
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Evaluation et estimation d'un débit minimum biologique

Cas d'étude d'une centrale hydroélectrique

Hydrosphère
7 rue de l'Industrie - Bât C
31320 CASTANET-TOLOSAN FRANCE



Tuteur entreprise :
Pascal Francisco
Responsable de l'Agence Occitanie

Morgane Finiels
IMA
2020-2021

Tuteur académique :
Sabine Greulich

Table des matières

Table des tableaux.....	3
Table des figures.....	3
Généralités	5
Présentation de la structure d'accueil	5
Présentation générale	5
Activités	5
Déroulé du stage	6
Introduction.....	7
Présentation de la mission	8
Contexte et objectifs	8
Matériel et Méthodes	9
Présentation du site d'étude.....	9
Caractérisation du milieu	10
Choix et mise en place du protocole	11
Résultats.....	17
Caractéristiques hydrologiques.....	17
Contexte écologique.....	19
Contexte piscicole	22
Zonages réglementaires	23
Description des faciès d'écoulement sur le TCC	25
Choix de la station de mesure	25
Estimation des débits minimums biologiques.....	26
Modalité de fonctionnement possible de la microcentrale.....	31
Conclusion	32
Bibliographie	34
Annexes	35

Table des tableaux

Tableau 1 : Tableau comparatif des modèles EVHA et Estimhab	13
Tableau 2 : Calcul des caractéristiques hydrologique du Célé au niveau du TCC	19
Tableau 3 : Composition du peuplement piscicole en 2018 et 2019 sur la station de Bagnac sur Célé.....	23
Tableau 4 : Espèces piscicoles et statuts de protection - Station de Bagnac sur Célé	23
Tableau 5 : Paramètres d'entrée du modèle Estimhab – Station TCC	26
Tableau 6 : Débits seuils et SPU associées proposés pour les stades de développement de la Truite fario sur la station.....	27
Tableau 8 : Débits seuils et SPU associées pour les guildes « radier » et « chenal » sur la station TCC.....	29
Tableau 9 : Débits moyens mensuels sur la période 2005-2021, débits restant à turbiner, débits moyens mensuels dans le cours d'eau - Station Moulin de Maynard	32

Table des figures

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude	9
Figure 2 : Passe à poissons sur le seuil en amont du TCC du moulin de Maynard (Source : Hydrosphère)	10
Figure 3 : Principe de la méthode des microhabitats (Source : IRSTEA)	12
Figure 4 : Conditions de mise en œuvre du protocole Estimhab (Source : Lamouroux, 2002)	14
Figure 5 : Identification des faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002)	15
Figure 6 : Classification granulométrique (Wentworth, 1922).....	15
Figure 7 : Débit moyen mensuel calculé sur 17 ans – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » (Source : Banque Hydro).....	17
Figure 8 : Bassin versant du secteur d'étude (source fond cartographique : géoportail).....	18
Figure 9 : Débits journaliers en m ³ /s évalués sur le site du Moulin de Maynard - Période 2005-2021 (Source : Banque HYDRO).....	18
Figure 10 : Débit journalier en m ³ /sec – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » année 2020 (Source : Banque HYDRO).....	19
Figure 11 : Débit journalier en m ³ /sec – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » année 2021 (Source : Banque HYDRO).....	19
Figure 12 : Etat écologique de la masse d'eau FRFR68 « Le Célé du confluent de la Ressègue (incluse) au confluent du Veyre » - Sur la base de données 2011-2012-2013	20
Figure 13 : Etat écologique de la station « Le Célé en amont du confluent avec le Rance » (code 05091600) - Année 2019	21
Figure 14 : Etat écologique de la station « Le Célé au niveau du seuil de Larive à Bagnac sur Célé » (code 05091313) - Année 2019	22
Figure 15 : Localisation des zonages réglementaires sur le secteur d'étude (Source fond cartographique : Géoportail)	24
Figure 16 : Répartition surfacique des faciès d'écoulement sur le tronçon court-circuité (gauche) et sur la station de mesure (droite)	25
Figure 17 : Evolution de la VHA en fonction du débit sur le Célé – simulation Truite fario – Station TCC .	27
Figure 18 : Courbes d'évolution de la surface utile (pour 100 m de cours d'eau) en fonction du débit – Truite fario – Célé station TCC.....	28

Figure 19 : Représentation graphique des pourcentages de perte de SPU en fonction du débit – Truite fario – station TCC	29
Figure 20 : Courbes d'évolution de la surface utile (pour 100 m de cours d'eau) en fonction du débit – guildes – Célé station TCC	30
Figure 21 : Hydrologie et débits moyens mensuels restant dans le TCC après soustraction du débit turbiné	31

Généralités

Présentation de la structure d'accueil

Présentation générale

Hydrosphère est un bureau d'études en environnement créé en 1998 par Pascal MICHEL, ingénieur écologue et ichtyologue.

C'est une société de services qui a pour principal domaine d'intervention **l'étude et l'aménagement des milieux aquatiques** naturels et artificiels avec pour mission **la connaissance et la préservation** de ces milieux.

A l'origine installé à Cergy-Pontoise, Hydrosphère a ouvert une agence à Castanet-Tolosan (31) ainsi qu'à Nans les Pins (83) afin d'élargir ses activités à l'échelle nationale et de répondre de plus près aux attentes locales. La société réunit aujourd'hui 17 personnes sur ces trois sites en France métropolitaine.

Activités

Hydrosphère intervient sur tout le territoire national et souhaite s'ouvrir à l'étranger. Les différents services proposés dans les pôles de compétences sont les suivants :

1. Expertise et diagnostic

La société met en œuvre des réseaux de suivis, des évaluations d'impacts et établit des états initiaux à différentes échelles. Les protocoles employés exigent une expertise biologique et physico-chimique des milieux aquatiques. C'est pour cela que le personnel est spécialisé en hydrobiologie, ichtyologie et hydrologie, ce qui lui permet de mettre en œuvre un panel de méthodes d'analyses de terrain telles que :

- Hydrobiologie (IBGN, IBGA, MPCE, MGCE, I2M2, Diatomées, Mollusques aquatiques),
- Peuplements piscicoles (pêche électrique, pêche filet),
- Physico-chimie des eaux et des sédiments,
- Hydrologie, hydraulique, hydrogéologie, hydromorphologie (CARHYCE, Aurahce),
- Potentialités hydroécologiques (Habitats piscicoles : Estimhab, Diagnostic des berges, Inventaire faune/flore),
- Inventaires faune / flore en particulier au niveau des berges de fleuves de cours d'eau mais aussi sur les zones humides au sens large,
- Les groupes d'animaux étudiés sont principalement les oiseaux, les mammifères, les batraciens, les reptiles et les insectes (odonates, lépidoptères et orthoptères).

2. Génie écologique et maîtrise d'œuvre

Hydrosphère accompagne les Maîtres d'ouvrage dans leurs projets par la conception d'aménagements visant à rétablir les fonctionnalités des milieux dégradés, par le suivi des travaux ainsi que par l'optimisation des délais d'instruction des dossiers réglementaires. La société réalise des prestations de maîtrise d'œuvre de la conception des projets jusqu'à la réalisation et la réception des travaux. Les champs de compétences d'Hydrosphère sont les suivants :

- Aménagement de berges en techniques de génie végétal,

- Restauration de la continuité biologique (dérasement, arasement d'ouvrages, rivières de contournement, conception de passes à poissons...),
- Plan de gestion de milieux (zone humides, cours d'eau, ripisylve, plan d'eau, ...),
- Restauration hydromorphologique de cours d'eau (reméandrage, remise à ciel ouvert, déplacement du lit dans le talweg d'origine, ...),
- Renaturation de milieux dégradés,
- Aménagement de frayères et d'habitats piscicoles.

3. Recherche et innovation

La société souhaite proposer des outils d'investigation et d'interprétation toujours plus performants et assure donc pour cela une activité de recherche et d'innovation technologique.

4. Formation et communication

Hydrosphère délivre des formations techniques destinées aux gestionnaires et aux personnels techniques afin de diffuser ses connaissances sur les protocoles d'études, la gestion des milieux ainsi que les chantiers écologiques. En parallèle, la société propose des supports de communication pour informer le public.

C'est au sein du pôle « Expertise et diagnostic » du bureau d'étude Hydrosphère à Castanet-Tolosan que j'ai effectué mon stage de mars à août 2021 sous la responsabilité de M. Pascal FRANCISCO, responsable de l'agence Occitanie.

Déroulé du stage

Au sein du bureau d'études Hydrosphère, différentes missions m'ont été confiées. Les plus significatives :

- Rédaction de rapports (analyse et synthèse de données, réalisations cartographiques, application de protocoles),
- Pêches électriques à pied et application de l'Indice Poisson Rivière (IPR),
- Relevés macroinvertébrés et diatomées et application des indices Macroinvertébrés Petits Cours d'Eau (MPCE) et Indice Biologique Diatomées (IBD),
- Descriptions de faciès d'écoulement pour le suivi d'aménagements ou dans le cadre d'études préalables,
- Réalisation du protocole hydromorphologique CARHYCE,
- Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique des modifications de débits sur un tronçon court-circuité suite à la mise en place d'une centrale hydroélectrique,
- Suivi des aspects quantitatifs de l'eau par mesures de débits,
- Suivi des aspects qualitatifs de l'eau par mesures physico-chimique de l'eau (température, conductivité, pH, oxygénation) et par prélèvement d'eau.

Plusieurs missions ayant été réalisées au cours du stage et dans un souci de respect du format alloué pour la rédaction de ce mémoire, seule sera développée ma mission portant sur la détermination d'un Débit Minimum Biologique (DMB) sur le cours d'eau du Célé pour le fonctionnement de la microcentrale du Moulin de Maynard situé sur la commune de Le Trioulou dans le département du Cantal.

Introduction

En France, l'hydroélectricité est réglementée par l'État depuis la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique, qui stipule que « nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau [...] sans une concession ou une autorisation de l'État » (article L.511-1 du code de l'énergie). On distingue donc deux cadres juridiques pour les **installations hydroélectriques** suivant la puissance maximale brute (PMB) des installations :

- Les installations de moins de 4,5 MW sont soumises au **régime de l'autorisation**,
- Les installations de plus de 4,5 MW sont soumises au **régime des concessions**.

Dans le cadre de ce rapport de stage et de l'étude détaillée dans les chapitres suivants, la centrale hydroélectrique du Moulin de Maynard est concernée par le **régime de l'autorisation** et nécessite donc l'obtention d'une **autorisation environnementale**, délivrée par le préfet pour une durée limitée et dont les règles d'exploitation dépendent des enjeux environnementaux du site concerné.

De plus, d'après l'article L.214-18 du code de l'environnement (décembre 2006), les installations hydroélectriques sont concernées par le **maintien d'un débit minimal dans le cours d'eau** « garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux » (Le Coz et al., 2011). Le maintien de ce débit minimum biologique s'impose comme une obligation légale pour les exploitants d'ouvrages entravants le lit des cours d'eau (Le Coz et al., 2011).

Les installations soumises à autorisation peuvent se voir accorder « des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. (i.e. le 1/10^{ème} du module ou moins pour les ouvrages assurant une production de pointe) » (article L.214-18 du code de l'environnement). L'évolution de la législation française oblige les services instructeurs à tenir compte de nouveaux débits, autre que le débit moyen interannuel, comme le débit moyen mensuel sec de récurrence cinq ans (QMNA5) et le **débit minimum biologique** (DMB).

Dans ce contexte, l'objectif est d'estimer le débit à conserver afin de garantir le maintien de la vie aquatique, à partir d'une méthode adaptée prenant en compte les variations du débit (modélisation hydraulique) et la capacité d'accueil potentielle pour la faune aquatique (modèles biologiques) (Prost et al., 2014). Pour les ouvrages existants, la valeur plancher du 1/10^{ème} du module est appliquée sauf si une étude DMB permet de justifier une valeur plus importante que le 1/10^{ème}. Pour les nouveaux ouvrages, l'étude DMB fixe une valeur qui ne peut être inférieure à la valeur plancher du 1/10^{ème} du module interannuel.

Finalement, l'instauration du DMB vise à assurer un **équilibre** entre les **besoins anthropiques** et les **besoins de l'écosystème** en fonction de la ressource disponible.

Présentation de la mission

Contexte et objectifs

Cette étude a été menée pour le compte de la S.A.R.L. Centrale Maynard et concerne la microcentrale hydroélectrique du Moulin de Maynard située sur la commune de Le Trioulou dans le département du Cantal.

Elle dérive actuellement une partie des eaux du Célé pour son fonctionnement créant ainsi un **Tronçon Court-Circuité (TCC) d'environ 600m** de long entre la prise d'eau d'un seuil situé en amont et la restitution située au droit du Moulin de Maynard.

Le débit réservé dans le TCC, c'est-à-dire le débit minimal à conserver entre la prise d'eau et la restitution des eaux en aval de la centrale et garantissant la vie, la circulation et la reproduction des espèces, est actuellement de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, correspond au QMNA5 du cours d'eau, c'est-à-dire au débit minimum se produisant en moyenne une fois tous les 5 ans, sur proposition de l'Arrêté Préfectoral temporaire d'exploitation n°2019-136 du 21 janvier 2019. Cette valeur de débit réservé a été accordée provisoirement en attendant les résultats d'éléments pertinents pour fixer le débit réservé et notamment la détermination d'un DMB.

La S.A.R.L. Centrale Maynard a par conséquent sollicité le bureau d'études Hydrosphère pour la réalisation de cette étude DMB.

