

Étude réalisée en collaboration entre l'Union Nautique de Plobsheim et la Fédération du Bas-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Campagne 2018

Rédacteur : Robin HOLDER

r.holder@peche67.fr

## Étude visant à déterminer les causes des mortalités piscicoles du plan d'eau de compensation de Plobsheim (67)



Bouée d'enregistreur entourée par les végétaux à la dérive

Fédération du Bas-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Lieu-dit la Musau, Route départementale 228

67203 OBERSCHAEFFOLSHEIM

Téléphone : 03 88 10 52 20

Site : <https://www.peche67.fr>



## SOMMAIRE

### Table des matières

1. Contexte et Objectif .....	6
1.1 Conditions météorologiques .....	10
1.2 Débits des cours d'eau .....	11
1.3 Facteurs externes .....	11
1.4 Évènements marquants .....	12
2. Matériel et Méthodes .....	13
2.1 Rappel des moyens mis en œuvre.....	13
2.1.1 Suivi en continu de la température de l'eau .....	13
2.1.2 Suivi de l'oxygène dissous .....	14
2.1.3 Suivi de la dégradation de la matière organique et de l'assimilation des nutriments.....	16
2.1.4 Suivi des populations de cyanobactéries et de l'effet des cyanotoxines .....	19
2.2 Évolution du protocole et renforcement du maillage.....	20
2.2.1 Nouvelles stations de mesures.....	20
2.2.2 Inventaire floristique des macrophytes du plan d'eau .....	21
3. Résultats et Interprétations .....	25
3.1 Physico-chimie.....	25
3.1.1 Suivi en continu de la température de l'eau .....	25
3.1.2 Suivi de l'oxygène dissous .....	30
3.1.3 Suivi de la qualité physico-chimique du plan d'eau .....	33
3.1.4 Suivi de la qualité des sédiments .....	39
3.1.5 Suivi du phytoplancton et des cyanobactéries.....	44
3.2 Inventaire floristique des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim.....	45
3.2.1 Inventaire des espèces macrophytiques du plan d'eau .....	45
3.2.2 Cartographie par indice d'abondance et répartition des espèces végétales.....	46
3.2.3 Interprétation des résultats du compartiment macrophyte.....	51
3.3 Croissance végétale et création d'îlots végétalisés.....	52
4. Discussion .....	53
4.1 Des conditions environnementales différentes entre 2015-2016 et 2017-2018.....	53
4.1.1 Absence de faucardage durant ces 2 dernières années.....	53
4.1.2 Absence de mortalités piscicoles .....	53
4.1.3 Conditions météorologiques et hydrologiques différentes .....	53
4.2 Mesures et résultats d'analyses .....	54

4.2.1 Sondes autonomes températures.....	54
4.2.2 Valeurs d'oxygène et de température .....	54
4.2.3 Identification et dénombrement des cyanobactéries.....	54
5. Conclusion .....	55
Bibliographie et Sitographie.....	63

## Liste chronologique des figures

Figure 1 : Localisation du plan d'eau de Plobsheim .....	6
Figure 2 : Cadavres de poissons ramenés par le vent le long de la base nautique en 2016 .....	7
Figure 3 : Relevé météorologique de la ville Strasbourg 2017.....	10
Figure 4 : Relevé météorologique de la ville de Strasbourg 2018.....	10
Figure 5 : Graphique de l'évolution des débits du canal de décharge de l'Ill à Krafft et à la Thumenau en 2018.....	11
Figure 6 : Bouée d'un enregistreur prise dans un îlot de végétation d'élodée à la dérive .....	12
Figure 7 : Sonde Prosensor UA001 .....	13
Figure 8 : Cartographie de la localisation des stations de mesure de la température 2018 .....	13
Figure 9 : Cartographie de la localisation des stations de mesure d'oxygène 2018 .....	14
Figure 10 : Schéma d'installation des sondes oxygène et température sur bouée .....	14
Figure 11 : Sonde HOBO U26.....	15
Figure 12 : Sonde multi-paramètres HANNA INSTRUMENT HI98194 .....	15
Figure 13 : Cartographie de la localisation des points de prélèvement pour les analyses physico-chimiques 2018 .....	16
Figure 14 : Bouteille Van Horn utilisée lors des prélèvements d'eau .....	17
Figure 15 : Schéma de la réalisation des prélèvements d'eau .....	17
Figure 16 : Benne Ekman utilisée pour faire les prélèvements.....	18
Figure 17 : Cartographie de la localisation des sites de prélèvement de sédiments 2018.....	18
Figure 18 : Cartographie de la localisation des sites de prélèvement de cyanobactéries .....	19
Figure 19 : Photographie de macrophytes aquatiques .....	21
Figure 20 : Schéma de la méthode de relevé floristique employée sur Plobsheim .....	22
Figure 21 : Photographie des opérations de prélèvements de végétaux à l'aide du râteau télescopique et de l'aquascope .....	22
Figure 22 : Schéma du plan d'échantillonnage du plan d'eau de Plobsheim représentant les différents transects.....	23
Figure 23 : Photographie d'un point contact effectué sur des élodées montrant un indice d'abondance de 5 .....	24
Figure 24 : Graphique de l'évolution des températures de la station 1 entre la surface et le fond pendant la première semaine de Juillet 2018.....	25
Figure 25 : Cartographie des courants du plan d'eau de Plobsheim en période de basses eaux de l'Ill .....	27
Figure 26 : Grille SEQ Eau concernant le paramètre température .....	28
Figure 27 : Tableau des seuils de tolérance thermique des principales espèces piscicoles .....	28
Figure 28 : Cycle de développement du Brochet (Source : Fédération de pêche 69 Chancerel 2003). ..	29
Figure 29 : Mesure d'oxygène dissous effectuée sur une des stations du plan d'eau de Plobsheim ...	30
Figure 30 : Sonde relevant la concentration d'oxygène dissous au-dessus de macrophytes .....	30
Figure 31 : Schéma de l'évolution longitudinale de l'oxygène dissous le long du gradient Nord-Sud..	31
Figure 32: Tableaux des classes d'aptitude de l'eau .....	33
Figure 33 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale du pH du plan d'eau de Plobsheim en 2018.....	34
Figure 34 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en MES du plan d'eau de Plobsheim en 2018.....	36
Figure 35 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrates du plan d'eau de Plobsheim en 2018 .....	37

Figure 36 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en Chlorophylle a + phéopigments dans le plan d'eau de Plobsheim 2018.....	38
Figure 37 : Tableaux des seuils fixés pour chaque paramètre par l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments extraits de cours d'eau ou de canaux (annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement) .....	39
Figure 38 : Diagramme montrant l'évolution de la concentration en Mercure dans les sédiments entre le mois de Juin et Octobre de l'année 2018 du plan d'eau de Plobsheim.....	40
Figure 39 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale du rapport N/P du plan d'eau de Plobsheim 2018.....	41
Figure 40 : Graphique de l'évolution de la concentration en matière organique des sédiments du plan d'eau de Plobsheim entre le mois de Juin et d'Octobre 2018 .....	43
Figure 41 : Diagramme de la comparaison de la concentration en matière organique dans les sédiments entre le mois de Juin et d'Octobre 2018 du plan d'eau de Plobsheim .....	43
Figure 42 : Vue microscopique de Limnithrix redekei.....	44
Figure 43 : Vue microscopique de Phormidium sp .....	44
Figure 44 : Graphique de l'évolution longitudinale et temporelle des concentrations de cyanobactéries sur le plan d'eau de Plobsheim en 2018 .....	44
Figure 45 : Diagramme de la répartition des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim en fonction de leur abondance en 2018.....	45
Figure 46 : Cartographie de la répartition et des indices d'abondance des élodées au sein du plan d'eau de Plobsheim en 2018 .....	46
Figure 47 : Illustration de Charas.....	48
Figure 48 : Illustration d'Élodea nuttallii .....	49
Figure 49 : Illustration de Myriophyllum spicatum .....	49
Figure 50 : Illustration de Potamogeton lucens .....	49
Figure 51 : Cartographie des courants du plan d'eau de Plobsheim en période de hautes eaux de l'III .....	52
Figure 52 : Cygne tuberculé avec ses petits s'alimentant de végétaux aquatiques.....	57
Figure 53 : Personne apportant du pain aux cygnes.....	58

## Liste des Annexes

**Annexe 1** : Cartographie de la zone de mortalité et des courant transportant les poissons morts

**Annexe 2** : Dossier qui n'autorise pas l'UNAP à faucarder

**Annexe 3** : Résultats des températures et des concentrations d'oxygène dissous issus des sondes autonomes HOBO du plan d'eau de Plobsheim pour la campagne 2018

**Annexe 4** : Comparaison des évolutions spatiales et temporelles des températures issues des sondes autonomes HOBO

**Annexe 5** : Grille SEQ eau utilisée

**Annexe 6** : Comparaison des évolutions spatiales et temporelles des concentrations en oxygène dissous issues des sondes autonomes

**Annexe 7** : Résultats des analyses physico-chimiques d'eau effectuées par Eurofins Saverne

**Annexe 8** : Résultats des analyses de sédiments effectuées par Eurofins Saverne

**Annexe 9** : Résultats du dénombrement et de l'identification des cyanobactéries du plan d'eau de Plobsheim 2018 réalisé par SAGE ENVIRONNEMENT

**Annexe 10** : Cartographies des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim issues de l'inventaire floristique mené en 2018

# 1. Contexte et Objectif

## Localisation du site d'étude

Mis en eau en 1970 pour des besoins de régulation hydraulique, le bassin de compensation de Plobsheim situé dans le Bas-Rhin (67) à la frontière avec l'Allemagne joue un rôle majeur dans la maîtrise des niveaux du Rhin et de l'Ill en amont de Strasbourg.

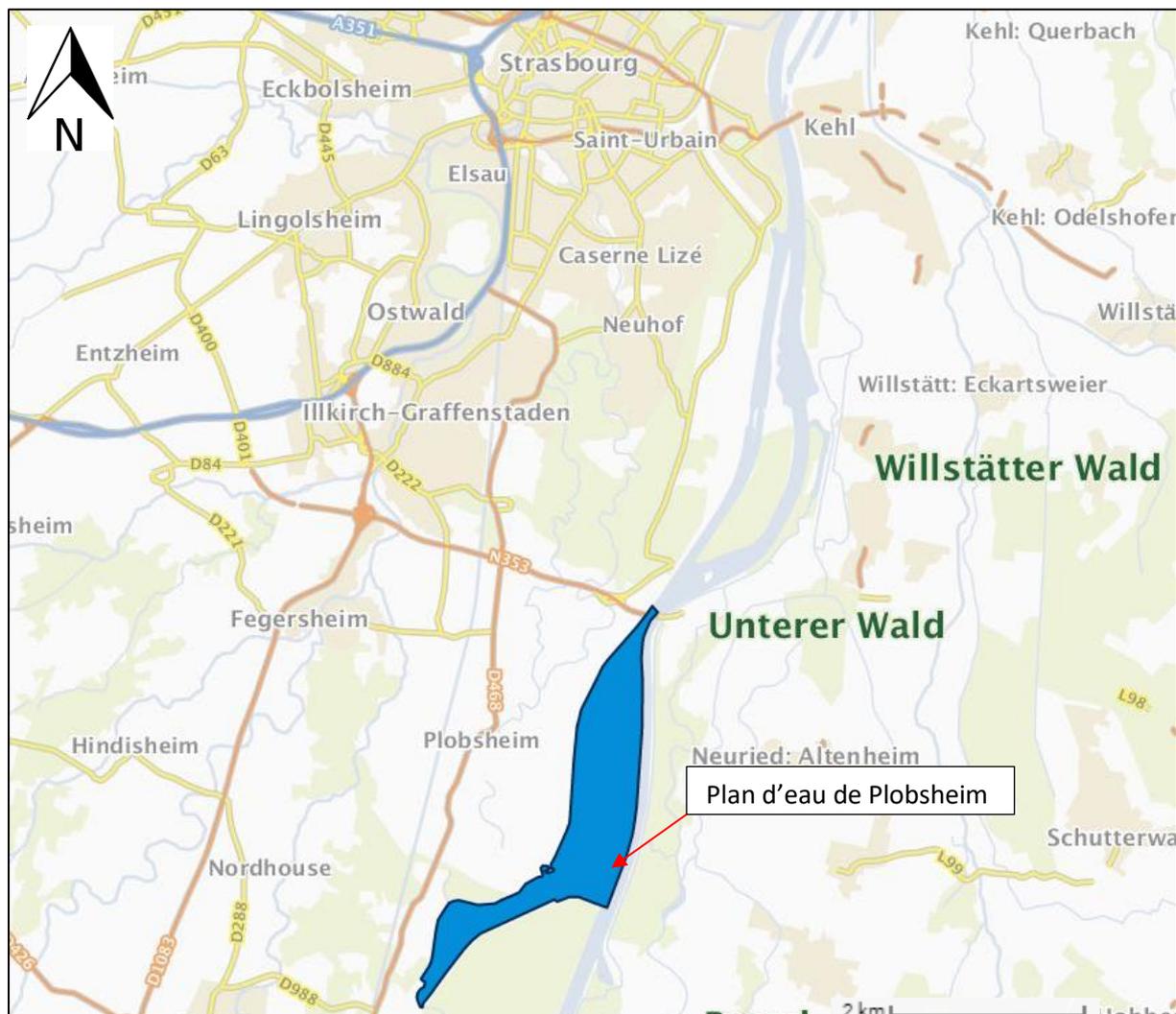
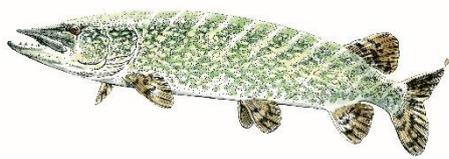


Figure 1 : Localisation du plan d'eau de Plobsheim

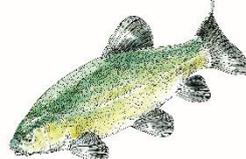
## Historique et contexte du plan d'eau

Dès la fin des années 80, les efforts de dépollution des pays riverains du fleuve commencent à porter leurs fruits, la qualité de l'eau s'améliore et les eaux s'éclaircissent. Les plantes aquatiques trouvent dans ce plan d'eau peu profond des conditions idéales pour se développer et deviennent le catalyseur d'une dynamique naturelle. Les poissons et les oiseaux colonisent en nombre ce nouvel écosystème dont l'intérêt écologique devient si fort qu'en 1998, un arrêté de protection de biotope apporte le statut de site remarquable. Dans un environnement rhénan qui ne cesse de se dégrader, le plan d'eau de Plobsheim constitue une zone refuge où le nombre d'oiseaux et de poissons, menacés ailleurs, ne cesse d'augmenter.

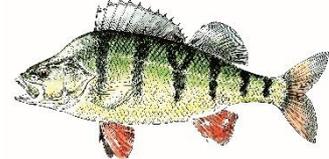
Pour autant, l'équilibre de cet écosystème est fragile. Le 28 août 2016, une mortalité de poissons sans précédente avait décimé plusieurs milliers de juvéniles de **Brochet (*Esox lucius*)**, **Tanche (*Tinca tinca*)** et **Perche (*Perca fluviatilis*)**. Ce phénomène bien qu'exceptionnel, d'une durée d'une semaine, avait impliqué la mortalité de plusieurs tonnes de poisson selon les estimations.



*Esox lucius*



*Tinca tinca*



*Perca fluviatilis*

En 2015, un premier phénomène de mortalité piscicole de moindre ampleur qu'en 2016 avait déjà été observé, causant la mort de nombreux poissons. Ces mortalités successives soulèvent donc la fragilité et la sensibilité dont fait part le biotope de ce plan d'eau dans des conditions particulières qui restent à déterminer et qui font l'objet de cette étude.

Les observations réalisées sur le terrain durant l'été 2016 avaient permis de délimiter une zone où les poissons avaient été retrouvés morts ou agonisants. Cette zone a été localisée entre la base nautique au Nord et le Rhinland au Sud. Cependant l'étude et les réflexions menées en 2017 ont permis de dissocier la zone où se produisait la mortalité de la zone où ont été retrouvés les cadavres de poissons. Ce phénomène est lié aux courants éoliens qui aurait tendance à ramener les cadavres flottants (grâce à leur vessie natatoire) vers la base nautique. (**Voir annexe 1**)

D'après les réflexions issues de l'étude 2017, il semblerait que ces zones de mortalités correspondraient à des zones densément végétalisées avec un assemblage macrophytique constitué de certaines espèces faisant varier de manière significative les conditions physico-chimiques de l'eau à ces endroits. La suite de cette étude entamée en 2017 vise à identifier, comprendre et apprécier ces phénomènes ainsi que leur combinaison qui ont mené à une telle mortalité.



Figure 2 : Cadavres de poissons ramenés par le vent le long de la base nautique en 2016

## Rappel des objectifs de l'étude

La description faite ci-dessus des épisodes des mortalités piscicoles qu'a connu le plan d'eau de Plobsheim avait induit un certain nombre d'interrogations quant au caractère localisé ou spécifique des mortalités observées.

L'étude visant à soulever ces interrogations menées en 2017 a permis d'y répondre partiellement. Pour rappel, les hypothèses émises étaient :

- Anoxie nocturne des zones fortement végétalisées où sont théoriquement présentes les espèces touchées par les mortalités.
- Évolution du peuplement macrophytique, accentuant les variations nycthémérales des taux d'oxygène en fonction de la composition du peuplement macrophytique.
- Inflorescence de cyanobactéries causant une anoxie et libérant des cyanotoxines.
- Relargage par les sédiments de substances toxiques suite à désoxygénation.
- Désoxygénation des couches benthiques faiblement renouvelées en oxygène.
- Mauvaise assimilation des nutriments (azote, phosphore) accentuant les phénomènes d'anoxie.
- Dégradation de la matière organique, produite par le faucardage, accentuant les phénomènes d'anoxie.

L'objectif de ces campagnes successives visait à répondre spécifiquement à chacune de ces hypothèses, en caractérisant notamment :

- Les évolutions estivales de la qualité physico-chimique de l'eau du plan d'eau de Plobsheim.
- Les évolutions longitudinales de la qualité physico-chimique de l'eau du plan d'eau de Plobsheim.
- Les évolutions longitudinales de la composition des sédiments du plan d'eau de Plobsheim.
- Les phénomènes de relargage de nutriments et/ou de toxines par les sédiments.
- La présence de cyanobactéries et le degré de toxicité des espèces présentes.
- Caractériser spécifiquement la structure de l'ichtyo-faune et sa relation avec les habitats.
- Caractériser et cartographier les peuplements macrophytiques du plan d'eau de Plobsheim

## Résumé de l'étude menée en 2017

Le protocole élaboré en 2017 reposait sur des prélèvements et mesures physico-chimiques effectués sur différents compartiments (eau, sédiments, poissons). Des pêches d'inventaires scientifiques à l'électricité et aux filets maillants scandinaves avaient été réalisées permettant ainsi de localiser les habitats inféodés aux différentes espèces piscicoles mais également en fonction de leur classe d'âge. Des relevés de végétation aquatique ainsi que des mesures en continu du taux d'oxygène et des températures à l'aide de sondes autonomes avaient été effectués.

Les résultats obtenus à travers ces différentes mesures et inventaires avaient permis de dresser un état des lieux détaillé des phénomènes et interactions pouvant survenir dans cet écosystème qu'abrite le plan d'eau de Plobsheim. La campagne de terrain réalisée en 2017 avait permis d'établir un état des lieux initial du plan d'eau de Plobsheim en absence de facteurs estimés défavorables à la stabilité physico-chimique estivale comme les crues de printemps, les canicules ou encore les opérations de faucardage.

Au vu des résultats obtenus en 2017 et de leurs intérêts sur la compréhension du fonctionnement du plan d'eau de Plobsheim, la Fédération du Bas-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique en collaboration avec l'Union Nautique de Plobsheim (UNAP) a donc décidé de reconduire cette étude en 2018.

## Les objectifs de l'étude 2018 et amélioration du protocole

L'objectif global reste inchangé, c'est-à-dire déterminer les dysfonctionnements qui ont conduit aux mortalités piscicoles observées du plan d'eau de Plobsheim de 2015 et 2016.

La finalité étant d'instaurer un plan de gestion visant limiter voire supprimer ces phénomènes de mortalités.

Fort des résultats obtenus en 2017, de nouvelles hypothèses sont incorporées à la problématique initiale. Le même protocole expérimental sera mis en place en y effectuant quelques ajouts et modifications qui viendront l'enrichir afin qu'il puisse répondre au mieux aux nouvelles et nombreuses hypothèses émises précédemment.

En 2018, afin d'unir leurs efforts et leurs moyens pour parvenir à une gestion durable du plan d'eau de compensation de Plobsheim, la Fédération de pêche et l'UNAP, gestionnaire de la base nautique de Plobsheim, ont conventionné la répartition de leurs actions de recherche.

Le protocole 2018 intégrera donc :

- La **reconduite du protocole** mis en œuvre en **2017**, à l'exception des pêches d'inventaire.
- Le **renforcement du maillage** dans la zone apparue comme **sensible** au regard des résultats obtenus en 2017, avec un regard particulier sur la sédimentation hors chenal et l'influence des recouvrements végétaux sur les variations en oxygène dissous.
- L'inventaire précis des **recouvrements macrophytiques** du plan d'eau.

## 1.1 Conditions météorologiques

Dans l'environnement du plan d'eau de Plobsheim, les conditions météorologiques 2018 ont été globalement similaires à celles de 2017, caractérisées par un hiver froid mais légèrement plus humide que l'année précédente, un printemps doux et sec qui s'est terminé par un épisode caniculaire se prolongeant jusqu'à la fin de l'été. Le début d'automne 2018 quant à lui, peut être considéré comme relativement chaud et sec par rapport à celui de 2017 avec des températures de saison largement au-dessus des moyennes. (Source : <https://www.prevision-meteo.ch>)

Mois	Température [°C]			Vent [km/h]		Ensoleillement <sup>4</sup> [h]	Précipitations totales <sup>5</sup> [mm]	Pression <sup>6</sup> [hPa]	
	Min. <sup>1</sup>	Max. <sup>2</sup>	Moy. <sup>3</sup>	Moy. <sup>3</sup>	Max. <sup>3</sup>			Min.	Max.
Janv.	-11.6	8.2	-1.7	0	51.9	92h 30min	23.7	--	1042.2
Févr.	-4.2	19.5	5	0	44.4	85h 48min	46.2	994.1	1036.8
Mars	-0.6	25.1	9.6	0	33.3	186h 12min	36.8	990.7	1034.2
Avr.	-1.6	26.7	10.3	0	35.2	210h 30min	20.6	1004.1	1036.7
Mai	2.5	33.8	16.7	0	31.5	272h 36min	79.7	--	1030.2
Juin	7.5	35.3	20.9	0	38.9	270h 48min	51.0	996.3	1027.1
Juill.	12.1	34.9	21.3	0	40.7	211h 0min	83.8	1008.1	1025.4
Août	9.3	34.0	20.4	0	37.0	203h 24min	50.8	1008	1025.8
Sept	4.5	27.4	14.5	0	46.3	137h 30min	45.9	1000.6	1024.7
Oct.	-1.8	26.3	12	0	33.3	138h 18min	37.2	1011.9	1032.2
Nov.	-1.9	19.5	6	0	46.3	16h 54min	88.1	997.8	1029.2
Déc.	-3.3	14.8	3.7	0	46.3	10h 36min	40.5	980.7	1039.1
	-11.6	35.3	11.5	0	51.9	1836h 6min	604.3	--	1042.2

Figure 3 : Relevé météorologique de la ville Strasbourg 2017

Mois	Température [°C]			Vent [km/h]		Ensoleillement <sup>4</sup> [h]	Précipitations totales <sup>5</sup> [mm]	Pression <sup>6</sup> [hPa]	
	Min. <sup>1</sup>	Max. <sup>2</sup>	Moy. <sup>3</sup>	Moy. <sup>3</sup>	Max. <sup>3</sup>			Min.	Max.
Janv.	-4.1	15.3	6.5	0	59.3	44h 6min	104.7	995.2	1037.8
Févr.	-10.8	10.1	0.7	0	33.3	110h 12min	26.5	1004.6	1028.5
Mars	-5.7	15.5	5.1	0	38.9	153h 6min	33.5	992	1029.4
Avr.	-0.3	30.0	14.4	0	40.7	194h 24min	24.0	996.4	1030.4
Mai	5.2	30.0	17.7	0	29.6	228h 48min	124.4	1004.1	1021.3
Juin	7.8	31.4	20.3	0	50.0	235h 54min	47.5	1006.5	1027.3
Juill.	12.4	35.6	22.7	0	31.5	295h 54min	28.3	1007.6	1022.8
Août	6.6	36.4	21.9	0	42.6	250h 36min	78.8	1008.4	1025.2
Sept	3.0	32.1	17	0	42.6	241h 24min	49.6	1008.2	1037.6
Oct.	4.0	23.6	13	0	20.4	41h 36min	0.6	1009	1028.7
	-10.8	36.4	13.9	0	59.3	1796h 0min	517.9	992	1037.8

Figure 4 : Relevé météorologique de la ville de Strasbourg 2018

## 1.2 Débits des cours d'eau

Cette année, bien qu'un peu plus pluvieuse, a été marquée par des crues venant de l'III au début de l'année 2018. Ces crues n'étaient pas présentes en 2017. Il faudra donc intégrer que l'hydrologie qui a eu lieu en hiver 2018 est différente de celle de 2017, qui peut donc avoir des conséquences sur les paramètres étudiés pendant l'étude.

En été par contre, on retrouve des conditions hydrologiques similaires à l'année précédente avec un canal de décharge de l'III qui peine à alimenter le plan d'eau de Plobsheim au-delà de son débit sanitaire pendant la période estivale.

