



## Prélèvements et analyses de la qualité des eaux en amont et en aval du barrage de Beaulieu (10)



### Présentation et interprétation des résultats de 2021

Rapport n°21F9AC024  
Version 1 du 05/11/2021

Site de Maxéville	<i>Rédacteur</i>	<i>Relecteur</i>
	CARREY Antonin Chef de Service Hydrobiologie 	HUEBER Matthieu Technicien hydrobiologiste 

# Sommaire

## **PARTIE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE**

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	4
2	SITES D'ETUDE .....	5
3	CONDITIONS HYDROLOGIQUES.....	6
4	METHODE : PRELEVEMENTS D'EAU ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES .....	7
4.1	METHODE DE PRELEVEMENTS ET MESURES IN SITU .....	7
4.2	METHODES ANALYTIQUES DE LABORATOIRE .....	7
4.3	INTERPRETATION DES RESULTATS.....	8
5	METHODE : PRELEVEMENTS ET ANALYSES HYDROBIOLOGIQUES .....	10
5.1	MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE MGCE .....	11
5.2	MISE EN ŒUVRE DE L'IBD.....	18
5.3	MISE EN ŒUVRE DE L'IPR .....	19

## **PARTIE 2 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

6	PHYSICO-CHIMIE.....	28
7	HYDROBIOLOGIE.....	29
7.1	LA SEINE EN AMONT DU BARRAGE DE BEAULIEU.....	30
7.2	LA SEINE EN AVAL DU BARRAGE DE BEAULIEU.....	36
7.3	COMPARAISON AMONT-AVAL .....	42
8	CONCLUSIONS.....	43
	ANNEXE 1 : RAPPORTS D'ANALYSES.....	44

### Liste des figures

<i>Figure 1 : Localisation de la zone d'étude .....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2 : Localisation des points de prélèvement .....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3 : Schéma représentatif des différents zones d'un grand cours d'eau.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 4 : Logigramme décisionnel de la méthode de prospection à mettre en œuvre .....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 5 : Photographies de la Seine en amont du barrage de Beaulieu .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 6 : Caractéristiques écologiques du peuplement de macroinvertébrés de la station amont .....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 7 : Caractéristiques écologiques du peuplement de diatomées de la station amont.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 8 : Caractéristiques écologiques du peuplement de poissons de la station amont.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 9 : Photographies de la Seine en aval du barrage de Beaulieu .....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 10 : Caractéristiques écologiques du peuplement de macroinvertébrés de la station aval.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 11 : Caractéristiques écologiques du peuplement de diatomées de la station aval .....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 12 : Caractéristiques écologiques du peuplement de poissons de la station aval.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 13 : Résumé des qualités biologiques, physico-chimiques et écologiques en amont et en aval du barrage de Beaulieu .....</i>	<i>43</i>

### Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Méthodes d'analyses physico-chimiques mises en œuvre.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 2 : Limites des classes d'état par paramètre selon l'arrêté du 27 juillet 2018. ....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 3 : Indices et classes de qualité selon le SEQ-Eau V2.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 4 : Catégories de pression considérées dans le développement de l'I2M2 (Mondy et al. 2012) .....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 5 : Limites des classes d'état en fonction de la note IBG-DCE et de l'I2M2 selon arrêté du 27 juillet 2018.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 6 : Classes de qualité biologique pour l'IBD.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 7 : Classification de Van Dam et Al (1994) – Tableau extrait de OMNIDIA v5.3 .....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 8 : Métriques de l'IPR (source ONEMA).....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 9 : Classes de qualité biologique selon l'IPR .....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 10 : Etat physico-chimique de la Seine le 1er septembre 2021 .....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 11 : Qualité biologique de la Seine à Beaulieu en 2021.....</i>	<i>29</i>

# PARTIE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE

## 1 Contexte et objectifs de l'étude

Le barrage de Beaulieu situé sur l'itinéraire Seine amont, au point kilométrique 23,50 dans le département de l'Aube (10), doit être remplacé par un nouveau barrage mécanisé et automatisé. Les études de projet de reconstruction du barrage de Beaulieu ont permis d'aboutir à la définition de l'implantation du futur barrage en amont de l'existant, associé à la réalisation d'un ouvrage de franchissement piscicole en berge sur la rive droite.

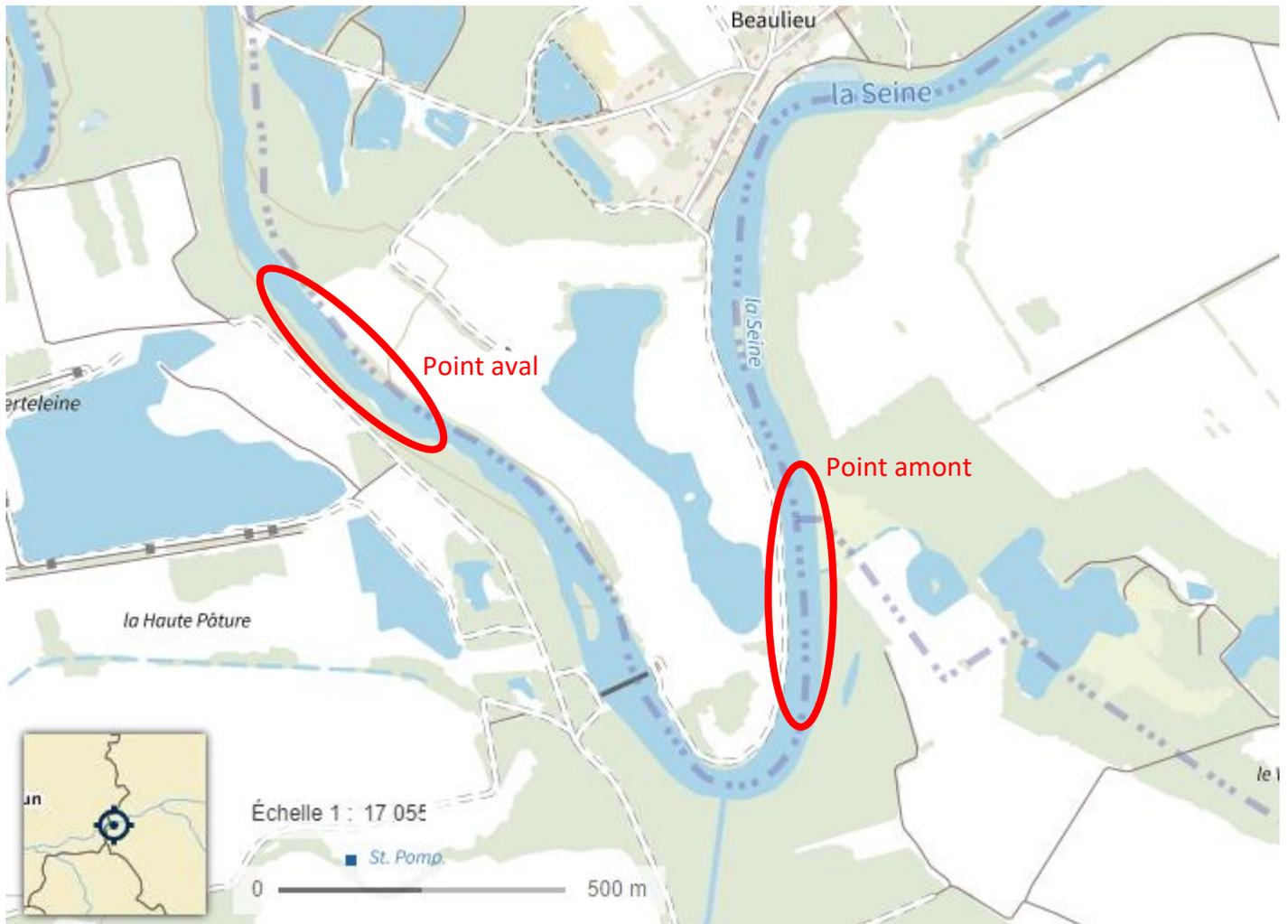
Dans le cadre de la réalisation du dossier Loi sur l'eau pour les futurs travaux (10), VNF a mandaté Eurofins Hydrobiologie France pour réaliser des mesures hydrobiologiques et physico-chimiques afin d'évaluer l'état initial de la qualité des eaux de la Seine au niveau du barrage existant.

Les prélèvements ont été réalisés sur la Seine en amont et en aval du barrage de Beaulieu du 30 août au 1er septembre 2021 pour étudier les peuplements biologiques et les principaux paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau.

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats des mesures réalisées lors de cette campagne d'été 2021.



Figure 2 : Localisation des points de prélèvement



### 3 Conditions hydrologiques

*NB : En ce qui concerne les conditions hydrologiques, la banque hydro est actuellement indisponible. Les données pourront être rajoutées ultérieurement.*

## 4 METHODE : Prélèvements d'eau et analyses physico-chimiques

### 4.1 Méthode de prélèvements et mesures in situ

#### 4.1.1 Prélèvements d'eau et mesures physico-chimiques in situ

##### → Prélèvement d'échantillons ponctuels

Les normes et guides suivants ont été mis en œuvre:

- **NF EN ISO 5667-6 Qualité de l'eau – Echantillonnage – Partie 6 : Guide général pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau.**
- **T90-523-1 guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement – Partie 1 : prélèvement d'eau superficielle.**
- **Guide technique de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne : Guide technique d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques - Agence de l'Eau Loire Bretagne, novembre 2006, 130 p.**

Les prélèvements d'eau sont effectués au niveau de chaque station dans le chenal principal, face au courant à une profondeur voisine de 30 centimètres dans une zone de mélange des eaux afin d'être les plus représentatifs possible de la qualité du cours d'eau.

### 4.2 Méthodes analytiques de laboratoire

Les différentes méthodes analytiques mise en œuvre sont détaillées ci-dessous :

Tableau 1 : Méthodes d'analyses physico-chimiques mises en œuvre

Paramètres	Unités	Méthode d'analyse	LQ
Température de l'eau sur site	°C	Méthode interne	-2
Oxygène dissous in situ	mg O <sub>2</sub> /l	NF ISO 17289	0,5
Saturation en oxygène	%	NF ISO 17289	0
Conductivité (in situ)	µS/cm	NF EN 27888	5
pH	Unités pH	NF EN ISO 10523	2
Demande Biochimique en Oxygène (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	NF EN 1899-2	0,5
ST-DCO	mg O <sub>2</sub> /l	ISO 15705	5
Matières en suspension (MES)	mg/l	NF EN 872	2
Turbidité	NFU	NF EN ISO 7027-1	0,1
Phosphore (P)	mg/l	NF EN ISO 17294-2	0,01
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg NH <sub>4</sub> /l	NF ISO 15923-1	0,05
Nitrates	mg NO <sub>3</sub> /l	NF EN ISO 10304-1	0,5
Nitrites	mg NO <sub>2</sub> /l	NF EN ISO 10304-1	0,01
Orthophosphates (PO <sub>4</sub> )	mg PO <sub>4</sub> /l	NF ISO 15923-1	0,02

### 4.3 Interprétation des résultats

Les résultats d'analyses sont interprétés selon les grilles de l'arrêté du 27 juillet 2018<sup>1</sup> relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface en métropole et selon les grilles du SEQ-Eau version 2.

✓ Evaluation selon les grilles de l'arrêté du 27 juillet 2018 :

Les éléments physico-chimiques généraux interviennent essentiellement comme facteurs explicatifs des conditions biologiques. Pour la classe de bon état et les classes inférieures, les valeurs seuils de ces éléments physico-chimiques sont fixées de manière à respecter les limites de classes établies pour les éléments biologiques, censées traduire le bon fonctionnement des écosystèmes.

Le tableau ci-après indique les valeurs des limites de classe pour ces paramètres physico-chimiques généraux.

Tableau 2 : Limites des classes d'état par paramètre selon l'arrêté du 27 juillet 2018.

Paramètres par élément de qualité (unités)	Code	Limites des classes d'état			
		Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
<b>Bilan de l'oxygène<sup>1</sup></b>					
Oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> /l)	1311	8	6	4	3
Taux de saturation en O <sub>2</sub> dissous (%)	1312	90	70	50	30
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	1313	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C/l)	1841	5	7	10	15
<b>Température<sup>2</sup></b>					
Eaux salmonicoles	1301	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles		24	25,5	27	28
<b>Nutriments</b>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	1433	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg P/l)	1350	0,05	0,2	0,5	1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	1335	0,1	0,5	2	5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /l)	1339	0,1	0,3	0,5	1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	1340	10	50	*	*
<b>Acidification<sup>1</sup></b>					
pH minimum	1302	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum		8,2	9	9,5	10
<b>Salinité</b>					
Conductivité	1303	*	*	*	*
Chlorures	1337	*	*	*	*
Sulfates	1338	*	*	*	*
<sup>1</sup> Acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon état, le pH min est compris entre 6,0 et 6,5 ; le pH max entre 9,0 et 8,2. <sup>2</sup> Pour l'élément de qualité température, un paramètre supplémentaire « intermédiaire » non référencé ici est également utilisé. Pour ce dernier, il est recommandé d'utiliser les limites de classe du paramètre « salmonicoles ». * : les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.					

Les limites de chaque classe sont prises en compte de la manière suivante : [valeur de la limite supérieure (exclue), valeur de la limite inférieure (inclue)]

<sup>1</sup> Arrêté du 27 juillet 2018 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.

*NB : Dans l'attente de la détermination de valeurs fiables adaptées aux différents types de masses d'eau de surface, les valeurs des limites de classes entre le bon et le très bon état des paramètres physico-chimiques généraux sont à considérer à titre indicatif.*

✓ Evaluation selon le SEQ-EAU V2

L'utilisation du SEQ-Eau permet d'apprécier la classe de qualité retenue pour les paramètres non pris en compte dans l'arrêté du 27 juillet 2018, notamment les paramètres liés à la conductivité et à la turbidité de l'eau

Toutefois le SEQ-Eau ne constitue plus le référentiel officiel d'évaluation de la qualité des eaux. Il est désormais remplacé par le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (SEEE), en application de la Directive Cadre sur l'Eau.

Le SEQ-Eau est basé sur la notion d'altération. Cet outil permet d'évaluer pour chaque altération la qualité physico-chimique de l'eau d'une part, et l'incidence de cette qualité sur la biologie et les usages de l'eau d'autre part.

Ce système permet de définir 5 classes de qualité des cours d'eau pour chaque altération en fonction de la valeur de l'indice de qualité, lui-même calculé à partir des concentrations mesurées pour les différents paramètres :

*Tableau 3 : Indices et classes de qualité selon le SEQ-Eau V2*

Classe	Indice de qualité	Définition de la classe de qualité
Bleu	80 à 100	Eau de très bonne qualité
Vert	60 à 79	Eau de bonne qualité
Jaune	40 à 59	Eau de qualité moyenne
Orange	20 à 39	Eau de qualité médiocre
Rouge	0 à 19	Eau de mauvaise qualité

## 5 METHODE : Prélèvements et analyses hydrobiologiques

Les activités humaines exercent des pressions se traduisant par des impacts multiples sur les milieux aquatiques : pollutions chimiques, anthropisation des territoires, altérations hydromorphologiques, etc. Régis par des interactions complexes souvent mal connues, les impacts de ces cumuls de pressions ne peuvent pas être étudiés que sur la seule base de la connaissance de la composition chimique des eaux : le meilleur reflet de l'état de santé d'un milieu est alors fourni par les caractéristiques biologiques des communautés qui y vivent. Ainsi, l'adoption de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) en 2000 a institué les bioindicateurs comme les véritables « juges de paix » de l'état écologique des masses d'eau.

