



HAL
open science

Analyse du fonctionnement hydrologique du Doubs amont et des perturbations physico-chimiques et écologiques engendrées par les phénomènes d'assecs

Téo Bigotte

► **To cite this version:**

Téo Bigotte. Analyse du fonctionnement hydrologique du Doubs amont et des perturbations physico-chimiques et écologiques engendrées par les phénomènes d'assecs. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03551344

HAL Id: dumas-03551344

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03551344>

Submitted on 1 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse du fonctionnement hydrologique du Doubs amont et des perturbations physico-chimiques et écologiques engendrées par les phénomènes d'assecs



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES
Spécialisation Hydrosystèmes – Eaux superficielles

Direction Départementale des Territoires du Doubs

Auteur : Téo Bigotte

Tuteur de stage : Yannick Cadet

Formation d'ingénieur 2016 – 2019
Promotion Grand-Lyon

Remerciements

Je remercie dans un premier temps Yannick Cadet, chef du service Eau, Risques, Nature et Forêt de la Direction Départementale du Doubs et mon tuteur, qui m'a donné l'opportunité de réaliser ce stage très intéressant et formateur.

Je tiens également à remercier plus particulièrement, Manuel Alvarez de m'avoir conduit sur le terrain à de très nombreuses reprises ainsi que David Marquis pour leurs nombreux conseils.

Merci à tout le service Eau, Risques, Nature et Forêt pour leur excellent accueil et leur gentillesse qui n'a pas varié tout au long de ces six mois.

Je remercie également Laurent Souchoux, hydrobiologiste à la DREAL Bourgogne-Franche-Comté et Eric Parmentier, hydrobiologiste du bureau d'études Id&eaux pour leurs conseils, leur travail, leur expertise et pour m'avoir permis d'effectuer des prélèvements sur le Doubs.

Merci à Christian Rossignon de la Fédération de pêche du Doubs pour ses nombreuses informations sur la faune piscicole locale.

Merci à Jean Noël Resh et Benjamin Knaebel du Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut Doubs, Vincent Porteret de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée-Corse et Maria Alp et Julie Crabot de l'IRSTEA Lyon pour la transmission de données et leurs conseils de lecture scientifiques à propos de la faune piscicole.

Enfin je remercie Mme. Corinne Grac, ma référente au cours du stage pour sa disponibilité et qui a toujours pris le temps de répondre à mes nombreuses questions.

Résumé

Analyse du fonctionnement hydrologique du Doubs amont et des perturbations physico-chimiques et écologiques engendrées par les phénomènes d'assecs

Face au contexte de réchauffement climatique et à l'enjeu de la préservation de la ressource en eau sur le Doubs amont, la Direction Départementale des Territoires (DDT) du Doubs (25) a lancé une étude pour comprendre l'impact des phénomènes d'assecs sur la rivière.

Durant la période allant de juillet à novembre 2018, le département du Doubs a connu un assèchement partiel du Doubs amont en raison de conditions climatiques exceptionnelles et d'un contexte karstique favorisant des pertes de débit au profit du sous-sol. La mission du stage consiste à déterminer les effets des assecs sur la physico-chimie et la biologie du Doubs amont, de décrire le phénomène d'un point de vue hydrologique, d'exploiter les données topographiques d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et de proposer des mesures de gestion de la rivière dans le cas d'apparition de nouveaux assecs.

Le travail sur la physico-chimie et les diatomées n'a pas montré de conséquences déterminantes de l'assec tandis que l'étude bibliographique sur le peuplement piscicole a mis en lumière la difficulté de retrouver un peuplement conforme à la typologie du Doubs amont. Les prélèvements sur les macro-invertébrés ont mis en évidence une recolonisation du milieu malgré un peuplement dégradé pendant les assecs. Enfin, le travail sur l'hydrologie a permis de remettre en question une des hypothèses avancées expliquant l'apparition de l'assec de 2018.

L'utilisation du MNT du lit du Doubs asséché a abouti à la mise en place d'une proposition de protocole de sauvegarde de la faune ichtyologique en cas d'assec grâce à la localisation des zones refuges. Ce même travail a permis de définir des portions du Doubs amont à préserver d'éventuels dégradations afin de conserver les zones refuges les plus intéressantes. Finalement, une recommandation de gestion du barrage du lac Saint-Point a été réalisée, permettant d'assurer un débit minimal nécessaire au maintien d'un niveau non-dégradé de la qualité chimique du Doubs au rejet de la station d'épuration (STEP) de Pontarlier.

Abstract

Analysis of the hydrological functioning of the Doubs upstream and the physicochemical and ecological disturbances generated by the phenomena of drought

Faced to the context of global warming and the stake of preservation of water resources on the Doubs upstream, the Departmental Directorate of Territories (DDT) of the Doubs has launched a study to understand the impact of droughts on the river.

During the period from July to November 2018, the Doubs department (25) experienced a partial drying up of the upstream Doubs due to exceptional weather conditions and a karstic context favoring flow losses in favor of the subsoil. The mission of the internship is to determine the effects of droughts on physico-chemistry and biology of the Doubs upstream, to describe the phenomenon from a hydrological point of view, to exploit the topographic data of a Digital Terrain Model (DTM) and propose management measures for the river in the case of the emergence of new phenomenon.

The work on physicochemistry and diatoms did not show any decisive consequences of the drought while the bibliographical study on the fish population highlighted the difficulty of finding a stand conforming to the typology of the Doubs upstream. Samples on macro-invertebrates showed a recolonization of the environment despite a degraded stand during the drought. Finally, the work on hydrology made it possible to question one of the hypotheses advanced explaining the emergence of the 2018 drought.

The use of the DTM of the dry Doubs bed has led to the implementation of a proposal for a protocol for the protection of fish fauna in case of drought thanks to the location of refuge areas. This same work made it possible to define portions of the Doubs upstream to preserve possible degradations in order to preserve the most interesting refuge areas. Finally, a management recommendation for the Saint-Point Lake dam has been made to ensure a minimum flow required to maintain a non-degraded level of the chemical quality of the Doubs at the wastewater treatment plant of Pontarlier rejection.

Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé.....	5
Abstract.....	6
Index des figures.....	9
Index des tableaux.....	11
Liste des sigles.....	12
Introduction.....	13
1) Présentation du contexte général de l'étude.....	15
1.1) Présentation de l'organisme d'accueil.....	15
1.2) Présentation du Doubs et du contexte des assecs 2018.....	15
1.3) Les enjeux liés aux assecs du Doubs amont.....	17
1.4) Présentation du tronçon de l'étude.....	18
2) État initial du Doubs amont avant l'assec de 2018.....	21
2.1) État des lieux des connaissances hydrologiques, hydrogéologiques et morphologiques sur le Doubs amont.....	21
2.1.1) Connaissances historiques sur le fonctionnement des pertes du Doubs.....	21
2.1.2) États des lieux du Doubs amont.....	21
2.2) État des lieux de la qualité physico-chimique du tronçon.....	23
2.3) État des lieux de la qualité biologique.....	25
2.3.1) Macro-invertébrés : état initial de la population.....	25
2.3.2) Faune piscicole : état initial de la population.....	27
2.3.3) Macrophytes et Diatomées : état initial du peuplement.....	32
3) Description de l'évènement 2018.....	35
3.1) Description de l'évènement du point de vue de l'hydrologie.....	35
3.2) Description des réactions biologiques liés à l'apparition des assecs.....	39
3.2.1) Macro-invertébrés : pertes des habitats et de la richesse taxonomique.....	39
3.2.2) Faune piscicole : recherche de refuges et stratégies de survie.....	40
3.3) L'évolution de la physico-chimie lors des assecs de 2018.....	43
4) Méthodes, résultats et analyses des conséquences des assecs sur le Doubs.....	45
4.1) Description du travail de suivi de l'hydrologie de 2019, objectifs et conclusions.....	45
4.2) Étude de l'impact des assecs sur la physico-chimie.....	48
4.2.1) Les données de la station d'Arçon.....	48
4.2.2) Les données des bilans de la station d'épuration de Pontarlier-Arçon.....	48
4.3) Étude de l'impact des assecs sur la biologie du Doubs.....	51

4.3.1) La faune piscicole : état des lieux et recolonisation.....	51
4.3.2) Macro-invertébrés : état des lieux et recolonisation.....	53
4.3.3) Diatomées : état des lieux et recolonisation.....	59
5) Propositions de gestion des assecs.....	61
5.1) La gestion des zones encore en eau.....	61
5.2) La gestion du barrage du lac Saint-Point.....	63
5.2.1) Agir sur la station d'épuration de Pontarlier.....	63
5.2.2) Agir sur le barrage du lac Saint-Point.....	64
5.2.3) Conclusion sur la gestion de la qualité du Doubs en aval de la station d'épuration de Pontarlier.....	65
5.3) Analyse critique sur l'étude réalisée et perspectives.....	66
5.3.1) Retour sur les résultats de l'étude.....	66
5.3.2) Perspectives sur les analyses à poursuivre.....	66
5.3.3) Perspectives sur les études à mener.....	67
Conclusion.....	68
Bibliographie.....	69
Liste des annexes.....	71

Index des figures

Figure 1: Carte de la zone globale concernée par les assecs en 2018 (entre Pontarlier et Grand'Combe-Chateleu).....	16
Figure 2 : Tronçon de l'étude allant d'Arçon à Ville-du-Pont.....	18
Figure 3: Tableau récapitulatif des débits minimaux annuels moyens à la station de Doubs (source : banque hydro).....	22
Figure 4: Tableau récapitulatif des débits minimaux annuels moyens à Ville-du-Pont (source : banque hydro).....	22
Figure 5: Position de la station qualité (source : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse)....	23
Figure 6: Qualité physico-chimique à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse).....	24
Figure 7: Qualité biologique concernant les macro-invertébrés à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse).....	25
Figure 8: Seuils de qualité IBG-DCE pour l'HER Jura/Pré-Alpes du Nord.....	26
Figure 9: Seuils de qualité I2M2 pour l'HER Jura/Pré-Alpes du Nord.....	26
Figure 10: Notes de qualité pour la station d'Arçon.....	26
Figure 11: Qualité biologique concernant la faune piscicole à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse).....	27
Figure 12: Données brutes issues de la pêche électrique menée le 02/10/2014 à Oye-et-Pallet (source : Fédération de pêche du Doubs).....	28
Figure 13: Comparaison des abondances et nombres d'espèces théoriques et observées ainsi que les scores associés aux métriques sur la station d'Oye-et-Pallet.....	29
Figure 14: Comparaison entre l'abondance théorique et l'abondance observée des espèces piscicoles sur la station d'Oye-et-Pallet.....	31
Figure 15: Comparaison entre les abondances réelles et les abondances théoriques par stations....	32
Figure 16: Qualité pour les diatomées et macrophytes sur la station Agence de l'eau à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse).....	32
Figure 17: Graphique de corrélation entre le cumul des pluies et la température moyenne à Besançon entre 1885 et 2018.....	35
Figure 18: Hydrogramme à Ville-du-Pont du 01/06/2018 au 31/12/2018.....	36
Figure 19: Hydrogramme à Cluse-et-Mijoux (Pontarlier Amont) du 01/06/2018 au 31/12/2018...36	36
Figure 20: Caractérisation longitudinale du Doubs lors de la période d'assec de 2018 (extrait de figure issu de P.S Lake, 2017).....	38
Figure 21: Schéma des différentes étapes d'apparition des assecs (Chadd et al, 2017).....	40
Figure 22: Schéma des relations entre les espèces de poissons et échanges entre les habitats avant et pendant un assec (source : extrait d'une figure de Magoulick et Kobza, 2003).....	42
Figure 23: Transition des débits entre le printemps et l'étiage (Juin-Août 2018).....	46
Figure 24: Interpolation linéaire et détermination de la pente de la transition.....	46
Figure 25: Schéma des relations entre les espèces de poissons et échanges entre les habitats après un assec (source : extrait d'une figure de Magoulick et Kobza, 2003).....	52
Figure 26: Stations de prélèvement sur le secteur d'étude (Source : HyD&eaux, Étude sur les impacts des assecs du Doubs. rapport des prélèvements pour le stage, Juin 2019).....	54
Figure 27: Détail des différentes notes aboutissant à la note d'IBG-DCE selon les années.....	55
Figure 28: Détail des différentes notes aboutissant à la note d'I2M2 selon les années.....	55
Figure 29: Graphique des pressions possibles sur les populations de macro-invertébrés.....	56

Figure 30: Répartition de la richesse sur les trois stations Source : Hyd&eaux, Étude sur les impacts des assecs du Doubs. rapport des prélèvements pour le stage, Juin 2019).....57

Figure 31: Détails des métriques associés au calcul de l'indice I2M2 (Hyd&eaux).....58

Figure 32: Pressions pouvant être exercées sur les stations (Hyd&eaux).....58

Figure 33: Valeurs des différents paramètres de contrôle en sortie de la STEP de Pontarlier avec les références, Septembre à Octobre 2018 (source : banque de données DDT du Doubs).....63

Figure 34: Schéma des transferts de flux entre le Doubs et la station d'épuration de Pontarlier....64

Figure 35: Calcul des débits à l'amont de la station de Pontarlier selon les paramètres.....64

Index des tableaux

Tableau 1: Position des stations de pêche électrique de l'amont vers l'aval.....	28
Tableau 2: Présentation des valeurs de qualité par station.....	29
Tableau 3: Abondance théorique des espèces piscicoles sur le Doubs Amont.....	31
Tableau 4: Débits moyens mensuels d'Octobre 2018 sur les stations du Doubs amont.....	38
Tableau 5: Résultats des régressions linéaires sur les années semblables à 2018.....	46
Tableau 6: Détail des différentes périodes avec des pentes similaires.....	47
Tableau 7: Bilan des prélèvements effectués en amont de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso).....	49
Tableau 8: Bilan des prélèvements effectués en aval de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso).....	49
Tableau 9: Bilan des prélèvements effectués en amont de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso).....	50
Tableau 10: Bilan des prélèvements effectués en aval de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso).....	50
Tableau 11: Résultats des prélèvements du 1er Avril 2019.....	54
Tableau 12: Résultats des indices des prélèvements du 24/05/2019.....	57
Tableau 13: Résultats des IBD calculés par station de prélèvement.....	59
Tableau 14: Résultats sur la gestion du barrage du lac Saint-Point.....	65

Liste des sigles

CLE = Commission Locale de l'Eau
DBO5 = Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCE = Directive Cadre Européenne
DDT = Direction Départementale des Territoires
DREAL = Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ENGEES = École Nationale du Génie de l'Eau et l'Environnement de Strasbourg
GI = Groupe Indicateur
HAP = Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HER = Hydroécorégion
I2M2 = Indice Invertébrés Multimétrique
IBGN = Indice Biologique Global Normalisé
IBG-DCE = Indice Biologie Global – Directive Cadre Européenne compatible
IBD = Indice Biologique Diatomée
IBMR = Indice Biologique Macrophytes Rivière
IPR = Indice Poisson Rivière
MNT = Modèle Numérique de Terrain
NTT = Niveau Typologique Théorique
PGRE = Plan de Gestion Quantitative de la Ressource en Eau
QMNA = Débit Mensuel Minimal d'une année hydrologique
SIG = Système d'Informations Géographiques
SMMAHD = Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs
SAGE = Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
SRAE = Service Régional de l'Aménagement des Eaux
STEP = Station d'épuration

Espèces piscicoles

BRO = Brochet
CHE = Chevaine
GAR = Gardon
GOU = Goujon
LOF = Loche franche
PER = Perche
ROT = Rotengle
TAN = Tanche
TRF = Truite fario
VAI = Vairon
VAN = Vandoise

Crustacés

OCL = Oronectes limosus (Ecrevisse américaine)

Introduction

Dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) (2000/60/CE), le retour et le maintien des masses d'eau dans un état dit de bonne qualité est attendu pour 2027 en dernière échéance. Cette attente est également applicable pour les cours d'eau connaissant des périodes d'étiage sévères ou d'assecs rendant difficile la survie de la biologie locale. C'est pourquoi des modalités de gestion doivent être trouvées durant ces événements hydrologiques afin de garantir un niveau de qualité biologique cohérent avec les objectifs de la DCE.

En 2018, durant la période de juillet à novembre, c'est un phénomène d'assec qu'à connu le Doubs sur sa partie amont, sur un linéaire de plusieurs dizaines de kilomètres. L'assèchement presque complet du lit mineur de la rivière a entraîné à la fois des difficultés d'approvisionnement en eau potable pour un certain nombre de communes mais également des conséquences sur la biologie aquatique qui s'est notamment traduit par une très forte mortalité piscicole.

Dans le but de comprendre et de gérer au mieux de futurs événements similaires, la DDT du Doubs a souhaité réaliser une analyse de la dynamique d'apparition de l'assec, des conséquences d'un tel phénomène sur le peuplement biologique avec comme finalité, la proposition de modalités de gestion des assecs sur le Doubs amont. Ce travail est d'autant plus important dans un contexte de crainte du réchauffement climatique et de la raréfaction de la ressource en eau.

L'analyse vise donc à fournir une aide technique dans le cadre de la recherche d'une gestion appropriée de futurs assecs intervenants sur la même zone. De plus, elle permettra d'apporter un complément à un travail menée par le bureau d'études Artelia sur l'hydromorphologie du Doubs amont, pour le compte du Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs (SMMAH), réalisée avec comme objectif une restauration de la continuité écologique de la rivière.

La première partie de ce mémoire sera consacrée à la présentation du contexte général de l'étude, les enjeux, le tronçon du Doubs concerné par le travail. La seconde partie aura pour objectif d'établir l'état initial du Doubs amont, c'est-à-dire avant les assecs.

La troisième partie sera consacrée à la description de l'assec de 2018 d'un point de vue hydrologique et biologique. La quatrième permettra d'établir un bilan post-assec et répondra à la question de la conséquence de ce phénomène.

Enfin la dernière partie établira les différentes propositions de gestion des assecs qui pourront être soumises aux différents acteurs, détaillera l'analyse critique et les perspectives qui peuvent être tirées de ce travail.

1) Présentation du contexte général de l'étude

1.1) Présentation de l'organisme d'accueil

La Direction Départementale des Territoires du Doubs a pour rôle de mettre en place les politiques publiques provenant de l'État dans les domaines suivants :

- la gestion des ressources et des milieux naturels
- l'urbanisme et l'habitat
- la prévention des risques naturels et technologiques
- l'économie agricole et rurale
- la planification et l'aménagement des territoires.

Elle se divise en cinq services ayant chacun des compétences dans les différents domaines cités ci-dessus :

- habitat, construction, ville
- économie agricole et rurale
- eau, risques, nature, forêt
- coordination sécurité, conseil aux territoires
- connaissance, aménagement des territoires, urbanisme.

Le stage s'est déroulé au sein du service Eau, Risques, Nature, Forêt sous la tutelle de Yannick Cadet, chef du service. L'ensemble des compétences « eau » y est retrouvé dans les différentes unités, comptant 30 personnes, permettant ainsi de répondre à l'ensemble des besoins :

- unité coordination eau et ouvrages hydrauliques
- unité eau assainissement
- unité travaux en rivières et plans d'eau
- unité forêt, faune sauvage, chasse, pêche
- unité prévention des risques naturels et technologiques.

1.2) Présentation du Doubs et du contexte des assecs 2018

Le Doubs est une rivière de l'est de la France. D'une longueur de 453 kilomètres, elle prend sa source dans le massif du Jura, à une altitude d'environ 945 mètres, sur le territoire de la commune de Mouthe (25) et traverse 3 départements français de la région Bourgogne-Franche-Comté : Le Doubs, le Jura (39) et la Saône-et-Loire (71) ainsi que les deux cantons suisses de Neuchâtel et du Jura.

C'est une rivière qui est reconnue pour avoir subi à de nombreuses reprises des étiages sévères ou des assecs en particulier comme en 1906. Entre juillet et novembre 2018, le Doubs a connu un épisode de sécheresse important, conduisant à l'assèchement d'une partie du lit de la rivière notamment sur le tronçon amont situé dans la zone dite du Haut-Doubs (images en annexes 1 et 2).

La portion du cours d'eau la plus concernée par ce phénomène est celle située entre Pontarlier et Grand'Combe-Chateleu, soit environ 18 kilomètres de linéaire de rivière.

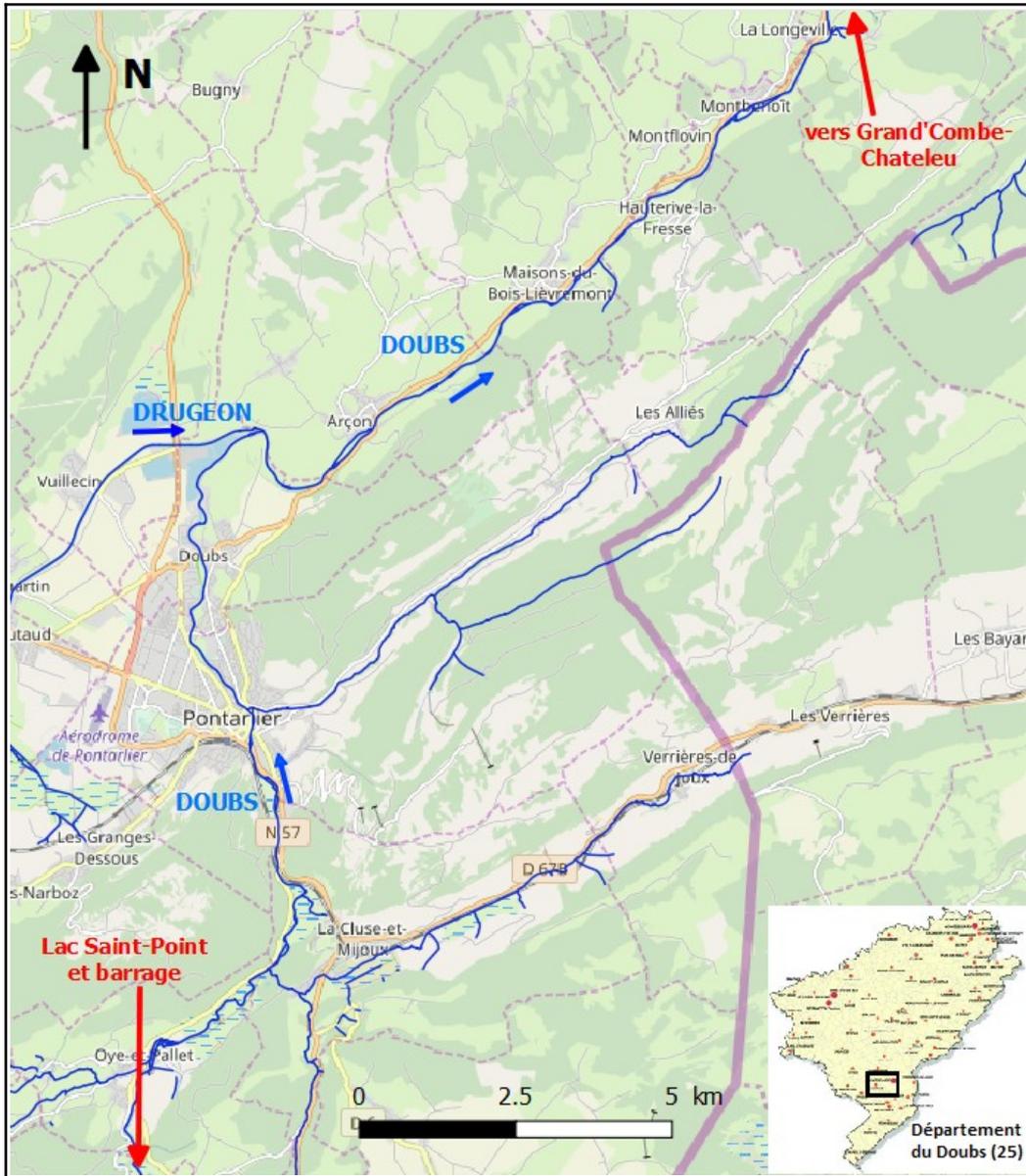


Figure 1: Carte de la zone globale concernée par les assecs en 2018 (entre Pontarlier et Grand'Combe-Chateleu)

Les causes de cet assec ne sont pas entièrement déterminées, cependant certains phénomènes sont soupçonnés être à l'origine de cette situation.

- Le premier est certainement climatique : l'absence de pluie pendant plusieurs mois a largement réduit les apports en eau et donc a naturellement conduit à une réduction des débits.
- Le deuxième phénomène est lui, lié au contexte géologique du département du Doubs et plus particulièrement sur la zone du Haut-Doubs. En effet, le sous-sol est principalement composé de calcaire et le karst¹ est très présent dans cette partie du Doubs. Ainsi dans le lit de la rivière, il existe un certain nombre de « pertes » par lequel l'eau du Doubs s'échappe directement pour alimenter le sous-sol karstique [16]. Cette eau n'est pas perdue car elle alimente, via le réseau karstique souterrain, la Loue et le Doubs plus

1 Le karst constitue l'ensemble des formes superficielles ou souterraines, résultant de la dissolution de roches carbonatées (ici du calcaire), par l'eau rendue acide par le dioxyde de carbone.

à l'aval. En Janvier 2018, le Doubs a connu des crues relativement importantes (période de retour de 20 ans), qui auraient peut-être réactivées certaines pertes anciennes. Ces pertes à nouveau activées, auraient largement contribuées à rendre une partie du Doubs Amont en assec complet sur plusieurs kilomètres.

1.3) Les enjeux liés aux assecs du Doubs amont

Les enjeux liés au Doubs sont nombreux et concernent plusieurs aspects : écologiques, économiques, d'approvisionnement en eau potable mais également sociaux.

En effet, le premier aspect est celui de l'écologie car l'absence d'eau sur une durée de temps aussi longue et sur un linéaire de rivière aussi important entraîne nécessairement des conséquences sur la vie aquatique, que ce soit pour la faune ou la flore.

C'est ainsi qu'une très forte mortalité piscicole a été observée au cours de l'assec (image en annexe 3). Ce phénomène étant le plus visible, c'est celui qui a le plus marqué les esprits, que ce soit pour la Fédération de pêche du Doubs, les associations de pêche locales mais également la population en général. A cela, s'ajoute les conséquences des assecs sur les macro-invertébrés mais également sur la végétation aquatique et la ripisylve. Ces enjeux écologiques seront étudiés et détaillés au cours de ce mémoire.

L'aspect social est également un enjeu important car un assec reste visuellement impressionnant, en particulier lorsque cet événement dure dans le temps et s'étend sur plusieurs kilomètres. Dans le contexte du Doubs amont, les étiages sévères sont courants et des assecs ont déjà été observés mais un événement tel que celui de 2018 reste inédit.

Concernant l'aspect économique, plusieurs activités peuvent dépendre du Doubs. Tout d'abord, le lac Saint-Point (image en annexe 4), sur lequel se trouvent de nombreuses activités sportives ou touristiques qui dépendent d'une bonne gestion du niveau d'eau du lac.

Concernant l'approvisionnement en eau potable, la question est également capitale. En effet, le lac Saint-Point constitue une réserve d'eau potable, puisque deux syndicats locaux, le syndicat des eaux des Tareaux et le syndicat des eaux du Joux, y puisent directement leur besoin en eau. De plus, ce lac constitue une réserve de secours pour la commune de Pontarlier. Durant l'été 2018, le niveau du lac a beaucoup diminué en raison de la volonté de laisser le barrage du lac ouvert (barrage en surverse, images en annexes 5 et 6) afin de soutenir le débit du Doubs. Les pompes de prélèvement menaçant de se trouver hors d'eau, il a alors été ainsi nécessaire d'installer des pompes flottantes pour sécuriser l'approvisionnement. Ainsi, encore ici une bonne gestion du niveau du lac est nécessaire surtout en période d'étiage.

De façon plus générale, l'enjeu du lac et du tronçon sont liés au Plan de Gestion Quantitative de la Ressource en Eau (PGRE) du Haut-Doubs, adopté par la Commission Locale de l'Eau (CLE). En effet, ce document doit garantir une quantité suffisante d'eau afin de permettre un bon fonctionnement des milieux aquatiques tout en conservant les besoins pour les usages locaux. Ce document est encore cours de rédaction à l'heure actuelle mais vise à proposer des objectifs opérationnels en particulier pour les périodes d'étiages, d'assecs et dans un contexte de fragilité de la ressource en eau. Bien que le travail de ce stage ne soit pas inclus directement dans le PGRE, il participe à comprendre ce type de phénomène et les modalités de gestion possibles afin de respecter les objectifs fixés.

De plus, les mêmes problématiques apparaissent pour la rivière « La Loue ». En effet, ce cours d'eau étant partiellement alimenté par les pertes du Doubs, les variations de débits

observées sur le Doubs sont également observées (dans une moindre mesure) sur la Loue. Les mêmes problématiques évoquées précédemment, pourraient donc également se poser sur ce cours d'eau mais elles ne seront pas étudiées dans ce dossier.

1.4) Présentation du tronçon de l'étude

Dans ce rapport, le tronçon qui sera étudié est plus restreint que le linéaire total en asssec en 2018.

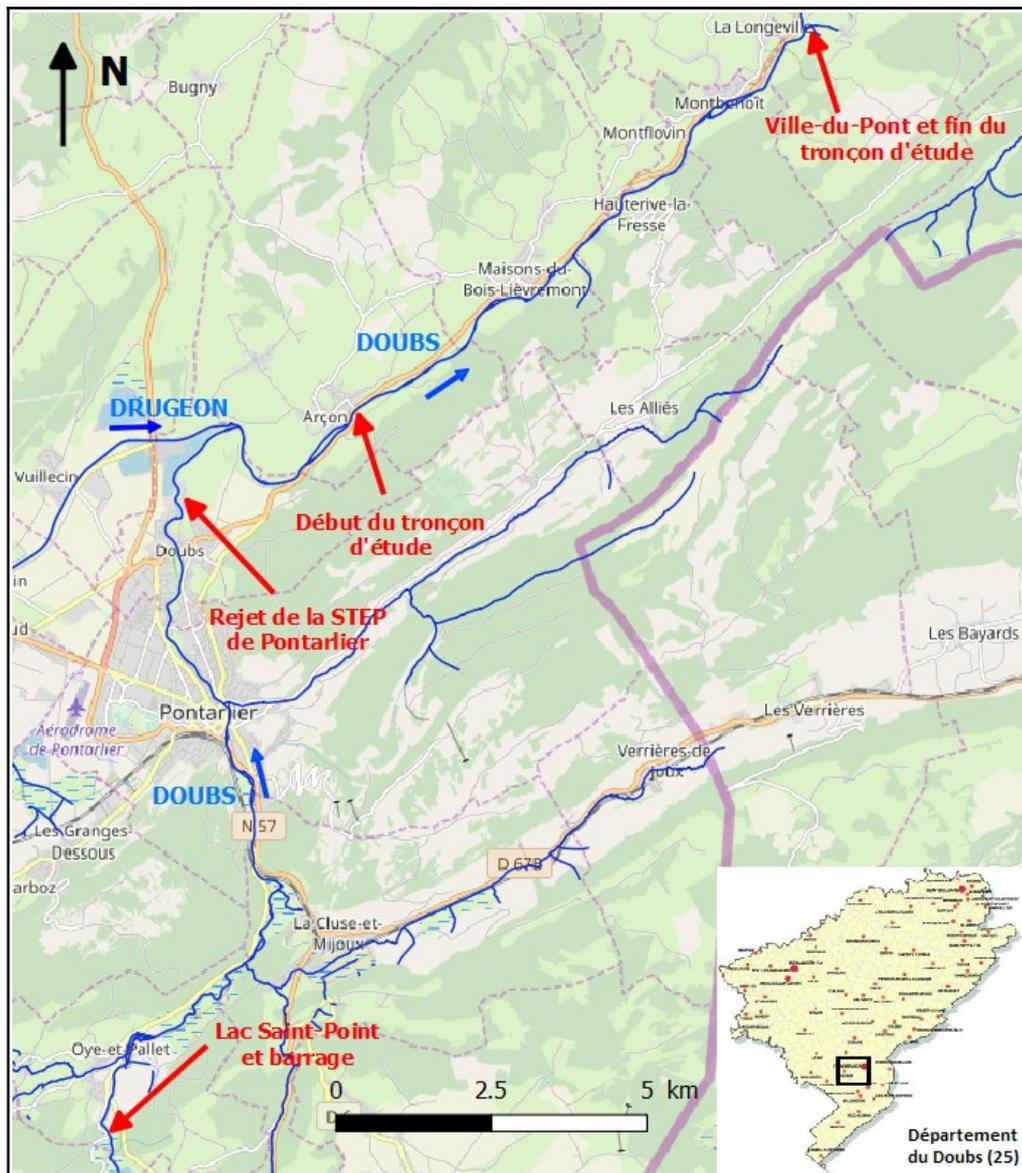


Figure 2 : Tronçon de l'étude allant d'Arçon à Ville-du-Pont

En effet, le secteur étudié s'étend de la commune d'Arçon jusqu'à celle de Ville-du-Pont. Cependant, pour certaines parties du travail réalisé, il a été nécessaire de se rapporter à des zones situées plus en amont telles que : la commune de Pontarlier, celle de Doubs ou encore la confluence entre le Drugeon et le Doubs. Les raisons qui ont déterminé le choix de ce tronçon en particulier sont multiples.