Pour compenser ce faible débit de l'III, l'ouvrage de la Thumenau a vu défilier en moyenne  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  durant toute la belle saison. On peut donc estimer que plus de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  ont transité de façon continue depuis le Rhin via le plan d'eau jusqu'à l'ouvrage durant les 7 mois les plus chauds de l'année.

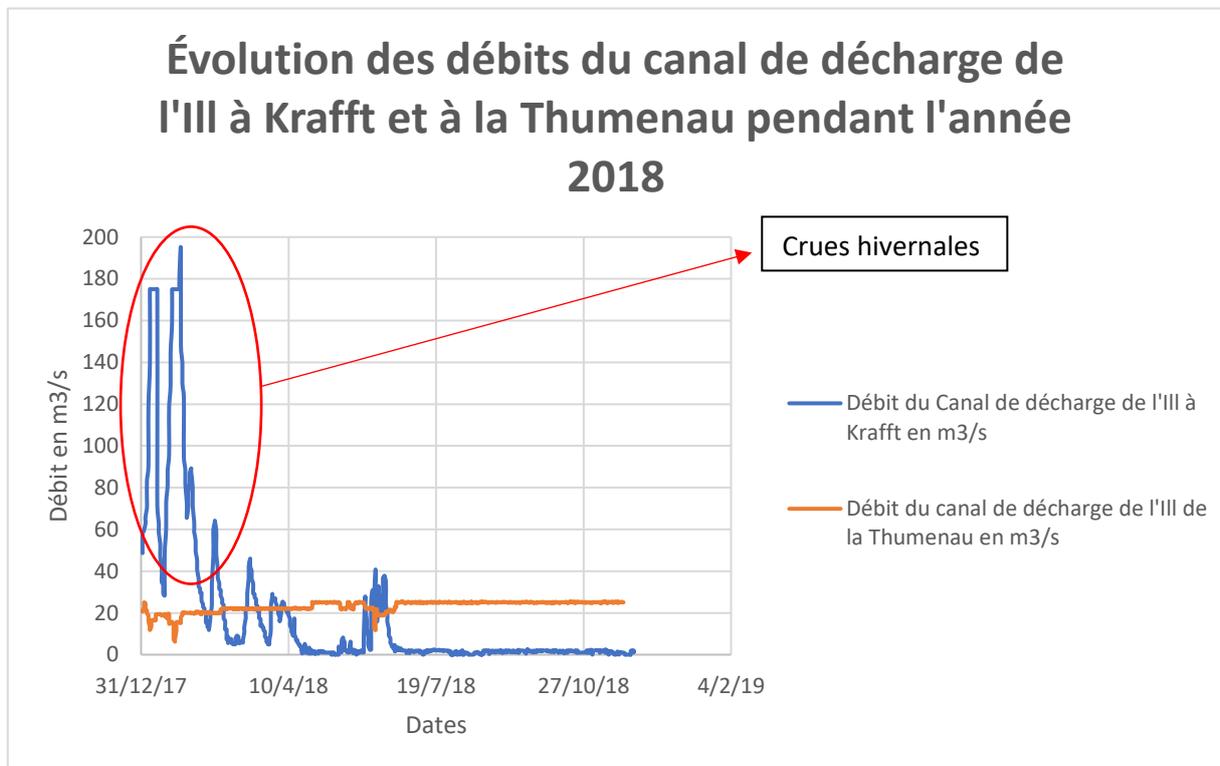


Figure 5 : Graphique de l'évolution des débits du canal de décharge de l'III à Krafft et à la Thumenau en 2018

## 1.3 Facteurs externes

En 2018 comme en 2017, l'UNAP, gestionnaire de la base nautique n'a pas eu l'autorisation (**Voir Annexe 2**) d'effectuer des opérations de faucardage initialement prévues sur des secteurs précis du plan d'eau (secteurs dédiés en partie à la pratique de la voile). Par conséquent, aucune opération de faucardage n'a eu lieu sur le plan d'eau de Plobsheim depuis maintenant 2016, contrairement aux années 2015 et 2016 où un faucardage avait eu lieu, suivi par des fortes mortalités piscicoles en lien ou non avec ces opérations.

## 1.4 Évènements marquants

Contrairement aux années précédentes, l'année 2018 n'a pas été teintée par un phénomène de mortalité piscicole sur le plan d'eau de Plobsheim. Cependant elle a été particulièrement marquée par un important phénomène de développement de la végétation aquatique lors de la période végétative s'étalant de Mai à Aout du Nord au Sud du plan d'eau.

Ces développements végétatifs survenus à partir du mois de Juillet ont pris la forme de véritables îlots végétaux pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de diamètre et d'une épaisseur de quelques cm à quelques mètres, résultant d'une forte croissance végétale obtenue dans des conditions environnementales optimales. Ces formations végétales composées environ à 80 % d'élodées et de 20 % de characées se sont déclarées sur l'ensemble du plan d'eau sur des zones occupées majoritairement par des fortes densités de Characées et d'Élodées où la profondeur est peu importante. Cette croissance végétale est telle, que les macrophytes sont venus affleurer la surface de l'eau dans un premier temps formant des îlots fixes. Dans un second temps et avec la force du courant, ces îlots se sont détachés par rupture de la tige/racine et ont emprunté le courant Nord-Sud du plan d'eau. Ce phénomène était d'une telle ampleur que la navigation pour les usagers des clubs de voile s'en est trouvée fortement détériorée et que certaines de nos bouées d'enregistreurs placés le long du chenal se sont fait submerger par ces masses végétales à de nombreuses reprises (voir photo ci-dessous).



Figure 6 : Bouée d'un enregistreur prise dans un îlot de végétation d'élodée à la dérive

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1 Rappel des moyens mis en œuvre

#### 2.1.1 Suivi en continu de la température de l'eau

La mesure de la température de l'eau est réalisée à l'aide de sondes thermiques Prosensor « UA001 » ou à l'aide d'enregistreur d'oxygène dissous « HOBO U26 » sur les stations d'enregistrement d'oxygène dissous. Les sondes sont disposées à 1m sous la surface et à 1m du fond dans le cas où la profondeur de la station est supérieure à 4 m, sinon seule la mesure de surface est réalisée.



Figure 7 : Sonde Prosensor UA001

Les sondes permettant les mesures de températures sont disposées de Juin à Septembre sur les 10 stations du plan d'eau. Sur 8 stations, la mesure est assurée par les enregistreurs d'oxygène HOBO U26. Au total, ce sont 14 sondes qui sont mis en œuvre grâce aux bouées de l'UNAP et de la Fédération de Pêche du Bas-Rhin pour effectuer le suivi continu des températures du plan d'eau de Plobsheim.

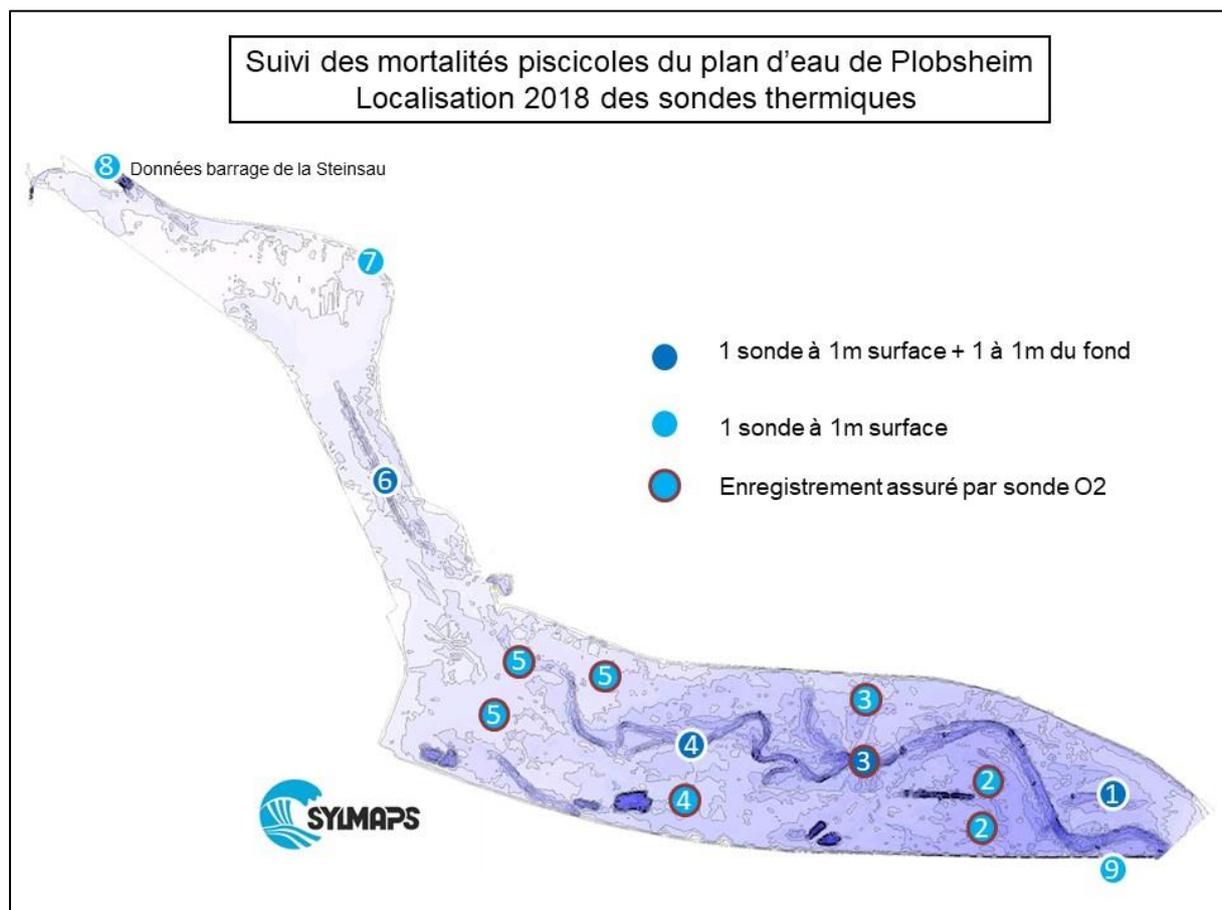


Figure 8 : Cartographie de la localisation des stations de mesure de la température 2018

### 2.1.2 Suivi de l'oxygène dissous

En période estivale, les conditions chaudes et la forte production végétale régnant dans le plan d'eau ont hypothétiquement conduit en 2015 et 2016 à des situations hypoxiques, voire anoxiques. Un suivi spécifique de l'oxygène dissous a donc été mis en place pour appréhender les conditions de vie aquatique, l'importance de l'activité photosynthétique ou encore de dégradation de la matière organique.

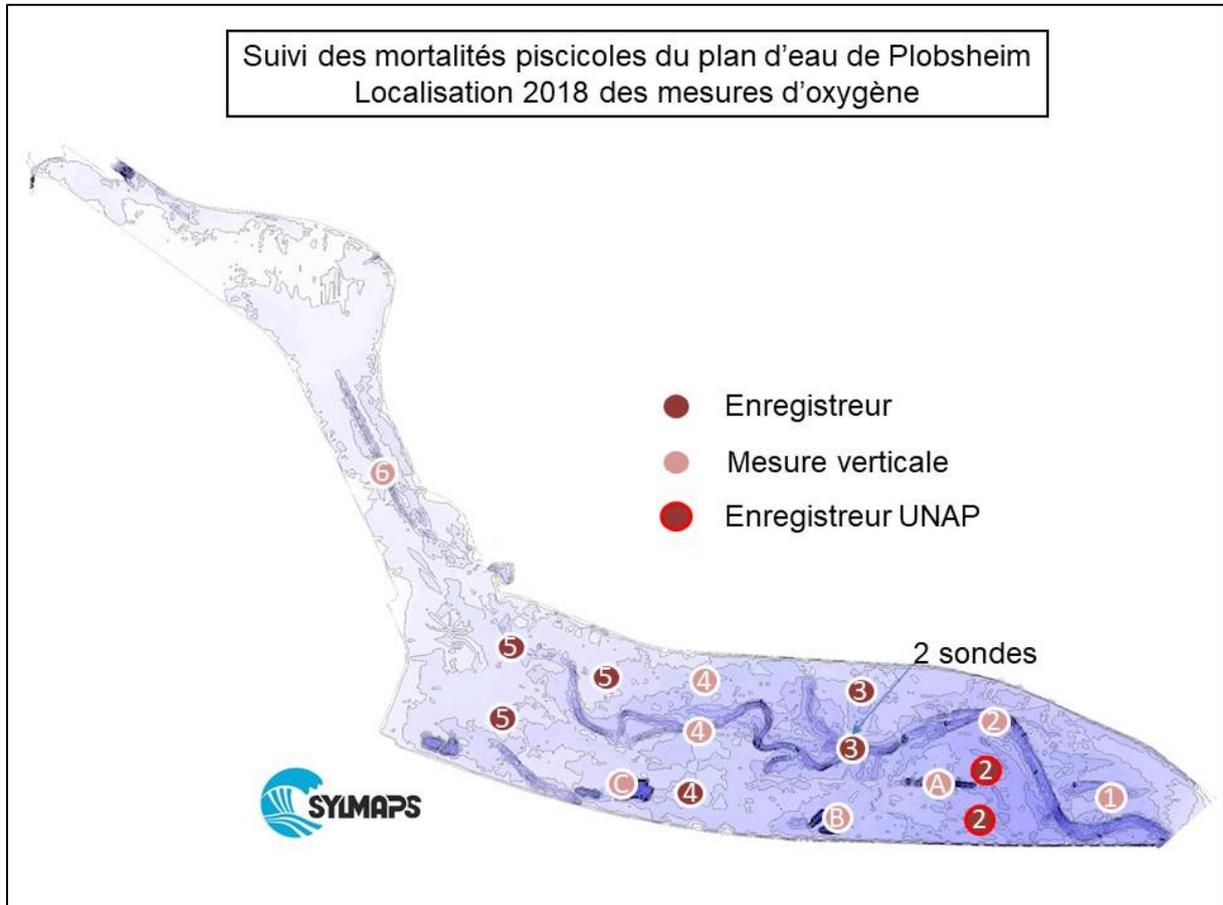


Figure 9 : Cartographie de la localisation des stations de mesure d'oxygène 2018

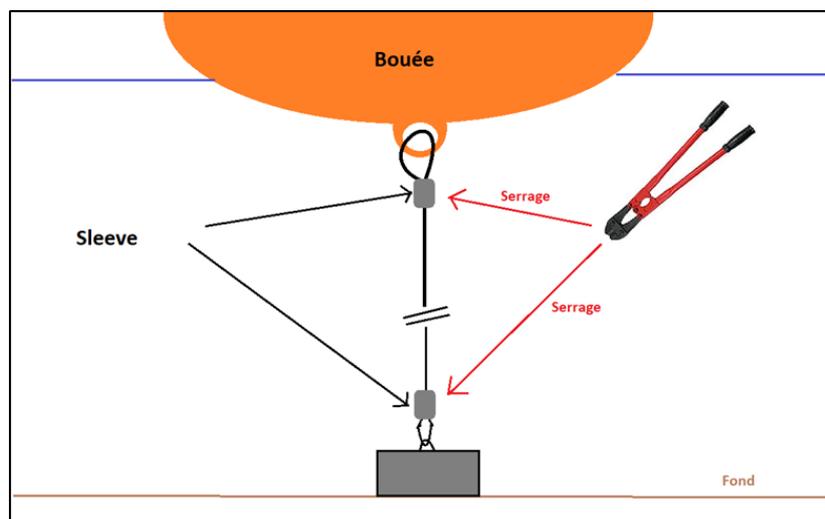


Figure 10 : Schéma d'installation des sondes oxygène et température sur bouée

## Mesures en continu

Afin d'apprécier les variations de teneur en oxygène dissous du plan d'eau de Plobsheim, 9 sondes à oxygènes HOBO U26 Prosensor ont été mises en place sur des bouées durant la période estivale (de Juin à Septembre).

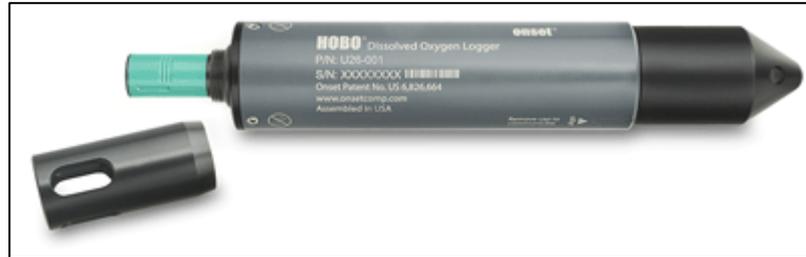


Figure 11 : Sonde HOBO U26

## Mesures verticales

Afin de compléter ces mesures constantes mais localisées, des mesures verticales de la surface jusqu'au fond, de la température, de la teneur en oxygène et de la saturation en oxygène dissous ont été réalisées.

Afin d'obtenir une bonne représentation des variations verticales, ces mesures ont été réalisées tous les 50 cm avec une sonde multi-paramètres HANNA INSTRUMENT HI98194.

Pour obtenir une bonne représentation spatiale à l'échelle du plan d'eau, ces mesures ont été réalisées sur l'ensemble des stations de prélèvement et d'analyse d'eau et de sédiments. Enfin, pour obtenir une bonne représentation temporelle, ces mesures ont été effectuées une fois par mois, de Juin à Septembre, complétées par 2 mesures bimensuelles en Juillet et Août à une heure précise après lever du jour correspondant à la phase de photosynthèse oxygénique.



Figure 12 : Sonde multi-paramètres HANNA INSTRUMENT HI98194

### 2.1.3 Suivi de la dégradation de la matière organique et de l'assimilation des nutriments

#### Analyses physico-chimiques de l'eau

Comme en 2017, 4 campagnes d'analyses ont été réalisées durant l'été 2018, aux mois de Juin, Juillet, Août et Septembre. L'étude menée en 2018 intègre de nouvelles stations de mesures (3O et 4E, 5E et 5O) ainsi que des mesures complémentaires sur des stations préexistantes, ce qui élève au nombre de 10, les stations de prélèvement d'eau en 2018. La logique reste cependant la même, intégrer les évolutions longitudinales et temporelles du plan d'eau, en y intégrant cette fois une dimension transversale. Les résultats obtenus en 2018 seront comparés à ceux obtenus en 2017, ce qui permettra également de dégager une tendance quant à l'équilibre physico-chimique du plan d'eau sur deux années consécutives.

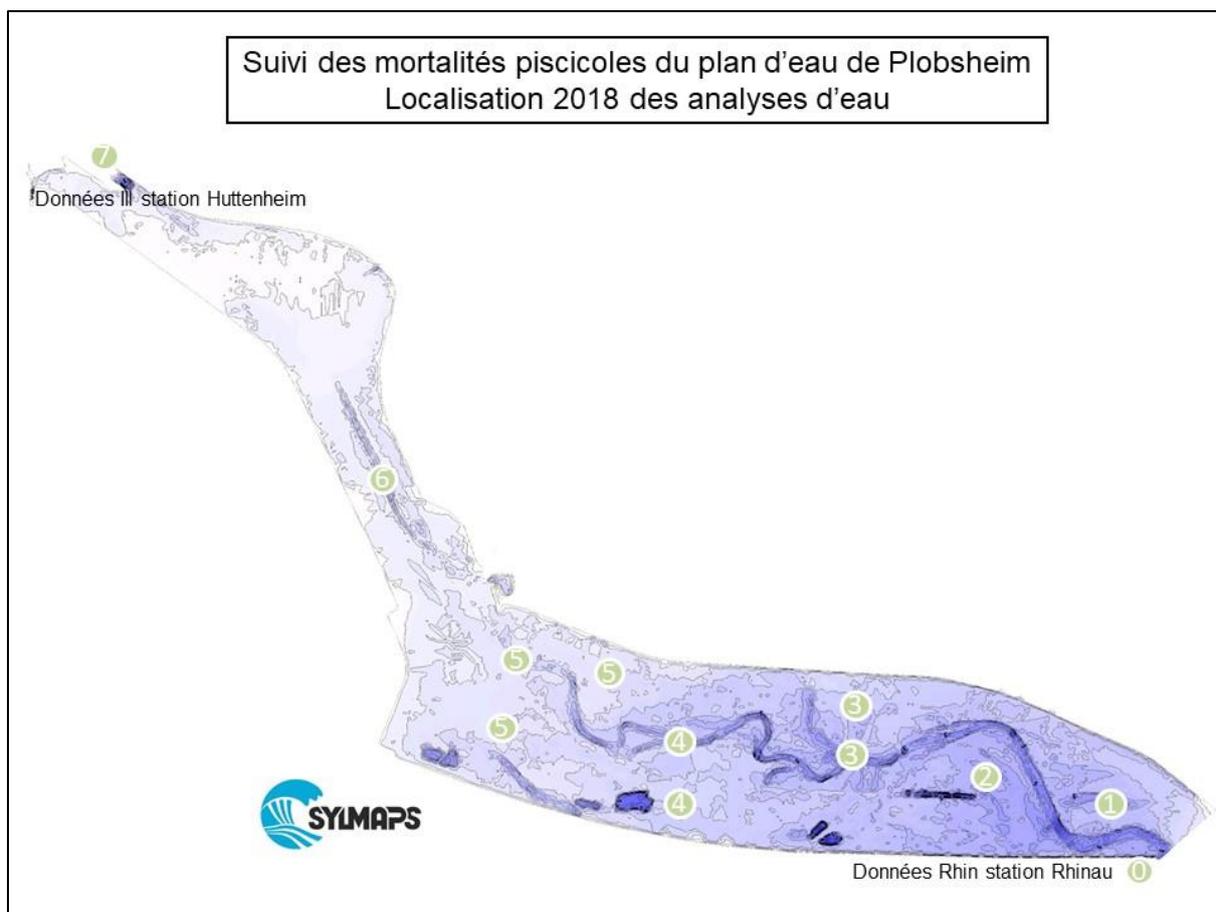


Figure 13 : Cartographie de la localisation des points de prélèvement pour les analyses physico-chimiques 2018

La profondeur du plan d'eau excluant la stratification thermique saisonnière, les prélèvements se font de façon intégrée dans la zone euphotique (2.5 fois la valeur au disque de Secchi).

Pour chaque station, après avoir noté les conditions météorologiques et toutes les observations particulières utiles à l'interprétation (bloom algal, couleur de l'eau, niveau d'eau exceptionnel...), les mesures de terrain suivantes sont réalisées :

- La transparence est évaluée au moyen d'un disque de Secchi.
- La température de l'air et de l'eau est mesurée via l'intermédiaire du thermomètre de la sonde multi-paramètre.
- Le taux d'oxygène dissous et son pourcentage de saturation sont également mesurés par le multi-paramètre.
- Ainsi que le Ph et la conductivité

Pour les autres paramètres, les échantillons d'eau sont recueillis à l'aide d'une bouteille de prélèvement type « Van Horn » dans la zone euphotique en 3 points à des profondeurs distinctes. Les prélèvements successifs sont mélangés dans un sceau pour être ensuite recueillis dans des flacons plastiques de 1 litre. Ces flacons sont conservés dans une glacière contenant des pains de glace le temps que l'ensemble des prélèvements soient effectués et transportés jusqu'au laboratoire Eurofins de Saverne (67) pour les faire analyser.



Figure 14 : Bouteille Van Horn utilisée lors des prélèvements d'eau

Les paramètres recherchés et analysés sont sélectionnés pour leurs aptitudes à mettre en évidence les fonctions biochimiques de dégradation de la matière organique et d'assimilation des nutriments.

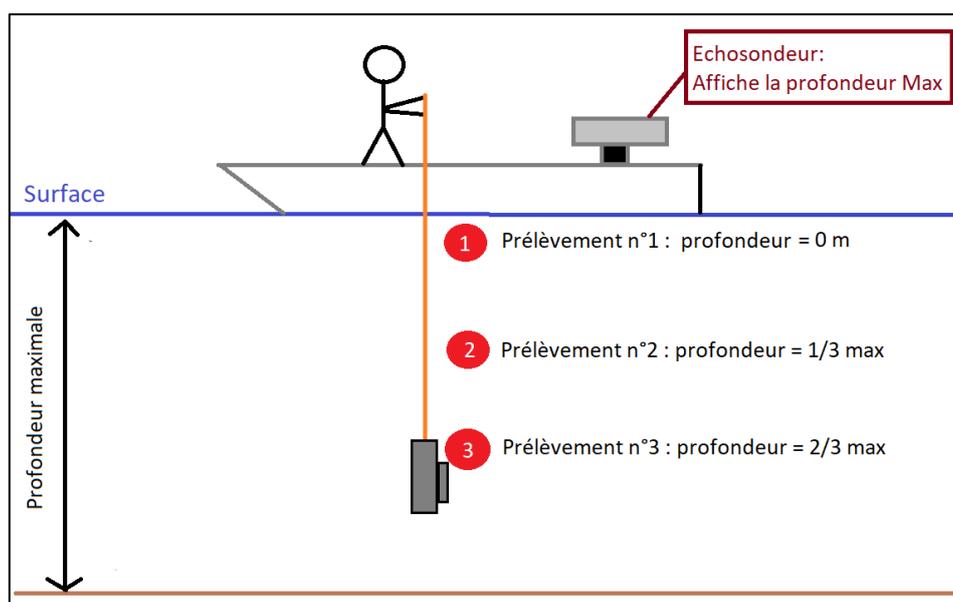


Figure 15 : Schéma de la réalisation des prélèvements d'eau

## Analyses des sédiments

Exutoire des crues de l'Ille, le plan d'eau de Plobsheim concentre les sédiments, nutriments et polluants du bassin versant de l'Ille situé en amont d'Erstein. L'accumulation de ces substances biogènes, ou au contraire toxiques, semble être un des paramètres déterminants dans le dysfonctionnement dont est victime cet écosystème remarquable.