La mission concerne les éléments suivants :

- Repérage et détermination des faciès d'écoulement dans le TCC,
- Mise en place d'une station de mesure pour la détermination du DMB,
- Mesures de terrain et détermination du DMB.

Les chapitres suivants présentent les parties matériel et méthodes ainsi que les résultats et la discussion autour de ces derniers.

Matériel et Méthodes

Présentation du site d'étude

Le Moulin de Maynard se situe sur la commune de Le Trioulou, dans le département du Cantal. Le Célé représente ici la limite départementale entre le Cantal et le Lot. La figure 1 ci-dessous présente la zone d'étude.

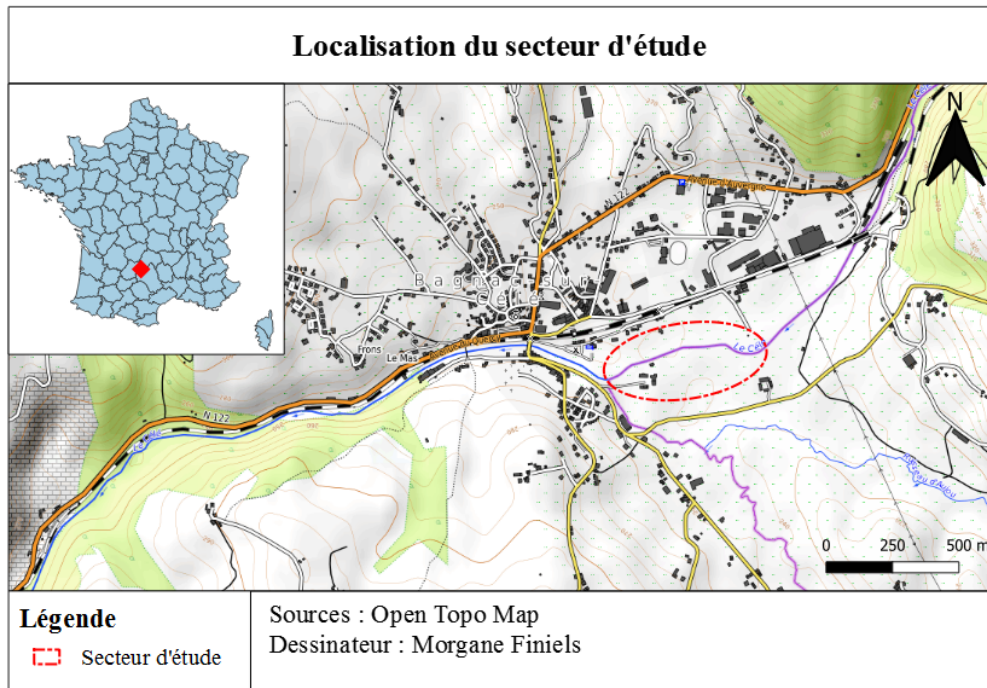


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

Le Célé se situe, conformément à l'Arrêté du 7 octobre 2013 établissant la liste des cours d'eau mentionnée au 2° du I de l'article L. 214-17 du code de l'environnement sur le bassin Adour-Garonne, en liste 2 des cours d'eau. Cela signifie que tout ouvrage implanté dans le cours d'eau doit être rendu transparent dans les 5 ans suivants la publication de la liste. De ce fait, afin d'assurer la continuité écologique, une passe à poissons (Cf. Figure 2) a déjà été aménagée sur le seuil situé à l'amont du TCC.



Figure 2 : Passe à poissons sur le seuil en amont du TCC du moulin de Maynard (Source : Hydrosphère)

En parallèle, la centrale hydroélectrique se situe sur une zone sensible de par la présence d'une population de moule perlière (*Margaritifera margaritifera*), espèce rare et protégée au niveau national et international. En effet, le Célé sur le secteur du TCC a fait l'objet d'un inventaire de la population de moule perlière en 2017. 11 individus ont été recensés suite à cette étude. D'après la liste rouge européenne de l'UICN, l'espèce est classée « CR », c'est-à-dire « en danger critique ». Ce seuil indique que l'espèce est fortement menacée, ce qui influe d'autant plus sur la mise en place d'un débit minimum dans le cours d'eau qui permette le maintien de la population actuellement présente afin qu'elle ne se retrouve pas exondée. De plus, la reproduction des moules perlières est liée à la présence de deux poissons en particulier : la truite fario (*Salmo trutta fario*) et le saumon (*Salmo salar*) (Syndicat mixte du bassin de la Rance et du Célé, 2009). Il est donc primordial d'assurer la libre circulation des poissons, et plus globalement d'assurer la continuité écologique du cours d'eau, afin de protéger les espèces relatives à ce secteur.

Caractérisation du milieu

La caractérisation du milieu a été effectuée sur la base des données disponibles après consultation des principaux sites suivants :

- l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (SIEAG : <http://adour-garonne.eaufrance.fr/accueil>),
- la Banque HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>),
- l'INPN (<https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>),
- Naïdes (<http://www.naiades.eaufrance.fr/>),
- Géoportail (geoportail.gouv.fr).

L'ensemble de ces sites ont permis d'effectuer la synthèse bibliographique (Cf. § Résultats) des données disponibles sur ce secteur d'étude.

Choix et mise en place du protocole

Avec l'anthropisation des cours d'eau, les débits sont fortement influencés et réduits. Cette réduction des débits influence la quantité et la qualité des habitats disponibles. En effet, on observe une diminution des hauteurs d'eau et des vitesses de courant qui entraîne une modification des faciès d'écoulement ainsi que de la qualité physico-chimique de l'eau, notamment du paramètre température. La diminution des débits provoque également la réduction de la surface mouillée. Cette réduction des habitats disponibles s'en suit d'une diminution de la biomasse de macroinvertébrés, principale source de nourriture des poissons. De ce fait, les peuplements piscicoles sont impactés. C'est pour cette raison que la méthode des microhabitats a été développée, afin de déterminer la capacité d'accueil du cours d'eau pour les peuplements piscicoles.

La méthode des microhabitats (Cf. Figure 3) est donc apparue dans les années 1980 aux Etats-Unis (Prost et al., 2014). Elle consiste à quantifier l'habitat favorable pour différentes espèces ou guildes d'espèces sur un secteur représentatif d'un cours d'eau (Pouilly et al., 1995). L'habitat favorable est décrit selon différentes variables que sont :

- Les hauteurs d'eau,
- Les vitesses d'écoulement,
- Le substrat en eau.

On parle plus généralement du couple (H, V, S). Il s'agit d'utiliser des logiciels qui combinent un modèle hydraulique simulant les conditions hydrauliques du milieu à un modèle biologique décrivant les habitats préférentiels par espèce ou par guildes. Ces habitats préférentiels sont donnés par espèce et par stade de développement (juvénile ou adulte) et pour chacune des trois variables (H, V, S) sous la forme de courbes préférentielles indiquant une valeur comprise entre 0 (non favorable) et 1 (très favorable) (Pouilly et al., 1995).

Puis, avec l'appui des mesures de terrains effectuées, il est possible de simuler les valeurs de débit sur le secteur d'étude. Ce dernier est découpé en microhabitats ; il s'agit de l'unité de maille du modèle hydraulique. Pour chaque valeur de débit, les microhabitats se voient affectés une valeur **d'hauteur d'eau, de vitesse de courant et de substrat (H, V, S)**.

Ensuite, à chaque maille du modèle est appliquée le coefficient de pondération de la ou des espèces choisies (ou guildes), ce qui permet d'obtenir la **surface pondérée utile** (SPU). La somme de toutes les mailles du secteur d'étude (SPU_{tot}) divisée par la surface mouillée définit ce qui est appelé la **valeur d'habitat** (VHA). Finalement, le modèle fournit pour chaque stade de développement d'espèce ou chaque guildes d'espèces, une courbe de SPU et une courbe de VH en fonction du débit. Il s'agit ensuite d'interpréter les résultats obtenus (Prost et al., 2014). Pour cela, une **analyse qualitative et quantitative** des courbes d'évolution de la SPU est réalisée.

Le **raisonnement qualitatif** cherche à définir graphiquement un **seuil d'accroissement du risque (SAR)** qui est la limite en dessous de laquelle les valeurs de SPU chutent très rapidement, ce qui se traduit graphiquement par une augmentation de la pente de la courbe. L'objectif de cette étude est de proposer une gamme de valeurs de débits minimums au sein de laquelle pourra être recherchée la valeur du débit optimal pour le débit réservé accordé. Dans la pratique, l'étude de ces courbes peut s'avérer assez difficile, l'absence de franche rupture dans l'allure des courbes ne permettant pas parfois de définir un réel SAR. De plus, la lecture graphique s'avère assez suggestive selon le lecteur.

Le **raisonnement quantitatif** s'attache à définir la SPU la plus limitante pour le cours d'eau en situation d'hydrologie aussi naturelle que possible et fait donc référence à la situation hydrologique du mois le plus sec pour le stade limitant des guildes, populations, stades « repères ». En effet, le débit minimum d'étiage est l'un des facteurs majeurs qui régule les peuplements piscicoles. Les grandeurs classiquement utilisées sont le QMNA5 et le QMNA2. Cette seconde approche est mise en œuvre sur la base des informations disponibles, et sert notamment lors de la définition des différentes bornes proposées pour le régime réservé.

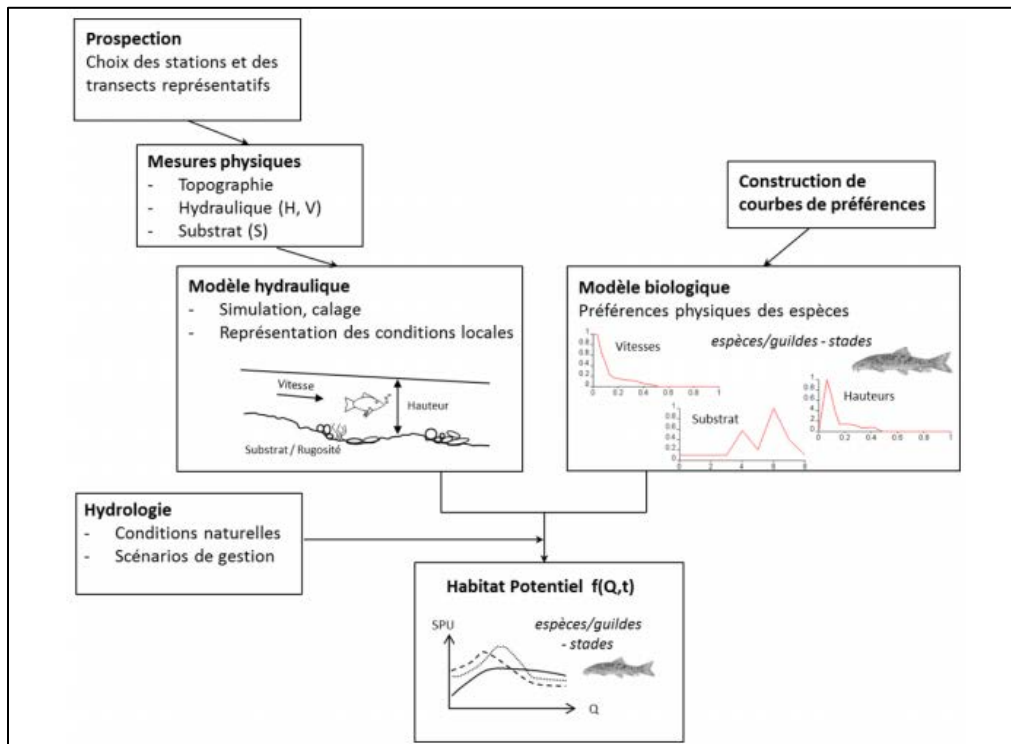


Figure 3 : Principe de la méthode des microhabitats (Source : IRSTEA)

En France, deux principaux logiciels existent : EVHA et Estimhab. Ceux-ci sont comparés ci-dessous (Cf. Tableau 1).

EVHA

Le modèle EVHA (EValuation de l'HABitat) a été développé par l'Irstea et le Ministère de l'Environnement dans les années 1980 (Prost et al., 2014). Ce modèle est basé sur un protocole de terrain lourd, avec de nombreuses mesures et notamment :

- Relevés topographiques de la station de mesure à un débit donné sur plusieurs transects,
- Mesure des hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement et évaluation du substrat sur plusieurs transects (Ginot, 1995).

ESTIMHAB

Le modèle Estimhab (ESTIMation d'HABitat) a lui aussi été développé par l'Irstea mais en 2002. Il s'agit d'une méthode plus simple dans sa mise en œuvre et dans la qualité de ses résultats que la méthode EVHA. En effet, les variables d'entrées sont simplifiées. Les estimations de ce modèle reposent sur la mesure et la connaissance de seulement 5 paramètres :

- Le débit journalier médian naturel (Q50),
- Le débit du cours d'eau à deux dates différentes,
- La largeur du cours d'eau à deux débits différents,
- La profondeur du cours d'eau à deux débits différents,
- La taille du substrat dominant.