Dans un premier temps, l'observation des assecs 2018 a montré que la disparition du débit du Doubs se situait au niveau de la commune de Ville-du-Pont pour ensuite remonter jusqu'à la commune d'Arçon, soit 12,5 kilomètres plus en amont.

Enfin, la plupart des pertes sont recensées précisément sur ce tronçon avec une partie de ces dernières situées avant Maison-du-Bois alimentant les sources de la Loue (image en annexe 7) et les pertes situées vers la commune de Ville-du-Pont, alimentant le Doubs lui-même, de façon plus modeste, plus en aval. La répartition des pertes et leur contribution à l'alimentation de différents cours d'eau a été établie par le travail des traçages réalisés par le Cabinet Reilé [11] en Septembre 2018, profitant ainsi de l'assec pour accéder facilement aux pertes.

Remarque : Un schéma récapitulatif de l'ensemble de la situation géographique du Doubs amont se situe en annexe 9. Bien qu'il ne soit pas nécessaire à la compréhension du travail, il sera possible de s'y référer au cours du rapport.

2) État initial du Doubs amont avant l'assec de 2018

2.1) État des lieux des connaissances hydrologiques, hydrogéologiques et morphologiques sur le Doubs amont

Les assecs intervenus sur le Doubs Amont entre le mois de juillet et la fin du mois de novembre 2018 ont marqué les esprits, et ont un caractère exceptionnel dans la mesure où le tronçon concerné s'étendait sur une dizaine de kilomètres et a duré plusieurs mois.

2.1.1) Connaissances historiques sur le fonctionnement des pertes du Doubs

Ces phénomènes d'assecs sur le Doubs amont ne sont pas inconnus, ainsi que le principe des pertes dans le lit du Doubs est également étudié depuis la fin du XIX^{ème} siècle et a fait l'objet de nombreux travaux d'études, par exemple : les travaux de M. Gresset, conducteur des Ponts-et-Chaussées qui a cherché à identifier les résurgences des pertes du Doubs à Arçon à l'aide de traçage au sel en 1871 ou encore ceux réalisés par l'Académie des Sciences en 1901.

Des événements ont notamment conduit à l'identification plus précise de ces pertes dans le Doubs comme l'incendie de l'usine Pernod en 1901 qui a permis de mettre en évidence que la Loue était partiellement alimentée par les pertes du Doubs.

La mise en lumière de ces phénomènes de captation des eaux superficielles par des systèmes géologiques a encouragé l'aménagement du Doubs par les usiniers et les pêcheurs tout au long du XX^{ème} siècle afin d'empêcher « la disparition » de l'eau et de continuer les activités économiques dépendant fortement de l'eau. C'est ainsi, que des travaux de comblement des pertes ont été réalisées, des margelles² (annexe 8) ont été posées et des canaux de contournement ont été réalisés afin que le chemin de l'eau contourne ces pertes, dont on retrouve encore les traces aujourd'hui. Il est cependant à noter qu'il n'a pas été possible de combler ou contourner toutes ces pertes car ce sont en majorité des pertes diffuses.

La « capacité d'absorption des pertes » a également fait l'objet de nombreuses enquêtes afin d'avoir une meilleure connaissance du phénomène et aussi dans une moindre mesure, d'estimer si une régulation du débit à l'amont, grâce au barrage du lac Saint-Point était possible permettant ainsi d'éviter les assecs comme ceux enregistrés en 1979 (phénomène d'assèchement complet du Doubs amont pendant 45 jours, se répartissant sur trois périodes : Juillet, Août et Octobre 1979, [14]). Le SRAE de Franche-Comté a ainsi pu établir qu'entre Pontarlier et Ville-du-Pont, la moyenne de débit perdu était de 1,68 m³/s et pouvant aller jusqu'à 15 m³/s, avec une évolution de la quantité d'eau perdue suivant la saison. Cette étude précise cependant que le volume perdu n'est pas constant dans le temps et n'est pas identique d'une année sur l'autre car il dépend aussi de la réserve en eau prise dans la nappe calcaire en sous-sol et de l'évolution des pertes dans le lit mineur du Doubs.

2.1.2) États des lieux du Doubs amont

C'est dans ce contexte historique que s'inscrit l'assec du Doubs amont de 2018. A ceci, s'ajoute un contexte hydrologique qui se traduit par les données suivantes issues du site de la « banque hydro », notamment pour la partie débit minimum annuel moyen pour la commune de Doubs et la commune de Ville-du-Pont (car il n'y a pas de station de mesure hydrométrique à Arçon).

2 Cylindre en béton posé dans le lit mineur de la rivière, sur une perte détectée, permettant à l'eau de ne pas être perdue en étiage et d'être déversée dans le karst en hautes eaux.

Basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 34 ans			
Fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
Biennale	0.790 [0.670;0.930]	0.870 [0.740;1.000]	1.500 [1.200;1.700]
Quinquennale sèche	0.510 [0.420;0.610]	0.570 [0.460;0.670]	0.970 [0.800;1.100]
Moyenne	0.874	0.959	1.630
Ecart Type	0.348	0.362	0.889

Figure 3: Tableau récapitulatif des débits minimaux annuels moyens à la station de Doubs (source : banque hydro)

Basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 36 ans			
Fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
Biennale	0.120 [0.063;0.220]	0.180 [0.100;0.310]	0.690 [0.460;1.000]
Quinquennale sèche	0.022 [0.010;0.041]	0.038 [0.018;0.068]	0.230 [0.140;0.350]
Moyenne	0.312	0.405	1.170
Ecart Type	0.290	0.358	1.010

Figure 4: Tableau récapitulatif des débits minimaux annuels moyens à Ville-du-Pont (source : banque hydro)

Il faut cependant noter certains points. Les données de Débit mensuel mensuel (QMNA) présentées ici pour la station de Ville-du-Pont sont celles avant 2013 car la station a été remplacée cette année-là et les nouvelles statistiques ne sont pas encore disponibles. De plus, pour cette même station, lorsque les débits sont très faibles, de l'ordre de la centaine de litres par seconde, les erreurs provenant des mesures sont à prendre en compte car elles sont du même ordre de grandeur que les débits mesurés.

Du point de la morphologie, la section du Doubs étudiée sera donc de 12,5 kilomètres de long, avec une pente moyenne de 0,2 % et une largeur de cours d'eau allant d'une dizaine à une vingtaine de mètres. Le fond du lit mineur est composé majoritairement d'une granulométrie assez importante, à savoir des galets, des blocs mais également sur certaines portions de grandes dalles calcaires issues de la roche calcaire du sous-sol.

L'analyse des MNT obtenus à partir des données prises par drone de la société SOPRECO (note de calcul en annexe 10) a montré que cette portion du Doubs amont était composée d'une alternance de radiers, mouilles et de plats variant fréquemment (plusieurs faciès d'écoulement très variés sur quelques centaines de mètres).

Concernant les profils en travers, la majorité du lit se présente suivant l'exemple de profil en travers sur l'annexe 11. Il est également possible de retrouver la zone la plus profonde du lit mineur plus proche de l'une des berges, comme présenté en annexe 12.

Ces types de profils en long sont caractéristiques d'une zone à ombres ou barbeaux d'après la typologie de Huet (en annexe 13) et ce tronçon peut être donc défini comme une zone rhéophile où l'on trouvera principalement une population de salmonidés, ce qui correspond au fait que le Doubs amont est une rivière de catégorie 1.

2.2) État des lieux de la qualité physico-chimique du tronçon

Pour faire un état des lieux de la qualité physico-chimique avant assec 2018, les données issues de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse ainsi que les données issues du réseau QUARSITC sont utilisées.

Il n'y a qu'une seule station qualité qui se trouve sur le secteur concerné par ce travail et se situe à Arçon, au niveau du pont et appartenant au réseau QUARSTIC.

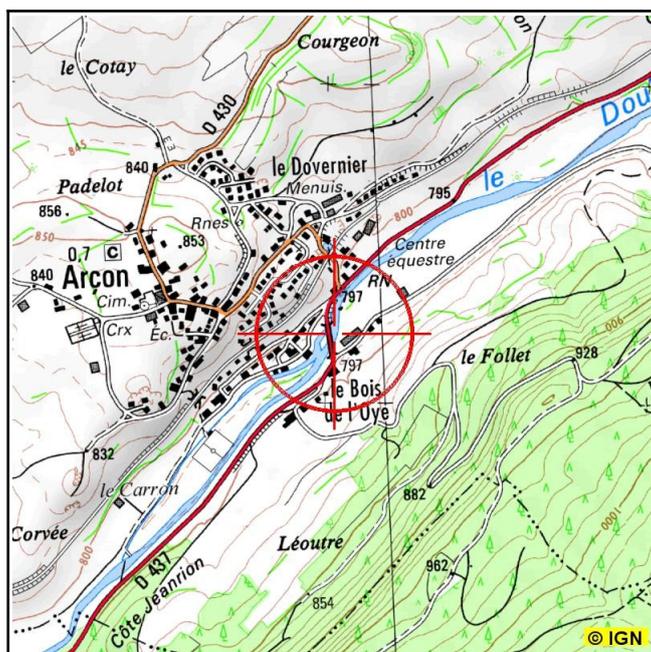


Figure 5: Position de la station qualité (source : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse)

Les données brutes et validées par le SMAHD renseigne de l'évolution temporelle des paramètres suivants : pH , Carbone Organique Total, biocarbonate, matières en suspension, azote, ammonium, nitrates, phosphore total, phosphate, Température, Conductivité, Oxygène Dissous, Oxygène saturé, Pression et Turbidité.

Afin d'avoir un état initial de la qualité physico-chimique du Doubs amont, ce sont les données issues de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse qui sont utilisées car elles permettent de situer la qualité de la rivière par rapport aux références du bon état. Ainsi les données sont présentées dans la figure 6 ci-dessous :

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments		Acidification	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Macrophytes	Poissons	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
			Nutriments N	Nutriments P											
2018	TBE	TBE	BE	BE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2017	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2016	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2015	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2014	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		BE
2013	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		MAUV ①
2012	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2011	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2010	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2009	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE					BE		MAUV ①
2008	TBE	TBE	BE	BE	BE	Ind	TBE	MOY					MOY		Ind

Figure 6: Qualité physico-chimique à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse)

Ces résultats montrent que les analyses des paramètres correspondent au bon état voire très bon état et restent relativement constants depuis 2008. En effet, que ce soit pour la température, le bilan en oxygène, l'acidification ou encore les polluants spécifiques, il n'y a eu que très peu d'évolution vers une amélioration pour les paramètres pouvant être améliorés (acidification et polluants spécifiques) ou vers une dégradation.

Concernant la mesure des nutriments azotés et phosphorés, il y a certaines années où les résultats sont meilleurs que d'autres mais les notes restent dans le bon état.

Entre 2009 et 2013, l'état chimique était considéré comme mauvais à cause de la présence de deux polluants : le Benzo(a)pyrène et le Fluoranthène, deux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), qui ont pour origine les industries ou encore les carburants. Après 2013, ces HAP n'ont plus de concentration suffisante pour déclasser le Doubs amont.

Ainsi de façon générale, la qualité du Doubs amont est considérée comme étant en bon état. Il faut tout de même noter qu'il existe des rejets sur le tronçon de l'étude.

En effet, se trouvent entre la commune de Doubs et la confluence avec le Dugeon, la station d'épuration de Pontarlier (carte en annexe 15), puis à Ville-du-Pont, le rejet de la station d'épuration de Ville-du-Pont (carte en annexe 14). Le principal point à noter est le défaut de traitement de la station de Ville-du-Pont qui est sous-dimensionnée, et sur laquelle est notamment raccordée une fromagerie (photographie du rejet en annexe 16).

Il faudra donc garder à l'esprit la présence de ces rejets de stations d'épuration, qui en période d'assecs sur le Doubs amont, réalisent également du soutien à l'étiage bien que ça ne soit pas leur fonction première.

L'ensemble de ces éléments permettent donc de déterminer que la qualité physico-chimique est en bon état d'après le référentiel donné par l'arrêté du 27 Juillet 2018 [12] et devrait donc permettre de bons résultats concernant la biologie.

2.3) État des lieux de la qualité biologique

2.3.1) Macro-invertébrés : état initial de la population

Concernant la qualité biologique, la station de prélèvement est la même que celle de la physico-chimie, c'est-à-dire qu'elle se situe à Arçon, au niveau du pont, comme indiqué sur la figure 5.

Ainsi le tableau de notes est également celui disponible sur le site de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse :

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments		Acidification	Polluants organochlorés	Invertébrés benthiques	Diatomées	Macrophytes	Poissons	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
			Nutriments N	Nutriments P											
2018	TBE	TBE	BE	BE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2017	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2016	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2015	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2014	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		BE
2013	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		MAUV ①
2012	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2011	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2010	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ①
2009	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE					BE		MAUV ①
2008	TBE	TBE	BE	BE	BE	Ind	TBE	MOY					MOY		Ind

Figure 7: Qualité biologique concernant les macro-invertébrés à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse)

Les notes sur le peuplement des macro-invertébrés indiquent un très bon état depuis 2008. Les résultats du tableau ne présentent pas les notes finales mais seulement les classes de qualité mais il est possible de retrouver ces données ainsi que les listes faunistiques sur la base de données Naïade.

De plus, il faut souligner que le principe de notation a évolué au cours des années. En effet, jusqu'en 2015, l'Indice Biologique Global DCE compatible (IBG-DCE) était utilisé pour évaluer la qualité du cours d'eau, cette note étant pondérée par une référence fournie par l'arrêté du 27 juillet 2015 [12]. Ainsi le résultat final appelé EQR se calcule de la manière suivante :

$$\text{Note en EQR} = (\text{note observée} - 1) / (\text{note de référence du type} - 1)$$

La note de référence correspond à une hydroécocorégion (HER) précise, qui est ici l'HER « Jura/Pré-Alpes du Nord ». Le tronçon de l'étude est de taille moyenne, ce qui signifie que la note de référence est de 15/20. Cette note en EQR est ensuite comparé aux seuils locaux du « Jura/Pré-Alpes du Nord ».

		TBE	BE	MOY	MAUV
IBG-DCE	Jura Pré Alpes du Nord				
	Cas général				
	Moyen, petit, très petit	0,92857	0,78571	0,57142	0,28571

Figure 8: Seuils de qualité IBG-DCE pour l'HER Jura/Pré-Alpes du Nord

Depuis 2016, c'est l'I2M2³ (ou Indice Invertébré Multi-métrique) qui est utilisé pour mesurer la qualité concernant les macro-invertébrés. La note est à nouveau comparée à une référence locale dont les valeurs sont fixées par l'arrêté du 27 juillet 2018 [12].

		TBE	BE	MOY	MAUV
i2m2	Jura Pré Alpes du Nord				
	Cas général				
	Moyen, petit, très petit	0,605	0,354	0,236	0,118

Figure 9: Seuils de qualité I2M2 pour l'HER Jura/Pré-Alpes du Nord

Les notes présentées ci-dessous ont été calculées grâce au site internet www.see.eaufrance.fr et vérifiées grâce à la base de données Naïades⁴.

Année	IBG-DCE (MCPE phases A+B)	IBG-DCE (en EQR)	I2M2
2008	16	1,07	0,571
2009	14	0,93	0,603
2010	15	1	0,565
2011	16	1,07	0,605
2012	16	1,07	0,494
2013	15	1	0,545
2014	17	1,14	0,562
2015	15	1	0,52
2016	13	0,86	0,583
2017	13	0,86	0,698

Figure 10: Notes de qualité pour la station d'Arçon

Ainsi, d'après les notes obtenues et suivant l'historique des différentes méthodes de notations, les résultats correspondent bien au « très bon état » indiqué sauf pour l'année 2016, où un bon état est observé. Les deux méthodes de calculs montrent ainsi le bon état constant de la rivière concernant les macro-invertébrés alors même que l'I2M2 est plus précis et plus sensible que l'IBG-DCE, ce qui signifie que les résultats obtenus sont logiques et cohérents par rapport à la réalité.

La détermination de la qualité permet également de s'intéresser aux listes faunistiques. En effet, le détail des listes comparé au tableau de détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (l'IBGN), en suivant les règles de calcul de la note (3 individus représentatifs par taxons sauf pour certains pour lesquels 10 individus sont nécessaires), montre que le taxon le plus polluosensible représenté entre 2008 et 2017 est *Leuctridae* (Groupe Indicateur = 7) de l'ordre des Plécoptères. Cet ordre appartient au trio Éphéméroptères – Trichoptères – Plécoptères, les trois les plus polluosensibles parmi les ordres représentés dans le calcul des notes.

3 Indice biologique permettant d'apporter de nouvelles informations que l'IBG-DCE ne fournit pas: écart à la situation de référence, intégration de plusieurs types de pression (pollution, hydrologie, nitrates, ...) grâce au calcul d'un certain nombre de métriques de structure et de fonctionnement des communautés biologiques.

4 Base de données donnant accès aux données de qualité des eaux de surface.

A noter que la majorité des prélèvements ont été effectués sur des algues constituant une grande majorité des substrats dominants. Enfin, les algues constituent l'un des substrats les moins biogènes (avant-dernier sur de la classification) et au regard du nombre élevé de prélèvements effectués, le colmatage algal est très important en étiage, bien que les indices restent très bons.

2.3.2) Faune piscicole : état initial de la population

Concernant la faune piscicole, les données disponibles sont celles présentes sur le site de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse mais aussi provenant de la Fédération de pêche du Doubs permettant de faire une analyse plus approfondie de la situation.

Avant de regarder le détail des notes, il est nécessaire de préciser que le Doubs Amont est un cours d'eau de première catégorie ou « rivière à truites », ce qui signifie que le groupe piscicole dominant est constitué de salmonidés. Dans ces rivières sont censées se trouver des espèces telles que des truites, ombles ou encore des ombres communs. Les rivières concernées par cette catégorie sont les grands types de lits et de courants, allant du torrent de haute montagne jusqu'à la rivière ou le ruisseau de plaine. Lorsque ces espèces ne sont pas issues de rempoissonnements successifs, ce sont de bons bio-indicateurs.

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Ilttriments		Acidification	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Macrophytes	Poissons	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
			Nutriments N	Nutriments P											
2018	TBE	TBE	BE	BE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2017	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2016	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2015	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2014	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		BE
2013	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2012	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2011	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2010	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2009	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE					BE		MAUV ⓘ
2008	TBE	TBE	BE	BE	BE	Ind	TBE	MOY					MOY		Ind

Figure 11: Qualité biologique concernant la faune piscicole à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse)

Le tableau de qualité de l'Agence de l'eau ci-dessus montre que la qualité piscicole est médiocre depuis 2010 et sans évolution. Il y a donc une anomalie au niveau du peuplement piscicole. L'indice utilisé pour déterminer les notes est l'Indice Poisson Rivière (IPR). Les données brutes étant difficilement accessibles sur les sites de l'Agence de l'eau et la base de données Naiade, les résultats des pêches électriques réalisées par la Fédération de pêche du Doubs ont été nécessaires pour comprendre les raisons de ces notes.

Les pêches réalisées par la Fédération sur 8 stations allant de Oye-et-Pallet jusqu'à Remonot (en aval de Ville-du-Pont) entre 2013 et 2016, à raison de deux stations par an. Cette configuration permet donc d'avoir un panorama de l'état de peuplement piscicole sur l'ensemble du tronçon de l'étude.

Tableau 1: Position des stations de pêche électrique de l'amont vers l'aval

Commune	Station	Date	Numéro de station
Oye-et-Pallet	Oye-et-Pallet	02/10/14	1
La Cluse et Mijoux	Pont des rosiers	02/10/14	2
Doubs	Amont de la STEP	03/10/13	3
Doubs	Aval STEP / Amont de la confluence avec le Drugeon	03/10/13	4
Montbenoît	Aval du pont d'Hauterive	08/10/15	5
Ville-du-Pont	Station de pompage	06/10/16	6
La Longeville	Défilé d'Entre-roches	06/10/16	7
Les Combes	Aval Remonot	08/10/15	8

Les stations permettent de couvrir l'ensemble de la zone qui a été en assec en 2018 et l'ensemble de la zone concernée par cette étude.

Les données issues des pêches se présentent sous la forme suivante :

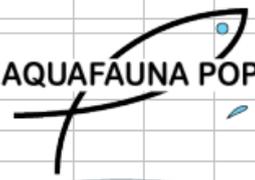
DOUB 09												
	Date	02/10/2014					Anodes	6				
	Cours d'eau	Doubs					Passages	3				
	Affluence	Saône					Longueur (m)	160,00				
	Commune	Oye-et-Pallet					Largeur (m)	20,80				
	Lieu dit	Pallet / Amont Fon					Surface (m²)	3328,00				
	X	906110					Conductivité					
	Y	2214850					PH					
							Temp					
	Licence attribuée à	Operateur					O ² (Mg/l)					
	ROSSIGNON	Gestionnaire					O ² (T* Sat)					
DONNEES BRUTES												
	EFFECTIF					DENSITE		BIOMASSE			TAILLE (mm)	
ESPECES	P1	P2	P3	P4	Total	Ind/10a	Relative	g	kg/ha	Relative	Mini	Maxi
BRO	7	7	1	-	15	4,5	0,10 %	12074	36,30	9,55 %	320	640
CHE	238	193	82	-	513	154,1	3,38 %	63140	189,70	49,88 %	28	535
GAR	74	27	16	-	117	35,2	0,77 %	12183	36,60	9,62 %	37	305
GOU	540	252	236	-	1028	308,9	6,79 %	9486	28,50	7,49 %	30	151
LOF	149	121	69	-	339	101,9	2,24 %	442	1,30	0,34 %	26	100
OCL	5	1	4	-	10	3,0	0,07 %	135	0,40	0,11 %	50	105
PER	4	1	2	-	7	2,1	0,05 %	639	1,90	0,50 %	65	298
ROT	2	1	1	-	4	1,2	0,03 %	1409	4,20	1,10 %	67	363
TAN	14	4	6	-	24	7,2	0,16 %	7510	22,60	5,94 %	47	455
TRF	2	0	0	-	2	0,6	0,01 %	192	0,60	0,16 %	210	221
VAI	6073	3243	3494	-	12810	3849,2	84,55 %	11234	33,80	8,89 %	18	75
VAN	141	95	46	-	282	84,7	1,86 %	8125	24,40	6,42 %	52	268
TOTAL	7249	3945	3957	0	15151	4552,6	100,00 %	126569	380,30	100,00%		
Nbre espèces :	12											

Figure 12: Données brutes issues de la pêche électrique menée le 02/10/2014 à Oye-et-Pallet (source : Fédération de pêche du Doubs)

Analyse de la qualité par l'IPR

Le fichier utilisé pour calculer l'IPR est celui fourni par Nicolas Beisel en première année du cursus d'ingénieur à l'École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) . Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Présentation des valeurs de qualité par station

Station	Valeur de l'IPR	Classe de qualité	Qualité
Oye-et-Pallet	29,66	4	Mauvaise
La Cluse et Mijoux	25,84	4	Mauvaise
Doubs	37,81	5	Très mauvaise
Doubs	33,01	4	Mauvaise
Montbenoît	32,98	4	Mauvaise
Ville-du-Pont	39,27	5	Très mauvaise
La Longeville	25,82	4	Mauvaise
Les Combes	27,83	4	Mauvaise

La raison pour laquelle les notes présentées ci-dessus sont si mauvaises se retrouve dans les résultats détaillés sur la probabilité de présence des espèces dans les différentes stations. En effet, les paramètres liées à la station (distance à la source, largeur à plein bord, températures ...) permettent d'aboutir à une probabilité théorique de présence de poissons.

Le détail des probabilités de présence permet de mettre en évidence que certains poissons comme le Brochet, le Rotengle voire l'Ablette sont retrouvés alors qu'elles ont une probabilité de présence inférieure à 1 %.

Dans le cas contraire, certaines espèces qui pourraient être pêchées telles que le Barbeau fluvial, le Blageon, la Bouvière ou encore le Chabot ne sont pas ou peu retrouvées alors qu'elles ont une probabilité de présence supérieure à 25 % voire 50 %.

Il est également pertinent de comparer la densité théorique et observée ainsi que le nombre d'espèces théorique et observée pour comprendre ces notes.

	Valeur théoriques des métriques	Valeurs observées	Scores associés aux métriques
NTE Nombre total d'espèces	6,51	11,00	5,12
NEL Nombre d'espèces lithophiles	3,20	2,00	3,35
NER Nombre d'espèces rhéophiles	3,43	2,00	3,92
DIT Densité d'individus tolérants	0,04	0,14	3,04
DIO Densité d'individus omnivores	0,01	0,14	7,48
DII Densité d'individus invertivores	0,15	0,16	1,26
DTI Densité totale d'individus	0,35	2,18	5,49

Figure 13: Comparaison des abondances et nombres d'espèces théoriques et observées ainsi que les scores associés aux métriques sur la station d'Oye-et-Pallet.

La figure 13 appliqué à toutes les stations amène les conclusions suivantes :

- **Station d'Oye-et-Pallet** : la densité d'omnivores est trop importante par rapport aux valeurs théoriques (0,14 individu/m² observé contre 0,01 individu/m²), ce qui concerne notamment le Chevaîne, le Gardon et la Vandoise.
- **Station de la Cluse-et-Mijoux**: la densité d'omnivores observée est plus grande que les valeurs théoriques (0,08 individu/m² contre 0,01 individu/m²), ce qui concerne notamment le

Chevaine, le Gardon et la Vandoise. De plus, la densité d'invertivores observée est inférieure à la théorie (0,03 individu/m² contre 0,14 individu/m²).

- **Station de Doubs amont** : la densité d'individus tolérants observée est beaucoup plus élevée que la densité théorique (0,28 individu/m² contre 0,02 individu/m²). De plus, la densité d'omnivores observée est très élevée alors qu'elle être nulle (0,17 individu/m² contre 0 individu/m²).

- **Station de Doubs aval** : le nombre d'espèces rhéophiles observé est plus faible que la théorie (une espèce pêchée contre 3 espèces théoriques), la densité d'individus tolérants observée est beaucoup plus élevée que la densité théorique (0,28 individu/m² contre 0,02 individu/m²). De plus, la densité d'omnivores observée est très élevée alors qu'elle devrait être nulle (0,17 individu/m² contre 0 individu/m²).

- **Station de Montbenoît** : le nombre d'espèces rhéophiles observé est plus faible que le nombre théorique (deux espèces pêchées en réalité contre quatre théoriques). De plus, la densité d'invertivores observée est beaucoup plus faible que la théorie (0,02 individu/m² contre 0,12 individu/m²).

- **Station de Ville-du-Pont** : le nombre d'espèces rhéophiles observé est plus faible que le nombre théorique (deux espèces pêchées contre quatre théoriques). De plus, la densité d'omnivores observée est plus élevée qu'en théorie (0,36 individu/m² contre 0,01 individu/m²).

- **Station La Longeville** : le nombre d'espèces rhéophiles observé est plus faible que le nombre théorique (deux espèces pêchées en réalité contre quatre théoriques). De plus, la densité d'invertivores observée est beaucoup plus faible que la densité théorique (0,02 individu/m² contre 0,12 individu/m²).

- **Station Les Combes** : la densité d'omnivores observé est plus beaucoup plus élevée que la densité théorique (0,16 individu/m² contre 0,01 individu/m²).

À ces écarts parfois importants entre théorie et observation, il faut ajouter que ces écarts se retrouvent dans le nombre total d'espèces et dans la densité totale d'individus, ce qui contribue à dégrader la note finale.

Analyse de la qualité par la typologie du Doubs

La Fédération de pêche utilise également la typologie des cours d'eau afin de mettre en avant les problèmes pouvant apparaître avec la faune piscicole. Pour se faire, le logiciel AQUAFAUNA POP (figure 12), est utilisé afin d'analyser les données brutes grâce à la méthode de Carl et Strub (annexe 17).

Afin de pouvoir déterminer à quel biocénotype appartient les stations de pêche, le Niveau Typologique Théorique (NTT) est calculé :

$$\text{NTT} = 0,45 \text{ T1} + 0,3 \text{ T2} + 0,25 \text{ T3}$$

Avec :

T1 : la composante thermique qui prend compte de la température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds de l'année.

T2 : la composante trophique qui prend compte de la distance à la source et de la dureté totale de l'eau.

T3 : le coefficient synthétique qui prend en compte la section mouillée à l'étiage, la pente de la ligne d'eau ainsi que la largeur du lit mineur.

Le détail des résultats (annexe 18) donne un niveau B6 mais la Fédération de pêche du Doubs considère que hors perturbation (perte des zones humides, morphologie, la ripisylve, les étiages sévères) la typologie du Doubs amont est plus proche du biocénotype B5/B5+ notamment à cause des températures.

Ainsi pour le biocénotype B5, les espèces et les abondances relatives sont les suivantes :

Tableau 3: Abondance théorique des espèces piscicoles sur le Doubs Amont

Espèce	Abondance théorique
Truite fario	4
Vairon	5
Loche franche	5
Chevaine	3
Goujon	3
Vandoise	2
Brochet	1
Perche	0,1
Gardon	0,1
Tanche	0,1

La composition du peuplement piscicole présenté ci-dessus montre ainsi une population théorique plus adaptée aux caractéristiques d'un cours d'eau de première catégorie, car se retrouvent des espèces telles que : la Truite fario, le Vairon ou la Loche franche. A noter cependant l'absence de l'Ombre dans ce tableau alors que d'après la typologie de Huet, le Doubs Amont est une zone à Ombres.

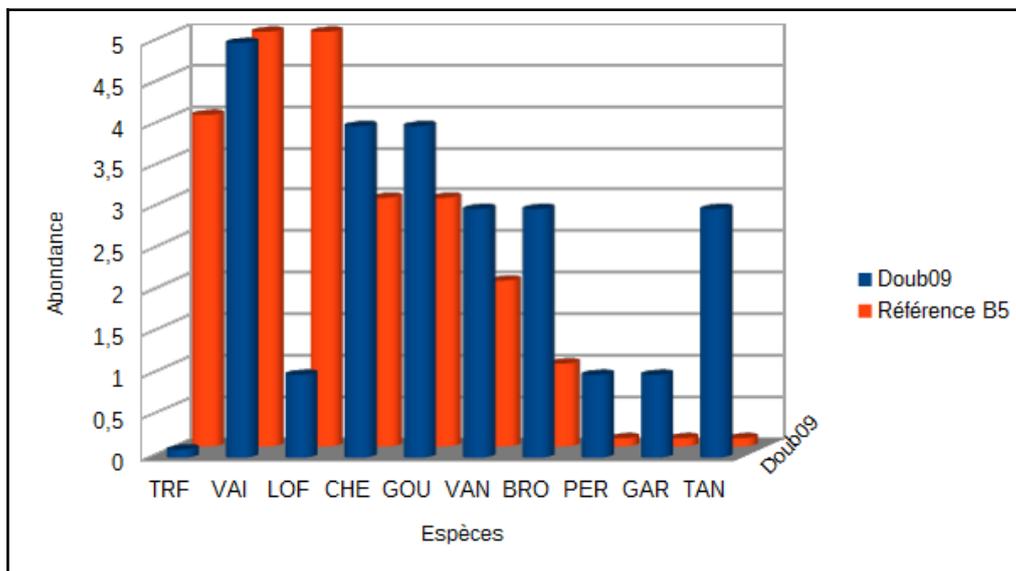


Figure 14: Comparaison entre l'abondance théorique et l'abondance observée des espèces piscicoles sur la station d'Oye-et-Pallet

Comme précédemment, la qualité du Doubs se détermine en comparant l'abondance théorique et l'abondance observée sous la forme suivante :
Ainsi, l'ensemble des graphiques sur toutes les stations nous montre les détails suivants :

Stations	Déficit	Surabondance	Absence
Oye-et-Pallet	Truite fario, Loche franche	Brochet, Perche, Gardon, Tanche	-
Cluse-et-Mijoux	Truite fario, Loche franche, Vairon, Goujon	Brochet, Gardon, Vandoise	Tanche
Doubs amont	Truite fario, Loche franche, Goujon, Vandoise	Chevaïne, Perche	Tanche
Doubs aval	Truite fario, Loche franche, Goujon	Chevaïne, Perche	Vandoise, Brochet, Gardon
Montbenoit	Tous les autres espèces	Chevaïne, Tanche	-
Ville-du-Pont	Loche franche, Goujon	Vandoise, Brochet, Perche, Gardons, Tanche	Truite fario
Longeville	Truite fario, Loche franche, Goujon	Chevaïne, Perche	Vandoise, Brochet, Gardon
Les Combes	Truite fario, Loche franche, Goujon	Chevaïne, Vandoise	Vandoise et Perche

Figure 15: Comparaison entre les abondances réelles et les abondances théoriques par stations

La figure 15 montre que les espèces majoritairement sur-représentés sont le Chevaïne et la Perche tandis que celles en déficit sont la Truite fario, la Loche franche et le Goujon. Enfin la Tanche et la Vandoise sont les espèces les plus régulièrement absentes.