Les prélèvements ont lieu 2 fois dans l'année au début de l'été (fin Juin) et en automne (début Octobre) sur 10 stations. Ils sont réalisés à l'aide d'une benne Ekman dans la couche biologiquement active. Les sédiments sont placés dans des flacons d'1 litre, sans bulle d'air, fermés hermétiquement et conservés selon les règles d'assurance qualité. Ils sont ensuite envoyés dans les plus brefs délais en laboratoire agréé.

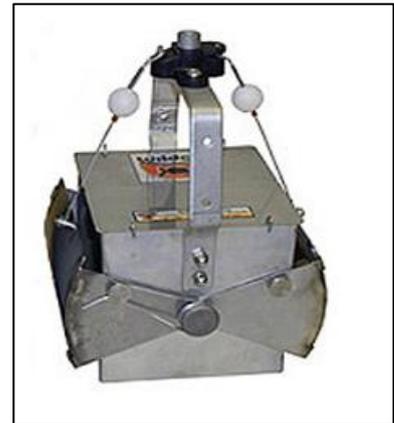


Figure 16 : Benne Ekman utilisée pour faire les prélèvements

Les mesures des paramètres suivants sont réalisées dans la phase solide du sédiment : matière sèche, matières minérales, matières organiques, Azote et Phosphore total et métaux (Plomb, mercure, cadmium, arsenic et PCB) dans le but de mettre en évidence une dystrophie des sédiments du plan d'eau.

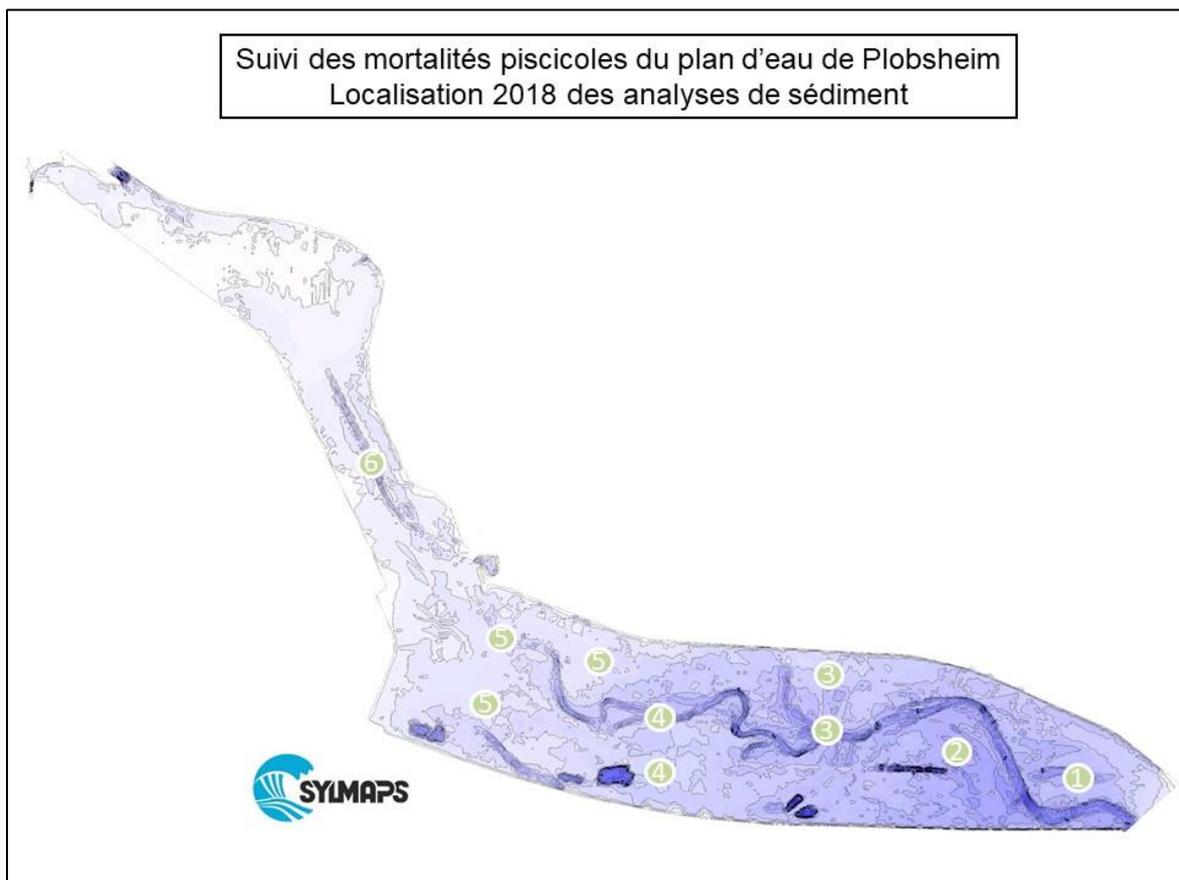


Figure 17 : Cartographie de la localisation des sites de prélèvement de sédiments 2018

Les résultats donneront une première vision des métaux présents dans les sédiments du plan d'eau. Ultérieurement en phase de relargage, les formes réduites toxiques de ces éléments pourront être recherchées spécifiquement dans l'eau.

#### 2.1.4 Suivi des populations de cyanobactéries et de l'effet des cyanotoxines

En tant que producteur primaire, le phytoplancton possède un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes. En effet, principal producteur de matière organique et d'oxygène grâce à la photosynthèse, le phytoplancton est un indicateur de l'état d'eutrophisation d'une masse d'eau. Dès lors, son analyse permet de déterminer le niveau trophique du plan d'eau (source : CEMAGREF, 2003).

Dans l'étude du dysfonctionnement du plan d'eau de Plobsheim, ce sont en particulier les cyanobactéries, qui en raison de leur mode de développement et de leur toxicité, sont recherchées. Les phases de développement des cyanobactéries pouvant être réduites dans le temps, les prélèvements mensuels estivaux sont complétés par deux prélèvements bi-mensuels en Juillet et Août. Les prélèvements sont réalisés sur cinq stations (1 à 5) lors de journées ensoleillées et peu venteuses.

Un litre d'eau est prélevé à l'aide d'une bouteille de prélèvement type « Van Horn » dans 1m de profondeur. L'échantillon est fixé au Lugol puis envoyé en bureau d'études Sage Environnement d'Annecy-Le-Vieux (74). Le bureau d'études vérifie la présence de cyanobactéries. En leur présence, il est procédé à un dénombrement et une estimation du nombre de cellules par colonie pour obtenir la concentration cellulaire et le nombre de cellules potentiellement toxiques (selon guide ANSES 2006).

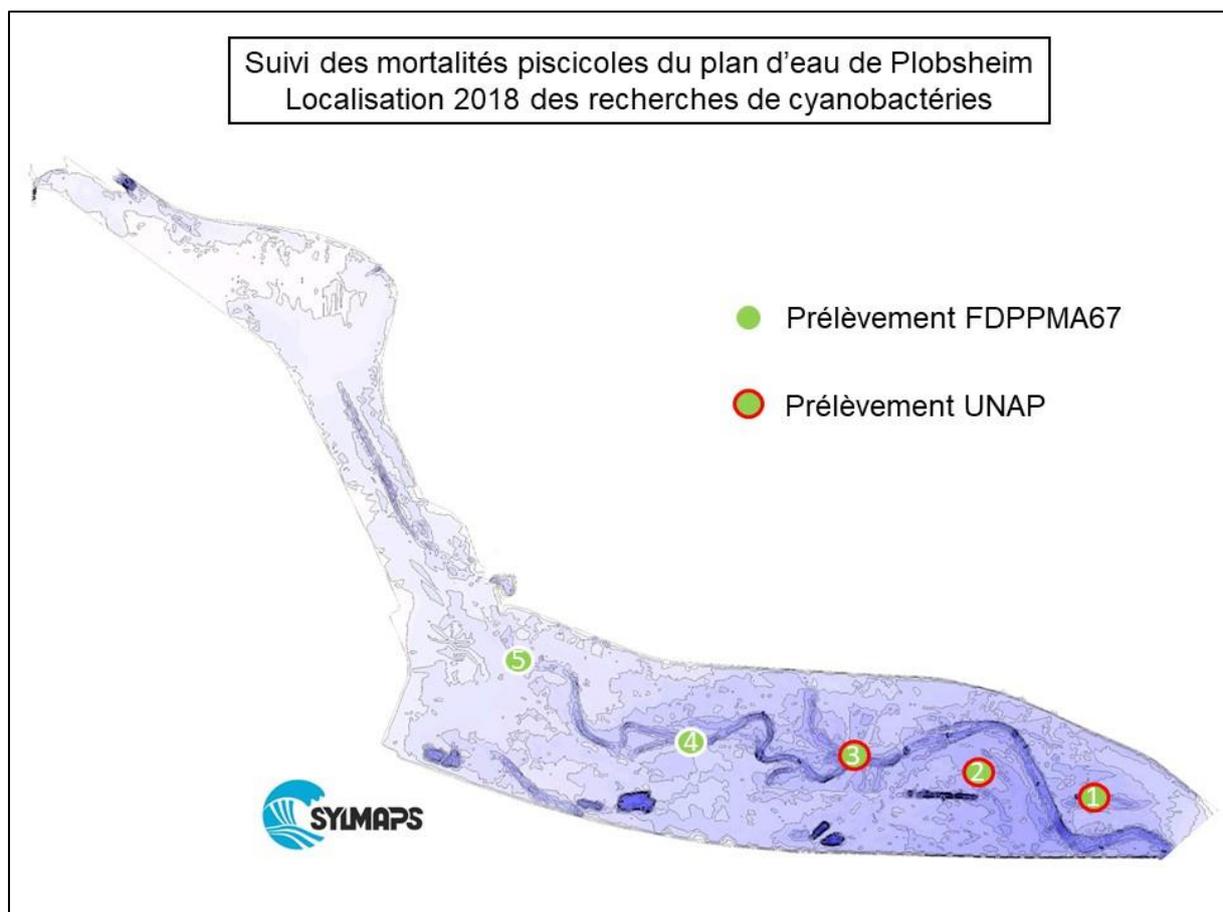


Figure 18 : Cartographie de la localisation des sites de prélèvement de cyanobactéries

## 2.2 Évolution du protocole et renforcement du maillage

### 2.2.1 Nouvelles stations de mesures

Les résultats obtenus en 2017 se doivent d'être affinés sur certaines stations afin d'améliorer la compréhension de certains paramètres. Dans l'optique de renforcer le maillage des stations, 3 nouvelles stations ont été implantées et 2 stations ont vu leur surveillance renforcée comprenant l'ensemble des prélèvements et mesures cités précédemment.

- Une nouvelle station intitulée « **Station 2 Est** » fera office de réplica pour la station 2, elle-même caractérisée par une profondeur de 3 m et possédant une zone recouverte de potamots avec une végétation environnante diversifiée (myriophylles, élodées et characées). Cette station avait été créée à l'origine dans le cadre de l'opération de faucardage ciblée qui avait été programmé pour cet été. Cette **station 2 Est** devait être faucardée en opposition à la station 2 qui elle devait rester exempte de fauche pour montrer les conséquences potentielles d'une fauche. Cependant l'opération de faucardage ayant été annulée, cette station nous permettra de voir les fluctuations transversales des différents paramètres étudiés en mettant en évidence l'influence du chenal.
- Une station nommée « **3 Ouest** » a été définie par rapport aux observations de désoxygénation marquée auquel la station 3 avait fait face au cours du mois d'Aout 2017. Il semble pertinent d'introduire un nouveau point sur le transect de la station 3, mais hors chenal cette fois-ci. La « **station 3 Ouest** » étant caractérisée par une profondeur d'environ 2 m avec recouvrement végétal composé exclusivement de characées. Il s'agit également d'un réplica de la station 4 Est qui permettra de mettre en évidence des modifications physico-chimiques d'un point de vue longitudinal.
- La « **station 4Est** » déjà présente en 2017, caractérisée par une profondeur d'environ 2m et un recouvrement végétal composé exclusivement de characées, s'est vue équipée de sondes autonomes en raison des fortes variations d'oxygène qui y ont été enregistrées.
- La « **station 5 Est** » caractérisée par une profondeur d'environ 2 m située dans zone recouverte de potamots avec une végétation environnante diversifiée (myriophylle, élodée et characées). Elle sera considérée comme un réplica de la station 2.

## 2.2.2 Inventaire floristique des macrophytes du plan d'eau

### a. Rôles des macrophytes

Les macrophytes regroupent l'ensemble des plantes aquatiques visibles à l'œil nu, dont l'appareil végétatif se développe entièrement sous l'eau ou à sa surface. Les macrophytes sont représentés par plusieurs groupes taxonomiques : algues, bryophytes, ptéridophytes et phanérogames. Ces macrophytes jouent des rôles importants dans les masses d'eau en tant que producteurs primaires qui participent directement aux cycles biogéochimiques des nutriments dans les milieux qu'ils occupent (Source : Carpenter et Lodge, 1986) et en tant que biotopes pour d'autres organismes végétaux (périphyton) et animaux (invertébrés et poissons), influant sur la qualité physique et biologique des habitats. Ils sont donc tout naturellement utilisés en tant que bio-indicateurs de la qualité des milieux aquatiques.

L'inventaire floristique des macrophytes mis en place en 2018, propose un recensement le plus exhaustif possible des communautés macrophytiques du plan d'eau de Plobsheim. Cet inventaire aura pour but premier de comparer les données 2018 aux années 2014 et 2016 afin de suivre l'évolution spatiale et temporelle des peuplements du plan d'eau de Plobsheim mais également de dégager des indices d'abondance des différentes espèces présentes sur le plan d'eau.

Il permettra entre autres de suivre l'expansion des groupes macrophytiques prédominants tels que les Characées et Elodées. Ces données floristiques initiales couplées aux données physico-chimiques obtenues lors des différentes campagnes de terrain serviront de base dans la construction et l'établissement d'un plan de gestion du plan d'eau concernant les opérations de faucardage et les éventuelles actions et travaux à mener sur le plan d'eau de Plobsheim.



Figure 19 : Photographie de macrophytes aquatiques

## b. Protocole et méthodes

Le protocole et la méthode employée pour inventorier les végétaux sur ce « plan d'eau » se doivent d'être adaptés. En effet bien qu'il en porte le nom, le plan d'eau de Plobsheim fonctionne en réalité comme une annexe hydraulique du Rhin, caractérisée de par le fait que c'est une eau libre avec une profondeur moyenne inférieure à celle d'un lac (3 m).

Ce protocole s'est donc inspiré de l'Indice Biologique Macrophyte Lacustres (IBML) et de l'Indice Biologique Macrophyte Rivières (IBMR). L'inventaire des végétaux aquatiques intègre cette année la méthode des points contacts (relevé de végétation en un point donné), à l'aide d'une embarcation, d'un râteau télescopique et d'un aquascop. Cette méthode est celle présentée dans la norme AFNOR de l'IBMR (NF T90-395) avec un échantillonnage systématique (meilleur rapport informations-prix), c'est-à-dire réalisé à intervalles réguliers sur l'ensemble des transects du plan d'eau. Elle permet entre autres d'apporter de la donnée concernant la stratification végétale du plan d'eau et d'avoir une estimation plus précise du recouvrement de chaque taxon, notamment via des indices d'abondances.

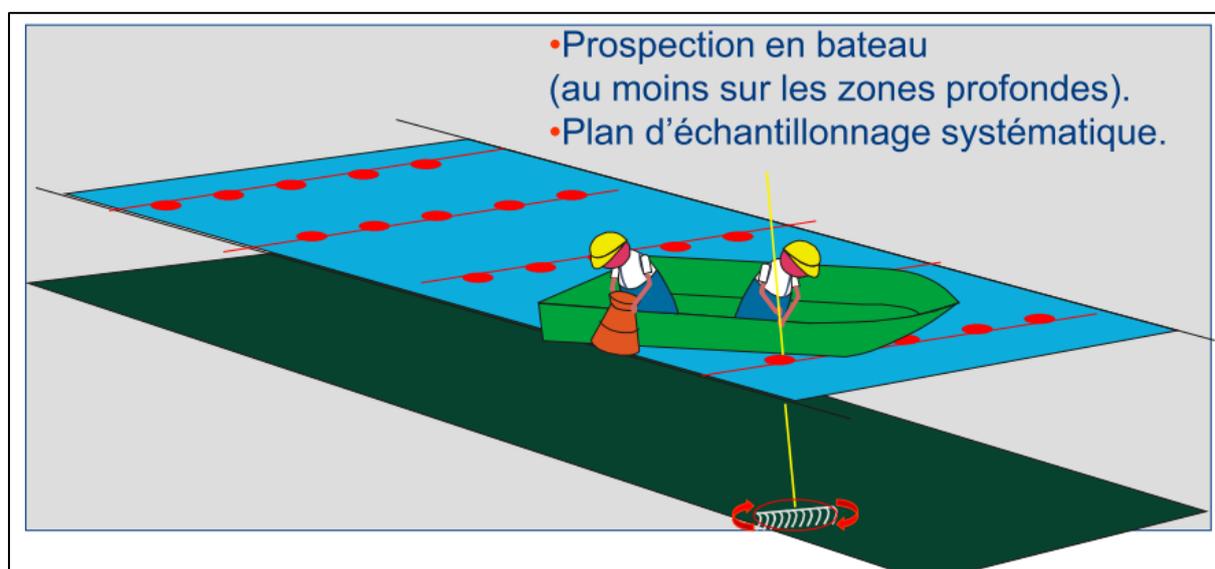


Figure 20 : Schéma de la méthode de relevé floristique employée sur Plobsheim

Deux opérateurs sont nécessaires pour réaliser cet inventaire floristique. Un au moteur de l'embarcation suivant scrupuleusement le tracé des transects préétablis à l'aide du GPS en effectuant tous les 50m un arrêt afin que le deuxième opérateur y effectue un point contact qui consiste avec le râteau télescopique et l'aquascop à déterminer les espèces présentes sous le bateau et à évaluer leur degré d'abondance.

Des prélèvements de végétaux ont également été effectués et vérifiés par des macrophytistes pour avoir une confirmation sur les espèces inventoriées.



Figure 21 : Photographie des opérations de prélèvements de végétaux à l'aide du râteau télescopique et de l'aquascop

### c. Plan d'échantillonnage

Le plan d'eau de Plobsheim d'une superficie de 6,6 km<sup>2</sup> sera comme lors des années 2014 et 2016 intégralement inventorié. Afin d'obtenir un inventaire le plus exhaustif possible par rapport à cette surface, des transects espacés de 100 mètres ont été définis et géoréférencés. Ces transects au nombre de 64 reliant une rive à l'autre du plan d'eau font en moyenne 1 km de long. Sur chaque transect, tous les 50 m, un point contact sera réalisé par les opérateurs.

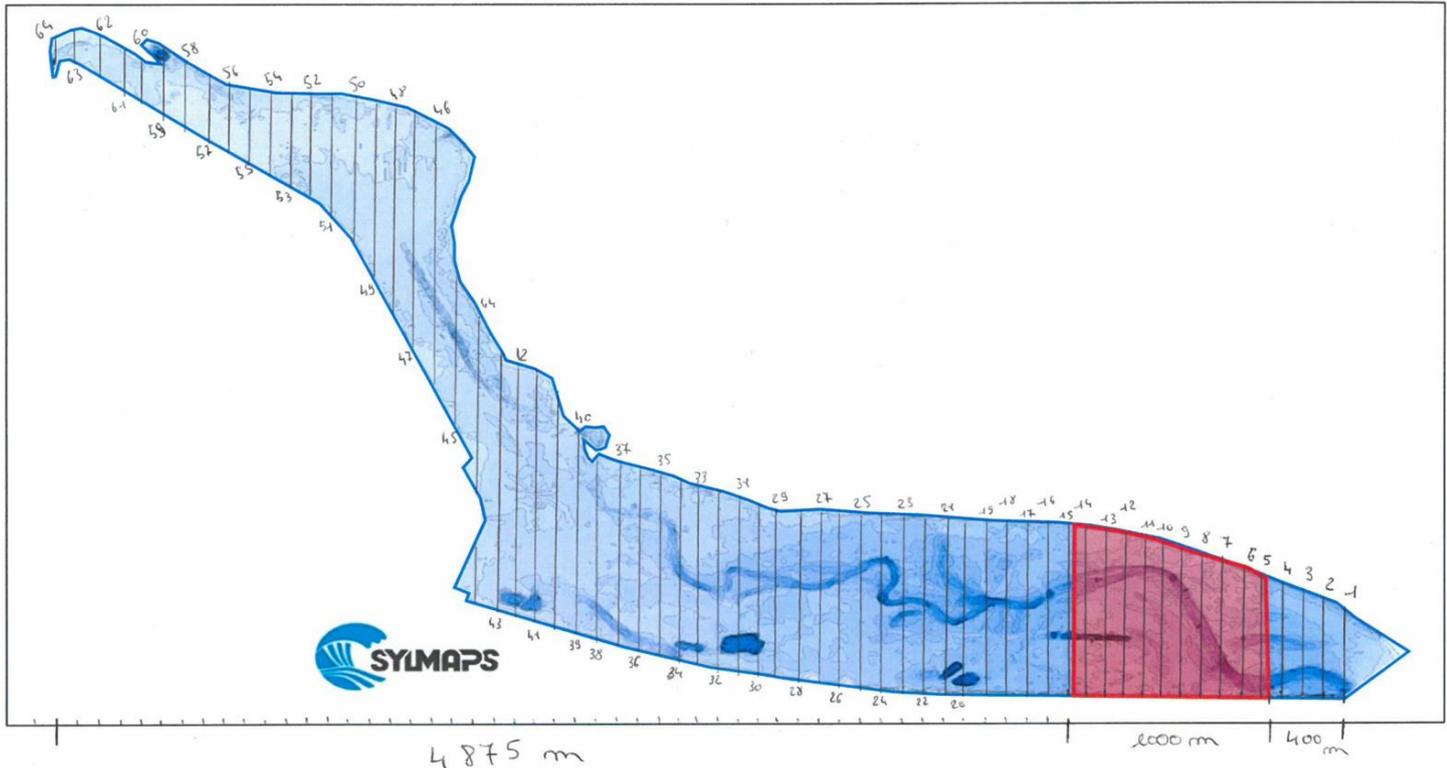


Figure 22 : Schéma du plan d'échantillonnage du plan d'eau de Plobsheim représentant les différents transects

#### d. Estimation des recouvrements

Le relevé et l'estimation des recouvrements végétaux sont réalisés selon une trame homogène de points-contacts espacés tous les 50 m sur les 64 transects du plan d'eau de Plobsheim.

Une estimation de l'abondance est donnée pour chaque espèce présente sur un point contact à l'aide du râteau télescopique et de l'aquascop.

5 classes d'abondance allant de 1 à 5 ont été définies, s'inspirant de la méthode de l'IRSTEA de l'estimation des végétaux aquatiques en grands cours d'eau.

Les classes d'abondance sont définies comme suit :

- « 1 » quelques fragments de tiges sur le râteau (surface < 5%)
- « 2 » petites quantités (5% < surface < 25%)
- « 3 » quantité moyenne (25% < surface < 50%)
- « 4 » taxon abondant (50% < surface < 75%)
- « 5 » taxon sur tout le râteau en grande quantité (surface > 75%)



Chaque point contact étant géoréférencé, l'ensemble des indices d'abondance pour chaque espèce l'est également. L'utilisation d'un SIG permettra de représenter visuellement l'ensemble des données collectées pendant la campagne de terrain, ce qui permettra de mettre en relation plus aisément les végétaux aquatiques et les valeurs physico-chimiques obtenues sur l'ensemble des stations du plan d'eau dans le but de comprendre les causes des mortalités piscicoles survenues en 2015 et 2016.



Figure 23 : Photographie d'un point contact effectué sur des élodées montrant un indice d'abondance de 5.

## 3. Résultats et Interprétations

### 3.1 Physico-chimie

#### 3.1.1 Suivi en continu de la température de l'eau

##### Évolutions verticales des températures

La température de l'eau a été mesurée grâce à des sondes thermiques fixes et aux mesures d'oxygène verticales effectuées à l'aide de la sonde multi-paramètre tous les 50 cm sur l'ensemble des stations du plan d'eau. Ces mesures verticales de températures ont permis de confirmer les résultats obtenus en 2017 qui affirment qu'il n'y a pas de stratification thermique sur le plan d'eau de Plobsheim même aux stations situées à 9 m de profondeur. L'absence de stratification thermique s'explique par la faible profondeur globale dont fait part le plan d'eau et semble également résulter d'un brassage homogène de la masse d'eau par l'intermédiaire des courants du plan d'eau de Plobsheim.

Bien qu'il n'y ai pas de stratification thermique, des mesures effectuées montrent une température de l'eau légèrement plus élevée à la surface qu'au fond sur certaines stations des stations du plan d'eau, avec des variations entre la surface et le fond variables. Les stations 1 et 3 équipées d'une sonde en surface et au fond montrent par exemple un écart maximum de température entre le fond et la surface d'environ 2°C le 07/07/2018 pour la station 1 ( $23,8^{\circ}\text{C}_{\text{fond}}$  et  $25,2^{\circ}\text{C}_{\text{surface}}$ ) et le 28/08/2018 pour la station 3 ( $23^{\circ}\text{C}_{\text{fond}}$  et  $25^{\circ}\text{C}_{\text{surface}}$ ).

