, 2024).
- Une reproduction qui pour se faire dans des conditions correctes va nécessiter des débits de l'ordre 15 % du module pour les truites, les barbeaux, de 13 à 46 % du module

pour l'ombre, et moins de 10% du module pour la vandoise. **Aux périodes de reproduction de ces espèces et en hydrologie « normale », cela ne doit pas être problématique pour la reproduction** des truites en novembre-décembre, des ombres ou de la vandoise en mars-avril, ni même du barbeau en mai-juin.

- Le maintien en eau dans la durée des zones de fraie (de la SGF) nécessite au plus 15 % du module pour la zone truite et ombre et jusqu'à 42 % du module pour la zone à barbeau du Lignon aval. **En hydrologie « normale »** (moyenne statistique), pour toutes les zones, truite, ombre et barbeau, de décembre jusqu'au mois de juin (vie sous graviers des œufs et larves jusqu'à l'émergence des alevins de barbeau), **les frayères devraient rester en eau** (assez largement pour les truites et ombres).
- En revanche, pour préserver **un habitat physique correct** pour des poissons adultes, il faudrait maintenir, a minima, en moyenne **64% du module** pour **l'ombre d'Auvergne**, hautement patrimonial, **62%** du module pour les **grandes truites** de la partie aval du Lignon ou encore **45%** du module pour **le barbeau**. **Ces débits ne sont pas disponibles** sur le bassin du Lignon, **en hydrologie normale**, durant **une large période estivale**. **Cette contrainte est donc d'ores et déjà très structurante pour ces populations piscicoles**.
- Pour le chabot, la vandoise et les truites de taille moyenne, les étiages normaux actuels du Lignon ne sont pas trop pénalisants vis-à-vis de l'habitat physique des adultes.

6.2.3. Bassin de l'Aix

6.2.3.1. Disponibilités en caches

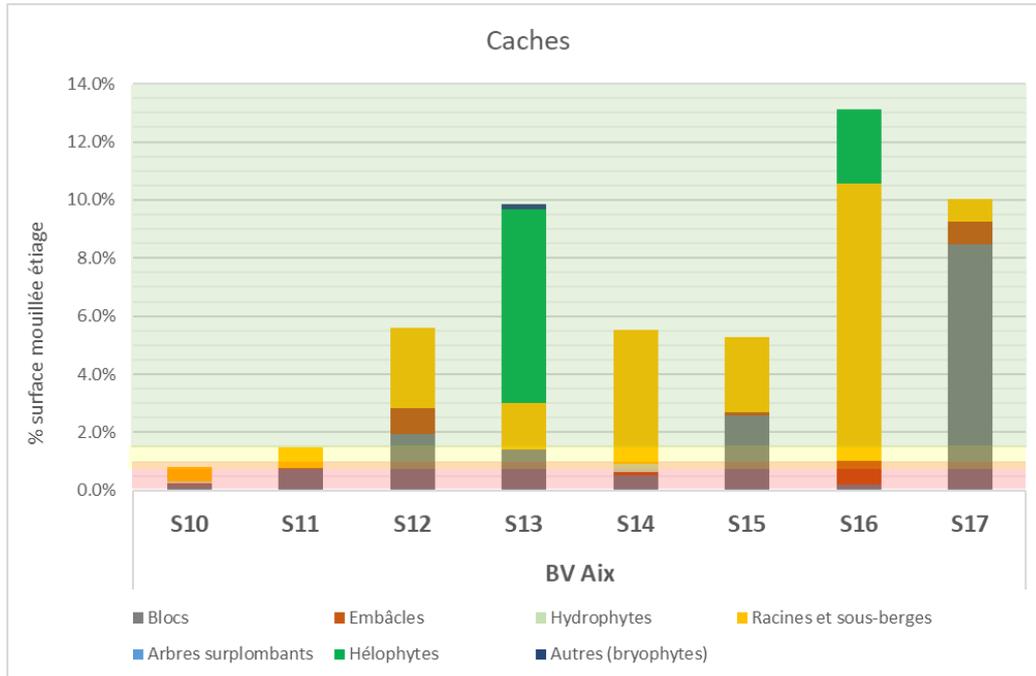


Figure 68 : Pourcentages de caches selon le type d'abris sur les stations du bassin versant de l'Aix (surface par rapport à la surface mouillée de la station à l'étiage)

(S10-Aix Les Sigauds ; S11-Aix Château d'Aix ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

La quantité de caches disponibles est systématiquement très forte sur le haut du bassin de l'Aix (S12 à S17), avec des valeurs variant de **5,3 % et 13,1 %** de la surface mouillée. Sans rentrer dans les détails, on constate que les abris de type racines et sous-berges (en S12, S14 et S16 notamment) et les abris de type blocs (en S12, S15 et S17 notamment) sont les types d'abris dominants. La station S13 (Isable Blanchardon) fait un peu exception car elle présente une proportion dominante (67,4 %) d'abris de type hélophytes.

Les stations aval du bassin (S10 et S11 sur la rivière Aix elle-même) sont moins bien pourvues en caches, avec respectivement 0,8 % et 1,49 % de la surface mouillée à l'étiage, ce qui est **faible en S10 et en limite supérieure de la classe moyenne en S11.**

6.2.3.2. Possibilités de déplacement

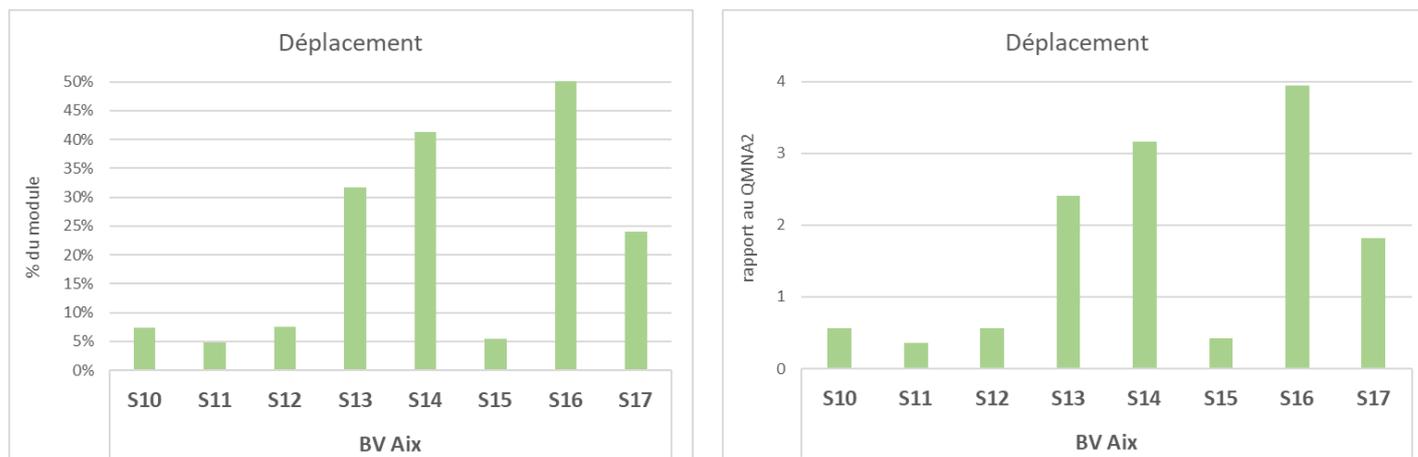


Figure 69 : Débits permettant d'assurer le déplacement des poissons sur le bassin versant de l'Aix (exprimés en % du module et % du QMNA2)

(S10-Aix Les Sigauds ; S11-Aix Château d'Aix ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

Les déplacements des poissons et notamment des truites sont possibles pour des valeurs de débits comprises entre 4,8 % et 51 % du module sur le bassin de l'Aix, avec une différence importante entre l'amont et l'aval du bassin, en relation avec les pentes de chacune des stations.

Ainsi, **pour S10 à S12** (stations aval du bassin), les déplacements des poissons sont possibles pour une **valeur moyenne de 6,6 % du module contre 37 % du module en moyenne pour les stations en tête de bassin (sauf S15)**.

Ramenées au QMNA2, ces valeurs demeurent **inférieures à 1 sur l'aval du bassin** ce qui sous-entend que les poissons (et notamment les truites en S11) vont pouvoir se déplacer même en période d'étiage pour accéder à des zones de refuge thermique.

Les possibilités de déplacement sont la plupart du temps **impossible en période d'étiage sur l'amont du bassin**, mais cela est beaucoup moins préjudiciable aux populations de truite qui bénéficient d'eaux généralement fraîches toute l'année sur ces cours d'eau. En revanche, elles auront probablement à se déplacer en automne pour se rendre sur des zones de fraie. Mais à cette période de l'année (octobre, début novembre), l'hydrologie plus soutenue (et supérieure en « normale » à 50 % du module) autorisera ces déplacements.

6.2.3.3. La reproduction des poissons lithophiles

i) Les quantités de SGF



Figure 70 : Quantités de SGF en pourcentage de la surface mouillée sur les stations du bassin versant de l'Aix (S10-Aix Les Sigauds ; S11-Aix Château d'Aix ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

La variabilité de la disponibilité en SGF est importante selon les stations sur le bassin de l'Aix. Il n'y a pas de SGF sur la station S11 (Aix - les Sigauds) alors que les abondances varient de 1,9 % à plus de 18 % de la surface mouillée à l'étiage sur les autres stations. Ces quantités de SGF peuvent être considérées comme fortes ou en limite supérieure de la classe moyenne en S15 (Boën - Chambodut) et S17 (Ban - Labouré). Globalement donc, et en dehors de la station S10, **l'Aix et ses affluents sont plutôt bien pourvus en granulométrie favorable à la reproduction des poissons lithophiles**, et en premier lieu de la truite.

ii) *Fonctionnalité de la SGF (SFR)*

Figure 71 : Seuils de bon fonctionnement des zones de fraie (SFR) du barbeau et de la truite, exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de l'Aix (S10-Aix Les Sigauds ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

Sur la partie amont du bassin, pour l'Isable au Trouillet et le Boën à Pierre belle, un débit de moins de **20 % du module** permettra un bon fonctionnement hydraulique des zones de fraie des truites, ce qui en novembre-décembre ne sera aucunement problématique.

Pour les autres stations du haut bassin de l'Aix, il faut par contre des débits plus importants pour assurer un bon fonctionnement hydraulique des zones de fraie, soit en simplifiant entre **le module et la moitié du module**. En hydrologie normale, cela passe facilement pour le mois de décembre. En novembre, c'est moins évident avec des débits qui peuvent être inférieurs au module environ 60 % du temps.