Il est également possible de regarder l'évolution des abondances le long du Doubs (exemple en annexes 19 et 20). Excepté pour le Vairon et le Chevaïne où l'abondance est relativement constante et pour le Goujon dont l'abondance se rapproche de plus en plus de la référence en aval, les résultats ne démontrent pas de réelles tendances et peuvent très fortement varier d'une station à l'autre.

Les résultats montrent clairement que l'utilisation de la typologie est plus efficace que l'IPR pour décrire les pêches effectuées, notamment parce que les espèces retrouvées sont identiques à la théorie, ce qui justifie son utilisation par la Fédération de pêche du Doubs.

2.3.3) Macrophytes et Diatomées : état initial du peuplement

Le suivi des macrophytes et des diatomées se fait également chaque à la même station de prélèvement que la physico-chimie et les macro-invertébrés, à savoir à Arçon.

Les résultats présentés sur le site de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse sont présents ci-dessous :

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments		Acidification	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Macrophytes	Poissons	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
			Nutriments N	Nutriments P											
2018	TBE	TBE	BE	BE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2017	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2016	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2015	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		BE
2014	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		BE
2013	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2012	BE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2011	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2010	TBE	TBE	TBE	TBE	BE	BE	TBE	BE	MOY	MED			MED		MAUV ⓘ
2009	TBE	TBE	BE	TBE	BE	BE	TBE	BE					BE		MAUV ⓘ
2008	TBE	TBE	BE	BE	BE	Ind	TBE	MOY					MOY		Ind

Figure 16: Qualité pour les diatomées et macrophytes sur la station Agence de l'eau à Arçon (source : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse)

Concernant les macrophytes, c'est-à-dire les plantes aquatiques d'eau douce visibles à l'œil nu, le calcul de l'Indice Biologique Macrophyte Rivière (IBMR⁵) donne un niveau trophique Moyen depuis 2010 et ce niveau n'a pas évolué. Ce résultat révèle donc un défaut dans la richesse taxonomique (le nombre d'espèces différentes) ou un défaut dans l'abondance des espèces de l'échantillon et également que le phénomène d'eutrophisation peut-être relativement élevé.

Concernant les diatomées, c'est-à-dire les algues microscopiques unicellulaires, le calcul de l'Indice Biologique Diatomées (IBD⁶), les notes de qualité varient entre le moyen état et le bon état avec une stagnation au bon état depuis 2018. Ce résultat révèle donc qu'il y a peu de pollution qui pourrait atteindre la diversité ou l'abondance des diatomées les plus sensibles et que le peuplement est stable depuis 2015.

Conclusion sur l'état initial de la biologie

La population de macro-invertébrés est en très bon état sur l'ensemble de l'historique de la station ce qui laisse éventuellement supposer une certaine capacité de résilience.

Concernant la population piscicole, les deux méthodes utilisées ne donnent pas le même état de référence et les espèces attendues ne sont pas forcément les mêmes pourtant le constat reste identique : les espèces attendues ne sont pas présentes ou pas dans l'abondance théorique. Il faut cependant noter que la méthode de la typologie semble être la plus adaptée au contexte local parce que les espèces de poissons théoriques correspondent mieux à ce qui pourrait être observé sur le Doubs amont.

Concernant les macrophytes, la qualité n'est pas optimale tandis que pour les diatomées le bon état est constaté et reste stable depuis plusieurs années.

5 Indice permettant de déterminer le niveau trophique d'une rivière et traduit la teneur en ammonium, orthophosphate et pollutions organiques majeures. Le résultat est obtenu à partir d'un prélèvement de tous les végétaux aquatiques, de leur identification et enfin de l'estimation du taux de recouvrement.

6 Indice permettant de déterminer la qualité biologique d'un cours d'eau et donne une évaluation de la pollution organique et trophique (azote et phosphore). Le résultat est obtenu par récupération des diatomées sur les pierres de la rivière, traitement de l'échantillon et identification au microscope.

3) Description de l'évènement 2018

3.1) Description de l'évènement du point de vue de l'hydrologie

Les assecs du Doubs de 2018 a duré pour rappel cinq mois en 2018, de début juillet jusqu'à fin novembre, mais le phénomène a commencé dès le mois de juin 2018. Avant de décrire l'évènement du point de vue de l'hydrologie, il faut dans un premier remettre en contexte l'apparition des assecs.

En effet, l'année 2018, du point de vue climatique, se trouve être assez marquante en comparaison aux années précédentes observées. Concernant la température, pour la période s'étendant du mois d'avril 2018 jusqu'au mois de novembre 2018, la température mensuelle maximale relevée à Besançon était bien plus élevée que les maximales observées entre 1981 et 2010 comme le montre l'annexe 21. A cette température, s'ajoute un déficit en précipitation comme l'illustre l'annexe 22. La corrélation entre la température et les précipitations classe donc l'année 2018 comme l'une des plus chaudes et sèches sur un historique de plus d'un siècle, dans le département du Doubs comme le montre la figure 17. Il faut enfin préciser que 50 à 100 mm de pluie sont tombées entre 1^{er} et 6 juin 2018, ce qui montre que la période juillet-novembre 2018 fut particulièrement sèche.

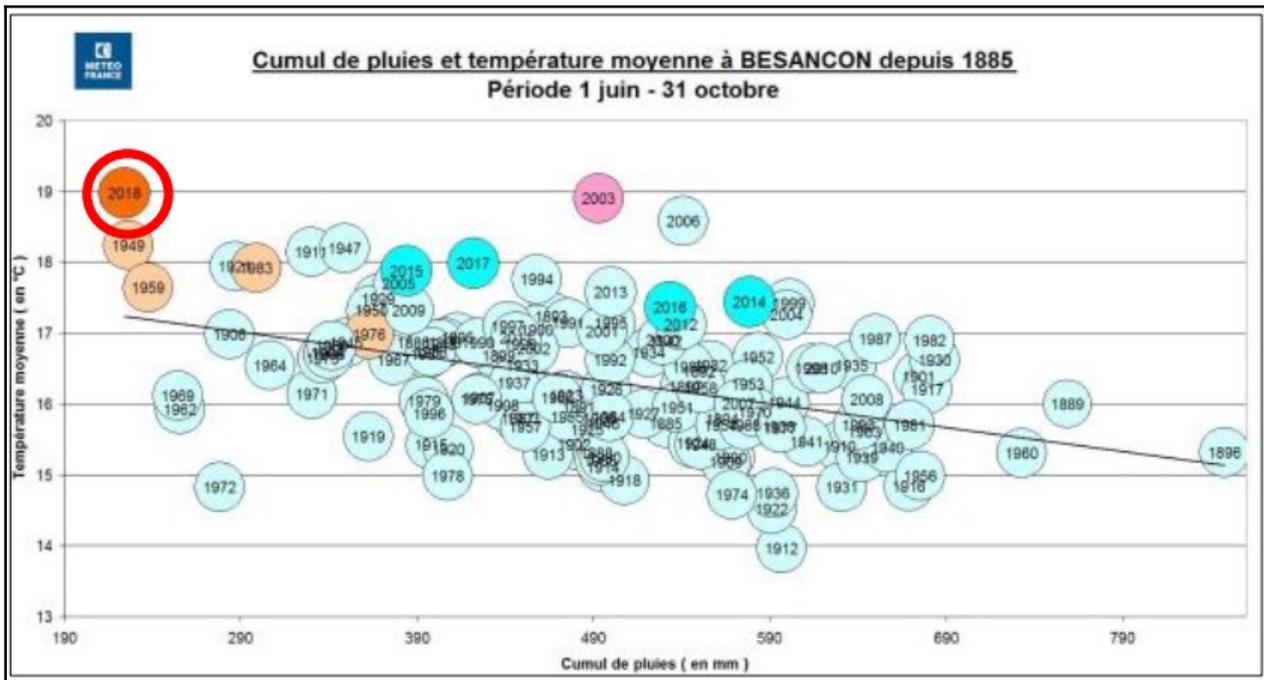


Figure 17: Graphique de corrélation entre le cumul des pluies et la température moyenne à Besançon entre 1885 et 2018

C'est donc dans ce contexte climatique que se présente l'assec du Doubs 2018.

A partir du 13 Juin 2018, les débits à Ville-du-Pont ont chuté très rapidement et en l'espace de deux semaines, le débit journalier moyen mesuré à la station était passé de 22 m³/s à 100 l/s. Fin Juillet 2018, le débit enregistré n'était plus que de quelques litres par seconde, les pluies étant rares et faibles. La situation s'est poursuivie jusqu'au 1^{er} Décembre 2018.

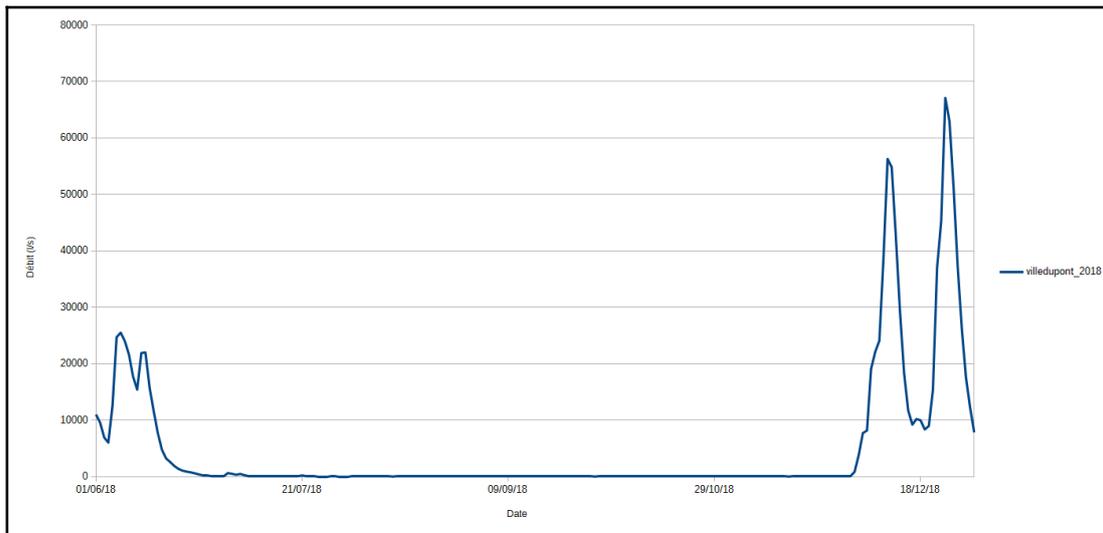


Figure 18: Hydrogramme à Ville-du-Pont du 01/06/2018 au 31/12/2018

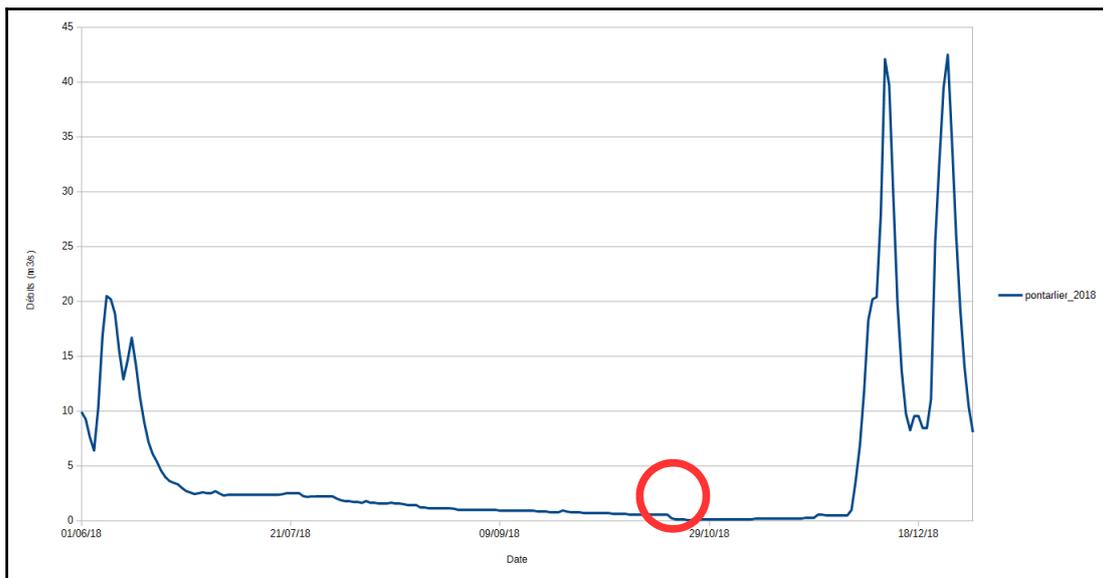


Figure 19: Hydrogramme à Cluse-et-Mijoux (Pontarlier Amont) du 01/06/2018 au 31/12/2018

Les hydrogrammes des figures 18 et 19 montrent l'évolution des débits au cours du temps mais également leur évolution spatiale, de l'amont (Pontarlier) vers l'aval (Ville-du-Pont). Les graphiques montrent qu'à Ville-du-Pont, les débits ont atteint très vite les valeurs minimales de quelques litres par seconde tandis qu'à l'amont de Pontarlier, la décroissance des débits a d'abord été très rapide puis a été beaucoup plus lente à partir de fin Juin 2018. Il est à noter que durant toute la période allant de Juin au 20 Octobre 2018, le Doubs à l'aval du lac Saint Point était alimenté par son barrage, (annexe 23) ce qui a permis de maintenir une partie de la rivière en eau, jusqu'à Arçon. Ce barrage en surverse dont l'ouverture peut être contrôlée, a donc volontairement été ouvert afin d'apporter du soutien à l'étiage. Cependant,

après le constat de l'échec du maintien de l'écoulement sur l'ensemble du linéaire (d'Arçon jusqu'à Remonot, commune située à l'aval de Ville-du-Pont) à cause des pertes, et dans l'obligation de sécuriser l'alimentation en eau potable au niveau du Lac Saint-Point, il a été décidé de fermer le vannage du barrage au 20 Octobre 2018.

L'influence du barrage sur le débit mesuré à Pontarlier se retrouve clairement sur l'hydrogramme de la Cluse-et-Mijoux comme le signale le décrochement entouré en rouge sur la figure 19. Cette influence ne se retrouve pas dans l'hydrogramme de la station de Ville-du-Pont. En effet, à la même date du 20 Octobre 2018, aucun décrochement n'est constaté, les débits mesurés étant déjà très bas (environ 9 l/s). Ce constat signifie qu'à partir d'un certain pallier hydrologique, les débits mesurés à Ville-du-Pont ne peuvent plus être régulés par le barrage du lac Saint-Point.

La diminution beaucoup plus lente du Doubs à Pontarlier pourrait s'expliquer également par la géologie locale⁷. En effet, se trouve en profondeur, la nappe phréatique de l'Arlier qui aurait avec l'épikarst⁸ joué le rôle de tampon les premiers mois.

Ces deux effets, le barrage et la nappe phréatique, auraient donc permis un écoulement même très limités sur le secteur de Pontarlier-Arçon.

Il faut de plus ajouter les débits issus du Drugeon, cours d'eau se jetant dans le Doubs entre Pontarlier et Arçon, qui ont permis de soutenir l'étiage du Doubs jusque dans la commune d'Arçon. Cependant, les débits issus du Drugeon étant très faibles (station de Vuillecin, hydrogramme en annexe 24) durant cette période, de l'ordre de la centaine ou dizaine de litres, ils n'ont pas permis de compenser les pertes présentes dans le lit mineur du Doubs.

Outre la gestion du barrage qui a constitué l'essentiel de la gestion permettant l'alimentation du Doubs, des travaux ont été réalisés dans le lit mineur du Doubs afin de pouvoir conserver un écoulement, mais également d'observer l'influence des pertes sur les débits de la Loue. Ces travaux ont été mandatés par le Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs en Août 2018 [15]. Ils ont consisté en la pose de deux margelles et de la restauration d'un canal de contournement qui fut comblé lors des crues de Janvier 2018. Ce sont les travaux classiquement menés lorsque des tels évènements apparaissent sur le Doubs amont.

Les aménagements décrits ci-dessus ont été réalisés sur le tronçon allant de la commune d'Arçon à la commune de Maison-du-Bois-Lièremont (schéma annexe 9).

Les observations menées après les travaux ont montré que les aménagements réalisés n'ont pas permis de préserver un écoulement dans le Doubs. Cet examen des débits indique et confirme donc l'importance des pertes diffuses dans le lit mineur mais également la capacité des pertes non aménagées à capter le débit du Doubs.

De plus, la présence de ces aménagements n'a pas affecté les débits mesurés sur la Loue à la même période et n'a pas empêché ces derniers de chuter jusqu'à un débit moyen 2,560 m³/s en Novembre pour la station de Vuillafans (Loue amont) pour un QMNA5 de 4,1 m³/s.

Grâce à l'ensemble de ces éléments, il est possible de caractériser l'évènement survenu durant l'été et l'automne 2018 et devient une nouvelle référence. D'après les données de la Banque Hydro, les débits moyens mensuels enregistrés sur les stations de Mouthe, Labergement-Sainte-Marie et de Doubs sont devenus les nouvelles valeurs minimales connues dont la période de retour est supérieure à 50 ans.

7 A noter que les apports des ruisseaux se jetant dans le Doubs au niveau de Pontarlier, sont nuls en étiage.

8 karst de subsurface caractérisé par un réseau de cavités qui permet la collecte et le transport de l'eau de surface et des nutriments vers le sous-sol.

Tableau 4: Débits moyens mensuels d'Octobre 2018 sur les stations du Doubs amont

Station	Débit moyen mensuel – Octobre 2018 (minimum connu) en m ³ /s
Mouthe	0,07
Labergement-Sainte-Marie	0,16
Doubs	0,15

L'intensité de l'assec n'est pas la seule caractéristique des observations de 2018, la durée de l'évènement en est également un caractère majeur, comme précisé plusieurs fois auparavant.

D'après l'article de P.S Lake, (2003) [7], il existe deux types de sécheresse sévère : l'évènement saisonnal et l'évènement supra-saisonnal. Dans le premier cas, l'assec est prédictible car il est régulier, ce qui permet notamment à la biologie de s'adapter à ces conditions difficiles. Dans le deuxième cas, l'assec dure dans le temps à cause d'un déficit de précipitations sur plusieurs saisons.

Dans le cas du Doubs amont, des étiages sévères ont déjà eu lieu et comme précisé auparavant, ce secteur est connu pour avoir subi des assecs notamment au XXème siècle. De plus, la sécheresse est un phénomène récurrent dans le département du Doubs, des plans de prévention et gestion de sécheresse sont mis en place chaque année. Cependant, comme vu dans la mise en contexte climatique, il y a eu un important déficit de pluie durant l'été et l'automne 2018, induisant un assec sur plusieurs saisons.

Ainsi l'évènement peut être caractérisé d'assec supra-saisonnal sur le Doubs amont, ce qui renforce son aspect exceptionnel.

Enfin, toujours d'après l'article de P.S Lake (2003) [7], le Doubs est caractérisable longitudinalement lors de cet période d'assecs. Il s'agit de la Mid-reach drying, c'est-à-dire de la sécheresse s'étendant principalement « au milieu » du cours d'eau, car les débits s'écoulaient en amont d'Arçon et en aval de Remonot.

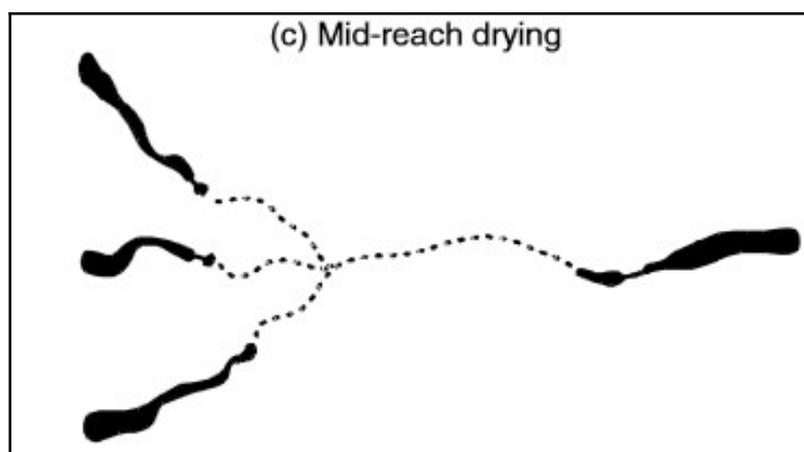


Figure 20: Caractérisation longitudinale du Doubs lors de la période d'assec de 2018 (extrait de figure issu de P.S Lake, 2017)

3.2) Description des réactions biologiques liés à l'apparition des assecs

La relation entre la dynamique hydrologique d'apparition des assecs a été très documentée dans la littérature scientifique, ce qui permet de décrire de façon plutôt précise la façon dont les poissons et les macro-invertébrés réagissent face à ses évènements.

3.2.1) Macro-invertébrés : pertes des habitats et de la richesse taxonomique

Les macro-invertébrés, à l'image de la faune piscicole subissent aussi l'assèchement d'une rivière. Bien que la mort des poissons est beaucoup plus marquante que celle des macro-invertébrés, certains taxons subissent la réduction de débits et ne peuvent pas survivre à un assec prolongé (Stubbington et al, 2009 [10]).

Tout comme les autres communautés écologiques, l'impact des assecs sur les macro-invertébrés dépend à la fois de sa durée, de son intensité, et des antécédents de la rivière (Lake, 2003 [7]).

Bien que les mécanismes de réaction des macro-invertébrés soient différents de ceux des poissons face à l'apparition des assecs, un point commun se retrouve dans les deux cas : la disparition des habitats durant la diminution des débits et donc des hauteurs d'eau. Cette perte de connectivité latérale et longitudinale est d'autant plus importante que les macro-invertébrés ont une capacité de déplacement très réduite.

Des articles (Chadd et al, 2017 [1] ; Stubbington et al, 2009 [10]) décrivent les différentes étapes de la diminution des débits jusqu'à l'assec et l'impact de ces évolutions hydrologiques sur les populations de macro-invertébrés. Ces étapes sont au nombre de cinq.

La **première étape** est celle du début de la diminution du débit, des turbulences, ce sont les prémices des assecs. Cette première étape se caractérise par la perte des taxons ayant besoin de courants rapides et d'un habitat bien oxygéné qui permettra à ces taxons de s'alimenter et de traiter les nutriments. Les taxons qui disparaissent généralement à ce stade, sont de façon générale, l'ensemble des familles des ordres les plus polluo-sensibles : Éphéméroptères, Trichoptères et Plécoptères.

La **seconde étape** est celle de la disparition des habitats marginaux qui contiennent la plupart des éléments nécessaires pour la survie des espèces. Cette disparition concerne les taxons qui utilisent la végétation de bord de rivière pour leur développement, leur source de nourriture et comme refuge mais qui peuvent également être très liés à la plaine inondable. Les taxons concernés par cette étape sont les Odonates et les Lépidoptères.

La **troisième étape** est celle du passage d'un système lotique à un système lentique ce qui pénalise les taxons nécessitant à la fois du courant pour pouvoir respirer de façon efficace mais également un apport de nourriture par le courant. Cette modification dans le fonctionnement de la rivière concerne les taxons suivants : les Hydropsychidés et les Simulies. Cette perte de richesse due à la disparition des taxons lotiques et « compensée » par l'apparition et le développement des taxons lentiques beaucoup plus adaptés à ces milieux. Cela concerne les taxons suivants : les Hémiptères, les Coléoptères et les Diptères.

La **quatrième étape** est celle de la dégradation de la qualité de l'eau sur les zones encore en eau, c'est-à-dire la réduction de la concentration en oxygène dissous, de la concentration des nutriments tels que le phosphate et une augmentation de la température de l'eau. Ces nouvelles conditions dans la rivière provoquent le déclin des taxons nécessitant des concentrations en oxygène importantes telles que certains Odonates ou Éphéméroptères. Cette désoxygénation peut être favorable à certains taxons résistants tels que certains Coléoptères.

Enfin au fur et à mesure que les habitats se réduisent et disparaissent, la compétition et la prédation s'intensifient et augmentent les pressions exercées sur les populations de macro-invertébrés.

La **cinquième étape** est celle de la disparition complète de la surface en eau, ce qui ne laisse que des sédiments humides et des taxons adaptés à ces conditions. Seuls quelques taxons sont capables de survivre dans ces conditions. Cela concerne : certains Gastropodes, Coléoptères et Diptères.

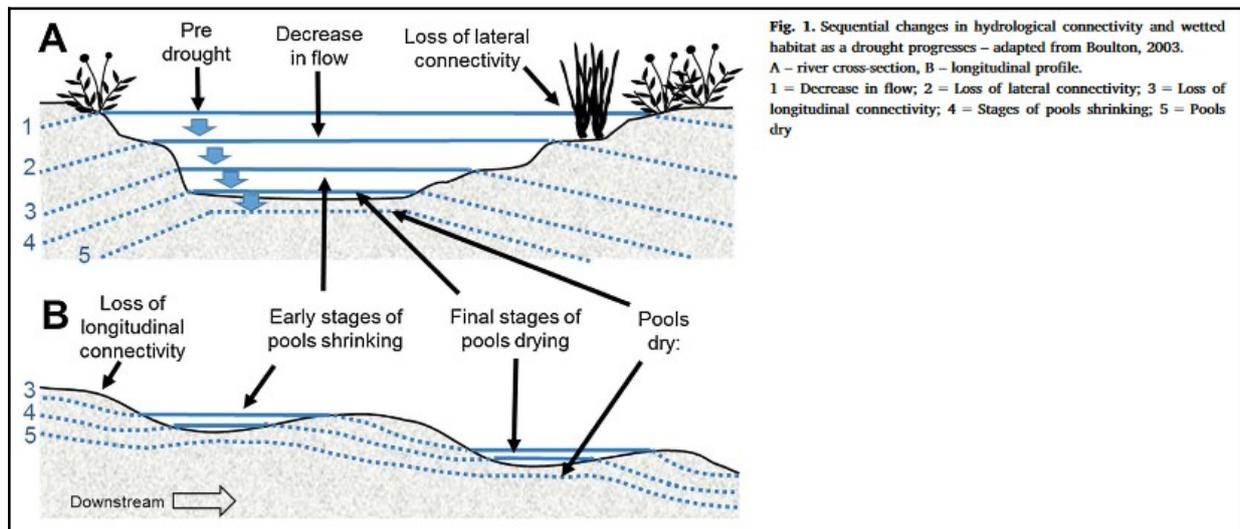


Figure 21: Schéma des différentes étapes d'apparition des assecs (Chadd et al, 2017)

Lorsque le niveau apparent de l'eau est au plus bas, il est toujours possible pour certains macro-invertébrés de trouver refuge dans la zone hyporhéique (zone de sédiments saturés en eau, située au-dessous et à côté d'un cours d'eau). Cette condition peut être rendue difficile sur certains tronçons du Doubs Amont où le calcaire peut être apparent et constituer un substratum imperméable.

3.2.2) Faune piscicole : recherche de refuges et stratégies de survie

La réponse de la faune piscicole à un assec et sa capacité à résister à celui-ci dépend tout d'abord des espèces présentes dans cette population. Bien que le Doubs ait connu dans son histoire des périodes d'étiage sévères ou d'assecs, il est à l'heure actuelle, difficile de considérer que c'est une rivière ayant un comportement naturellement intermittent ainsi le devenir des espèces présentes sur des cours d'eau pérennes comme le Doubs Amont est encore mal compris (Katz et Freeman, 2015 [6]). De plus, la faune piscicole se trouvant sur ce tronçon nécessite un habitat aux courants rapides comme pour la Truite fario, le Vairon, la Vandoise qui sont des espèces rhéophiles, ainsi les périodes d'étiage sévère ou d'assec constituent des pressions importantes pour ces populations.

Il existe deux points communs à toutes les périodes d'étiage sévère ou d'assec (Magoulick et Kobza, 2003 [8] ; Lake, 2003 [7]) :

- le premier est la diminution de la surface en eau et donc du volume d'eau disponible.
- le second est l'augmentation très importante de certaines valeurs concernant la qualité physique de la rivière (température et oxygène dissous).

Ces deux éléments ont des conséquences importantes concernant le comportement des poissons pendant l'apparition de l'assec et pendant son déroulement.

Lors de la diminution des débits et donc de la hauteur d'eau, une perte des habitats et des micro-habitats est observée par la perte de la connectivité longitudinale, augmentant ainsi la concentration des individus et augmentant les interactions biotiques⁹ telles que la prédation et la compétition (Magoulick et Kobza, 2003 [8], Davey et Kelly, 2006 [2]).

Le comportement naturel est alors de chercher des zones refuges (images en annexes 25 et 26), c'est-à-dire des zones encore eau, accessibles (absence d'obstacles infranchissables). Selon la position de ces refuges, à l'amont ou à l'aval, le comportement des espèces piscicoles pourrait être imaginé comme différent (Davey et Kelly, 2007 [3]).

En effet, il existe deux types de dynamique d'apparition d'assec différents.

- À l'amont, un assec se propage de l'aval vers l'amont rapidement, réponse directe à une insuffisance pluviométrique. Ce sont des événements réguliers et courts dans le temps.

- À l'aval, un assec se propage de l'amont vers l'aval lentement, réponse à un changement de niveau d'eau dans les nappes souterraines. Ce sont des événements peu fréquents et qui peuvent se prolonger dans le temps.

Dans le cas du Doubs, l'hydrologie et les observations ont montré que le cours d'eau s'est comporté comme le premier cas, bien que des caractéristiques du deuxième cas entrent également en jeu telles que le rôle de la nappe souterraine ou encore la durée de l'évènement. Ainsi l'assec est apparu au milieu du cours d'eau mais s'est propagé de l'aval vers l'amont.

Dans le processus de colonisation des zones refuges, certains mécanismes notamment concernant les relations proies/prédateurs voient le jour. Lors de la diminution des débits, les espèces les plus grandes seront parmi les premières à chercher des zones en eau profondes, plus adaptées à leur survie. Les poissons de plus petite taille, étant sujet à la prédation, vont alors retarder autant que possible la colonisation des refuges profonds et rester dans les zones ayant de faibles hauteurs d'eau, ce qui peut encourager la mortalité de ces espèces ou leur échouage sur les berges ou zones en assec (Davey et Kelly, 2007 [3]).

Cette relation entre proies et prédateurs n'est pas la seule à agir sur la colonisation des refuges, le comportement des espèces selon leur localisation joue également un rôle (Davey et Kelly, 2007 [3]). Les conditions de réduction de débits devraient encourager la recherche active d'un refuge, cependant, certains poissons ne détectent pas nécessairement la dégradation des conditions et ne quittent pas la zone perturbée. Enfin, il a également été montré que les populations situées en amont, étaient beaucoup enclines à chercher une zone encore eau ou un zone en eau pérenne (Devey et Kelly, 2007 [3]) que les populations en aval d'un cours d'eau.

Une fois les zones refuges colonisées, ce sont les caractéristiques physiques ainsi que le comportement des espèces piscicoles qui deviendront des éléments capitaux pour leur survie. C'est ainsi que des études (Emery, 1978 [4]) ont observé que certains poissons passent dans un état de torpeur métabolique leur permettant ainsi d'échapper à la prédation et à l'extinction dans le refuge. De plus, la diminution de la concentration d'oxygène dissous dans les refuges peut encourager la faune piscicole à respirer à la surface de l'eau pour échapper ou limiter l'hypoxie.