Les bioindicateurs développés pour l'étude des milieux aquatiques sont des indicateurs constitués par un groupe d'espèces ou un groupement végétal dont la présence renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement, ou sur l'incidence de certaines pratiques sur la qualité de l'écosystème considéré. Ainsi, toute modification de la composition des communautés vivantes hébergées par un milieu aquatique est la preuve d'une perturbation subie par l'écosystème. Parmi ces bioindicateurs, un compartiment est particulièrement étudié :

- Les invertébrés benthiques au travers de l'**MGCE (Méthode Grand Cours d'Eau)**

Cette méthode standardisée est utilisée en hydrobiologie afin de déterminer la qualité biologique globale d'un cours d'eau. La méthode utilise l'identification des différents macroinvertébrés d'eau douce présents sur un site pour calculer une note. Cette note est basée sur la présence ou l'absence de certains taxons bioindicateurs polluo-sensibles (qui tendent à disparaître sous l'effet d'une altération de la qualité du milieu) ainsi que sur la richesse faunistique globale du site (biodiversité). Avec un cycle de vie à l'échelle annuelle, les invertébrés sont ainsi des « intégrateurs moyen terme » de la qualité du milieu. Leur dépendance à la fois vis-à-vis de la qualité de l'habitat physique et de la qualité physico-chimique des eaux en fait un indicateur « global » de la qualité de l'écosystème.



- Les diatomées épilithiques au travers de l'**IBD (Indice Biologique Diatomées)**

Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires microscopiques qui colonisent notamment la surface des pierres des cours d'eau. Essentiellement sensible à la composition physico-chimique des eaux, chaque espèce présente une capacité propre à supporter différents paramètres comme les concentrations de matières organiques et de nutriments (azote et phosphore). Avec un cycle de développement plus court que celui des macroinvertébrés (quelques semaines), elles sont plus réactives face à la fluctuation de la qualité biologique des écosystèmes aquatiques. Peu dépendantes de la qualité de l'habitat, elles sont essentiellement utilisées pour décrire la qualité physico-chimique globale des eaux d'un site.



A l'inverse de l'IBD qui tient compte d'une partie des taxons d'un inventaire, l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS) est basé sur l'abondance et la sensibilité spécifique de tous les taxons inventoriés. Il est ainsi particulièrement sensible aux altérations de la qualité physico-chimie de l'eau.

- Les poissons au travers de l'**IPR (Indice Poisson Rivière)**

La faune piscicole peut être appréhendée à travers le calcul d'un indice comme l'indice poisson rivière (IPR). L'IPR est basé sur une étude du peuplement piscicole par pêche électrique. Il est calculé à partir de 7 métriques qui décrivent les caractéristiques du peuplement sur la base de sa diversité et de son abondance ainsi que des différents types écologiques des espèces présentes : type d'habitat, régime alimentaire, tolérance aux altérations du milieu. L'indice mesure un écart entre le peuplement étudié et une situation de référence, fonction du type de cours d'eau.



## 5.1 Mise en œuvre de la méthode MGCE

### 5.1.1 Normes et guides

- Norme NF T90-337 (mars 2019) « Qualité de l'eau – Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières profondes et canaux » ;
- Norme NF T90-388 (décembre 2020) « Qualité de l'eau – Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macroinvertébrés de cours d'eau » ;
- Guide d'application GA T90-788 (Mars 2015) « Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme expérimentale XP T90-388 (Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau) » ;
- LAB GTA41 du COFRAC « Analyses biologiques des milieux aquatiques ».

### 5.1.2 Prélèvements des échantillons

Des profils de profondeurs sont tout d'abord réalisés sur des transects au sein de la station afin de définir la profondeur maximale et délimiter les différentes zones en vue d'établir le plan d'échantillonnage.

Les trois zones de prélèvement sont ainsi identifiées sur la station :

- **La zone de berge** est une zone de faible profondeur ( $\leq 1$  m environ) dont la distance à une rive (ou à un îlot) est au plus égale à 5 % environ de la largeur mouillée moyenne (ou du bras délimité par la rive et cet îlot) à la date d'échantillonnage, au niveau du point de prélèvement. Les habitats de la zone de berge, souvent les plus biogènes seront considérés comme marginaux à l'échelle du point de prélèvement
- **La zone profonde** est une zone de profondeur voisine de la profondeur maximale sur le point de prélèvement, non accessible à pied, de faible pente moyenne. Les habitats de la zone profonde les plus représentatifs seront considérés comme dominants à l'échelle du point de prélèvement
- **La zone intermédiaire** est une « zone de plus ou moins forte pente, de profondeur inférieure à environ 70% de la profondeur maximale sur un point de prélèvement, en continuité avec la zone de berge et à la limite du chenal dans les rivières à chenal unique. Les habitats de la zone intermédiaire seront également considérés comme dominants à l'échelle du point de prélèvement

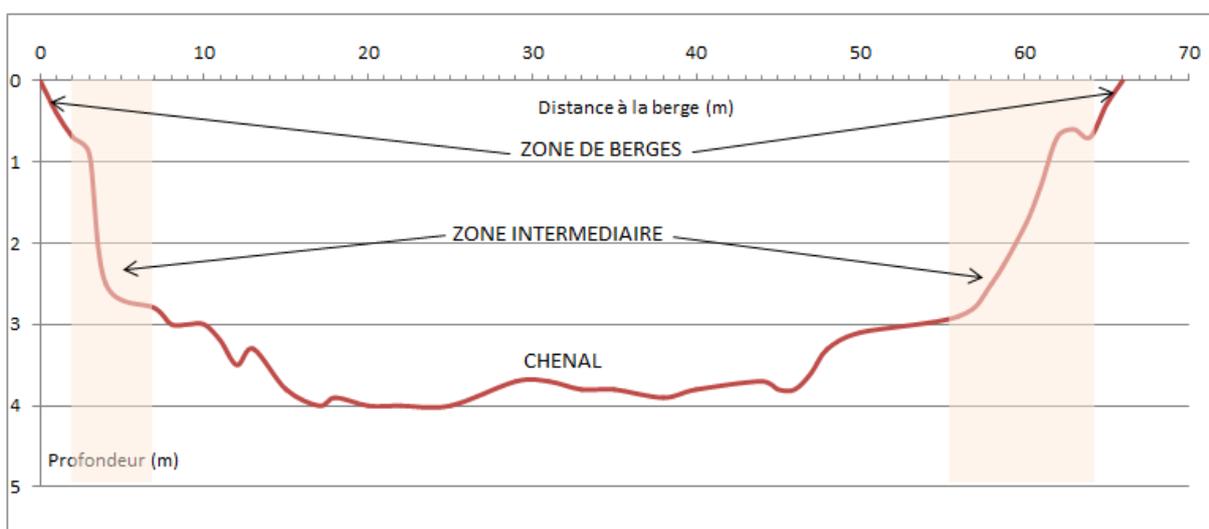


Figure 3 : Schéma représentatif des différents zones d'un grand cours d'eau

Des transects sont réalisés à l'aide d'un éco-sondeur afin de définir la zone intermédiaire et de réaliser des profils de profondeur. Le nombre de transects varie de 4 à 5 en fonction de la complexité morphologique du cours d'eau.

Une fois le repérage des zones effectué, le plan d'échantillonnage prévisionnel est défini. Quatre prélèvements élémentaires seront réalisés dans chacune des trois zones et utilisant pour chacun l'une des trois techniques de prélèvements possibles : utilisation du filet Surber ou Haveneau, dragage ou pose de substrat artificiel.

#### □ Phase A : échantillonnage de la zone de berge

Les différents substrats représentatifs de la zone de berge sont identifiés et leur surface relative est évaluée de manière semi-quantitative au sein de la zone de berge, en utilisant 3 modalités renseignées dans la colonne « recouvrement zone de berge » de la feuille d'échantillonnage :

- « + » = faible surface de recouvrement du substrat (< 10% de la zone de berge sur le point de prélèvement)
- « ++ » = surface de recouvrement moyenne (≥ 10-50% de la zone de berge sur le point de prélèvement)
- « +++ » = surface de recouvrement importante (≥ 50% de la zone de berge sur le point de prélèvement)

Dans la zone de berge, 4 prélèvements unitaires sont réalisés au filet Surber ou Haveneau dans l'ordre d'habitabilité décroissante.

#### □ Phase B : échantillonnage de la zone profonde

La zone profonde est prospectée par dragage du fond à partir d'une embarcation en cherchant à obtenir une image représentative des habitats profonds présents. Il est réalisé 4 dragages répartis sur toute la longueur du point de prélèvement et sur toute la largeur de la zone du chenal.

Les dragues utilisées sont constituées d'un cadre triangulaire en fonte de 39 cm environ d'ouverture pour les substrats les plus grossiers ou d'un cadre cylindro-conique de 30 cm environ de diamètre d'ouverture pour les substrats fins. Les cadres sont équipés d'un filet de 0,5 mm de vide de maille. Les cadres sont reliés à une chaîne et sont tractés à partir d'une embarcation motorisée.

#### □ Phase C : échantillonnage de la zone intermédiaire

Au cours de cette phase, la méthode de prélèvement dépend de la nature et de l'accessibilité des substrats. Ainsi les prélèvements peuvent être réalisés au filet Surber ou Haveneau ou par dragage en fonction de l'accessibilité des substrats.

- Si l'ensemble de la zone intermédiaire est accessible à pied (ZI(A)), alors 4 prélèvements sont réalisés à l'aide du Surber ou du Haveneau.
- Si une partie des types de substrat de la zone intermédiaire est accessible à pied, il faut alors associer 2 prélèvements au filet dans la zone accessible à pied (ZI(A)) à 2 prélèvements dans la zone profonde (> 1 m = ZI(NA)) réalisés avec une technique d'échantillonnage à adapter en fonction de la nature du substrat
- Si tous les types de substrat de la zone intermédiaire ne sont pas accessibles, 4 dragages sont réalisés

Les échantillons sont conditionnés dans des flacons plastiques à ouverture large de 0,5 à 2 Litres selon le volume du prélèvement, et munis d'une capsule d'étanchéité puis fixés sur le terrain par ajout d'alcool à 96 %.

### 5.1.3 Analyse au laboratoire

Les échantillons subissent d'abord un lavage pour éliminer l'excédent d'éthanol, puis les opérateurs extraient les organismes à la pince fine sous loupe éclairante.

L'identification des organismes s'effectue ensuite sous loupe binoculaire à un grossissement maximum de x90. Les déterminations seront réalisées à l'aide de l'ouvrage de référence : « Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie » (Tachet et al. 2010).

Le niveau taxonomique de détermination utilisé est celui fixé dans la norme XP T90-388 : le Genre pour la plupart des taxons.

### 5.1.4 Calcul de l'I2M2

Dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), l'université de Lorraine a développé un nouvel indice concernant le compartiment « invertébrés benthiques » en cours d'eau : l'Indice Invertébrés Multi-Métrique (I2M2), en collaboration avec l'IRSTEA et avec la coordination du Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie ainsi que de l'ONEMA. Cet indice, amené à remplacer l'indice IBG-DCE, doit permettre d'évaluer de manière fiable et performante l'état écologique des cours d'eau français.

Les données faunistiques obtenues avec ces nouveaux protocoles de terrain et de laboratoire ont été utilisées dans la construction du nouvel « Indice Invertébrés Multi-Métrique » (I2M2), les données biotiques d'entrée étant issues des « réseaux de référence » et « RCS » de 2005 à 2008, soit plus de 4000 opérations de prélèvements représentant des situations perturbées ou non (peu au minimum).

Ce sont également ces protocoles d'échantillonnage (XP T90-333 de septembre 2009) et de traitement des échantillons au laboratoire (XP T90-388 de juin 2010) qui ont été retenus pour la mise en œuvre et le calcul de l'I2M2.

Pour ce qui est des données abiotiques, les paramètres physicochimiques sont issus du SEQ-eau et les paramètres hydromorphologiques de données d'occupation du sol et de SYRAH. Ces données sont regroupées en 17 catégories de pressions (10 pour la physico-chimie et 7 pour l'hydromorphologie), voir le tableau ci-après :

Tableau 4 : Catégories de pression considérées dans le développement de l'I2M2 (Mondy et al. 2012)

Physicochimie	Hydromorphologie
<b>Matières organiques et oxydables (MOOX)</b>	Voies de communication
<b>Matières azotées (hors nitrates)</b>	Couverture de la ripisylve
<b>Nitrates</b>	Urbanisation
<b>Matières phosphorées</b>	Risque de colmatage
<b>Matières en suspension (MES)</b>	Instabilité hydrologique
<b>Acidification</b>	Degré d'anthropisation
<b>Micropolluants minéraux (e.g. métaux)</b>	Intensité de la rectification
<b>Pesticides</b>	
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques</b>	
<b>Autres micropolluants organiques</b>	

Dans sa version actuelle, l'I2M2 est constitué de 5 métriques liées à la structure et au fonctionnement des peuplements d'invertébrés benthiques :

- l'indice de diversité de Shannon calculé sur la faune des habitats dominants (B1 + B2) ; il permet d'évaluer l'hétérogénéité du milieu en prenant en compte l'équilibre du peuplement au travers de la richesse taxonomique totale et l'abondance relative de chaque taxon ;
- la valeur de l'ASPT (« Average Score Per Taxon » ; Armitage et al. 1983), calculé encore sur les habitats dominants représentatifs (B2 + B3) ; cet indice est basé sur le niveau moyen de polluosensibilité du peuplement au travers d'une note individuelle de polluosensibilité affectée à chaque taxon (entre 0 et 10) ; cet indice semble bien répondre aux apports organiques et à l'eutrophisation ;
- la fréquence relative des espèces polyvoltines dans tous les habitats (B1+B2+B3) ; en pratique, ce trait biologique favorise la recolonisation de milieu préalablement impactés ;
- la fréquence relative des espèces ovovivipares dans tous les habitats (B1+B2+B3) ; ce mode de reproduction favorise la survie embryonnaire par rapport aux pontes classiques dans un milieu soumis à perturbations ;
- la richesse taxonomique de l'ensemble des 12 habitats échantillonnés (B1+B2+B3), selon les niveaux de détermination indiqués dans l'annexe B de la publication de présentation de l'I2M2 (C. Mondy et al./Ecological indicators 18 (2012) 452-467). Ces niveaux de détermination s'approchent de ceux de la norme laboratoire (XP T90-388) ; cette métrique simple permet de bien discriminer les stations de référence des stations perturbées.

Ces 5 métriques ont été sélectionnées statistiquement, parmi 30 métriques candidates, comme les plus robustes et pertinentes à l'intégration dans l'indice final selon les critères suivants :

- métriques généralistes avec une réponse significative à au moins 7 des 10 catégories de pressions relatives à la qualité de l'eau ainsi qu'à 5 des 7 pressions relatives à l'hydromorphologie et l'occupation du sol ;
- efficacité de discrimination entre des peuplements soumis ou non à perturbation ;
- stabilité en situation « non perturbée » ;
- non redondance dans la sélection des métriques.