Pour le barbeau sur la partie basse de l'Aix (S10 - Les Sigauds), la fonctionnalité des zones potentielles de fraie est assurée pour un débit d'environ **40 % du module**, ce qui ne devrait pas être problématique en mai-juin.

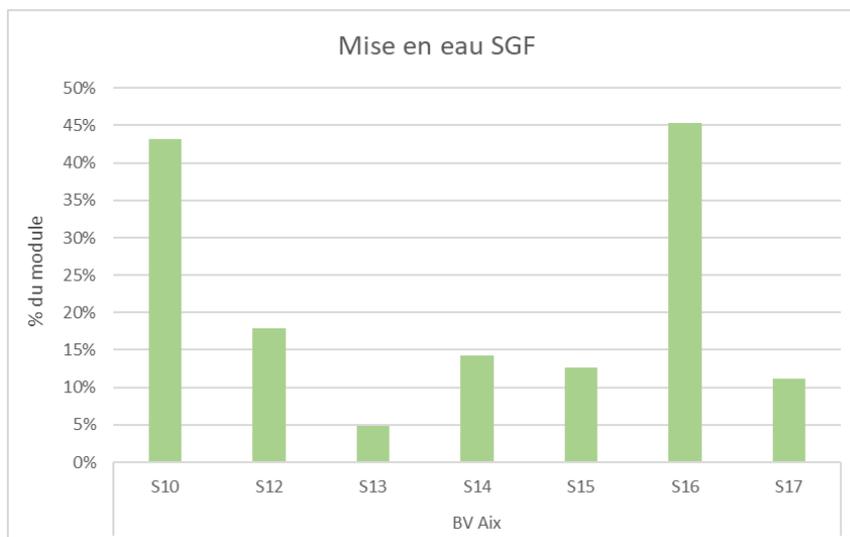
iii) *Maintien en eau de la SGF*

Figure 72 : Seuils de maintien en eau de la SGF exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de de l'Aix (S10-Aix Les Sigauds ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

Les débits de maintien en eau de la SGF vont :

- de **5 % à 20 % du module** (et exceptionnellement 45 % du module à S16 – Boën à Pierre belle) pour la « zone **truite** », ce qui entre novembre et mai, en hydrologie « normale » est très généralement satisfait ;
- **43 % du module** en « zone **barbeau** » (S10 – Les Sigauds), ce qui ne pose pas de problème en mai et est satisfait 57 % du temps en juin.

6.2.3.4. Débits minimums vis-à-vis de l'habitat physique des espèces-cibles

i) Chez la truite

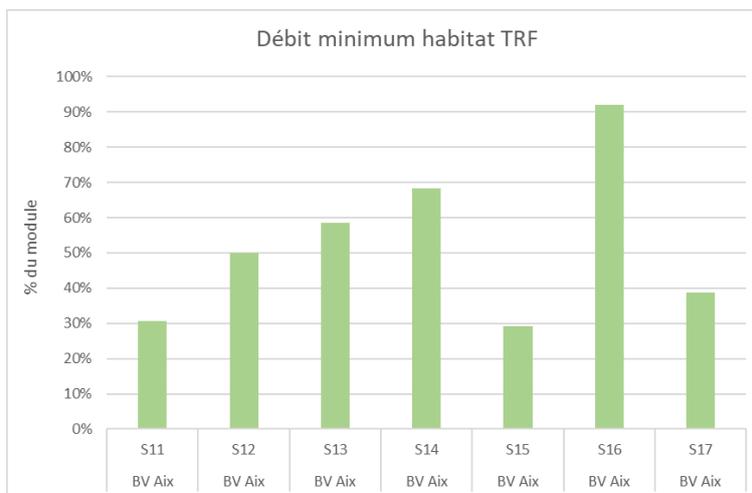


Figure 73 : Débits minimums pour le maintien des conditions d'habitats correctes chez la truite exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de l'Aix

(S11-Aix Château d'Aix ; S12-Isable Le Trouillet ; S13-Isable Blanchardon ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut ; S16-Boën Pierre Belle ; S17-Ban Labouré)

Les débits minimums permettant de préserver des conditions d'habitat correctes pour les **truites adultes de l'Aix** se situe **entre 29 % et 92 % du module** (moyenne sur 7 stations à 53% du module).

Ces valeurs sont très supérieures aux débits d'étiage actuels de ces cours d'eau (QMNA2 avoisinant les 13 % du module). **Ces derniers sont donc d'ores et déjà les facteurs très structurants des populations de truite du bassin de l'Aix.**

ii) Chez le chabot

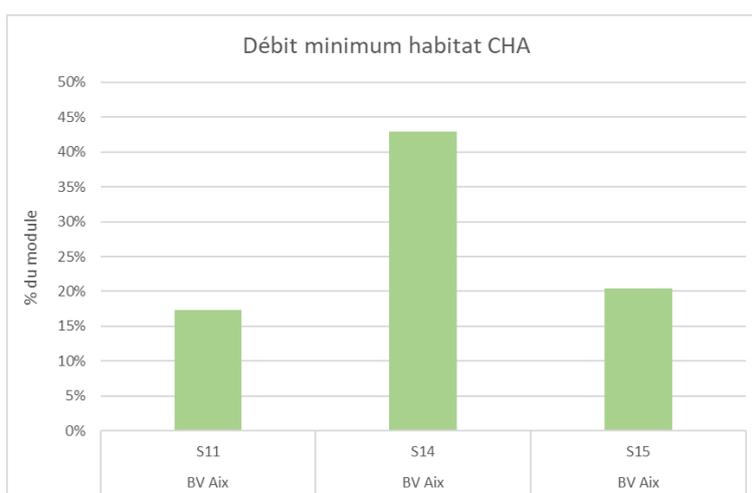


Figure 74 : Débits minimums pour le maintien des conditions d'habitat chez le chabot exprimés en pourcentage du module sur les stations du bassin versant de l'Aix (S11-Aix Château d'Aix ; S14-Noyer Chez Bras ; S15-Boën Chambodut)

Les débits minimaux permettant de conserver l'habitat du chabot varient entre 17 % et 43 % du module selon les stations. Ici aussi, les **débits d'étiage actuels du cours d'eau viennent limiter la quantité d'habitat disponible pour cette espèce.**

iii) Chez l'ombre

La population d'ombre de l'Aix est une **population** d'ombre commun (*Thymallus thymallus*) introduite et à ce titre présente un caractère moins patrimonial que celle du Lignon. Il est historiquement présent sur l'Aix à Grézolles (S11) entre 2008 et 2022 mais n'a pas été échantillonné en 2023.

Le débit minimum permettant de préserver l'habitat de cette espèce est égal à 82,5% du module, soit une valeur proche des plus fortes valeurs observées sur le bassin versant du Lignon (72,6 % en S7 et 82,4 % en S9).

Encore plus que sur le Lignon, **les débits d'étiage de l'Aix** (QMNA2 égal à 13 % du module) apparaissent donc comme **très limitants pour cette population d'ombre.**

iv) Chez les cyprinidés d'eaux vives

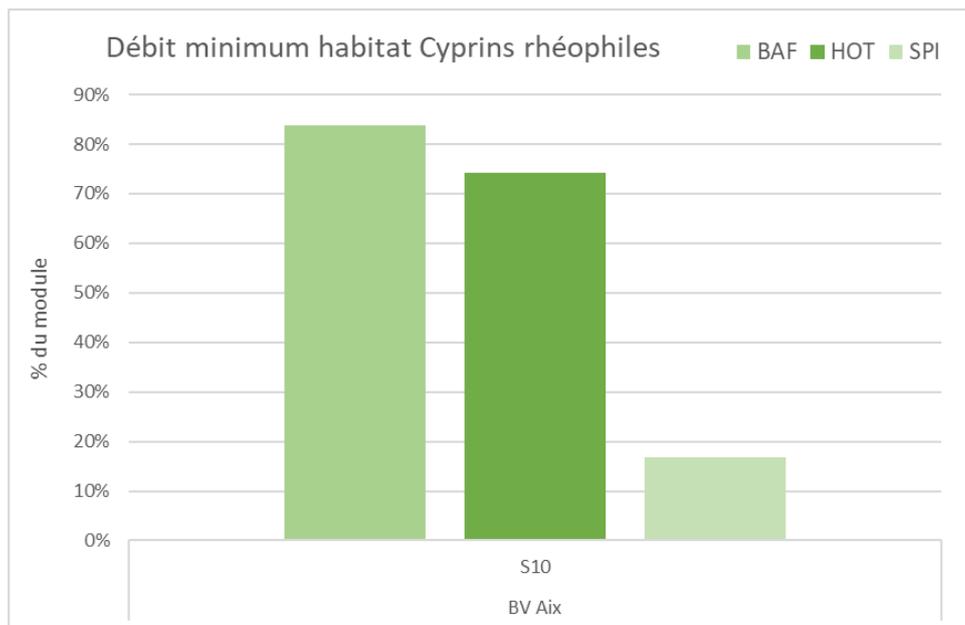


Figure 75 : Débits minimums pour le maintien de conditions d'habitats correctes chez le barbeau, le hotu et le spirin exprimés en pourcentage du module sur l'Aix à « Les Sigauds » (S10)

Le **barbeau** est l'espèce la plus exigeante en débit vis-à-vis de son habitat physique. Le débit minimum pour le préserver pour cette espèce est égal à près de **84 % du module**. Les besoins du **hotu** sont proches avec un débit minimum pour octroyer un habitat physique correct de **74 % du module**.

Pour ces deux espèces de **cyprinidés de grande taille et d'eau vive**, les étiages sont donc **des périodes de fortes contraintes sur l'habitat physique disponible.**

Pour le spirilin, qui apprécie également les eaux courantes, mais dont la taille à l'âge adulte est bien inférieure à celle du barbeau ou du hotu, le débit minimum qui permet de préserver un habitat physique correct est de **16,8 % du module**. Soit une valeur bien plus proche des débits d'étiage de l'Aix. Cette espèce est donc moins pénalisée par les étiages actuels, qui constituent cependant une contrainte pour son habitat physique et d'autant plus s'ils sont sévères.