Enfin, la densité et la charge organique issue des déchets organiques, n'étant pas évacuées par le courant ou diluées (Lake, 2003 [7]), elles peuvent ajouter des contraintes pour les espèces les plus sensibles et favoriser les espèces tolérantes.

À l'ensemble des mécanismes décrits ci-dessus, il faut ajouter celui de la mobilité. Elle peut conditionner la survie de certaines espèces et dépend à la fois de la connectivité entre les différents refuges mais également de la vitesse de l'eau et très peu de la hauteur d'eau

⁹ Les facteurs biotiques rassemblent des facteurs écologiques et biologiques, climatiques, environnementaux, anthropiques dont dépendent les organismes vivants dans un milieu naturel.

notamment dans les « zones de connexion » entre les refuges. En assec, la vitesse de l'eau étant nulle, la capacité de survie des poissons dans les habitats « de courant » devient beaucoup plus faible que celle des poissons des zones refuges, c'est pourquoi ces habitats « de courants » annexes se vident (Hodges et Magoulick, 2011 [5]).

Le fait qu'une zone encore en eau joue le rôle de refuge pour un poisson dépend bien de sa taille : les petits poissons auront moins tendance à coloniser les refuges profonds pour éviter la compétition avec les plus grosses espèces et favoriseront des zones avec de faibles hauteurs d'eau.

C'est ainsi que les relations entre les différents habitats peuvent se schématiser de la manière suivante au cours du temps.

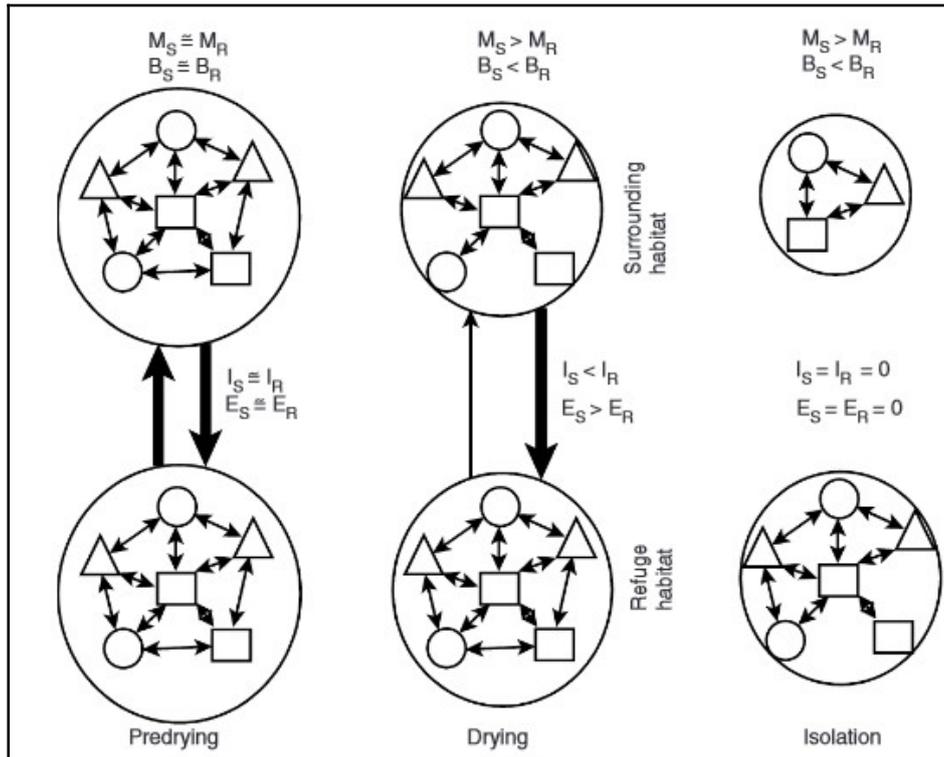


Figure 22: Schéma des relations entre les espèces de poissons et échanges entre les habitats avant et pendant un assec (source : extrait d'une figure de Magoulick et Kobza, 2003)

Dans la figure 22, les grands cercles représentent les habitats majeurs (les refuges et les environnants) et les petits cercles, les micro-habitats. Les paramètres liés à la population sont les suivants : I pour taux d'immigration, E pour taux d'émigration, M pour taux de mortalité et B pour taux de naissance.

Ce schéma illustre donc qu'au fur et à mesure que l'évènement se précise, les interactions diminuent entre habitats avec un mouvement théorique important vers les habitats refuges.

Au plus fort de l'assec, c'est-à-dire quand les refuges sont déconnectés des habitats environnants, le taux de mortalité dans ces derniers est plus élevé. Une disparition des micro-habitats est également observée, ce qui illustre par exemple la perte latérale de connectivité dans le cours d'eau.

Les problèmes des interactions biotiques ne trouvent pas seulement leurs origines dans la concentration des individus mais également dans les paramètres physico-chimiques suivants:

l'oxygène, la température, le ph et les nutriments, qui peuvent subir d'importantes variations pendant un assec.

Le problème de la concentration en oxygène dissous est aussi important que celui de la température de l'eau (Lake, 2003 [7]). En effet, la concentration en oxygène dissous peut influencer le métabolisme des poissons et la prédation. La plupart des espèces peuvent tolérer une courte exposition à l'hypoxie mais peuvent très souvent ne pas survivre à une exposition prolongée.

Concernant la température, celle-ci varie en fonction de la taille et de la profondeur des refuges. Pour les moins profonds, la température de l'eau avoisine la température de l'air tandis que pour les plus profondes, une stratification de la température peut apparaître de façon temporaire. Les poissons juvéniles peuvent tirer parti de ces températures pour grandir plus vite, avec une nourriture plus abondante et moins de prédation car les poissons plus gros n'arrivent pas à survivre dans ces conditions difficiles (Magoulick et Kobza, 2003 [8]).

3.3) L'évolution de la physico-chimie lors des assecs de 2018

Comme il a été vu dans les chapitres précédents, la physico-chimie évolue fortement lors de l'apparition des assecs et les études citées rapportent les modifications suivantes : une forte augmentation de la température et des déchets organiques puis une réduction notable de la concentration en oxygène dissous et de la quantité de nutriments.

Pour étudier l'évolution de la physico-chimie lors de l'assec, les mesures issues de la station située à Arçon, comme précisé dans la partie 2.2.

Ces mesures sont prises avec un pas de temps compris entre 15 minutes et 1h selon les paramètres. Pour les étudier, il est nécessaire de rapporter ces données à un pas de temps journalier, en prenant soin d'éliminer les données considérées comme incorrectes.

Le travail consiste donc à transformer les données brutes avec un pas de temps horaire en données moyennes journalières, puis de comparer avec les chroniques 2016 et 2017 disponibles pour éventuellement observer une évolution temporelle particulière due à l'assec. Bien que la bibliographie sur la faune piscicole et les macro-invertébrés a précisé quels paramètres changent significativement, il s'agit ici d'observer cette évolution grâce aux mesures de la station.

Étant donné qu'un certain temps est nécessaire pour obtenir des données vérifiées et validées, l'ensemble de la chronologie des mesures de 2018 n'est pas homogène. Ainsi jusque début Juillet 2018, les mesures sont issues d'un prélèvement automatique, quotidien et validé tandis que pour la seconde moitié de l'année, les mesures sont beaucoup ponctuelles, réalisées manuellement et pas encore validées au moment de la rédaction du rapport.

Le suivi de la physico-chimie peut également être effectué par les bilans de la station d'épuration de Pontarlier. En effet, chaque mois un bilan de physico-chimie du Doubs est réalisé en amont et en aval du rejet de la station afin de surveiller l'impact de la station sur le milieu. Ce suivi mensuel permet donc de suivre l'évolution de différents paramètres physico-chimiques tout au long de la période de l'assec. Les rapports de suivi sont disponibles pour l'ensemble de l'année 2018.

Les résultats et conclusions de ces analyses seront exposées dans la partie suivante.

4) Méthodes, résultats et analyses des conséquences des assecs sur le Doubs.

4.1) Description du travail de suivi de l'hydrologie de 2019, objectifs et conclusions.

Dans le cadre de l'étude de l'apparition de nouveaux assecs, un suivi hydrologique du Doubs amont a été mis en place. Le suivi de l'évolution des débits en temps réel (débits non corrigés) est réalisé grâce au site internet regroupant l'ensemble des stations hydrologiques sur le territoire de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse : Hydroréel.

Cependant, étant donné la présence de pertes dans le lit mineur due au karst, c'est un rapport de débits entre l'amont et l'aval des pertes qui est intéressant à étudier. En effet, étudier un rapport permet de prendre en compte directement l'effet des pertes sur les débits en particulier lors de la phase d'apparition des étiages ou des assecs et de pouvoir comparer directement la situation de l'amont et de l'aval.

Ainsi, différents rapports de débits moyens journaliers ont été mis en place afin de suivre l'évolution de l'hydrologie sur le Doubs amont en 2019.

Le premier rapport et le plus simple est celui entre le débit à Ville-du-Pont et le débit à Pontarlier, car il permet d'avoir une idée immédiate et simple de l'évolution du débit de l'amont vers l'aval.

Le second rapport est celui prenant en compte la confluence avec le Dugeon (à Vuillecin), il s'agit donc de suivre simplement le rapport suivant :

$$R = \frac{QJM(Ville - du - Pont)}{QJM(Pontarlier) + QJM(Vuillecin)}$$

Ce rapport permet ainsi d'avoir une représentation plus réaliste de l'hydrologie du Doubs amont. Enfin un troisième rapport est mis en place, remplaçant les débits mesurés à Pontarlier par les débits mesurés à Doubs (immédiatement en aval). Ce rapport est mis en place dans le cas où l'une des deux stations hydrologiques ne fournirait plus de données (ce peut arriver régulièrement).

Le même type de rapport a été appliqué sur les années qui présentent des phénomènes hydrologiques comparables à 2018. Cependant, en raison de l'installation récente de certaines stations (notamment Vuillecin ou Doubs), seul le rapport :

$$R = \frac{QJM(Ville - du - Pont)}{QJM(Pontarlier)}$$

est appliqué en raison de l'absence de données historiques sur certaines stations. Cela implique simplement une translation verticale sur un graphique mais ne change pas l'évolution de l'hydrologie, les mêmes phénomènes sont observés sur le Doubs (il ne sera pas possible d'observer cependant les évolutions du Dugeon).

Ce travail permet dans un premier temps de recenser les années ayant un profil hydrologique à 2018 en période d'étiage (chronique de débits disponible jusqu'en 1978). Il s'agit de recenser les années ayant un débit d'étiage assez faible voire nulle à Ville-du-Pont en étiage et ayant une transition entre la période de printemps et d'été similaire à 2018 c'est-à-dire de l'ordre de quelques jours.

Dans un second temps, lorsque les années semblables sont recensées, l'analyse a consisté à déterminer la pente de la période de transition de la période « de printemps » à la période d'étiage par régression linéaire. Le principe général est expliqué par les figures 23 et 24.

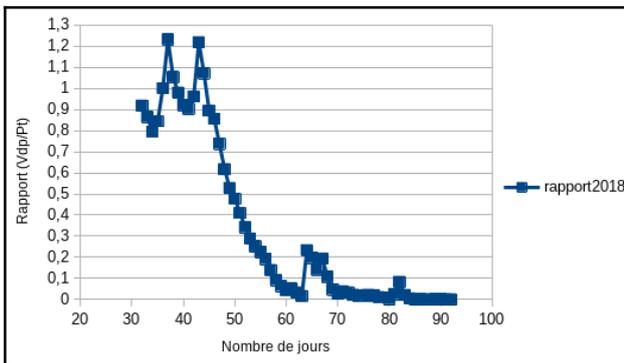


Figure 23: Transition des débits entre le printemps et l'été (Juin-Août 2018)

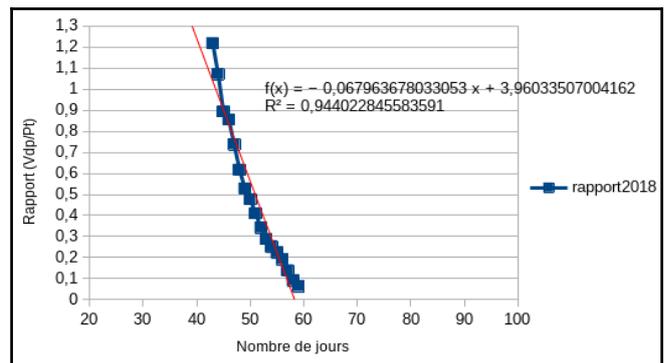


Figure 24: Interpolation linéaire et détermination de la pente de la transition

Cette méthodologie est a été appliquée pour toutes les années similaires à 2018 et les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 5.

Tableau 5: Résultats des régressions linéaires sur les années semblables à 2018

Année	Pente	Nombre de jours	Rmax	Rmin	R² de la régression
2019	- 0,052	22	1,49	0,3	0,9
2018	- 0,06	17	1,21	0,09	0,93
2017	- 0,057	17	1	0,11	0,98
2016	- 0,078	9	1,02	0,23	0,81
2015	- 0,078	14	1,12	0,08	0,93
2004	- 0,074	16	2,26	0,53	0,74
1998	- 0,04	17	1,28	0,5	0,93
1995	- 0,055	18	1,38	0,29	0,95
1994	- 0,04	22	1,11	0,26	0,98
1992	- 0,15	13	1,87	0,007	0,94
1991	- 0,15	10	2,05	0,13	0,8
1990	- 0,199	8	1,61	0,1	0,85
1989	- 0,0957	19	1,93	0,09	0,99
1990	- 0,089	12	1,03	0,07	0,93
1988	- 0,06	25	1,81	0,07	0,9
1986	- 0,05	21	1,49	0,13	0,86
1984	- 0,074	12	1,24	0,25	0,88
1983	- 0,062	15	1,75	0,08	0,89
1981	- 0,05	25	1,41	0,03	0,86

On suppose que R_{max} est le premier rapport et R_{min} le dernier rapport permettant d'effectuer la régression. Les résultats du tableau 5 permettent donc de donner une estimation de l'évolution de la dynamique d'apparition de la période d'étiage du Doubs amont sur plusieurs années. Des valeurs de pente peuvent se dégager 4 périodes où les pentes restent dans la même gamme de valeurs à savoir :

Tableau 6: Détail des différentes périodes avec des pentes similaires

Période	Années
1	1981 à 1988
2	1989 à 1992
3	1994 à 1998
4	2004 à 2019

Il serait également possible de définir une cinquième catégorie regroupant les années allant de 2017 à 2019 mais par soucis de simplification, cet exercice n'a pas été réalisé.

Les différents paramètres pouvant être estimés comme influençant ces valeurs sont le climat (précipitations voire température), de l'historique hydrologique du tronçon en hiver, du fonctionnement des pertes du lit mineur et de saturation du karst notamment. Cependant ces paramètres ne peuvent influencer tous avec la même intensité car les pentes auraient très variables d'une année à l'autre.

- Étant donné qu'il ne pleut pas pendant la période de transition vers l'étiage, les précipitations n'ont pas d'influence sur les pentes et les températures ne sont directement liées aux hauteurs d'eau.
- L'hydrologie d'hiver n'a pas de réelle influence sur la pente non plus car par exemple l'hiver 2016 fut beaucoup plus pluvieux que l'hiver 2004 pourtant les pentes de transitions sont pratiquement identiques. Ce même type d'exemple existe pour d'autres années comme 1990 et 1991.

Restent l'hypothèse de la saturation du karst et du fonctionnement des pertes. Il semblerait que la saturation du karst soit fortement liée l'historique hydrologique du Doubs amont en hiver rendant ainsi cette hypothèse incertaine. Ainsi reste la dernière possibilité, à savoir le fonctionnement des pertes du Doubs et donc de la possibilité d'un remaniement du substrat du lit mineur modifiant les conditions d'apparition des étiages et des assecs.

Les données banque hydro indiquent qu'en 1990 et en 1999 sont apparues respectivement une crue cinquantennale et une crue vicennale. Ces années correspondent aux changements de pente relevés dans le tableau 5. Ainsi, un remaniement du substrat pourrait avoir une influence sur la pente et donc sur la dynamique d'apparition des étiages et assecs. Avec ce point de vue, sans changement de pente entre l'année 2017 et 2018, l'hypothèse d'un remaniement du substrat ayant entraîné l'activation de nouvelles pertes semblerait plus incertaine.

Enfin, il est nécessaire de préciser que ce travail nécessite plus d'investigation notamment sur les différents paramètres d'influence des pentes, afin d'avoir une interprétation beaucoup plus fine de ces résultats.

4.2) Étude de l'impact des assecs sur la physico-chimie

Pour rappel, il y a deux types de données disponibles : des données en continu de la station à Arçon et des bilans mensuels provenant du suivi de la station d'épuration de Pontarlier.

4.2.1) Les données de la station d'Arçon

Les graphiques de l'évolution temporelle des différents paramètres (exemples en annexes 27, 28, 29, 30) montrent qu'il n'y a pas de différence notable entre 2018 et les années 2016 et 2017 jusqu'à la mi-juillet. Pour la seconde partie de l'année, l'évolution est beaucoup plus difficile à retranscrire notamment pour des paramètres tels que le phosphore total, l'ammonium ou le carbone organique total. En effet, d'un prélèvement à l'autre, les résultats sont très variables. De plus, d'après les comptes rendus de prélèvements, ils n'ont pas toujours pu être effectués dans des zones de courants, ce qui peut expliquer cette variabilité importante.

Ainsi en comparaison des éléments bibliographiques, il n'y a pas d'observation qui montrerait une réelle différence avec les précédentes années sans assec, que ce soit pour l'oxygène dissous, les nitrates ou encore la température. Les mesures de concentrations très élevées sont difficilement exploitables, certainement en raison des conditions de prélèvements particulières pour la seconde moitié de l'année 2018.

Les résultats de la station de mesure ne sont donc pas assez probant pour souligner une évolution différente des autres années et donc pouvoir montrer l'évolution des différents paramètres au cours de l'assec 2018 ou un évènement futur.

4.2.2) Les données des bilans de la station d'épuration de Pontarlier-Arçon

Le contexte hydrologique de cette zone est différent du tronçon entre Arçon et Ville-du-Pont. Ici, la notion d'assec intervient beaucoup plus tard dans l'année, jusqu'au 18 octobre 2018, date de la relève du barrage, la situation hydrologique correspond à celle d'un étiage sévère.

Les bilans étant prévus pour le suivi de l'impact de la STEP sur la rivière, certains paramètres ne sont pas intéressants pour le suivi, c'est pourquoi ne seront considérés que les paramètres suivants : Nitrates, Nitrites, Phosphore Total, Ammonium et DBO5. De plus ce sont, pour certains, les paramètres pouvant conditionner la survie des poissons en particulier dans un milieu en étiage sévère et pour d'autres, l'apparition du phénomène d'eutrophisation.

Le détail mois par mois des suivis physico-chimiques permet de retrouver l'évolution de l'hydrologie aux environs de la STEP de Pontarlier.

Jusqu'au bilan du 4 octobre 2018, malgré la diminution progressive des débits depuis le mois de juin 2018, les mesures montrent que le Doubs reste dans le Très bon état d'un cours d'eau donné par l'arrêté du 27 juillet 2018 [12].

Tableau 7: Bilan des prélèvements effectués en amont de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso)

Date du prélèvement	Mesures	Limites du très bon état fixées par l'arrêté
6 Juillet 2018 QJM = 2,4 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 1,7 mg/l NO ₃ - Nitrites : < 0,01 mg/l NO ₂ - Phosphore total : 0,01 mg/l P Ammonium : < 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 0,5 mg/l O ₂	Nitrates : < 10 mg/l NO ₃ - Nitrites : < 0,1 mg/l NO ₂ - Phosphore total : < 0,05 mg/l P Ammonium : < 0,1 mg/l NH ₄ + DBO5 : < 3 mg/l O ₂
30 Août 2018 QJM = 1,03 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 0,7 mg/l NO ₃ - Nitrites : < 0,01 mg/l NO ₂ - Phosphore total : < 0,01 mg/l P Ammonium : < 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 2,1 mg/l O	
4 Octobre 2018 QJM = 0,747 m ³ /s QJMA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 1,7 mg/l NO ₃ - Nitrites : < 0,01 mg/l NO ₂ - Phosphore total : 0,01 mg/l P Ammonium : < 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 0,5 mg/l O	

Tableau 8: Bilan des prélèvements effectués en aval de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso)

Date du prélèvement	Mesures	Limites du très bon état fixées par l'arrêté
6 Juillet 2018 QJM = 2,4 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 1,7 mg/l NO ₃ - Nitrites : 0,03 mg/l NO ₂ - Phosphore total : 0,027 mg/l P Ammonium : < 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 0,7 mg/l O ₂	Nitrates : < 10 mg/l NO ₃ - Nitrites : < 0,1 mg/l NO ₂ - Phosphore total : < 0,05 mg/l P Ammonium : < 0,1 mg/l NH ₄ + DBO5 : < 3 mg/l O ₂
30 Août 2018 QJM = 1,03 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 2,2 mg/l NO ₃ - Nitrites : 0,08 mg/l NO ₂ - Phosphore total : 0,028 mg/l P Ammonium : 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 1,2 mg/l O	
4 Octobre 2018 QJM = 0,747 m ³ /s QJMA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 1,6 mg/l NO ₃ - Nitrites : 0,1 mg/l NO ₂ - Phosphore total : 0,043 mg/l P Ammonium : 0,05 mg/l NH ₄ + DBO5 : 2,1 mg/l O	

Ces deux tableaux mettent en évidence que, jusqu'au mois d'octobre 2018, bien que les débits aient diminué de façon constante et qu'à la date du 4 octobre 2018, le débit moyen journalier est inférieur au QMNA5 (sachant que le débit moyen mensuel d'Octobre est de 0,435 m³/s), le Doubs est en très bon état en amont comme en aval de la station d'épuration. A noter que le dernier prélèvement s'approche des limites du très bon état notamment pour la DBO5 ou l'ammonium. Enfin, l'évolution des concentrations en phosphore total et la DBO5 sont liés à l'évolution du débit puisque ces valeurs augmentent au fur et à mesure que les débits baissent ; ce point est moins évident sur les autres paramètres.

Cependant après la fermeture du barrage du lac Saint-Point, la situation se modifie.

Tableau 9: Bilan des prélèvements effectués en amont de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso)

Date du prélèvement	Mesures	Limites du très bon état fixées par l'arrêté
24 Octobre 2018 QJM = 0,09 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : < 0,5 mg/l NO3- Nitrites : < 0,01 mg/l NO2- Phosphore total : 0,036 mg/l P Ammonium : < 0,05 mg/l NH4+ DBO5 : 1,9 mg/l O2	Nitrates : < 10 mg/l NO3- Nitrites : < 0,1 mg/l NO2- Phosphore total : < 0,05 mg/l P Ammonium : < 0,1 mg/l NH4+ DBO5 : < 3 mg/l O2

Tableau 10: Bilan des prélèvements effectués en aval de la STEP de Pontarlier en 2018 (issu des rapports du laboratoire Carso)

Date du prélèvement	Mesures	Limites du très bon état fixées par l'arrêté
24 Octobre 2018 QJM = 0,09 m ³ /s QMNA5 = 1 m ³ /s	Nitrates : 3 mg/l NO3- Nitrites : 0,54 mg/l NO2- Phosphore total : 0,303 mg/l P Ammonium : 0,47 mg/l NH4+ DBO5 : 4 mg/l O2	Nitrates : < 10 mg/l NO3- Nitrites : < 0,1 mg/l NO2- Phosphore total : < 0,05 mg/l Pps vita Ammonium : < 0,1 mg/l NH4+ DBO5 : < 3 mg/l O2

Les résultats des tableaux 9 et 10 montrent clairement l'impact de l'évolution de l'hydrologie sur la physico-chimie après la station d'épuration de Pontarlier.

En amont, malgré le très faible débit moyen journalier, les paramètres restent dans les limites du très bon état, ce qui n'est plus le cas en aval où le cours d'eau décline en qualité médiocre (à cause de la concentration en Nitrites). Il paraît clair que le débit de la rivière n'est plus suffisant pour diluer les concentrations de rejet de la station d'épuration.

En résumé, les bilans sur la physico-chimie en amont et en aval de la STEP de Pontarlier montrent qu'à partir d'un certain seuil, la qualité du Doubs en aval de la station ne peut plus être assurée au regard des objectifs fixés par la Directive Cadre Européenne, l'arrêté du 27 juillet 2018 [12] mais également des objectifs du Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) Haut-Doubs Haute-Loue (annexe 31). Il est évident que ce déclassement est ponctuel et qu'au retour des débits « normaux », ces paramètres retrouveront des valeurs « normales », sauf en cas de dysfonctionnement de la station d'épuration ou de pollution accidentelle.

Cependant, pendant la période de l'assec, ce type de déclassement pose la question des conséquences sur la faune piscicole et benthique dans cette zone. Cette interrogation est d'autant plus importante que l'aval de la STEP constitue le premier refuge de l'assec complet entre Arçon et Ville-du-Pont.

Ces observations questionnent également la capacité de traitement de la STEP de Pontarlier en période d'étiage sévère mais également de la gestion du barrage du lac Saint-Point, dans une perspective de gestion des assecs. Ces points seront détaillés dans la partie 5 de ce rapport.

4.3) Étude de l'impact des assecs sur la biologie du Doubs

4.3.1) La faune piscicole : état des lieux et recolonisation

Contexte de l'analyse

L'analyse sur les conséquences de l'assec survenu en 2018 sur la faune piscicole locale ne pourra pas être basée sur des données issues de pêches électriques. En effet, la Fédération de pêche du Doubs n'ayant prévu ces pêches qu'en Juillet 2019, il faudra se baser sur la littérature scientifique pour avoir une idée des mécanismes pouvant conditionner ces résultats.

Point sur la bibliographie

La capacité de colonisation après un cours d'eau après assec dépend de différents paramètres : l'historique du milieu en termes d'étiage et d'assec, la qualité du milieu (notamment la physico-chimie), l'état de la faune piscicole et sa composition, la durée de l'évènement ou encore les pressions exercées par les activités humaines sur le cours d'eau (Matthews et Marsh-Matthews, 2003 [9]). L'ensemble de ces points sont donc à mettre en perspective avec les mécanismes de recolonisation.

Comme il a été précisé auparavant, les poissons trouvent refuge dans des zones restées encore en eau pendant la période d'étiage ou d'assec, essentiellement des mouilles. Il a également été vu que les poissons situés à l'amont des cours d'eau étaient les plus disposés à chercher des refuges. C'est dans cette situation que se trouve le tronçon entre Arçon et Ville-du-Pont.

Comme vu dans l'état des lieux de la biologie, le Doubs amont est un cours d'eau de première catégorie et confirmé par les pêches électriques qui ont montré la présence des espèces caractéristiques. Or les salmonidés sont reconnus pour être des recolonisateurs lents et mettre du temps pour se remettre d'évènements extrêmes, sauf si la population est essentiellement composée de juvéniles (Davey et Kelly, 2007 [3]).

Cependant, la recolonisation de la faune piscicole ne dépend pas seulement de sa composition mais également de l'échelle spatiale et temporelle de l'assec (Magoulick et Kobza, 2003 [8]), des liaisons entre les zones non perturbées et perturbées mais surtout la distance qui les sépare.

En effet, la densité de poisson est fortement corrélée à la distance où le cours d'eau est permanent (Davey et Kelly, 2007 [3]). Cette même distance est reliée au taux de recolonisation après assec. Plus cette distance est grande, plus le taux de recolonisation est faible. Enfin, plus un site atteint par l'assec est isolé, plus il est difficile de retrouver une densité de poissons comparable au site constamment en eau. Ainsi la position spatiale des refuges pourrait jouer un rôle critique dans la réponse biologique aux évènements extrêmes car ils permettraient d'aider à la recolonisation des cours d'eau. Ceci signifie que l'importance de la capacité de résilience du Doubs est au moins aussi importante que la capacité des espèces locales à résister aux évènements sévères.

Cependant, dans un cadre théorique, après la remise en eau, les interactions des espèces les unes avec les autres ainsi que les échanges entre les habitats, peuvent reprendre un aspect similaire à celui avant assec :

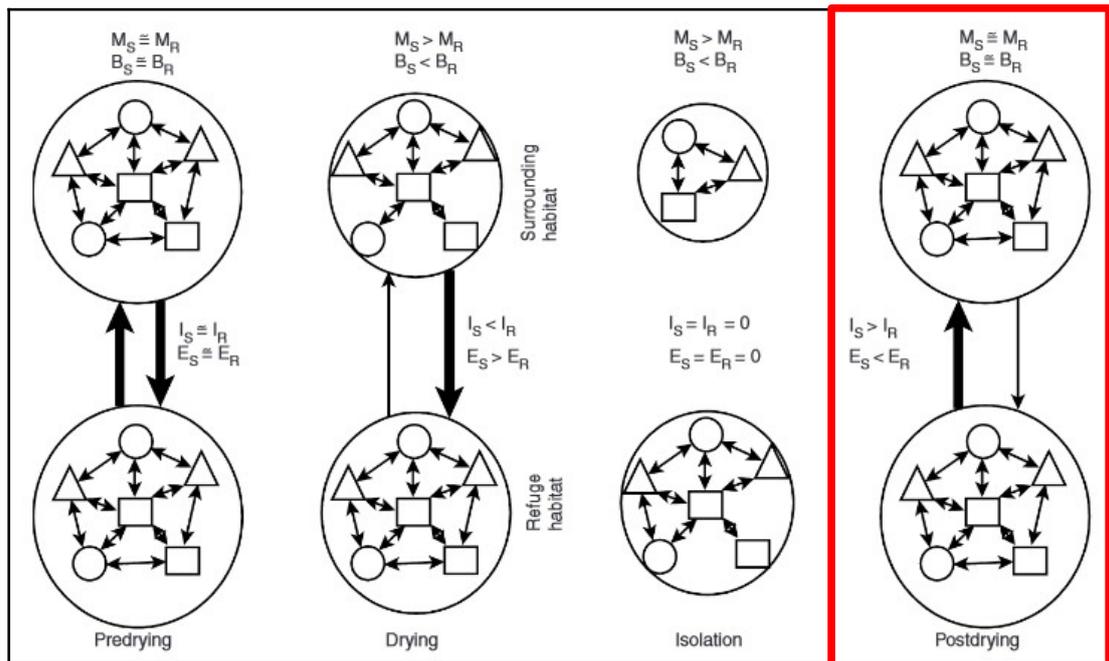


Figure 25: Schéma des relations entre les espèces de poissons et échanges entre les habitats après un assec (source : extrait d'une figure de Magoulick et Kobza, 2003)

Pour rappel, le schéma de la figure 25, se construit de la manière suivante : les grands cercles représentent les habitats majeurs (les refuges et les environnants) et les petits cercles, les micro-habitats. Les paramètres liés à la population sont les suivants : I pour taux d'immigration, E pour taux d'émigration, M pour taux de mortalité et B pour taux de naissance. Ce schéma reprend en partie les mécanismes liés à la recolonisation, à savoir un mouvement des poissons vers les habitats environnants, une connectivité entre les micro-habitats retrouvée ou encore des taux de mortalités ou de natalités similaires dans les différents habitats.

Enfin, dans le cadre d'une anticipation de l'apparition d'éventuels assecs sur ce même tronçon, il est nécessaire de souligner que la multiplicité de ces événements ajoutés à une capacité de recolonisation faible des espèces piscicoles ne permettra pas une récupération optimale au fur et à mesure des années. Cette observation pourrait également être renforcée par le fait que la population originelle avant les assecs 2018 n'était pas optimale en termes d'abondance comme vu dans l'état des lieux.

Conclusions par rapport à la situation du Doubs amont

L'état des lieux de la faune piscicole a montré que les poissons présents sont les truites (Salmonidé) et de nombreux Cyprinidés mais que la population est majoritairement déficitaire en termes d'abondance. Les salmonidés étant la famille avec la capacité de recolonisation et de récupération après des événements sévères, la plus lente, il est très envisageable de retrouver une population de truites au moins aussi dégradée qu'avant les assecs. Cependant, pour des espèces comme la Loche Franche ou le Goujon, le peuplement pourra être également aussi dégradé qu'avant les assecs en raison de leur déficit originel. Enfin, les effets de l'assec pourraient être relativement limités pour les Chevaines et les Tanches, présents en surabondance sur toutes les stations de pêche avant l'été 2018.