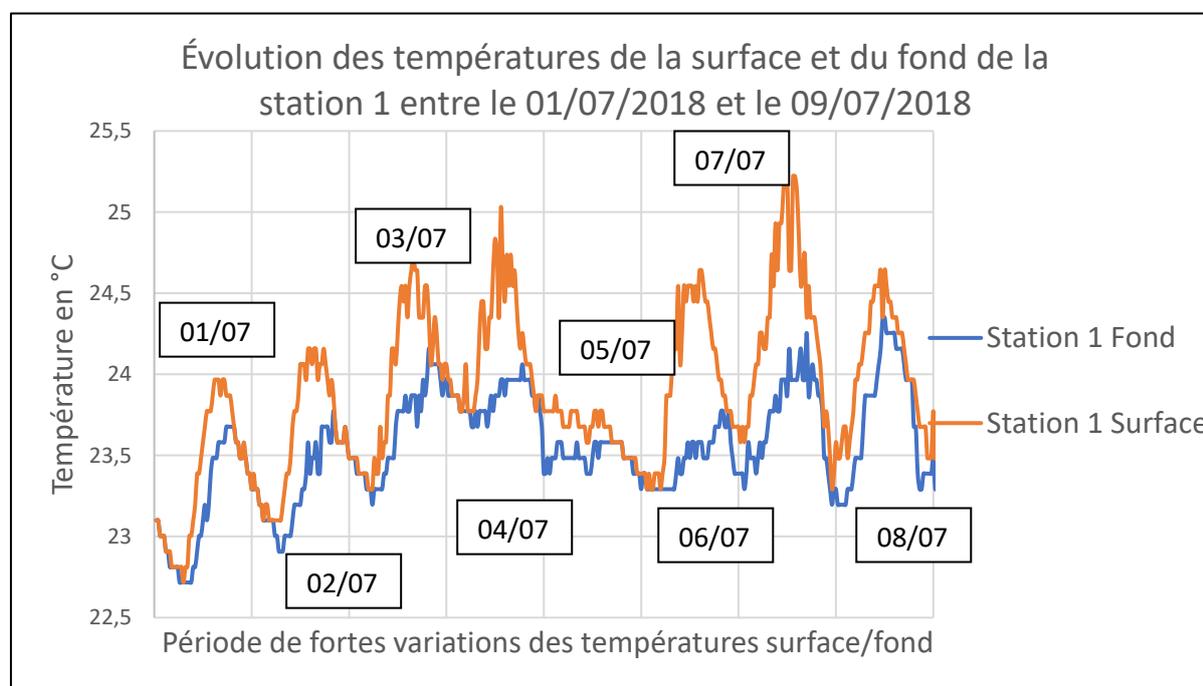


Figure 24 : Graphique de l'évolution des températures de la station 1 entre la surface et le fond pendant la première semaine de Juillet 2018

Ces écarts de température semblent débiter lorsque le soleil obtient un angle suffisamment important par rapport à la surface du plan d'eau pour transmettre de manière optimale sa chaleur, soit aux alentours des 10h du matin sur la période Juillet-Aout. Le phénomène se termine aux alentours des 22h, ce qui correspond à la fin de la phase diurne à cette époque de l'année, couplé à l'inertie thermique propre à cette masse d'eau.

Un autre phénomène pouvant venir expliquer ces résultats sur les stations du Nord du plan d'eau est l'influence de la masse d'eau froide provenant du Rhin venant pénétrer la masse d'eau chaude du plan d'eau de Plobsheim via le courant Nord-Sud auquel il est soumis à cette époque de l'année. L'eau froide étant plus dense que l'eau chaude, on retrouverait donc des températures plus basses au fond de ces stations, ce qui peut expliquer en partie, ces écarts de températures observés entre la surface et le fond de la station 1. La station 1 étant la plus proche du Rhin.

À noter que ces stations ont des profondeurs respectives de 4,5 m pour la station 1 et 7 m pour la station 3, donc avec tout de même une certaine profondeur permettant ainsi la mise en place de ces deux hypothèses.

En revanche, la station 6 située la plus au Sud du plan d'eau ne montre aucune variation de température entre la surface et le fond. Ce phénomène peut s'expliquer par la faible profondeur dont fait part cette station (3 m). Cette faible profondeur d'eau peut entraîner un réchauffement plus important et plus rapide de la lame d'eau d'une part. D'autre part, sa situation géographique implique également le fait que l'eau qui y arrive, en provenance du Rhin, est une eau ayant une température élevée du fait du processus de réchauffant qu'elle subit par sa progression dans le plan d'eau du Nord au Sud.

L'ensemble des résultats sont consultables en **Annexe 3** et **Annexe 4**.

### Évolutions transversales des températures

Aucunes variations significatives des températures n'ont été constatées entre les stations 2 et 2 Est, ni entre les stations 4 et 4 Est ainsi que pour les stations 5 et 5 Est. Ces stations ont globalement les mêmes profondeurs exception fait pour les stations 4 (5,5 m) et 4 Est (2,5 m).

La station 3 Ouest vis-à-vis de la station 3 se distingue par ses amplitudes de température plus marquées que sur la station 3 (environ 1,5°C au lieu de 1°C). Pour les mêmes dates et les mêmes profondeurs, les températures peuvent être plus chaudes pour la station 3 Ouest de 0,80°C ou plus froides de 0,5°C en moyenne que sur la station 3, ce qui peut s'expliquer d'une part, par sa faible profondeur (1,5 m), ce qui induit une forte inertie thermique, mais également par la différence de densité végétale entre la station 3 Ouest qui possède un tapis dense de Charas et d'Élodées par rapport à la station 3 qui a une végétation plurispécifique moins dense. En effet, le renouvellement de l'eau au sein de groupements denses de macrophytes de type Chara ou Élodée est moins important, ce qui a pour conséquence un échauffement de celle-ci lors de la phase diurne et une conservation de la « fraîcheur » le matin à la fin de la phase nocturne.

La station 5 Ouest suit le même modèle de courbe que celles de ses consœurs 5 et 5 Est, cependant avec des températures plus faibles de 1°C en moyenne, sachant que la profondeur de cette station est similaire à celle des deux autres. Les causes de ce décalage restent floues, cela pourrait être lié à un phénomène de courant froid ou à la différence de densité végétale. L'hypothèse d'une résurgence de la nappe à cet endroit est quant à elle peu probable.

## Évolutions longitudinales et saisonnière des températures

Les données des sondes ainsi que les mesures *in situ* montrent une homogénéité dans la répartition de la température du plan d'eau de Plobsheim. Pour la date du 08/08/2018, la température est de 27°C en surface sur l'ensemble des stations de mesures du plan d'eau. Cependant un léger gradient thermique (Nord-Sud) peut être décelé lorsque les températures sont plus basses, avec des températures pouvant varier entre 21,5°C au Nord à 23°C au Sud durant cette période. Ce phénomène est dû aux courants Nord-Sud. L'eau du Rhin entre dans le plan d'eau par le Nord et se réchauffe au fur et à mesure de sa progression vers le Sud sur les 660 hectares que compte le plan d'eau de Plobsheim.

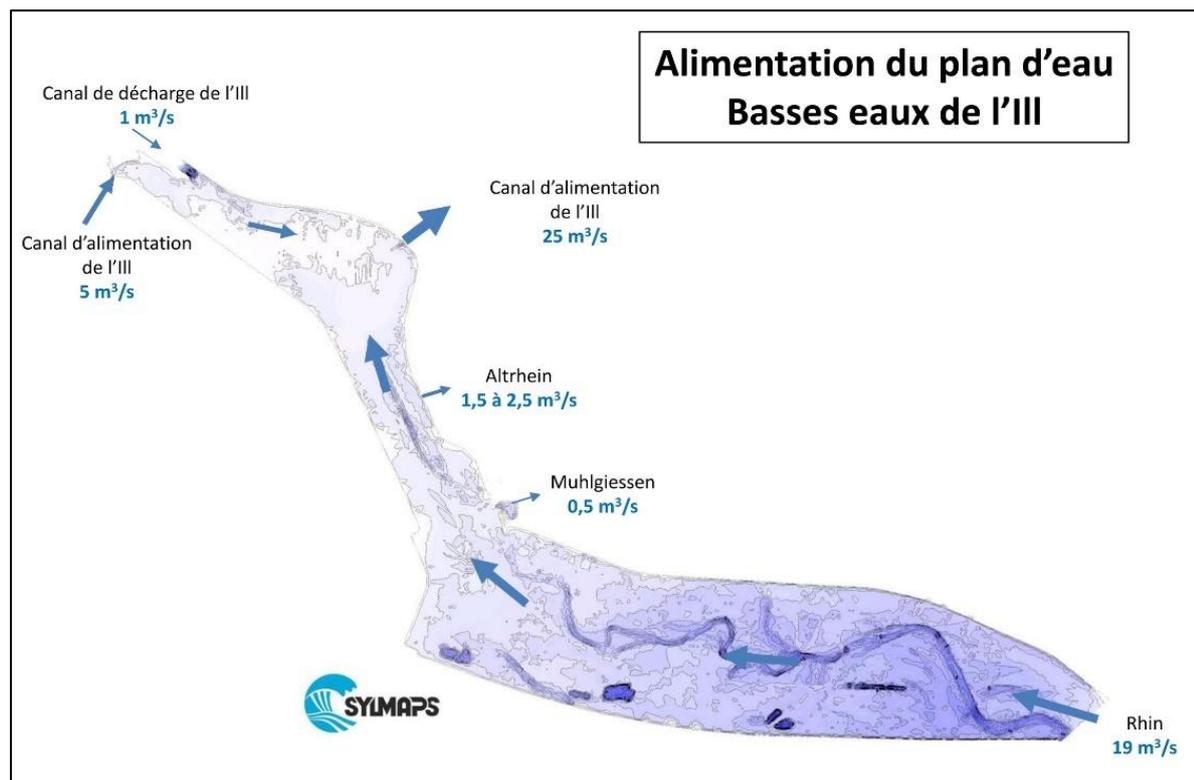


Figure 25 : Cartographie des courants du plan d'eau de Plobsheim en période de basses eaux de l'III

Des variations journalières de températures existent avec un écart maximum de 2,5°C pour la station 3 Ouest le 28/08/2018 et un écart minimal observé de 0,4°C sur la station 2 et 2 Est le 05/09/2018. La station 3 Ouest étant caractérisée par une végétation importante de Characées et une faible profondeur, tandis que la station 2 est caractérisée par une profondeur plus importante et un assemblage macrophytique plus diversifié (Potamot, Elodée, Myriophylle, Cératophylle).

Les premiers enregistrements effectués sur le plan d'eau indiquent une eau à 21°C pour les températures minimales observées en Juillet et une température observée maximum de 30°C le 04/08/2018 sur la station 6. Toujours sur cette station, le seuil des 24 °C est atteint au début du mois de Juillet. Ces températures se prolongent jusqu'à la fin Aout, soit sur un laps de temps de 2 mois où l'écosystème proche de cette station du plan d'eau peut être considéré comme étant sensible.

Selon la grille SEQ Eau (**Voir Annexe 5**), lorsque l'on dépasse le seuil des 24°C dans des eaux de seconde catégorie piscicole, ce qui est le cas ici, la classe de qualité de l'eau est déclassée, passant de très bonne à bonne, ce qui peut impliquer la perte de taxons sensibles aux températures élevées.

Lorsque le seuil des 25,5 °C est atteint, de nombreux taxons viennent à manquer et lorsque les seuils des 27 et 28°C sont atteints, on peut passer d'une diversité faible à une diversité très faible. De telles températures ont été atteintes et dépassées sur la plupart des stations en surface ou lorsque la profondeur de celle-ci n'est guère importante, comme sur la station 6 où l'on dépasse les 30°C le 04/08/2018. Ces températures « extrêmes » le sont uniquement sur la station 6 sur un pas de temps de 1 mois. Les valeurs des températures observées pour les autres stations sont moins importantes et ne dépassent rarement les 25°C.

<i>Classe d'aptitude</i> →	<b>Bleu</b>	<b>Vert</b>	<b>Jaune</b>	<b>Orange</b>	<b>Rouge</b>
<i>Indice d'aptitude</i> →	80	60	40	20	
<b>TEMPERATURE</b>					
<b>Température (°C)</b>					
1 <sup>ère</sup> catégorie piscicole	<b>20</b>	<b>21,5</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	
2 <sup>nde</sup> catégorie piscicole	<b>24</b>	<b>25,5</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	

Figure 26 : Grille SEQ Eau concernant le paramètre température

L'absence de mortalité piscicole mise en relation avec ces températures élevées observées en 2018 soulève le fait que les espèces piscicoles du plan d'eau de Plobsheim possèdent une certaine tolérance vis-à-vis de ces températures élevées. En effet la température maximale pouvant être supporter pour les adultes de Brochet a été fixé à 31°C, pour la Brème commune à 35°C et à 33°C pour la Perche commune (*Source : L. Tissot, Y. Souchon, Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen*).

	Embryon			Larve			Juvénile			Adulte			Reproduction	
	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	MAX									
BLN							13	15		10	18	27	12	15
TOX				14	18					16	25		9	14
HOT	10	17	20	15	25	28	15	25		15	24		8	14
GOU	16	20					7	27		7	30	36	12	17
CHE	16	24	30	14	25		14	25	30	14	24	30	15	20
VAN	7	15	25	16	25		12	25		10	25	32	7	12
SPI				19	24		12	24		12	24	27	14	21
BAF	16	21		15	19	24	13	24	32	10	24	32	13	20
BOU										12	30	37	15	21
GAR	12	24	26				7	21	30	12	25	31	10	18
ABL	21	27	31							20	30	35	15	28
BRE	12	23	28				14	28	34	10	26	35	12	20
BRB										16	25		15	25
PER	12	18	21	12	25	34	10	25	32	16	27	33	8	15
GRE	9	21	24	25	30		7	25	30	15	25	31	6	18
SAN	12	20	25	14	23	31	27	30	34	27	30	35	6	20
BRO	8	14	23	12	21	28	19	21	31	10	24	31	8	15
PES							13	28	30	12	30	35	13	25
SIL										12	28	32	20	25

*Italique* : donnée sans référence associée (issue du stade précédent ou estimée) / *italics*: data without associated reference (derived from precedent stage or estimated)  
 Opt. min et max : limites de la gamme optimale / optimal range limits  
 MAX : limite supérieure de la zone de résistance / upper limit of the resistance range

Figure 27 : Tableau des seuils de tolérance thermique des principales espèces piscicoles

Les seuils de tolérance sont légèrement moins élevés pour les juvéniles, d'environ 1°C, ce qui ne met toujours pas en danger les différentes espèces piscicoles du plan d'eau de Plobsheim. Seuls les stades larvaires peuvent craindre de telles températures, cependant à cette époque de l'année où les températures sont les plus chaudes (Juin-Septembre), l'ensemble des poissons du plan d'eau ont largement dépassé ce stade.

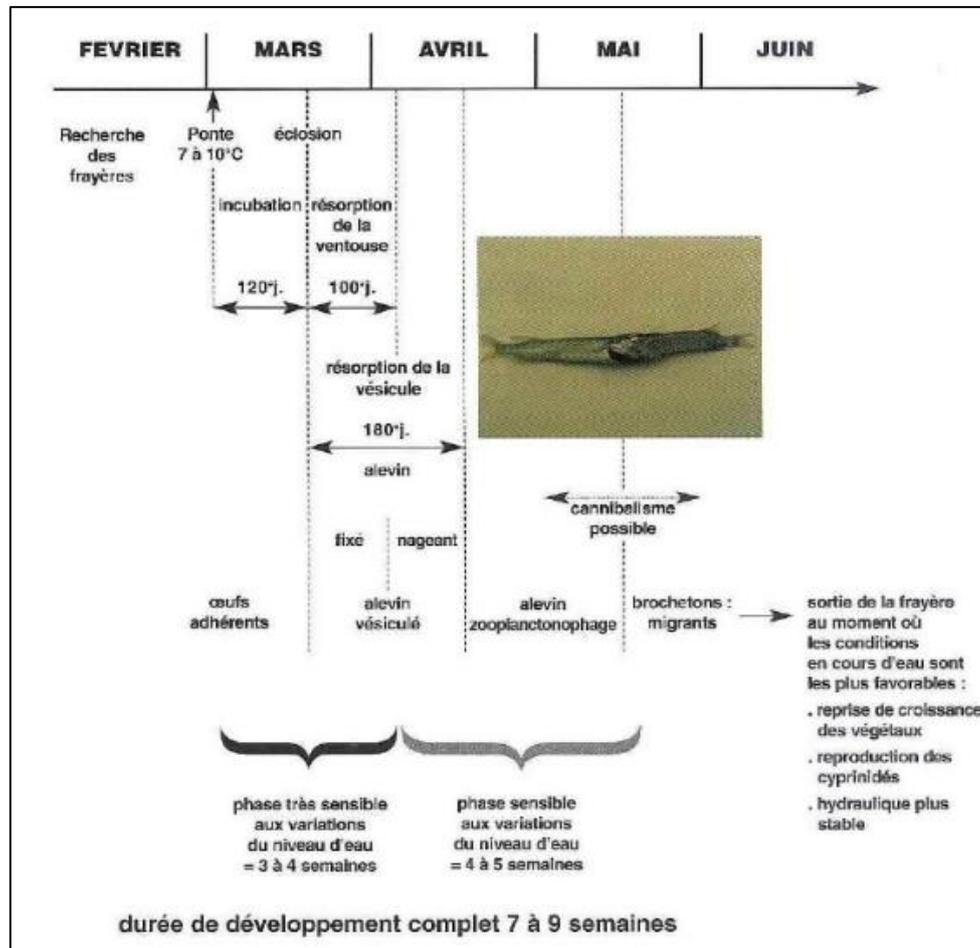


Figure 28 : Cycle de développement du Brochet (Source : Fédération de pêche 69 Chancereel 2003)

### 3.1.2 Suivi de l'oxygène dissous

Les mesures effectuées en vertical grâce à la sonde multi-paramètre et aux sondes autonomes mettent évidence l'absence de stratification oxygénique sur l'ensemble du plan d'eau malgré des profondeurs pouvant avoisiner les 9 m (**Voir Annexe 6**). La concentration en oxygène dissous est constante et ne varie que très peu entre la surface et le fond pour la plupart des stations du plan d'eau avec des valeurs globalement adaptées au bon développement de la vie aquatique.



Figure 30 : Sonde relevant la concentration d'oxygène dissous au-dessus de macrophytes



Figure 29 : Mesure d'oxygène dissous effectuée sur une des stations du plan d'eau de Plobsheim

#### Évolution verticale de l'oxygène dissous

Cependant certains phénomènes intrigants de variations d'oxygène ont été mis en évidence durant cette campagne de terrain pour de nombreuses stations du plan d'eau à la date du 26/06/2018, ce qui correspond au début de la période estivale et de croissance végétative.

La station 1 par exemple révèle une augmentation d'1mg/L de la concentration en oxygène dissous lorsqu'on se rapproche du fond, signe de la production oxygénique liée à la photosynthèse des macrophytes aquatiques tapissant le fond de cette station. C'est le même phénomène qui se produit pour la station 2 Ouest, où la concentration maximale en oxygène est localisée non pas au fond, mais à 1 mètre en dessous de la surface correspondant à la hauteur des végétaux sur cette station. Ces nombreuses variations d'oxygène observées à la date du 26/06/2018 sont également à mettre en relation avec la durée de la phase diurne, les espèces et la densité des macrophytes présents sur chaque station ainsi qu'à d'autres facteurs pouvant agir sur la photosynthèse et le cycle de l'oxygène.

L'oxygène dissous de la station C a par exemple tendance à diminuer en fonction de la profondeur. En effet, certains paramètres tels que la profondeur, la turbidité de l'eau, l'angle de pénétration de la lumière ou encore les vagues peuvent atténuer voire bloquer dans certains cas la pénétration de la lumière au sein de la masse d'eau et donc la photosynthèse réalisée par les macrophytes et les algues.

Les stations 2, 2 Est, 3 Ouest, 5 Est et 6 sont des stations peu profondes, les macrophytes sont alors proches de la surface et les facteurs pouvant perturber leur photosynthèse ont une gravité moindre sur la production d'oxygène ce qui se traduit par une absence de variation des taux d'oxygène dissous indépendamment des dates où les mesures ont été réalisées.

Cependant certaines stations notamment la 5 Ouest, sont caractérisées par des chutes brutales des concentrations en oxygène dissous à partir d'une certaine profondeur. Cette profondeur limite correspond à la pénétration de la sonde au sein des massifs d'Élodées et de Characées présents sur ces stations. Au-dessus de ces massifs il y a de la photosynthèse qui s'y produit sans entrave, cependant et au vu de la masse compacte que représentent ces massifs, lorsque la sonde y est totalement immergée, la lumière ne pénètre plus et donc la photosynthèse oxygénique est remplacée par de la respiration végétale et de la dégradation consommant ainsi de l'oxygène. On retrouve alors des concentrations très faibles voire pour certaines nulles. Ces faibles concentrations peuvent non seulement être létales pour les poissons et autres organismes aquatiques tels que les macro-invertébrés, mais elles peuvent également induire des phénomènes de relargage d'éléments toxiques contenus dans les sédiments.

Aucun organisme aquatique n'a été retrouvé au sein de ces massifs de Charas.

### Évolution longitudinale de l'oxygène dissous

Les résultats obtenus montrent que du Nord au Sud, la concentration en oxygène dissous a tendance à augmenter. La production d'oxygène étant directement liée à la photosynthèse qui dépend elle-même de plusieurs facteurs évoqués précédemment. Suivant ce gradient on remarque également que la profondeur moyenne des stations diminue et que par conséquent la lumière arrive plus facilement aux végétaux aquatiques, l'eau étant globalement moins chargée en matière en suspension pouvant venir perturber la pénétration de la lumière dans l'eau. On passe ainsi de 7,6 mg/L (valeur minimum) en moyenne pour la station 2, à 11,3 mg/L (valeur maximum) pour la station 5 Est.

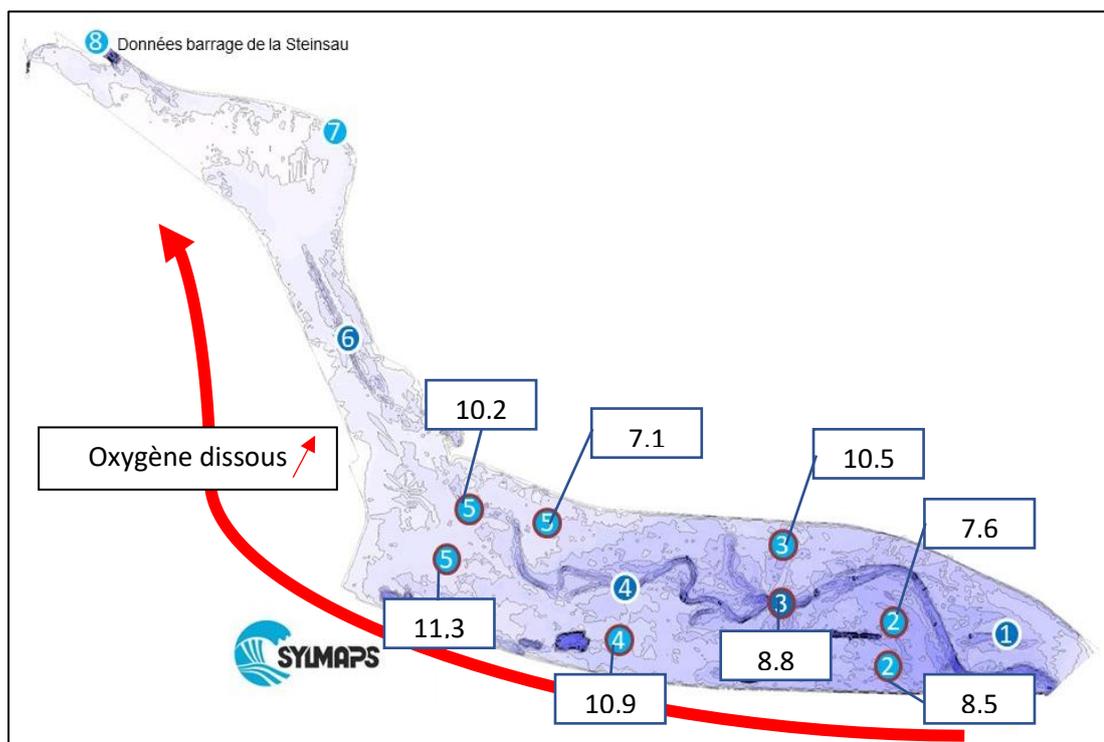


Figure 31 : Schéma de l'évolution longitudinale de l'oxygène dissous le long du gradient Nord-Sud

La valeur de 7,1 mg/L est obtenue pour la station 5 Ouest, est une valeur venant contredire cette théorie d'évolution longitudinale. Cependant l'explication de ce faible taux d'oxygène moyen sur cette station s'explique par le fait que la sonde autonome mesurant l'oxygène se soit fait recouvrir par le tapis dense de Charas présent sur cette station, ce qui a eu pour conséquence l'enregistrement de valeurs très faibles voire nulles de concentrations d'oxygène, venant fausser cette moyenne.

### **Évolution transversale de l'oxygène dissous**

L'évolution transversale a également été étudiée lors de cette campagne 2018, les stations 2, 3, 4 et 5 se sont pourvues de nouvelles stations (homologues) de mesures, implantées à l'Est ou à l'Ouest du Chenal.

Pour certaines des stations il n'y a pas de différence significative, c'est le cas de la station 5 et 5 Est où aucune variation d'oxygène ou bien de température n'a été décelée.