6.2.3.5. Synthèse pour le bassin de l'Aix

L'étude de l'habitat piscicole développée sur le bassin de l'Aix a permis de mettre en évidence :

- **Que les déplacements des poissons sont possibles sur l'aval du bassin même pour les débits d'étiage.** Pour les truites encore présentes sur ces secteurs (S10, S11), cela suppose qu'elles pourront se déplacer vers de meilleures conditions thermiques si besoin en été. Elles se déplaceront aussi plus facilement encore en période automnale (plus d'eau) à la recherche de place de fraie s'il n'y en a pas à proximité (S11).
- En revanche, les possibilités de déplacement sont la plupart du temps **impossible en période d'étiage sur l'amont du bassin**. Mais **si l'eau y reste fraîche**, c'est moins préjudiciable pour les populations de truite. Elles devront par contre se déplacer en automne pour **atteindre des zones de fraie**. **A cette période de l'année** (octobre, début novembre), **l'hydrologie plus soutenue** et supérieure en hydrologie « normale » à 50% du module) **autoriser ces déplacements**.
- Une reproduction qui pour se faire dans des conditions correctes va nécessiter des débits allant de 20 % à 100% du module selon les stations pour la truite. En novembre-décembre, les statistiques hydrologiques indiquent que ces débits sont disponibles la plupart du temps. Pour le barbeau sur la partie basse de l'Aix, la fonctionnalité des zones de fraie est assurée pour un débit d'environ 40 % du module, ce qui là encore ne devrait pas être problématique en mai-juin.
- Le maintien en eau dans la durée des zones de fraie (de la SGF) nécessite au plus 20% du module pour la zone truite (avec une exception sur une station à 45% du module) et jusqu'à 43% du module pour la zone à barbeau de l'Aix aval. **En hydrologie « normale »** (données statistiques), de novembre-décembre jusqu'au mois de juin (vie sous graviers des œufs et larves jusqu'à l'émergence des alevins de barbeau), **les frayères devraient rester en eau**.
- En revanche, pour préserver **un habitat physique correct** pour des poissons adultes, il faudrait maintenir, a minima, en moyenne **53% du module** pour la **truite**, **27%** pour le **chabot**, **82%** pour **l'ombre**, plutôt sur la partie amont de l'Aix, et autour de **80%** du module pour les **barbeaux et hotus** de la partie aval de l'Aix ou même **16%** du module pour le **spirilin** toujours dans cette partie aval de l'Aix. **Ces débits ne sont pas disponibles** sur le bassin l'Aix, durant **une large période estivale**. **Cette contrainte des faibles débits estivaux est d'ores et déjà très structurante pour les populations piscicoles**.

7. RELATION HABITATS – ABONDANCES DES POPULATIONS PISCICOLES

Si l'on ne doit retenir qu'une chose des études de microhabitats présentées précédemment, c'est le fait que les étiages actuels des cours d'eau étudiés se situent dans la partie la plus pentue des courbes de l'évolution des quantités d'habitat physique disponibles avec le débit (revoir l'exemple ci-dessous)

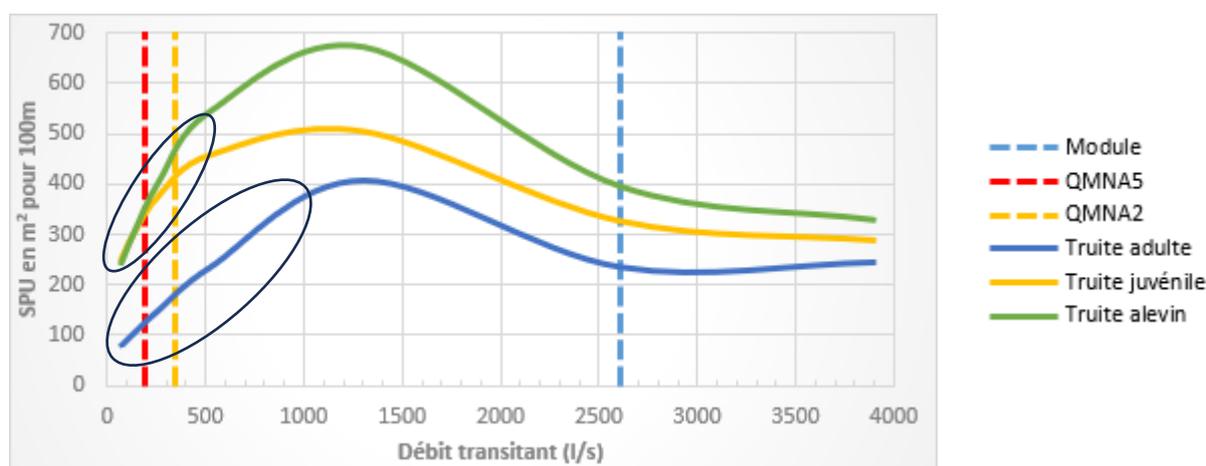


Figure 76 : Evolution de l'habitat physique disponible pour les truites sur la station Aix à « Château d'Aix » (S11). Les ellipses matérialisent la partie la plus pentue des courbes dans laquelle se positionnent les niveaux des débits d'étiage.

Cela veut dire que **les étiages actuels** déterminent la quantité d'habitat physique (proxy de la capacité d'accueil) **minimale** disponible pour les poissons, et que **chaque fois qu'ils se réduisent** un peu plus, **on perd très rapidement de l'habitat** pour les poissons.

L'objet de cette partie va être **d'examiner la relation habitat – abondance des poissons** à partir des données récoltées par FDAAPPMA42 depuis plus de 20 ans, afin d'anticiper une diminution des débits à l'horizon 2050 (notamment à l'étiage), donc une diminution de l'habitat physique à disposition des poissons et probablement des abondances piscicoles.

Pour cela, on se focalisera essentiellement sur **l'espèce truite** car c'est l'espèce la mieux répartie sur les 3 bassins étudiés, la plus suivie par la FDAAPPMA42 et c'est surtout chez cette espèce que les **relations à l'habitat physique ont été les plus étudiées**.

On commencera par examiner les relations qu'il peut y avoir entre **l'altitude des stations et les abondances en truite**, l'altitude étant ici un **proxy de la thermie, autre paramètre** de l'habitat **primordial à considérer** dans le panorama du changement climatique attendu, et paramètre pour lequel on ne dispose pas de chroniques de données suffisamment longues partout.

On examinera ensuite la relation proprement dite **habitat physique – abondance des truites** sur nos stations et l'on terminera par une projection mêlant tendances d'évolutions de la thermie, des débits et conséquences sur les peuplements piscicoles au milieu du 21^{ème} siècle.

7.1. ABONDANCES DES TRUITES VERSUS ALTITUDE DES STATIONS

Le tableau ci-dessous synthétise les données disponibles auprès de la Fédération utilisées dans ce chapitre.

Nom station	Alt (m)	Nb échantillonnages annuels	Début de la série chronologique	Densité moyenne (TRF - ind/ha)	Biomasse moyenne (TRF - kg/ha)
S2 - Coise_St Galmier	375	10	1998	159.9	11.3
S3 - Coise_Le Bret	424	6	2011	628.5	17.9
S4 - Coise_Moulin Trunel	489	13	2005	207.5	17.7
S5 - Couzon	594	21	2001	2797.7	54.8
S7 - Lignon_Ste Agathe	360	6	1998	504.3	33.9
S8 - Lignon_Trelins	375	19	1989	239.2	24.7
S9 - Lignon_Sail	413	3	2013	1485.0	83.1
S11 - Aix_Chateau d'Aix	469	10	2000	532.4	35.7
S12 - Isable_Le Trouillet	420	11	2004	258.7	11.9
S13 - Isable_Blanchardon	682	21	1998	8288.0	123.2
S14 - Noyer_Chez Bras	620	7	1998	2358.7	77.1
S15 - Boen_Chambodut	636	6	1998	1903.8	49.8
S16 - Boen_Pierrebelle	1025	15	2008	9023.3	115.3
S17 - Ban_Laboure	775	16	1998	4960.7	110.4

Figure 77 : Par bassin-versant étudié, stations, altitudes, nombre d'échantillonnages annuels disponibles pour la série chronologique et abondances moyennes de la population de truite sur la série chronologique.

Les suivis ont majoritairement débuté en 1998. Entre 6 et 21 années d'échantillonnages piscicoles sont disponibles au cours de ces 25 dernières années.

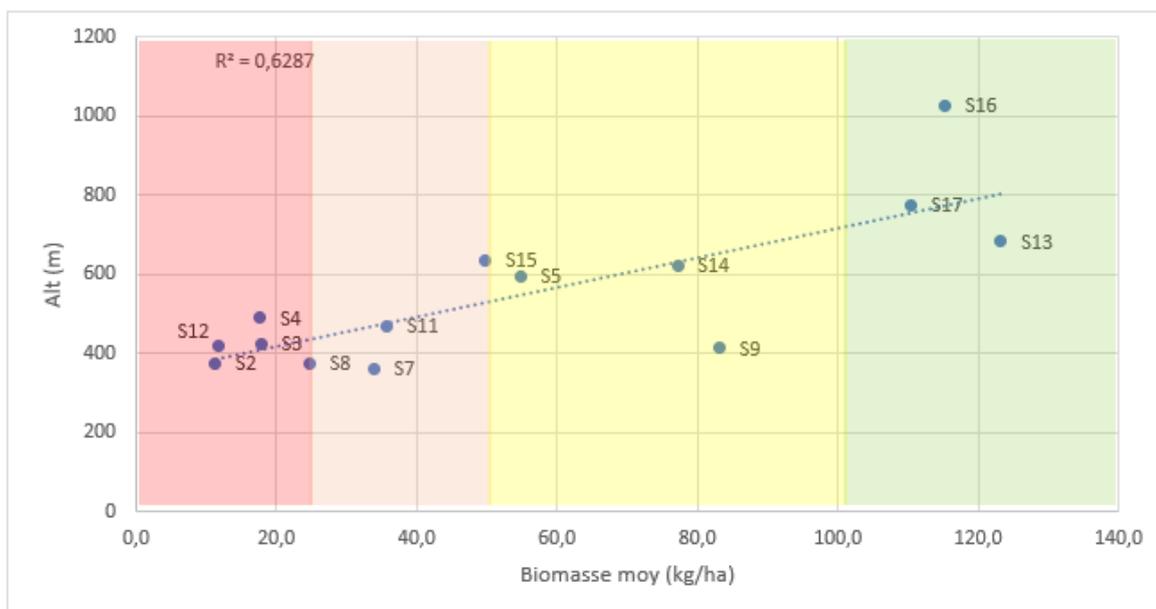


Figure 78 : Distribution des stations étudiées en fonction de l'altitude et de la biomasse moyenne de truite échantillonnée sur la série chronologique disponible. Les couleurs correspondent aux classes de densité et biomasse de l'écorégion Massif Central¹¹.

Alors que les **niveaux typologiques** des stations étudiées (NTT) vont de B2 à B5, soit la **pleine zone à truite et la zone à ombre supérieure**, les **abondances en truite** sont, en moyenne, **majoritairement faibles à très faibles** (8 stations sur 14), et particulièrement aux altitudes les plus basses (autour de 400 m).