4.3.2) Macro-invertébrés : état des lieux et recolonisation

Pour étudier la population de macro-invertébrés, une campagne de prélèvements a été mise en place afin d'établir un diagnostic post-asec et comparer dans la mesure du possible, ces résultats avec les notes précédant 2018, issues de la station de l'Agence de l'eau à Arçon.

Étant donné que les notes disponibles sont l'IBG-DCE et l'I2M2, ce sont ces indices qui seront calculés et le protocole de prélèvement se fait en conséquence. L'échantillonnage nécessite des conditions hydrologiques stables depuis 10 jours. Douze prélèvements doivent être réalisés avec un filet surber de 0,5 millimètre de maille sur 1/20 m² de substrat. Chaque prélèvement doit être représentatif d'un couple vitesse et type de substrat présent sur la station. L'ensemble des prélèvements sont répartis en trois catégories : substrats marginaux, dominants et dominants complémentaires. Le nombre de prélèvements réalisés sur un substrat dépend de la représentativité de celui-ci par rapport à la surface de la station, de son aspect biogène et de la classe de vitesse la plus représentée sur ce substrat. Enfin, les prélèvements doivent être réalisés en période d'étiage, c'est-à-dire en été ou automne, car c'est la période la plus contraignante en termes d'hydrologie, de physico-chimie et donc de pressions exercées sur les macro-invertébrés.

La campagne menée dans le cadre de cette étude se situe toutefois dans un contexte particulier par rapport à une campagne « classique ».

En effet, pour des questions de calendrier liées au stage, il a été décidé en accord avec le service hydrobiologie de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Franche-Comté de réaliser des prélèvements en avril 2019. Ainsi, ces prélèvements précoces peuvent entraîner des difficultés d'interprétation des résultats car les taxons présents ne sont pas les mêmes que ceux retrouvés en période d'étiage tandis que d'autres peuvent être à l'état larvaire, rendant difficile leur authentification.

À la difficulté d'interprétation, s'ajoute la difficulté de comparaison. Étant donné que la période de prélèvement est assez différente de celle de la station Agence de l'eau d'Arçon (comprise entre juillet et début septembre), la comparaison entre les différents résultats devra être nécessairement prudente.

Cette campagne de prélèvement consiste à s'intéresser à deux zones : une située en amont et une située en aval sur le tronçon étudié. Les raisons de s'intéresser à deux stations différentes sont les suivantes :

- dans un premier temps, avoir plusieurs stations de prélèvements réparties sur le tronçon d'étude permet d'avoir une vision spatiale des effets de l'étiage.
- dans un second temps, le contexte hydrologique particulier nécessite de s'intéresser à la question de la différence entre les zones encore en eau et les zones totalement sèches. C'est ainsi que la station en amont a été choisie car elle fut complètement hors d'eau tandis que la station aval fut encore partiellement immergée. Cette détermination a pu être effectuée grâce au MNT du Doubs Amont qui a été évoqué précédemment.
- dans un dernier temps, les prélèvements réalisés dans ces différentes zones permettront également de s'intéresser à la question de la recolonisation des macro-invertébrés selon la situation de ladite zone (en eau ou sèche et distance par rapport à l'amont).

Les stations de prélèvements sont positionnées à Arçon et à Ville-du-Pont, comme précisé sur la figure 26. La station proche de la commune d'Arçon, est plus en aval que la station qualité de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.

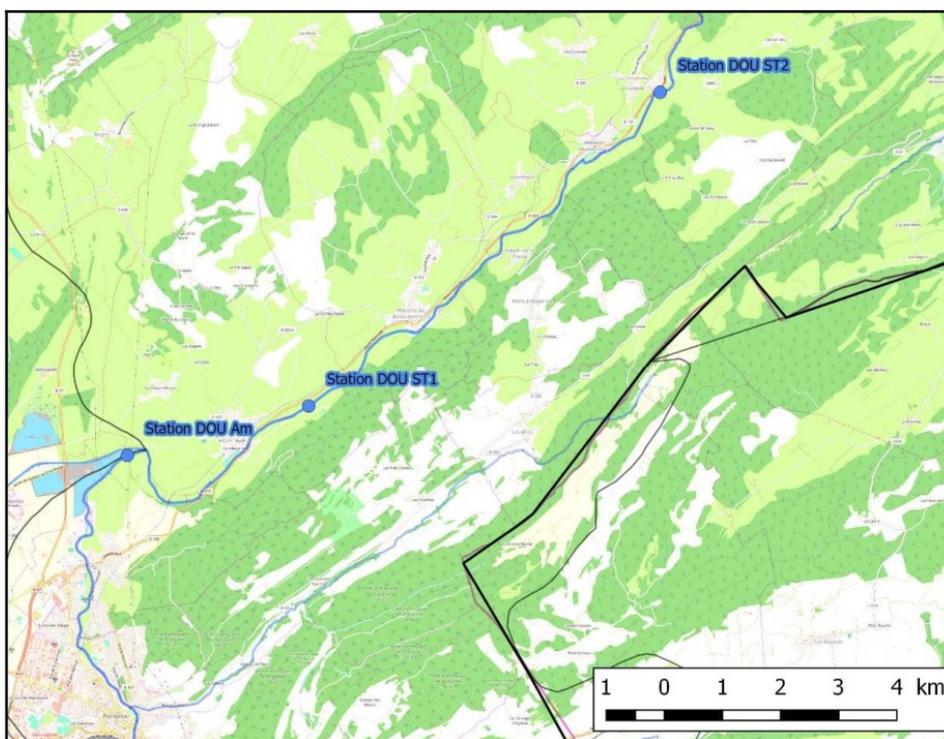


Figure 26: Stations de prélèvement sur le secteur d'étude (Source : **HyD&eaux**, Étude sur les impacts des assecs du Doubs. rapport des prélèvements pour le stage, Juin 2019)

Sur la figure 26, DOU ST1 correspond à la station amont à Arçon et la station DOU ST2 à la station aval à Ville-du-Pont tandis que la station DOU Am sera développée dans la suite.

L'emplacement des points de prélèvement constitue donc la deuxième particularité dont il faut tenir compte. Les stations n'étant pas les mêmes que celle du suivi Agence de l'eau, il est nécessaire de rester prudent sur les comparaisons qui seront effectuées. Il faut donc tenir compte notamment des différents substrats, de leur représentativité à la fois pour interpréter les notes obtenues mais également pour éventuellement nuancer les résultats obtenus vis-à-vis des résultats des années antérieures.

Les prélèvements ont été effectués au 1^{er} Avril 2019 (conditions et image en annexe 32 et 33). Le tableau 11 présente les notes calculées sur les deux stations.

Tableau 11: Résultats des prélèvements du 1er Avril 2019

Indices	Station amont	Station aval
IBG-DCE	13	12
EQR	0,86	0,78
I2M2	0,68	0,68

Le détail des résultats permet d'expliquer les différents scores obtenus. Concernant l'IBG-DCE, le comparatif avec les années précédentes permet d'avoir une idée de l'évolution.

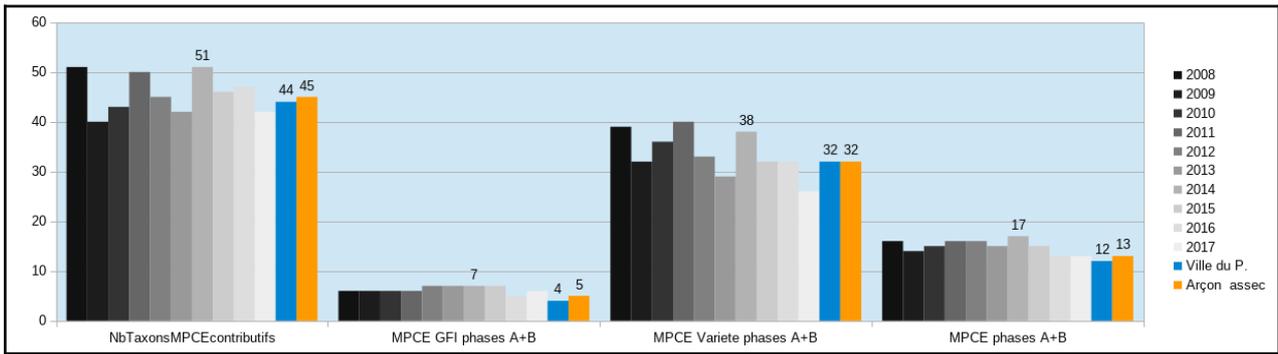


Figure 27: Détail des différentes notes aboutissant à la note d'IBG-DCE selon les années

Ce qui diffère notamment avec les années précédentes est le Groupe Indicateur (GI) qui semble pénaliser le résultat final. En effet, les taxons des GI 6 et 7 notamment n'ont pas été retrouvés contrairement aux années précédentes. Ceci signifie que les taxons les plus pollu-sensibles n'ont pas été identifiés, ce qui est une cause de la baisse de qualité du cours d'eau notamment en assec (physico-chimie, hauteur d'eau, oxygène...). Concernant l'I2M2, les notes semblent plutôt stables par rapport aux années précédentes comme le montre la figure 26.

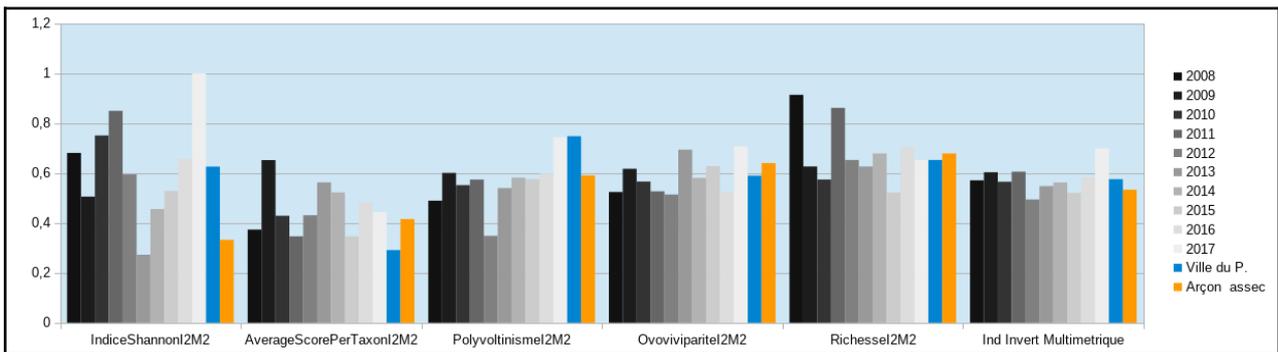


Figure 28: Détail des différentes notes aboutissant à la note d'I2M2 selon les années

La figure 27 montre tout de même une particularité concernant l'indice de Shanon. Il est beaucoup plus faible sur la station de d'Arçon (en amont) que sur la station de Ville-du-Pont (en aval) malgré que les variétés de macro-invertébrés soient identiques. Il y a donc un déséquilibre des populations à Arçon, ce qui signifie que l'hétérogénéité de l'habitat ainsi que sa stabilité sont plus faibles. Or durant l'assec, les substrats, en particulier les végétaux, ont subi un remaniement important (forte mortalité et absence de colmatage algal sur les zones hors d'eau notamment en amont) dû aux conditions météorologiques et hydrologiques particulières, ce qui peut expliquer ce résultat.

Cette particularité se retrouve également dans le polyvoltinisme¹⁰. En effet, la différence entre les notes d'Arçon et de Ville-du-Pont pourrait indiquer qu'une partie notable des populations de locale a disparu. De plus, les listes faunistiques indiquent que les taxons polyvoltins correspondant aux milieux instables sont sur-représentés (ceux qui donnent de notes basses). Cet effet a deux causes : la première est une diminution notable dans la population des taxons à cycle long tandis que ceux à cycle court ont recolonisé les milieux rapidement notamment par des phases de diffusions aériennes.

10 Particularité d'un taxon lui permettant d'avoir plusieurs générations annuelles.

Enfin, l'I2M2 permet de déterminer les possibles pressions exercées sur les populations de macro-invertébrés.

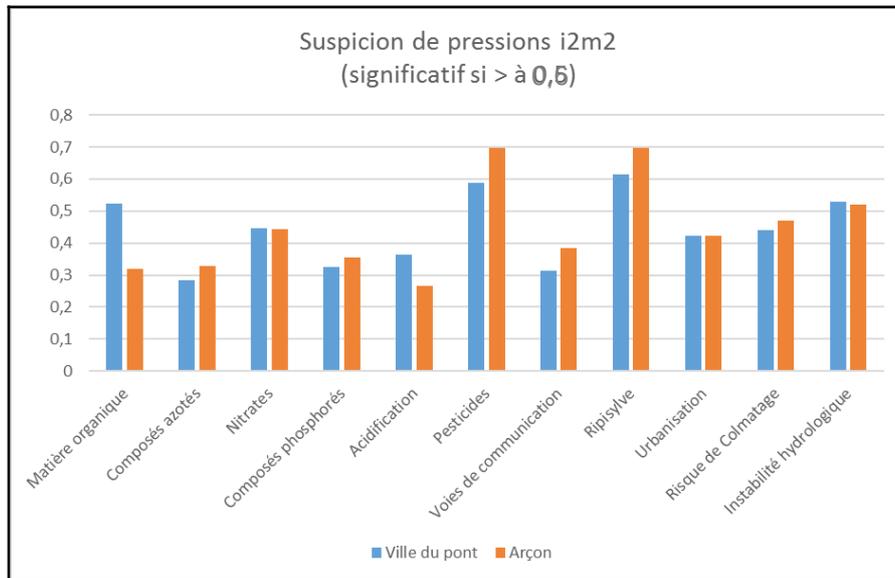


Figure 29: Graphique des pressions possibles sur les populations de macro-invertébrés

Seules les pressions ayant un indice supérieur à 0,6 sont significatives. La figure 29 indique donc que les pesticides, la ripisylve et l'instabilité hydrologique sont d'éventuelles pressions pour les deux stations.

Enfin, à noter, contrairement aux années précédentes, le substrat « algues » est beaucoup moins présent, ce qui signifie que les substrats majoritairement présent sont les « pierres, galets », beaucoup plus biogènes.

En résumé, les résultats n'indiquent pas d'impact majeur sur les populations de macro-invertébrés. Seuls quelques détails montrent qu'il y a eu un assec en 2018. Bien que les différences entre amont et aval soient peu marquantes, elles permettent toutefois de montrer que le type de taxons présents après assec, leur abondance et la recolonisation peuvent être affectés par l'assec et le remaniement des substrats (donc par l'absence d'eau). Seul un suivi permet de savoir si les observations réalisées sont un effet transitoire ou une situation stable dans le temps ou encore si elles sont dues aux caractéristiques des stations.

C'est dans cette optique, qu'une deuxième campagne de prélèvements a été prévue avec le bureau d'études Hyd&eaux le 24 Mai 2019 [13]. Cette nouvelle campagne se déroule sur les deux mêmes stations, à Arçon et à Ville-du-Pont mais également sur une troisième station qui se situe entre le rejet de la station d'épuration de Pontarlier et la confluence du Doubs avec le Drugeon (correspondant à la station Dou Am sur la figure 26).

Cette troisième station a été choisie pour deux raisons :

- Le suivi physico-chimique du Doubs en amont et en aval de la station de Pontarlier a mis en évidence une dégradation de la qualité du milieu après la relève du barrage du lac Saint-Point fin Octobre 2018. Il s'agit donc d'évaluer si une dégradation de la qualité des eaux du Doubs a une influence sur les populations des macro-invertébrés.

- Un suivi biologique a été déjà effectué sur cette station par le bureau d'études Sciences Environnement en 2018. Ce suivi est normalement effectué pour contrôler l'impact du rejet de la station sur la biologie. Le tronçon intéressant pour le prélèvement relatif à l'étude des assecs correspond l'« Aval lointain » pour le suivi de la STEP, ce qui signifie que c'est la station subissant le moins d'influence du rejet. C'est un Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) qui a été réalisé ainsi dans le cadre de l'étude des assecs, c'est un IBG-DCE convertit en IBGN qui sera réalisé. comparaison.

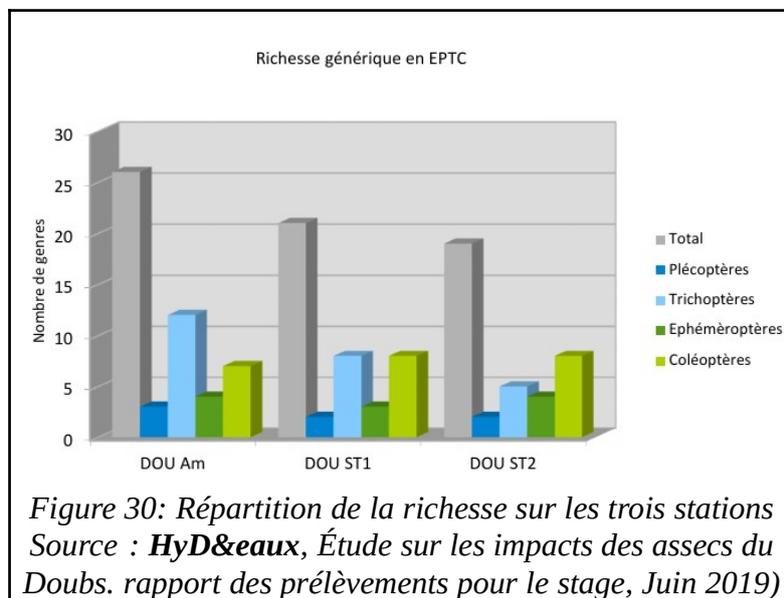
Enfin, concernant le prélèvement des stations d'Arçon et de Ville-du-Pont, il s'agit d'observer si la situation du mois d'avril a évolué et si les détails qui pourraient indiquer un effet de l'assec sur les macro-invertébrés se confirment ou non.

A noter que les conditions hydrologiques furent similaires en avril et en mai. (image annexe 34)

Tableau 12: Résultats des indices des prélèvements du 24/05/2019

Indices	Station STEP	Station amont	Station aval
IBGN	15	15	14
EQR	1,07	1,07	1
I2M2	0,64	0,59	0,6

Les notes d'IBGN indiquent le Doubs amont a retrouvé un très bon état concernant les macro-invertébrés. Le résultat de la station aval à Ville-du-Pont reste plus faible, ce qui pourrait s'expliquer par l'assec subit par le cours d'eau mais également par l'éloignement de cette station par rapport au secteur non touché par le phénomène, qui représente une des principales sources de recolonisation potentielle. A noter que la station STEP est passée d'une note 18 (en 2018) à 15, notamment par une perte de la richesse taxonomique. Il est possible qu'une partie des taxons a subi la diminution et le déclassement de la qualité du Doubs amont lors de la relève du lac Saint-Point au 18 Octobre 2018.



Cette difficulté de recolonisation de la station aval à cause de sa distance avec l'amont se retrouve dans la figure 30 qui montre que Ville-du-Pont (DOU ST2) présente le plus faible nombre de genre. Enfin, les deux genres les plus polluosensibles (trichoptères et plécoptères) ont une richesse légèrement inférieure à Arçon (DOU ST1) et Ville-du-Pont que la station proche de la STEP (DOU Am).

	I2M2	Shannon	ASPT	Polyvoltinisme	Ovoviviparité	Richesse
DOU Am	0.64	0.69	0.70	0.52	0.68	0.63
DOU ST1	0.59	0.53	0.62	0.55	0.75	0.44
DOU ST2	0.60	0.59	0.60	0.68	0.64	0.42

Figure 31: Détails des métriques associés au calcul de l'indice I2M2 (Hyd&eaux)

Les notes I2M2 pour les stations d'Arçon et Ville-du-Pont sont un peu moins bonnes qu'au mois d'Avril. Cependant les métriques montrent plusieurs points [13] :

- La station de la STEP a une meilleure répartition des taxons que les autres, d'après l'indice Shannon (même conclusion que les prélèvements du 1^{er} Avril).
- La richesse taxonomique est plus faible à l'aval qu'à l'amont, signe d'un effet de l'assec.
- Concernant le polyvoltinisme, la station la plus à l'aval est celle qui a le meilleur score alors qu'elle devrait avoir le plus faible. Cette métrique pourrait être influencée par le fait que l'abondance est utilisée dans le calcul des métriques, ce qui favorise les stations ayant une abondance importante de taxons monovoltins après un assec.

	Pressions physico-chimiques						Pressions morphologiques					
	MATIERES_ORGANIQUES	MATIERES_PHOSPHOREES	MATIERES_AZOTEES	NITRATES	HAP	PESTICIDES	RIPISYLVE	VOIES_COMMUNICATION	URBANISATION_100M	RISQUE_COUMATAGE	INSTABILITE_HYDROLOGIQUE	ANTHROPISATION_BV
DOU Am	0.054	0.032	0.008	0.404	0.645	0.888	0.618	0.248	0.496	0.396	0.144	0.949
DOU ST1	0.071	0.053	0.034	0.383	0.479	0.737	0.543	0.273	0.433	0.448	0.410	0.824
DOU ST2	0.118	0.077	0.034	0.469	0.643	0.749	0.676	0.232	0.501	0.459	0.409	0.902

Figure 32: Pressions pouvant être exercées sur les stations (Hyd&eaux)

Les pressions avec un score supérieur à 0,6 sont éventuellement significatives. La pression anthropique est difficilement compréhensible pour les stations d'Arçon et Ville-du-Pont se situant dans des secteurs très peu anthropisés. La pression liée à la ripisylve semble cohérente en raison de sa rareté sur les trois stations. Enfin, la station d'épuration de Pontarlier à peu d'influence en particulier concernant les matières azotées et organiques, nitrates.

Comparaison avec les prélèvements du 1^{er} avril 2019

Les GI sont plus élevés qu'en avril et recourent ceux des années précédentes, ce qui signifie que le processus de recolonisation est en cours avec probablement un processus de dérive de l'amont vers l'aval. Les I2M2 et pressions suspectées sont pratiquement identiques, il n'y a donc pas de modification sur ce point précis.

Ainsi **la différence entre les stations d'Arçon et Ville-du-Pont ne viennent pas du fait qu'elles furent encore en eau ou non mais de leur distance par rapport à l'amont non concerné par l'assec**. Cependant, le rôle des zones refuges à une importance pour les bryophytes qui ont été plus nombreux à Ville-du-Pont (zone partiellement immergée) et ont constitué près de 30 % de la surface de la station. Leur importance est particulièrement intéressante en raison de leur forte attractivité pour les macro-invertébrés.

4.3.3) Diatomées : état des lieux et recolonisation

Des prélèvements sur les diatomées ont été réalisées par la DREAL et le bureau Hyd&eaux [13] sur les mêmes stations et aux mêmes dates que les prélèvements sur les macro-invertébrés.

Les résultats sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 13: Résultats des IBD calculés par station de prélèvement

Date	IBD STEP	IBD Arçon	IBD Ville-du-Pont
01/04/2019	-	20	16,1
24/05/2019	20	20	19,6

Les résultats sont à comparer avec les valeurs de référence fournies par l'arrêté du 27 juillet 2018 [12] (modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010). Les valeurs doivent être comprises entre 5 (valeur minimale) et 20 (valeur de référence) pour l'hydroécocorégion Jura/Pré-Alpes du Nord, ce qui signifie que les résultats sont d'excellente qualité pour les trois stations.

L'écart de note constaté entre Ville-du-Pont et Arçon en avril s'est considérablement réduit, cependant les listes floristiques entre les deux dates prélèvements sont assez différentes.

- En avril, une espèce particulièrement dépendante de la matière organique est présente significativement à Ville-du-Pont et non à Arçon.
- En mai, cette espèce n'est pratiquement plus présente à Ville-du-Pont mais d'autres taxons particulièrement polluo-sensibles sont retrouvés sur les deux stations expliquant ainsi les notes obtenues.

Cette différence trouve son explication dans les dates. Au 1^{er} avril, les prélèvements ont été effectués en période d'épandage agricole, ce qui peut influencer sur la qualité de la population diatomique (en particulier en cas de non-respect de la largeur de la bande enherbée tampon).

Au mois de mai, les conditions hydrologiques ont été favorables au cours d'eau (fortes précipitations et hauteurs d'eau importante), permettant un nettoyage éventuel du fond de la rivière et encourageant donc le développement d'une flore diatomique pionnière et de bonne qualité au fond du cours d'eau.

Il est tout de même nécessaire de préciser que les diatomées ont un temps d'intégration d'environ trois mois ainsi une perturbation sera difficilement détectable *via* cet indicateur biologique. C'est pourquoi, **les résultats en avril et en mai montrent que la population de diatomées a retrouvé sa constitution avant assec.**

5) Propositions de gestion des assecs

Les propositions de gestion d'éventuels assecs pouvant intervenir sur le secteur dépendent des analyses réalisées précédemment. Il s'agit à la fois de tenir compte des différentes conclusions mais également des enjeux locaux.

5.1) La gestion des zones encore en eau

Comme précisé plusieurs fois dans ce rapport, la cartographie totale du tronçon (20 cartes¹¹) réalisée grâce au protocole décrit en annexe 10, permet de constater qu'en divers endroits, des zones encore en eau se retrouvent tout le long du tronçon d'étude. Ces zones constituent des refuges pour les espèces piscicoles qui n'ont pas pu remonter le fil de l'eau (difficulté à trouver une cache ou encore impossibilité de remontée à cause des ouvrages hydrauliques) ou descendre le Doubs vers l'aval.

C'est ainsi qu'il est nécessaire de s'intéresser à ces zones refuges pour deux raisons.

- La première est que l'étude de ces « piscines », leur disposition, leurs caractéristiques morphologiques, les différentes profondeurs d'eau associées, leur environnement, peut permettre de les classer afin de déterminer celles qui doivent être visitées en priorité afin de réaliser des pêches de sauvegarde. Ces pêches auraient pour vocation de sauver dans un premier temps les différentes espèces mais également de permettre une recolonisation plus rapide et donc de limiter les effets des assecs.
- La seconde est que l'étude évoquée ci-dessus permettra également de mettre en lumière des zones particulièrement favorables à la survie des poissons en assec et qui devront être sauvegardées (c'est-à-dire éviter les aménagements sur ces zones en particulier). Cette proposition de sauvegarde pourra notamment être utilisée dans le cadre de l'étude menée par Artelia pour le compte du SMMAHD et qui a pour objectif de réaliser des aménagements visant à retravailler la continuité écologique et l'hydromorphologie du Doubs amont.

Afin de répondre aux deux objectifs fixés au dessus, un tableau en annexe 37 permettant de décrire les tronçons a été réalisé afin de faciliter l'analyse.

Le tableau présenté est un résumé du détail des notes sur chaque tronçon mais permet de comprendre le principe de détermination des priorités de pêche et des zones à sauvegarder.

En considérant les différents paramètres à savoir : la longueur, la largeur, la profondeur moyenne de la zone refuge, la présence d'une connectivité à l'amont ou l'aval, la présence de ripisylve, la présence d'un obstacle à l'écoulement, la possibilité d'observer une érosion (donc un agrandissement très local possible), le mode de propagation de l'assec mais également son intensité, un classement des différentes zones refuges peut être établi. De plus, il faut prendre en compte l'effet du barrage du lac Saint-Point qui a contribué à faire circuler un débit dans le Doubs sur une grande période des assecs.

La première observation pouvant être faite est que les refuges se trouvent principalement en aval du tronçon, c'est-à-dire après les pertes.

Il a été précédemment vu que dans la configuration du Doubs amont, les assecs de l'aval vers l'amont. Ainsi, les zones vers Arçon sont celles étant le plus susceptibles d'être asséchées affectant directement la faune locale qui doit donc se réfugier dans les habitats restants. De

11 Étant donné que le tronçon d'étude a été découpé en 20 et que le travail cartographique a nécessité la création de plusieurs cartes par tronçon, seules deux cartes représentatives du travail réalisé seront disponibles en annexe 35 et 36 et un atlas comprenant l'intégralité de la cartographie sera distribué à la soutenance.

plus, le tableau en annexe 37 montre clairement que de l'amont vers l'aval, les refuges deviennent beaucoup plus étendus, plus connectés entre eux mais moins profonds ainsi que moins protégés du soleil par la ripisylve. Il faut de plus noter la présence d'un rejet de STEP à Ville-du-Pont, station d'épuration présentant à ce jour des défauts de traitement à cause d'un sous-dimensionnement, ce qui entraîne des conditions physico-chimiques peu adaptées à la survie de la faune en étiage sévère.

Ainsi, les « piscines » situées très en aval seraient prioritaires pour des pêches électriques ou manuelles afin de sauver la faune piscicole restante. Pour les zones refuges plus à l'amont, bien qu'elles ne soient pas connectées entre elles et un peu moins étendues, elles sont plus profondes, mieux protégées et moins susceptibles d'être asséchées, donc leur classe de priorité de pêche est moins élevée qu'à l'aval, elles seraient les dernières zones à être visitées.

En suivant cette logique, il est possible de définir quelles sont les zones à préserver en priorité pour garantir un refuge en cas d'assec.

En première approche, il est possible de considérer que plus une zone est soumise à des assecs ou à des étiages sévères, plus elle doit être protégée. Dans cette optique, les refuges situés à l'aval du tronçon d'étude seraient privilégiés. Cependant, en considérant l'ensemble des critères, ces refuges sont les moins accueillants et sont ceux ayant la vocation à être pêchés le plus régulièrement contrairement aux refuges situés en amont, plus profonds, mieux protégés et qui seront moins exploités par les poissons car ils seraient moins soumis aux assecs. De plus, la cartographie indique clairement que les refuges amont sont isolés notamment par la présence de deux seuils et qui constitue la seule issue pour les poissons, ce sont donc ces zones qui doivent être protégées en priorité.

Ainsi de l'aval vers l'amont, les zones sont de plus en plus à sauvegarder d'éventuels travaux ou de remaniement du lit de la rivière.

Un extrait des deux cartographies générales du tronçon d'étude comprenant les différentes classes de priorité de pêche et de sauvegarde illustre les propos évoqués ci-dessus en annexe 38 et 39.

Pistes d'actions à mener lors de l'apparition des assecs

Lors de l'apparition des assecs, il serait pertinent de se rendre rapidement sur les premiers lieux d'assèchements afin de réaliser des pêches de sauvegarde afin de relâcher les poissons ailleurs (en amont de Pontarlier ou en aval du défilé d'Entre-roches). Au fur et à mesure que l'assec remonte, les pêches de sauvegarde pourraient suivre selon le modèle fourni par la cartographie.

Enfin, dans le cas d'une intervention tardive après l'apparition d'un assec, il serait pertinent de privilégier un autre mode de pêche n'utilisant pas l'électricité, car les poissons étant déjà affaiblis par les conditions particulièrement difficiles de leur environnement, peuvent ne pas survivre à un choc électrique (situation déjà observée en 2018).

5.2) La gestion du barrage du lac Saint-Point

La question du barrage du lac Saint-Point est centrale dans la problématique des assecs, car la gestion de l'ouvrage entraîne des conséquences en amont sur le lac et en aval dans le Doubs. En amont, c'est surtout la gestion de l'eau potable qui prime tandis qu'en aval c'est un objectif de quantité et de qualité du Doubs qui est recherché.

Pour répondre à l'objectif de proposer un mode de gestion du barrage permettant de maintenir un niveau de quantité et de qualité acceptable en aval du Doubs, il faut revenir à l'étude de la physico-chimie de la STEP de Pontarlier.

Pour rappel, après la fermeture du barrage, les débits ont baissé au niveau de la station d'épuration de Pontarlier provoquant un déclassement important de la rivière en terme de qualité physico-chimique.

Dans un contexte similaire, avec l'objectif que le Doubs décline le moins possible, deux possibilités existent :

- Agir sur la station de Pontarlier afin d'obtenir un abattement de la pollution plus efficace en période d'assec ou un lissage du débit de rejet afin de limiter l'impact sur le Doubs.
- Agir sur le barrage en conservant le fonctionnement actuel de la station d'épuration afin de conserver une dilution assez importante pour limiter la dégradation du cours d'eau.

5.2.1) Agir sur la station d'épuration de Pontarlier

Il s'agit de vérifier ici que les niveaux de rejets sont suffisamment faibles pour ne pas entraîner de dégradation majeur du milieu en période d'étiage sévère.

Des références locales sont fixées par la DDT que ce soit en termes de concentration ou en pourcentage d'abattement. Dans le cadre du SAGE, des objectifs de maintien de qualité du Doubs permettent d'avoir un objectif de traitement efficace des eaux usées par la STEP.