Tableau 1 : Tableau comparatif des modèles EVHA et Estimhab

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
EVHA	<ul style="list-style-type: none"> - Obtention d'une cartographie simulée de l'habitat 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation du domaine d'application : seulement des petits cours d'eau avec une pente comprise entre 0,2 et 5%, un module < 30 m³/s et une largeur au miroir < 20 m - Relevés topographiques et hydrauliques importants - Expérience du calage d'un modèle hydraulique nécessaire - Applicable essentiellement sur des cours d'eau salmonicoles
ESTIMHAB	<ul style="list-style-type: none"> - Protocole plus rapide sur le terrain (pas de mesure topographique) - Applicable sur un plus grand nombre de cours d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'analyse ou de cartographie fine de la qualité de l'habitat sur le secteur étudié - Pas de prise en compte des facteurs environnementaux (température, qualité de l'eau, etc.) - Peu d'aide pour l'interprétation des résultats, uniquement une courbe d'évolution des habitats favorables en fonction du débit - Limite du domaine d'application : cours d'eau de climat tempéré, morphologie naturelle ou peu modifiée, pente < 5%

Actuellement, le modèle Estimhab est plus employé que le modèle EVHA. Ceci est tout d'abord dû au fait qu'il est moins coûteux et plus simple dans sa mise en œuvre car il ne nécessite pas de mesure topographique ni de calage et de validation du modèle. Ensuite, Estimhab est plus répandu aujourd'hui car il est plus récent et que le modèle EVHA ne fait plus l'objet de développement ni de mise à jour. De ce fait, les problèmes qui surviennent lors des modélisations sont difficilement réglables (Prost et al., 2014).

Il faut également noter que quel que soit le modèle retenu, les courbes de préférence ne sont pas disponibles pour toutes les espèces présentes dans les cours d'eau français et se pose également la question de la transposabilité de ces courbes d'un bassin versant à un autre (Prost et al., 2014). De plus, le modèle biologique employé dans le cadre du protocole Estimhab découle des équations par espèces, stades et/ou guildes d'espèces obtenu par les simulations de d'EVHA.

Protocole de terrain et principe de la mesure

Dans le cadre de cette étude nous avons donc opté pour le modèle Estimhab. Nous avons tout d'abord effectué une prospection à pied sur l'ensemble du TCC afin de décrire les faciès de ce dernier. Cette description a permis de choisir la station de mesure représentative du TCC. La station choisie doit prendre en compte la succession des faciès disponibles et de préférence présenter une alternance de faciès morphologiques, se traduisant généralement par des vitesses d'écoulement variables le long du tronçon.

Il s'agissait ensuite de prospecter plus en détail la station de mesure afin de définir :

- Le type de faciès,
- La largeur et la longueur du faciès,

- La hauteur d'eau moyenne,
- La hauteur d'eau minimale et maximale observée sur le faciès,
- Le substrat dominant et le substrat accessoire,
- La vitesse de courant.

Toutes ces mesures ont été répétées, dans notre cas, sur 100 points répartis sur 15 transects. Les espacements entre les transects et les points ont été définis comme suit :

Longueur du tronçon	$L = 15 \times l$ plein bord
Nombre de transects	Nb transects ≥ 15
Espacement entre transects	$E = L / \text{Nb transects}$
Espacement entre les points sur les transects	$E_p = l_{\text{moy}} / 7$

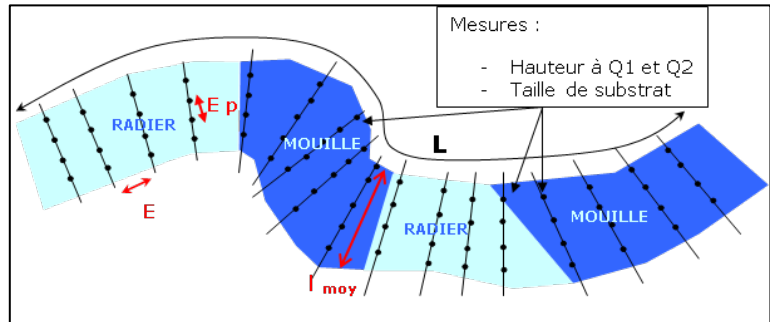


Figure 4 : Conditions de mise en œuvre du protocole Estimhab (Source : Lamouroux, 2002)

Pour ce qui est des débits, 2 campagnes sont à réaliser : une campagne en basses eaux (Q1) et une campagne en hautes eaux (Q2). Les conditions à respecter sont les suivantes :

- $Q2 > 2 \times Q1$,
- $Q1 \text{ et } Q2 < Q_{\text{plein bord}}$,
- $Q1/10 < Q50 < 5 \times Q2$ (Lamouroux, 2002).

Les faciès d'écoulement ont été identifiés selon la classification de Malavoi et Souchon (2002) (Cf. Figure 5 ci-dessous) et la granulométrie a été déterminée suivant la classification de Wentworth (1922) (Cf. Figure 6 ci-après).

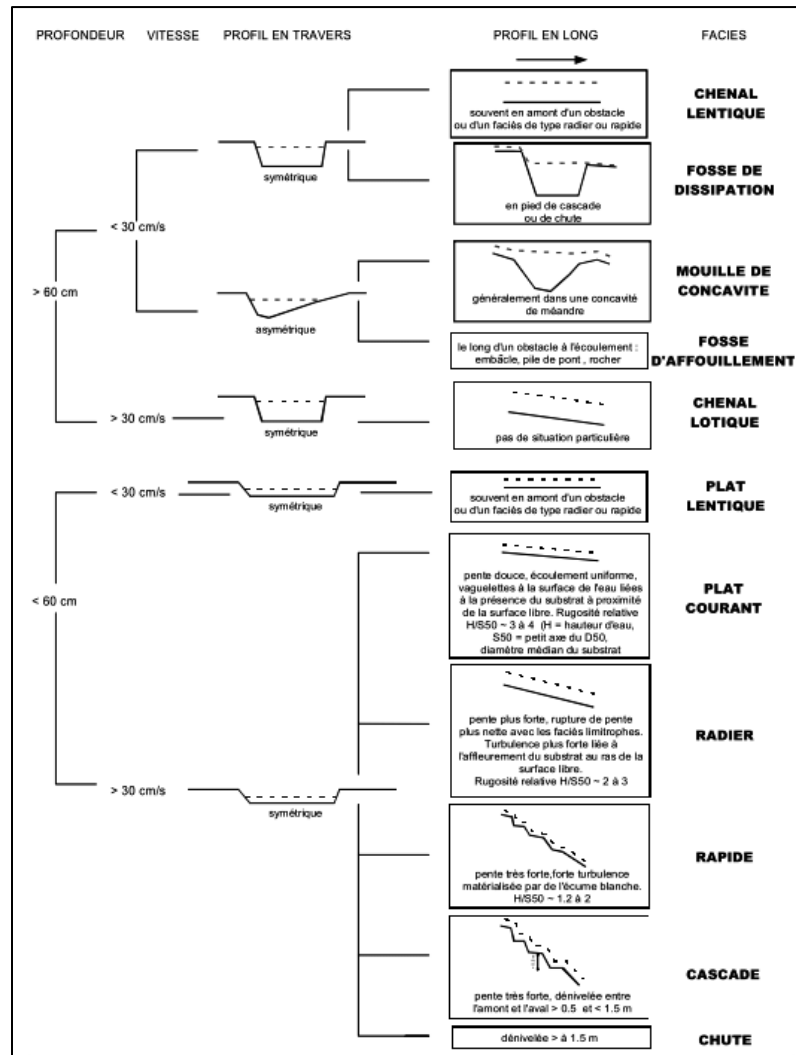


Figure 5 : Identification des faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0.5-2	SG
Sables Fins	0.0625-0.5	SF
Limons	0.0039-0.0625	L
Argiles	< 0.0039	A

Figure 6 : Classification granulométrique (Wentworth, 1922)

Présentation des espèces piscicoles cibles

La méthode des microhabitats consiste ensuite à identifier une ou plusieurs espèces cibles qui sont représentatives du peuplement piscicole du cours d'eau. Généralement la truite fario est choisie car elle est exigeante en ce qui concerne les conditions d'habitat physique. Dans le cadre de cette étude, la truite fario est considérée comme espèce cible ainsi que la vandoise rostrée, représentée par le biais de la guilde « chenal » (Cf. Annexe 1).

- Truite fario (*Salmo trutta fario*)

C'est une espèce autochtone des rivières françaises pouvant mesurer plus de 60 cm pour un poids d'environ 3,5 kg. Elle est généralement de couleur brune, au dos foncé à vert clair, aux flans nacrés à jaunâtres, avec des tâches noires et des points rouges qui couvrent ses flancs, ses opercules et sa nageoire dorsale.

La Truite fario est un salmonidé rhéophile et pélagique, elle affectionne les eaux vives, froides et bien oxygénées. Elle colonise les secteurs amont des cours d'eau et se nourrit principalement d'invertébrés et de petits poissons. Les stades de développement de la Truite fario pris en compte par le logiciel Estimhab dans l'évaluation des DMB sont :

- Adulte : sujet en âge de se reproduire (14 à 28 cm),
- Juvenile : sujet de plus d'un an non encore reproductif (10 à 16 cm),
- Alevin : sujet de moins d'un an et de plus de 5 cm.

Il convient de préciser qu'en terme de résultats de modélisation, il n'y a quasiment pas de différence entre les stades juvenile et alevins chez la truite. Ceci explique que dans le cadre de l'application du protocole Estimhab, les deux stades sont ici confondus.

La truite fario atteint sa maturité sexuelle dès l'âge de 1 à 2 ans et la reproduction a lieu de novembre à fin février, au niveau des têtes de bassin (chevelu hydrographique) dans les zones de transition entre mouille et radier, là où le courant s'accélère, la profondeur est peu importante et sur fond de graviers (2 à 6 cm de diamètre).

La truite présente un intérêt patrimonial et halieutique important. Les habitats qu'elle utilise au cours de son cycle vital font l'objet d'une protection nationale (arrêté du 8 décembre 1988). Elle est un indicateur de la bonne qualité de l'eau et du maintien de l'intégrité des habitats aquatiques.

- Vandoise rostrée (*Leuciscus burdigalensis*)

C'est une espèce rhéophile affectionnant donc les eaux courantes et fraîches et pouvant mesurer jusqu'à 40 cm pour un poids de 1 kg. La vandoise rostrée n'est pas considérée comme une espèce en danger, néanmoins, son habitat est fortement menacé par l'anthropisation des cours d'eau ainsi que la compétition avec d'autres espèces (gardon, brème, etc.). De ce fait, on observe un recul de la population de vandoise rostrée en France (Observatoire Poisson Seine Normandie, 2021).

La vandoise rostrée colonise principalement les parties intermédiaires des cours d'eau et les zones lotiques.

Dans le logiciel Estimhab, la vandoise rostrée est associée à la guilde chenale, correspondant à son habitat préférentiel.

Résultats

Caractéristiques hydrologiques

L'hydrologie de la station concernée est présentée suivant les données disponibles sur le site de la Banque HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) en se référant à la station de suivi la plus proche, à savoir « Le Célé à Figeac » située à environ 15 km en aval de la centrale.

Cette station présente les caractéristiques suivantes :

- Code station : 08113520
- Bassin versant : 649 km²
- Plage de données disponibles : 2005 – 2021
- Nombre d'années complètes : 17 ans
- Module calculé sur la période 1914-2018 : 9.47 m³/s

Les données hydrologiques soulignent que le débit moyen le plus faible est noté sur la période de juillet à octobre (Cf. Figure 7) alors que les valeurs les plus élevées sont observées en hiver (janvier-février).

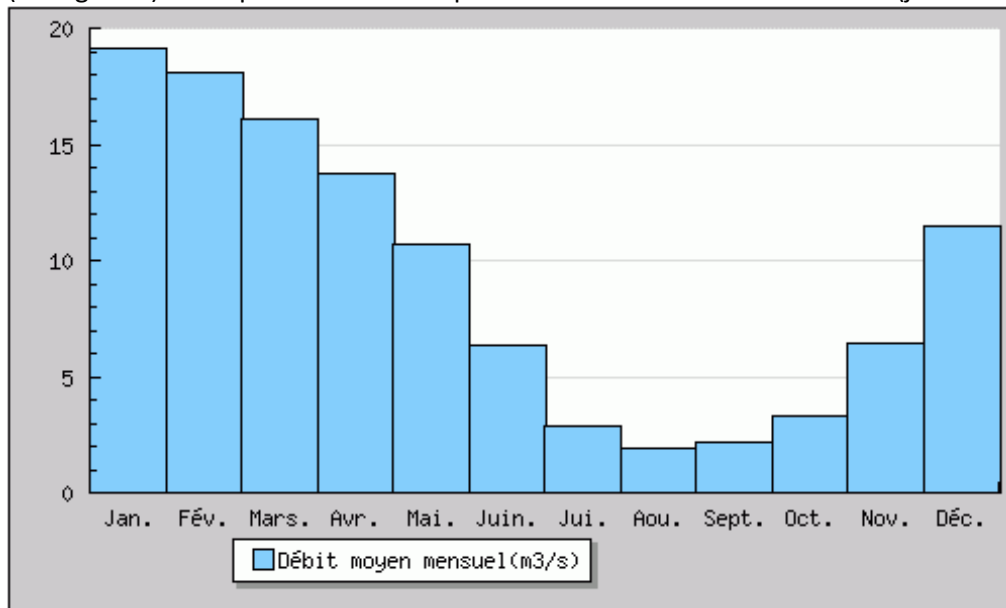


Figure 7 : Débit moyen mensuel calculé sur 17 ans – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » (Source : Banque Hydro)

La superficie du bassin versant au niveau de la zone d'étude a été recalculée et est évaluée à 352 km² (Cf. Figure 8) Les débits sur le secteur du TCC sont estimés grâce à l'application d'un coefficient de pondération appliqué à ceux de la station du Célé à Figeac, en fonction des bassins versants respectifs des deux localisations :

$$PBV = \frac{\text{Bassin versant Maynard}}{\text{Bassin versant Figeac}} = \frac{352}{649} = 0,54$$

Les débits en aval du TCC du Moulin de Maynard peuvent donc être estimés en appliquant aux débits relevés à la station de Figeac un coefficient de pondération de 0,54.