D'autres stations par contre se distinguent par des variations importantes d'oxygène, c'est le cas pour la station 5 et 5 Ouest. Les concentrations mesurées sur la station 5 Ouest montrent des niveaux d'oxygène atteignant des valeurs nulles avec de très fortes variations nyctémérales. Ces résultats s'expliquent par la présence de la sonde, immergée dans le massif végétal dû à la croissance des macrophytes mais également dû au marnage que subit le plan d'eau de Plobsheim à certaines dates faisant varier la hauteur de la sonde autonome. Lors de l'installation de la sonde, le plan d'eau était en situation de « hautes eaux », la sonde était alors située au-dessus des massifs de Characées. Cependant le plan d'eau est régulé via des barrages appartenant à EDF. Une baisse du niveau du plan d'eau, liée aux barrages d'environ 50 cm s'est produit et a entraîné une immersion de la sonde au sein de ce massif de Characées, la privant ainsi d'oxygène.

D'autres variations moins importantes ont également eu lieu entre la station 2 et 2 Est qui ont des profondeurs différentes de 50 cm. Des variations de 1 mg/L en moyenne ont été constatées, passant pour la station 2, de 7,6 mg/L en moyenne à 8,5 mg/l pour la station 2 Est pour le même temps de mesure. Un « effet chenal » ou la différence de densité de végétation aquatique observée sur place peuvent être les causes de ces variations.

Il en va de même pour la station 3 et 3 Ouest où l'oxygène de la station 3 Ouest est supérieur en moyenne de 2 mg/l à la station 3. Avec respectivement 8,8 mg/L pour la station 3 et 10,5 mg/L pour la station 3 Ouest. Le facteur le plus important dans ce cas est la différence de profondeur entre les stations, 7 mètres pour la station 3 et 1,5 mètres de profondeur pour la station 3 Ouest. Une faible profondeur induirait donc une production d'oxygène plus importante que pour une station plus profonde. En réalité ce n'est pas la profondeur qui induit une production d'oxygène plus élevée mais bien la densité végétale au m<sup>2</sup> induite par cette profondeur qui permet d'obtenir une implantation et une densité de végétaux aquatiques optimale. Lorsqu'on obtient une profondeur plus importante, ce qui est le cas de la station 3 d'une profondeur de 7 mètres, l'implantation de certains groupements de végétaux aquatique est plus restreinte, de même que leur densité.

Tous les résultats sont disponibles en **Annexe 7**.

### 3.1.3 Suivi de la qualité physico-chimique du plan d'eau

Les analyses réalisées en 2018 (**voir Annexe 8**) suivent les mêmes paramètres physico-chimiques que ceux réalisés en 2017. Comme l'année précédente, la majeure partie des paramètres étudiés ont été présents dans des concentrations inférieures aux seuils de détection du laboratoire Eurofins. Cependant pour les paramètres dont les concentrations sont mesurables, quelques variations sont notables, notamment pour le pH, les matières en suspension (MES), les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et la somme de la chlorophylle a + phéopigments.

Pour évaluer les différents paramètres analysés, le système d'évaluation de la qualité de l'eau des rivières « SEQ eau » a été employé (**Annexe 5**). Ce système permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités, dans le cas du plan d'eau de Plobsheim, c'est l'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages qui a fait office de référence. Cette aptitude à la biologie a été évaluée pour chaque altération, donc pour chaque paramètre étudié et permet en fonction des seuils définis de classer les valeurs des différents paramètres étudiés dans 5 classes de qualité. Ces classes de qualité étant établies en fonction de la réglementation française et européenne, des recommandations internationales, d'avis d'experts, d'informations validées et de résultats d'études bibliographiques.

En fonction de la classe de qualité dans laquelle la valeur du paramètre étudié se trouve, il peut y avoir absence de certains taxons en fonction de leur degré de polluo-sensibilité. Voir les tableaux ci-dessous.

Classes d'aptitudes de l'eau					
	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
<b>BIOLOGIE</b>	Tous taxons présents	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
<b>EAU POTABLE</b>	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte
<b>LOISIRS</b>	Optimal		Acceptable		
<b>IRRIGATION</b>	Plantes très sensibles Tous sols	Plantes sensibles Tous sols	Plante tolérante Sols alc/ne		
<b>ABREUVAGE</b>	Tous animaux		Animaux matures		

Classes de qualité pour 3 altérations					
Classe de qualité	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité	80	60	40	20	
<b>Matières organiques et oxydables</b>					
Oxygène dissous (mg/l)	8	6	4	3	
Taux sat. O <sub>2</sub> (%)	90	70	50	30	
DBO <sub>5</sub> (mg/IO <sub>2</sub> )	3	6	10	25	
DCO (mg/IO <sub>2</sub> )	20	30	40	80	
KMnO <sub>4</sub> (mg/IO <sub>2</sub> )	3	5	8	10	
COD (mg/l C)	5	7	10	12	
NH <sub>4</sub> (mg/l-NH <sub>4</sub> )	0,5	1,5	2,8	4	
NKJ (mg/l-N)	1	2	4	6	
<b>Nitrates</b>					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l NO <sub>3</sub> )	2	10	25	50	
<b>Matières phosphorées</b>					
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,2	0,5	1	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l PO <sub>4</sub> )	0,1	0,5	1	2	

Figure 32: Tableaux des classes d'aptitude de l'eau

## Le pH :

Le pH ou « potentiel hydrogène » est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogène dans une solution qui mesure l'acidité ou la basicité.

Dans une solution à 25°C :

- Un pH équivalent à 7 est dit **neutre**.
- Un pH inférieur à 7 est dit **acide**. Plus le pH diminue, plus la solution est acide.
- Un pH supérieur à 7 est dit **basique**. Plus le pH augmente, plus la solution est basique.

Dans le cadre de cette étude, la solution aqueuse est l'eau du plan d'eau de Plobsheim. Des mesures ont été effectuées sur 4 dates sur l'ensemble des stations du plan d'eau. L'ensemble des résultats ont été consignés sur un graphique représentant l'évolution temporelle et spatiale du pH sur le plan d'eau de Plobsheim.

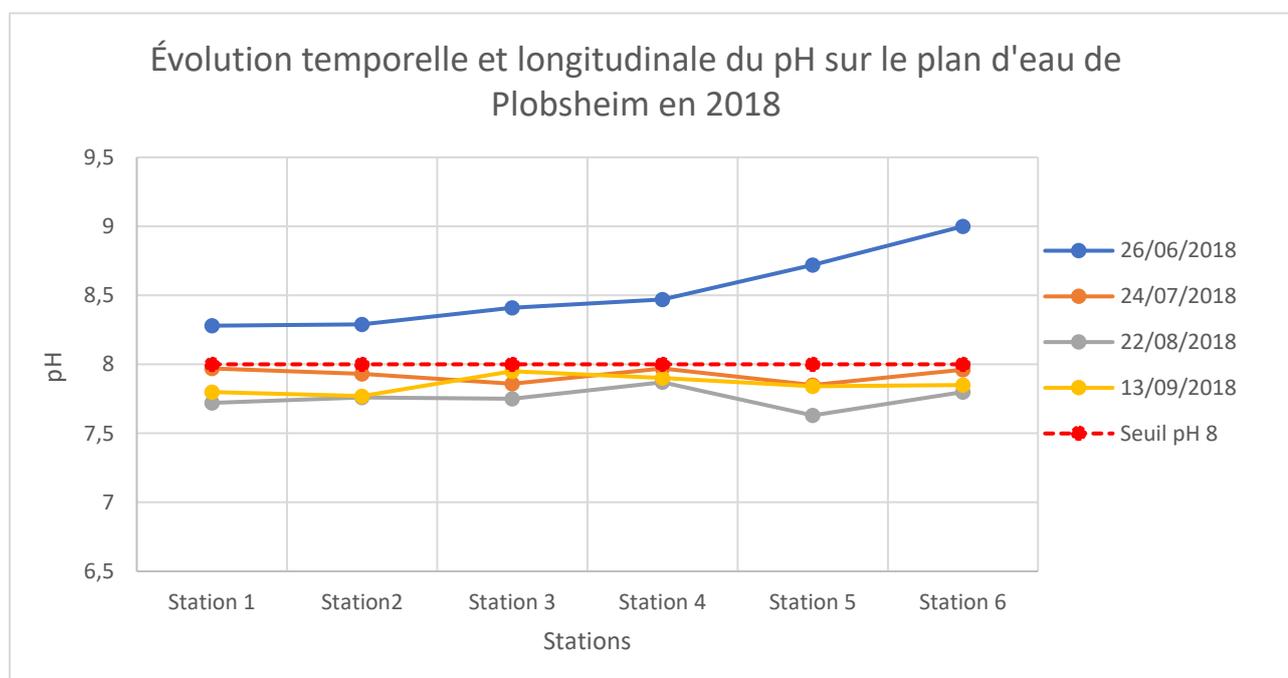


Figure 33 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale du pH du plan d'eau de Plobsheim en 2018

Les résultats de l'évolution longitudinale du pH montrent que le plan d'eau de Plobsheim dispose d'une eau plutôt basique dont le pH varie entre 7,6 pour la valeur la plus faible observée (station 5) et 9 pour la valeur la plus forte observée (station 6). Sur l'ensemble des mesures effectuées pendant la période estivale, le pH a une légère tendance à augmenter du Nord au Sud. Généralement autour de 8 pour les mois de Juillet, Août et Septembre. Les valeurs de pH les plus fortes sont observées pour le mois de Juin avec des valeurs dépassant aisément le seuil des 8 de pH et atteignant pour certaines la valeur de 9. Pour rappel, le seuil limite du très bon état défini par le SEQ Eau pour le compartiment biologie est de 8. Au-delà de ce seuil certaines espèces polluo-sensibles peuvent venir à disparaître.

L'évolution transversale du pH quant à elle, n'a montré aucune différence significative entre les valeurs obtenues dans le chenal et celles obtenues de part et d'autre du chenal.

Ces variations spatiales et temporelles de pH sont en partie le fruit de l'activité photosynthétique. Lorsque les plantes ou les algues se développent rapidement dans un milieu d'eau douce, chaque jour du dioxyde de carbone est produit par photosynthèse en phase diurne et est éliminé par la respiration en phase nocturne. En conséquence, les niveaux de pH peuvent augmenter à des niveaux tels qu'ils ne peuvent être tolérés par la faune aquatique. Un phénomène d'alcalose peut survenir avec les symptômes suivants :

- Ulcérations cutanées
- Effilochures des nageoires
- Destruction de l'épithélium branchiale avec difficultés respiratoires
- Immobilisation à la surface
- Hypersécrétion de mucus cutané
- Assombrissement des écailles

Les individus des compartiments piscicoles et malacologiques vivants en eau peu profonde, situés dans ces zones, sont donc particulièrement exposés à ce genre d'altérations et aux dommages causés par les niveaux élevés de pH. En plus de ce phénomène d'alcalose, un pH très élevé vient également augmenter la toxicité de l'ammoniaque très délétère pour les organismes aquatiques. Cependant cela ne semble pas être le cas de la population piscicole de du plan d'eau de Plobsheim qui semble supporter ces niveaux élevés de Ph.

Une petite précision est ici à apporter concernant la méthodologie employée lors des mesures effectuées lors des différentes campagnes de terrain. Indépendamment du courant Nord/Sud, les mesures hebdomadaires de pH ont été effectuées en partant de la station 1 au Nord (base nautique) aux alentours des 8h et se terminaient par la station 6 (au Sud) aux alentours de 13h. L'activité photosynthétique étant à son optimum lorsque l'ensoleillement est à son maximum, ceci peut venir expliquer en partie ces variations de pH du Nord au Sud.

L'autre explication pouvant être donnée face à ces écarts de pH, est que la topographie du plan d'eau favoriserait la photosynthèse dans la zone Sud. En effet la zone Sud étant moins profonde, elle permettrait à certaines espèces de macrophytes comme les Charas et Élodées de s'y développer de manière optimale et de former des tapis denses de végétaux. Ces groupements denses de macrophytes induiraient donc une densité en chlorophylle a plus importante et donc une photosynthèse plus importante d'où ces écarts de Ph.

## Les Matières En Suspension (MES) :

Les matières en suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide, en l'occurrence ici le plan d'eau de Plobsheim.

Elles peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. En concentration importante, elles peuvent former un écran empêchant la bonne pénétration de la lumière d'une part, réduisant ainsi l'activité photosynthétique et donc la production d'oxygène. Elles peuvent colmater les branchies des poissons d'autre part ou également être toxiques ou radiotoxiques et constituer une réserve de pollution potentielle.

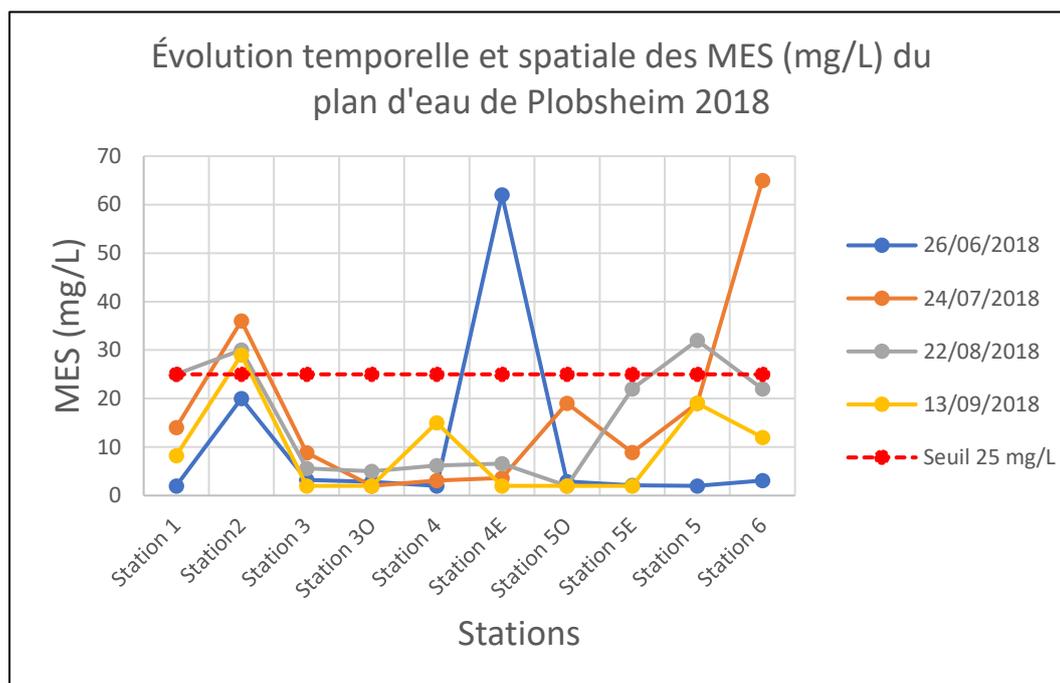


Figure 34 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en MES du plan d'eau de Plobsheim en 2018

Les analyses effectuées montrent des concentrations en MES fluctuantes en fonction des stations et des dates. Certaines stations comme les stations 2, 4<sup>E</sup>, 5 et 6 peuvent atteindre des valeurs dépassant le seuil fixé par la SEQ Eau de 25mg/L pour certaines dates auxquelles les prélèvements ont été effectués.

L'évolution spatiale du Nord au Sud de la concentration en MES montre des valeurs importantes dépassant pour certaines les 25 mg/L pour la station 2, puis des valeurs stables aux alentours de 2 mg/L pour les stations 3, 3O, 4, 4<sup>E</sup>. Un pic de concentration est cependant atteint le 26 Juin au niveau de la station 4<sup>E</sup> avec une valeur atteignant les 62 mg/L. Les stations 5O, 5<sup>E</sup>, 5 et 6 se démarquent des stations précédentes par des concentrations plus ou moins élevées le 24 Juillet et le 22 Aout.

Les valeurs observées sur la station 1 et plus encore sur la station 2 peuvent s'expliquer par la proximité de ces stations avec le Rhin, généralement chargé en matière en suspension. Cependant les fortes concentrations observées sur les stations 5O, 5<sup>E</sup>, 5 et 6 peuvent être la résultante de l'activité de fouillage des poissons fouilleurs tels que la Brème ou encore la Tanche, poissons observés en forte densité autour de ces stations. La présence d'anatidés et plus particulièrement du Cygne tuberculé (*Cygnus olor*) surdensitaire au niveau de ces stations peut également participer activement à la mise en suspension de ces matières dans des proportions non négligeables.

D'un point de vue transversal, il n'y a pas de différence significative entre les concentrations de MES retrouvées dans les stations situées dans le chenal et celles réparties à l'Est ou à l'Ouest du chenal.

### Les Nitrates (NO<sub>3</sub>-) :

L'ion nitrate est l'ion polyatomique de formule chimique NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La présence d'une concentration importante en nitrate dissous dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole, urbaine ou industrielle pouvant entraîner des phénomènes d'eutrophisation. Nutriments importants pour les plantes, algues et certaines bactéries, sa teneur naturelle varie entre 1 et 10 mg/L. Dans des concentrations importantes, les nitrates peuvent devenir toxiques pour les organismes aquatiques tels que les poissons, les macro-invertébrés ou encore les amphibiens.

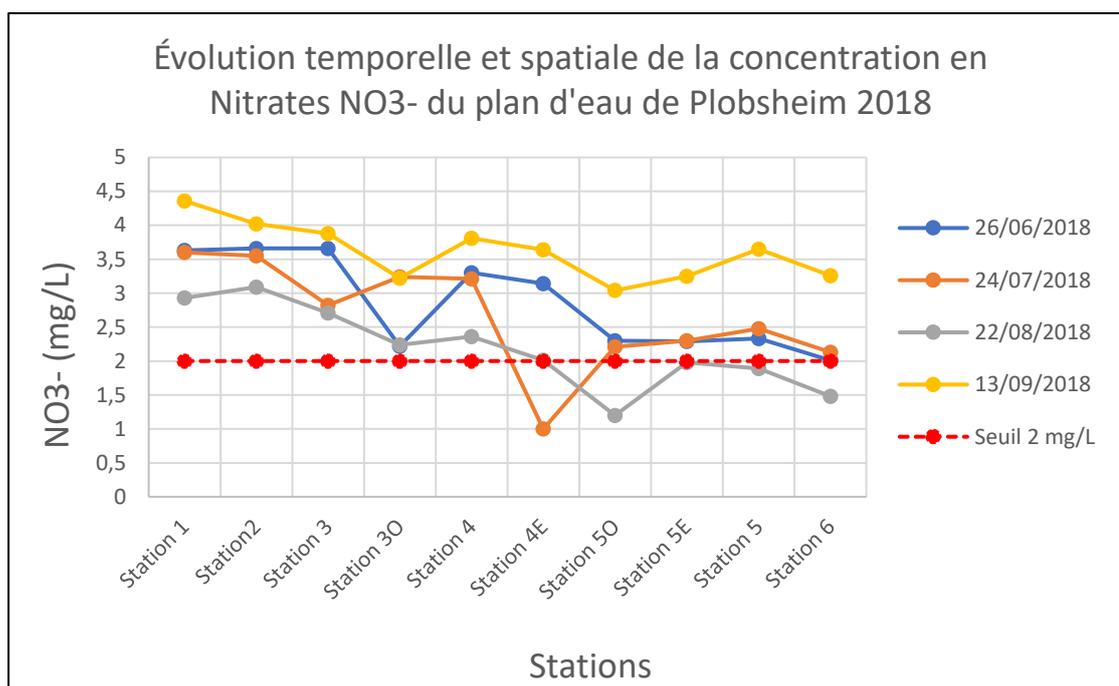


Figure 35 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrates du plan d'eau de Plobsheim en 2018

Bien que les nitrates soient présents en faibles proportions (< 5mg/L) dans le Rhin et dans le plan d'eau de Plobsheim, une tendance tend à se dégager longitudinalement. Du Nord au Sud, les valeurs de nitrates diminuent indépendamment des dates où les prélèvements ont été réalisés. Du Nord (station 1) au Sud (station 6), les valeurs en nitrates passent donc de 4,36 mg/L à 3,26 mg/L pour la date du 13 Septembre, date où les concentrations en nitrates sont les plus fortes sur le plan d'eau. Il en va de même pour la date du 22 Aout où l'on passe de 2,93 mg/L pour la station 1 à 1,48 mg/L pour la station 6 qui est la date où les valeurs observées sont les plus faibles au sein du plan d'eau. Des phénomènes de bioaccumulations et de sédimentations peuvent expliquer cette baisse de concentration Nord-Sud en nitrates.

D'un point de vue transversal, il n'y a pas de différence significative entre les concentrations en nitrates retrouvées dans les stations situées dans le chenal et celles réparties à l'Est ou à l'Ouest du chenal.

Bien que considéré comme étant « naturelle », les valeurs observées se situent au-dessus du seuil SEQ Eau fixé à 2 mg/L, ce qui ne permet pas d'atteindre un très bon état biologique de la masse d'eau, sans pour autant que cela n'implique d'effets délétères sur la faune aquatique.

### La Chlorophylle A et les Phéopigments :

Les Effets des Proliférations Végétales (EPV) constatés dans le plan d'eau de Plobsheim dues en partie à l'enrichissement des eaux en substances nutritives telles que les phosphates ou les nitrates ainsi qu'aux conditions hydrologiques et environnementales particulières, peuvent avoir un effet néfaste sur l'équilibre écologique du milieu aquatique. Cette altération est mesurée à partir de l'analyse des concentrations en chlorophylle a et en phéopigments, révélateurs de la présence d'algues en suspension dans l'eau. La chlorophylle a est considérée comme la forme vivante de la chlorophylle la plus répandue, sa présence est influencée par l'apport de nutriments dans le milieu naturel. Les phéopigments représentent la partie endommagée ou morte de cette chlorophylle. Mis bout à bout, la somme de la chlorophylle a et des phéopigments constituent le paramètre algues.

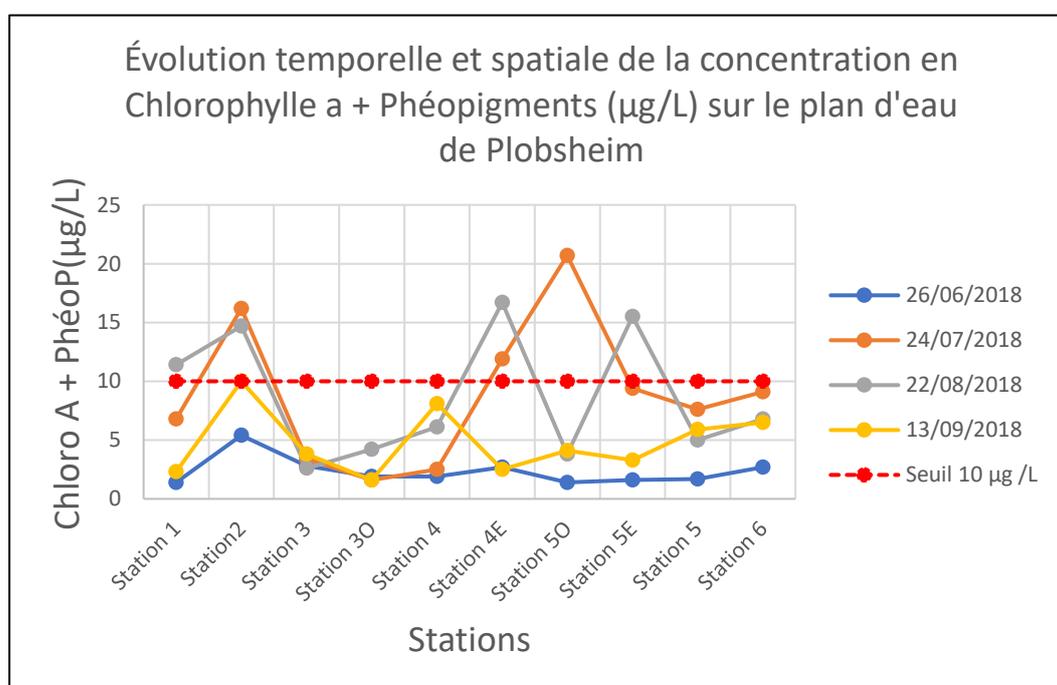


Figure 36 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale de la concentration en Chlorophylle a + phéopigments dans le plan d'eau de Plobsheim 2018

Directement en relation avec le pH et révélateur de l'activité photosynthétique, les valeurs des concentrations en chlorophylle a et phéopigments connaissent une augmentation significative sur les stations 2, 4<sup>E</sup>, 5O, 5<sup>E</sup>. La plus grande valeur observée le 24 Juillet est de 20 µg/L sur la station 5 Ouest. Des valeurs importantes ont également été observées pour la station 2 avec des valeurs comprises entre 5 et 16 µg /L. 2 autres pics sont également observables pour les stations 4<sup>E</sup> et 5<sup>E</sup> aux dates du 24 Juillet et du 22 Aout 2018. Les valeurs les plus faibles sont celles observées le 26 Juin 2018 sur l'ensemble des stations. Ces résultats ont été comparés aux données météorologiques de ces différentes périodes, notamment l'ensoleillement et n'ont rien donné de probant, l'ensoleillement étant constant sur l'ensemble de ces périodes.

### 3.1.4 Suivi de la qualité des sédiments

Les campagnes de prélèvement de sédiments réalisées en Juin et en Octobre sur l'ensemble des stations du plan d'eau de Plobsheim ont permis d'évaluer le taux de minéralisation de la matière organique, la concentration en azote et en phosphore ainsi que la présence et la concentration de micropolluants tels que l'Arsenic, le Mercure, ou encore les PCB (**Annexe 9**).