	Débit en sortie (m ³ /j)	Azote global (mg/l N)	Nitrates (mg/l NO ₃ ⁻)	Nitrites (mg/l NO ₂ ⁻)	Azote Kjeldahl (mg/l N)	Phosphore total (mg/l P)	Ammonium (mg/l NH ₄ ⁺)	DCO (mg/l O ₂)	DBO ₅ (mg/l O ₂)
02/09/2018	5827	4,74	1,65	0,09	3	0,16	0,78	30	3
09/09/2018	5931	4,38	1,24	0,14	3	0,16	0,78	30	3
15/09/2018	5411	4,79	1,6	0,19	3	0,16	0,78	30	3
17/09/2018	5969	5,14	1,9	0,24	3	0,2	0,78	30	3
25/09/2018	5703	3,8	0,68	0,12	3	0,2	0,78	30	3
03/10/2018	6461	4,1	0,93	0,17	3	0,2	0,78	27	3
09/10/2018	5145	4,32	1,11	0,21	3	0,3	0,78	27	3
15/10/2018	5428	4,21	0,99	0,22	3	0,3	0,78	31	3
23/10/2018	5345	4,22	0,97	0,25	3	0,5	0,8	45	3
Référence locale		13				1		90	25

Figure 33: Valeurs des différents paramètres de contrôle en sortie de la STEP de Pontarlier avec les références, Septembre à Octobre 2018 (source : banque de données DDT du Doubs)

Le choix des valeurs de rejet s'est porté sur la période la plus touchée par les assecs sur le secteur de Pontarlier afin d'avoir une estimation réaliste du traitement de la station lors d'un temps sec prolongé correspondant à la période de chute de la qualité du Doubs sur ce secteur. Les résultats montrent clairement qu'au mois de septembre et octobre 2018, les concentrations des différents paramètres sont bien inférieures aux préconisations de la DDT du Doubs, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'anomalie de traitement.

Il est également possible de vérifier du côté des débits de rejet de la station d'épuration par rapport au débit du Doubs.

Dans la figure 33, sont détaillés les volumes journaliers (en m³/j) qui donnent un débit moyen de 0,07 m³/s. Ce débit de rejet moyen représente 36 % du débit à la station hydrologique de

Doubs, en aval de la station, au 04/10/2018 et la quasi totalité du débit au 24/10/2018 ($Q(\text{Pontarlier amont}) = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q(\text{Doubs}) = 0,048 \text{ m}^3/\text{s}$).

Il est donc ainsi clair que le niveau de dilution apporté par la rivière n'est plus suffisant pour permettre de conserver un niveau de qualité acceptable.

Il est donc nécessaire de s'intéresser au barrage du lac Saint-Point pour obtenir un débit suffisant nécessaire à la dilution.

5.2.2) Agir sur le barrage du lac Saint-Point

Pour savoir quel débit est nécessaire pour conserver une bonne qualité physico-chimique et donc une estimation de l'ouverture de barrage nécessaire, il est possible d'utiliser les flux issus de la rivière et de la station d'épuration.

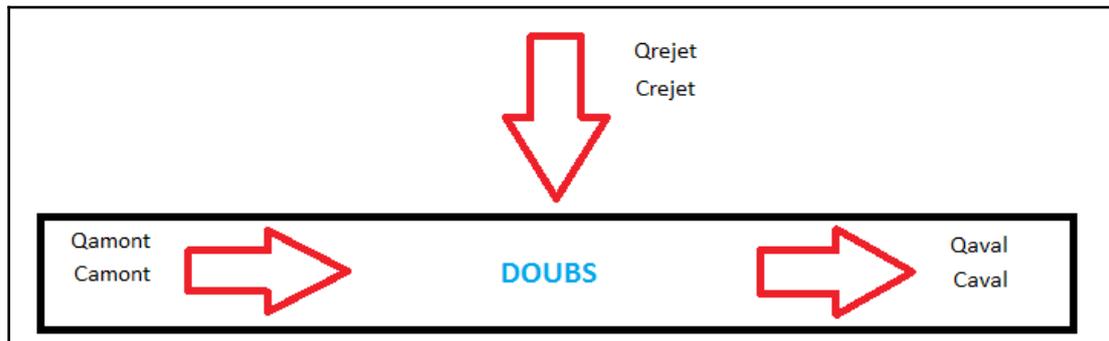


Figure 34: Schéma des transferts de flux entre le Doubs et la station d'épuration de Pontarlier

A partir de la figure ci-dessus, la formule suivante permet d'obtenir le débit recherché à l'amont pour chaque paramètre :

$$Flux_{amont} + Flux_{rejet} = Flux_{aval}$$

soit :

$$Q_{amont} = \frac{(C_{aval} - C_{rejet})}{(C_{amont} - C_{aval})} \times Q_{rejet}$$

Les résultats de cette opération sont présentés dans la figure 35 et sont donnés par rapport à plusieurs référentiels : le référentiel des limites de très bonne qualité donné par l'arrêté du 27 juillet 2018 [12] et le référentiel donné par le SAGE Haut-Doubs Haute-Loue (annexe 31). Différentes concentrations sont également utilisées : les moyennes des concentrations rejetées par la station d'épuration de Pontarlier en 2018 et celles recommandées par la DDT (car la capacité de traitement peut varier au cours du temps).

Suivant le TBE de l'arrêté		Azote global	Nitrates	Nitrites	Azote Kjeldahl	Phosphore total	Ammonium	DCO	DBO5
Crejet = référence locale	Débit amont Pontarlier (m³/s)		-0,05	0,32		1,56			0,89
Suivant le TBE de l'arrêté		Azote global	Nitrates	Nitrites	Azote Kjeldahl	Phosphore total	Ammonium	DCO	DBO5
Crejet = moyenne	Débit amont Pontarlier (m³/s)		-0,06	0,06		0,31	0,90		0,89
Suivant l'objectif du SAGE		Azote global	Nitrates	Nitrites	Azote Kjeldahl	Phosphore total	Ammonium	DCO	DBO5
Crejet = référence locale	Débit amont Pontarlier (m³/s)		0,11	0,32		4,47			0,89
Suivant l'objectif du SAGE		Azote global	Nitrates	Nitrites	Azote Kjeldahl	Phosphore total	Ammonium	DCO	DBO5
Crejet = moyenne	Débit amont Pontarlier (m³/s)		-0,05	0,06		0,31	0,90		0,89

Figure 35: Calcul des débits à l'amont de la station de Pontarlier selon les paramètres

La figure 35 montre que le calcul des débits n'est pas réalisé sur tous les paramètres car ils ne sont pas tous nécessaires pour déterminer la qualité du milieu.

Dans le cas où la référence de rejet est celle donnée par la DDT, le paramètre le plus déclassant est le phosphore total qui impose un débit à l'amont de la STEP de 1,56 m³/s (pour le très bon état défini par l'arrêté du 27 juillet 2018 [12]) et de 4,47 m³/s (pour les objectifs du SAGE). Retrouver ce type de débit à Pontarlier ne paraît pas réaliste, car cela suppose un fonctionnement très dégradé de la station d'épuration par rapport à 2018 (car la référence fixée par la DDT est beaucoup plus élevée que la capacité de traitement de la STEP) et maintenir de tels débits grâce n'est pas possible en étiage. Enfin ces valeurs ne s'approchent pas des observations de 2018.

Dans le cas où la référence de rejet est la moyenne des rejets réalisés pendant la période d'assec 2018, le paramètre le plus déclassant est l'ammonium qui impose un débit amont de 900 l/s.

Cet objectif de débit paraît plus réaliste par rapport aux observations de 2018 (à 747 l/s par seconde, le Doubs était classé en bon état voire très bon état au 04/10/2018).

La différence entre les deux valeurs peut s'expliquer par les nombreuses incertitudes et les approximations réalisées qui éloignent le résultat de la réalité physique.

En prenant comme objectif 900 l/s, il est possible d'avoir une idée du débit nécessaire à Oye-et-Pallet, c'est-à-dire juste en aval du barrage du lac Saint-Point.

Pour réponse à cette question, une note de calcul en annexe 40 explique comment ce débit à l'aval du barrage est déterminé.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 14: Résultats sur la gestion du barrage du lac Saint-Point

Débit à Pontarlier	Débit à Oye-et-Pallet	Ouverture du barrage
900 l/s	850 l/s	15 à 20 cm

Ces résultats sont issus d'un certain nombre d'hypothèses (notamment par rapport à la présence d'une zone humide sur le secteur du barrage) comme précisé en annexe Ainsi, il serait nécessaire de s'attarder plus longuement sur cette proposition de gestion afin de préciser les différents résultats mais également de voir si elle est réaliste dans un contexte d'assec notamment au niveau de la gestion du lac Saint-Point.

5.2.3) Conclusion sur la gestion de la qualité du Doubs en aval de la station d'épuration de Pontarlier

Dans le cadre de l'assec de 2018, plusieurs facteurs ont contribué à la dégradation de la qualité physico-chimique du Doubs en aval de la station d'épuration de Pontarlier : la fermeture du barrage du lac Saint-Point et un étiage très largement soutenu par la STEP.

Dans l'hypothèse de l'apparition d'un nouvel assec semblable à 2018, il serait nécessaire que la station d'épuration conserve sa capacité de traitement afin de ne pas dégrader la qualité du Doubs. Dans un second temps afin de préserver de bonnes conditions pour la faune piscicole immédiatement en aval de la STEP, il est indispensable de garantir un débit minimum à Pontarlier. Les calculs ont montré qu'un débit de 900 l/s est une estimation raisonnable, ce qui correspondrait à une ouverture de 15 à 20 cm du lac Saint-Point.

Ces éléments restent des propositions à discuter avec les différents acteurs locaux notamment le Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut Doubs qui gère le barrage du lac Saint-Point.

5.3) Analyse critique sur l'étude réalisée et perspectives

5.3.1) Retour sur les résultats de l'étude

L'étude a permis de mettre en avant différents éléments intervenus sur la biologie après l'assec du Doubs amont de 2018. Les observations effectuées sont modérées : les diatomées n'ont pas permis de montrer de réels effets tandis que les macro-invertébrés ont bien subi l'assèchement du lit mineur de la rivière mais recolonisent très rapidement les différents secteurs.

Les études concernant les poissons n'ont pas pu être menées du fait des pêches électriques qui ne seront menées qu'en Juillet par la Fédération de pêche du Doubs. Il sera donc nécessaire de compléter le travail, une fois les pêches réalisées afin de confronter les observations avec les éléments bibliographiques.

Concernant la physico-chimie du Doubs amont, les différents résultats ont permis de mettre en lumière que l'utilisation de la sonde du réseau QUARSTIC posée à Arçon n'a pas été forcément pertinente pour observer l'évolution des différents paramètres durant l'assec. Les effets d'une réduction importante du débit ont pu être observés grâce aux bilans fournis par la station d'épuration de Pontarlier et ont permis notamment de fournir une partie des propositions de gestion.

5.3.2) Perspectives sur les analyses à poursuivre

L'étude réalisée n'est pas complète notamment parce que certains paramètres nécessitent plusieurs analyses au cours du temps afin de voir si les quelques observations réalisées ou qui seront réalisées sont bien dues aux assecs.

Concernant la faune piscicole, les observations seront à mener sur plusieurs années pour plusieurs raisons.

Dans un premier temps, la population initiale avant l'assec étant en mauvais état, l'apparition de l'assec et la forte mortalité résultant de cet évènement l'ont très certainement dégradé. Ainsi un peuplement satisfaisant mettra plusieurs années à se reconstituer, c'est pourquoi un suivi sera nécessaire.

Dans un second temps, il est possible que de nouveaux assecs arrivent dans les années à venir. Plus la fréquence d'apparition de ces évènements est importante plus l'effet sur la faune piscicole sera notable en particulier sur cette population déjà dégradée.

Concernant la population de macro-invertébrés, la rivière étant en cours de recolonisation, c'est la question de la répétition d'assecs qui pourrait poser problème dans le futur. Ainsi un suivi annuel continu d'être nécessaire pour surveiller la population.

Concernant les diatomées, il a été vu que les prélèvements effectués en 2019 n'ont pas permis de définir un lien de causalité entre les assecs et la population des diatomées. Comme précisé, ces organismes se renouvellent très rapidement, ce qui signifie que les prélèvements ont été effectués assez tard. Ainsi, dans le cas où d'autres évènements similaires apparaissent, il serait intéressant de réaliser des prélèvements plus tôt après la remise en eau. Ce type d'étude serait notamment intéressant si des assecs se reproduisent consécutivement pendant plusieurs années.

Concernant la physico-chimie, l'utilisation de la station d'Arçon n'a pas permis de mettre en évidence l'évolution de la qualité au cours de l'assec en raison de données difficilement

interprétables. Ainsi pour les prochaines années, il serait intéressant de réaliser des mesures plus en aval de la commune d'Arçon, en particulier dans les zones encore en eau ou zones refuges.

Enfin le dernier point concerne la gestion du barrage du lac Saint-Point. Une ouverture de barrage a été calculée afin de conserver une bonne qualité physico-chimique du Doubs. Cette ouverture reste à discuter, comme précisé auparavant, avec les différents acteurs afin d'évaluer la pertinence de ce résultat. De plus, si un nouvel assec apparaît, il serait pertinent de mettre en œuvre cette proposition d'ouverture afin de voir si elle est réellement adaptée aux conditions hydrologiques aval mais également à la gestion du niveau d'eau du lac Saint-Point.

5.3.3) Perspectives sur les études à mener

Certains aspects n'ont pas pu être abordés au cours de ce travail en particulier concernant la ripisylve ou le rôle de la zone humide en aval du barrage du lac Saint-Point.

La végétation de bord de cours d'eau a nécessairement subi les assecs de l'année dernière et il serait pertinent d'étudier si il y a eu des conséquences sur les peuplements des berges. Bien que la plupart du Doubs amont soit bordée de parcelles agricoles, il existe un certain nombre de zones où se trouve encore de la végétation sensible à des événements de sécheresse. De plus, la question de la résistance de la végétation est importante pour les zones refuges, puisque cette ripisylve permet de protéger les surfaces en eau du soleil.

Enfin, ce travail permettrait de définir des zones dont les berges seraient à revégétaliser afin d'apporter un meilleur couvert végétal mais également de se prémunir de l'invasion d'espèces végétales invasives.

Concernant la zone humide en aval du lac Saint-Point, son étude permettrait de comprendre son rôle dans la restitution d'une partie du débit de l'amont vers l'aval notamment en période d'étiage ou d'assec, comme il a été vu dans la partie de proposition de gestion du barrage. Enfin, cela permettrait également de mettre en avant l'importance de protéger cette zone afin de permettre un soutien à l'étiage naturel sur le Doubs amont.

Conclusion

La DDT du Doubs a pour projet de mettre en place un plan de gestion des assecs sur le Doubs amont (25) afin de permettre de mieux gérer l'approvisionnement en eau potable au niveau du lac Saint-Point et de préserver au mieux la qualité de la rivière pour respecter les objectifs fixés par la DCE. Le travail a consisté à établir un état initial afin de pouvoir comparer avec un état des lieux post-assec dans le but de proposer des actions pour gérer ces phénomènes.

L'état des lieux initial a mis en évidence que les assecs sont un phénomène connu sur le secteur mais que l'évènement de 2018 reste exceptionnel par sa durée et la longueur de rivière concernée. Il est apparu suite à un effet combiné entre des conditions climatiques défavorables et un contexte karstique local entraînant des pertes du lit mineur vers le sous-sol. Ce travail a également mis en lumière un bon état voire très bon état pour la physico-chimie et une partie de la biologie. Cependant la faune piscicole est en très mauvais état qui se traduit par un déficit d'abondance.

Le travail sur le descriptif de l'apparition de l'assec a montré la rapidité de l'apparition de l'assec et le rôle prépondérant des pertes dans la dynamique hydrologique. De plus, les hydrogrammes ont montré à la fois le rôle de la nappe souterraine et du barrage du lac Saint-Point sur le Doubs, aux environs de Pontarlier. La bibliographie a explicité les mécanismes régulant la vie aquatique lors de ces évènements. Enfin seules certaines mesures de physico-chimie issues des relevés de la station d'épuration de Pontarlier ont permis de montrer la dégradation du milieu lors de fortes réductions de débits et à proximité d'un rejet de STEP.

Les bio-indicateurs ont montré que la population de macro-invertébrés recolonise le milieu malgré les effets de l'assec en particulier à l'aval du tronçon d'étude. Les relevés sur les diatomées n'ont pas précisé d'effet en raison du délai important entre la remise en eau du Doubs et les prélèvements. Malgré l'absence de pêche électrique au moment de l'écriture du rapport, la bibliographie a souligné la difficulté de recolonisation de certains poissons, en particulier pour les salmonidés, ce qui laisse à priori penser que les résultats de la campagne de mesures de l'été 2019 seront mauvais. Le travail sur l'hydrologie a enfin montré que l'hypothèse de l'activation de pertes par les crues de Janvier 2018 devrait être reconsidérée.

Enfin, avec l'aide du MNT du Doubs en assec, une carte des zones prioritaires à pêcher lors de l'apparition d'assecs a pu être établie ainsi qu'une carte des zones à préserver d'éventuels travaux ou à restaurer dans le cadre de l'étude d'Artelia pour le SMMAH. Puis les mesures de qualité et le suivi hydrologique dans la zone de la STEP de Pontarlier ont permis d'aboutir à une estimation de l'ouverture de barrage nécessaire du lac Saint-Point pour conserver une qualité acceptable pour la faune piscicole à l'aval du rejet de la station.

D'autres éléments techniques devront être apportés afin d'affiner la compréhension du phénomène. Il sera finalement nécessaire de comprendre comment le travail mené par le bureau d'étude Artelia pour une restauration d'une partie du Doubs amont pour le SMMAH, pourrait modifier le fonctionnement local de la rivière en particulier lors d'un assec.

Bibliographie

Bibliographie scientifique

[1] CHADD P., ENGLAND J., CONSTABLE D., DUNBAR M., EXTENCE C., LEEMING., MURRAY-BLIGH J., WOOD P. **An index to track the ecological effects of drought development and recovery on riverine invertebrate communities.** Ecological Indicators, n°82, 2017, p.344-356.

[2] DAVEY A., KELLY D., BIGGS B. **Refuge-use strategies of stream fishes in response to extreme low flows.** Journal of fish biology, n°69, 2006, p.1047-1059.

[3] DAVEY A., KELLY D. **Fish community responses to drying disturbances in an intermittent stream : a landscape perspective.** Freshwater biology, n°52, 2007, p.1719-1753.

[4] EMERY A. **The basis of fish community structure : marine and freshwater comparisons.** Environmental biology of fishes, n°3, 1978, p.33-47.

[5] HODGES S., MAGOULICK D. **Refuge for fishes during seasonal drying in an intermittent stream : movement, survival and abundance of three minnow species.** Aquatic Sciences, n°73, Mai 2011, p.513-522.

[6] KATZ R., FREEMAN M. **Evidence of population resistance to extreme low flows in a fluvial-dependent fish species.** Aquatic sciences, n°72, 2005, p.1-12.

[7] LAKE P. **Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters.** Freshwater Biology, n°48, 2003, p.1161-1172.

[8] MAGOULICK D., KOBZA R. **The role of refugia for fishes during drought : a review and synthesis.** Freshwater Biology, n°48, 2003, p.1186-1198.

[9] MATTHEWS W., MARSH-MATTHEWS E. **Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity.** Freshwater ecology, n°48, 2003, p.1232-1253.

[10] STUBBINGTON R., WOOD P., BOULTON A. **Low flow controls on benthic and hyporheic macroinvertebrate assemblages during supra-seasonal drought.** Hydrological processes, n°23, 2009, p.2252-2263.

Rapports, documents administratifs et textes réglementaires

[11] CABINET REILE. **Campagnes de reconnaissance des pertes du Doubs par traçages.** Rapport d'études commandée par la Direction Départementale des Territoires du Doubs, Décembre 2018.

[12] FRANCE. MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE. **Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.** [consulté le 13/03/2019]

<<http://legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/7/27/TREL1819388A/jo/texte>>

[13] HYD&EAUX. **Etude sur les impacts des assecs du Doubs, secteur Arçon à Ville-du-Pont.** Rapport d'études, Juin 2019.

[14] SERVICE RÉGIONAL DE L'AMENAGEMENT DES EAUX DE FRANCHE-COMTE. **Les pertes du Doubs.** Novembre 1983.

[15] SYNDICAT MIXTE DES MILIEUX AQUATIQUES DU HAUT-DOUBS. **Déclaration simplifiée pour travaux dans le lit mineur d'un cours d'eau.** Pour la Direction Départementale des Territoires du Doubs, Août 2018.

[16] SYNDICAT MIXTE DES MILIEUX AQUATIQUES DU HAUT-DOUBS. **Rapport de visite : Repérage des pertes et des zones d'écoulement entre Maison du Bois et Arçon.** Août 2018.

Liste des annexes

- Annexe 1** : Doubs en assec en aval d'Arçon, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)
- Annexe 2** : Doubs en assec, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)
- Annexe 3** : Forte mortalité piscicole dans quelques flaques (crédit : DDT du Doubs)
- Annexe 4** : Lac Saint-Point, vue de l'aval vers l'amont (image personnelle)
- Annexe 5** : Barrage du lac Saint-Point, les surverses se trouvent de chaque côté du barrage (image personnelle)
- Annexe 6** : Surverse du barrage du lac Saint-Point (image personnelle)
- Annexe 7** : Source de la Loue (image personnelle)
- Annexe 8** : Exemple de margelle posée dans une annexe hydraulique du Doubs, en aval d'Arçon (image personnelle)
- Annexe 9** : Vue schématique de la situation géographique du Doubs et des travaux d'études réalisés sur le tronçon de la rivière
- Annexe 10** : Note sur la création des MNT et la cartographie du Doubs Amont
- Annexe 11** : Exemple de profil en travers du Doubs amont (localisation : Maison-du-Bois-Lièvermont)
- Annexe 12** : Exemple de profil en travers du Doubs amont (localisation : Ville-du-Pont)
- Annexe 13** : Schéma illustrant la typologie de Huet (diaporama de Jean-Nicolas Beisel, Notions de base en écologie et Hydroécologie, 2016-2017)
- Annexe 14** : Position du rejet de la station d'épuration de Ville-du-Pont
- Annexe 15** : Position du rejet de la station d'épuration de Pontarlier
- Annexe 16** : Rejet de la station d'épuration de Ville-du-Pont (image personnelle)
- Annexe 17** : Méthode Carl et Strub (méthode d'estimation des populations piscicoles pêchées)
- Annexe 18** : Détermination du biocénotype par station de pêche
- Annexe 19** : Abondance de la Truite fario sur les différentes stations de pêche
- Annexe 20** : Abondance de la Loche franche sur les différentes stations de pêche
- Annexe 21** : Graphique comparant les températures mensuelles maximales de 2018 avec la période 1981 – 2010 à Besançon (source : EPTB Saône et Doubs, données MétéoFrance)
- Annexe 22** : Graphique comparant le cumul des pluies mensuelles de 2018 avec le cumul moyen mensuel de la période 1980-2018 à Besançon (source : EPTB Saône et Doubs, données MétéoFrance)
- Annexe 23** : Historique de l'ouverture du barrage du Lac Saint-Point en fonction des débits
- Annexe 24** : Hydrogramme de la station hydrologique de Vuillecin en 2018
- Annexe 25** : Secteur encore en eau pouvant constituer une zone refuge, Maison-du-Bois, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)
- Annexe 26** : Secteur encore en eau pouvant constituer une zone refuge, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)
- Annexe 27** : Evolution de la température en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)
- Annexe 28** : Evolution de la concentration en nitrates en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)
- Annexe 29** : Evolution de la concentration en Carbone Organique Total en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)
- Annexe 30** : Evolution de la concentration en Oxygène Dissous en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)
- Annexe 31** : Tableau des objectifs de qualité du Doubs amont fixés par le SAGE Haut-Doubs Haute-Loue (source : *Plan d'Aménagement et de Gestion Durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques, Haut-Doubs Haute-Loue*)
- Annexe 32** : Conditions hydrologiques et physico-chimiques sur le Doubs amont au 1^{er} avril 2019

Annexe 33 : Mesure de la largeur de la rivière lors du premier prélèvements des macro-invertébrés au 1^{er} Avril 2019 (image personnelle)

Annexe 34 : Prélèvements des macro-invertébrés au 24 Mai 2019 (crédit : David Marquis)

Annexe 35 : Exemple de cartographie réalisée à partir des données issues du MNT du Doubs amont, détermination de la profondeur d'une zone refuge

Annexe 36 : Exemple de cartographie réalisée à partir des données issues du MNT du Doubs amont, détermination des zones de calcaires apparents et de la localisation des pertes à partir des données du SMMAHAD

Annexe 37 : Tableau de description des différents tronçons

Annexe 38 : Cartographie des zones de pêche de sauvegarde prioritaires (les classes sont identiques à celles du tableau de l'annexe ...)

Annexe 39 : Cartographie des secteurs de rivière à préserver ou à surveiller afin de ne pas dégrader les refuges pour la faune piscicole

Annexe 40 : Note de calcul sur le calcul du débit nécessaire à Oye-et-Pallet pour maintenir un bon niveau de qualité physico-chimique à Pontarlier



Annexe 1 : Doubs en assec en aval d'Arçon, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)



Annexe 2 : Doubs en assec, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)



Annexe 3 : Forte mortalité piscicole dans quelques flaques (crédit :DDT du Doubs)



Annexe 4 : Lac Saint-Point, vue de l'aval vers l'amont (image personnelle)



Annexe 5 : Barrage du lac Saint-Point, les surverses se trouvent de chaque côté du barrage
(image personnelle)



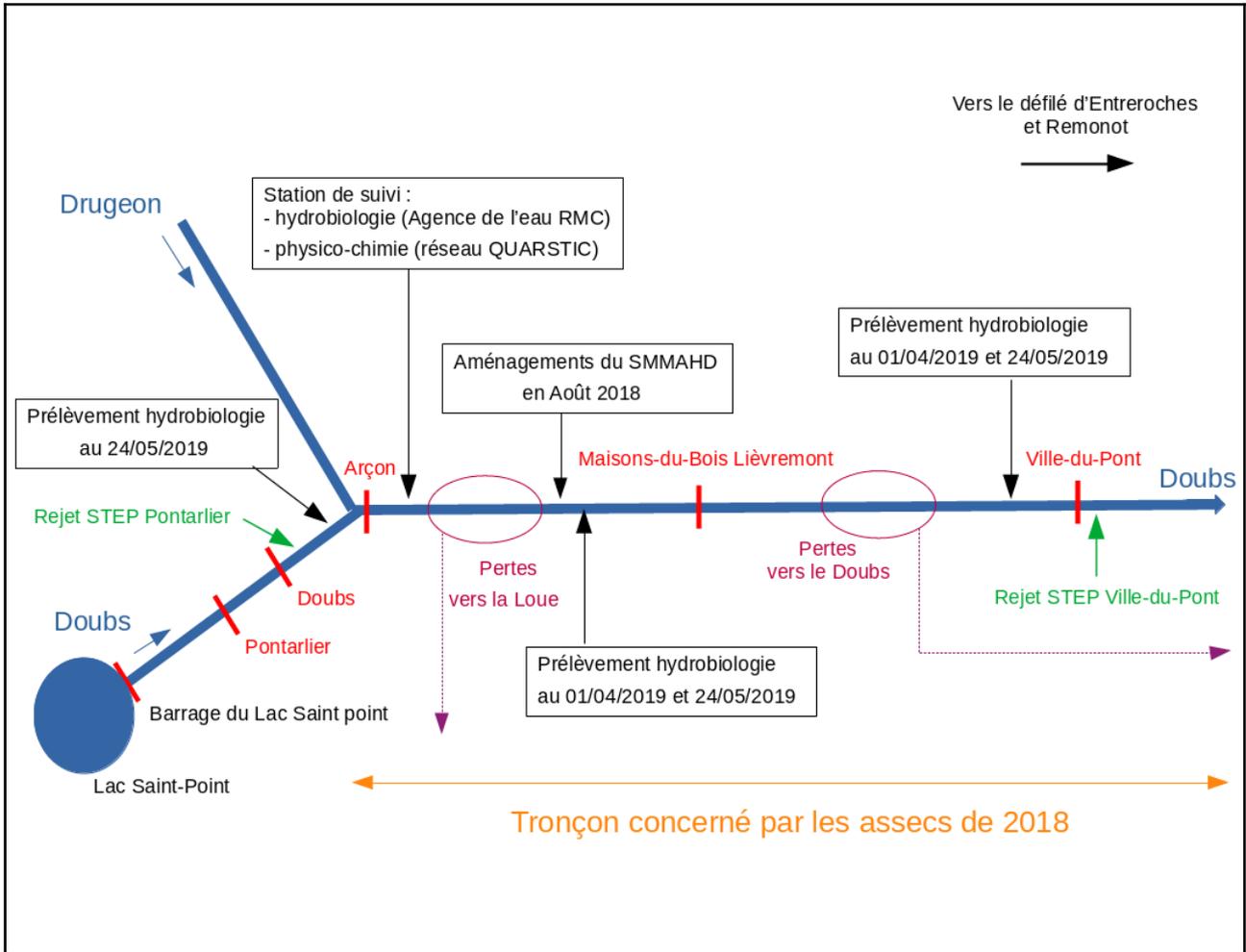
Annexe 6 : Surverse du barrage du lac Saint-Point (image personnelle)



Annexe 7 : Source de la Loue (image personnelle)



Annexe 8 : Exemple de margelle posée dans une annexe hydraulique du Doubs, en aval d'Arçon (image personnelle)



Annexe 9 : Vue schématique de la situation géographique du Doubs et des travaux d'études réalisés sur le tronçon de la rivière

Annexe 10 : Note sur la création des MNT et la cartographie du Doubs Amont

Pour pouvoir étudier la morphologie, un MNT est utilisé. Ce modèle est généré à partir de photographies et de relevés topographiques réalisés par la société SOPRECO, à l'aide d'un drone, début septembre 2018. Les relevés ainsi effectués ont permis d'avoir un panorama du Doubs en assec (bien qu'encore alimenté par le barrage du lac Saint-Point et les faibles débits du Dugeon à cette époque), entre la commune d'Arçon et celle du Ville-du-Pont, ce qui limite donc naturellement la zone d'étude à cette section de 12,5 kilomètres.

Pour traiter les données issues du drone, le logiciel Pix4D est utilisé et permet la conversion des données brutes en MNT, orthophoto et en couche shape contenant les lignes altimétriques utilisables par le logiciel de SIG, QGIS.

Étant donné que la précision du MNT en sortie du logiciel est très élevée (un pixel correspond à 2 cm² sur le terrain), il a été nécessaire de découper les 12,5 kilomètres de linéaire en 20 tronçons afin de pouvoir traiter l'ensemble de la carte sans contrainte informatique. La taille des tronçons dépend de la capacité informatique à traiter la précision évoquée ci-dessus et des éléments qu'il est possible de voir sur ce linéaire (ouvrages, zones encore en eau,...). La précision des MNT a été rapportée à 400 cm²/pixel afin de pouvoir réaliser les calculs.