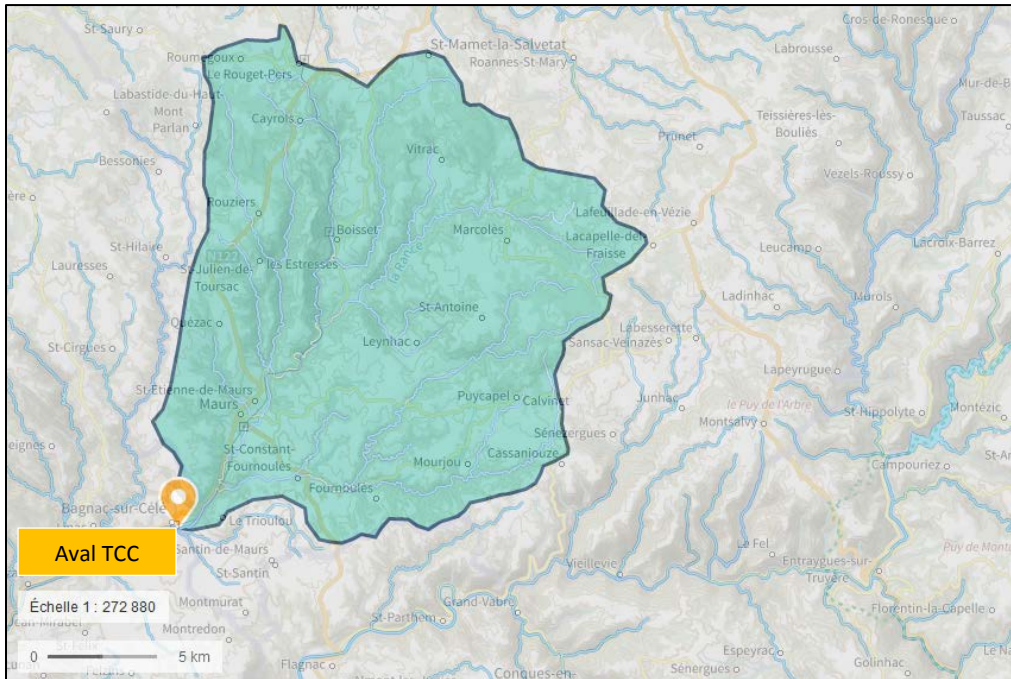


Figure 8 : Bassin versant du secteur d'étude (source fond cartographique : géoportail)

L'analyse des débits moyens disponibles pour la station de Figeac concerne la période 2005-2021. C'est pourquoi l'hydrologie moyenne sur le site du Moulin de Maynard s'étend sur cette même période (Cf. Figure 9, Tableau 2).

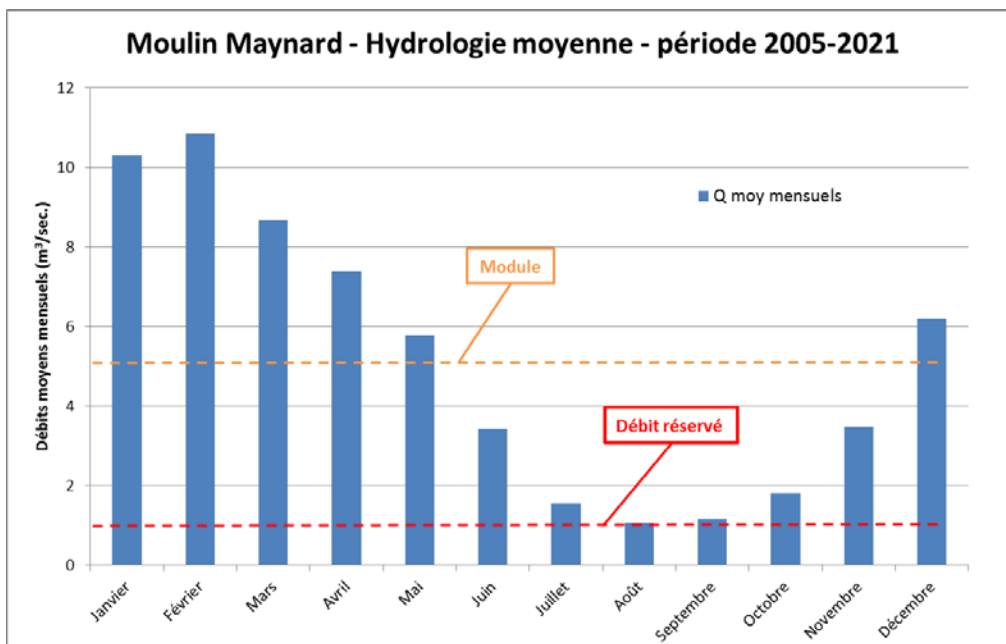
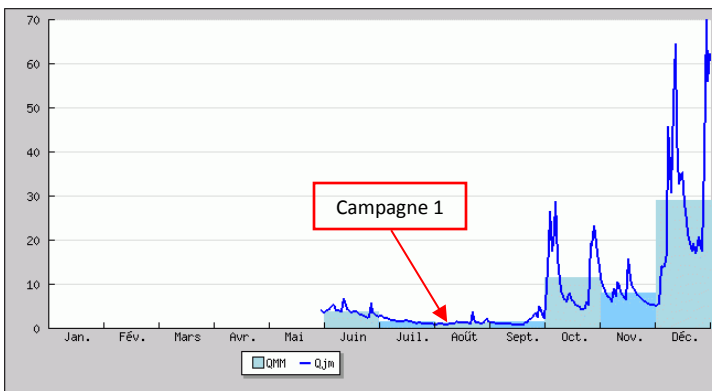
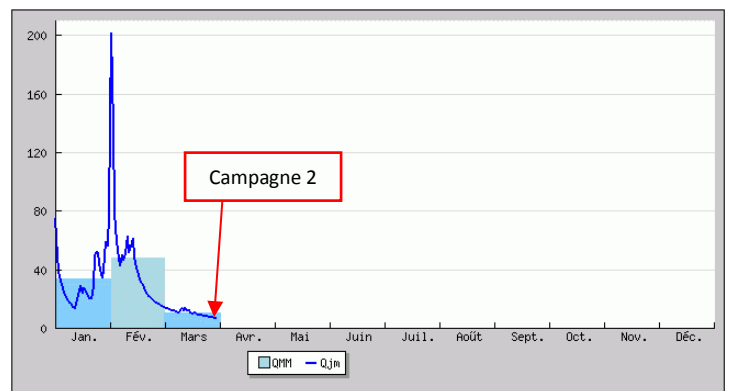


Figure 9 : Débits journaliers en m³/s évalués sur le site du Moulin de Maynard - Période 2005-2021 (Source : Banque HYDRO)

Tableau 2 : Calcul des caractéristiques hydrologique du Célé au niveau du TCC

	Le Célé à Figeac	Le Célé sur la station du TCC
Superficie du BV en km ²	649,00	352,00
Module (M) en m ³ /sec	9,47	5,11
Débit moyen annuel (Q50) en m ³ /sec	9,50	5,13
QMNA5 en m ³ /sec	1,29	0,70

Figure 10 : Débit journalier en m³/sec – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » année 2020 (Source : Banque HYDRO)Figure 11 : Débit journalier en m³/sec – Station O8113520 « Le Célé à Figeac » année 2021 (Source : Banque HYDRO)

Les campagnes de terrain ont été effectuées à 2 dates :

- Le 11 août 2020 (Cf. Figure 10, Campagne 1) lorsque le débit était de **1.090 m³/sec** sur la station du Célé à Figeac soit de **0.59 m³/sec** sur le TCC, correspondant à un débit d'étiage,
- Le 30 mars 2021 (Cf. Figure 11, Campagne 2) lorsque le débit était de **6.1 m³/sec** sur la station du Célé à Figeac soit **3.29 m³/sec sur le TCC** c'est-à-dire environ équivalent au ²/₃ du module (Cf. Tableau 2).

Contexte écologique

Le secteur d'étude est situé au niveau de la masse d'eau FRFR68 « Le Célé du confluent de la Ressègue (incluse) au confluent du Veyre » dont l'état chimique est qualifié par la station « Le Célé au Pont des Aurières » (code 05091400) située à environ 2.5 km en amont du Moulin de Maynard. Le site d'étude est localisé entre deux stations de suivi du Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS) disponibles sur le site de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (SIEAG : <http://adour-garonne.eaufrance.fr/accueil>) :

- « Le Célé en amont du confluent avec le Rance » (code 05091600) à environ 6km en amont du moulin,
- « Le Célé au niveau du seuil de Larive à Bagnac sur Célé » (code 05091313) à quelques mètres en aval du secteur d'étude.

A noter que la station n°05091600 « Le Célé en amont du confluent avec le Rance » est la seule à posséder des données biologiques sur le secteur de la masse d'eau.

La masse d'eau FRFR68 « Le Célé du confluent de la Ressègue (incluse) au confluent du Veyre » présente un objectif de **bon état écologique en 2021**. Son état écologique et chimique (Cf. Figure 12) est indiqué sur la base des données 2011-2012-2013. **L'état chimique** est « **bon** » et **l'état écologique** est qualifié de « **moyen** » suite au paramètre déclassant Indice Biologique Diatomées (IDB) en 2013.

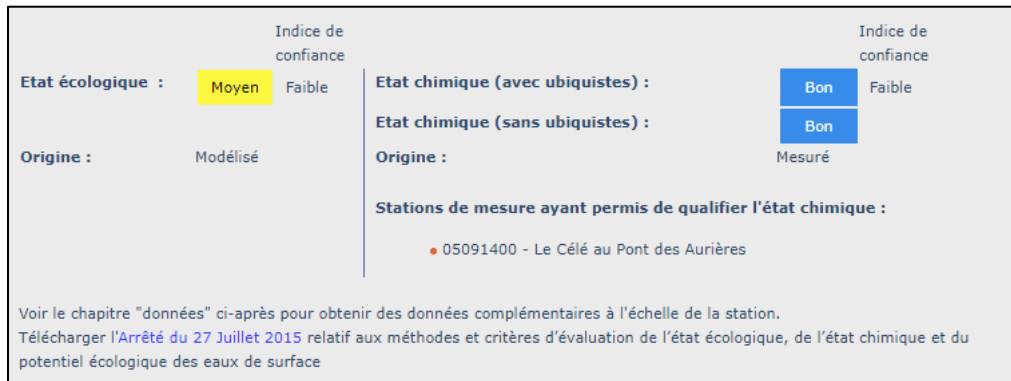


Figure 12 : Etat écologique de la masse d'eau FRFR68 « Le Célé du confluent de la Ressègue (incluse) au confluent du Veyre » - Sur la base de données 2011-2012-2013

L'état écologique des deux stations situées non loin du Moulin de Maynard est donné par les figures 13 et 14 pages suivantes.

La station n°05091600 située en amont du moulin indique un **état physico-chimique « bon » en 2019** (Cf. Figure 13). **L'état biologique** quant à lui est « **mauvais** » pour cause du paramètre déclassant Indice Poissons Rivière (IPR) alors que les deux autres indices biologiques calculés (IBD et I2M2) sont qualifiés de « très bon ». Selon les données physico-chimiques et biologiques, **l'état écologique** de la station est « **mauvais** » en 2019.

Etant donné que cette station est la seule à posséder des données sur la biologie de la masse d'eau, il semblerait que l'état écologique de cette dernière soit « mauvais » en 2019.

Ecologie		Mauvais
Physico chimie		Bon
Les valeurs retenues pour qualifier la physico-chimie sur trois années correspondent au percentile 90. Cet indi		
Oxygène		Très bon
Carbone Organique		Très bon
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5)		Très bon
Oxygène dissous		Très bon
Taux de saturation en oxygène		Très bon
Nutriments		Bon
Ammonium		Très bon
Nitrites		Très bon
Nitrates		Bon
Phosphore total		Très bon
Orthophosphates		Très bon
Acidification		Très bon
Potentiel min en Hydrogène (pH)		Très bon
Potentiel max en Hydrogène (pH)		Très bon
Température de l'Eau		Très bon
Biologie		Mauvais
La valeur retenue pour qualifier un indice biologique sur trois années correspond à la moyenne des notes relev		
Indice biologique diatomées		Très bon
Indice Biologique macroinvertébrés (IBG RCS)		Inconnu
Variété taxonomique 2017-2019	28-33	
Groupe indicateur 2017-2019	9-9	
Indice Invertébrés Multimétrique (I2M2)		Très bon
Nb de taxons contributifs 2017-2019	46-56	
Richesse Taxonomique 2017-2019	0.45-0.56	
Ovoviviparité 2017-2019	0.94-0.96	
Polyvoltinisme 2017-2019	0.88-0.87	
ASPT 2017-2019	0.86-1.00	
Indice de shannon 2017-2019	0.78-0.68	
Indice poissons rivière		Mauvais

Figure 13 : Etat écologique de la station « Le Célé en amont du confluent avec le Rance » (code 05091600) - Année 2019

Pour ce qui est de la station n°05091313 située à quelques mètres en aval du secteur d'étude, l'**état physico-chimique** est indiqué comme étant « **bon** » en 2019 (Cf. Figure 14). La station ne possédant aucune donnée sur la biologie, l'**état écologique** est qualifié de « **bon** ».