Notons que l'expression des métriques sous forme d'EQR (Ecological Quality Ratio) constitue une avancée importante par rapport à l'indice IBG-DCE, car il intègre la typologie et représente l'écart à la référence : c'est le rapport d'indices entre un « état observé » et un « état du milieu en l'absence de perturbation » anthropique (échelle de 0 = mauvais à 1= référence).

Ces EQR sont calculés pour chaque métrique puis pondérés par les capacités de discrimination (DE) de chaque type de pression. Ainsi un poids plus important est-il donné aux métriques discriminant le plus efficacement une perturbation donnée.

La sensibilité de l'I2M2 est ainsi très largement supérieure à celle de l'indice IBG-DCE et permet une bonne efficacité de discrimination (82 %) et ce pour les 17 types de perturbations.

Rappelons que l'indice IBG-DCE répond principalement à l'enrichissement organique des milieux mais ne réagit pas à certaines perturbations hydromorphologiques.

Le calcul de l'indice I2M2 global est la moyenne arithmétique de 17 sous-indices (liés aux 17 catégories de pression). Chaque sous-indice correspond à la moyenne des 5 métriques exprimées en EQR pondérées par leur capacité de discrimination par type de pression.

### 5.1.5 Calcul de la note IBG-DCE

Pour chaque station, 4 listes faunistiques sont éditées sur le rapport d'essai :

- Une liste faunistique par phase : A, B, C
- Une liste faunistique « Faune Globale » : A + B + C

Le calcul de la note IBG-DCE est effectué selon la norme NF T90-350 à partir de la liste faunistique "équivalent IBGN" (liste A + B). L'unité taxonomique retenue est donc la Famille à l'exception de quelques groupes faunistiques où l'Embranchement ou la Classe seront pris en compte. 152 taxons dont 32 indicateurs répartis dans 9 groupes faunistiques indicateurs (GFI) seront utilisés pour le calcul de la note. La variété taxonomique de l'échantillon et le groupe faunistique indicateur sont déterminés et la valeur de la note IBG-DCE est calculée selon :

$$IBG-DCE = GI + (Classe \text{ de variété} - 1)$$

La classe d'état biologique de la station est définie en fonction du type CEMAGREF du cours d'eau (TP, P, M, G, TG) et de l'hydroécocorégion (HER) en fonction des grilles de référence de l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface.

Le code couleur associé à la classe d'état est défini en fonction du tableau suivant selon l'arrêté du 27 juillet 2018, pour les très petits, petits et grands cours d'eau de l'HER9 :

Tableau 5 : Limites des classes d'état en fonction de la note IBG-DCE et de l'I2M2 selon arrêté du 27 juillet 2018

Classe de qualité biologique	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Limites des classes d'état pour les typologies HER G9					
IBG-DCE	IBGN ≥ 15	15 > IBGN ≥ 13	13 > IBGN ≥ 9	9 > IBGN ≥ 6	IBGN < 6
I2M2	I2M2 ≥ 0,665	0,665 > I2M2 ≥ 0,443	0,443 > I2M2 ≥ 0,295	0,295 > I2M2 ≥ 0,148	0,148 > I2M2

Au-delà de l'Indice IBG-DCE, d'autres indices ou métriques sont calculés à partir des listes faunistiques obtenues et des caractéristiques habitacionnelles pour affiner le diagnostic écologique en distinguant les effets liés à la qualité de l'eau de ceux induits par les habitats.

### 5.1.6 Description du peuplement

Le peuplement des macroinvertébrés est décrit sur chaque station de mesure grâce à plusieurs indices et métriques permettant d'évaluer sa robustesse et sa composition.

- L'évaluation de la robustesse est réalisée par calcul de la note IBG-DCE minimale et maximale. La note IBG-DCE min est calculée en considérant le taxon indicateur comme n'ayant pas été échantillonné, elle évalue donc la robustesse de la note IBG-DCE attribuée à une station. A l'inverse la note IBG-DCE Max est calculée en considérant la liste de la phase C, elle indique ainsi une valeur potentielle de la note pour la station considérée. Les notes IBG-DCE min et max constituent un intervalle dans lequel la valeur de l'indice aurait pu se situer.
- Le % de GOLD correspond aux pourcentages cumulés des Gastéropodes, des Oligochètes et des Diptères dans le peuplement. Ces 3 groupes rassemblent des taxons « polluo-résistants » et sont généralement révélateurs du niveau de contamination organique et trophique du milieu.
- Le % de taxons polluo-tolérants, calculé sur la base des taxons possédant un GI inférieur ou égal à 2, permet de compléter l'information apportée par le pourcentage de GOLD car d'autres taxons que ceux appartenant aux GOLD se révèlent être polluo-tolérants et sont parfois fortement représentés dans l'effectif.
- Le % d'EPT correspond aux pourcentages cumulés des Ephéméroptères, des Plécoptères et des Trichoptères dans le peuplement. Ces 3 groupes rassemblent les taxons les plus « polluo-sensibles » et les plus exigeants vis-à-vis de la qualité de l'habitat, bien que certains de leurs représentants puissent aussi se révéler polluo-résistants.

- L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et l'indice de Simpson (S) sont également calculés.
- L'indice de Shannon Weaver (H') reflète la diversité d'un peuplement et l'hétérogénéité de répartition des effectifs entre les différents taxons. Pour un peuplement de macroinvertébrés aquatiques, sa valeur varie généralement de 0 (une seule espèce) à 5 lorsque toutes les espèces ont même abondance. Un indice supérieur ou égal à 3 est révélateur d'un peuplement de macroinvertébrés riche et bien équilibré.

$$H' = - \sum ((N_i / N) * \log_2 (N_i / N))$$

H' : Indice de Shannon-Weaver

N<sub>i</sub> : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces).

N : nombre total d'individus.

- L'indice de Simpson repose sur une formule permettant de calculer la probabilité que deux individus sélectionnés aléatoirement dans un milieu donné soient de la même espèce. L'indice variera entre 0 et 1. Plus il se rapproche de 0, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées, donc plus le peuplement aura une diversité importante :

$$D = \sum N_i(N_i-1)/N(N-1)$$

D : Indice de Simpson

N<sub>i</sub> : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus

#### 5.1.7 Utilisation des traits biologiques

**Les traits biologiques** des différents Genres identifiés seront utilisés pour **affiner le diagnostic hydrobiologique** sur chaque station. Les traits biologiques sont des descripteurs biologiques (respiration, taux de croissance, mode d'alimentation) ou écologiques (*preferendum* de température, pH, vitesse de courant, etc.) des macroinvertébrés, qui reflètent directement la diversité des niches écologiques de l'écosystème, et permettent d'en évaluer la qualité bioécologique. Ils permettent donc d'affiner la caractérisation de la qualité des cours d'eau, en permettant de discriminer les types de perturbations qu'ils subissent.

Notre laboratoire dispose d'une base de données de plus de 48000 variables autécologiques (extraites de sources scientifiques publiées) pour 402 taxons (niveau Genre) et 22 traits biologiques, leur permettant de dresser un état des lieux bioécologique fiable et précis.

Dans le cadre de cette étude, les traits biologiques suivants ont été utilisés :

##### ➤ Valeur saprobiale

Chaque Genre peut être caractérisé par un niveau de tolérance vis-à-vis d'une pollution organique. 5 niveaux de tolérance peuvent ainsi être distingués :

- Xénosaprobe : pas du tout pollueurésistant
- Oligosaprobe : faiblement pollueurésistant
- β-mésosaprobe : relativement pollueurésistant
- α-mésosaprobe : pollueurésistant
- Polysaprobe : très pollueurésistant

##### ➤ Degré de trophie

De la même manière que pour le niveau de saprobie, les différents Genres d'invertébrés aquatiques ont une plus ou moins grande affinité pour un niveau trophique donné. Ce niveau trophique est principalement dépendant de la charge en éléments nutritifs des eaux, essentiellement en azote et en phosphore. On distinguera ainsi 3 niveaux trophiques :

- Oligotrophe
- Mésotrophe
- Eutrophe

Des niveaux intermédiaires pourront également être distingués : oligo-mésotrophe et méso-eutrophe par exemple.

➤ **Mode d'alimentation**

Ce trait biologique permet de distinguer les taxons :

- Absorbateurs
- Mangeurs de sédiments fins
- Broyeurs
- Racleurs/broueteurs de substrats
- Filtreurs
- Perceurs
- Prédateurs

➤ **Vitesse du courant**

Ce trait écologie permet de distinguer l'affinité des taxons à la vitesse du courant. On distinguera ainsi 4 modalités en fonction du caractère rhéophile ou limnophile des Genres considérés :

- Préférence pour les vitesses nulles
- Préférence pour les courants lents (<25cm/s)
- Préférence pour les courants moyens (25-50cm/s)
- Préférence pour les courants rapides (>50cm/s)

La distribution de fréquence des modalités de ces 4 traits sera calculée pour chaque station à partir de la liste faunistique faune globale (A+B+C), afin d'obtenir une distribution de la valeur de chaque modalité à l'échelle de la communauté globale.

## 5.2 Mise en œuvre de l'IBD

L'Indice Biologique Diatomées (algues unicellulaires) permet d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau à partir de l'analyse des diatomées. L'IBD traduit plus particulièrement le niveau de pollution organique (saprobie) et trophique (nutriments : azote, phosphore). Il est également susceptible d'être impacté par la contamination par des toxiques (micropolluants minéraux ou synthétiques). Il s'exprime par une note allant de 0 à 20. Plus la note est élevée, meilleure est la qualité biologique du milieu.

Le prélèvement et l'analyse des échantillons de diatomées ont été réalisés selon la norme :

**NF T90-354 (Avril 2016)** « Qualité de l'eau – Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD) »

Le prélèvement consiste en la récolte du biofilm périlithique (se développant à la surface des pierres et galets) du cours d'eau, au niveau d'une zone courante de radier bien ensoleillée. 5 pierres/galets sont prélevés de manière aléatoire, et frottés à l'aide d'une brosse à usage unique dans un bain d'éthanol afin de récolter les diatomées. L'échantillon est alors fixé dans une solution d'éthanol à 70% minimum.

De retour au laboratoire, les échantillons subissent un traitement à l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> puis une succession de décantation, permettant de purifier les frustules des diatomées (« squelette interne » siliceux). Cette préparation est ensuite montée entre lame et lamelle dans une résine spécifique (NAPHRAX) et observée sous microscope au grossissement x1000. 400 valves sont alors identifiées, chaque espèce disposant d'une structure particulière de son frustule. Le logiciel OMNIDIA (version 6) permet de bancariser les données de comptage et de calculer les différents indices.

Différents indices sont alors calculés :

- l'Indice Biologique Diatomées (IBD) selon la norme NF T90-354 ;
- l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS).

La classe d'état biologique de la station est définie en fonction du type CEMAGREF du cours d'eau (TP, P, M, G, TG) et de l'hydroécocorégion (HER) selon les grilles de référence de l'**arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface**. La note EQR, mesurant l'« écart à la valeur de référence du type », est calculée selon la formule :

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

*Note :* La « note de référence du type » est la valeur que devrait atteindre l'indice en conditions de référence non perturbées, pour un cours d'eau de taille et d'hydroécocorégion similaires à celui étudié. A l'inverse, la « note minimale du type » est la note de référence en conditions fortement dégradées.

Le code couleur associé à la classe d'état est défini en fonction du tableau suivant :

Tableau 6 : Classes de qualité biologique pour l'IBD

IBD <sub>2007</sub>	≥ 0.94	0.94 < NoteEQR ≤ 0.78	0.78 < NoteEQR ≤ 0.55	0.55 < NoteEQR ≤ 0.30	≤ 0.30
Classe d'Etat	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

Des indices complémentaires serviront également à étayer l'interprétation de la structure des communautés floristiques :

- L'Indice Diatomique Saprobie/Eutrophisation (Leclercq, 2008), qui donne des informations complémentaires concernant le niveau d'altération organique (saprobie) ou nutritive (trophique) du milieu ;
- L'indice de diversité de Shannon, qui exprime le niveau de diversité biologique de la communauté floristique ;

- L'indice d'Equitabilité, qui indique si les espèces composant le peuplement sont en effectifs équilibrés ou non ;
- Les variables autécologiques du peuplement seront également interprétées selon les classifications de Van Dam et al (1994), afin de définir les caractéristiques autécologiques du peuplement (voir ci-dessous).

Tableau 7 : Classification de Van Dam et Al (1994) – Tableau extrait de OMNIDIA v5.3

pH	Catégories	Intervalles de variations du pH	
1	acidobionte	pH optimum <5,5	
2	acidophile	pH optimum entre 5,5 et 7	
3	neutrophile	pH optimum autour de 7	
4	alcaliphile	pH optimum > 7	
5	alcalibionte	pH exclusivement >7	
6	indifférent	optimum non défini	
Salinité des eaux		Cl <sup>-</sup> (mg/l-1)	Salinité ‰
1	douces	<100	<0,2
2	douces à légèrement saumâtres	<500	<0,9
3	moyennement saumâtres	500 - 1000	0,9 - 1,8
4	saumâtres	1000 - 5000	1,8 - 9,0
Saprobies (charge organique)		Oxyg. sat.(%)	DBO5 (mg/l-1)
1	oligosaprobe	>85	<2
2	β-mésosaprobe	70 - 85	2 - 4
3	α-mésosaprobe	25 - 70	4 - 13
4	α-mésosaprobe - polysaprobe	10 - 25	13 - 22
5	polysaprobe	<10	>22
Statut trophique		Oxygénation	
1	oligotrophe	1	élevée (100% sat.)
2	oligo-mésotrophe	2	plutôt forte (>75% sat.)
3	mésotrophe	3	modérée (>50% sat.)
4	mésosaprobe - eutrophe	4	basse (>30% sat.)
5	eutrophe	5	très basse (≈10% sat.)
6	hypereutrophe		
7	indifférent		

### 5.3 Mise en œuvre de l'IPR

#### 5.3.1 Normes et guides de référence

EUROFINS Hydrobiologie met en œuvre les normes et documents suivants :

- **Norme NF T90-344** (Juil. 2011) « Qualité de l'eau - Détermination de l'indice poissons rivière (IPR) »
- **Norme XP T90-383** (Mai 2008) « Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau »
- **Norme NF EN 14011** (Juil. 2003) « Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité »
- **Norme NF EN 14962** (Sept. 2006) « Qualité de l'eau - Guide sur le domaine d'application et la sélection des méthodes d'échantillonnage de poissons »
- **Guide ONEMA** (Avril 2006) « L'Indice Poisson Rivière (IPR), notice de présentation et d'utilisation »
- **Guide ONEMA** (2012) « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité »

#### 5.3.2 Démarches administratives préalables

Préalablement à toute pêche scientifique, une demande d'autorisation est effectuée auprès de la Direction Départementale des Territoires (DDT) au minimum 2 mois avant l'intervention afin d'obtenir un arrêté préfectoral d'autorisation de pêche à vocation scientifique.