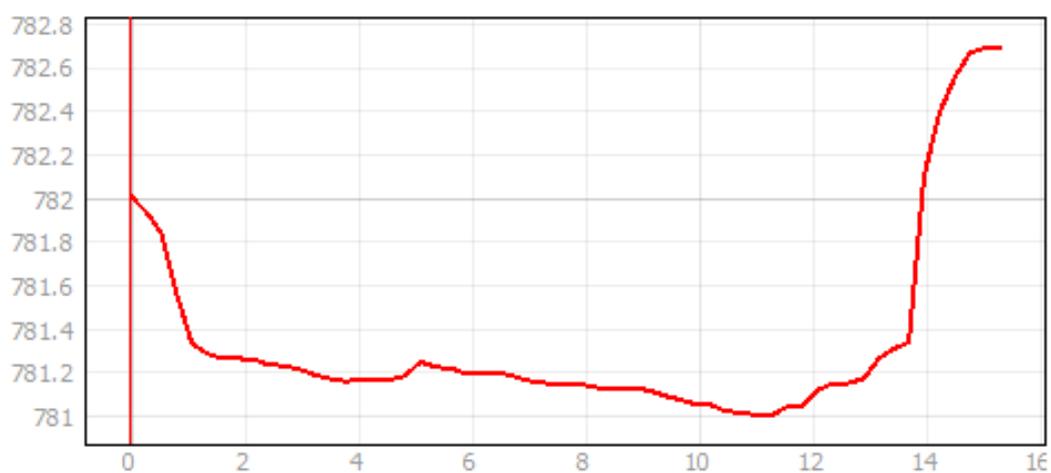
Le traitement des différents MNT générés consiste en deux parties :

- **profils en longs, profils en travers, pente** : Pour réaliser l'ensemble de ces points, le plugin « Terrain Profile » disponible dans la banque QGIS a été utilisé.
- **détermination des « pertes » recensées et des ouvrages hydrauliques de contournement** : une cartographie provenant du Syndicat Mixte Haut Doubs – Haute Loue a directement été utilisée.
- **détermination de la morphologie** : les orthophotos ont été utilisées afin de délimiter les zones de calcaire apparent afin de préciser si un lien pouvait être fait avec les zones refuges ou non.
- **détermination des zones encore en eau** : l'étude des différents MNT a mis en évidence des zones encore eau pouvant servir de refuges pour la faune. Dans le but de déterminer les caractéristiques de ces refuges, leur intérêt dans l'objectif d'une gestion de ces zones refuges, le protocole suivant a été mis en place pour obtenir une cartographie des hauteurs d'eau. Une partie de cette méthode est inspirée du protocole QGIS pour dessiner les zones inondables dans un contexte de gestion du risque inondation.
 - Délimitation des zones en eau avec des polygones dans un fichier .shp.
 - Extraction des sommets des polygones avec l'outil «**Extraction de noeuds** ».
 - Association des altitudes du MNT avec les sommets extraits précédemment avec le plugin **Point Sampling Tool**.
 - Traçage des polygones associées aux côtes moyennes sur l'ensemble du tronçon.
 - Interpolation des polygones afin d'obtenir un Modèle Numérique d'Élévation ou MNE qui représente grossièrement la surface en eau.
 - Grâce à la calculatrice raster, il est possible d'obtenir les hauteurs sur tout le tronçon étudié par l'opération MNE – MNT.
 - Classer les hauteurs d'eau, transformer le raster MNE – MNT en vecteur afin de d'obtenir des catégories de hauteurs d'eau et le lissage de ce vecteur grâce au plugin « **Cartozi** ».

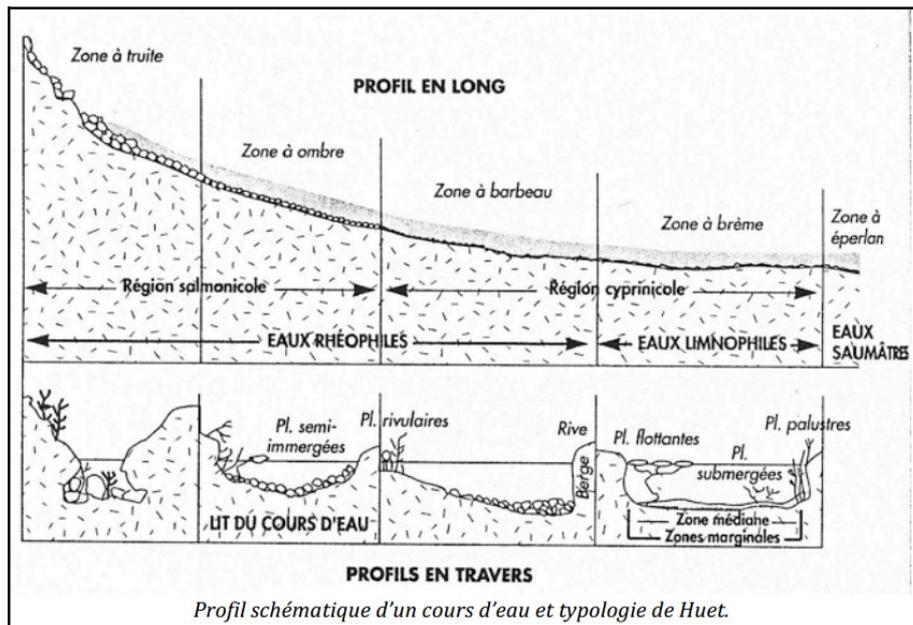
Les exemples de cartes obtenues sont présentées en annexes 35 et 36.



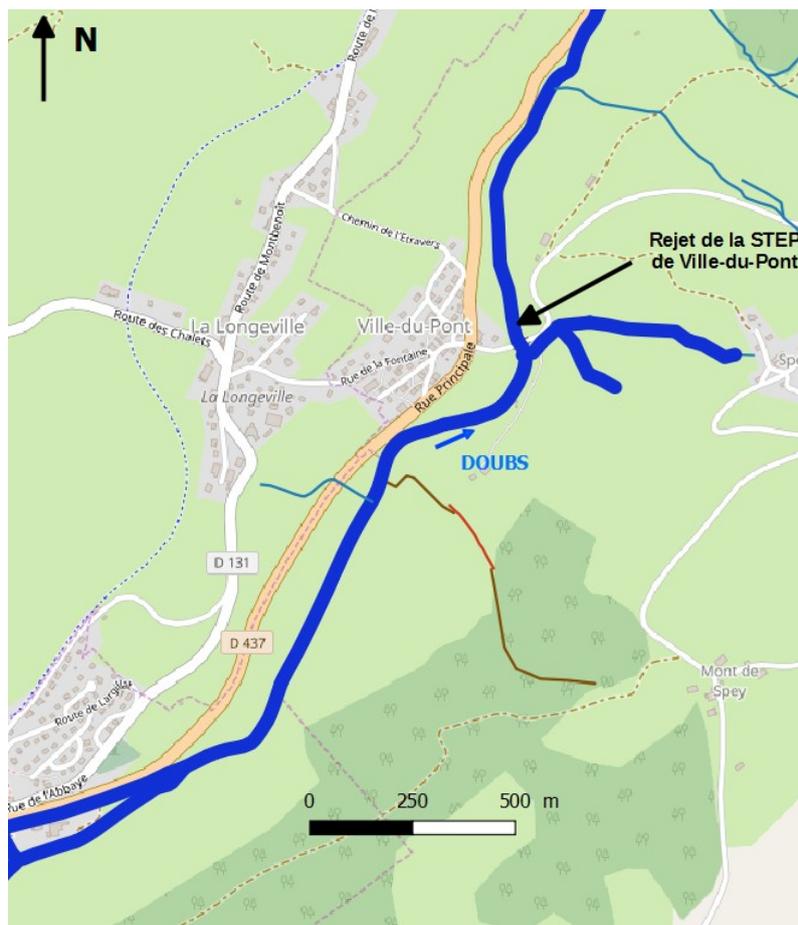
Annexe 11 : Exemple de profil en travers du Doubs amont (localisation : Maison-du-Bois-Lièremont)



Annexe 12 : Exemple de profil en travers du Doubs amont (localisation : Ville-du-Pont)



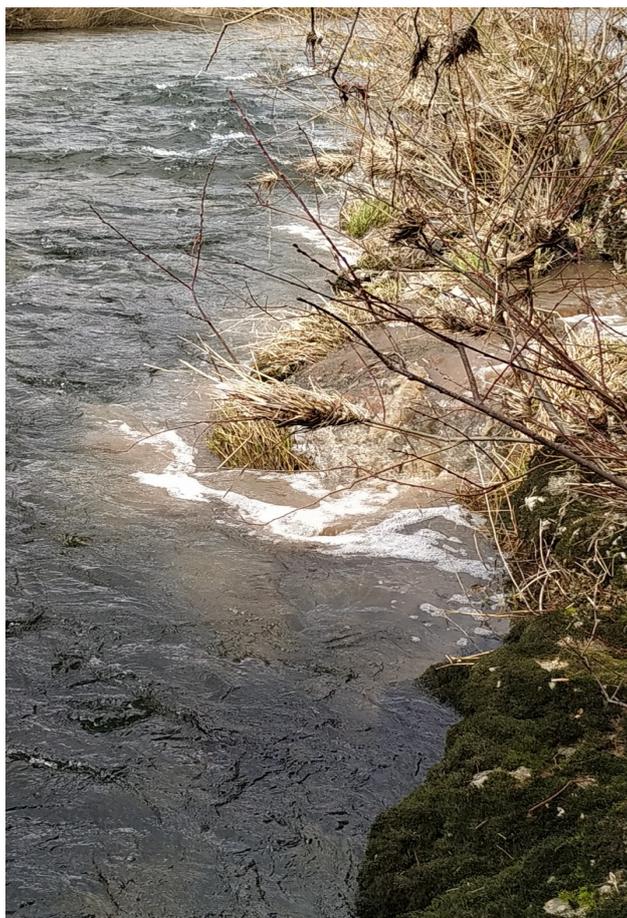
Annexe 13 : Schéma illustrant la typologie de Huet (diaporama de Jean-Nicolas Beisel, Notions de base en écologie et Hydroécologie, 2016-2017)



Annexe 14 : Position du rejet de la station d'épuration de Ville-du-Pont



Annexe 15 : Position du rejet de la station d'épuration de Pontarlier



Annexe 16 : Rejet de la station d'épuration de Ville-du-Pont (image personnelle)

Annexe 17 : Méthode Carl et Strub (méthode d'estimation des populations piscicoles pêchées)

C'est une méthode qui est appliquée lorsque les protocoles « classiques » ne peuvent pas être appliqués car elle développe une approche permettant de pondérer la probabilité de pêche par deux paramètres (alpha et beta) issues d'une famille de lois de probabilités continues appelée la loi de distribution de Béta.

Ainsi la taille de la population (N0) est le plus petit entier supérieur ou égal au nombre (T) total de poissons capturés avant la pêche i soit l'effectif total des i-1 pêches qui répond à l'inégalité suivante :

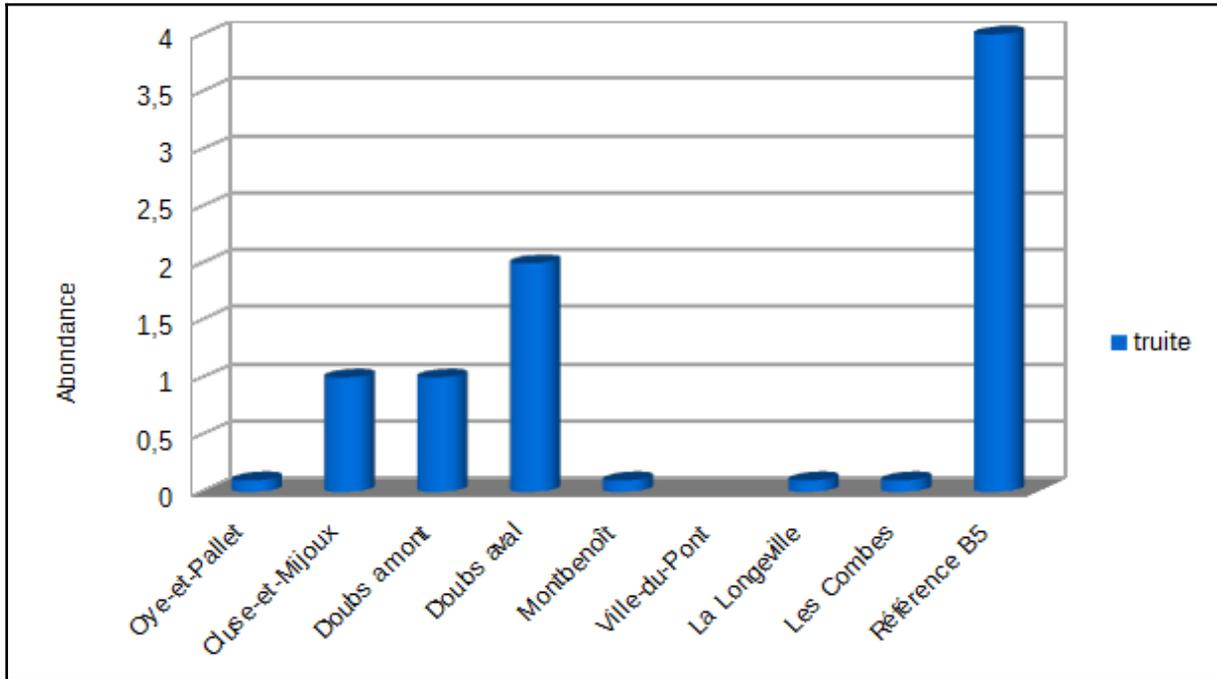
$$N - \frac{N+1}{T+1} \prod_i \frac{kN - X - T + \text{beta} + (k-i)}{kN - X + \text{alpha} + \text{beta} + (k-i)} \leq 1$$

avec : k le nombre de pêches, $X = \sum (k-i) C_i$ et C_i le nombre de poissons capturés à la pêche i.

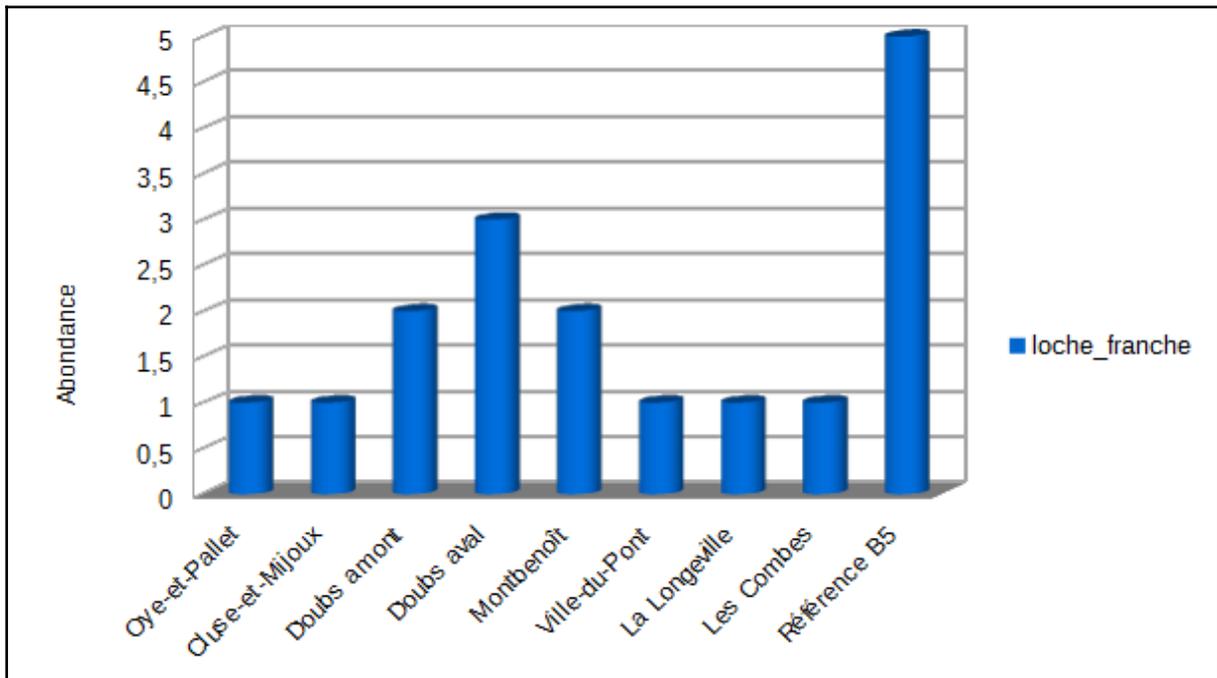
source : GERDEAUX D. **Revue des méthodes d'estimation de l'effectif d'une population par pêches successives avec retrait, programme d'estimation d'effectif par la méthode de Carle et Strub.** Bulletin Français Pêche Piscicole, n°304, 1987, p.13-21.

Station	NTT	Biocénotype
Oye-et-Pallet	6,33	B6+
La Cluse et Mijoux	6,38	B6+
Doubs	6,17	B6
Doubs	6,22	B6
Montbenoît	6,86	B6+
Ville-du-Pont	6,64	B6+
La Longeville	6,3	B6/B6+
Les Combes	6,83	B6+

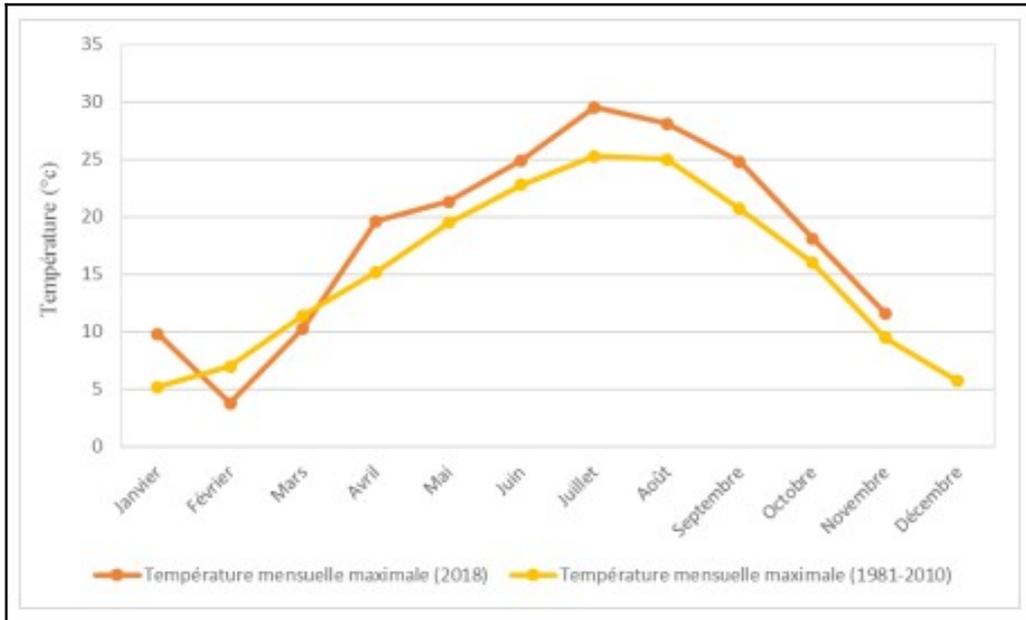
Annexe 18 : Détermination du biocénotype par station de pêche



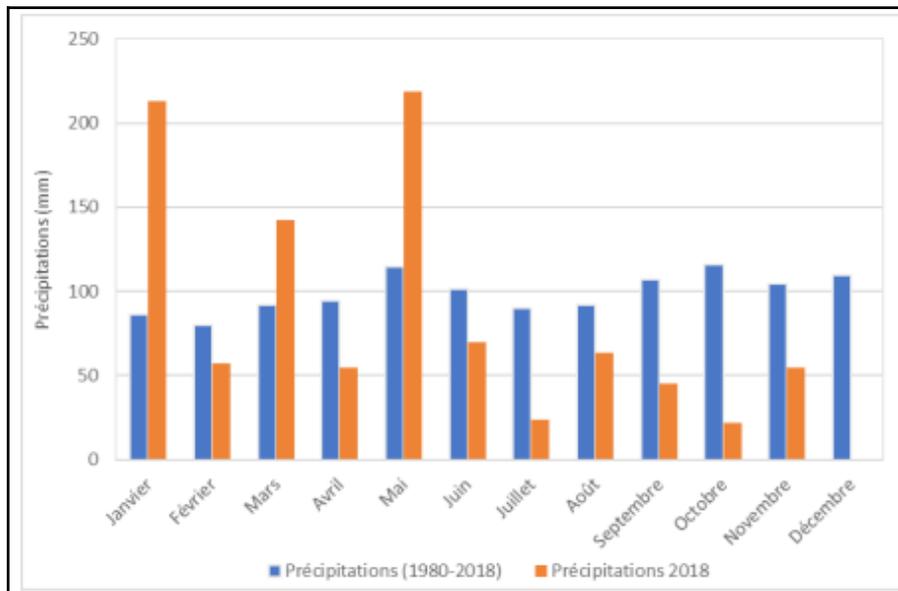
Annexe 19 : Abondance de la Truite fario sur les différentes stations de pêche



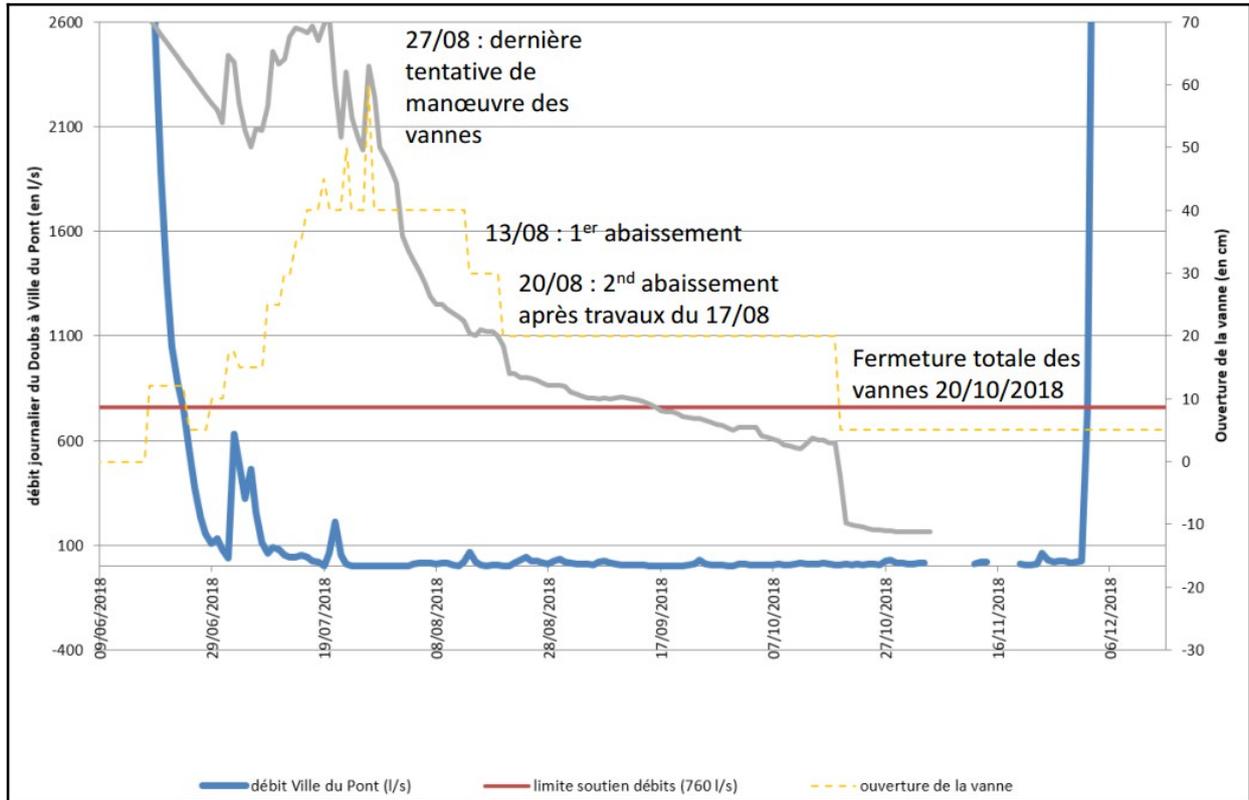
Annexe 20 : Abondance de la Loche franche sur les différentes stations de pêche



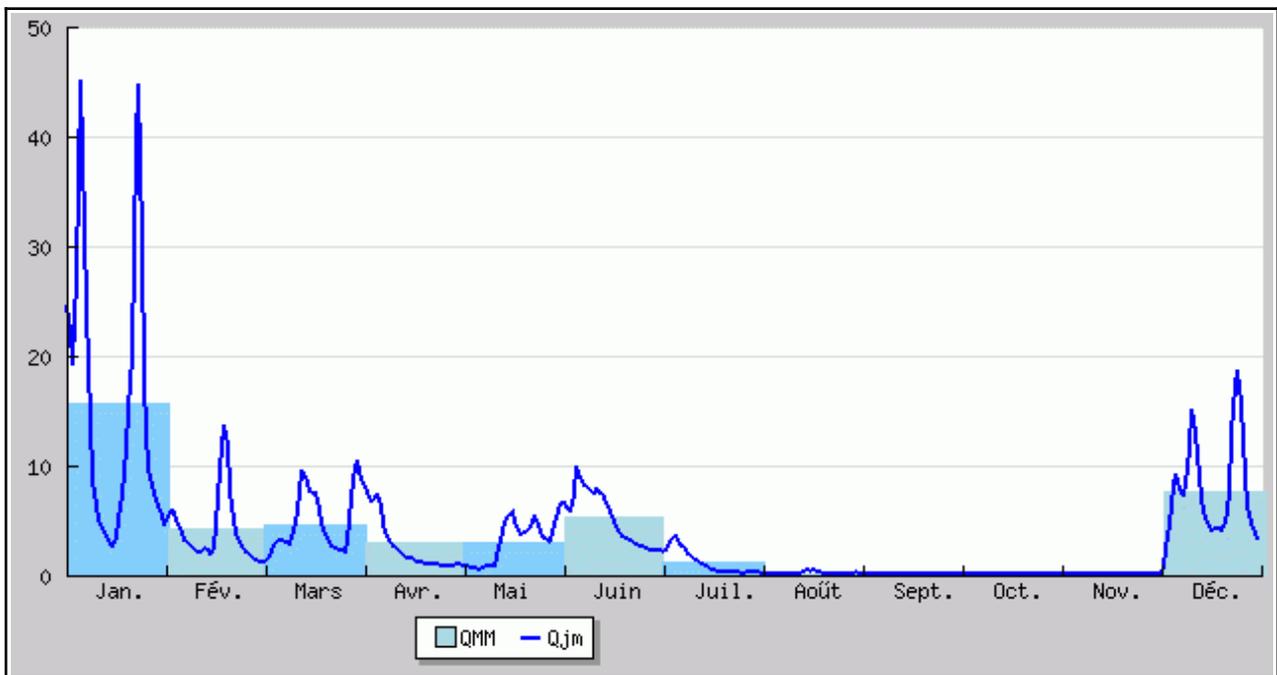
Annexe 21 : Graphique comparant les températures mensuelles maximales de 2018 avec la période 1981 – 2010 à Besançon (source : EPTB Saône et Doubs, données MétéoFrance)



Annexe 22 : Graphique comparant le cumul des pluies mensuelles de 2018 avec le cumul moyen mensuel de la période 1980-2018 à Besançon (source : EPTB Saône et Doubs, données MétéoFrance)



Annexe 23 : Historique de l'ouverture du barrage du Lac Saint-Point en fonction des débits



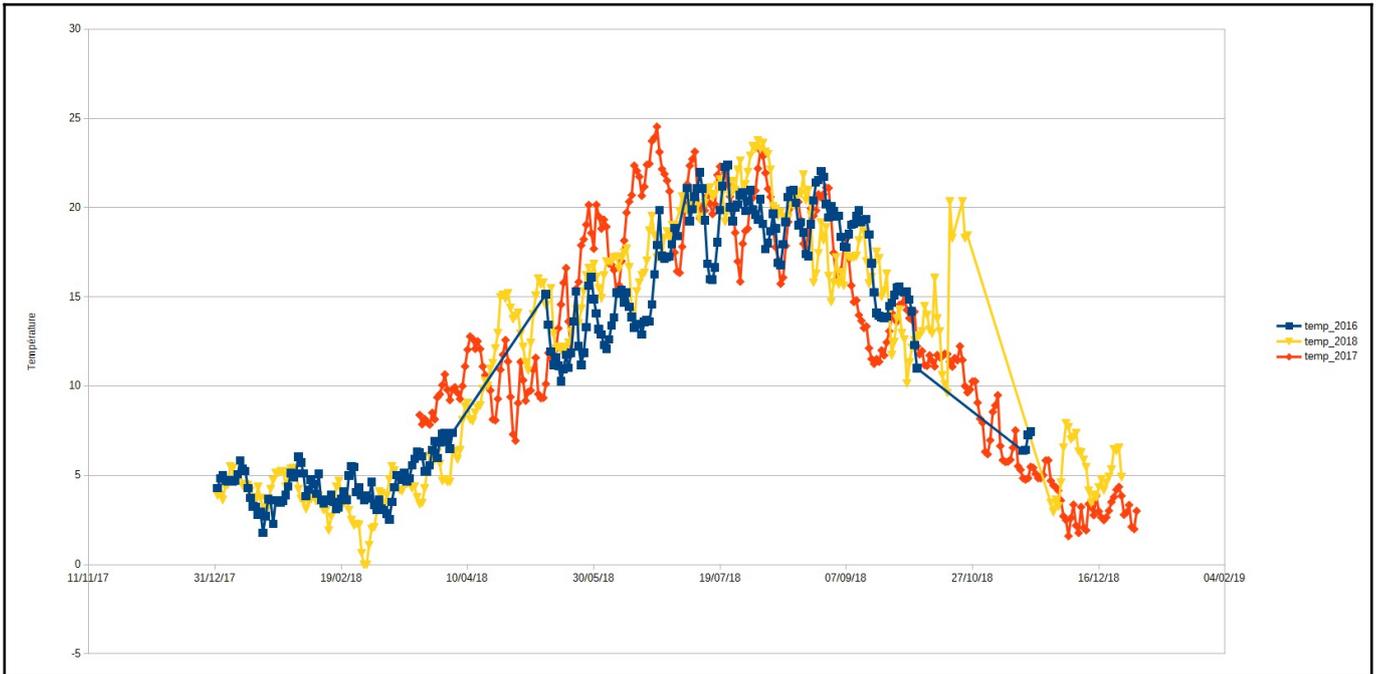
Annexe 24 : Hydrogramme de la station hydrologique de Vullecin en 2018



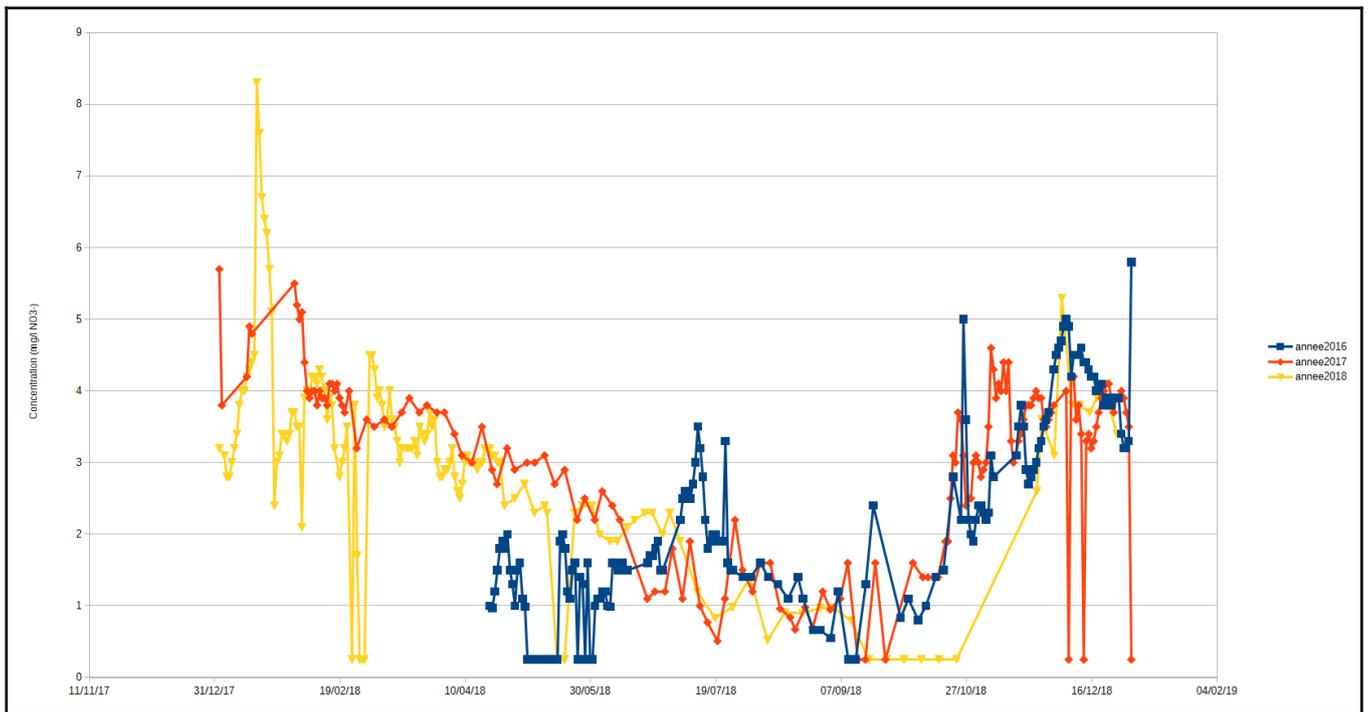
Annexe 25 : Secteur encore en eau pouvant constituer une zone refuge, Maison-du-Bois, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)