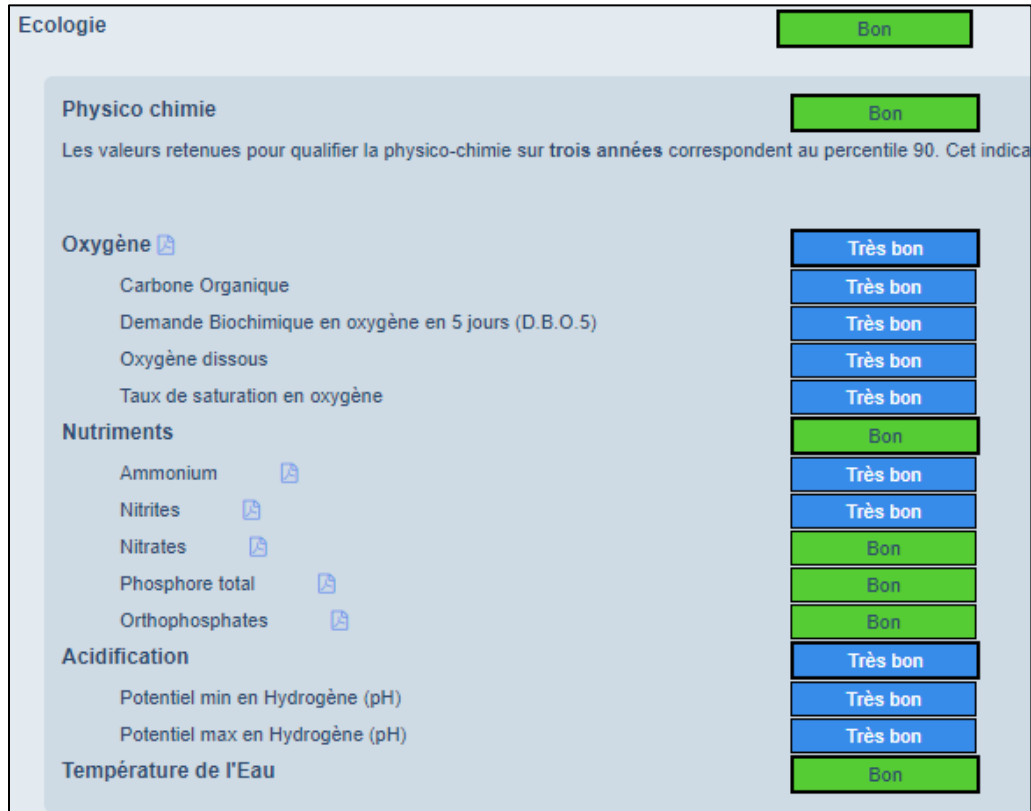


Figure 14 : Etat écologique de la station « Le Célé au niveau du seuil de Larive à Bagnac sur Célé » (code 05091313) - Année 2019

Finalement, le secteur d'étude semble indiquer un état physico-chimique « bon » comme le montrent les deux stations situées en amont et en aval de la zone. En revanche, en ce qui concerne la biologie du cours d'eau, celle-ci semble « mauvaise » d'après les dernières données 2019 de la station 05091600 située en amont du Moulin de Maynard. Si l'on fait abstraction de cette note de l'IPR données disponibles indiqueraient alors un **bon état écologique** sur la station du Célé en amont de la confluence avec le Rance (05091600).

A noter que l'Indice Poisson Rivière présente une qualité médiocre depuis 2016 soulignant l'état perturbé du peuplement piscicole sur ce secteur du Célé.

Contexte piscicole

D'après les données disponibles sur Naiades (<http://www.naiades.eaufrance.fr/>), deux inventaires piscicoles ont été menés en août 2018 et octobre 2019 sur le Célé au niveau de Bagnac-sur-Célé, soit à quelques mètres en aval du TCC. Les résultats de ces inventaires sont mentionnés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Composition du peuplement piscicole en 2018 et 2019 sur la station de Bagnac sur Célé
(Source : Naiades)

Code	Nom commun	Nom latin	Date de l'opération	Nombre de taxons relevés
LPP	Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	29/08/2018	10
PES	Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	29/08/2018	1
BAF	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	29/08/2018	12
GOU	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	29/08/2018	432
VAI	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	29/08/2018	88
GAR	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	29/08/2018	2
ROT	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	29/08/2018	2
CHE	Chevaine	<i>Squalius cephalus</i>	29/08/2018	19
PFL	Ecrevisse signal	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	29/08/2018	16
LPP	Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	03/10/2019	14
LOF	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	03/10/2019	1
CHA	Chabot	<i>Cottus gobio</i>	03/10/2019	1
BAF	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	03/10/2019	27
GOU	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	03/10/2019	172
VAR	Vandoire rostrée	<i>Leuciscus burdigalensis</i>	03/10/2019	3
VAI	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	03/10/2019	14
GAR	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	03/10/2019	4
TRF	Truite de rivière	<i>Salmo trutta fario</i>	03/10/2019	15
CHE	Chevaine	<i>Squalius cephalus</i>	03/10/2019	6
TOX	Toxostome	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	03/10/2019	9
PFL	Ecrevisse signal	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	03/10/2019	4

Ces inventaires révèlent la présence de 4 espèces présentant un statut de protection ; elles sont mentionnées dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Espèces piscicoles et statuts de protection - Station de Bagnac sur Célé

Code	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statuts de protection
BAF	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	Annexe V de la Directive Habitats
LPP	Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	Annexe II de la Directive Habitat Arrêté du 8 décembre 1988 - Article 1 Article L432-2 CE
TOX	Toxostome	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Annexe II de la Directive Habitat
TRF	Truite de rivière	<i>Salmo trutta fario</i>	Arrêté du 19 novembre 2007 - Article 1 Arrêté du 23 avril 2008 - Article L432-3 CE

Enfin, il faut remarquer la présence de la perche soleil (*Lepomis gibbosus*) ainsi que de l'écrevisse signal (*Pacifastacus leniusculus*) inscrites sur la liste des espèces de poissons, de crustacés et de grenouilles susceptibles de **provoquer des déséquilibres biologiques** (Article R432-5 du code de l'environnement).

Zonages réglementaires

Le secteur d'étude est concerné par deux classements en milieux naturels remarquables (INPN : <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>) :

- Une ZNIEFF continentale de type II référencée sous le n°730030128 « Ségala Lotois : Bassin versant du Célé ».

Elle se situe à l'extrémité nord-est du département du Lot et est majoritairement composé de ruisselets, de forêts, de landes et de pelouses acidiphiles plus ou moins humides à tourbeuses. L'intérêt patrimonial du site est notamment important de par sa richesse en tourbières dont certaines sont encore en très bon

état de conservation. De plus, on recense des espèces déterminantes telles que : l'anguille (*Anguilla anguilla*), le chabot (*Cottus gobio*), ainsi que d'autres espèces à statut réglementé comme la loutre (*Lutra lutra*).

- Une ZNIEFF continentale de type I référencée sous le n°830020448 « Le Célé à Bagnac ».

Son classement en ZNIEFF est justifié par la présence de deux espèces de chauve-souris à statut réglementé et déterminantes : la barbastelle d'europe (*Barbastella barbastellus*) et le murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*).

La présence de ces ZNIEFF témoigne de caractéristiques écologiques remarquables sur le site. Il est donc important de les prendre en compte dans les projets d'aménagement.

La cartographie des zonages est présentée par la figure 15 ci-dessous.

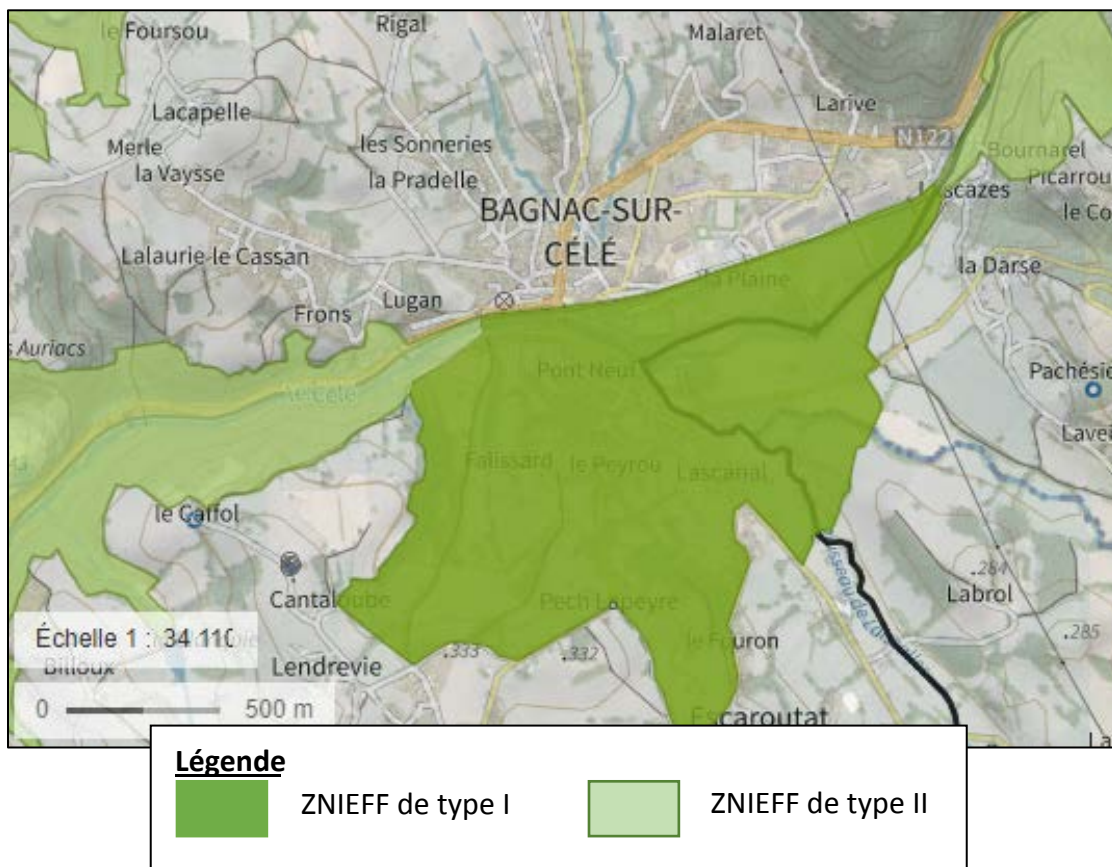


Figure 15 : Localisation des zonages réglementaires sur le secteur d'étude (Source fond cartographique : Géoportail)

Le Célé fait également l'objet d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE). En effet, depuis l'arrêté inter-préfectoral du 5 mars 2012 le SAGE Célé est approuvé.

D'après l'atlas cartographique du SAGE Célé, le Moulin de Maynard se situe sur un **site classé** et on note la présence de trois espèces remarquables : la loutre (*Lutra lutra*), la moule perlière (*Margaritifera margaritifera*) et l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*). La présence de la mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) a été signalée dans le tronçon court-circuité avec 11 individus recensés d'après l'inventaire de décembre 2017 (rapport Alter Eco).

Toutefois, lors de nos prospections de terrain du 11 août 2020, deux secteurs en particulier ont été longuement observés à l'aide d'un bathyscope. Sur ces secteurs, la présence de la moule perlière avait été notée dans le précédent rapport d'étude d'Alter Eco (décembre 2017). Malgré une observation attentive, aucun individu n'a été contacté sur ces secteurs situés à l'aval du tronçon court-circuité. Cet « non-observation » ne signifie cependant pas l'absence de l'espèce sur le secteur d'étude dont une population relictuelle devrait toujours être présente.

Le cours d'eau du Célé, comme indiqué dans les chapitres précédents, est également classé en **liste 2** au titre de l'article L 214-17 (2°) du code de l'environnement. A ce titre, il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon les règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant.

Description des faciès d'écoulement sur le TCC

Afin de caractériser les habitats présents sur l'ensemble du TCC, une prospection à pied d'aval en amont a été conduite le 11 août 2020. Le linéaire concerné représente une longueur d'environ 600 mètres. Cette reconnaissance a été effectuée en période de basses eaux (11 août 2020) afin de pouvoir mieux apprécier les différents faciès constitutifs. Les longueurs ont été mesurées à l'aide d'un Topofil et les largeurs à l'aide d'un lasermètre. Les profondeurs ont été mesurées avec une perche graduée en cm. Des photographies de ces différents faciès et de leur environnement direct ont aussi été réalisées. Les prospections de terrain ont permis de caractériser plusieurs faciès d'écoulement qui sont présentés selon différents secteurs détaillés de l'aval vers l'amont et présentés dans l'annexe 2.

Choix de la station de mesure

Le choix de la station de mesure s'est porté sur le secteur situé à l'aval du TCC. Cette station débute au premier plat courant observé et se termine après le radier constaté sur le secteur numéro 2. D'après la figure 16, cette station représente de façon assez homogène les différents faciès présents sur les 600 mètres du TCC. En effet, les trois principaux faciès dominants restent les mêmes : chenal lentique, plat courant et radier. La diversité des faciès observés correspond bien. De plus, le choix de cette station de mesure repose sur sa sensibilité à la réduction des débits. En effet, les radiers possèdent de faibles hauteurs d'eau et constituent ainsi les faciès les plus sensibles aux modifications des débits.