### 5.3.3 Sécurisation du site de pêche et précautions sanitaires

#### Sécurisation du site de pêche

L'activité de pêche scientifique présente les risques inhérents au travail en rivière et à l'utilisation de matériel électrique. La mise en œuvre d'une pêche électrique est donc réalisée par du personnel ayant reçu une formation spécifique.

- Le chef de chantier d'EUROFINS Hydrobiologie possède la formation « Méthode d'inventaire – Pêche à l'électricité : cadre technique et conduite de chantier » délivrée par l'ONEMA (AFB) et nécessaire à ce type d'étude.
- Les appareils de pêche électrique font l'objet de révisions régulières et d'une vérification annuelle de mise en conformité par l'Apave.
- Le personnel dispose d'une formation aux premiers secours, et s'assure de respecter toutes les règles élémentaires de sécurité décrites par la norme NF EN 14011 (port de vêtements adaptés, signalisation des zones de pêches, etc.)
- Afin de parer à tout événement et optimiser la sécurité du site, un balisage de la zone de pêche a été effectué à l'aide de panneau « attention danger risque électrique, pêche à l'électricité en cours » et complété par une Rubalise.

**Les appareils mis en œuvre pour cette campagne de pêche sont des appareils portatifs, c'est pourquoi la sécurité de l'atelier est directement gérée au plus près du risque potentiel par le porteur de l'appareil.**

#### Respect des conditions de manipulation des poissons

Lors des pêches électriques, les poissons sont manipulés le moins possible et avec le maximum de précautions afin d'éviter toute blessure ou mortalité. Lors des opérations de biométrie, le personnel veille à ne pas trop les serrer afin d'éviter tout stress ou mortalité supplémentaire. Les poissons restent un maximum au contact de l'eau et sont relâchés dans les plus brefs délais.

Pour cela, nos opérateurs sont tous formés à la réalisation des pêches électriques. Un briefing est réalisé par le Chef de Chantier avant chaque opération de capture pour rappeler les règles essentielles de sécurité et de déontologie lors de la manipulation des poissons.

### 5.3.4 Station de mesure et période d'échantillonnage

#### Période d'intervention

Les pêches électriques doivent être menées durant les périodes de basses eaux tout en excluant la période estivale la plus chaude entre le 15 juillet et le 15 août. La période automnale est la plus indiquée dans la mesure où :

- les populations d'espèces cibles intègrent les mortalités estivales
- les alevins de l'année ont atteint une taille compatible avec les méthodes de pêche employées.

Ainsi la campagne de pêche a été réalisée du 20 octobre au 5 novembre 2020.

Les conditions météorologiques et hydrologiques ont été vérifiées au préalable sur les sites Internet suivants :

[www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com) (météo à 7 jours)

[www.vigicrues.gouv.fr](http://www.vigicrues.gouv.fr) (débits en temps réel)

[www.hydro.eaufrance.fr](http://www.hydro.eaufrance.fr) (régimes hydrologiques)

Les prélèvements hydrobiologiques sont ainsi réalisés suite à une période hydrologique stabilisée depuis au moins 10 jours. Enfin, les pêches électriques ne sont jamais réalisées lors d'épisodes de pluie soutenue.

### Définition de la station d'échantillonnage

Conformément aux exigences de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE), la station d'inventaire piscicole est définie afin d'être représentative des caractéristiques hydromorphologiques du type de cours d'eau auquel elle appartient, ainsi qu'aux habitats et aux caractéristiques physico-chimiques du tronçon dans lequel elle s'inscrit.

Ainsi, un repérage des sites a été réalisé afin de délimiter les stations d'échantillonnage. Le chef de projet a ainsi prospecté les tronçons de cours d'eau concernés afin de déterminer les zones de pêche les plus représentatives des conditions écologiques du secteur. Ce repérage a été effectué lors de la première campagne de pêches en octobre 2019.

Conformément à la norme EN/NF 14011, la longueur de la station est définie comme 20 fois la largeur mouillée moyenne, mais peut être réduite à 10 fois pour les cours d'eau d'une largeur mouillée moyenne supérieure à 30m. Dans tous les cas, la station ne peut être inférieure à 50m (cas des petits cours d'eau de moins de 2,5m de large).

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour expliquer et interpréter correctement les résultats d'un échantillonnage par pêche électrique. Les paramètres suivants sont donc relevés sur le terrain :

- le nom du cours d'eau, la commune, la date de prospection et la localisation de la station, décrite par les coordonnées X et Y de sa limite aval et amont (en Lambert 93) enregistrées au GPS,
- la largeur en eau moyenne calculée à partir de mesures régulières réalisées sur 10 transects,
- la profondeur moyenne de la station calculée à partir de plusieurs valeurs mesurées régulièrement sur 3, 5 ou 10 points respectivement sur les petits (larg. moy. à l'étiage <3m), moyens (larg. 3<l<9m), grands cours d'eau (> 9m) régulièrement répartis sur la largeur,
- le type de substrat,
- la longueur totale de la station,
- le mode de pêche et la stratégie d'échantillonnage (complète ou partielle),
- les caractéristiques mésologiques environnantes : végétation rivulaire, état visuel de l'eau, conditions météorologiques
- les paramètres physico-chimiques mesurés in-situ (O<sub>2</sub>, saturation, conductivité, pH et température de l'eau et de l'air).

#### 5.3.5 Choix du protocole d'inventaire

Le choix du type de protocole dépend de la possibilité ou non de prospecter l'ensemble de la station à pieds. Deux grands types de pêche électrique d'inventaire se distinguent alors :

- La pêche dite « complète » (ou exhaustive)
- La pêche dite « partielle » (ou « par points » ou « ambiances »), pour laquelle 3 types de prospection sont possibles :
  - prospection en Continu sur une Longueur de Rive (C. L. R.)
  - Echantillonnage Ponctuel d'Abondance (E. P. A.)
  - prospection des berges en Echantillonnage Continu par Distance (E. C. D.)

Le choix entre ces types de pêche électrique et protocoles de prospection est défini en fonction de la profondeur et de la largeur moyenne de la station selon le logigramme ci-après.

Dans le cadre des pêches dites « partielles », la méthode de prospection est essentiellement guidée par l'objectif de l'étude. **L'E.P.A. est cependant la méthode mise en œuvre dans le cadre des réseaux de mesures type DCE** (Directive Cadre sur l'Eau).

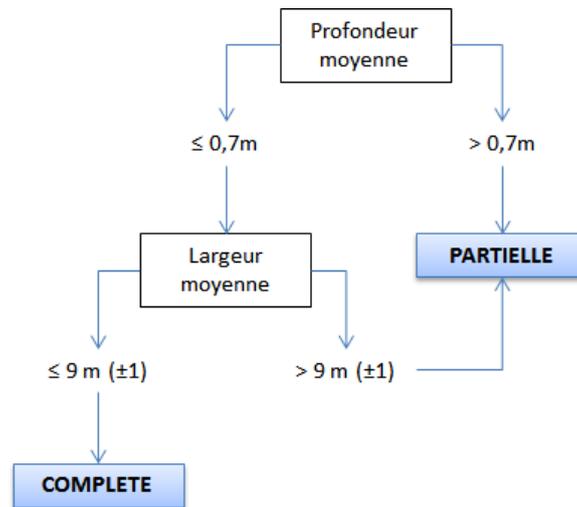


Figure 4 : Logigramme décisionnel de la méthode de prospection à mettre en œuvre

Dans le cadre de cette étude l'ensemble des points ont été prospectés **en pêches partielles** depuis une embarcation.

### 5.3.6 Protocole de pêche « par points » ou « ambiance »

Cette méthode permet d'obtenir des données relatives sur la composition des peuplements : abondance relative et biomasse relative par espèce pour chaque type de faciès.

Ce type de protocole est mis en œuvre dès que les caractéristiques du cours d'eau ne permettent pas de conduire une pêche par prospection complète à pied en raison d'une largeur importante du cours d'eau ou de la présence de zones difficilement prospectables (mouilles, fonds, vitesses du courant élevées) dans la station.

L'objectif est alors de mettre en œuvre des moyens de prospection à pied et/ou en bateau afin d'inventorier les ambiances prospectables par pêche électrique. Cette technique de pêche à l'électricité permet alors d'échantillonner des faciès prospectables à pied (radiers, plats) ou en bateau (mouilles) pour chacun desquels sont mesurés la surface prospectée, la hauteur d'eau, la vitesse moyenne, la situation par rapport à la rive, le substrat et le temps de pêche. Une cartographie de l'ensemble de la station pêchée et de la localisation des ambiances prospectées est réalisée au fur et à mesure que les faciès sont pêchés. Les types de faciès qui ne peuvent pas être prospectés par pêche électrique et leurs surfaces respectives sont également inventoriés.

Les pêches par ambiance sont recommandées lorsque les secteurs d'études sont fréquemment déstabilisés par les crues qui remanient fortement le lit et modifient la succession des faciès. De plus, en prospectant un profil d'ambiances assez constant, elles permettent d'obtenir un échantillon stable.

3 modes de prospection peuvent être envisagés :

- Prospection à pied : lorsque toutes les zones de pêche sont accessibles à pied
- Prospection en bateau lorsque toutes les zones de pêche sont accessibles en bateau
- Prospection « mixte » (pied + bateau) dans les autres cas

## Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage retenue pour les pêches partielles repose sur les principes suivants :

- La prospection d'unités d'échantillonnage de type ponctuel, inspirée de la méthode de l'Échantillonnage Ponctuel d'Abondance (*Nelva et al., 1979 ; Persat & Copp, 1990 ; Rousseau et al., 1985*).
- La collecte d'un échantillon global du peuplement de la station constitué de deux sous-échantillons : un « sous-échantillon représentatif » et un « sous-échantillon complémentaire ».
- Un « sous-échantillon représentatif » constitué d'unités d'échantillonnage régulièrement réparties sur les zones pêchables de la station de façon à rendre compte de la proportion et de la diversité des faciès pêchables. Ce sous-échantillon représentatif est destiné à appréhender l'abondance relative et la richesse en espèces.
- Un « sous-échantillon complémentaire » constitué d'unités d'échantillonnage ciblées sur des habitats peu représentés sur la station, voire anecdotiques en termes de surface, mais particulièrement attractifs pour les poissons ; ces habitats sont librement choisis par l'opérateur pour permettre de compléter le cas échéant la liste faunistique par la capture d'espèces rares particulièrement inféodées à ces habitats.

Au sein de chaque catégorie d'échantillon (« représentatif » d'un côté et « complémentaire » de l'autre), il est permis de rassembler l'ensemble des captures et d'en faire une seule biométrie (deux biométries au total), de façon à obtenir au final un résultat (richesse, nombre d'individus par espèce, biomasse par espèce, structure en taille) par type de sous-échantillon.

## Unité d'échantillonnage

L'unité d'échantillonnage est une zone ponctuelle correspondant approximativement à un déplacement de l'anode sur un cercle d'environ 1 m de diamètre autour du point d'impact de l'anode dans l'eau, sans déplacement de l'opérateur. Dans la pratique, que la pêche soit réalisée à pied ou en bateau, l'anode est déplacée dans la zone représentée par un demi-cercle virtuel d'environ 1,5 m de rayon situé devant l'opérateur qui ne bouge pas. L'objectif étant de prospector toute la surface du demi-cercle ainsi décrit, il revient à l'opérateur de choisir le mouvement le plus adapté à la situation (posés successifs et mouvement de l'avant vers l'arrière dans le sens du courant ou mouvements circulaires concentriques...).

Dans cette configuration, la surface échantillonnée est évaluée théoriquement à environ 12,5 m<sup>2</sup>. Cette valeur tirée de la bibliographie a été vérifiée (*Ditche, 2006*).

Sur chaque point, l'anode est laissée en action de pêche pendant une durée minimale pour s'assurer de l'absence éventuelle de poisson. Par ailleurs, l'épuisement du stock de poissons au niveau du point n'est pas recherché de manière systématique. Dans la pratique, un temps de pêche compris entre 15s et 30s sur chaque unité d'échantillonnage doit être retenu comme valeur guide.

Il est recommandé, notamment lorsque des poissons peuvent être « piégés » dans des abris ou par des obstacles (herbiers, branchages...), de procéder à une ou plusieurs « ouverture — fermeture » du circuit électrique en sortant l'anode hors de l'eau, puis en la remettant dans l'eau. Ceci a pour effet de provoquer une nouvelle réaction de « nage forcée » des poissons vers l'anode, en particulier ceux immobilisés par électronarcose.

## Nombre d'unité d'échantillonnage

### **Pour le sous-échantillon représentatif**

En règle générale, le sous-échantillon systématique est composé de 75 unités d'échantillonnage.

Pour les grands cours d'eau (au-delà de 50 m de largeur environ) homogènes (à titre indicatif : un seul faciès représentant 80 % ou plus de la station — cas notamment des grands cours d'eau navigués pêchés en bateau sur les berges), le sous-échantillon systématique sera composé de 100 unités d'échantillonnage.

### **Pour le sous-échantillon complémentaire**

La réalisation de points complémentaires est facultative. Elle a lieu lorsque l'opérateur considère que la prospection régulière des points risque de ne pas couvrir certains habitats attractifs, pouvant augmenter les chances de capturer une ou plusieurs espèces rares et potentiellement présentes sur le secteur.

Le nombre de points complémentaires dépend de la configuration de la station, des espèces attendues et des habitats prospectés dans le sous-échantillon représentatif. À titre indicatif, il peut varier de l'ordre de 0 à 10 points. La comparaison de stations à une période donnée, d'années ou de dates pour une station donnée, ou l'étude de l'évolution temporelle de plusieurs stations, se fera par défaut sur les points systématiques. On pourra intégrer des points complémentaires à condition de conserver la comparabilité des échantillons (nombre de points similaires) et de mentionner le nombre et le type de points complémentaires retenus ; les deux sous-ensembles étant différenciés lors du recueil des données (biométrie).

### **Description des points**

Au cours de la pêche, chaque unité échantillonnée fait l'objet d'une description qualitative sommaire concernant :

- le type de faciès dans lequel se situe chaque point : courant, plat, profond, etc.
- la position : berge ou chenal
- la capture ou non de poisson
- l'appartenance au sous-échantillon systématique ou complémentaire

Cette description permet d'évaluer globalement et de vérifier *a posteriori* le degré de représentativité de l'échantillon d'unités d'échantillonnage par rapport à la proportion des faciès sur la station. Elle est utilement complétée par un repérage approximatif des unités d'échantillonnage sur fond cartographique sommaire de la station, de façon à pouvoir suivre les éventuelles modifications d'échantillonnage d'une année sur l'autre, en fonction par exemple des modifications hydromorphologiques naturelles ou anthropiques.

### **Mise en œuvre pratique**

#### **Travail préparatoire**

La stratégie d'échantillonnage retenue repose sur la prospection discrète de points répartis régulièrement dans les zones « efficacement pêchables » de la station, identifiées au cours d'un repérage préalable. En règle générale, sont considérées comme « efficacement pêchables » :

- toutes les zones de berge, à condition qu'une bande d'environ 3 m de largeur soit accessible (c'est-à-dire à l'exclusion des zones présentant des difficultés majeures d'accès ou de prospection) ;
- les zones de chenal dont la profondeur est inférieure à 1 m, dans la mesure où les vitesses d'écoulement et la nature des fonds permettent une prospection dans des conditions satisfaisantes. Pour les stations prospectées à pied, cette limite peut être abaissée pour des raisons de sécurité.