NTT	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
CHA	2	3	4	5	5	4	3	3	2	2	1	1	1				
TRF	1	2	3	3	4	5	5	4	3	3	2	1	1	1	0,1		
LPP		0,1	1	2	3	3	4	4	5	5	4	3	2	1			
VAI			0,1	1	3	4	5	4	3	3	2	1	1	1	1		
LOF				1	2	3	4	5	5	4	3	3	2	1	1	1	
OBR				0,1	1	2	3	4	5	4	4	3	2	1			

Figure 79 : Extrait de la répartition en fonction des biotypes de cours d'eau des abondances optimales de espèces piscicoles (échelle de 0,1 à 5 ; Degiorgi et Raymond 2000). Pour la truite, cela signifie que **l'on devrait trouver ses meilleures abondances dans les cours d'eau de NTT 2 à 5, soit précisément ceux que l'on étudie ici.**

Nous ne devrions pas avoir sur ces types de cours d'eau des biomasses de truite, en moyenne sur le long terme, inférieures à 50 kg/ha, avec même une majorité de stations autour de 100 kg/ha et plus.

TRUITES Classes	Densité (ind/ha)	Biomasse (kg/Ha)
Très faible	50 à 500	10 à 25
Faible	500 à 1000	25 à 51
Moyenne	1000 à 2000	51 à 102
Forte	2000 à 4000	102 à 204
Très Forte	>4000	>204

11

Cette situation est déjà assez clairement le résultat d'un réchauffement des eaux, comme nous allons l'illustrer ci-dessous.

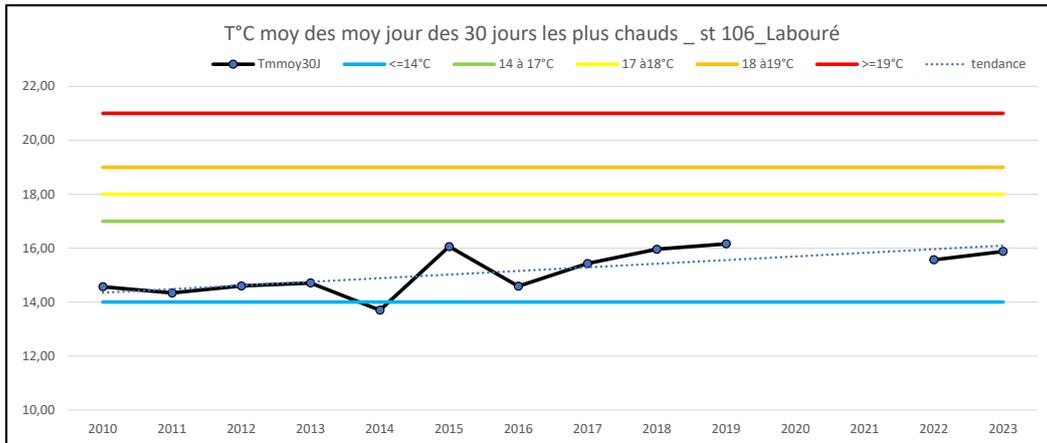


Figure 80 : Evolution, depuis 2010, de la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds sur la station S17 – le Ban à Labouré. Données de la FDAAPPMA42.

Sur le Ban à Labouré (S17 à 775 m d'altitude – revoir Figure 78), la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (T30Jmax) reste, pour l'heure, dans la gamme optimale pour la truite juvénile (4-17°C) comme pour la truite adulte (4-19 °C)¹². Et l'abondance des truites est assez conforme aux attentes avec une biomasse moyenne forte à 110 kg/ha.

Toutefois, même à cette altitude, **la tendance est à l'augmentation** de cette T30Jmax avec **+1,8°C en 14 ans**. Si cette tendance se poursuit, à l'horizon 2030, on sortira déjà de la gamme thermique optimale pour les juvéniles de truite, et à l'horizon 2050, de celle optimale pour les TRF adulte.

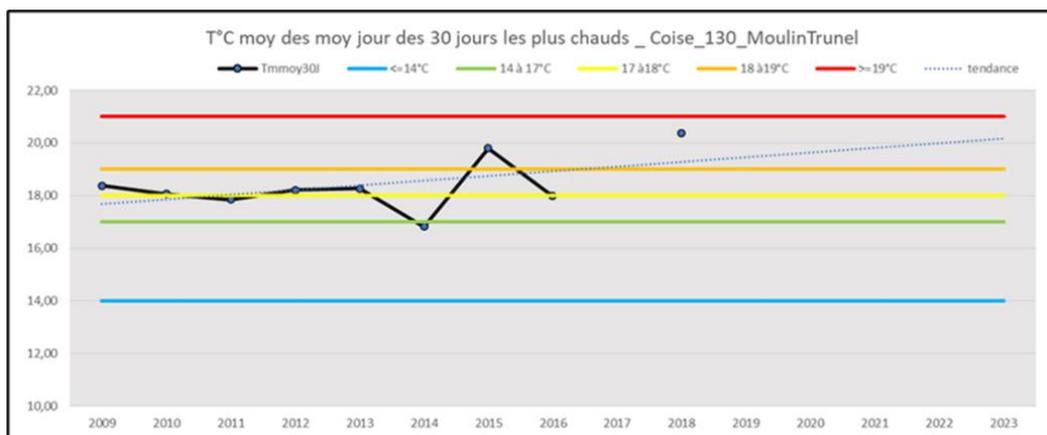


Figure 81 : Evolution, depuis 2009, de la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds sur la station S4 – la Coise à Moulin Trunel. Données de la FDAAPPMA42.

¹² On se réfère ici aux données fournies par le projet TIGRE : <https://thermie-rivieres.inrae.fr/>; Beaufort et al., 2020.

Sur la Coise, même la station la plus amont (S4 – Moulin Trunel – 489 m d'altitude -revoir Figure 78) présente déjà une température de l'eau en dehors de l'optimum thermique pour les truites juvéniles, et ceci depuis le début des suivis (en 2009). Malgré l'imprécision, la tendance est probablement une forte hausse pour la T30Jmax, avec une thermie estivale qui n'est plus favorable même aux truites adultes à Moulin Trunel. La situation a peu de chance d'être meilleure plus en aval sur le cours d'eau (en S2 et S3), et cela se traduit bien par des biomasses de truite très faibles et très en deçà des attentes sur toutes ces stations.

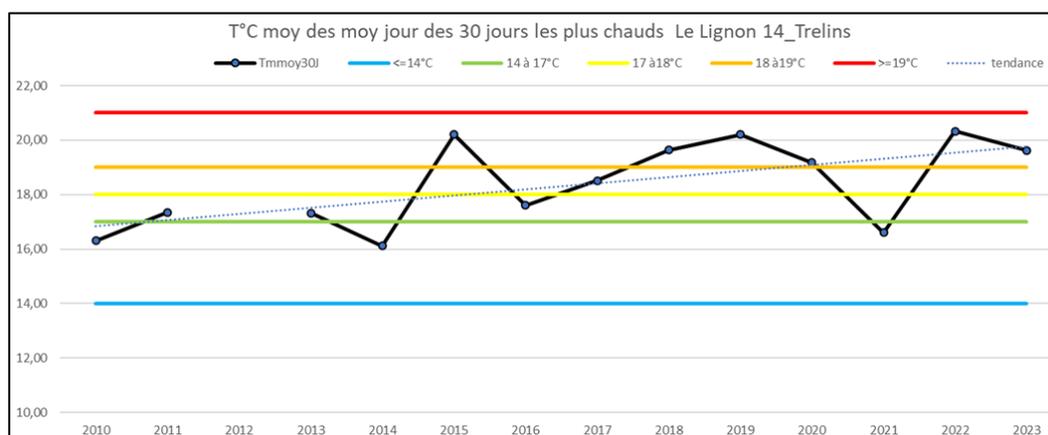


Figure 82 : Evolution, depuis 2010, de la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds sur la station S8 – le Lignon à Trelins. Données de la FDAAPPMA42.

Sur le Lignon à Trelins (S8 – 375 m d'altitude), la T30Jmax n'est plus, dès 2011, dans la gamme optimale pour les juvéniles de truite. La tendance est aussi clairement à l'augmentation de cette T30Jmax **(+2,9°C en 14 ans)**, et en 2023, nous sommes également en dehors de la zone optimale pour les truites adultes (T30Jmax de 19,8°C). On arrive également à l'extrême limite des températures acceptables pour l'ombre (20°C – toujours d'après les références du projet TIGRE). Les abondances en salmonidés sont donc faibles sur le Lignon à Trelins, elles le sont aussi à Saint Agathe en aval, alors qu'elles s'améliorent à Sail-sous-Couzan, en amont, avec probablement une température de l'eau plus favorable.

En résumé, nous avons des cours d'eau qui, morphologiquement, typologiquement, ressemblent à des cours d'eau à truite, mais pour lesquels, aujourd'hui déjà, la thermie semble limitante pour cette espèce. Ce n'est qu'au-dessus de 600 m d'altitude (et une température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds qui n'excède pas trop les 17°C) que l'on retrouve des truites en abondances moyennes à fortes.

7.2. ABONDANCES DES TRUITES VERSUS HABITAT PHYSIQUE

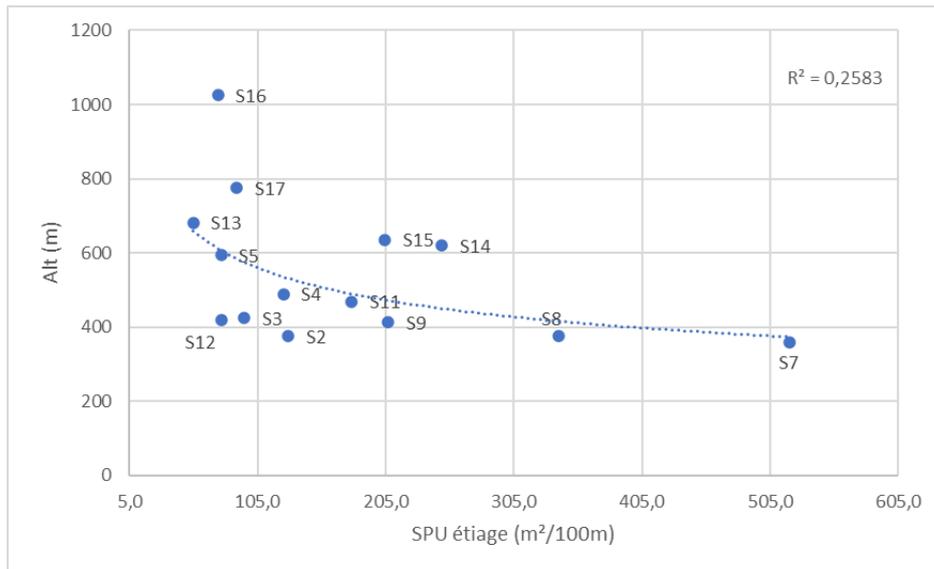


Figure 83 : Relation entre l'altitude et la quantité d'habitat physique disponible à l'étiage (SPU pour 100 m de cours d'eau) sur les stations étudiées

En ce qui concerne la SPU (Surface d'habitat physique favorable selon la méthode des microhabitats), à l'étiage, soit la quantité d'habitat physique limitante sur les cours d'eau pour les populations de truite (Souchon *et al.*, 1989), on peut constater, sur la figure ci-dessus, qu'elle est plus importante, pour 100 m de cours d'eau, lorsque ces derniers deviennent plus « grands », et donc lorsqu'on descend vers la plaine (stations du Lignon S7 à S9). Cet habitat physique à l'étiage, pour 100 m de cours d'eau, est à l'inverse moins abondant pour les petits cours d'eau en tête de bassin-versant.