#### Les Micropolluants :

Les concentrations en Arsenic et en PCB totaux sont présent dans les sédiments du plan d'eau de Plobsheim, mais dans des concentrations inférieures aux seuils fixés par l'arrêté du 9 août 2006, modifié par l'arrêté du 17 juillet 2014 concernant les sédiments extraits de cours d'eau ou de canaux. Si la valeur observée est supérieure à celle de référence « S1 » alors la contamination est avérée. Voir le tableau des seuils ci-dessous :

PARAMÈTRES	NIVEAU S1
Arsenic	30
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercur	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300
PCB totaux	0,680
HAP totaux	22,800

Figure 37 : Tableaux des seuils fixés pour chaque paramètre par l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments extraits de cours d'eau ou de canaux (annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement)

**Le Mercure** sur les stations 3, 4 et 5 est présent dans des concentrations supérieures au seuil fixé par ce dit arrêté à la date du 28/06/2018. Voir tableau ci-dessus.

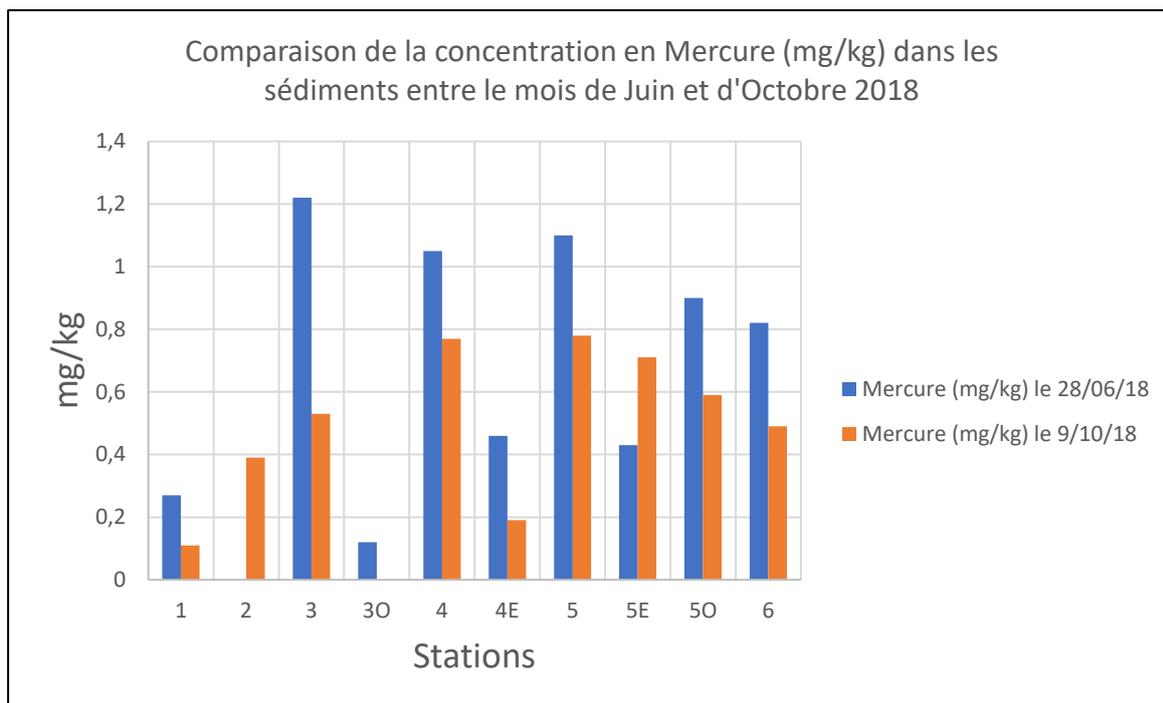


Figure 38 : Diagramme montrant l'évolution de la concentration en Mercure dans les sédiments entre le mois de Juin et Octobre de l'année 2018 du plan d'eau de Plobsheim

Les résultats pour le mercure montrent que du mois de Juin et celui d'Octobre, il y a une diminution de la concentration en mercure sur la globalité des stations étudiées, à l'exception fait de la station 2 où l'on atteint une valeur de 0,5 mg/kg pour le mois d'Octobre auparavant en dessous du seuil de détection. Cette baisse des concentrations entre le mois de Juin et d'Octobre peut être liée à la phytoépuration réalisée par les macrophytes du plan d'eau ainsi que par le phytoplancton qui ont des capacités de bioaccumulation plus ou moins importante en fonction des espèces présentes.

Les concentrations en Mercure mesurées varient entre 0,11 mg/kg (minimale) pour la station 1 le 09/10/2018 jusqu'à 1,22 mg/kg (maximale) pour la station 3 LE 28/06/2018. Les concentrations observées les plus importantes se situent dans le chenal influencé directement par le Rhin, c'est le cas pour les stations 3, 4 et 5 à la date du 28/06/18.

## Le ratio Azote/Phosphore

Les conditions estivales permettent un apport important de nutriments, en azote (N) et phosphore (P). Par définition le rapport N/P dans la production végétale aquatique est de  $0,7/0,08 = 8,75$ . Ceci signifie qu'un milieu nutritif possédant un rapport N/P égal à cette valeur est parfaitement équilibré par rapport aux besoins du végétal moyen.

Si son rapport est inférieur à 8,75 il présente un déficit d'azote par rapport au phosphore, l'azote sera donc le facteur limitant. Si son rapport est supérieur à 8,75, il présente un déficit de phosphore par rapport à l'azote, le phosphore sera alors le facteur limitant.

La composition du végétal aquatique varie selon les espèces, selon les conditions du milieu et plus particulièrement selon les conditions nutritives.

Si l'élément est en excès il y a « consommation de luxe », ce qui permet de constituer des réserves. Si l'élément vient à manquer la concentration cellulaire tombe au " quota minimal de subsistance " en dessous duquel la croissance est impossible. La frontière entre les deux domaines de carence n'est donc pas précise et correspond plus à une fourchette comprise entre 7 et 10 qu'à une valeur fixe située à 8,75.

L'azote ou le phosphore est facteur limitant dans un milieu nutritif selon que N/P soit inférieur à 7 ou supérieur à 10.

Les plans d'eau ou étangs sont très efficaces pour éliminer l'azote mais pas le phosphore. Un excès de phosphore avantagera le développement de cyanobactéries qui ont la capacité d'utiliser l'azote atmosphérique et qui ont des besoins élevés en phosphore.

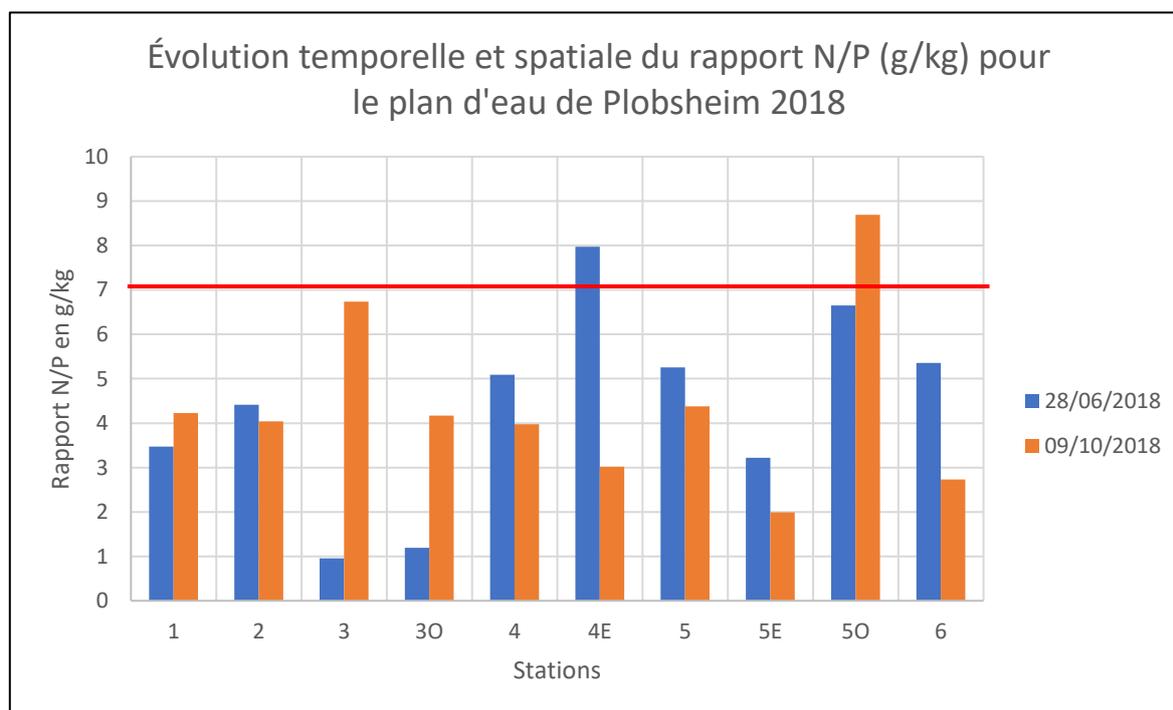


Figure 39 : Graphique de l'évolution temporelle et spatiale du rapport N/P du plan d'eau de Plobsheim 2018

Dans le cas du plan d'eau de Plobsheim, on retrouve majoritairement des stations avec un excès de phosphore avec un ratio N/P inférieur à 7 ce qui montre un excès de phosphore tout au long de la période estivale pouvant favoriser, lorsque les conditions sont propices, le développement de cyanobactéries.

Cependant 3 stations semblent obtenir un ratio N/P s'approchant de 7, soit d'un équilibre ou un optimum pour le développement de végétation aquatique, il s'agit de la station 3 à la date du 09/10/2018 avec un ratio de 6,73 et de la station 5 Ouest avec un ratio de 6,65 à la date du 28/06/2018. D'autres stations dépassent cette valeur de 7, c'est le cas de la station 4 Est à la date du 28/06/2018 avec un ratio de 7,97 et la station 5 Ouest à la date du 09/10/2018 avec un ratio de 8,69.

Ces ratios supérieurs à 7 montrent un excédent d'azote dans les sédiments, ce qui fait du phosphore sur ces stations et à ces dates précises l'élément « limitant » au développement de la croissance végétale. La station 4 Est montre un ratio N/P supérieur à 7 pour le début de la campagne de terrain soit à la date du 28/06/2018. Cependant à la fin de la campagne, ce ratio n'est que de 3. Une explication pouvant venir expliquer cette variation interannuelle, est que les végétaux aquatiques présents sur cette station ont consommé pendant la période estivale une partie de l'azote contenue dans ces sédiments pour assurer leur croissance végétale. C'est le cas de nombreuses stations où le ratio N/P a tendance à diminuer entre le début de la période estivale et la fin de cette même période.

La station 5 Ouest semble à l'inverse avoir un ratio N/P qui augmente entre le début de la période estivale et la fin. De 6,65 g/kg le 28/06/2018 on passe à 8,69 g/kg le 09/10/2018, ce qui montre une situation où on est plus ou moins à l'équilibre tout au long de la saison estivale 2018.

Ces écarts observés de consommation d'azote ou de phosphore pourraient s'expliquer par les groupements macrophytiques implantées sur ces stations. Or les différents groupements macrophytiques présents sur ces stations sont relativement similaires.

Des phénomènes d'apports d'azote et de phosphore pourraient donc expliquer ces différences sans pour autant préciser leur nature.

## La teneur en matière organique

La proportion de matière organique dans la matière sèche des sédiments varie entre 90 %, dans le cas de la tourbe, et 2 % pour les sables de rivière. La composition de cette matière organique est généralement identique d'un type de sédiment à un autre.

En général, la proportion de matière organique est de l'ordre de 2 à 10 % pour les sédiments des cours d'eaux vives et elle est constituée à 60 % de composés humiques.

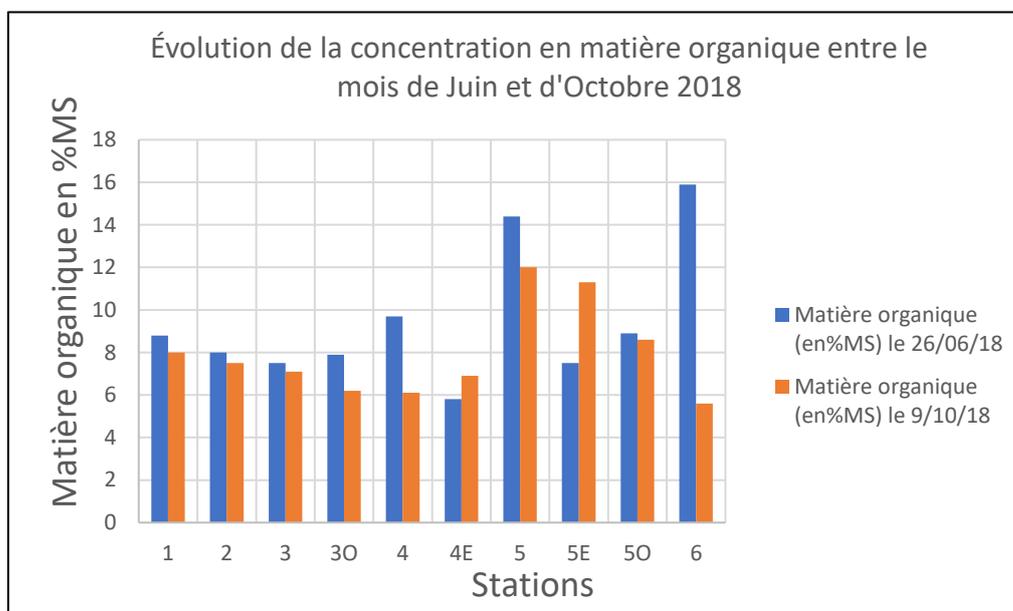


Figure 40 : Graphique de l'évolution de la concentration en matière organique des sédiments du plan d'eau de Plobsheim entre le mois de Juin et d'Octobre 2018

Les proportions en matière organique obtenues sur le plan d'eau de Plobsheim par rapport à la matière sèche varient entre de 5,8 % (minimum) pour la station 4E et 15,9 % (maximum) pour la station 6 pour le début de période estivale avec une moyenne pour l'ensemble des stations à 9,44 %.

En fin de période estivale les valeurs varient entre 5,6 % (minimum) pour la station 6 et 12% (maximum) pour la station 5<sup>E</sup> avec une moyenne pour l'ensemble des stations à 7,93 %. Les valeurs observées montrent un bon taux de minéralisation de la vase avec un faible pourcentage de matière organique dans la matière sèche pouvant être comparés aux sédiments des cours d'eaux vives.

En comparant les résultats obtenus des deux sessions de prélèvement de sédiments effectués sur le plan d'eau de Plobsheim, on remarque qu'il a des variations en termes de pourcentage de matière organique entre le début et la fin de la période estivale. Les concentrations ont tendance à diminuer pendant cette période, c'est en tout cas vrai pour les stations 1, 2, 3, 3O, 4, 5, 5O et 6.

Ces variations sont très légères pour les stations de la partie Nord du plan d'eau jusqu'à la station 3O et un peu plus importantes pour les stations 4, 5 et 6.

C'est le phénomène inverse qui se produit pour les stations 4<sup>E</sup> et 5<sup>E</sup>, les concentrations en matière organique sont plus importantes après la fin de la période estivale qu'au début.

À noter que les variations les plus importantes en termes de pourcentage en matière organique se font au niveau de la station 6. On passe de 16% à 5,5% en 4 mois. Tandis que les stations 2, 3 et 5 Ouest ont des variations les plus faibles pendant ce laps de temps.

### 3.1.5 Suivi du phytoplancton et des cyanobactéries

Les résultats du dénombrement et de l'identification des cyanobactéries (**disponible en Annexe 10**) dans les différents échantillons d'eau des stations 1 à 5 du plan d'eau de Plobsheim ont mis en évidence la présence de stations avec des concentrations en cyanobactéries plus importantes que d'autres, c'est le cas notamment des stations 2, 4 et 5.

Cependant, le seuil sanitaire fixé à 20 000 cell/mL pour les eaux de baignades est loin d'être atteint avec une valeur maximale de 5777 cell/mL pour la station 1 à la date du 22/08/2018.

2 espèces de cyanobactérie pouvant être potentiellement toxique ont été identifiées, il s'agit de *Limnothrix redekei* sur la station 2 et de *Phormidium sp* sur la station 5 qui sont des cyanobactéries de l'ordre des Oscillatoriales qui se développent dans les eaux plutôt calmes en été voir en fin d'été. Dans certaines concentrations, elles peuvent engendrer des effets neurotoxiques et hépatotoxiques sur la faune aquatique environnante. Cependant le dénombrement effectué en labo a permis d'écarter cette hypothèse au vu des concentrations de cellules mesurées largement en dessous des seuils de toxicité.

Ces cyanobactéries sont retrouvées 1 fois pour *Limnothrix redekei* sur la station 2 à la date du 26/06/2018. Et 2 fois pour *Phormidium sp* sur la station 5 aux dates du 08/08/2018 et au 13/09/2018 avec de nombreuses autres cyanobactéries.



Figure 42 : Vue microscopique de *Limnothrix redekei*

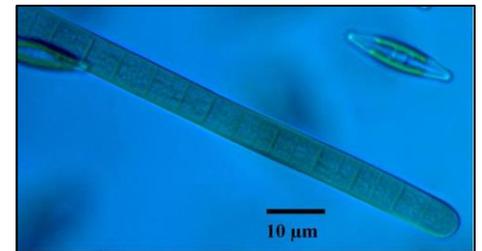


Figure 43 : Vue microscopique de *Phormidium sp*

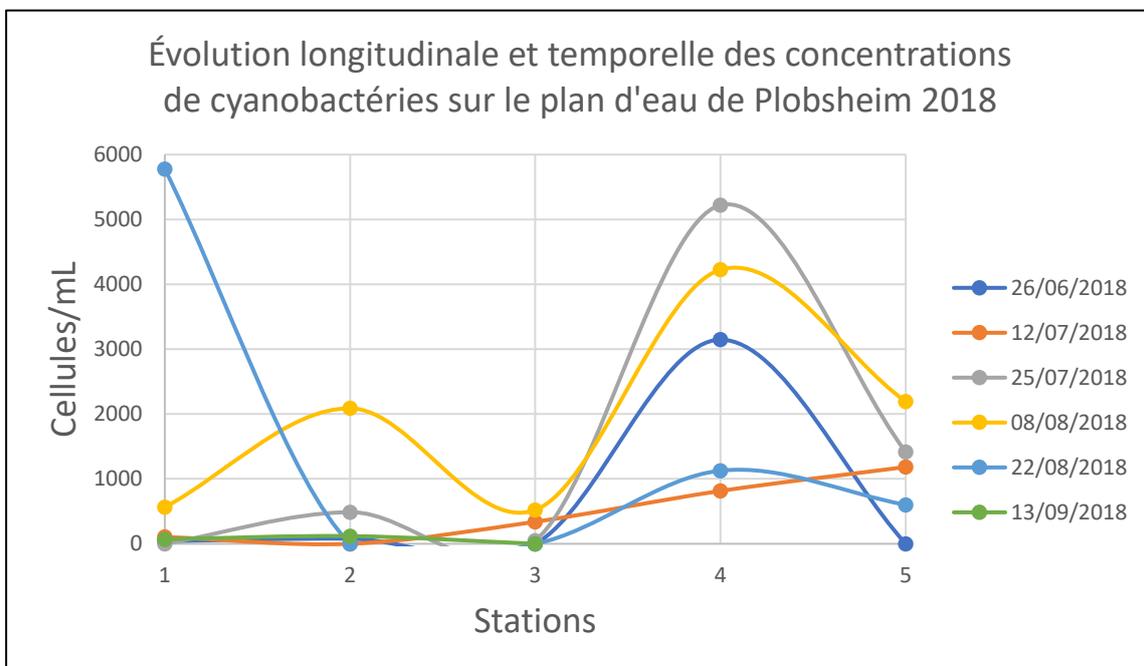


Figure 44 : Graphique de l'évolution longitudinale et temporelle des concentrations de cyanobactéries sur le plan d'eau de Plobsheim en 2018

## 3.2 Inventaire floristique des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim

### 3.2.1 Inventaire des espèces macrophytiques du plan d'eau

L'inventaire des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim a nécessité 10 journées de terrain à deux opérateurs pour prospecter l'intégralité du plan d'eau en suivant le plan d'échantillonnage établi précédemment. En plus des différentes espèces végétales du plan d'eau, des zones non accessibles ou encore trop profondes pour effectuer les relevés ont également été consignées sous forme de cartographies.

13 espèces ont été inventoriées et leurs indices d'abondance renseignés. Voici la liste de ces différentes espèces :

- Chara sp.
- Elodae nuttallii
- Myriophyllum spicatum
- Ceratophyllum demersum
- Potamogeton lucens
- Potamogeton natans
- Potamogeton perfoliatus
- Potamogeton pectinatus
- Potamogeton obtusifolius
- Vallisneria sp.
- Algue filamenteuse
- Callitriche stagnalis
- Nuphar lutea

Les Characées occupent 50 % des points échantillonnés sur le plan d'eau, suivi par les Élodées (28 %). En 3ème position on retrouve les Myriophylles à hauteur de 11 % suivi des Potamots lucens (4 %).

D'autres espèces sont représentées dans des proportions plus faible venant compléter cet inventaire, telles que les Potamots (perfoliatus, natans et pectinatus), la Vallisnérie ou encore le Ceratophyllum. Plus marginalement d'autres espèces ont été inventoriées comme le Potamot obtusifolius, le Nénuphar jaune, la Callitriche ou encore les Algues filamenteuses (Cladophora sp. ou Spyrogyra sp.). Le diagramme ci-dessous montre la répartition de ces différentes espèces :

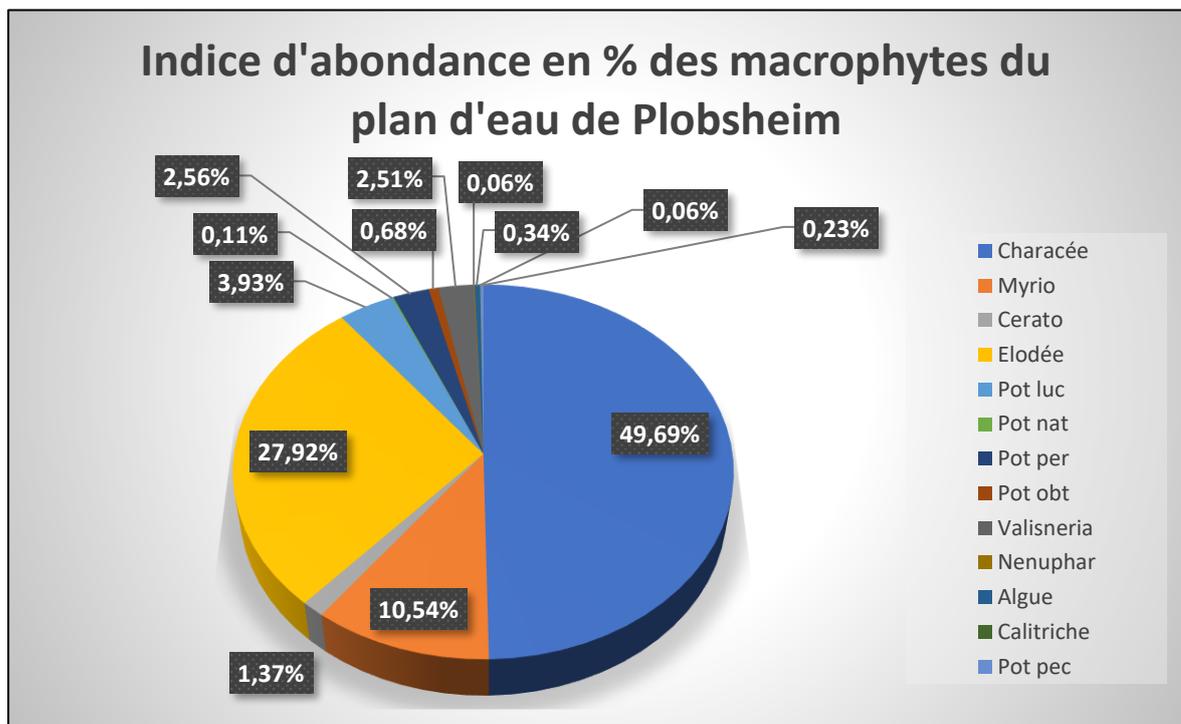


Figure 45 : Diagramme de la répartition des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim en fonction de leur abondance en 2018

### 3.2.2 Cartographie par indice d'abondance et répartition des espèces végétales

#### a. Cartographie des végétaux aquatiques du plan d'eau de Plobsheim

Suite à la phase de terrain, l'ensemble des espèces végétales présentes dans le plan d'eau a été cartographié en fonction de leur répartition et de leur indice d'abondance. Chaque point contact réalisé sur le terrain est représenté par un point qui correspond à un indice d'abondance sur la carte en présence de l'espèce.

**5 classes** d'indice d'abondance allant de **1 à 5** permettent de caractériser la densité de l'espèce en un point donné. L'indice **1** correspond à une faible présence de l'espèce, **moins de 5 %** sur la zone échantillonnée, tandis que l'indice **5** correspond à une forte présence de l'espèce, **supérieure à 75 %** de la surface échantillonnée.

Exemple ci-dessous d'une cartographie réalisée pour les élodées.

L'ensemble des cartes des indices d'abondance pour chaque espèce est disponible en **Annexe 11**.