Pour faciliter la prospection et la répartition des points lors de la pêche, une cartographie simplifiée de la station est réalisée au préalable afin d'identifier approximativement l'emplacement des zones pêchables et non pêchables.

Pour les stations les plus complexes, une évaluation de la surface de chaque zone pêchable est réalisée pour assurer une distribution proportionnelle des points, et des repères visuels sont notés afin de faciliter la répartition des unités d'échantillonnage lors de la prospection.

### **Répartition des points**

Les unités d'échantillonnage sont réparties de manière sub-systématique (c'est-à-dire de manière régulière mais sans mesure exacte des distances entre chaque unité d'échantillonnage) sur les zones pêchables de la station. Elles doivent toutefois être suffisamment distantes (au minimum 4 mètres) pour ne pas être affectées l'une de l'autre par la pêche.

### **Cheminement des opérateurs**

Le point de départ est choisi dans la zone pêchable la plus en aval de la station, indifféremment sur l'une ou l'autre des rives, et le premier point d'échantillonnage est effectué.

Les opérateurs se dirigent ensuite en direction de l'autre rive en échantillonnant de la même manière un point tous les « X » mètres environ, l'intervalle X entre les points dépendant de la longueur, de la largeur et de la configuration de la station.

L'opération est répétée jusqu'à obtenir le nombre de points requis (75 ou 100 selon le type de cours d'eau) en prospectant régulièrement en zigzag l'ensemble des zones pêchables de la station.

Au moment de poser l'électrode, le porteur d'anode se rapproche d'un choix au « hasard » et détermine à distance (repère visuel) l'endroit où sera échantillonné le point suivant. Cette méthode permet de respecter la régularité de la prospection, sans être influencé par le type d'habitat.

## 5.3.7 Comptages et Biométrie

### **Installation de l'atelier de biométrie**

Le chantier de biométrie est organisé de façon à faciliter la manipulation des poissons et d'optimiser leur survie et la qualité des informations recueillies.

Avant de commencer les mesures, les poissons sont triés par espèce dans différentes bassines de stabulation de grand volume et munies d'un système d'aération. Une attention particulière est portée aux espèces sensibles (truite, ombre, etc...).

Afin de faciliter la manipulation des poissons et de limiter leur stress, les poissons sont ensuite légèrement anesthésiés avec une solution d'eugénol (produit non nocif, non toxique et biodégradable). En cas d'effectifs importants, les poissons sont endormis en plusieurs lots. La biométrie est alors réalisée sur une table de terrain spécifiquement développée par nos hydrobiologistes.

### **Variables biométriques mesurées**

Tous les poissons ont été identifiés à l'espèce selon les critères de :

- l'Atlas des poissons d'eau douce de France (Keith et Allardi, 2011).
- le guide « Les lamproies en Europe de l'Ouest » (Taverny et Elie, 2010) pour les lamproies et ammocètes
- le guide des invertébrés d'eau douce (Tachet et al., 2010) pour les macro-crustacés



Les codes utilisés sont conformes aux codes alternatifs (3 caractères) du référentiel « Taxons » du SANDRE.

Tous les poissons capturés sont dénombrés.

A l'exception des lots pour lesquels les modalités de mesure sont précisées dans le « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité » (*Belliard et al., ONEMA, 2012*), tous les poissons capturés sont mesurés individuellement. La longueur est mesurée au millimètre près du museau à l'extrémité de la queue. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un ichtyomètre de taille adaptée.

Tous les poissons sont pesés à l'aide d'une balance électronique au gramme près. Pour les taxons dont les effectifs sont importants et en particulier pour les petits individus, les mesures et la pesée seront effectuées par lots. Chaque lot comprendra des individus d'une seule et même espèce. Une attention particulière est portée à l'homogénéité en taille des lots constitués. La pesée sera effectuée au gramme près à l'aide d'une balance étalonnée régulièrement. Pour les gros individus dont le poids est supposé être supérieur à 1000g, un peson électronique sera utilisé.

### Devenir des organismes capturés

Dès la biométrie terminée, les poissons sont relâchés dans un bac de réveil positionné dans le lit du cours d'eau et alimenté en eau par le cours d'eau (bac de stabulation percé). Lorsque les poissons sont en mesure de nager de nouveau efficacement sans perte d'équilibre, ils sont relâchés dans le milieu à proximité des berges.

Les espèces « susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques » (ex. Poisson-chat, Perche arc-en-ciel) sont détruites immédiatement sur site.



Par ailleurs, certains taxons difficilement identifiables (juvéniles, hybrides, etc.) peuvent nécessiter la conservation de quelques spécimens dans une solution d'éthanol pour une confirmation d'identification au laboratoire.

### 5.3.8 Calcul de l'Indice Poissons Rivière – IPR

L'Indice Poisson Rivière (IPR) est normalisé par l'AFNOR (NF T90-344) et a été mis au point par l'ONEMA. Cet indice biologique constitue une base standard d'interprétation des résultats d'échantillonnages piscicoles fondée sur l'occurrence et l'abondance des principales espèces d'eau douce présentes en France. Il consiste à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observé à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition du peuplement attendu en situation dite de « référence, c'est-à-dire dans des conditions pas ou peu perturbées par les activités humaines.

L'IPR se calcule à partir d'un seul passage de pêche en adaptant le protocole de capture au type de milieu étudié.

#### Calcul de l'IPR

Afin de calculer l'IPR, les différentes variables suivantes sont déterminées :

- surface du bassin versant drainé (km<sup>2</sup>)
- distance à la source (km)
- largeur moyenne en eau de la station (m)
- la pente de la station (‰)
- profondeur moyenne de la station (m)
- altitude (m)
- températures moyennes interannuelles de l'air du mois de juillet et de janvier
- unité hydrographique

La surface échantillonnée est également calculée à partir de la largeur mouillée moyenne et de la longueur calculée de la station de pêche.

Au total, 34 espèces sont retenues dans la modélisation de l'indice et sont analysées à travers 7 métriques. Une même espèce peut être prise en compte dans plusieurs métriques. Chaque métrique est représentative de paramètres environnementaux (habitat, structure de peuplement, ...) et permet de catégoriser et hiérarchiser les perturbations.

Ces métriques sont décrites dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Métriques de l'IPR (source ONEMA)

Catégories		Métriques	Caractéristique de la perturbation	Réponse à l'augmentation des pressions humaines
Caractéristiques bio/écologiques des espèces	Guildes d'habitat	Nombre d'espèces rhéophiles (NER)	Altération de l'habitat lotique et des zones de reproduction	↓
		Nombre d'espèces lithophiles (NEL)		↓
	Guildes de sensibilité aux pollutions	Densité d'individus tolérants (DIT)	Altération de la qualité globale de l'eau	↑
		Guildes trophiques	Densité d'individus invertivores (DII)	Altération des ressources alimentaires disponibles
	Densité d'individus omnivores (DIO)		Enrichissement organique du milieu	↑
Biodiversité et productivité du cours d'eau	Richesse spécifique	Nombre total d'espèces (NTE)	Altération de la biodiversité du milieu	↑ ou ↓
	Abondance	Densité totale du peuplement (DTI)	Altération de la productivité du peuplement	↑ ou ↓

L'IPR est alors calculé en sommant les valeurs de ces 7 métriques. A partir de cet indice, une classe de qualité du peuplement piscicole est attribuée à chacun des sites selon le tableau suivant :

Tableau 9 : Classes de qualité biologique selon l'IPR

Note IPR	< 7	]7 - 16]	]16 - 25]	]25 - 36]	> 36
Classe de qualité	Excellente	Bonne	Médiocre	Mauvaise	Très mauvaise

Afin d'automatiser le traitement statistique des variables utilisées dans le calcul de l'IPR, EUROFINS Hydrobiologie utilise le logiciel WAMA développé par l'ONEMA.

**Eléments pour l'interprétation des résultats**

Les résultats obtenus pour chacune des 7 métriques de l'IPR sont comparés à leur valeur théorique. Ainsi, il est possible de mettre en évidence le(s) type(s) d'altération(s) subis par le cours d'eau étudié (altération de l'habitat ou de la qualité de l'eau par exemple).

## PARTIE 2 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### 6 Physico-Chimie

Les résultats des analyses physico-chimiques et des mesures in-situ réalisées lors des prélèvements sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les informations sur les stations sont disponibles sur les rapports d'essai en annexe.

Tableau 10 : Etat physico-chimique de la Seine le 1<sup>er</sup> septembre 2021

Arrêté 27 juillet 2018 (DCE)		La Seine amont barrage de Beaulieu	La Seine aval barrage de Beaulieu
Paramètres	Unité	01/09/2021	
Débit instantané	m3/s	En attente données banque hydro	
Bilan de l'Oxygène			
Oxygène dissous (in situ)	mg O2/l	8,7	8,9
Pourcentage de saturation en oxygène (in situ)	%	97,2	97,8
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	mg O2/l	1,2	0,8
Température			
Température de l'eau (in situ)	°C	20,2	19,4
Nutriments			
Orthophosphates	mg PO4/l	0,055	0,054
Ptotal	mg P/l	0,05	0,05
Ammonium	mg NH4/l	<0,05	<0,05
Nitrites	mg NO2/l	0,02	0,02
Nitrates	mg NO3/l	13	13
Acidification			
Mesure du pH (in situ)	unités pH	8,2	8,2
SEQ-Eau Version 2 (2003)			
MOOX - Matières organiques et oxydables			
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg O2/l	<5	<5
PAES - Particules en suspension			
Matières en suspension (MES)	mg/l	3	5
Turbidité	NTU	4	4,2
MINE - Minéralisation			
Conductivité (in situ)	µS/cm	384	388
Autre			
Température de l'air (in situ)	°C	29	29

La Seine affiche une eau de bonne voire très bonne qualité sur l'ensemble des paramètres mesurés le 1<sup>er</sup> septembre 2021. Aucune différence significative n'est observée entre les teneurs mesurées en amont et en aval du barrage de Beaulieu.

## 7 Hydrobiologie

Les résultats de la campagne de prélèvements hydrobiologiques du 30 août 2021 sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les informations sur les stations et les substrats échantillonnés sont disponibles sur les rapports d'essai en annexe.

Tableau 11 : Qualité biologique de la Seine à Beaulieu en 2021

Station	La Seine amont	La Seine aval	
Macroinvertébrés (MGCE)	Date de prélèvement	30/08/2021	
	Type de cours d'eau	G9/10	
	I2M2	0,4947	0,5112
	EQR	1,1250	0,9375
	MGCE (/20)	19	16
	Variété taxonomique	42	31
	Niveau du Groupe Indicateur	8	8
	Taxons du groupe indicateur (GI)	<i>Brachycentridae</i>	<i>Brachycentridae</i>
Diatomées (IBD)	Date de prélèvement	30/08/2021	
	EQR	0,8187	0,8304
	IBD (/20)	15	15,2
	IPS (/20)	14,2	14,2
Poissons (IPR)	Date de prélèvement	31/08/2021	
	IPR	11,15	12,047
	Nombre d'espèces	17	21
	Nombre total d'individus	329	678
	Densité (N/ha)	2632	7232
	Biomasse (kg/ha)	66,7	199,7

## 7.1 La Seine en amont du barrage de Beaulieu



Figure 5 : Photographies de la Seine en amont du barrage de Beaulieu

### Peuplement des macroinvertébrés :

La Seine en amont du Barrage de Beaulieu présente le 30 août 2021 une très bonne qualité biologique avec une note MGCE de 19/20 résultant d'une forte variété taxonomique (42 taxons échantillonnés) et d'un groupe indicateur de niveau 8, polluosensible, représenté par les trichoptères *Brachycentridae*.

La note I2M2 est de 0,4947 et témoigne d'une bonne qualité biologique selon l'arrêté du 27 juillet 2018 (Cf. Figure 6). L'outil diagnostic qui accompagne l'I2M2 met en évidence de potentielles pressions chimiques liées à des concentrations importantes en pesticides, ainsi que de potentielles pressions morphologiques liées à l'anthropisation du bassin versant et aux voies de communication.

Les indices de structure du peuplement de Shannon H' et de Simpson D témoignent d'un peuplement riche et équilibré. Les taxons polluo-résistants dominent le peuplement (43,64% de l'effectif total) et sont principalement représentés par les vers oligochètes (12,52%) et les crustacés *Gammaridae* (10,78%). Il faut également noter la présence importante au sein du peuplement des crustacés du Genre *Corophium* (52,04%), taxon invasif originaire de la région Ponto-Caspienne.

La valeur saprobiale montre une dominance de taxons relativement polluo-résistants vis-à-vis des matières organiques notamment en raison d'une proportion de GOLD (Gastéropodes-Oligochètes-Diptères) de 22,71%. Les EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères) qui regroupent les taxons les plus sensibles à la qualité de l'eau et de l'habitat peu représentés (12,64% de l'effectif) avec 12 familles présentes et sont dominés par des taxons peu ou moyennement polluo-sensibles (10,91% de l'effectif total sont des EPT appartenant à un GI inférieur ou égal à 5).

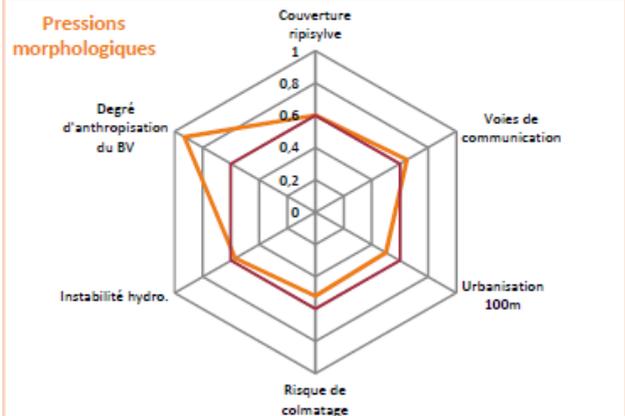
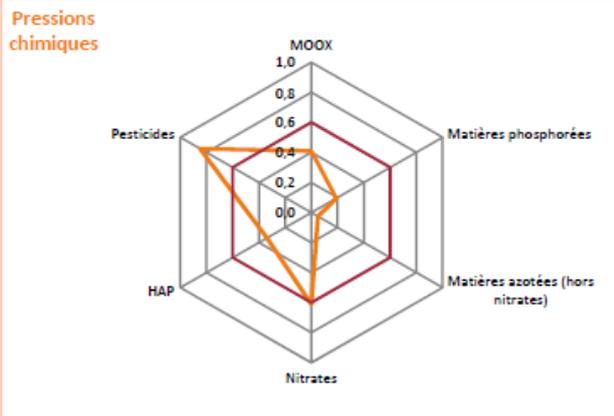
Le peuplement macroinvertébré montre une dominance des taxons limnophiles, caractéristiques des cours d'eau de plaine. La Seine peut être considérée ici comme mésotrophe et le peuplement est dominé par les broyeurs, notamment en raison de la proportion des crustacés *Gammaridae*.