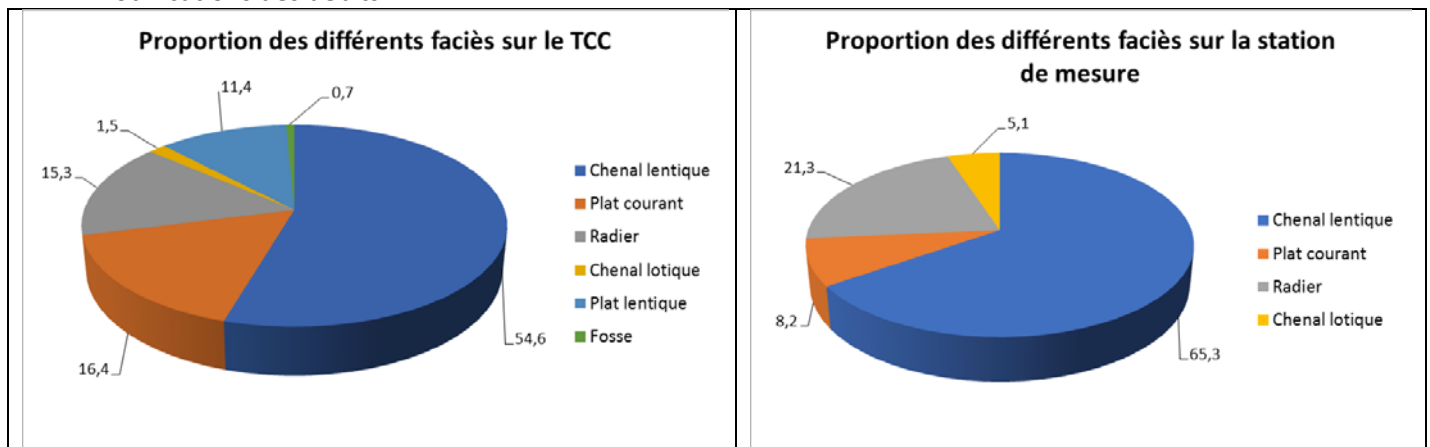


Figure 16 : Répartition surfacique des faciès d'écoulement sur le tronçon court-circuité (gauche) et sur la station de mesure (droite)

L'annexe 3 reprend les principales photographies caractéristiques des secteurs observés ainsi que la délimitation des faciès identifiés au niveau du tronçon court-circuité.

Estimation des débits minimums biologiques

L'évolution de la capacité d'accueil (SPU) de la station d'étude en fonction du débit est déterminée par le protocole Estimhab.

Les mesures de terrain (hauteur d'eau, granulométrie du substrat, largeur du cours d'eau) ont été effectuées au cours de deux campagnes réalisées d'une par le **11 août 2020** (période de basses eaux) et d'autre part le **30 mars 2021** (période de hautes eaux). La méthode Estimhab se présente sous la forme simplifiée d'un classeur Excel où sont saisies les différentes données acquises au cours des campagnes de terrain.

Les données d'entrée du modèle, issues des mesures de terrain, sont reportées dans le tableau 5 suivant.

Tableau 5 : Paramètres d'entrée du modèle Estimhab – Station TCC

Date	Débit (m ³ /s)	Largeur moyenne (m)	Hauteur moyenne (m)
11/08/20	0,62	14,55	0,36
30/03/21	2,57	19,96	0,57
Q50 (m ³ /s)			
5,13			
Taille du substrat (m)			
0.12			
Gamme de modélisation			
0 à 10 m ³ /s			

A noter que les mesures à un débit proche du Q50 auraient été impossibles à faire en raison des hauteurs d'eau rencontrées localement au niveau des différents chenaux lenticques. Le débit en hautes eaux (2nd campagne) reste cependant plus de 4 fois supérieur au débit en basses eaux (1^{ère} campagne de mesure).

La valeur d'habitat ou VHA

Les courbes d'évolution de la valeur d'habitat (VHA) en fonction du débit sont présentées dans la figure 17 ci-dessous.

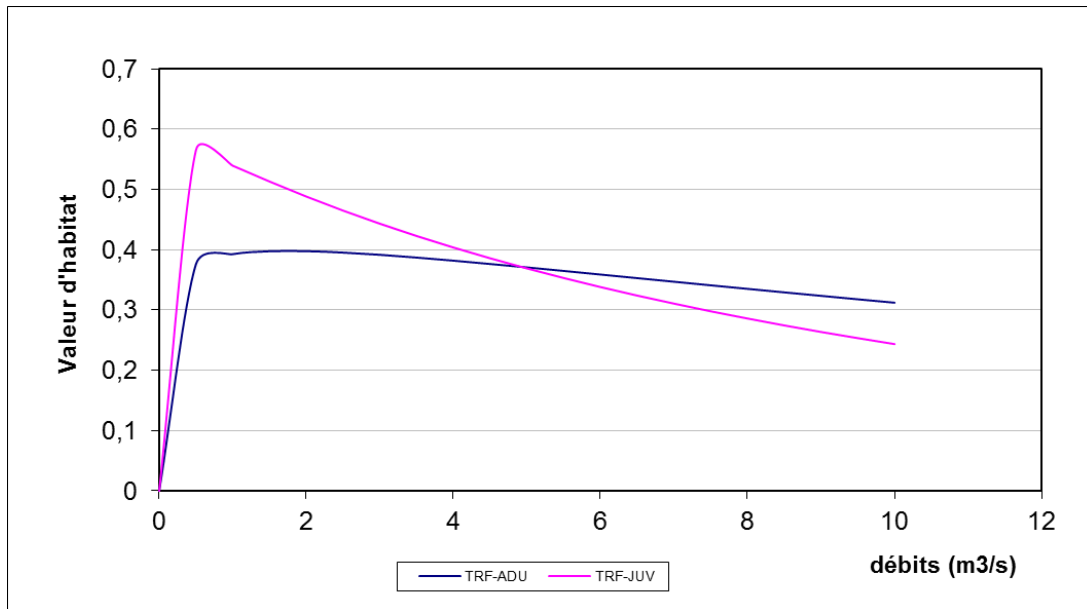


Figure 17 : Evolution de la VHA en fonction du débit sur le Célé – simulation Truite fario – Station TCC

Les courbes des valeurs d'habitats montrent que les habitats présents sur le tronçon court-circuité sont plus ou moins favorables aux adultes et aux juvéniles de la Truite fario selon le débit considéré.

Pour les adultes, la VHA oscille entre 0 et 0,4 (*i.e.* de 0 à 40% de la surface en eau est favorable à ce stade de développement). **La VHA présente une valeur maximale pour un débit d'environ 0,6 m³/s.**

Pour le stade juvénile, la valeur d'habitat oscille entre 0 et 0,58 (*i.e.* de 0 à 58% de la surface en eau est favorable à ce stade de développement). **La disponibilité d'habitat « potentiel »** pour ce stade de développement semble donc plus importante, du moins pour de faibles débits (**autour de 0,7 m³/s**). La VHA présente un maximum pour les débits les plus faibles modélisés puis une diminution assez régulière avec l'augmentation de débit, en lien avec des vitesses de courant et la profondeur qui deviennent limitantes pour le stade juvénile.

Recherche du SAR (Seuil d'Accroissement des Risques)

D'après le graphique d'évolution de la Surface Pondérée Utile en fonction du débit (Cf. Figure 18 ci-dessous), il est possible de mettre en évidence un Seuil d'Accroissement des Risques (SAR) en dessous duquel l'habitat devient limitant pour les deux stades de développement considérés.

Les résultats sont reportés dans le tableau ci-après.

Tableau 6 : Débits seuils et SPU associées proposés pour les stades de développement de la Truite fario sur la station

Stade de développement	SPU max (m²)	Q associé (m³/s)	Valeur d'habitat max (Note/1)
Truite adulte	865,87	6.5	0,398
Truite juvénile	922,37	2.5	0,565

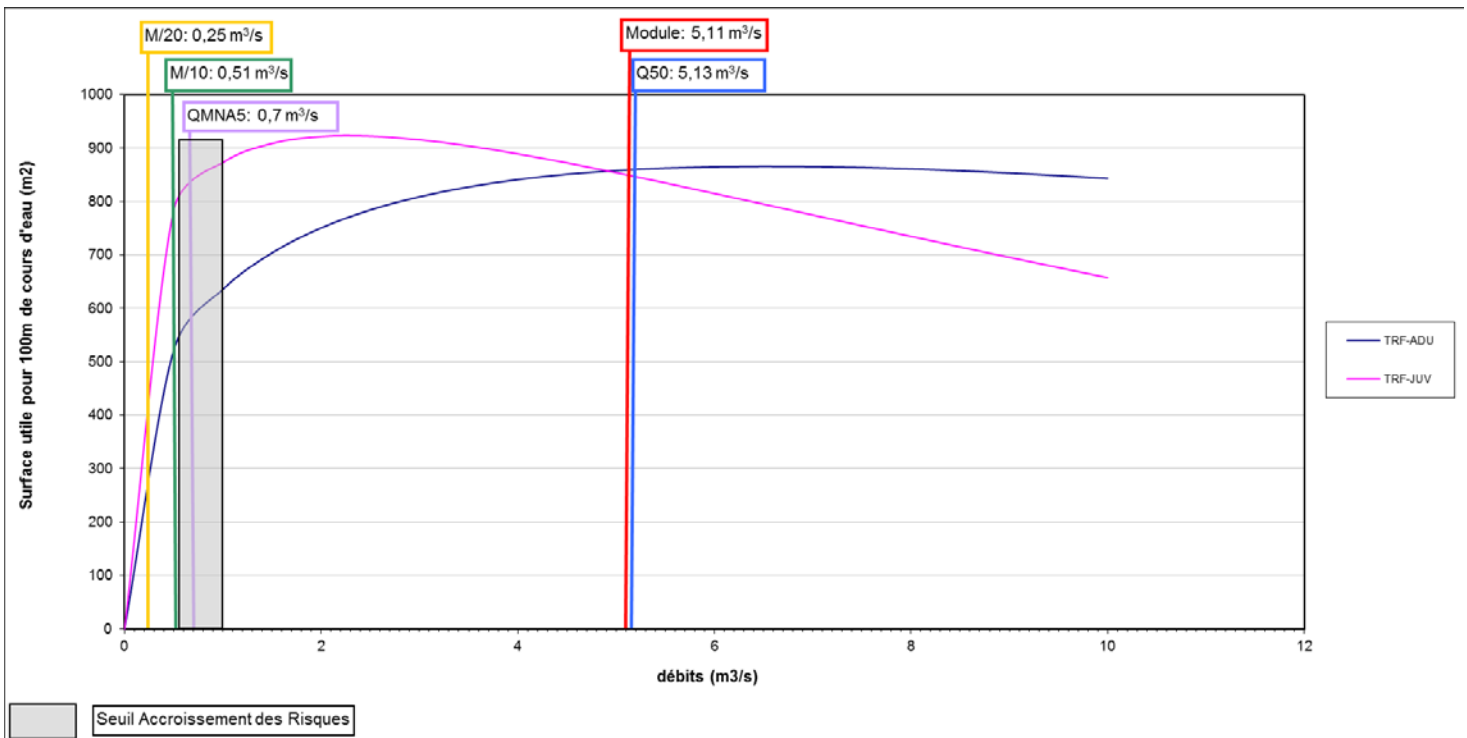


Figure 18 : Courbes d'évolution de la surface utile (pour 100 m de cours d'eau) en fonction du débit – Truite fario – Célé station TCC

Pour le stade des juvéniles, la courbe de SPU montre une augmentation très rapide des surfaces colonisables jusqu'à un débit de l'ordre de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondant environ au dixième du module. La chute de SPU avec la réduction du débit est nette et devient « critique » en dessous de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$. Dans ces conditions, pour ce stade de développement, le SAR est fixé dans l'intervalle $0,55\text{-}1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour le stade adulte de la Truite fario, la courbe de SPU montre une augmentation très rapide des surfaces colonisables jusqu'à un débit de l'ordre de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$, puis la pente s'infléchit légèrement entre $0,55$ et $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et enfin on observe un pallier tendant vers une asymptote. La chute de SPU avec la réduction du débit est nette et devient « critique » en dessous de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ environ (soit une valeur proche du $1/10^{\text{ème}}$ du module). Dans ces conditions, pour ce stade de développement, le SAR est fixé dans l'intervalle $0,55\text{-}1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

En conséquence, le débit minimal à maintenir pour assurer en permanence la vie, la reproduction et la circulation des espèces piscicoles et déterminer à partir des deux stades de développement de la truite fario (espèce cible), se situerait **sur ce secteur du TCC entre $0,55$ et $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$** .