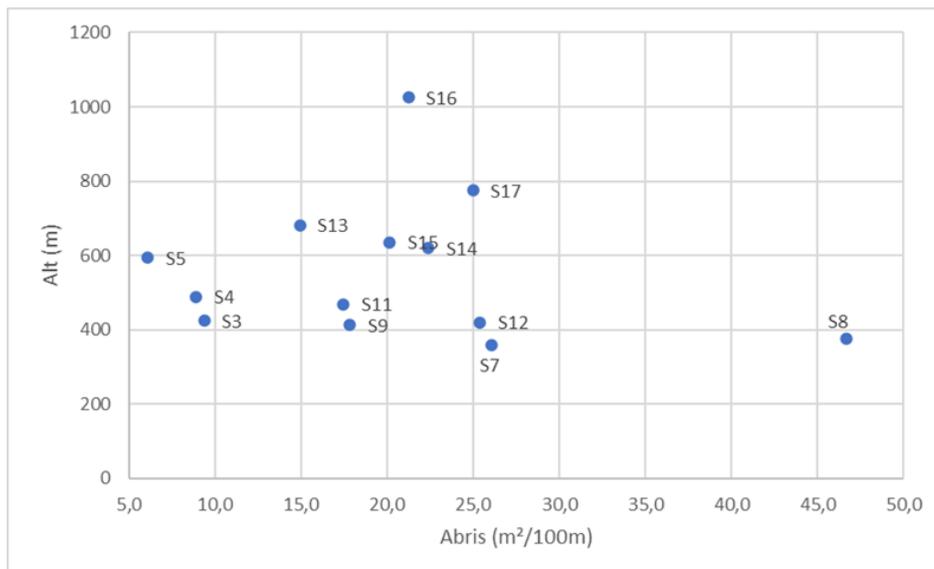


Figure 84 : Relation entre l'altitude et la quantité d'abris disponible à l'étiage (Surface d'abris pour 100 m de cours d'eau) sur les stations étudiées

Pour les abris en revanche, une telle tendance n'est pas claire (figure ci-dessus). On peut être « en plaine » ou en « tête de bassin » et avoir des quantités d'abris pour 100 m de cours d'eau similaires (par exemple sur S7 – le Lignon à Saint Agathe et sur S17 – le Ban à Labouré). Ceci d'autant plus si l'on considère que le bassin de la Coise se distingue (stations S3 à S5) avec de moindre quantité d'abris pour 100 m que pour les stations du Lignon ou du bassin de l'Aix.

En règle générale, on retiendra que les stations étudiées, mis à part celles de la Coise, sont plutôt bien dotées en abris (tableau ci-dessous).

Nom station	Abris (% de la surface mouillée étiage)
S2 - Coise_St Galmier	0,35%
S3 - Coise_Le Bret	1,30%
S4 - Coise_Moulin Trunel	1,19%
S5 - Couzon	3,30%
S6 - Lignon_Poncins	4,67%
S7 - Lignon_Ste Agathe	1,75%
S8 - Lignon_Trelins	4,48%
S9 - Lignon_Sail	2,40%
S11 - Aix_Chateau d'Aix	1,49%
S12 - Isable_Le Trouillet	5,58%
S13 - Isable_Blanchardon	9,86%
S14 - Noyer_Chez Bras	5,54%
S15 - Boen_Chambodut	5,27%
S16 - Boen_Pierrebelle	13,12%
S17 - Ban_Laboure	10,03%

Figure 85 : Abondance des abris par station (en % de la surface mouillée à l'étiage) et classe de qualité

Le **taux d'occupation de l'habitat** (TOC) peut être défini comme **l'abondance des poissons rapportée à la disponibilité en habitat**.

Dans cette étude, pour la truite, nous avons calculé un taux d'occupation de l'habitat physique sur chacune de nos stations en ramenant la biomasse moyenne de truite sur la série chronologique disponible (données FDAAPPMA42) à la quantité d'habitat physique mesurée à l'étiage (SPU).

Soit $TOC_{SPU} = \text{Biomasse de truite par m}^2 \text{ de SPU à l'étiage (g/m}^2 \text{ SPU étiage)}$.

L'utilisation de la biomasse moyenne sur la série chronologique permet de « neutraliser » les variations interannuelles des populations de truite et de comparer entre station le point moyen « d'équilibre » habitat physique disponible versus biomasse de truite.

Nous avons aussi calculé dans cette étude un taux d'occupation des abris.

Soit $TOC_{Abris} = \text{Biomasse de truite par m}^2 \text{ d'abris (g/m}^2 \text{ d'abris étiage)}$.

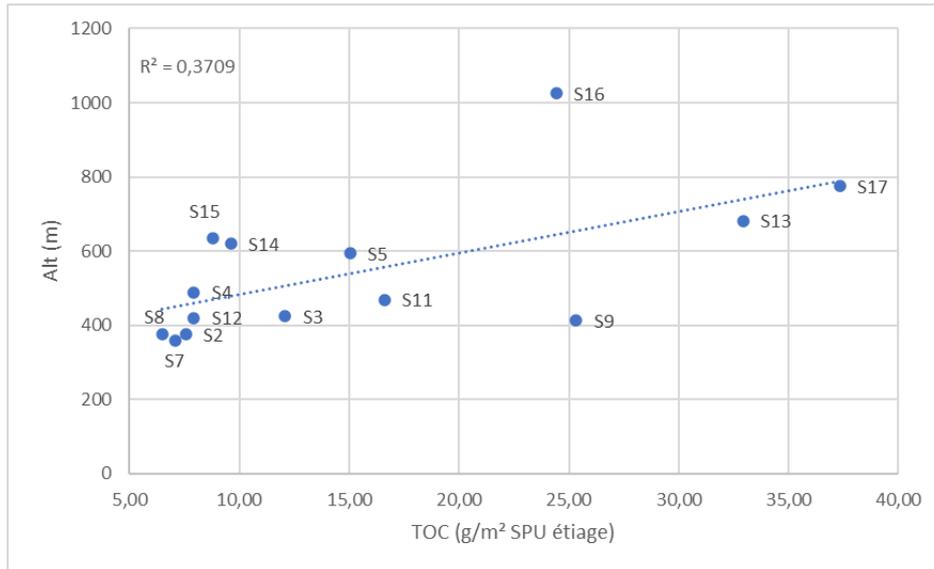


Figure 86 : Relation entre l'altitude et le taux d'occupation de l'habitat physique disponible à l'étiage (TOC en g/m² SPU étiage) sur les stations étudiées

Sur la figure ci-dessus, on constate **une relation nette entre l'altitude et une meilleure occupation de l'habitat physique** (TOC_{SPU}) par les truites. Autrement dit, alors qu'on est censé être, sur toutes nos stations, en pleine zone à truite, on voit quand même nettement que plus on sera haut en altitude, et donc avec un régime thermique plus frais, mieux l'habitat physique offert aux poissons sera occupé par ceux-ci.

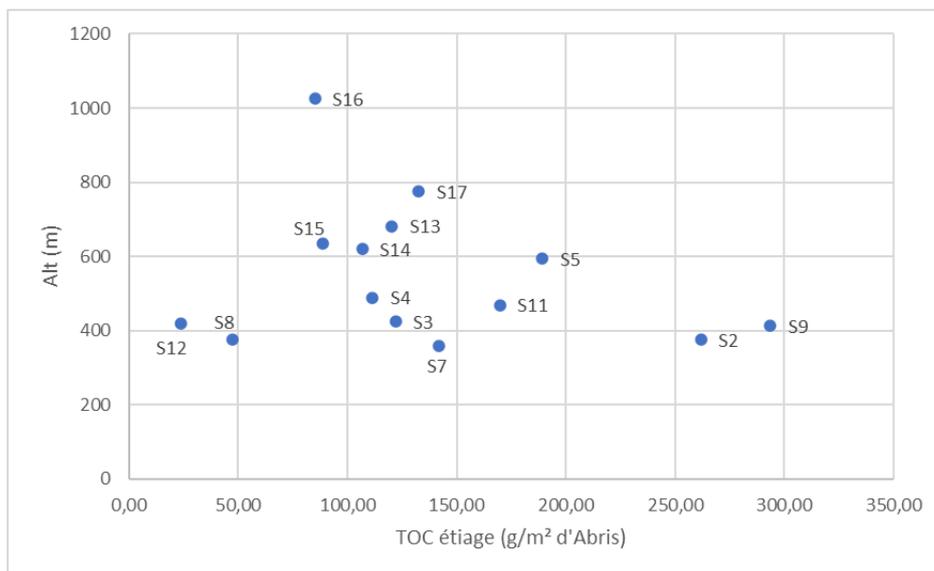


Figure 87 : Relation entre l'altitude et le taux d'occupation des abris (TOC en g/m² d'abris étiage) sur les stations étudiées

Par contre, il ne semble pas y avoir de relation claire entre l'altitude et le taux d'occupation des abris (figure ci-dessus). On peut remarquer que les taux d'occupation des abris sont très nettement supérieurs au taux d'occupation de la SPU (facteur de 8,5 en moyenne entre

les deux TOC, 15,65 g/m² SPU étiage contre 135g/m² d'abris étiage). Cela vient du fait que ces 2 types d'habitats n'ont pas le même rôle vis-à-vis de la population de truite. Les abris sont typiquement des habitats de refuge et/ou de repos pour les poissons qui peuvent occuper de petites surfaces en grand nombre en ayant une activité très réduite. La SPU par contre est un habitat qui englobe l'activité de nutrition des poissons, et sur ce type d'habitat, la truite est « territoriale » et exclut ses congénères qui sont aussi des compétiteurs. **Le lien est donc plus direct entre les postes de nutrition** disponible sur une station, un cours d'eau, et **l'abondance de la population de truite**. A condition cependant qu'un minimum d'abris soient quand même disponibles, ce qui est le cas sur l'ensemble des stations étudiées.