<b>STATION VNF SEINE AMONT</b>			
<b>HER G9</b>			
Date de prélèvement : 30/08/2021			
I2M2	<b>0,4947</b>	Classe d'état	<b>Bon</b>
MGCE	<b>19</b>		

**Indice Invertébré Multimétrique et Outil Diagnostic**

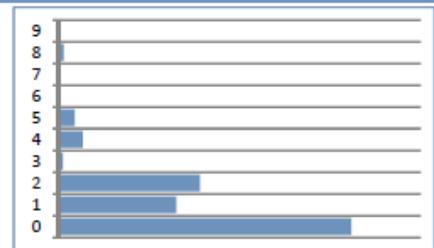
Métriques :

Indice de Shannon :	0,71270	Ovoviviparité :	0,28320	Richesse Taxonomique :	0,65380
Average Score Per Taxon (ASPT):	0,59230	Polyvoltinisme :	0,33490		



**Indice Biologique Global (Ancien IBG-DCE) et indices de structure du peuplement**

IBG-eq.	19	Indice de Shannon H'	3,35
		Indice de Simpson D	0,2
		Densité Smarg.(ind.m <sup>2</sup> )	3785
Variété tax.	42	Densité Sdom.(ind.m <sup>2</sup> )	7045
Groupe indicateur	8	%EPT	12,64
Taxon(s) du groupe indicateur	<i>Brachycentridae</i>	%GOLD	22,71
		%taxons polluotolérants	43,64



Proportion des GFI

**Traits biologiques (Phases A+B+C)**

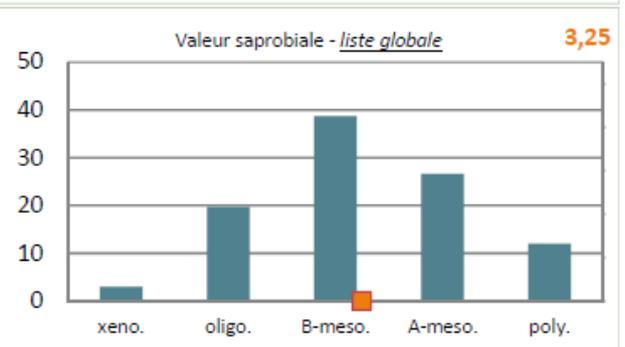
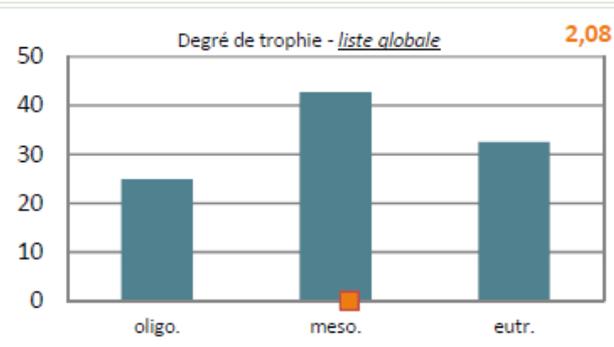
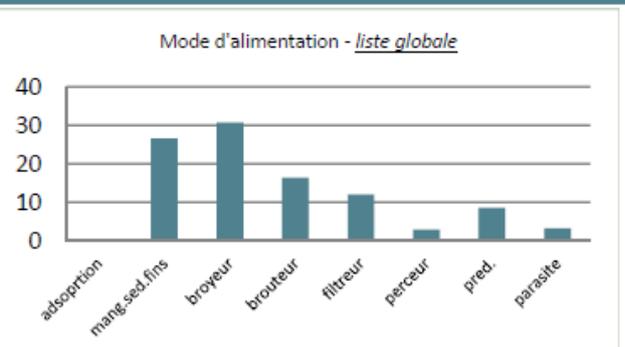
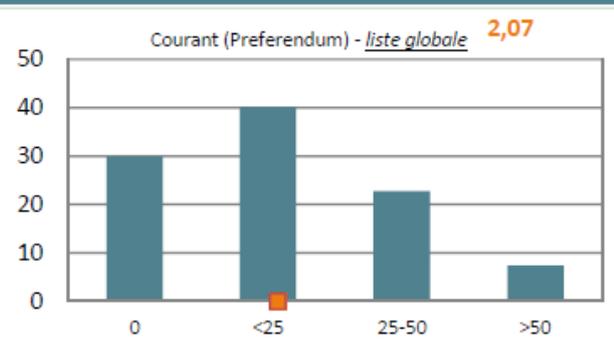


Figure 6 : Caractéristiques écologiques du peuplement de macroinvertébrés de la station amont

### Peuplement des diatomées :

En ce qui concerne l'IBD, la Seine en amont du barrage de Beaulieu obtient une note de 15/20. La note EQR est de 0,8187 et classe de cette station en état biologique « bon » selon les limites de classes de l'arrêté du 27 juillet 2018. L'IPS est inférieur avec une note de 14,2/20.

Le cortège floristique est dominé largement par *Cocconeis euglypta* (53,48%), espèce épiphytique ubiquiste fréquente dans les milieux assez variés au niveau de la pollution : rare dans les milieux peu chargés en matière organique, relativement fréquente dans les milieux à faible teneur en nutriments. Elle est accompagnée par *Cocconeis placentula* (7,96%), espèce dont l'écologie reste à définir et par *Achnanthydium minutissimum* (5,47%), espèce cosmopolite qui se trouve dans les eaux bien oxygénées, sensible à la pollution organique, supportant une grande amplitude de pH (4.3-9.2) et assez tolérante vis à vis de la pollution par les nutriments.

La composition du cortège dominant indique donc un milieu modérément oxygéné subissant une contamination organique faible, moyennement minéralisé et impacté par une eutrophisation importante.

<b>STATION</b> SEINE AMONT à Beaulieu		
<b>G9/10</b>		
Date de prélèvement : 30/08/2021		
IBD	<b>15/20</b>	<b>Bon</b>
EQR	<b>0.8187</b>	

**INDICES BIOLOGIQUES**

**Indices de diversité biologique**

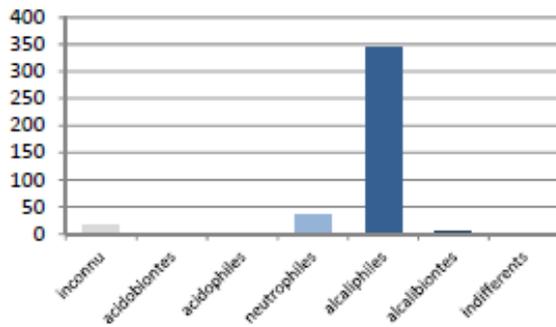
Effectif compté	402
Nombre de taxons	40
Nombre de Genres	20
Indice de Shannon H'	2,99
Indice d'équitabilité E	0,56

**Indices biologiques**

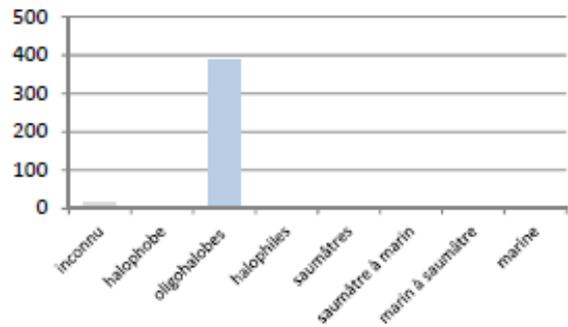
Note IBD =	15	/20	(96.27% d'eff. contributif)
Note IPS =	14,2	/20	(100% d'eff. contributif)

**CARACTERISTIQUES AUTÉCOLOGIQUES DU CORTEGE FLORISTIQUE (Selon Van Dam, 1994)**

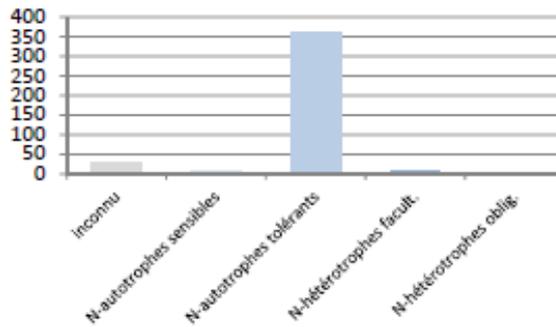
**Affinité au pH**



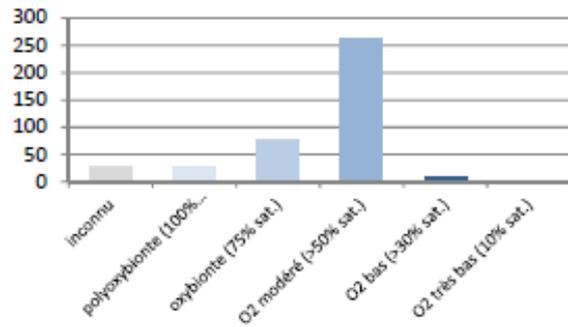
**Affinité à la salinité**



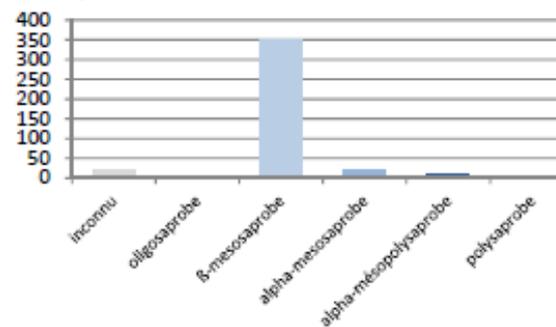
**Assimilation de l'azote**



**Besoin en oxygène**



**Valeur saprobiale**



**Niveau trophique**

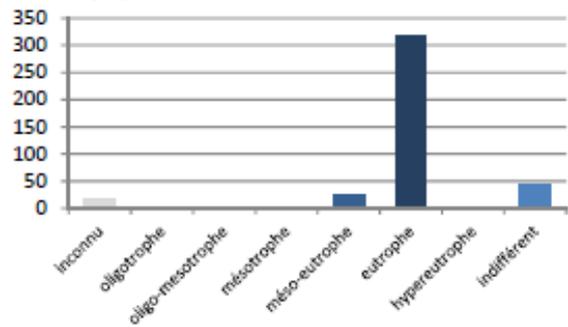


Figure 7 : Caractéristiques écologiques du peuplement de diatomées de la station amont

### Peuplement piscicole :

L'analyse du peuplement piscicole sur cette station, au travers de l'Indice Poisson Rivière (IPR), a permis de mettre en évidence un état biologique qualifié de "bon" correspondant à une note indicielle de 11,15. Cet IPR est issu des trois métriques d'occurrences et quatre d'abondances obtenues via des variables liées à la position de la station sur le gradient longitudinal ( $G = -2,84$ ), la vitesse d'écoulement ( $V = -0,30$ ), l'altitude de la station ( $A = 4,09$ ), la température de l'air ( $T1 = 36,22$ ), l'amplitude thermique saisonnière ( $T2 = 13,06$ ) et le bassin hydrographique (H2). Toutefois, l'étude de ces métriques, liée à la structure du peuplement ainsi qu'à la morphologie de la station vient nuancer la qualité biologique de cette station de référence.

Tout d'abord, toutes les métriques d'occurrences que sont le Nombre d'Espèces Rhéophiles (NER) et le Nombre d'Espèces Lithophiles (NEL) et le Nombre Total d'Espèces (NTE) sont relativement déclassantes pour la note IPR avec des valeurs respectives élevées de 4,68, 2,00 et 2,24 qualifiées de mauvaise pour la première et moyennes pour les deux autres. Ces discordances s'expliquent principalement par l'absence de nombreuses espèces théoriquement attendues par l'IPR et notamment les espèces rhéophiles dont la reproduction est associée aux substrats minéraux. En effet, malgré une station présentant une bonne diversité au niveau de ses substrats minéraux (sable, graviers, galets, pierres) et faciès d'écoulement (plats, courants, profonds), seule 1 espèce rhéophile attendue par l'IPR est présente : le barbeau commun. Une anthropisation marquée des berges et du bassin versant de manière générale peut être à l'origine de cette faible densité piscicole.

Par ailleurs, les quatre métriques d'abondance influencent la note IPR avec principalement la Densité d'Individus Omnivores (DIO) qualifiée de moyenne (1,51). La Densité Totale d'Individus (DTI), Densité d'Individus Invertivores (DII) et la Densité d'Individus Tolérants (DIT) sont quant à elles qualifiées de bonnes avec des valeurs respectives de 0,60, 0,007 et 0,106. Cela s'explique en partie par la présence de plusieurs espèces dont deux tolérantes invertivores qui dominent le peuplement piscicole : l'Ablette et le Chevesne.

Enfin, l'inventaire par pêche électrique a permis une approche quantitative avec une biomasse totale de 8334 g correspondant à environ 66,67 kg/ha au niveau du point de référence amont. Malgré un IPR jugé bon par les limites de classes de l'arrêté du 27 juillet 2018, cette valeur apparaît relativement faible au regard de la typologie de la Seine au niveau de Nogent-sur-Seine.