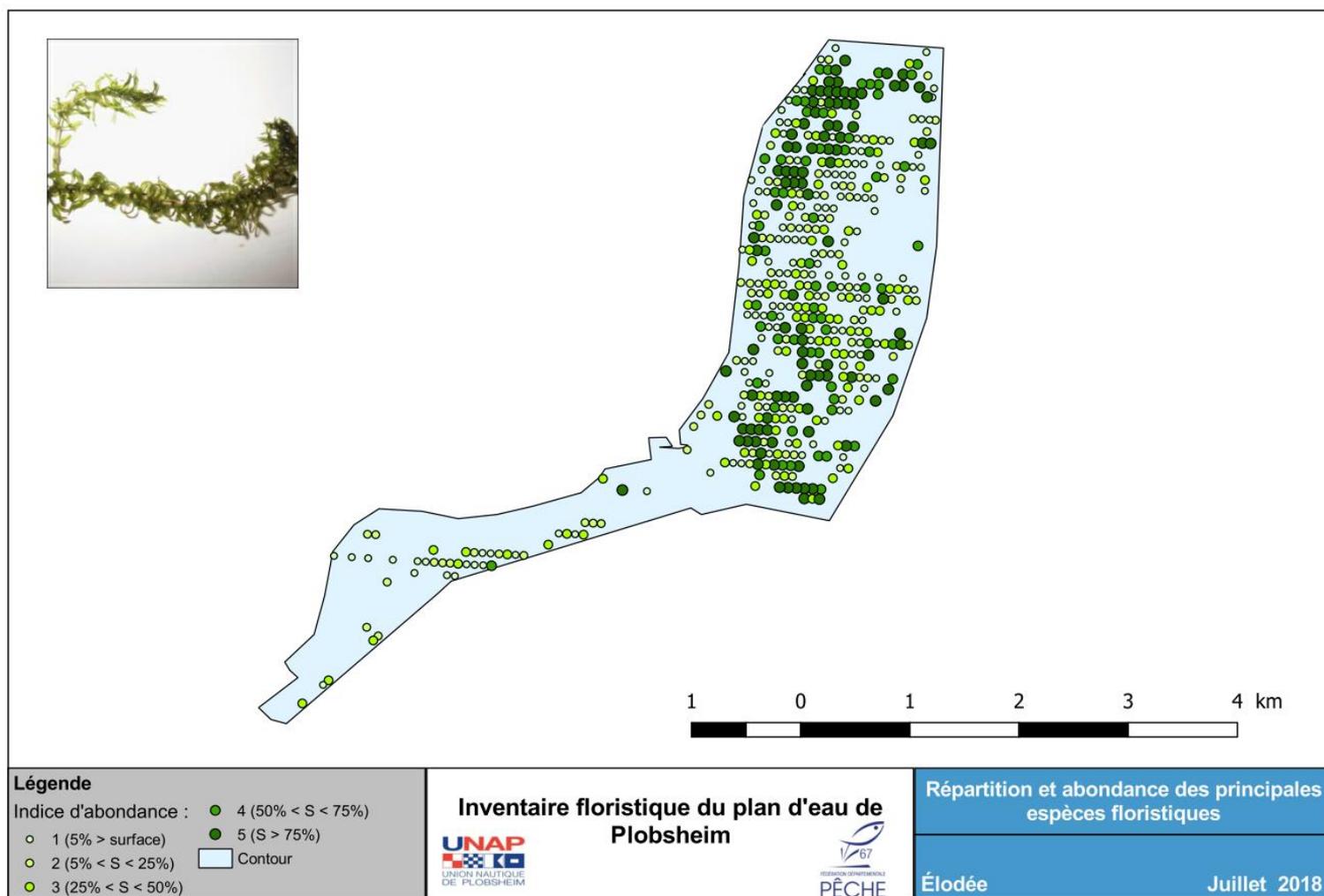


Figure 46 : Cartographie de la répartition et des indices d'abondance des élodées au sein du plan d'eau de Plobsheim en 2018

### Observation des cartographies :

Des algues filamenteuses sont inventoriées uniquement dans la partie Sud du plan d'eau. Ces algues retrouvées sur **6** points contacts sont présentes dans des densités élevées (indice 3 à 5) sur une épaisseur variant de quelques centimètres à 1 mètre.

Un petit massif de Callitriche stagnalis a été observé sur **1** point contact au Sud du plan d'eau. Ce massif mesurait entre 2 et 3 mètres de diamètre avec un indice de présence de 3.

Nuphar lutea ou bien le Nénuphar jaune, est également présent en **1** point, avec seulement un pied. Cet unique pied est situé le long de la berge Est à l'extrême Sud du plan d'eau.

**24** points contacts relevant la présence de Ceratophyllum ont été observés. Souvent en faible abondance (indice 1 à 2), ils correspondent généralement à des pieds isolés. Cependant au Sud du plan d'eau, il a été observé un massif de Ceratophyllum, traduit par un indice d'abondance de 5.

La Vallisneria spiralis est présente uniquement le long des digues et des berges du plan d'eau et à de très faibles profondeurs. Elle est particulièrement présente au Sud Est du plan d'eau avec des indices d'abondance variant entre 1 et 5. **44** points contacts ont été relevés pour cette espèce.

Les Charas, espèce la plus représentée (**872** points) sur le plan d'eau de Plobsheim est presque exclusivement représentée sous forme de tapis dense, pouvant s'étendre sur plusieurs centaines de mètres avec des épaisseurs variant entre 40 centimètres à 2 mètres. Quand elles sont présentes dans de telles densités, le peuplement est presque exclusivement monospécifique où la cohabitation avec d'autres macrophytes devient très rare. Les Charas sont tout de même moins présents et abondants en bordure, dans le chenal et dans l'extrême Sud du plan d'eau.

Lorsque les Chara ne sont pas présentes, ce sont les Élodées (**490** points) qui prennent la place avec également des formations denses bien souvent monospécifiques ne laissant que très peu de place aux autres espèces.

Les Myriophylles (**185** points) sont présents sur l'ensemble du plan d'eau, du Nord au Sud, mais plus généralement concentrés le long des digues du plan d'eau. Quelques massifs constitués de plusieurs pieds sont à signaler au Nord et au Sud du plan d'eau.

Potamogeton pectinatus est présent dans l'extrême Sud du plan d'eau. **4** points contacts observés pour cette espèce représentent un massif dense et continu affleurant la surface.

Potamogeton obtusifolius est présent lui aux extrêmes Sud et Nord du plan d'eau, le long des digues et berges. L'abondance de cette espèce est cependant moindre au Nord avec des indices d'abondance allant de 1 à 2, tandis qu'au Sud ces indices varient entre 3 et 5. **12** points ont été relevés pour cette espèce.

Potamogeton natans est présent seulement sous **2** points contacts situés au Nord du plan d'eau avec de faibles abondances.

Potamogeton perfoliatus est présent au Nord comme au Sud du plan d'eau sous forme de pieds isolés ou de petits massifs en **45** points contacts. Il se fait cependant rare au niveau de la zone centrale.

Enfin Potamogeton lucens, est présent exclusivement dans la zone Nord et centrale du plan d'eau. Il est généralement présent dans des zones avec des profondeurs moyennes sous la forme de bancs ou de massifs en **69** points contacts.

### *b. Description des principales espèces échantillonnées*

**Les Characea**, espèces héliophiles représentent 50 % du recouvrement de l'ensemble des macrophytes inventoriés sur le plan d'eau de Plobsheim. Considérées comme étant des « algues évoluées » ou encore des « macro-algues », elles évoluent dans les milieux d'eau douce à eaux claires pouvant alors constituer des populations denses monospécifiques, parfois sociables. Elles sont toujours organisées en tapis distincts au sein du même milieu et sont particulièrement dépendantes de la qualité et de la stagnation de l'eau avec un préférentiel pour des milieux récents tels que des marais, plan d'eau, bras déconnecté de rivières...

Les formations de characées représentent un stade pionnier et précaire dans la dynamique progressive de la végétation des eaux calmes. Disposant d'un assez fort pouvoir colonisateur, les characées sont souvent les premiers macrophytes à investir les milieux neufs où elles peuvent alors recouvrir des surfaces importantes. Étant par ailleurs peu limités par la profondeur, les tapis de characées peuvent rapidement constituer de véritables prairies immergées tapissant le fond des eaux claires stagnantes, offrant alors d'excellents habitats pour les invertébrés (odonates, coléoptères...) ou encore constituant de véritables lieux de reproduction pour les poissons et amphibiens. (Source : Conservatoire Botanique National de Bailleul).



*Figure 47 : Illustration de Charas*

La colonisation totale du milieu par une ou plusieurs de ces espèces constitue le stade d'évolution optimale de cet habitat et peut parfois se maintenir durablement dans cette configuration. Cependant, ces espèces héliophiles, sont à plus ou moins longs termes, concurrencées par les hydrophytes vasculaires immergées ou flottantes, mieux adaptées et plus compétitives. L'immixtion ou la présence de telles espèces, associées ou au contact des tapis de characées, marque ainsi un stade transitoire qui préfigure leur éviction progressive.

Cette disparition intervient de manière plus ou moins rapide en fonction de la superficie du milieu, de la permanence ou de la profondeur d'eau, du niveau trophique (acide ou basique) et de la dynamique propre des formations végétales avec lesquelles les characées sont en compétition.

Les activités nautiques ou encore les précédentes opérations de faucardage pouvant entraîner des perturbations du milieu, peuvent alors favoriser leur apparition en tant qu'espèce pionnière mais également favoriser leur maintien de manière durable au sein du plan d'eau de Plobsheim.

**Elodea nuttallii** est une espèce invasive originaire d'Amérique du Nord affectionnant les eaux eutrophes à méso-eutrophes avec peu ou pas d'apport d'eau souterraine sténotherme. En Alsace, elle est devenue en quelques décennies l'une des espèces les plus dominantes et la plus fréquente dans la plaine du Rhin grâce à son fort pouvoir de dissémination. Cependant depuis quelques années sa distribution s'est stabilisée.

Les phosphates en excès augmentent le taux de croissance de *E.nuttallii*, ce qui favorise sa tendance à éliminer les autres plantes qui ont besoin de lumière, ce qui explique en partie son caractère invasif. En plus de sa croissance exceptionnelle, elle sécrète des substances défensives qui la rendent toxique et moins appétente pour les espèces autochtones d'invertébrés. Un autre paramètre renforçant son caractère invasif est sa capacité à acquérir et stocker et le phosphore. Enfin *E.nuttallii* a une bonne capacité à capter l'azote dissous en dessous de 4 mg/L. De telles capacités au sein d'un écosystème comme celui du plan d'eau de Plobsheim, en font une espèce redoutable en terme de compétition interspécifique.



Figure 48 : Illustration d'*Elodea nuttallii*

**Myriophyllum spicatum**, est une espèce originaire d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Sud. Elle se développe dans des eaux basiques, riches en matière organique et nutriments. C'est une plante qui peut devenir envahissante dans certaines conditions par son pouvoir de propagation élevé (bouturage et marcottage). Elle se développe dans des masses d'eau à faible débit voir stagnante.

Bien qu'envahissante, elle a un rôle de plante oxygénante et phytoépuration, et sert de support d'alimentation et de frayère pour la faune aquatique.



Figure 49 : Illustration de *Myriophyllum spicatum*

**Potamogeton lucens**, est une espèce autochtone qui affectionne les cours d'eau et plan d'eau eutrophes calcaires. Une eau très claire et une intensité lumineuse correspondent à ses exigences biologiques pour son maintien et son développement.

*P.lucens* se retrouve en eau profonde. C'est une espèce qui se régénère lentement et qui partage le même habitat qu'*E.nuttallii* et les Charas, ce qui les met directement en concurrence.



Figure 50 : Illustration de *Potamogeton lucens*

### *c. Évolution de la répartition des groupements macrophytiques*

Ces différentes répartitions des macrophytes retranscrites sous forme de cartographies, résultent de divers facteurs impliquants une distribution des macrophytes au sein du plan d'eau. En effet, les espèces de macrophytes ne sont pas indépendantes les unes des autres et forment des herbiers bien visibles qui correspondent au caractère des macrophytes (J. Haury et S. Muller). C'est également le cas des différents groupements macrophytiques du plan d'eau de Plobsheim qui se rencontrent via la dynamique des populations ainsi que par les interactions ou lien sociaux pouvant s'appliquer dans ce milieu. Ces interactions sociales sont liées aussi bien à la compétition interspécifique qu'il peut y avoir entre les différentes espèces, qu'à une coopération interspécifique de résistances aux facteurs tels que le courant ou encore la succession d'espèces.

Les principaux paramètres biologiques et physiques impliquant une distribution sont :

- la vitesse du courant
- la nature du substrat
- le pH
- niveau trophique
- la lumière
- la température de l'eau

D'autres facteurs non cités ne sont cependant pas à exclure dans cette distribution.

#### Quelques exemples montrant ces différents facteurs de répartition :

- Certaines espèces de macrophytes vont affectionner les zones à faible vitesse de courant avec des eaux de faibles profondeurs (< à 1 m) situées en bordure (zone marginale) comme *Vallisneria spiralis* et *Nuphar lutea*, espèces inventoriées uniquement le long des digues et berges du plan d'eau, dans les conditions citées précédemment.
- L'Élodée *nuttallii*, qui est une espèce exotique envahissante va tendre à envahir les milieux mésotrophes à eutrophes en occupant généralement des milieux d'eau stagnante à courante avec des profondeurs variables. L'Élodée rentre par exemple directement en concurrence avec *Ceratophyllum demersum* présent sur le même type de milieu.
- D'autres espèces comme les Charas, sont des espèces à fort pouvoir colonisateur plutôt thermophiles et héliophiles qui ont au contraire des amplitudes écologiques plus larges avec de grandes capacités d'adaptation au milieu. Elles ont cependant un préférentiel pour des milieux récents et renouvelés tels que les mares, étangs, plans d'eau, bras déconnectés de rivières etc.
- Les Potamots sont présents quant à eux sur des secteurs d'eaux calmes à faiblement courantes, déconnectés de l'influence du chenal. Ils sont présents sur des substrats vaseux à limoneux. Les différentes espèces de Potamots du plan d'eau de Plobsheim caractérisent plutôt des eaux eutrophes. À noter les pollutions organiques peuvent influencer l'apparition ou la disparition de certaines espèces de Potamot. C'est par exemple le cas de Potamot *lucens* qui est plus sensible aux pollutions organiques que Potamot *pectinatus* qui le remplacera. Si le niveau trophique tend encore plus à augmenter, le peuplement évoluera vers des espèces telles que les Myriophylles ou encore l'Élodée *nuttallii*.

### 3.2.3 Interprétation des résultats du compartiment macrophyte

#### *a. Impacts des communautés végétales sur la physico-chimie du plan d'eau de Plobsheim*

L'inventaire des macrophytes du plan d'eau de Plobsheim révèle une domination du peuplement macrophytique par les Charas, suivi par l'*Elodea nuttallii*. Ces deux espèces sont présentes sur le plan d'eau sous forme de tapis denses de plusieurs mètres de haut et de quelques mètres à quelques centaines de mètres de long pour certains massifs de Charas et d'Élodées.

Les valeurs d'oxygène et de pH obtenues en phase diurne au-dessus de ces massifs se sont révélées être très élevées par rapport aux valeurs obtenues au-dessus des autres peuplements macrophytiques du plan d'eau dans des conditions similaires.

En effet lorsqu'on se retrouve en présence de ces deux espèces de macrophytes, elles sont présentes sous forme de tapis dense. Cette importante densité végétale propre à ces espèces induit une quantité en chlorophylle a au mètre carré plus importante que sur d'autres espèces comme les Potamots, qui sont présents sous forme de pieds et espacés les uns des autres. Cette différence de concentration de chlorophylle a, responsable de la photosynthèse, peut expliquer les résultats observés concernant les concentrations élevées en oxygène dissous et le pH observé au-dessus de tels massifs en phase diurne, qui en font des zones d'oxygénation très importantes pour la faune aquatique.

Cependant une telle densité de végétaux implique également une pénétration de la lumière restreinte voire nulle au sein de tels massifs. La photosynthèse ne se fait plus et une forte consommation en oxygène par le processus de respiration s'y produit. On peut alors obtenir des concentrations en oxygène dissous réduites, voire nulles, cas de la station 5 Ouest, où la sonde était immergée dans ce massif de Charas. D'après les observations terrain et le taux d'oxygène mesurés dans cette zone, la vie aquatique semble être fortement compromise.

Cette forte densité a également une influence sur d'autres paramètres physico-chimiques, comme le renouvellement de l'eau au sein de ces massifs, qui est limité voire quasi nul, ce qui implique une augmentation des températures de l'eau plus importante sur ces zones fortement végétalisées en période de forte chaleur et d'ensoleillement important, donc durant la période estivale et en journée. À l'inverse, la nuit, ces massifs vont se refroidir et garder la fraîcheur de l'eau au petit matin. Ces massifs denses sont donc comparables à de véritables éponges thermiques qui modifient et augmentent l'inertie thermique des stations où ils se trouvent.

En plus des impacts sur l'inertie thermique et la température, ces massifs modifient également par leur présence et leur structure, les courants et le transport sédimentaire qui va avec.

### 3.3 Croissance végétale et création d'îlots végétalisés

Ces peuplements de Charas et d'Élodées, présents sous forme de tapis dense sur de nombreuses zones peu profondes du plan d'eau, ont commencé à affleurer la surface de l'eau à partir du mois de Juillet formant alors des îlots fixes de végétation. À partir du mois d'Aout, ces îlots, sous l'influence des courants se sont détachés et ont commencé à dériver du Nord au Sud du plan d'eau en empruntant le chenal central ainsi que d'autres chenaux secondaires.

Une hypothèse pouvant être émise sur ce phénomène, auparavant plus discret, est qu'en absence de faucardage (l'opération qui consiste à couper et exporter les végétaux), aucun frein à la production végétale n'a été appliqué durant ces deux dernières années. Les Élodées et Characées, habituellement exporter de leur milieu par le faucardage, ont eu la possibilité de se développer pendant deux années avec des conditions environnementales optimales. D'où cette surproduction végétale spectaculaire et ce nombre d'îlots flottants à la dérive.

Une autre hypothèse pouvant être émise, est que les crues qui ont eu lieu au début de l'année 2018 venant de l'III (voir figure 49), ont apporté une quantité de nutriments importante dans ce milieu déjà eutrophe, notamment de l'azote qui est le facteur limitant, au vu du ratio azote/phosphore retrouvé dans les sédiments du plan d'eau lors des différents prélèvements.

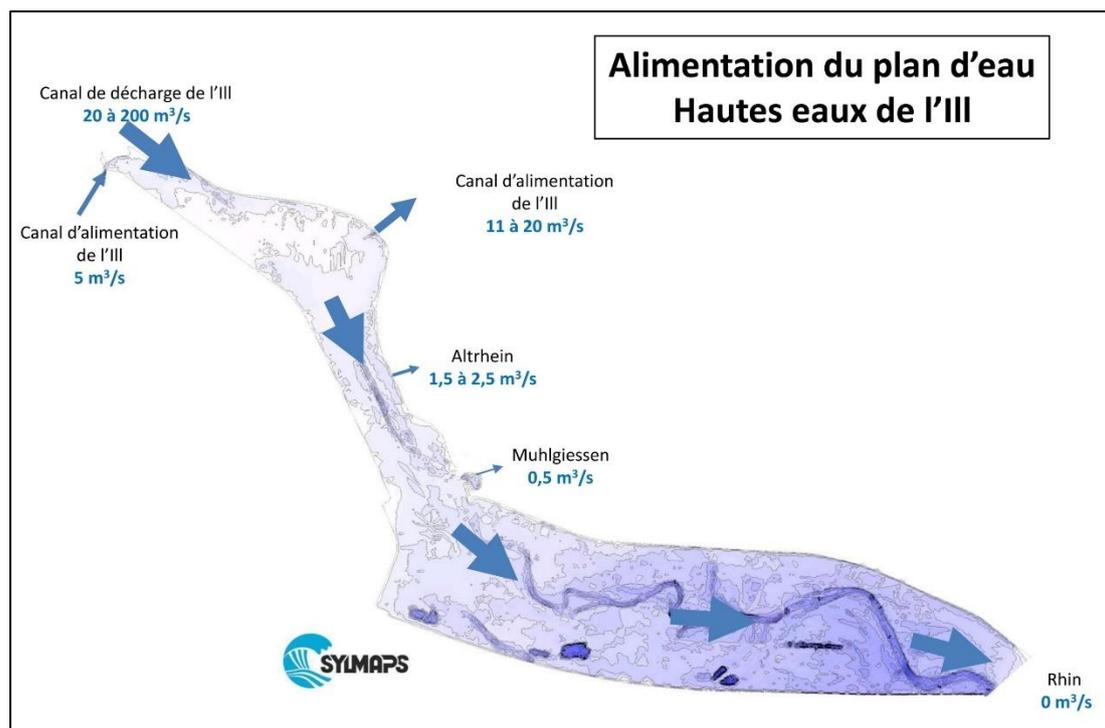


Figure 51 : Cartographie des courants du plan d'eau de Plobsheim en période de hautes eaux de l'III

Une question peut alors être posée, qu'elles conséquences entraînent ces formations sur l'écosystème aquatique de Plobsheim ? Ce phénomène peut-il être comparé ou du moins s'apparenter aux faucardages effectués en 2015 et 2016 en termes de consommation d'oxygène par ces végétaux en suspension ?

## 4. Discussion

### 4.1 Des conditions environnementales différentes entre 2015-2016 et 2017-2018

#### 4.1.1 Absence de faucardage durant ces 2 dernières années

L'étude menée en 2017 et 2018 devait intégrer au moins une année où un faucardage de la zone Nord (en face de la base nautique) était prévu pour reproduire les mêmes conditions que lors des mortalités survenues en 2015 et 2016 où des opérations de faucardage avaient eu lieu, afin d'identifier les paramètres impliquants les mortalités piscicoles. 2017 était une année annoncée sans opération de faucardage, ce qui a été le cas. Il n'y a pas eu de mortalité significative sur le plan d'eau. L'année 2018 était annoncée comme étant une année avec faucardage, ce qui aurait permis de la comparer avec les résultats de l'année 2017 (année de référence). Cependant aucune opération de faucardage n'a eu lieu suite au refus des autorités de l'état de valider les autorisations nécessaires à ces opérations.

Les impacts que peuvent avoir les opérations de faucardage sur l'écosystème du plan d'eau de Plobsheim n'ont donc pas pu être évalués durant ces 2 dernières années.

À défaut de valider ou d'invalider certaines hypothèses concernant le rôle du faucardage dans les mortalités piscicoles survenues en 2015 et 2016, cette étude sur 2 ans a permis d'obtenir une meilleure compréhension de l'écosystème, des phénomènes et des interactions se produisant dans le plan d'eau de Plobsheim.

#### 4.1.2 Absence de mortalités piscicoles

Aucune mortalité piscicole de même ampleur n'a eu lieu en 2017 et 2018. Quelques poissons ont été retrouvés morts en 2017 mais dans des quantités très faibles, que l'on pourrait juger de naturelles en été. Cependant en 2018 aucun poisson mort n'a été observé durant toute la durée de l'étude.

En absence d'une mortalité piscicole conséquente, les facteurs délétères pour les poissons n'ont pas pu être observés et donc identifiés. Cependant quelques hypothèses concernant les mortalités 2015 et 2016 ont pu être validées, d'autres invalidées ou encore d'autres émises.

#### 4.1.3 Conditions météorologiques et hydrologiques différentes

Les conditions météorologiques de 2015 et 2016 ne sont pas similaires aux années 2017 et 2018. En effet bien que les étés 2017 et 2018 étaient chauds, il n'y a pas eu de phénomènes de canicules comme en 2015 et 2016. Pour rappel une canicule est une vague de chaleur dont les températures minimales sont supérieures à 30-33°C la journée avec des températures minimales la nuit supérieures à 20°C et ce sur au moins 3 jours consécutifs. Ce phénomène de canicule n'est pas à exclure dans les causes ayant pu conduire aux mortalités piscicoles.

Les phénomènes de crues hivernales et de printemps survenues respectivement en 2018 et 2017 sont également des données à prendre en compte par rapport aux années 2015 et 2016. De même que les

conditions d'ensoleillement ou de précipitations qui varient d'une année à l'autre. Ces conditions peuvent modifier différents paramètres pouvant jouer un rôle dans les mortalités piscicoles survenues en 2015 et 2016.

## 4.2 Mesures et résultats d'analyses

### 4.2.1 Sondes autonomes températures

L'enregistrement des températures devaient se faire tout le long de la période estivale jusqu'en Octobre. Cependant certains enregistrements des sondes thermiques autonomes n'ont pas pu effectuer l'ensemble de leur durée d'enregistrement. En effet les sondes thermiques disposées sur la station 2 en surface et en profondeur se sont arrêtées. Cet arrêt intervient exactement sur la même tranche de 30 minutes et n'est pas dû à un défaut de pile. Cette nuit où l'enregistrement a été interrompu, des orages ont éclatés sur la zone du plan d'eau. On est donc en droit de se demander, au vu des éléments récupérés, si notre bouée station 2, supportant les deux enregistreurs, n'a pas été touchée par la foudre provoquant l'arrêt de l'enregistrement.

Cette perte de données sur la période qui a suivi n'a pas été dommageable au vu des résultats obtenus cette année.

Une autre sonde s'est également arrêtée mais pour défaut de batterie. Chose étrange sachant que lors de leur mise en place, l'ensemble des sondes ont été installées avec 100 % de batterie.

### 4.2.2 Valeurs d'oxygène et de température

Certaines valeurs de températures ou encore d'oxygène obtenues cette année par les sondes autonomes d'oxygène et température ou encore par la sonde multi-paramètre révèle des données qui peuvent sembler aberrantes dans un premier temps. Cependant en mettant en relation différents facteurs et grâce aux observations effectuées sur le terrain, certaines de ces stations où ont eu lieu ces mesures, semblent être influencées par des phénomènes de courants. Ces courants plus ou moins haut dans la lame d'eau peuvent directement impacter la température de la station ou encore le transport de l'oxygène et de sédiments au sein du plan d'eau.