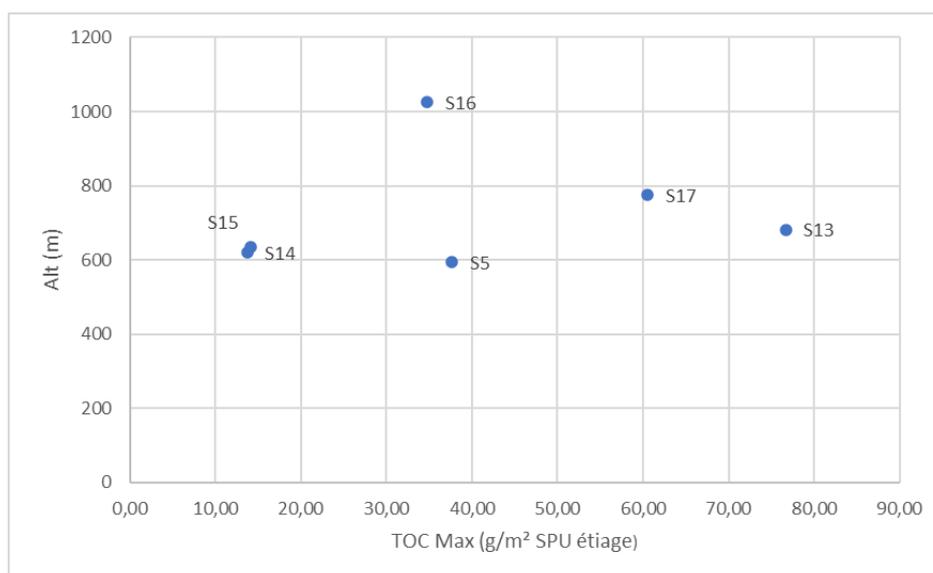


Figure 88 : Taux d'occupation maximal (pour chaque série chronologique d'abondance) de l'habitat physique disponible à l'étiage (TOC Max en g/m² SPU étiage) sur les stations étudiées au-dessus de 600 m d'altitude (thermie encore favorable aux truites)

Sur la figure ci-dessus, nous avons retenu les stations d'altitude supérieure ou égale à 600 m, pour lesquelles nous n'avons probablement pas encore de limitation thermique au développement de la truite. **En retenant dans les séries chronologiques disponibles** pour chaque station, **la biomasse maximale en truite atteinte** (donc les années pour lesquelles la population de truite se développe au mieux, suite probablement à de bons recrutements et une absence de forte crue pendant 2 à 3 ans), on constate **que l'occupation de l'habitat physique disponible à l'étiage peut être forte**, proche voire même supérieure aux valeurs rapportées par Souchon *et al.* en 1989 ou Bovee en 1982, soit 58 à 65 g/m² de SPU. Nous pouvons donc en déduire, pour **ces stations encore thermiquement favorables aux truites, que les quantités de truite vont dépendre directement du potentiel offert par l'habitat physique à disposition à l'étiage** (étant entendu qu'il n'y a pas d'autres facteurs limitants sur ces stations : qualité physicochimique de l'eau, nourriture disponible, ...).

La conséquence logique de ce constat, c'est que mécaniquement, si les étiages se réduisent, l'habitat physique disponible pour les truites en étiage aussi, selon le lien établi entre SPU et débit sur chaque station.

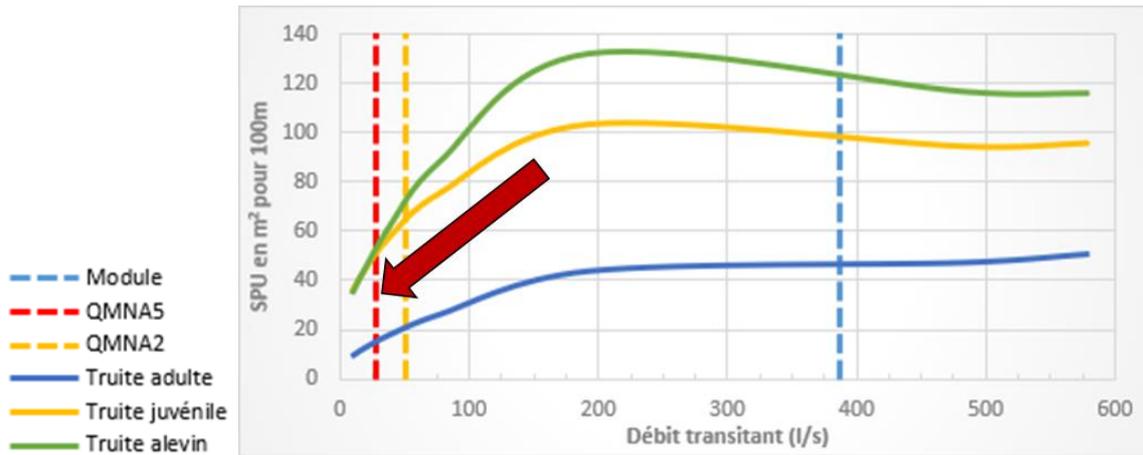


Figure 89 : Illustration de la diminution de l'habitat physique disponible pour les truites lorsque les débits diminuent sur le Ban à Labouré (S17)

Dans cette gamme des **bas débits**, on se situe dans la partie la plus pentue des courbes d'évolution de l'habitat physique avec le débit (figure ci-dessus). Donc toute **diminution supplémentaire des débits** entraîne une **perte rapide des quantités d'habitats disponibles**, et selon le constat réalisé précédemment, conduit également à **une baisse des quantités de truite potentiellement présentes** sur la station. Ce que l'on va pouvoir tester ci-après.

7.3. CONSIDERATIONS SUR L'ÉTAT DES PEUPELEMENTS PISCICOLES A L'HORIZON 2050

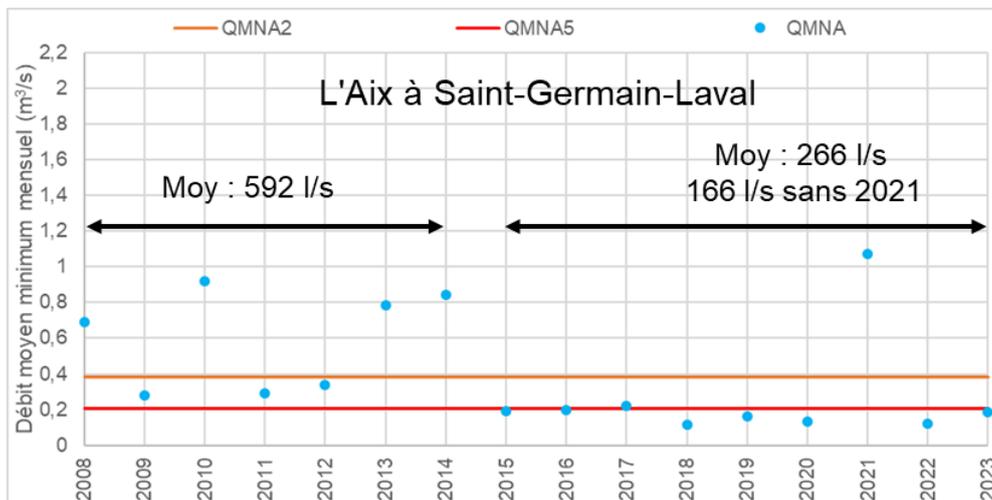


Figure 90 : Evolution du débit moyen minimum mensuel sur l'Aix à Saint-Germain Laval de 2008 à 2023

La figure ci-dessus montre l'évolution du débit moyen minimum mensuel sur l'Aix à Saint-Germain Laval de 2008 à 2023, période pour laquelle on dispose aussi de l'évolution de

l'abondance des populations de truite sur certains cours d'eau du bassin (figure ci-dessous).

On distingue clairement 2 périodes dans cette chronique. De 2008 à 2014, les débits moyens minimaux mensuels sont de l'ordre du QMNA2 ou supérieurs, la moyenne pour la période étant de 592 l/s. De 2015 à 2023, les débits moyens minimaux mensuels sont de l'ordre du QMNA5 ou inférieurs, sauf en 2021, la moyenne pour la période étant de 266 l/s (et 166 l/s sans 2021). **La diminution des débits minimaux moyens entre les deux périodes** est donc d'un **facteur 2,2**, et même 3,6 si l'on exclut l'année 2021.

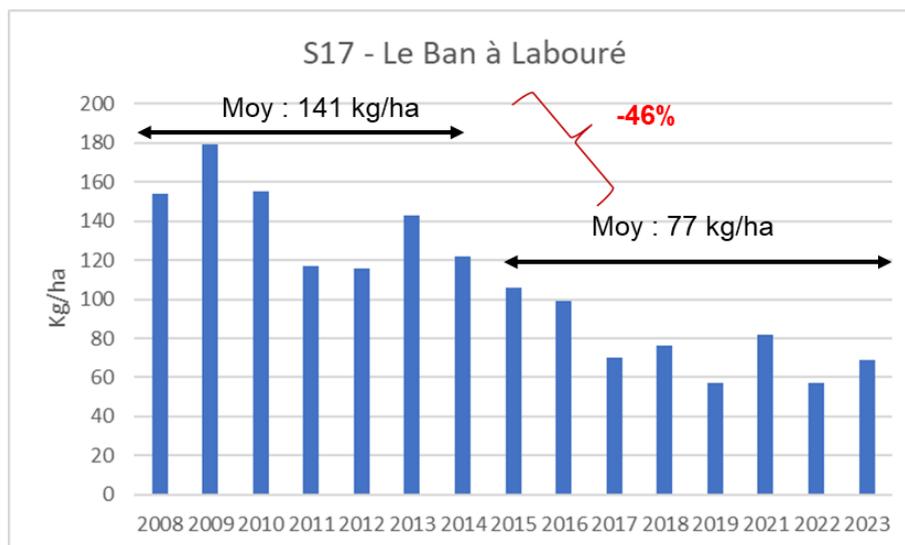


Figure 91 : Evolution de la biomasse de truite échantillonnée sur le Ban à Labouré (station S17 du bassin de l'Aix) de 2008 à 2023