<b>STATION</b> 21EX00491-007 La Seine à Nogent-sur-Seine (Amont)			
<b>HER</b> G2			
Date de prélèvement : 31/08/2021			
<b>IPR</b>	<b>11.156</b>	<b>Classe d'état</b>	<b>Bon</b>

**Métriques IPR**

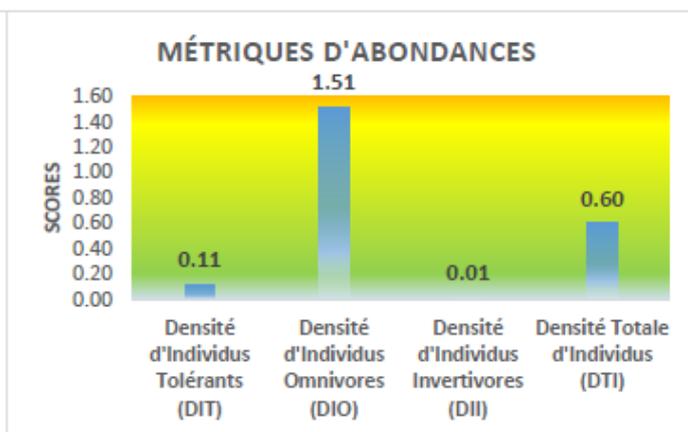
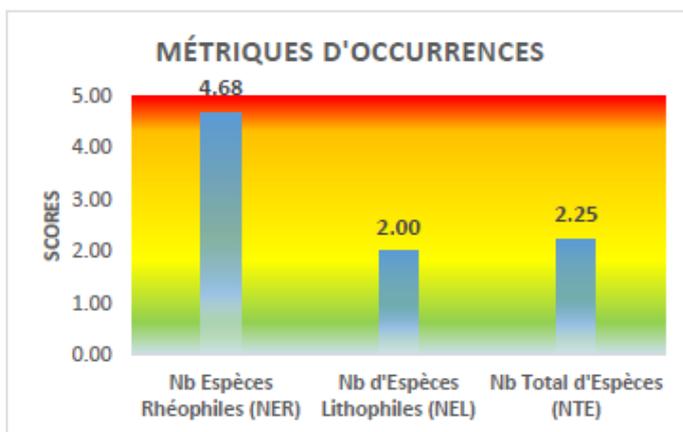
VARIABLES :

Liée à la position station sur le gradient longitudinal (G)	
SBV (km2)	7890.00
DS (km)	156.00
G	-2.85

Liée à la vitesse écoulements (V)	
LAR (m)	56.20
PROF (m)	269.50
PEN (%)	0.30
V	-0.30

Liée à l'altitude de la station (A)	
ALT (m)	60.00
A	4.09
Bassin	H2

Liée à la température de l'air (T1) et à l'amplitude thermique saisonnière (T2)	
Tjanvier (°C)	11.58
Tjuillet (°C)	24.64
T1	36.22
T2	13.06



Métriques	Valeurs observées	Valeurs théoriques	Scores
Nb Espèces Rhéophiles (NER)	1	2,15	4,68
Nb d'Espèces Lithophiles (NEL)	2	2,33	2,00
Nb Total d'Espèces (NTE)	14	11,66	2,25

Métriques	Valeurs observées	Valeurs théoriques	Scores
Densité d'Individus Tolérants (DIT)	0,17	2,60	0,11
Densité d'Individus Omnivores (DIO)	0,18	0,16	1,51
Densité d'Individus Invertivores (DII)	0,02	0,00	0,01
Densité Totale d'Individus (DTI)	0,26	0,36	0,60

Figure 8 : Caractéristiques écologiques du peuplement de poissons de la station amont

## 7.2 La Seine en aval du Barrage de Beaulieu



Figure 9 : Photographies de la Seine en aval du barrage de Beaulieu

### Peuplement des macroinvertébrés :

La Seine en aval du Barrage de Beaulieu présente le 30 août 2021 une très bonne qualité biologique avec une note MGCE de 16/20 résultant d'une variété taxonomique relativement élevée (31 taxons échantillonnés) et d'un groupe indicateur de niveau 8, polluosensible, représenté par les trichoptères *Brachycentridae*.

La note I2M2 est de 0,5112 et témoigne d'une bonne qualité biologique selon l'arrêté du 27 juillet 2018 (Cf. Figure 10). L'outil diagnostic qui accompagne l'I2M2 met en évidence de potentielles pressions chimiques liées à des concentrations importantes en pesticides, ainsi que de potentielles pressions morphologiques liées à l'anthropisation du bassin versant.

Les indices de structure du peuplement de Shannon H' et de Simpson D témoignent d'un peuplement riche et équilibré. Les taxons polluo-résistants dominent le peuplement (61,08% de l'effectif total) et sont principalement représentés par les diptères Chironomidae (27,94%), taxon témoinnant d'apports en matières organiques.

La valeur saprobiale montre une dominance de taxons relativement polluo-résistants vis-à-vis des matières organiques notamment en raison d'une proportion de GOLD (Gastéropodes-Oligochètes-Diptères) de 44,33%. Les EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères) qui regroupent les taxons les plus sensibles à la qualité de l'eau et de l'habitat sont assez bien représentés (31,44% de l'effectif) avec 11 familles présentes et sont dominés par des taxons fortement polluo-sensibles : les trichoptères *Brachycentridae* appartenant au GI de niveau 8 représentent en effet 16,76% de l'effectif total.

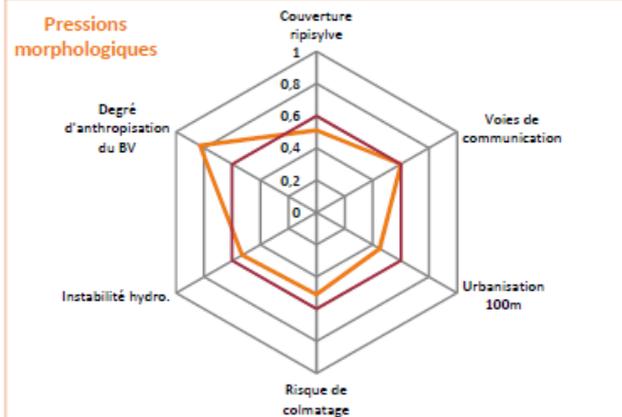
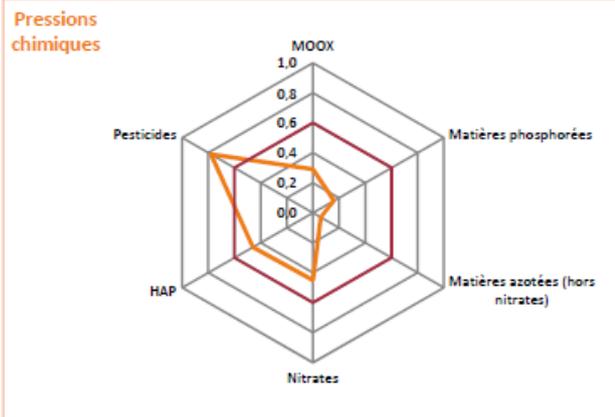
Le peuplement macroinvertébré montre une dominance des taxons limnophiles, caractéristiques des cours d'eau de plaine. La Seine peut être considérée ici comme mésotrophe à eutrophe et le peuplement est dominé par les filtreurs notamment en raison de la proportion des diptères *Chironomidae* et des vers oligochètes.

<b>STATION VNF SEINE AVAL</b>			
<b>HER G9/10</b>			
Date de prélèvement : 30/08/2021			
I2M2	<b>0,5112</b>	Classe d'état <b>Bon</b>	
IBG-eq.	<b>16</b>		

**Indice Invertébré Multimétrique et Outil Diagnostique**

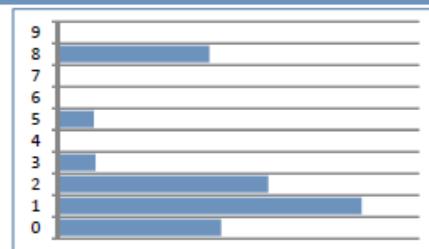
Métriques :

Indice de Shannon :	0,82000	Ovoviviparité :	0,48090	Richesse Taxonomique :	0,30770
Average Score Per Taxon (ASPT) :	0,66290	Polyvoltinisme :	0,30100		



**Indice Biologique Global (Ancien IBG-DCE) et indices de structure du peuplement**

IBG-eq.	16	Indice de Shannon H'	3,64
		Indice de Simpson D	0,13
		Densité Smarg.(ind.m <sup>2</sup> )	5065
Variété tax.	31	Densité Sdom.(ind.m <sup>2</sup> )	2182
Groupe indicateur	8	%EPT	31,44
Taxon(s) du groupe indicateur	<i>Brachycentridae</i>	%GOLD	44,33
		%taxons polluotolérants	61,08



Proportion des GFI

**Traits biologiques (Phases A+B+C)**

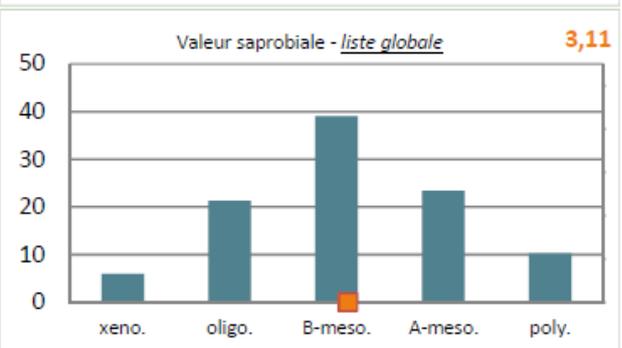
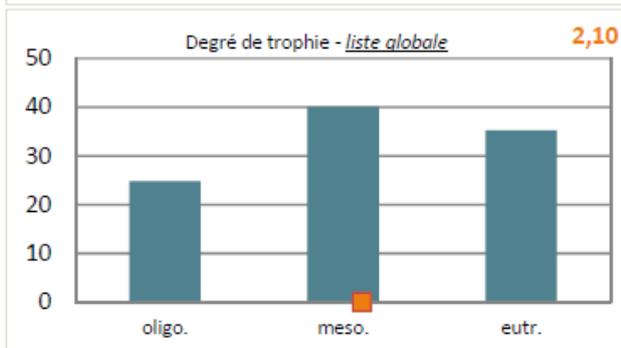
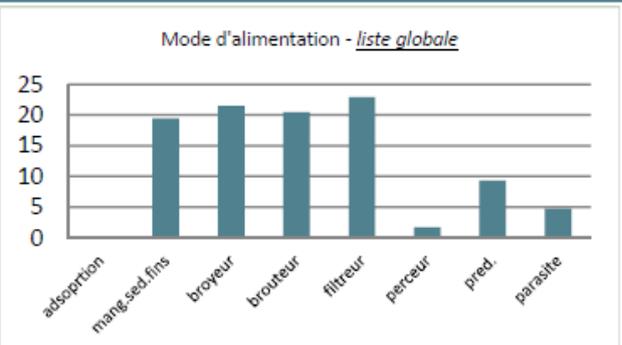
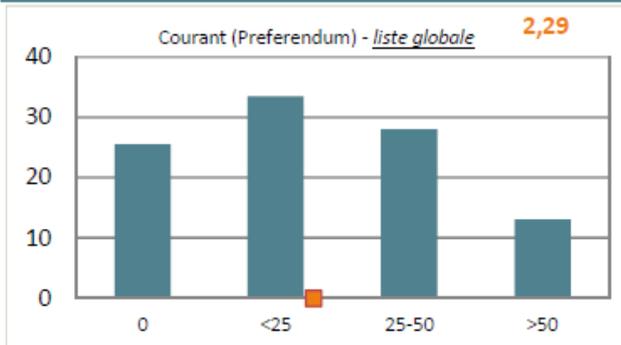


Figure 10 : Caractéristiques écologiques du peuplement de macroinvertébrés de la station aval

### Peuplement des diatomées :

En ce qui concerne l'IBD, la Seine en aval du barrage de Beaulieu obtient une note de 15,2/20. La note EQR est de 0,8304 et classe de cette station en état biologique « bon » selon les limites de classes de l'arrêté du 27 juillet 2018. L'IPS est inférieur avec une note de 14,2/20.

Le cortège floristique est dominé largement par *Cocconeis euglypta* (54,61%), espèce épiphytique ubiquiste fréquente dans les milieux assez variés au niveau de la pollution : rare dans les milieux peu chargés en matière organique et relativement fréquente dans les milieux à faible teneur en nutriments. Elle est accompagnée par *Achnanthydium minutissimum* (7,98%), espèce cosmopolite des eaux bien oxygénées, sensible à la pollution organique et supportant une grande amplitude de pH (4.3-9.2), elle est assez tolérante vis à vis de la pollution par les nutriments. *Cocconeis placentula* (7,48%), espèce dont l'écologie reste à définir, fait également partie du cortège dominant.

La composition du cortège dominant indique donc un milieu modérément oxygéné subissant une contamination organique faible, moyennement minéralisé et impacté par une eutrophisation forte. Le cortège dominant reflète bien le substrat des hydrophytes de l'échantillonnage.

STATION SEINE AVAL à Beaulieu		Bon	
G9/10			
Date de prélèvement : 30/08/2021			
IBD	15,2/20		
EQR	0.8304		

**INDICES BIOLOGIQUES**

**Indices de diversité biologique**

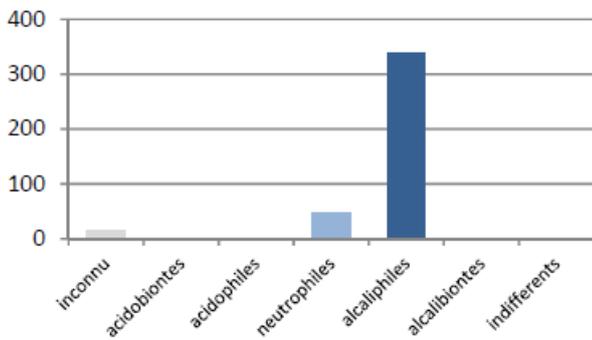
Effectif compté	401
Nombre de taxons	34
Nombre de Genres	18
Indice de Shannon H'	2,8
Indice d'équitabilité E	0,55

**Indices biologiques**

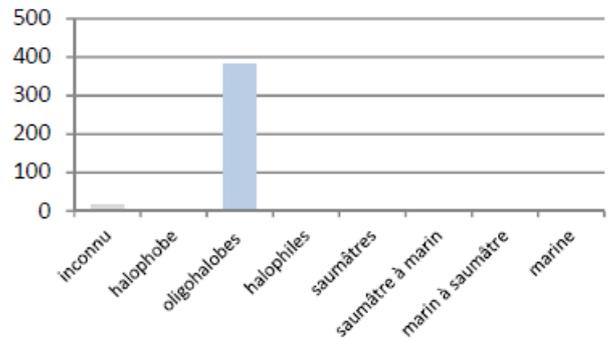
Note IBD =	15,2	/20	(96.26% d'eff. contributif)
Note IPS =	14,2	/20	(100% d'eff. contributif)

**CARACTERISTIQUES AUTÉCOLOGIQUES DU CORTEGE FLORISTIQUE (Selon Van Dam, 1994)**

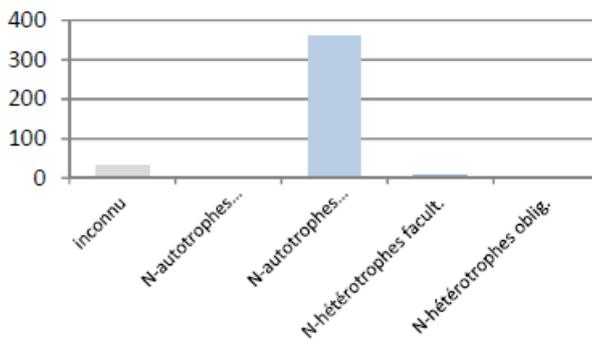
**Affinité au pH**



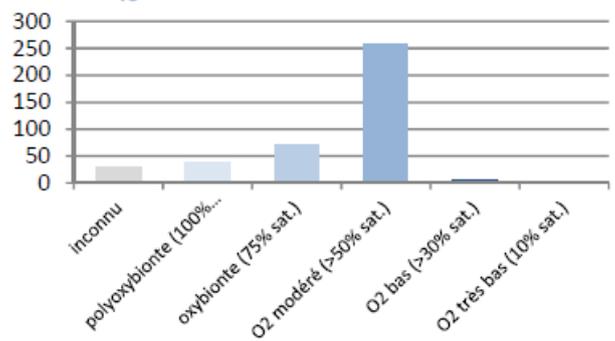
**Affinité à la salinité**



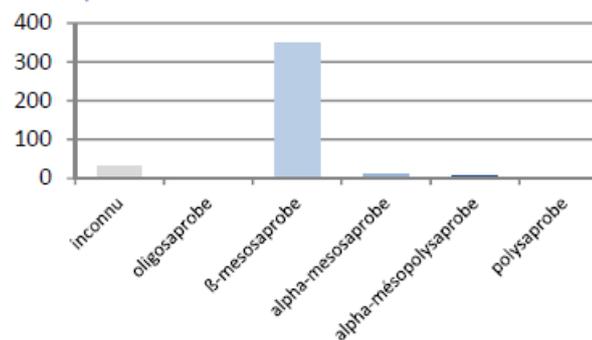
**Assimilation de l'azote**



**Besoin en oxygène**



**Valeur saprobiale**



**Niveau trophique**

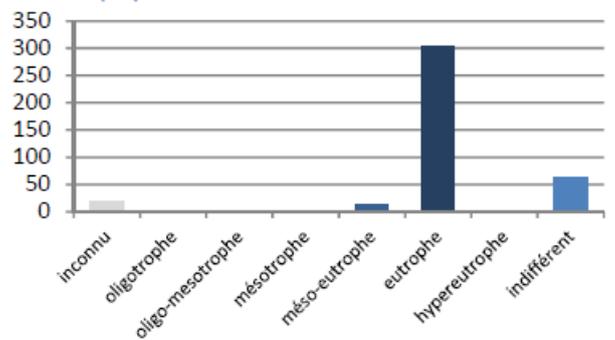


Figure 11 : Caractéristiques écologiques du peuplement de diatomées de la station aval

### Peuplement piscicole :

L'analyse du peuplement piscicole sur cette station, au travers de l'Indice Poisson Rivière (IPR), permet de mettre en évidence un état biologique qualifié de "bon" correspondant à une note indicielle de 12.047. Cet IPR est issu des trois métriques d'occurrences et quatre d'abondances obtenues via des variables liées à la position de la station sur le gradient longitudinal ( $G = -2,85$ ), la vitesse d'écoulement ( $V = -0.52$ ), l'altitude de la station ( $A = 4,06$ ), la température de l'air ( $T1 = 36,22$ ), l'amplitude thermique saisonnière ( $T2 = 13,06$ ) et le bassin hydrographique (H2). A l'image de la station de référence, l'étude de ces métriques vient nuancer l'approche indicielle de l'IPR permise par l'arrêté du 27 juillet 2018.