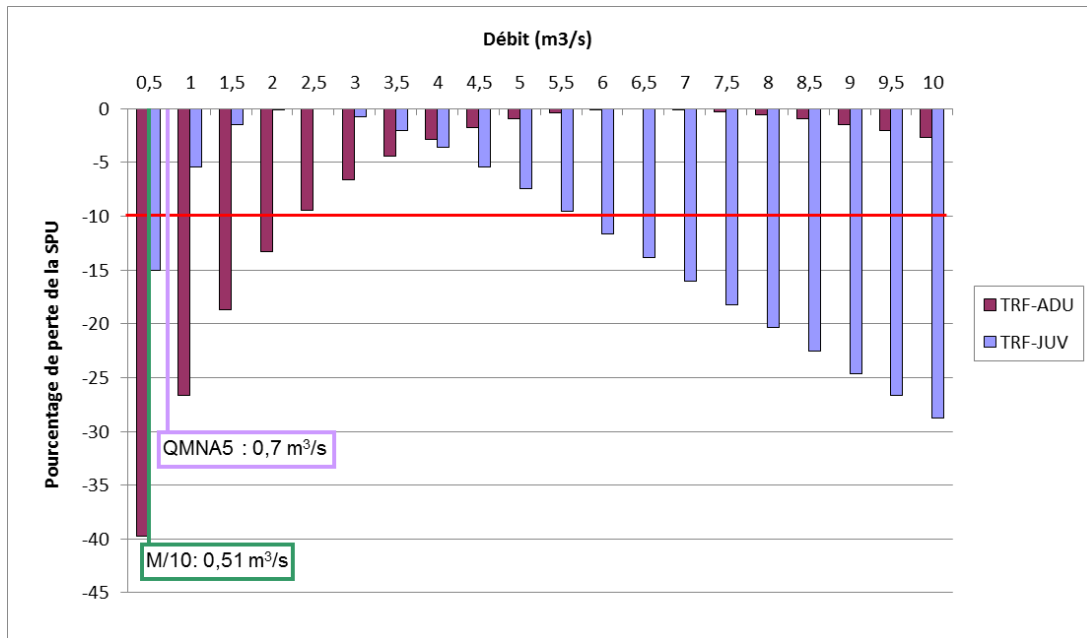


Figure 19 : Représentation graphique des pourcentages de perte de SPU en fonction du débit – Truite fario – station TCC

On constate encore que c'est le stade adulte de la truite fario qui est le plus sensible à la perte d'habitat liée à la réduction des débits (Cf. Figure 19). Si l'on reporte sur la figure 19 les valeurs du SAR déterminé plus haut, on observe que la perte de SPU pour le stade adulte est de l'ordre de 27% pour un débit de 1 m³/s. Un peu moins de 80% de la SPU reste donc disponible pour le stade adulte de la truite fario.

Ensuite, il est possible de mettre en évidence un SAR pour la guildes chenale, associée à la présence de la vandoise rostrée.

Les résultats sont reportés dans le tableau ci-après.

Tableau 7 : Débits seuils et SPU associées pour les guildes « radier » et « chenale » sur la station TCC

Guilde	SPU max (m²)	Q associé (m³/s)	Valeur d'habitat max (Note/1)
Radier	618,53	6	0,301
Chenal	728,61	10	0,270

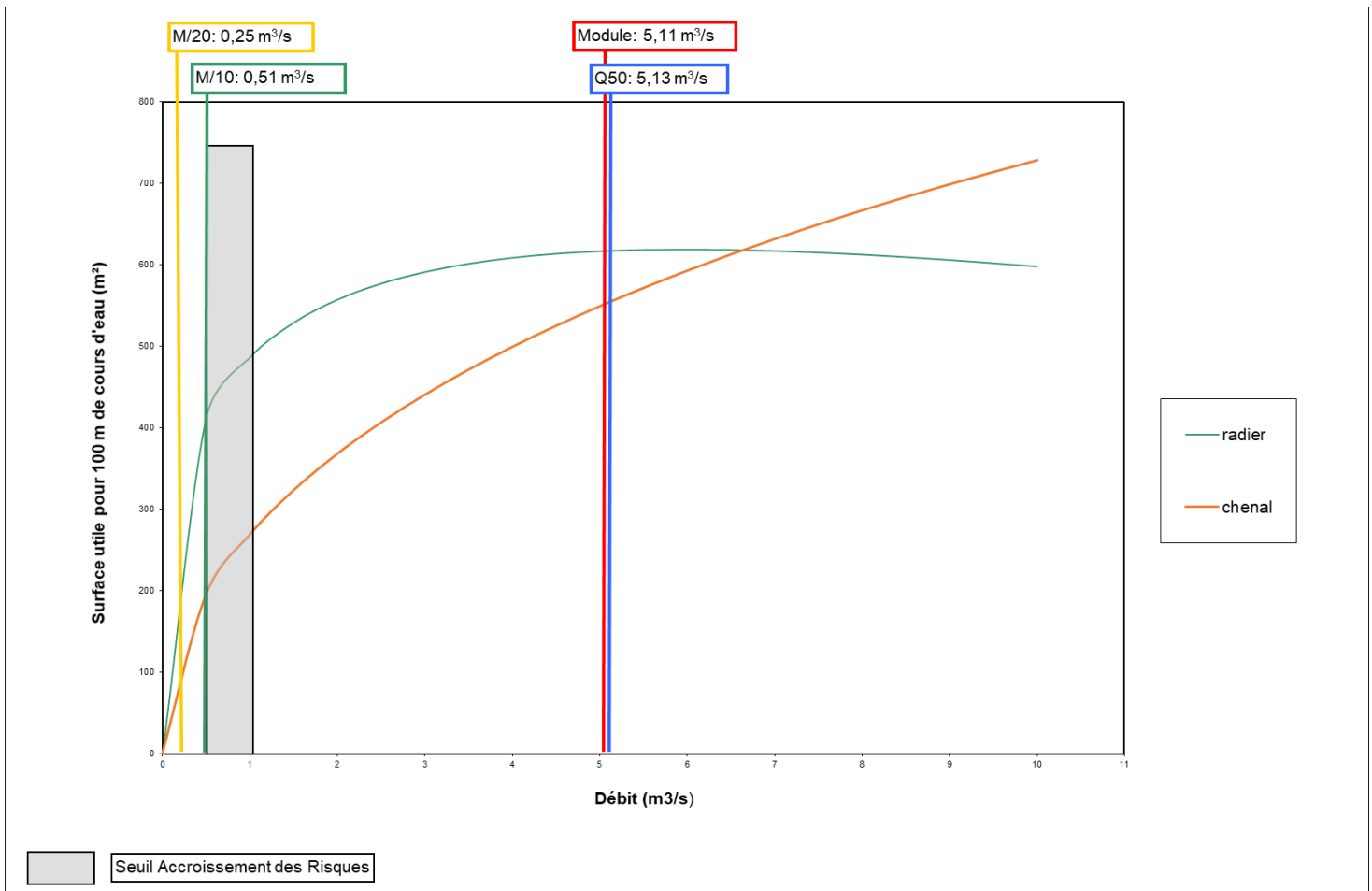


Figure 20 : Courbes d'évolution de la surface utile (pour 100 m de cours d'eau) en fonction du débit – guildes – Célé station TCC

On observe une courbe similaire entre la guilda « radier » (Cf. Figure 20) et la courbe d'évolution de la SPU en fonction du débit pour la Truite adulte. On constate donc également une augmentation très rapide des surfaces colonisables jusqu'à un débit de l'ordre de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$, puis la pente s'infléchit légèrement entre $0,55$ et $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et enfin on observe un pallier tendant vers une asymptote. La chute de SPU avec la réduction du débit est nette et devient « critique » en dessous de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ environ (soit une valeur égale au $1/10^{\text{ème}}$ du module). Dans ces conditions, pour cette guilda, le SAR est fixé dans l'intervalle $0,55\text{-}1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ensuite, pour la guilda « chenal », qui concerne à la fois l'habitat le plus représenté sur la station mais aussi la guilda la plus adaptée à la vandoise (ayant été désignée comme seconde espèce cible à prendre en compte dans cette étude), la courbe montre une augmentation très rapide jusqu'à environ $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ puis, une croissance constante au-delà de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour cette guilda, le SAR est fixé comme précédemment entre $0,55$ et $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

D'après les données présentées ci-dessus, la valeur de Débit Minimum Biologique devrait se situer entre $0,55$ et $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

La valeur « plancher » est constituée par le $1/10^{\text{ème}}$ du module ($0,51 \text{ m}^3/\text{s}$), valeur à laquelle la diminution de l'habitat apparaît critique pour le développement et le maintien des espèces cibles.

Par conséquent, la valeur de 1 m³/s actuellement proposée par l'arrêté du 21 janvier 2019 constitue une valeur dans la gamme du DMB évalué et semble adaptée pour le maintien et le développement des espèces cibles visées.

Modalité de fonctionnement possible de la microcentrale

La centrale hydroélectrique du Moulin de Maynard est autorisée par arrêté préfectoral du 21 janvier 2019 à turbiner les eaux du Célé avec un débit réservé de 1 m³/s. D'après les calculs précédents, le Débit Minimum Biologique s'établit entre 0,55 m³/s (légèrement supérieur au 1/10^{ème} du module) et 1 m³/s. Sur la base d'un maintien à minima d'un débit réservé de 1 m³/s dans le TCC et en prenant en compte les débits moyens mensuels sur la période 2005-2021 pour la station concernée (Cf. § Hydrologie), le graphique suivant (Cf. Figure 21) permet de visualiser le débit restant dans le cours d'eau après soustraction du débit turbiné et ce, en fonction des possibilités et de la nécessité de laisser transiter *a minima* le débit réservé de 1 m³/s dans le TCC.

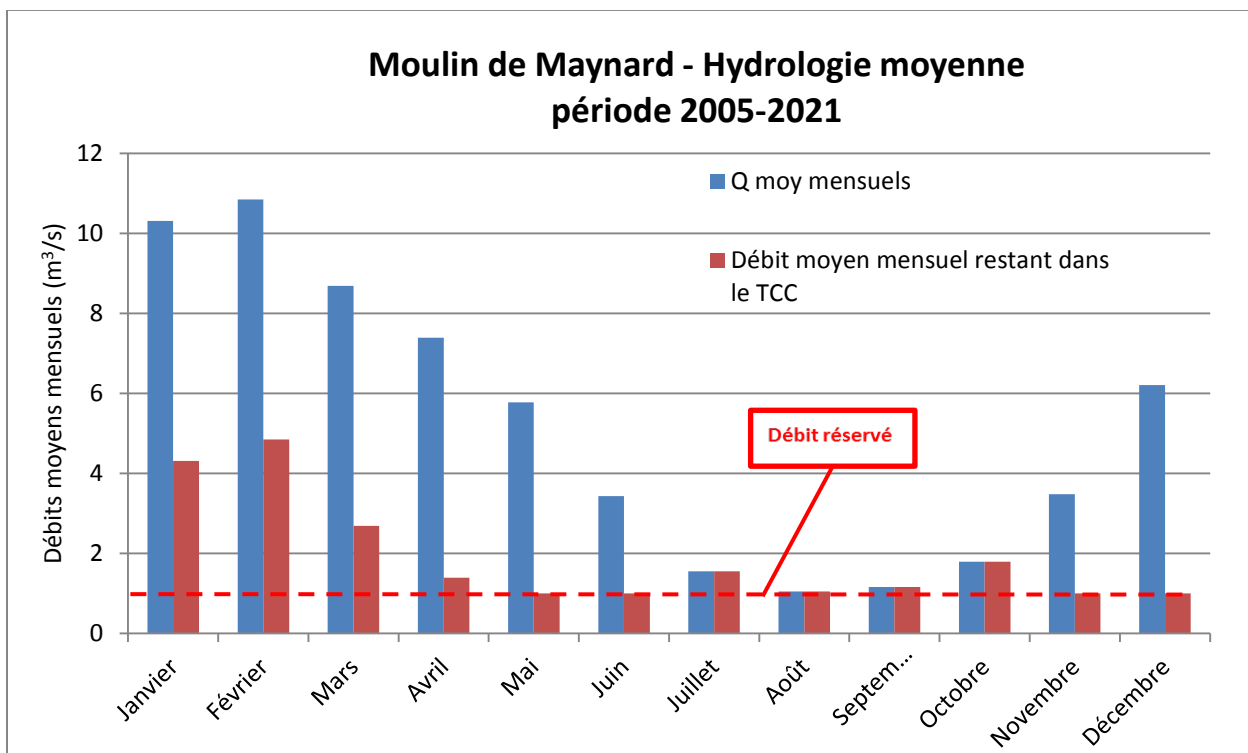


Figure 21 : Hydrologie et débits moyens mensuels restant dans le TCC après soustraction du débit turbiné

Cela implique donc, sur la base des débits moyens mensuels 3 phases :

1. Un turbinage au débit d'équipement maximal (6 m³/s) de **janvier à avril**. Phase durant laquelle le débit restant dans le TCC est alors toujours supérieur au débit réservé de 1 m³/s ;
2. Un turbinage « intermédiaire » en **mai, juin** puis en **novembre et décembre** et pour lequel seul le débit réservé (1 m³/s.) transite dans le TCC ;

3. Pas de turbinage de **juillet à octobre**, seul le débit naturel transite à l'aval du seuil. Ce débit ne permettant pas la mise en service de la vis de la turbine.

Le tableau 9 comparatif en page suivante reprend les débits moyens mensuels utilisés dans cette approche hydraulique.

Tableau 8 : Débits moyens mensuels sur la période 2005-2021, débits restant à turbiner, débits moyens mensuels dans le cours d'eau - Station Moulin de Maynard

Période 2005-2021	Q moy mensuels	Débits moyens mensuels restant à turbiner (Q réservé soustrait) (m ³ /s)	Débit moyen mensuel restant dans le TCC
Janvier	10,31	9,31	4,31
Février	10,85	9,85	4,85
Mars	8,69	7,69	2,69
Avril	7,40	6,40	1,40
Mai	5,78	4,78	1,00
Juin	3,43	2,43	1,00
Juillet	1,56	0,56	1,56
Août	1,05	0,05	1,05
Septembre	1,17	0,17	1,17
Octobre	1,80	0,80	1,80
Novembre	3,48	2,48	1,00
Décembre	6,21	5,21	1,00

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était d'estimer et d'évaluer un débit minimum biologique permettant par la suite de définir le débit réservé, c'est-à-dire le débit minimal à laisser dans le cours d'eau, pour l'exploitation de la centrale hydroélectrique du moulin de Maynard située sur le Célé sur la commune du Trioulou dans le département du Cantal.