Parallèlement le suivi de la population de truite sur le Ban à Labouré montre (figure ci-dessus) aussi nettement une diminution de la biomasse de truite sur la station S17 entre la période 2008-2014, pour laquelle la biomasse moyenne échantillonnée est de 141 kg/ha de truite, et la période 2015-2023, pour laquelle la biomasse moyenne échantillonnée n'est plus que de 77 kg/ha de truite à l'hectare. **La biomasse de truite est divisée par 1,8 entre les deux périodes pendant que les débits minimaux estivaux sont divisés par 2,2.**

Nous refaisons cet exercice pour toutes les stations pour lesquelles nous disposons de **chroniques complètes de suivis piscicoles** (FDAAPPMA42) et pour lesquelles nous n'avons **pas** encore identifié **de limitation thermique au développement de la truite.**

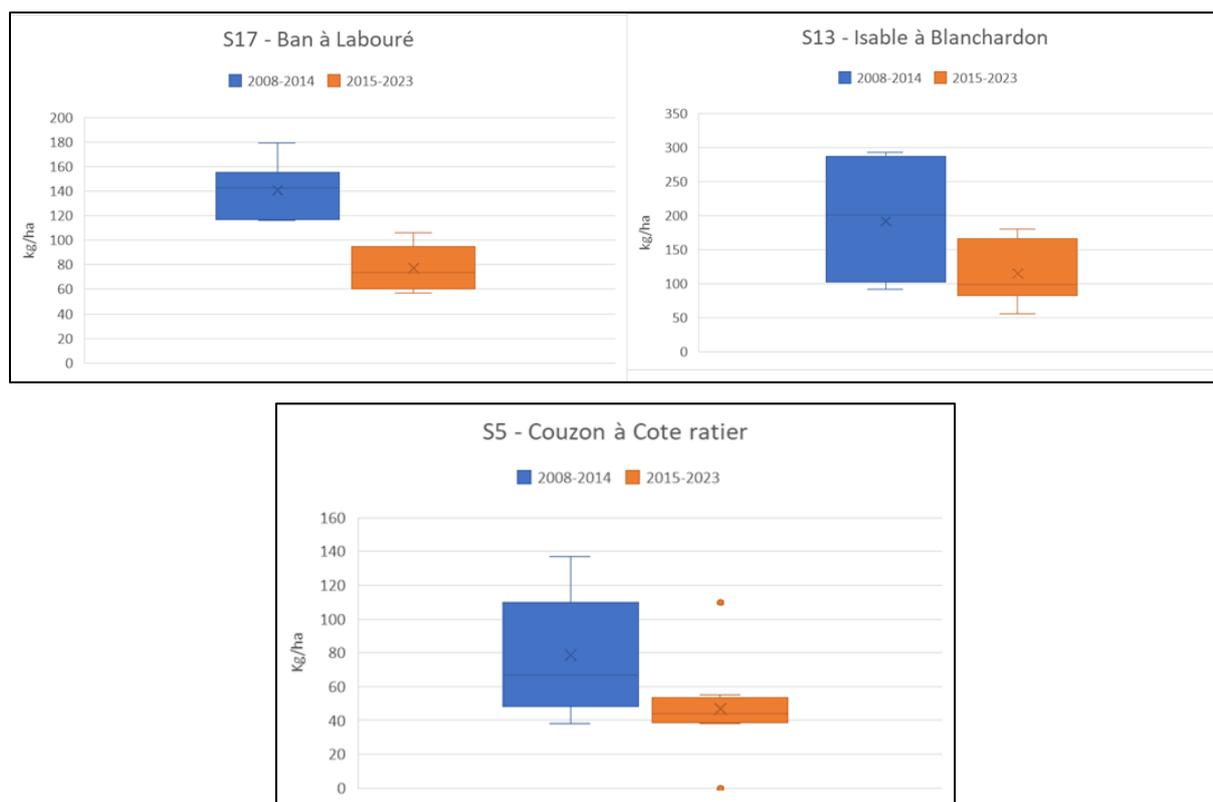


Figure 92 : Boîtes de dispersion des biomasses de truite échantillonnées sur les périodes 2008-2014 et 2015-2023 sur 3 stations pour lesquelles il n’y a pas encore de limitation thermique au développement de la truite (S17 et S13 sur le bassin de l’Aix et S5 sur le bassin de la Coise)

Et au final, entre la période 2008-2014 (7 ans) et la période 2015-2023 (9 ans), **l’étéage moyen (QMNA) a diminué de plus de 50%**, et sur ces stations (chroniques complètes de suivis piscicoles et pas de limitation thermique au développement de la truite), cette baisse de l’étéage entre les deux périodes se traduit :

- par une **baisse de la quantité d’habitat physique disponible en étéage de 25 à 35%** selon les stations¹³ (30 à 50% si on néglige 2021 dans la période 2015-2023),
- par une **baisse des biomasses** de truite en place de **40 à 46% selon les stations**.

On a bien la confirmation ici que, si les stations sont favorables au développement de la truite (thermie, physicochimie, nourriture), l’abondance de cette dernière va dépendre de l’habitat physique minimum disponible (étéage), et que si celui-ci se réduit fortement, en lien avec la baisse des débits d’étéages, alors la biomasse de truite suit la même tendance et chute rapidement.

Selon le scénario RCP 8,5 (continuation des émissions de GES), **les étéages à l’horizon 2050, devraient s’intensifier et s’allonger**.

Les QMNA devraient se réduire de l’ordre de 22,5 % sur le bassin de la Coise, 24,8 % sur le bassin du Lignon et 31,3 % sur le bassin de l’Aix par rapport à la période 1985-2005 (Antea

¹³ Revoir les fiches montrant pour chaque station étudiée le lien entre la SPU et le débit.

Group et CD Loire, 2024). Les situations d'assec ou d'intermittence seraient également plus fréquentes au niveau des bassins versants de la Coise et de l'Aix.

Sur le bassin de l'Aix, cette réduction conduit à des QMNA fluctuant autour de 240 l/s à Saint Germain Laval à l'horizon 2050, soit une situation proche de celle que l'on a connue sur la période 2015-2023.

Les biomasses de truite en place pourraient donc être similaire, soit en gros réduites de 50% par rapport aux données historiques, en lien avec la réduction de l'habitat physique disponible en étiage, et ceci **à condition que la thermie reste favorable à la truite, ce qui n'est pas la tendance.**

Sur le Ban à Labouré (775 m d'altitude), si la tendance actuelle se poursuit, la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds serait de l'ordre de 19,5°C en 2050, soit une température hors de l'optimum biologique des truites adultes et très éloignée de l'optimum biologique des juvéniles de truite. **La situation sera probablement pire sur les stations plus basses en altitude ... soit toutes les stations en dehors du Boën à Pierrebelle.**

On pourrait alors avoir **des populations relictuelles de truite, accompagnées des petites espèces habituelles** qui tolèrent mieux une température plus chaude¹⁴ (chabot, vairon, loche, goujon, spirilin ...).

Ces petites espèces ont des cycles de vie courts (comme la truite), ce qui leur donne aussi une plus grande résilience face aux assecs (qui seront aussi plus fréquents) que des grandes espèces aux cycles de vie plus longs comme le chevesne, le barbeau, ou encore la vandoise. En effet, si ces grandes espèces peuvent aussi être avantagées par des températures plus chaudes à l'avenir, elles ont aussi besoin, par adulte, de plus d'habitat physique disponible, et leurs cycles de développement longs ne s'accommoderont pas avec des assecs récurrents.

Dans les monts de la Madeleine et les monts du Lyonnais, les petits cours d'eau à truite d'aujourd'hui ont donc de fortes probabilités, à l'horizon 2050, de ne plus abriter que des petites espèces aux tolérances thermiques supérieures à celle de la truite et aux capacités à se restaurer rapidement après des assecs à partir de poches de survie.

Ces espèces, contrairement à la truite, ne constituent pas une base pour une activité de pêche de loisir.

Sur le Lignon du Forez, et concernant l'espèce emblématique et hautement patrimoniale ***Thymallus ligericus***, elle **est déjà** aujourd'hui, **en été, dans une situation de résistance**, car très peu d'habitat physique est à sa disposition dans la rivière en situation de bas débits¹⁵. Jusqu'à présent cependant, aux alentours de Boën-sur-Lignon, le régime thermique de la rivière était convenable pour l'espèce qui arrivait à se maintenir. Malheureusement, la tendance à l'augmentation de la **température des eaux**, mesurée depuis 2010, commence à **sortir** du domaine de **convenance pour cette espèce dans ce secteur**. La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds atteint aujourd'hui les 20°C et devrait les dépasser dans les années à venir d'après les scénarios de réchauffement climatique. **Ce secteur du Lignon, dans un avenir assez proche, ne devrait donc plus convenir à l'ombre ligérien** qui tentera sûrement de se réfugier plus en amont, jusqu'à ce que des obstacles le

¹⁴ Voir les fiches du projet TIGRE

¹⁵ Revoir les fiches « station » dans l'appendice

bloque ou que la morphologie du Lignon ne convienne plus à ses préférences d'habitats. Autour de Boën, le barbeau, le chevesne, le spirilin, le goujon devraient profiter des nouvelles conditions du milieu.

8. CONCLUSION

En lançant cette étude, complémentaire de l'étude HMUC du SAGE Loire en Rhône-Alpes, la FDAAPPMA42 souhaitait anticiper sur le devenir à moyen terme des peuplements piscicoles du Lignon du Forez dans sa zone à ombre et des cours d'eau à truite des monts du Lyonnais et de la Madeleine.

Nous avons pu montrer, par des études « microhabitats » (lien débit – habitat physique des poissons), que d'ores et déjà **aujourd'hui, les étiages sont très structurants pour les populations de truite et d'ombre car ils limitent l'habitat physique disponible** pour les poissons et donc l'abondance potentielle de ces derniers. **Toute réduction des débits d'étiage s'accompagne d'une réduction rapide de l'habitat physique disponible** pour les poissons (partie la plus pentue des courbes d'évolution de la SPU avec le débit).

En utilisant les suivis à long terme de la Fédération (abondances piscicoles et thermie), et en établissant le lien entre abondance piscicole et habitat physique, nous avons pu évaluer, que, **à elle seule, la réduction des étiages prévue à l'horizon 2050, traduit directement par une perte d'habitat physique, conduisait à une réduction de l'abondance des truites d'environ 40 à 50 %.**

Ceci en admettant que toutes les autres conditions restent favorables aux truites pour les cours d'eau étudiés. Or, ce ne sera pas le cas, **la température des eaux montrant déjà une tendance claire au réchauffement et les assecs de cours d'eau devant eux-aussi être plus fréquents** dans les scénarios de prospective.