Concernant les métriques d'occurrences, seule la métrique Nombre Total d'Espèces (NTE) est déclassante pour la note IPR avec une valeur de 7.15. Ce résultat s'explique principalement par la présence de nombreuses espèces non attendues recensées parmi les 17 espèces échantillonnées. Parmi celles-ci, on note par exemple la présence de l'épinochette (probabilité de présence de 0.05), bouvière (probabilité de présence de 0.01) ou encore de la perche soleil (probabilité de présence de 0.01). Cette dernière est d'ailleurs inscrite sur la liste des espèces animales exotiques envahissantes depuis le 10 mars 2020 au même titre que l'écrevisse américaine, également retrouvée lors de l'échantillonnage.

Les quatre métriques d'abondance influencent la note IPR avec principalement la Densité d'Individus Omnivores (DIO) qui est qualifiée de moyenne avec une valeur de 2.67. Là encore, plusieurs espèces omnivores sont observées alors qu'elles ne sont pas attendues sur cette typologie de station. Enfin, la Densité d'Individus Invertivores (DII), la Densité d'Individus Tolérants (DIT) et la Densité Totale d'Individus (DTI) sont quant à elles qualifiées de bonnes avec des valeurs respectives de 1.89, 0.30 et 1.46. Cette dernière métrique de densité s'illustre au travers de la biomasse totale qui est estimée à près de 200 kg/ha, et significativement supérieure à la biomasse évaluée au niveau de la station de référence.

<b>STATION</b>		21EX00491-008 La Seine à Nogent-sur-Seine (Aval)		
<b>HER</b>		G2		
<b>Date de prélèvement :</b>		01/09/2021		
<b>IPR</b>	<b>12.047</b>	<b>Classe d'état</b>	<b>Bon</b>	

**Métriques IPR**

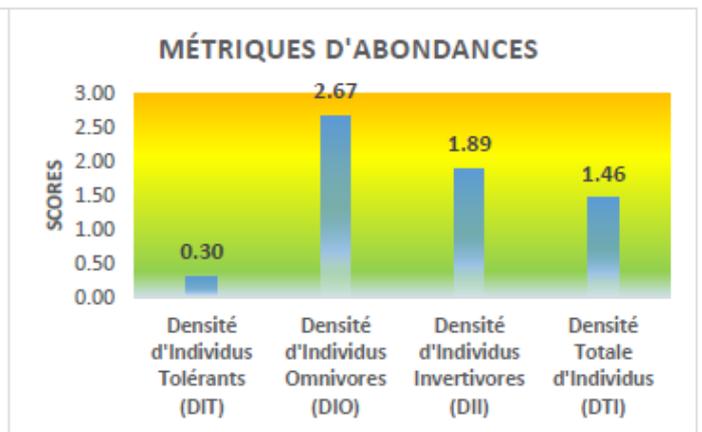
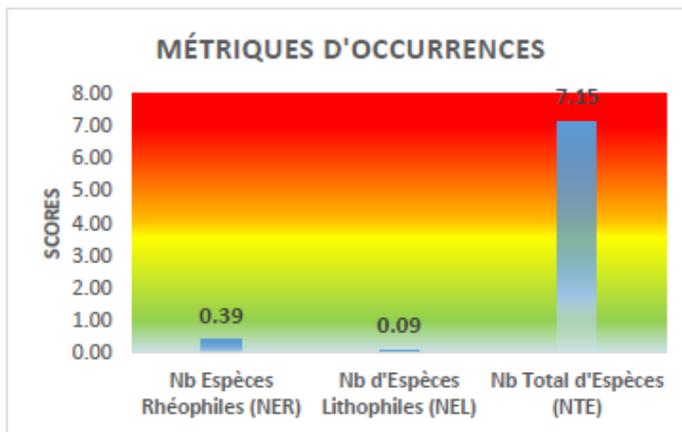
**VARIABLES :**

Liée à la position station sur le gradient longitudinal (G)	
SBV (km2)	7890.00
DS (km)	157.00
G	-2.85

Liée à la vitesse écoulements (V)	
LAR (m)	42.60
PROF (m)	217.70
PEN (%)	0.30
V	-0.52

Liée à l'altitude de la station (A)	
ALT (m)	58.00
A	4.06
Bassin	H2

Liée à la température de l'air (T1) et à l'amplitude thermique saisonnière (T2)	
Tjanvier (°C)	11.58
Tjuillet (°C)	24.64
T1	36.22
T2	13.06



Métriques	Valeurs observées	Valeurs théoriques	Scores
Nb Espèces Rhéophiles (NER)	3	2,18	0,39
Nb d'Espèces Lithophiles (NEL)	4	0,08	0,09
Nb Total d'Espèces (NTE)	17	11,80	7,15

Métriques	Valeurs observées	Valeurs théoriques	Scores
Densité d'Individus Tolérants (DIT)	0,45	2,78	0,30
Densité d'Individus Omnivores (DIO)	0,46	0,18	2,67
Densité d'Individus Invertivores (DII)	0,09	0,00	1,89
Densité Totale d'Individus (DTI)	0,70	0,35	1,46

Figure 12 : Caractéristiques écologiques du peuplement de poissons de la station aval

**A noter :**

Des taxons invasifs ont été échantillonnés sur la Seine au cours de cette étude (principalement sur la station amont) : des Crustacés Isopodes de la famille des *Corophidae* (*Chelicorophium Curvispinum*), des *Janiridae* (*Jaera Istrij*) et de celle des *Mysidae* (*Hemimysis* et *Limnomysis*), des crustacés amphiphodes de la famille des *Gammaridae* (*Dikerogammarus*) ainsi que des vers *Ampharetidae* (*Hypania invalida*). Ces espèces, originaires de la région Ponto-Caspienne, ont remonté le Danube puis le Rhin au cours des dernières décennies et colonisent actuellement le réseau hydrographique Français.

Enfin, des corbicules ont été échantillonnées (*Corbicula fluminea*). Originaires d'Asie et d'Afrique, ces bivalves sont considérés comme invasifs et colonisent le réseau hydrographique français depuis les années 80.

### 7.3 Comparaison amont-aval

La Seine affiche une très bonne qualité biologique selon le compartiment des macroinvertébrés sur les deux stations de mesure avec cependant une note MGCE passant de 19/20 en amont à 16/20 en aval du barrage de Beaulieu. La diminution de la note est liée à une baisse de la variété taxonomique celle-ci passant de 42 en amont à 31 en aval tandis que le groupe indicateur reste inchangé. Cette diminution ne semble donc pas liée à un changement de la qualité de l'eau mais plutôt à une moins bonne habitabilité de la station aval par rapport à la station amont qui pourrait s'expliquer par une dominance du substrat biogène pierre/galet dans le chenal amont contre un chenal majoritairement composé des substrats sables et graviers en aval. Toutefois il est également observé une augmentation de la proportion d'EPT entre l'amont et l'aval, celle-ci passant de 12,64 à 31,44%. Cette augmentation est liée notamment à la forte augmentation de l'effectif du taxon indicateur en aval : le trichoptère *Brachycentrus*, taxon le plus polluosensible du peuplement observé, dont l'effectif passe de 33 à 316 individus entre l'amont et l'aval. Les deux stations de mesure présentent donc une qualité biologique identique et des peuplements macroinvertébrés assez comparables.

En ce qui concerne les diatomées, la qualité biologique est qualifiée de bonne sur les deux stations de mesure, l'indice IBD augmente très légèrement sur la station aval (+0,2 points) et l'IPS reste inchangé avec. La composition du cortège dominant est identique sur les deux stations et reflète bien le substrat des hydrophytes utilisé pour l'échantillonnage. Il n'y a donc pas de différence significative entre les peuplements diatomiques observés sur la Seine en amont et en aval du barrage de Beaulieu.

Enfin, le peuplement piscicole témoigne d'une bonne qualité biologique que ce soit en amont ou en aval du barrage de Beaulieu avec des notes IPR qui sont respectivement de 11,15 et 12,047. 17 espèces différentes ont été retrouvées sur la station amont contre 21 à l'aval du barrage avec une densité et une biomasse encore une fois plus importante à l'aval, avec 7232 individus/ha et 200 kg/ha contre 2632 individus/ha et 66,7 kg/ha en amont.

## 8 Conclusions

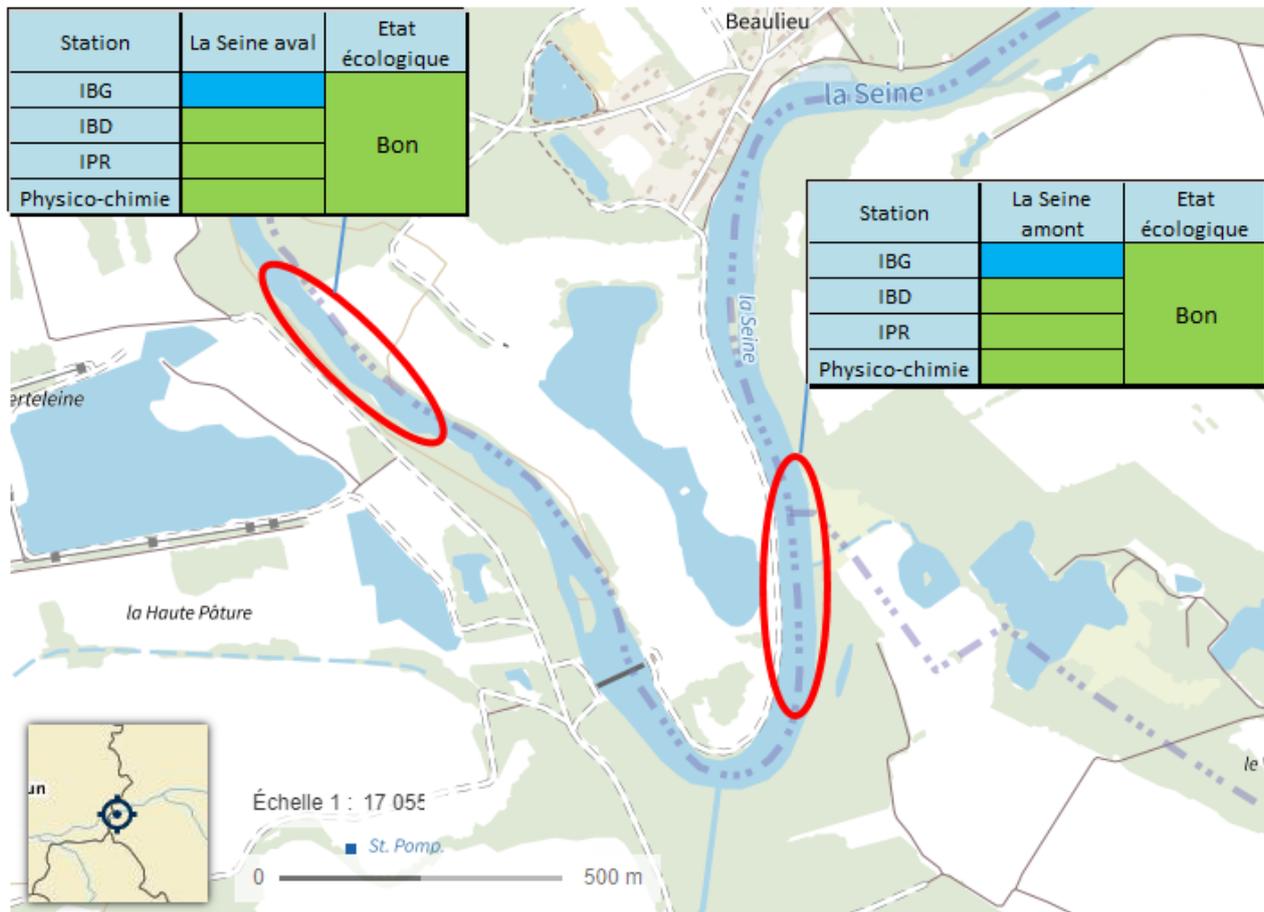


Figure 13 : Résumé des qualités biologiques, physico-chimiques et écologiques en amont et en aval du barrage de Beaulieu

Les mesures réalisées en amont et en aval du barrage de Beaulieu en août 2021 ont permis de mesurer la qualité biologique et physico-chimique de la Seine afin de déterminer son état écologique.

Les résultats issus de l'étude du peuplement des macroinvertébrés montrent une station de très bonne qualité résultant d'une variété taxonomique relativement élevée et d'un groupe indicateur polluosensible.

En ce qui concerne l'étude du peuplement des diatomées, les deux stations témoignent d'un bon état biologique pour ce compartiment avec des notes EQR similaires de 0,8187 en amont et de 0,8304 en aval.

Le bon état biologique est également atteint en ce qui concerne l'IPR avec des notes relativement proches en amont et en aval du barrage de Beaulieu. Il peut toutefois être noté une diversité, une densité et une biomasse plus importante sur la station aval.

Enfin, les deux stations étudiées présentent un bon état physico-chimique en août 2021, aucune différence significative n'étant observée entre les teneurs mesurées en amont et en aval du barrage de Beaulieu.

Ainsi, les deux stations étudiées, en amont et en aval du barrage de Beaulieu, atteignent le bon état écologique sur la base des mesures réalisées en août 2021 et aucun impact significatif du barrage n'est constaté sur la Seine.

## ANNEXE 1 : Rapports d'analyses