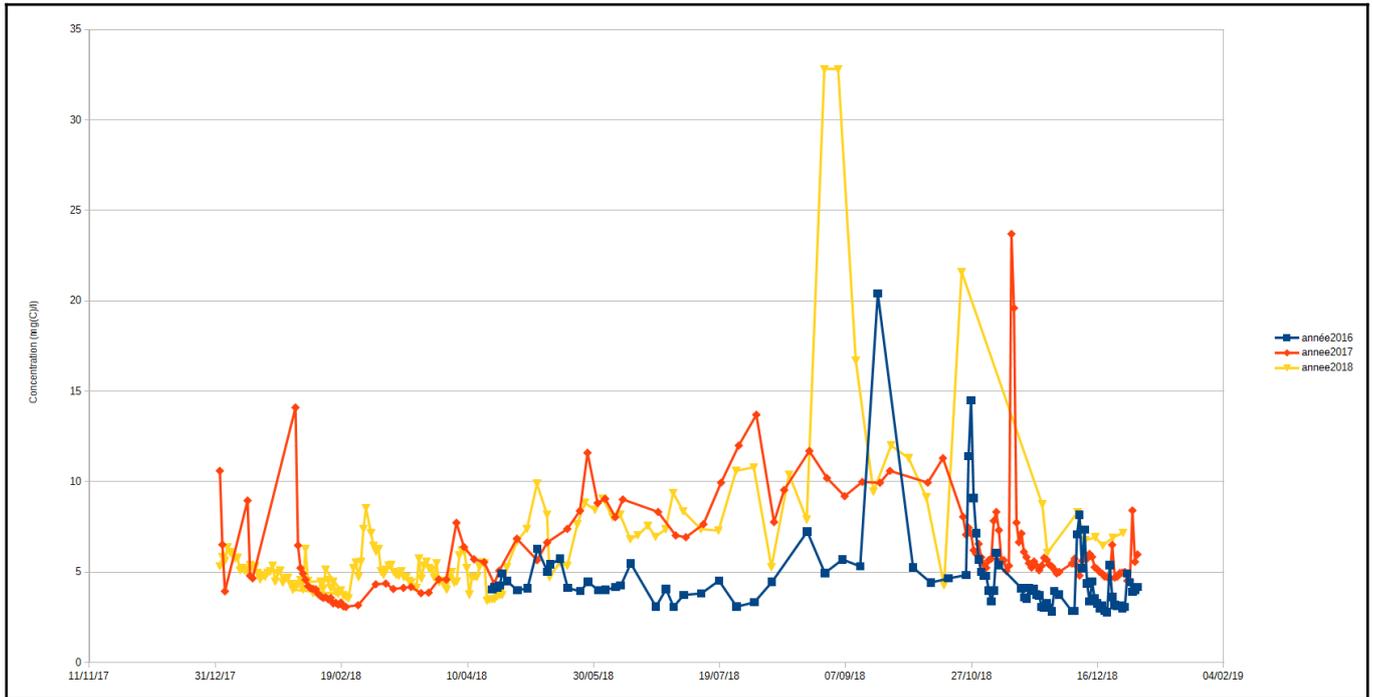
Annexe 26 : Secteur encore en eau pouvant constituer une zone refuge, Août 2018 (crédit : DDT du Doubs)



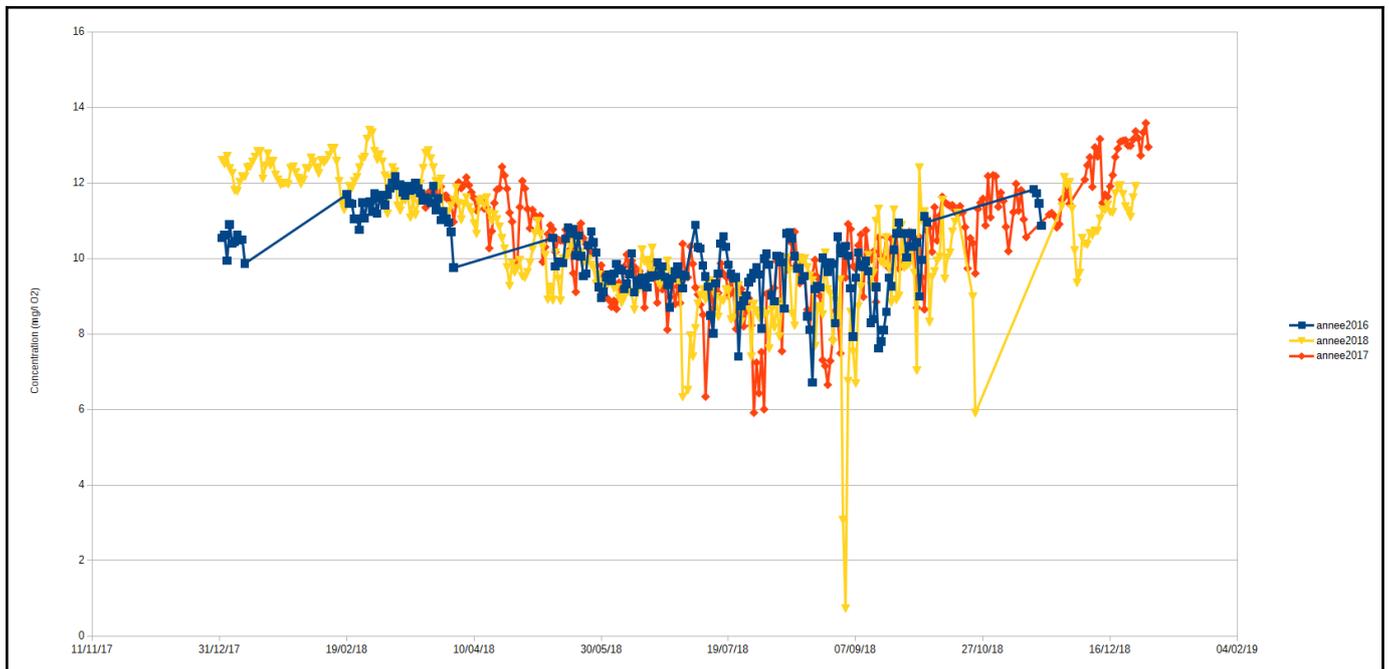
Annexe 27 : Evolution de la température en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)



Annexe 28 : Evolution de la concentration en nitrates en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)



Annexe 29 : Evolution de la concentration en Carbone Organique Total en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)



Annexe 30 : Evolution de la concentration en Oxygène Dissous en 2016, 2017 et 2018 (en jaune)

	Paramètres	Objectifs 2021 renforcés pour les paramètres biologiques et physico-chimiques 	Objectifs 2021 renforcés pour les paramètres IBGN et nitrates 	Mode de calcul (à la station)
Paramètres biologiques	IBGN	>19	>14	Moyenne pour les paramètres biologiques (idem DCE), avec possibilité, pour les paramètres IBGN et GFI, de moduler l'évaluation par expertise locale
	GFI	9		
	IBD	>18		
	IPR	0 à 7		
Paramètres physico-chimiques	O2 dissous	>8 mg/l		Percentile 90 pour physico-chimie, avec possibilité de repêchage pour certains paramètres lorsque les autres indicateurs sont bons (idem DCE)
	Tx sat O2	>90 %		
	DBO5	<3 mg/l		
	COD	<5 mg/l		
	Oxydabilité au permanganate	<3 mg/l		
	pH min	6,5		
	pH max	8,2		
	PO4 ³⁻	<0,1 mg/l		
	PT	<0,05 mg/l		
	NH4 ⁺	<0,1 mg/l		
	NO2 ⁻	<0,1 mg/l		
	NO3 ⁻	<2 mg/l	<10 mg/l	

Annexe 31 : Tableau des objectifs de qualité du Doubs amont fixés par le SAGE Haut-Doubs Haute-Loue (source : *Plan d'Aménagement et de Gestion Durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques, Haut-Doubs Haute-Loue*)

Paramètres	Station amont	Station aval
Débits moyens (m ³ /s)	5,22 (à Doubs station hydrologique la plus proche)	2,81
Température Moyenne (°C)	5	5
Ph	8	8

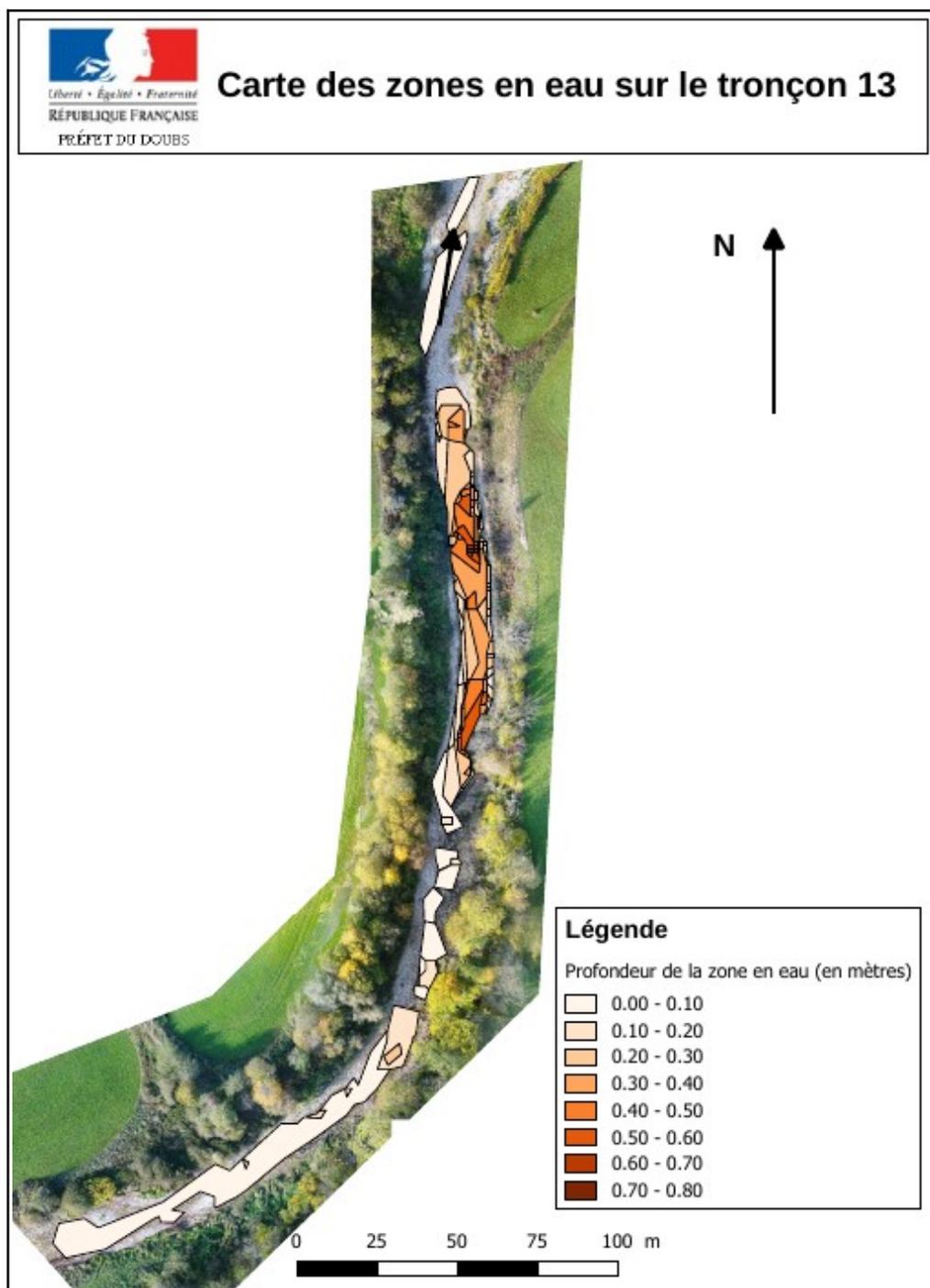
Annexe 32 : Conditions hydrologiques et physico-chimiques sur le Doubs amont au 1^{er} avril 2019



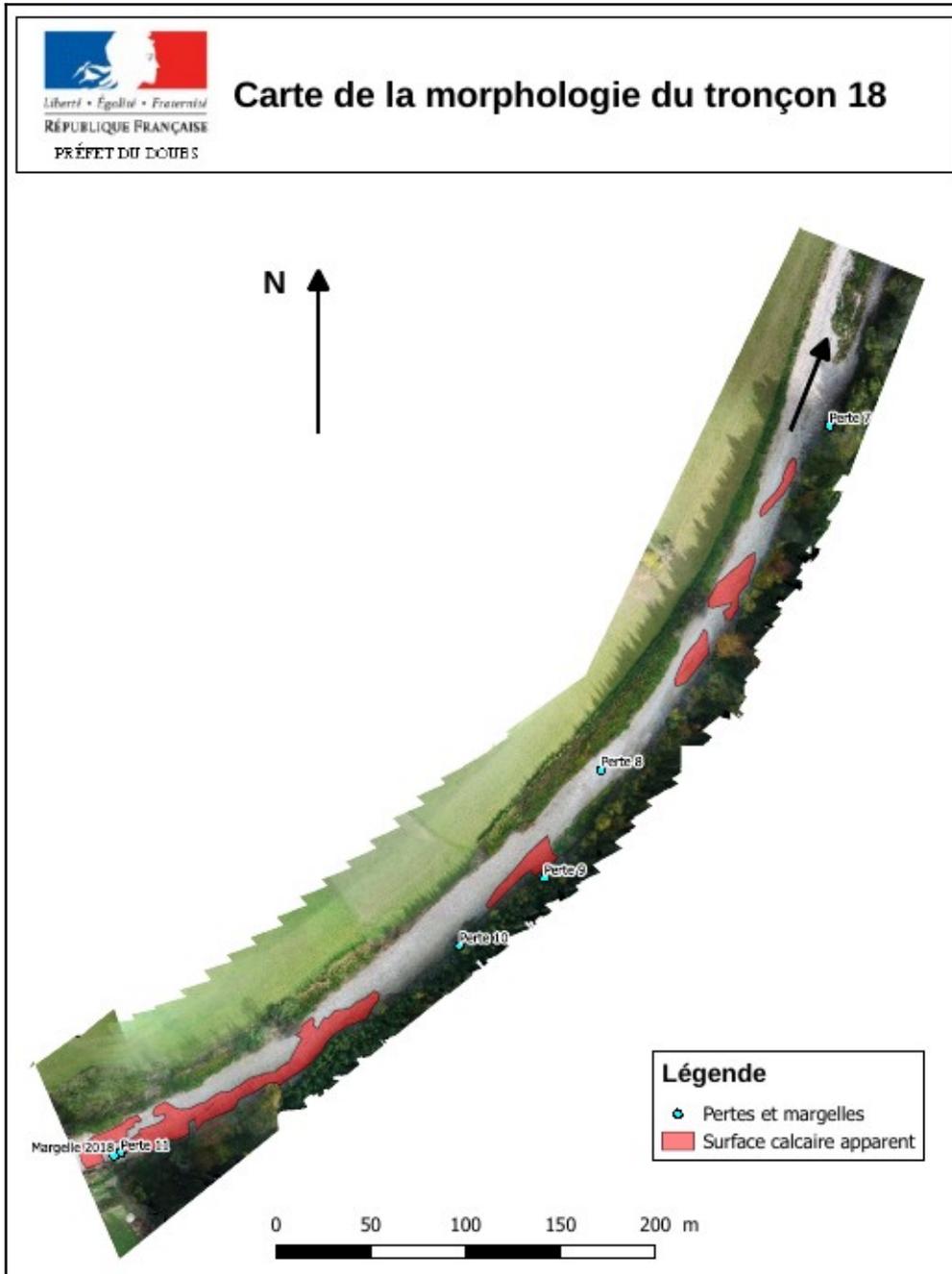
Annexe 33 : Mesure de la largeur de la rivière lors du premier prélèvements des macro-invertébrés au 1^{er} Avril 2019 (image personnelle)



Annexe 34 : Prélèvements des macro-invertébrés au 24 Mai 2019 (crédit : David Marquis)



Annexe 35 : Exemple de cartographie réalisée à partir des données issues du MNT du Doubs amont, détermination de la profondeur d'une zone refuge

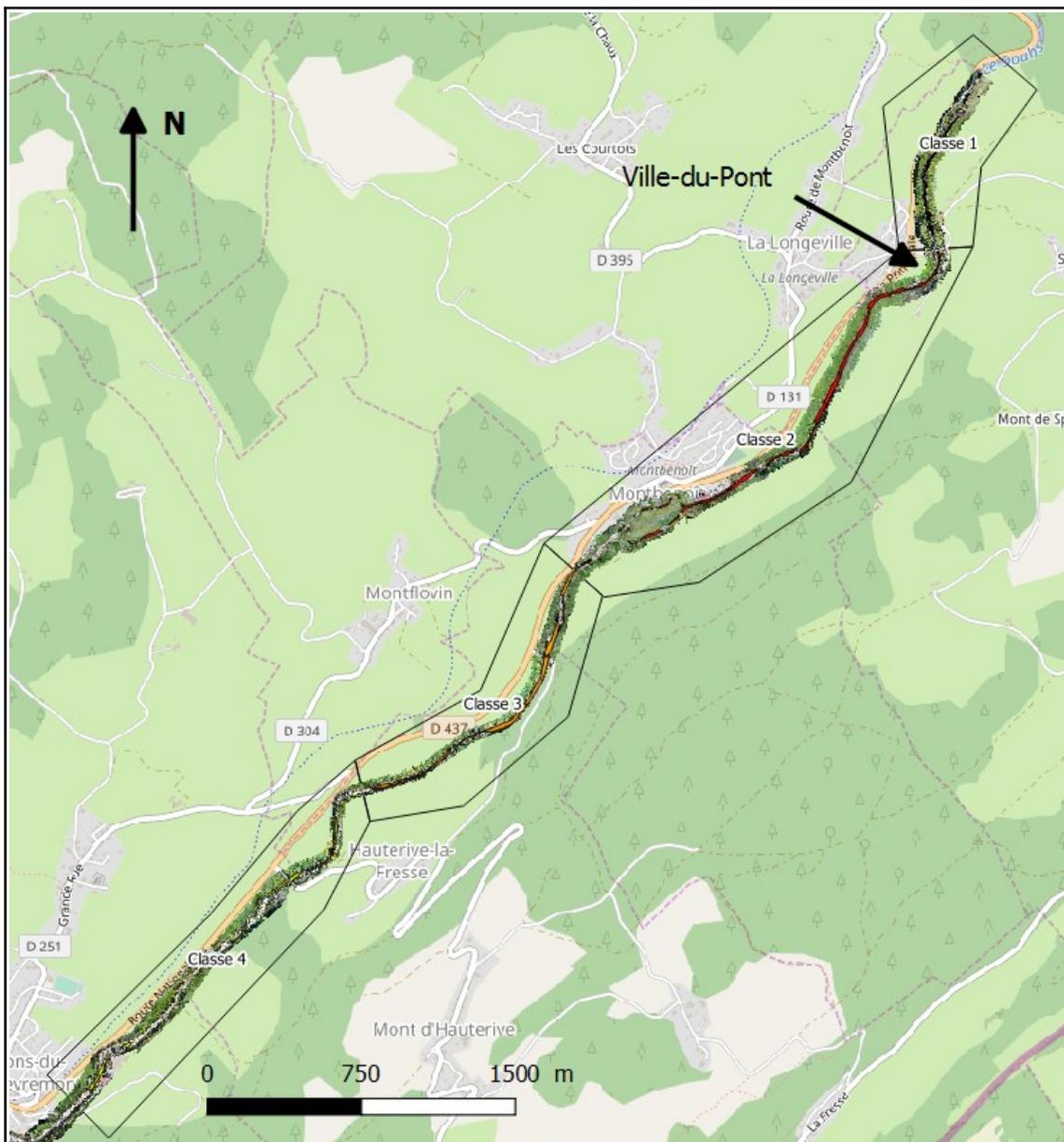


Annexe 36 : Exemple de cartographie réalisée à partir des données issues du MNT du Doubs amont, détermination des zones de calcaires apparents et de la localisation des pertes à partir des données du SMMAH

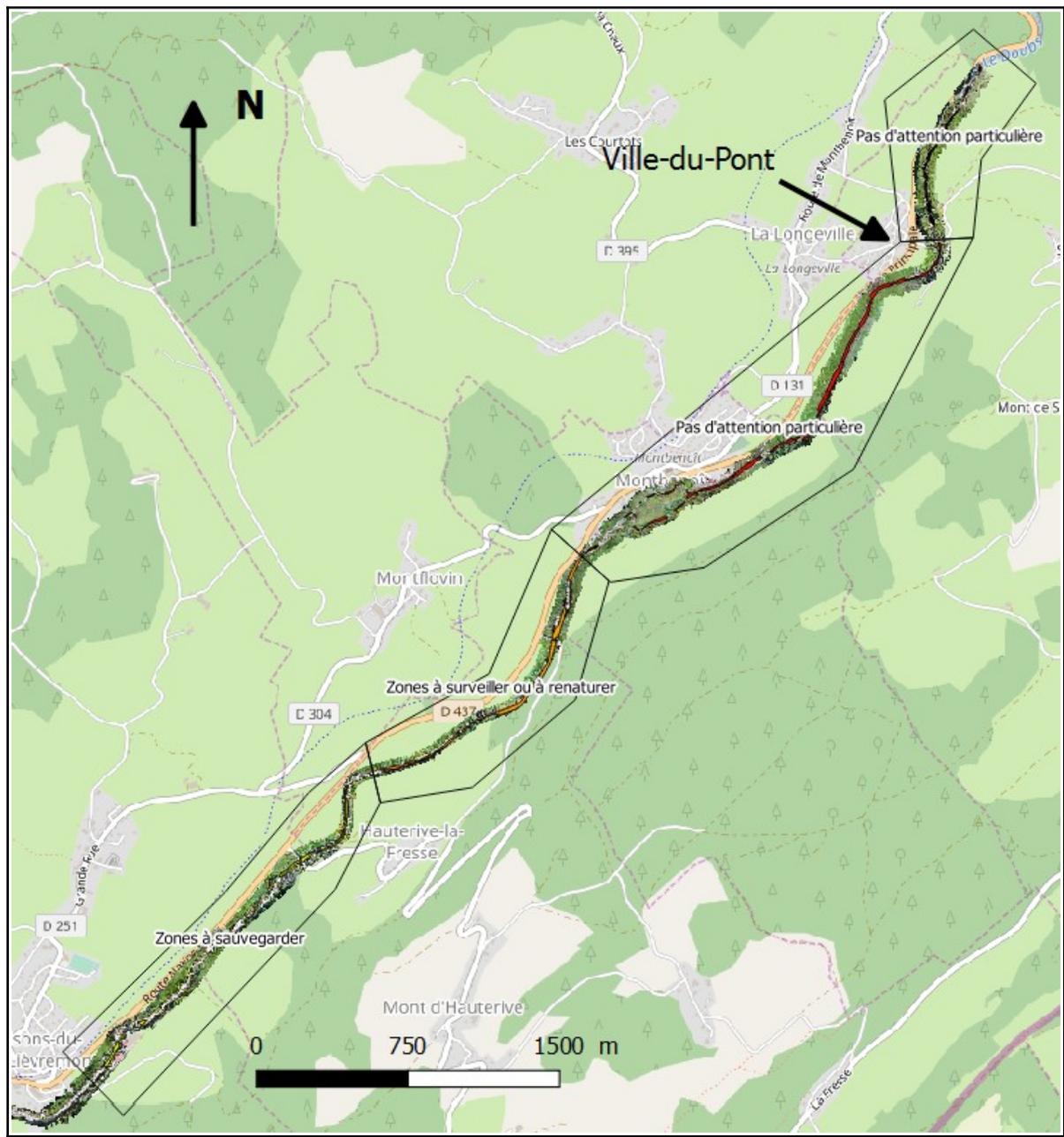
Annexe 37 : **Tableau de description des différents tronçons**

Seuls les tronçons comportant des zones en eau sont décrits

Tronçon	Nombre de zones en eau	Longueur	Largeur	Profondeur	Connexion amont-aval	Érosion possible	Obstacle à l'écoulement	Ripisylve	Classe de priorité	Sauvegarde
10	2 (1 grande, 1 petite)	140m et 40m	10 à 15m	0,6m et 0,2m en moyenne	non	non	seuil	sur les deux berges	1	oui
11	1	30m	10m	0,15m en moyenne	non	non	non	peu présente		non
12	3 (1 grande, 2 petites)	230m	10 à 20m	0,5m en moyenne	aval	possible	non	en rive droite	1	oui
13	1	200m	12 à 15m	0,6m et 0,2m en moyenne	amont	possible	non	rive gauche	1	oui
14	1	120m	18m	0,25m en moyenne	aval	non	non	rive droite	2	à surveiller
15	1	265m	20m	0,3m en moyenne	amont et aval	possible	non	rive droite	2	à surveiller
16	1	430m	15 à 35m	0,3m en moyenne	amont	possible	non	un peu en rive droite	2	à surveiller
17	2	380 et 230m	15 à 20m	0,3m en moyenne	aval	non	non	rive droite	3	pas de vigilance
18	2	400 et 285m	15m	0,3m en moyenne	amont et aval	non	non	peu présente	3	pas de vigilance
19	1	800m	15 à 20m	0,3m en moyenne	amont et aval	non	non	peu présente	3	pas de vigilance
20	1	600m	20m	0,2m en moyenne	amont	non	non	peu présente	4	non



Annexe 38 : Cartographie des zones de pêche de sauvegarde prioritaires (les classes sont identiques à celles du tableau de l'annexe 37)



Annexe 39 : Cartographie des secteurs de rivière à préserver ou à surveiller afin de ne pas dégrader les refuges pour la faune piscicole

Annexe 40 : Note de calcul sur le calcul du débit nécessaire à Oye-et-Pallet pour maintenir un bon niveau de qualité physico-chimique à Pontarlier.

Pour calculer ce débit amont, il a été nécessaire de s'intéresser aux chroniques de débit sur les stations hydrométriques de Pontarlier et de Oye-et-Pallet. L'objectif étant de repérer les années « similaires » à 2018.

Il s'agit donc de choisir les années où un débit d'étiage assez sévère a pu être observé pendant plusieurs semaines. Ce choix permet de s'affranchir des apports des différents ruisseaux situés entre les deux stations hydrométriques.

Une fois ces périodes déterminées, le rapport de débits $Q(\text{Pontarlier})/Q(\text{Oye-et-Pallet})$ est calculé pour chacune des années. Cependant, il est nécessaire de préciser que les débits mesurés à Oye-et-Pallet dépendent de l'ouverture du barrage (paramètre à déterminer ici) mais aussi par la cote NGF du lac Saint-Point.

Les rapports calculés des différentes années et le débit associé à ces rapports sont calculés dans le tableau ci-dessous. Lorsque ces années ont été repérées, ne sont sélectionnées que les périodes où le débit mesuré se situe dans les environs de 900 l/s et sur une durée similaire (c'est-à-dire deux à trois mois).

Les années sélectionnées et les périodes retenues sont les suivantes :

Année	Période retenue
2018	Août – Octobre
2009	Août – Septembre
2003	Juillet – Septembre
1998	Juin – Août
1990	Août – Septembre
1989	Août – Octobre

Une fois ces périodes déterminées, le rapport de débits $Q(\text{Pontarlier})/Q(\text{Oye-et-Pallet})$ est calculé pour chacune des années. Cependant, il est nécessaire de préciser que les débits mesurés à Oye-et-Pallet dépendent de l'ouverture du barrage (paramètre à déterminer ici) mais aussi par la cote NGF du lac Saint-Point.

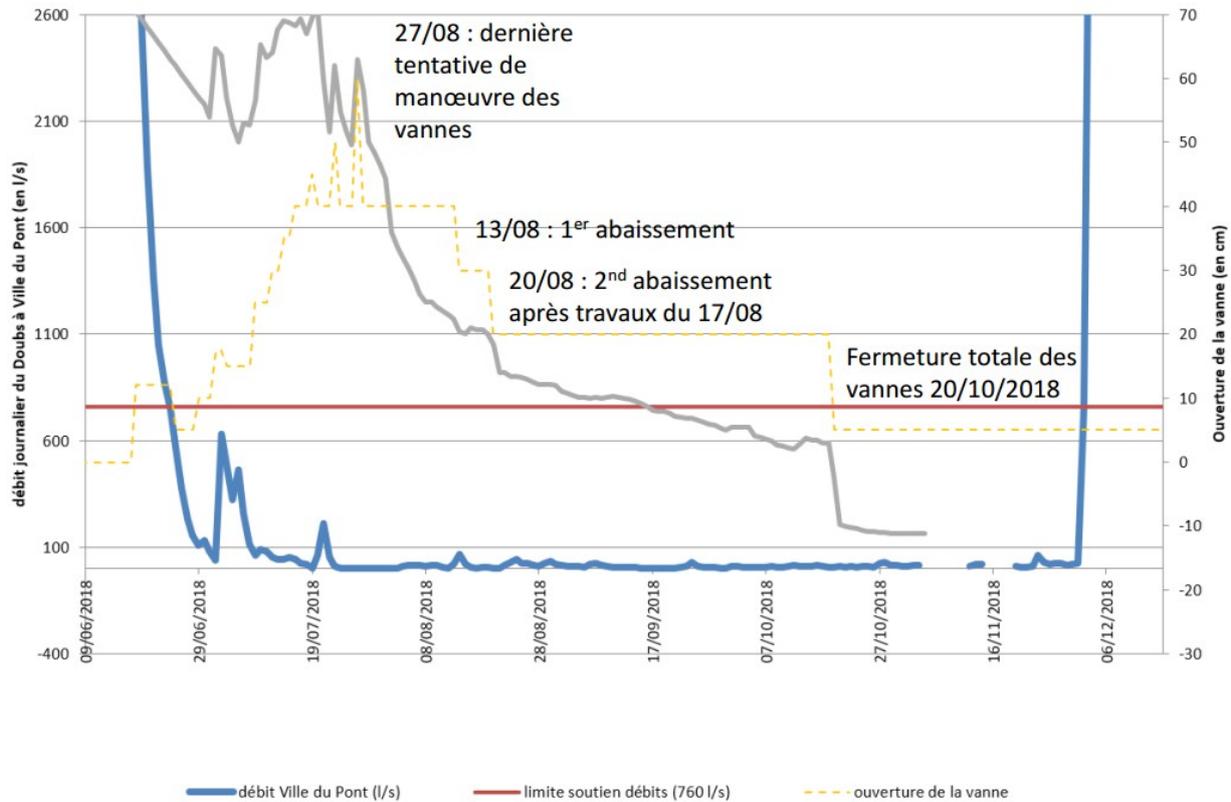
Les rapports calculés des différentes années et le débit associé à ces rapports sont calculés dans le tableau ci-dessous.

	Rapport moyen P/O	Débit à Oye et Pallet (l/s)
1989	0,98	882
1990	0,89	801
1998	0,89	801
2003	1,06	954
2009	0,78	702
2018	1,09	981
moyenne	0,95	853,5

La particularité des rapports ci-dessus est que la plupart des rapports sont inférieurs à 1, ce qui signifie que le débit aval est en majorité supérieur au débit amont. La moyenne de l'ensemble des rapports des différentes années donnent une moyenne de **débit de 853,5 l/s à Oye-et-Pallet**. En faisant la moyenne de cette manière, la possibilité du remaniement du

substrat en 2018 qui aurait entraîné une augmentation des pertes supplémentaires est occultée.

La dernière étape consiste à associer ce débit à l'ouverture du barrage. Pour ce faire, l'historique des différentes ouvertures de barrages en fonction du débit est utilisé.



Graphique reliant l'ouverture du barrage avec les débits à Ville-du-Pont (EPTB Saône Doubs)

En se référant aux différentes dates et débits mesurés à l'aval du barrage en 2018, **l'ouverture de barrage** correspondant à un débit de 850 l/s se situe **entre 15 et 20 centimètres**.

Cette idée d'ouverture reste soumise à la côte du lac, qui en 2018, pendant la période d'étiage était à une côte NGF d'environ 849,12.

Il faut enfin préciser que bien que le débit calculé à Oye-et-Pallet soit plus faible que celui à Ville-du-Pont, ce résultat ne semble pas incohérent en raison de la présence d'une zone humide sur ce secteur. En effet, les différentes observations du SMMAHAD ont permis de mettre en évidence qu'une partie du débit provenant du lac serait récupérée par ce système naturel avant d'être redistribuée à l'aval, sans être comptée par la station hydrométrique de Oye-et-Pallet. Enfin, il est aussi reconnu que le barrage possède des fuites (en raison de son ancienneté) qui rendent incertaine la liaison entre débit aval et ouverture de la retenue d'eau.