### 4.2.3 Identification et dénombrement des cyanobactéries

Les prélèvements d'eau réalisés pour identifier et dénombrer les cyanobactéries ont été fixés avec du Lugol et conservés à l'obscurité avant d'être analysés. Lors de la phase d'analyse, il s'est avéré que le Lugol de certains prélèvements se soit révélé inefficace quant à son pouvoir fixateur. Cela n'a pas entraîné de conséquences sur l'identification mais plutôt sur le dénombrement qui est devenu approximatif, cependant les résultats obtenus même approximativement restent tout de même largement inférieurs au seuil sanitaire des 20 000 cell/ml.

## 5. Conclusion

Après ces 2 années d'études, visant à déterminer les causes des mortalités piscicoles, plusieurs hypothèses ont été testées. Certaines ont pu être validées, d'autres invalidées et d'autres encore restent en suspens.

**Rappel important** : ces deux dernières années, il n'y a pas eu d'opération de faucardage sur le plan d'eau de Plobsheim, il n'y a donc pas de conditions similaires sur ce paramètre par rapport aux années 2015 et 2016. La validation ou non des hypothèses ne peut se faire que sur la base des années 2017 et 2018, années sans mortalités piscicoles. Il n'est pas à exclure que les résultats puissent changer du tout au tout en présence d'opération de faucardage ou de conditions environnementales propres à 2015 et 2016.

Résultats des hypothèses 2017 et 2018 :

### *Anoxies et variations d'oxygène*

- **Pas d'anoxie nocturne** des zones fortement végétalisées. Cette hypothèse a pu être invalidée grâce aux sondes autonomes placées sur les nombreuses stations du plan d'eau. Il y a certes des variations nyctémérales propres au cycle de la photosynthèse mais il n'y a pas de phénomènes d'anoxie sur ces zones. Au contraire en 2017, des phénomènes d'hyperoxie avaient été observés au-dessus des massifs d'Élodées et de Charas en phase diurne. Ce n'était pas le cas en 2018, ce qui peut être dû à une baisse moyenne de l'ensoleillement sur la période estivale par rapport à 2017.
- **Pas d'anoxie benthique** au niveau des fosses du plan d'eau de Plobsheim situées au niveau des stations A, B et C. Il n'y a pas d'oxycline, ni d'ailleurs de thermocline sur le plan d'eau. Cependant il existe bel et bien des phénomènes d'anoxie benthique, qui ne sont pas liés à la profondeur, mais au recouvrement végétal opéré par deux espèces particulières : les Élodées et les Charas, qui forment des massifs ou « tapis ». Ces structures végétales denses et compactes, ne laissent pas pénétrer la lumière dans les couches inférieures de ces massifs. La production d'oxygène par la photosynthèse devient donc impossible et est remplacée par de la consommation d'oxygène via la respiration végétale. Le renouvellement de l'eau, apportant en temps normal de l'oxygène dissous est grandement diminué au vu de la structure des massifs. Dans ces conditions, une des sondes autonomes immergée de manière non intentionnelle au sein de tels massifs, a révélé une anoxie avec des concentrations d'oxygène nulles.
- **Oui** les différents groupements macrophytiques ont bel et bien une influence sur les variations nyctémérales des taux d'oxygène. Les Élodées et les Charas sont des espèces ayant une densité au m<sup>2</sup> très élevée de par leur biologie et leur mode de développement. Ces attributs permettent à ces végétaux de produire d'avantage d'oxygène via la photosynthèse au m<sup>2</sup> que d'autres espèces comme les potamots ou les myriophylles, espèces ayant une densité végétale au m<sup>2</sup> moins importante. Il y aura donc plus de variations sur des zones densément végétalisées par les Charas et les Élodées. Plus encore, ces espèces modifient la physico-chimie du plan d'eau de Plobsheim mais également les courants, ainsi que le transport sédimentaire.

- **Non**, il n'y a pas eu d'inflorescence de cyanobactéries en 2017 et 2018, les résultats obtenus grâce aux prélèvements d'eau, ont permis de mettre en évidence la présence de certaines cyanobactéries potentiellement toxiques. Cependant les faibles concentrations retrouvées ces 2 dernières années n'ont pas pu entraîner d'effets significatifs sur la faune aquatique. Malgré des conditions optimales réunies pour les cyanobactéries en 2017 et 2018 aucune inflorescence n'a eu lieu. Une hypothèse concernant l'absence de bloom ces 2 dernières années, est que les végétaux du plan d'eau aient réussi à capter une grande partie des nutriments nécessaires à l'initiation d'un bloom cyanobactérien. Le phosphore en particulier, bien que présent en grande quantité dans les sédiments n'était pas disponible pour les cyanobactéries. Les végétaux (Charas et Élodées) ont eu un rôle déterminant dans le captage du phosphore. L'absence d'anoxies benthiques ces deux dernières années peut également expliquer le fait qu'il n'y ai pas eu de relargage de phosphore contenu dans les sédiments. Il n'était donc pas disponible pour les cyanobactéries. L'absence de faucardage, peut également jouer en la faveur de la non-prolifération de ces cyanobactéries.
- **Non**, il n'y a pas de mauvaise assimilation des nutriments, au contraire du Nord au Sud, les résultats des analyses de sédiments ont démontré qu'il y avait même un phénomène de phyto-épuration pour les nutriments, mais également pour les substances toxiques amenées par le Rhin en période estivale grâce aux macrophytes du plan d'eau de Plobsheim. La piste de la mauvaise assimilation des nutriments accentuant les phénomènes d'anoxie peut donc être écartée pour ces 2 années.
- Les résultats des prélèvements de sédiments ainsi que les crues qui ont eu lieu en hiver 2018 ont également mis en évidence un apport massif en nutriments provenant de l'III, au Sud du plan d'eau. Le Rhin influence également le plan d'eau par ces apports, mais par le Nord. La rencontre de ces deux masses d'eau se situerait au niveau de la base nautique, ce qui impliquerait une sédimentation des nutriments dans cette zone précise.
- Ce phénomène de sédimentation des nutriments peut également venir expliquer le développement exceptionnel de la végétation aquatique cette année et la formation d'îlots d'Élodées et de Charas. Ces îlots résultant de l'émergence des tapis denses apparus sur la zone de la base nautique pendant la période estivale 2018. En 2017 ce phénomène était de moindre ampleur mais existait tout de même. Il semblerait d'après les données hydrauliques de 2017 qu'une crue de printemps de plus faible ampleur ai pu apporter des nutriments sur la même zone mais dans des concentrations plus faibles. L'importance des crues et des nutriments dans le développement de la végétation en période estivale semble indéniable au vu des résultats observés.

- L'inventaire floristique et les recherches bibliographiques menées en 2018, ont permis de mettre en évidence la dominance des Charas et Élodées, espèces pionnières ayant un fort pouvoir colonisateur. La présence de l'Élodea Nutall, espèce exotique envahissante, présente à 28%, montre que le milieu a subi des perturbations, permettant son implantation. Une fois implantée, elle s'y maintient quand les conditions sont optimales. La dominance des Charas dans ce plan d'eau traduit également une perturbation passée et récente du milieu, cependant le Chara est une espèce temporaire qui colonise les milieux récents ou perturbés, puis laisse la place aux autres espèces vasculaires. Leur présence, leur maintien et surtout leur progression depuis une quinzaine d'années montre que le milieu subit régulièrement des perturbations. Ces perturbations peuvent être liées au faucardage, qui a tendance à cibler justement ces espèces vasculaires, telles que les Potamots, le Myriophylle ou encore le Cératophylle. La navigation par les pêcheurs ou par les clubs de voile peut dans une moindre mesure venir affecter l'écosystème du plan d'eau. Un autre facteur pouvant venir perturber fortement le milieu, est la présence du cygne tuberculé en forte densité au Sud du plan d'eau.
- En effet la population de cygnes concentrée sur la partie Sud du plan d'eau de Plobsheim est importante. Son impact sur le milieu n'a pas été évalué dans cette étude, mais d'après les recherches bibliographiques effectuées, il semble qu'une forte densité de cygnes aurait tendance à réduire de manière drastique la diversité végétale des macrophytes ainsi que leur densité, jusqu'à la faire disparaître dans certains cas où dans des profondeurs d'eaux faibles, inférieures à 1,5m. Ce qui est probablement le cas de la zone Sud du plan d'eau (peu profonde), où se concentre cette population. Cette réduction de la densité végétale est directement dommageable pour la faune aquatique car les macrophytes constituent aussi un habitat favorable pour un grand nombre d'invertébrés, eux-mêmes proies d'oiseaux ou de poissons, qui à leur tour utilisent parfois les herbiers de macrophytes comme support lors de la fraie ou de la ponte.
- Les cygnes pour s'alimenter utilisent leurs pattes pour exposer les racines et les tiges des végétaux aquatiques qu'ils consomment. Cette action entraîne une remise en suspension des sédiments et donc par la même occasion une augmentation de la turbidité dans ces zones d'alimentation. La turbidité est défavorable aux plantes héliophiles.



*Figure 52 : Cygne tuberculé avec ses petits s'alimentant de végétaux aquatiques*

- Un cygne consomme en moyenne 3 à 4 kg de végétaux aquatiques par jour et par individu. Cependant selon la bibliographie, les cygnes ne consomment que 50 % de ce qu'ils déracinent. On peut donc estimer la perte totale de végétaux arrachés entre 6 et 8 kg/jour/cygne. Les résultats des campagnes de comptage du cygne tuberculé (données ONCFS) et l'estimation de la consommation de macrophytes, notamment pendant la période végétative qui est la plus dommageable pour les macrophytes sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Mois/Année	janv-15	févr-15	mars-15	avr-15	mai-15	juin-15	juil-15	août-15	sept-15	oct-15	nov-15	déc-15	Total (kg)	Total période végétative (kg)
Nombre de cygnes	1370	1231	228	457	770	930	927	1330	1226	1346	1361	628		
Période végétative					Période végétative des macrophytes									
Consommation en kg	123300	110790	20520	41130	69300	83700	83430	119700	110340	121140	122490	56520	1062360	587610
Arrachage en kg	246600	221580	41040	82260	138600	167400	166860	239400	220680	242280	244980	113040	2124720	1175220

On obtient donc une estimation de la consommation de macrophytes par les cygnes pendant la période végétative de **587 tonnes**. Cette somme est la résultante de l'addition de la consommation des cygnes durant les 6 mois de la période végétative s'étalant de Mai à Octobre avec comme calcul :  $3\text{kg} \times \text{cygne} \times 30 \text{ jours}$ , ce qui est une fourchette basse.

La quantité de macrophytes arrachés par les cygnes quant à elle est estimée à **1175 tonnes** durant la période végétative.

Tous ces végétaux consommés ou arrachés du milieu pendant la période végétative dans la zone Sud, ne retiennent plus les sédiments et ne peuvent donc plus assimiler les nutriments (azote, phosphore) apportés par l'Ille. Ce qui entraîne de ce fait une accentuation de l'eutrophisation du plan d'eau de Plobsheim pouvant conduire à des situations critiques pouvant être responsables de mortalités piscicoles.

En plus de cette consommation de végétaux, les cygnes viennent également enrichir le plan d'eau en phosphore et en azote via leurs déjections. Ce qui renforce encore plus leur rôle dans l'eutrophisation du plan d'eau.

Le pain, distribué aux cygnes dans des quantités démesurées au niveau du Rhinland est également à ajouter dans la balance dans l'eutrophisation du plan d'eau.

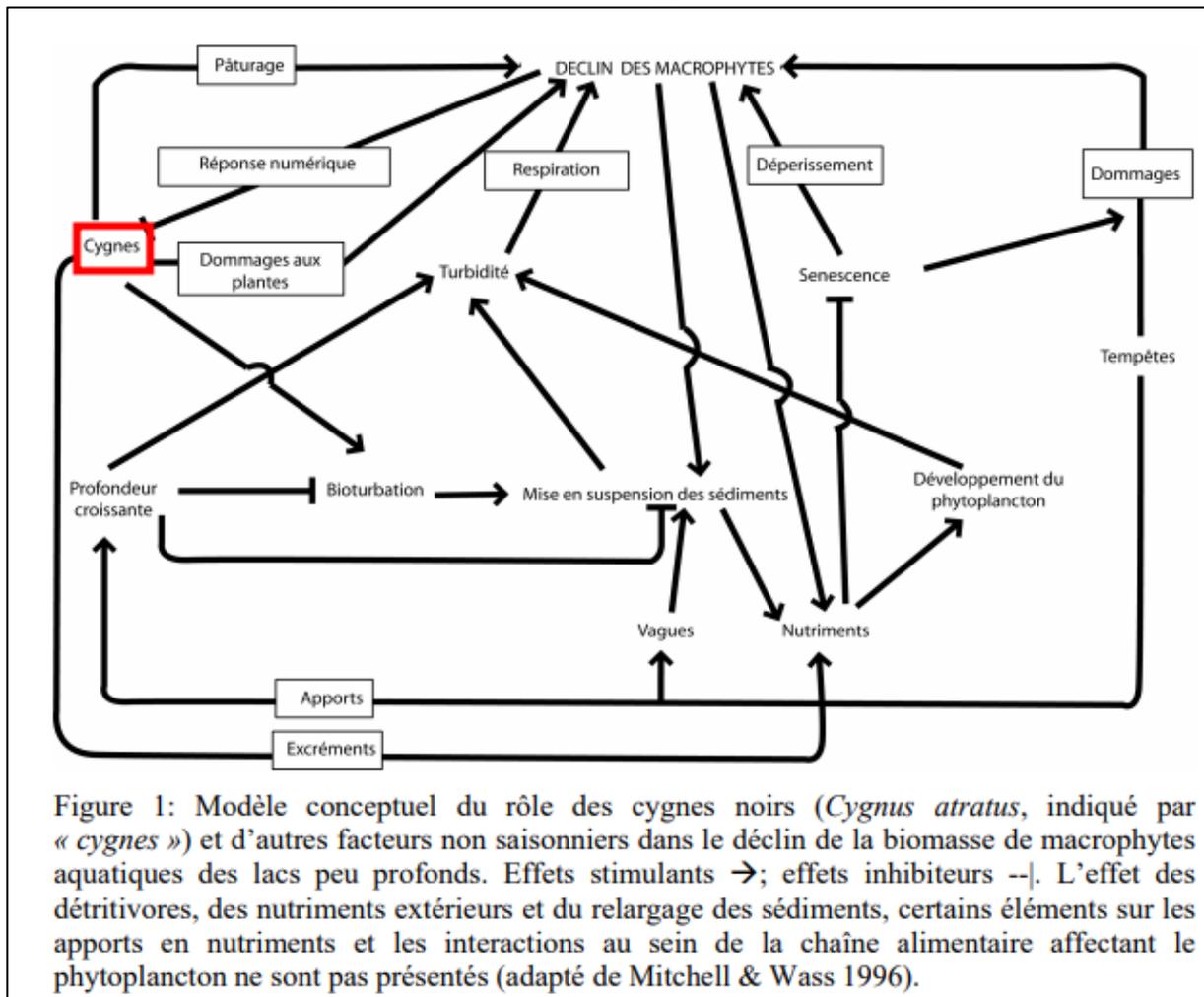


Figure 53 : Personne apportant du pain aux cygnes

- Au vu de la bibliographie, des observations réalisées sur le terrain et de l'inventaire floristique réalisé par Madame TREMOLIERES il y a une dizaine d'années, on est en droit de se demander si la densité de cygnes, n'a pas également modifié de manière significative et notable la distribution et la répartition des groupements macrophytiques de la zone Sud du plan d'eau. En effet, autrefois occupée et dominée par des bancs de Myriophylles avant leur arrivée, la zone Sud ne compte désormais que quelques rares pieds épars.

Cette zone Sud est caractérisée par une forte sédimentation ainsi qu'un faible couvert végétal sur les hauts fonds caractéristiques de cette partie Sud du plan d'eau. Lors de l'inventaire floristique effectué en 2018, la zone Sud, où se trouvent les cygnes, s'est révélée être une zone très peu végétalisée avec souvent un fond nu. Ces zones absentes de végétaux, ne captent plus, ni ne retiennent les sédiments et donc les nutriments arrivant de l'III. En période hivernale, ces sédiments vont être transportés par les courants de l'III vers le Nord du plan d'eau, venant accentuer le côté eutrophe du plan d'eau en période estivale de la zone Nord.

Exemple d'un modèle conceptuel montrant le rôle du cygne noirs sur les macrophytes :



- L'ensemble de ces éléments listés précédemment impacte donc directement l'évolution de la population piscicole du plan d'eau de Plobsheim.  
Les phénomènes de crues hivernales ou printanières de l'Ill engendrent un apport massif en nutriments dans le plan d'eau de Plobsheim. Ces nutriments sont en partie utilisés par les macrophytes lors de leur période végétative, leur assurant une bonne croissance. Ces macrophytes vont servir de zones de frayères pour de nombreuses espèces piscicoles phytophiles avec un fort pouvoir d'oxygénation. Elles vont également constituer des zones de supports et d'alimentation pour de nombreux macro-invertébrés. C'est le cas d'une partie de la zone Centrale et de la zone Sud du plan d'eau, qui abritent de nombreux juvéniles de l'année. La zone Centrale et Nord du plan d'eau quant à elles servent de zone de croissance aux poissons.
- Les investigations réalisées en 2017 permettent de dresser un point assez complet du peuplement ichtyologique du plan d'eau, puisque 21 espèces ont été identifiées, ainsi qu'une espèce d'écrevisse. Les 2 méthodes ont conduit à la capture d'effectifs comparables, néanmoins, parmi celles-ci, la pêche aux filets maillants est la méthode qui a permis de capturer le plus d'espèces différentes (18) légèrement devant la pêche à électrique (16).
  - 5 espèces de carnassiers capturées : Brochet, Sandre, Silure, Aspe et Perche. Les plus représentés sont le Brochet et la Perche. La présence des autres espèces est marginale.
  - D'un point de vue numérique et biomasse, les poissons de fourrage dominants sont composés de Brème bordelières, de Gardons et de Perche.
  - D'autres espèces moins abondantes mais néanmoins présentes comme la Carpe, le Rotengle, le Gobie à taches noires et l'Épinoche ont été échantillonnées.
  - 2 espèces sensibles et protégées ont été capturées : la Bouvière et l'Anguille.
  - Présence d'écrevisses américaines.

Le plan d'eau de Plobsheim possède des densités numériques importantes, cependant au niveau pondéral, la biomasse de poissons est moins importante, ce qui se traduit par plus de juvéniles que d'adultes, preuve de son rôle de frayère du Rhin. Ce constat est cependant une image à un instant t, susceptible d'évoluer au gré des mouvements migratoires des différentes espèces présentes.

D'un point de vue spatial, le Brochet a été capturé sur l'ensemble du plan d'eau, avec des densités plus fortes en berge sur la rive gauche et au Sud de la base nautique.

Les Silures ont été capturés en berge sur le pourtour du plan d'eau, au niveau d'embâcles, d'enrochements ou encore d'herbiers. Comme l'Anguille.

Le Gardon est l'espèce la plus abondamment capturée. Les principaux foyers de populations sont en pleine eau, dans les massifs de macrophytes au Nord.

Les Perches en revanche sont présentes de manière homogène au Sud du plan d'eau. Tout comme la Brème. Ces localisations traduisent des zones de reproductions potentielles, au vu des juvéniles échantillonnés sur cette zone.

Pour d'avantages de précision, le rapport rédigé par SAGE environnement est disponible dans le rapport d'étude de 2017.

La production piscicole du plan d'eau de Plobsheim et la bonne santé de cet écosystème reposent donc essentiellement sur les groupements macrophytiques du plan d'eau de Plobsheim soumis aux impacts du faucardage ou encore du cygne modifiant leur distribution, leur diversité ou encore leur densité.

Afin d'éviter de nouvelles mortalités piscicoles et de garantir le maintien de cet écosystème, il est plus que probable que la clé reste la préservation des végétaux aquatiques face aux dégradations majeures qu'ils subissent.

#### *Questions en suspens*

Des questions restent cependant en suspens après la fin de cette étude :

- Qu'est-ce qui a causé les mortalités piscicoles survenues en 2015 et 2016 ?
- Quels paramètres physico-chimiques ou biologiques, ont été impliqués dans ces mortalités ?

En absence de faucardage et de mortalités survenues ces deux années d'étude, la question reste pour l'instant en suspens.

D'autres points sont également à éclaircir :

- Quel sont les impacts directs et indirects que peuvent engendrer des opérations de faucardage sur le plan d'eau de Plobsheim en période estivale ?

Des questions auxquelles on ne peut répondre de manière certaine avec les éléments actuellement en notre possession, cependant, ce qui est sûr, c'est que le faucardage et la population de cygnes, modifient la distribution naturelle des groupements macrophytiques du plan d'eau.

Le faucardage des bancs de Potamots, de Myriophylles et de Cératophylles, espèces les plus problématiques pour la navigation de par leur verticalité dans la lame d'eau, laisse place libre à d'autres espèces à fort pouvoir colonisateur comme les Charas ou les Elodea Nuttall, espèces modifiant les caractéristiques physico-chimiques des stations où elles se développent abondamment. C'est également ces groupements de végétaux en corrélation avec un apport conséquent en nutriments apportés par l'ill au début de l'hiver ou l'absence de faucardage sur 2 ans, qui ont conduit cette année à la formation d'îlots de végétaux venant limiter grandement la navigation sur le plan d'eau. Les conséquences de ces îlots sur la biocénose du plan d'eau restent pour l'instant inconnues.

L'étude du plan d'eau de Plobsheim sur ces 2 dernières années a révélé son caractère méso-eutrophe résultant d'intrants massifs de nutriments de l'Ill lors des périodes de crues.

Ces intrants sont composés en partie de nutriments, essentiels au développement et au maintien de nombreuses espèces de macrophytes.

L'azote et le phosphore sont les principaux nutriments dont les macrophytes du plan d'eau ont besoin pour se développer. Les résultats de l'étude montrent un ratio N/P inférieur sur de nombreuses stations du plan d'eau, traduisant un excès en phosphore important. Ce phosphore en excès est directement disponible pour les cyanobactéries, qui ne sont pas limitées par l'azote, car capables d'assimiler l'azote atmosphérique.

Pour rappel, une des hypothèses émises à l'époque des mortalités, était que des blooms importants de cyanobactéries toxiques aient libéré des microcystines, entraînant des lésions chez les poissons, portes d'entrée pour les attaques bactériologiques. Ces cyanobactéries responsables également de la consommation d'une partie de l'oxygène dissous par le processus de respiration.

Une des préconisations à prendre serait de pouvoir limiter cet excès d'apport en nutriments provenant de l'Ill, afin de minimiser le développement de ces cyanobactéries en période estivale, réduisant ainsi le risque de libération de microcystines et la consommation d'oxygène par les cyanobactéries.

La limitation du pâturage des macrophytes par les cygnes semble être la meilleure méthode pour limiter ces excès de nutriments. En effet avec un couvert végétal plus dense au Sud, les nutriments apportés par l'Ill pourraient être captés de manière efficace. Cependant très friands de végétaux aquatiques, les cygnes dans leur concentration ne permettent pas d'envisager une régénération spontanée des zones peu profondes soumis accessibles pour leur besoin d'alimentation.

D'autres solutions peuvent cependant être imaginée et envisageable pour palier à ce pâturage excessif tel que l'installation de mangroves sur des hauts fonds, captant ces nutriments et venant apporter une diversification des habitats pour bon nombre d'espèces terrestre comme aquatique.

L'installation de radeaux végétalisés fixes, venant capter cet excès de nutriments est également possible. Ces radeaux permettraient non seulement de capter les nutriments en excès, mais également de fournir un support de ponte, d'alimentation ou encore des caches à la faune aquatique via le réseau racinaire.

Cependant l'ensemble de ces préconisation citées ci-dessus devront être protégées par des grillages pour limiter le pâturage des cygnes.

L'ensemble de ces préconisations est cependant soumis aux besoin et contraintes d'EDF, gestionnaire du plan d'eau.

## Bibliographie et Sitographie

F. Chancerel. LE BROCHET, Biologie et gestion. Collection mise au point.

P. Keith, H. Persat, E. Feunteun et J. Allardi. Les Poissons d'eau douce de France. Biotope Editions.

L. Tissot, Y. Souchon. Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen.

J. Haury et S. Muller. Les communautés de macrophytes : typologie, dynamique et production.

J. Barbe. LES VEGETAUX AQUATIQUES, Données biologiques et écologiques, Clés de détermination des macrophytes de France.

D. Ritchie. Inventaires de macrophytes des cours d'eau du bassin Artois-Picardie. 2016.

M. Lauret, J. Oheix, V. Derolez et T. Laugier. Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. 2011.

J. Montegut. Le milieu aquatique, tome 2, Clé de détermination. 1987.

J. Lambinon, L. Delvosalle, J. Duvigneaud. Nouvelle flore de Belgique, du Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines. 2012.

G. GAYET. Colonisation d'un écosystème d'eau douce hétérogène par un oiseau d'eau herbivore : le cygne tubercule (*cygnus olor*) dans les étangs piscicoles.

David R. Marks, Mute Swans, 2018.

### Site Web :

<https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/phosphore-et-eutrophisation/>

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000423497>

<https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

<http://www.poitou-charentes-nature.asso.fr/eau-avec-vegetation-immeree-non/>

<https://www.tela-botanica.org/>

<http://rhin-meuse.eaufrance.fr/IMG/pdf/grilles-seq-eau-v2.pdf>

<https://hydrobio-dce.irstea.fr/cours-deau/macrophytes/>