Afin de mener à bien cette étude, une recherche bibliographique a tout d'abord été effectuée, permettant de définir le contexte écologique, piscicole et réglementaire sur ce secteur. Ainsi, l'état écologique du Célé est régulièrement évalué à l'aide d'une station de suivi des réseaux nationaux de contrôle et de surveillance (RCS) située à environ 6 km en amont du site d'étude : « le Célé en amont du confluent avec la Rance » (code station 05091600).

La masse d'eau FRFR68 « Le Célé du confluent de la Ressègue (incluse) au confluent du Veyre » présente un objectif de **bon état écologique en 2021**. Son état écologique et chimique est évalué sur la base des données 2011-2012-2013. L'**état chimique** est « **bon** » et l'**état écologique** est qualifié de « **moyen** » en lien avec les valeurs de l'Indice Biologique Diatomées (IDB) en 2013. Les données les plus récentes sur cette station témoignent d'un état écologique « mauvais » en raison de la note de l'Indice Poisson Rivière (IPR).

Les inventaires piscicoles effectués en aval du tronçon court-circuité ont permis d'observer la présence de 4 espèces possédant un statut de protection : le barbeau fluviatile, la lamproie de planer, le toxostome ainsi que la truite de rivière.

Pour ce qui est du contexte réglementaire, le secteur d'étude se situe sur deux ZNIEFF continentales : une ZNIEFF continentale de type II et une ZNIEFF continentale de type I, toutes les deux caractérisées par la présence d'espèces déterminantes telles que l'anguille ou la barbastelle d'Europe. Il est également important de souligner que sur le TCC du moulin de Maynard, une étude réalisée en 2017 a révélé la présence de 11 individus de mulette perlière, espèce rare et protégée au niveau national et international.

Suite à cette caractérisation du milieu, le protocole Estimhab a été appliqué. Pour cela, 2 campagnes de terrain ont été effectuées en août 2020 et mars 2021. L'objectif était dans un premier temps de caractériser l'ensemble du tronçon étudié afin de déterminer une station représentative de l'ensemble de ce secteur. Puis, afin d'effectuer la modélisation Estimhab, il s'agissait de relever sur 100 points répartis sur 15 transects, les mesures d'hauteur d'eau et de granulométrie à un débit donné. Les deux campagnes ayant pour objectif de présenter un débit de basses eaux et un de hautes eaux.

Enfin, la modélisation Estimhab permet d'acquérir les courbes de VHA ainsi que de SPU qui sont analysées afin de déterminer le SAR, c'est-à-dire l'intervalle dans lequel le débit minimum biologique se situe.

Suite à l'application de la méthode Estimhab, la valeur de débit minimum biologique a été estimée entre 0.55 et 1 m³/s. A noter que la valeur de 1 m³/s correspond à l'actuel débit réservé proposé par l'Arrêté Préfectoral.

Il reste important de souligner que la mise en œuvre de la méthode des microhabitats fournit un ordre de grandeur pour les débits minimums biologiques. La détermination des débits biologiques par une méthode microhabitat reste en effet entachée d'une forte incertitude liée :

- à la complexité du système (représentativité des stations, modifications fréquentes du lit...),
- aux conditions d'étiage (paramètres qualitatifs limitants pour le milieu et non intégrés dans les débits biologiques),
- à la méthode (couplage d'un modèle hydrologique avec un modèle biologique simplifié ne pouvant intégrer toutes les composantes d'un hydrosystème, imprécision sur la mesure des débits...).

De même, l'analyse des courbes d'évolution de la SPU en fonction du débit reste subjective dans le sens où chaque lecteur peut présenter un raisonnement qualitatif différent pour définir graphiquement le seuil d'accroissement du risque.

Pour finir, mes deux stages réalisés au sein du bureau d'études Hydrosphère m'ont permis d'acquérir de nombreuses connaissances et particulièrement dans le domaine de l'hydrobiologie, domaine dans lequel je vais pouvoir améliorer encore mes connaissances, grâce à un contrat d'embauche en CDI au sein du bureau d'études Hydrosphère. Je tiens à remercier mes collègues de travail et tout particulièrement mon tuteur de stage, Monsieur Pascal Francisco, pour son aide précieuse, son encadrement, tous ses bons conseils, son attention et les savoirs qu'il m'a permis de partager.

Bibliographie

- Aquascop. *Débit biologique Isole Laïta Ellé* [Rapport scientifique]. 2011, 52 p. Disponible sur : <<https://www.smeil.fr/les-actions-du-sage/1-gestion-quantitative/d%C3%A9bits-minimums-biologiques/>> (20/08/2021).
- Ginot, V. *EVHA, un logiciel d'évaluation de l'habitat du poisson sous Windows*. [Rapport scientifique]. 1995, 6 p. Disponible sur : <EVHA, un logiciel d'évaluation de l'habitat du poisson sous Windows (kmae-journal.org)> (20/08/2021).
- Le Coz, J. ; Camenen, B. ; Dramais, G. ; Ribot-Bruno, J. ; Ferry, M. ; Rosique, J-L. *Contrôle des débits réglementaires* [Rapport scientifique]. 2011, 132 p. Disponible sur : <Guide technique ONEMA sur le contrôle des débits réglementaires (télécharger le document) (eaurmc.fr)> (20/08/2021).
- Pouilly, M. ; Valentin, S. ; Capra, H. ; Ginot, V. ; Souchon, Y. *Méthode des microhabitats : principes et protocoles d'application*. [Rapport scientifique]. 1995, 14 p. Disponible sur : <Méthode des microhabitats : principes et protocoles d'application (kmae-journal.org)> (20/08/2021).
- Prost, O. ; Le Coarer, Y. ; Lamouroux, N. ; Capra, H. *Vers une nouvelle génération de modèles d'habitats numériques* [Rapport scientifique]. 2014, 39 p. Disponible sur : <ax2014-pub00052944__PDF.txt (irstea.fr)> (20/08/2021).
- Syndicat mixte du bassin de la Rance et du Célé. *Espèces et milieux du bassin du Célé – N°1 : la Moule perlière* [En ligne]. 2009, 2 p. Disponible sur : <https://www.celelotmedian.com/uploads/download/lettre_especes_m_AENnt.pdf> (20/08/2021).

Annexes

Annexe 1 : Extrait de la note méthodologique du protocole Estimhab	36
Annexe 2 : Caractéristiques des faciès d'écoulement déterminés sur le TCC	38
Annexe 3 : Cartographie des faciès du TCC.....	39

Estimhab

Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion hydraulique des cours d'eau

Guide mis à jour en Juin 2008

SERA ACTUALISE FIN JUILLET 2008

après commentaires des participants au séminaire d'échange de Novembre 2007 - Létra en Beaujolais

[...]

Estimhab est téléchargeable gratuitement à l'adresse suivante

<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/dynam/logiciels.shtml>

[...]

Les éléments d'Estimhab

Estimhab évolue, c'est pourquoi son habillage informatique est léger. C'est un classeur Excel qui comporte trois feuilles

- 1) feuille 'simulations-populations'
- 2) feuille 'simulations-guildes'
- 3) feuille 'données-terrain'

Pour faire une simulation sur un tronçon, il est conseillé de dupliquer Estimhab.xls, de le renommer puis de le remplir.

La feuille 'simulations-populations'

C'est sur cette feuille que l'on réalise les simulations de qualité de l'habitat. Elle comporte

- un cadre où sont saisies les variables d'entrée (exemple : largeur, hauteur d'eau moyenne sur le tronçon mesurées à deux débits différents, cf. 2.1).
- des graphiques indiquant la qualité de l'habitat en fonction du débit, automatiquement simulée pour différentes espèces/stades.

Les simulations pour la truite sont valables pour les cours d'eau à truite seuls. Pour les autres espèces, les simulations sont valables pour tous les cours d'eau dans la limite du domaine de validité décrit plus loin. Les espèces actuellement prises en compte sont : TRF = truite Fario adultes et juvéniles, les simulations pour les juvéniles de truite restent valables pour les alevins de l'année ; BAF = barbeau fluviatile adulte ; CHA = chabot adulte ; GOU = goujon adulte ; LOF = loche franche adulte ; VAI = vairon adulte ; SAT = saumon atlantique (alevin et juvénile) ; OMB = ombre commun (alevin, juvénile, adulte).

La feuille 'simulations-guildes'

Même feuille, donnant des estimations de qualité de l'habitat moyennées par groupes d'espèces ayant des préférences d'habitat comparables (Lamouroux et Cattaneo, 2006). Si une espèce n'est pas prise en compte dans la feuille 'simulations-populations', on pourra simuler sa réponse typique en l'associant à la guildes la plus adaptée.

Guilde 'radier' : loche franche, chabot, barbeau <9cm

Guilde 'chenal' : barbeau >9cm, blageon >8cm (+ hotu, toxostome, vandoise, ombre)

Guilde 'mouille' : anguille, perche soleil, perche, gardon, chevesne >17cm

Guilde 'berge' : goujon, blageon <8cm, chevesne <17cm, vairon

La guildes 'chenal' correspond aux espèces d'eau courante ; c'est la guildes la plus favorisée par les augmentations de débit (et la plus affectée historiquement par la réduction des débits dans les cours d'eau aménagés). Les modifications de morphologie concerneront surtout les guildes 'radier' et 'mouille'. Le ralentissement général des écoulements liés aux aménagements réduit la proportion des espèces de la guildes 'radier'.

La feuille 'données-terrain'

Il est conseillé de s'en servir pour saisir les données de terrain (cf. protocole de terrain). Ainsi, cette feuille pourra être utilisée pour calculer les variables d'entrée nécessaires aux simulations (sur les feuilles 'simulations'). Elle sera également très utile pour poursuivre le développement et la simplification des modèles si vous envoyez une copie du classeur au Cemagref après calage sur le tronçon, ce que nous vous encourageons à faire (même en cas de confidentialité ; n'indiquez pas, dans ce cas, le nom de la rivière).

Annexe 2 : Caractéristiques des faciès d'écoulement déterminés sur le TCC

N° Secteur	TYPE de FACIES	LARGEUR_CE (m)	LONGUEUR (m)	HAUTEUR_EAU (cm)	GRANULOMETRIE DOMINANTE	GRANULOMETRIE SECONDAIRE	FRAYERE (oui/non/Pot - Espèces)	REMARQUES
1	Chenal lentique	17,36	34,0	56	Galets	Sable	non	Affleurement de roche mère
	Plat courant	13,30	14,3	34	Galets	Sable	non	
	Radier	14,30	19,3	24	Galets	Roche mère	non	
	Chenal lentique	17,30	53,0	56	Roche mère	Blocs / Sable	non	
2	Petit chenal lotique	14,70	8,0	58	Blocs / Rochers	Roche mère	non	Affleurement de roche mère
	Radier	14,00	15,4	23	Galets	Blocs	non	
	Plat courant	17,00	25,0	40	Galets	Sable	non	
3	Chenal lentique	14,20	37,0	67	Galets	Sable	non	
	Plat lentique	16,77	15,7	49	Galets	Sable	non	
	Chenal lentique	14,00	85,0	99	Galets	Sable	non	
4	Plat courant	14,00	16,4	32	Galets	Sable	non	
	Radier	14,00	12,0	15	Galets	Sable	non	
	Plat courant	14,00	14,0	36	Galets	Sable	non	
	Radier	13,00	13,6	17	Galets	Graviers	non	
5	Plat lentique	14,20	34,0	31	Galets	Blocs / Sable	non	Affleurement de roche mère
	Chenal lentique	13,60	68,0	88	Roche mère	Blocs	non	
6	Alter. Radiers / Plats courants	7,80	53,0	30	Galets	Blocs	non	
	Fosse	7,80	7,0	68	Galets	Blocs	non	
7	Alter. Plats lenticques / Radiers	4,23	57,0	16	Galets	Blocs	non	

Faciès d'écoulement – Diagnostic Hydroécologique du Tronçon Court-Circuité et détermination du Débit Minimum
Biologique – Microcentrale du Moulin de Maynard
Commune de Le Trioulou (15, Cantal)



Source fond cartographique : Google Satellite







N° Affaire : E19_49

Dessinateur : MFI


Version : v1

Hydr@sphère

Faciès d'écoulement

- | | |
|--|---|
|  Chenal lotique |  Fosse |
|  Plat lentique |  Plat courant |
|  Radier |  chenal lentique |

0 0,05 0,1 km





POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Morgane Finiels
2020-2021

Evaluation et estimation d'un débit minimum biologique : cas d'étude d'une centrale hydroélectrique

Résumé :

Hydroelectric power plants are subject to strict regulations concerning the flow that they can take from the watercourse for their functioning. The aim is to guarantee the life, circulation and reproduction of species by maintaining a minimum biological flow in the watercourse.

In this context, the aim was to determine a minimum biological flow by implementing the Estimhab protocol. This method, known as the micro-habitat method, makes it possible to characterize the ecological status of rivers through a hydraulic model combined with a biological model.

Thus, the implementation of this protocol made it possible to propose a value of minimum biological flow in order to fix the instream flow that the hydroelectric power station must maintain in the short-circuited section.

Mots Clés : Hydrobiologie, micro-habitats, centrale hydroélectrique, débit minimum biologique

Hydrosphère :

7 rue de l'Industrie - Bât C 31320
CASTANET-TOLOSAN FRANCE

Tuteur entreprise :

Pascal Francisco
Responsable de l'Agence Occitanie

Tuteur académique :

Sabine Greulich