C'est probablement de la disparition de la truite des monts de la Madeleine et des monts du Lyonnais dont il est question à moyen terme.

Sur le Lignon du Forez, nous avons pu documenter le fait, que d'ores et déjà, à l'étiage, l'habitat disponible pour **l'ombre ligérien** était particulièrement réduit, et que cela ne s'arrangera évidemment pas si ces derniers deviennent de plus en plus sévères. La température de l'eau, elle aussi sur une tendance ascendante sur cette rivière, est en train de sortir des limites de convenance pour cette espèce emblématique dans le secteur de Boën-sur-Lignon, qui va être obligée de **se réfugier plus en amont sur la rivière si les conditions de circulation le lui permettent.**

Le réchauffement climatique à moyen terme, en lien avec les activités humaines, les perspectives qui en sont faites, ne sont **pas favorables aux espèces patrimoniales et à très forts enjeux sociologiques (pêche de loisir) comme la truite « sauvage » et l'ombre ligérien.**

Mais d'autres usages humains ont aussi des effets plus directs et plus immédiats encore sur l'état et la capacité d'accueil de nos cours d'eau. Les prélèvements, et particulièrement en période d'étiage, pour l'eau potable, l'abreuvement du bétail, l'irrigation des cultures, réduisent le débit donc l'habitat physique disponible et augmentent la sensibilité de la température de l'eau à la température de l'air. Les dérivations, par exemple vers une

centrale hydroélectrique, réduisent drastiquement le débit dans les tronçons court-circuités, ce qui, pour l'ombre adulte conduit pratiquement à le priver d'habitat physique la majorité du temps. Et ici encore, dans le tronçon court-circuité, la lame d'eau réduite rend la température de l'eau plus sensible à la température de l'air. Le stockage dans de petites retenues, les étangs, conduisent aussi à l'augmentation de la température de l'eau dans les cours d'eau. Ainsi, Petitjean *et al.*, 2017 relèvent que, dans le Limousin, les étangs et petites retenues ont provoqué une élévation globale de la thermie des cours d'eau équivalente ou supérieure à celle projetée pour le changement climatique. On peut aussi évoquer ici la suppression de la ripisylve sur une majorité du linéaire du petit chevelu (impact sur la thermie), le drainage des parcelles qui conduit à évacuer l'eau le plus rapidement possible alors qu'on aurait bien besoin qu'elle s'attarde, qu'elle s'infilte, le recalibrage des cours d'eau, massif lors du remembrement, donc des cours d'eau plus droits, plus profonds, qui empiètent moins sur le territoire, qui débordent moins, qui évacuent l'eau plus vite ...

Bref, le changement climatique aura probablement des effets radicaux sur une majorité de nos cours d'eau et des peuplements piscicoles qu'ils abritent actuellement, **mais ce n'est que la dernière couche de multiples altérations et dégradations qui leur ôtent une partie de leurs capacités de résilience**. Si nos cours d'eau et leurs bassins-versants étaient en bon état, ils seraient plus résistants au changement climatique (critères thermique et structuration de l'habitat physique). Ce qui **laisse l'espoir**, en jouant plus ou moins **massivement** sur tout ou partie des détériorations évoquées ci-dessus (liste non-exhaustive) de pouvoir contrecarrer en partie la prospective envisagée.

9. BIBLIOGRAPHIE

- Antea Group et Conseil Départemental de la Loire, 2024.** Etude HMUC SAGE Loire en Rhône Alpes. Fiches de synthèse par unité de gestion.
- Baran P., 1995.** Analyse de la variabilité des abondances de truites communes (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées Centrales Françaises – Influence des échelles d'hétérogénéité de l'habitat. Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Toulouse, 147 p.
- Baran, P., Lagarrigue, T., Lascaux J.M., Belaud, A., et Henniaux H., 1999.** Etude de l'habitat de la truite commune dans 4 cours d'eau à haute valeur patrimoniale du département de la Loire.
- Bret, V., Capra, H., Gouraud, V., Lamouroux, N., Piffady, J., Tissot, L., & Rivot, E., 2017.** Understanding inter-reach variation in brown trout (*Salmo trutta*) mortality rates using a hierarchical Bayesian state-space model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74(10), 1612-1627.
- Binns N.A., 1982.** Habitat Quality Index : procedure manual. Wyoming Game and Fish Department, 209p.
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. and Henriksen, J., 1978.** Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey. 131p.
- Capra, H., Lamouroux, N., Valentin., S. et Souchon., Y. (1998).** Modélisation de l'habitat des poissons : définition d'une méthodologie évaluant l'impact de l'augmentation des débits réservés en système nival. CEMAGREF BEA/LHQ – CNR/Agence de l'Eau RMC. 28p.
- Degiorgi F. et Raymond J.C., 2000.** Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante – Guide technique. *Rapport CSP DR 5 et Agence de l'Eau RMC*. 196 p + annexes.
- Delacoste, M., 1995.** Analyse de la variabilité spatiale de la reproduction de la truite commune (*Salmo trutta*). Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Toulouse, 133 p.
- Fabricius, E. et Gustafsson, K.J., 1955.** Observations on the behavior of the grayling, *Thymallus thymallus*. Institution for Freshwater Research, Drottningholm 36, 75-103.
- FDAAPPMA 42, mars 2024.** Etude d'impact du changement climatique et de l'évolution des prélèvements sur les peuplements piscicoles. Complément à l'étude HMUC du SAGE Loire en Rhône Alpes (Loire 42). Etat des peuplements piscicoles en 2023 et comparaison avec l'historique. 133 pages.
- Fagnoud E., 1987.** Préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L., 1758) en rivière. Thèse de 3ème cycle, Cemagref DQEPP-LHQ, Université C. Bernard Lyon I, 398 p.
- Grandmottet, J.P., 1983.** Principales exigences des Téléostéens dulcicoles vis à vis de l'habitat aquatique. *Annales Sci. Univ. Besançon. Biol. Anim.*, 4ème série, 4 : 3-32.
- Gres P., Persat H., Weiss S. et Kopun Théodora, 2006.** Etude des populations d'Ombre commun du Forez sur l'Ance du Nord, le Lignon du Forez et l'Aix. Dynamique de population et caractérisation génétique. 102 p.

- Grimardias D. et Cattaneo F., 2010.** Approche de la dynamique des populations d'ombre commun (*Thymallus thymallus*) sur l'Orbe en vallée de Joux : structure démographique, taux de survie, quantification de l'habitat physique et thermique. Rapport technique 74 pages.
- Keith P., Poulet N., Denys G., Changeux T., Feunteun E., et Persat H. (coords), 2020.** Les poissons d'eau douce de France. 2ème édition. Biotope éditions, Mèze. MNHN, Paris. 704 p.
- Lamouroux N., Capra H., Pouilly M. & Souchon Y., 1999.** Fish habitat preferences at the local scale in large streams of southern France. *Freshwater Biology* 42 : 673–687.
- Lang P., 2010.** Système de modélisation Telemac. Hydrodynamique bidimensionnelle. Logiciel Telemac2D. Manuel d'utilisateur. 91 pages + Annexes.
- Mallet, J.P., Lamouroux, N., Sagnes, P. & Persat, H. 2000.** Habitat preferences of European grayling in a medium size stream, the Ain river, France. *Journal of Fish Biology*, 56: 1312–1322.
- Mann R.H.K., 1974.** Observations on the age, growth, reproduction and food of the dace, *Leuciscus leuciscus* (L.), in two rivers in Southern England. *J. Fish. Biol.*, 17 : 163–176.
- Mills C.A., 1981.** The attachment of dace, *Leuciscus leuciscus* (L.), eggs to the spawning substratum and the influence of changes in water current on their survival. *J. Fish Biol.*, 19 : 129–134.
- Florentina Moatar, Hanieh Seyedhasemi, Jacob Diamond, Jean-Philippe Vidal, Gilles Pinay, Laurent Valette, Dominique Thiery, Andre Chandesris, Martial Ferreol 2020.** Modélisation haute résolution pour l'analyse de l'impact du changement climatique sur l'oxygène dissous et la température de l'eau dans le bassin de la Loire. Rapport de synthèse du projet HOT, INRAE, RiverLy, Université de Tours, 57 pages + 150 pages annexes.
- Paquet, G., 2002.** Biologie et écologie de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*, L.) dans l'Orbe à la Vallée de Joux, canton de Vaud, Suisse. Thèse Fac des Sciences de l'Univ de Lausanne, 155 p. dont annexes.
- Petitjean, S., Versanne-Janodet, S., (coord.), Mas, M., Comby, A., Sourisseau E., et Dumas J., 2017.** Atlas des poissons du Limousin. Historique, évolution, répartition. Agence Française pour la Biodiversité, FDPPMA de la Corrèze, FDPPMA de la Creuse, FDPPMA de la Haute-Vienne, Maison de l'Eau et de la Pêche de la Corrèze, Tulle, 381 p.
- Philippart J.C., 1981.** Ecologie d'une population de Vandoises *Leuciscus leuciscus* (L.), dans la rivière Ourthe (Bassin de la Meuse). *Annls. Limno.*, 17 : 41-62.
- Poncin P., 1996.** Reproduction chez nos poissons. Fédération Sportive des Pêcheurs Francophones de Belgique. 80 p.
- Pouilly, M., Valentin, S., Capra, H., Ginot, V., & Souchon, Y. 1995.** Méthode des microhabitats : principes et protocoles d'application. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (336), 41–54.
- Saint-Venant A.J.C., 1871.** Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction des marées dans leur lit. *Compte-rendu à l'Académie des Sciences de Paris* 1871 ; 73 : 147–154.

- Souchon Y., Trocherie F., Fragnoud E. et Lacombe C., 1989.** Les modèles numériques des microhabitats des poissons. Application et nouveaux développements. *Revue des sciences de l'eau*, 2 : 807-830.
- Vismara, R., Azzellino, A., Bosi, R., Crosa, G., Gentili, G., 2001.** Habitat suitability curves for brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in the River Adda, Northern Italy : comparing univariate and multivariate approaches. *Regulated Rivers: Research & Management* 17, 37-50.
- Von Gunten D., Le Coarer Y., Zaoui F., 2018.** Développement d'une plate-forme de modèles d'habitats numériques : HABBY. Irstea. pp.11. hal-02608726.
- Wentworth, C. K., 1935.** The terminology of coarse sediments: National Research Council, Bulletin 98, p. 225-246.
- Wurtz-Arlet J., 1952.** Quelques observations sur la biologie de la Vandoise *Leuciscus leuciscus* (L.). *Bull. Fr. Piscic.*, 158 : 14-18.