

**Etude visant à déterminer les
causes des mortalités piscicoles du
plan d'eau de compensation de Plobsheim**



Résultats de la campagne 2017



**Fédération du Bas-Rhin pour la Pêche
Et la Protection du Milieu Aquatique
Lieu-dit « La Musau »
Route départementale 228
67203 OBERSCHAEFFOLSHEIM**



Table des matières

Rappel du contexte de l'étude	4
Rappel des objectifs de l'étude	5
1. Contexte de l'année 2017	6
1.1 Conditions météorologiques	6
1.2 Débits des cours d'eau	6
1.3 Facteurs externes	7
1.4 Mortalité de poisson	7
2. Résultats	8
2.1 Suivi en continu de la température de l'eau	8
2.1.1 Evolution temporelle de la température de l'eau	8
2.1.2 évolution longitudinale de la température de l'eau	9
2.1.3 évolution verticale de la température de l'eau	9
2.2 Suivi de l'oxygène dissous	10
2.3 Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau	12
2.4 Suivi de la qualité des sédiments	16
2.5 Suivi du phytoplancton et des cyanobactéries	17
2.6 Suivi des macrophytes	19
2.7 Inventaires piscicoles	23
3. Discussion	23
4. Conclusion	28
5. Perspectives	30
Bibliographie	31
Annexes	32

Table des figures

Figure 1 : Localisation supposée des mortalités en 2015 et 2016	4
Figure 2: Débit du canal de décharge de l'III à Krafft entre 2015 et 2017.....	6
Figure 3: Débit du canal d'alimentation de l'III à la Thumenau entre 2015 et 2017	7
Figure 4: Localisation des sondes thermiques	8
Figure 5: Localisation des points de mesures d'oxygène	11
Figure 6: Localisation des points d'analyses d'eau.....	12
Figure 7: évolution du pH.....	14
Figure 8: Evolution des matières en suspension	14
Figure 9: évolution des concentrations en nitrites	15
Figure 10: Evolution des concentrations en nitrates	15
Figure 11: Evolution des concentrations en chlorophylle A et phéopigments	16
Figure 12: Tableau de synthèse des analyses de sédiments.....	16
Figure 13: Localisation des points de prélèvement de sédiments.....	17
Figure 14: Localisation des points de prélèvement planctonique	18
Figure 15: Evolution de la concentration en phytoplancton.....	19
Figure 16: Evolution de la concentration en cyanobactéries.....	19
Figure 17: Cartographie des cortèges floristiques du plan d'eau de Plobsheim.....	21
Figure 18: Comparaison graphique des relevés floristiques réalisés par l'Unistra en 2014 et la FDP en 2016.....	22
Figure 19: Répartition relative par espèce des captures réalisées lors des pêches électriques de juillet 2017.....	24
Figure 20: Localisation de la zone sensible du plan d'eau de Plobsheim.....	25

Etude visant à déterminer les causes des mortalités piscicoles du plan d'eau de compensation de Plobsheim

Résultats de la campagne 2017

Rappel du contexte de l'étude

Mis en eau en 1970 pour des besoins de régulation hydraulique, le bassin de compensation de Plobsheim joue un rôle dans la maîtrise des niveaux du Rhin et de l'Ill en amont de Strasbourg. Dès la fin des années 80, les efforts de dépollution des pays riverains du fleuve commencent à porter leurs fruits. La qualité s'améliore et les eaux s'éclaircissent. Les plantes aquatiques trouvent dans ce plan d'eau peu profond des conditions idéales pour se développer. Elles deviennent le catalyseur d'une dynamique naturelle. Les poissons, les oiseaux colonisent en nombre ce nouvel écosystème. L'intérêt écologique de l'écosystème formé par cet ouvrage artificiel devient si fort qu'en 1998, un arrêté de protection de biotope apporte un statut de site remarquable. Dans un environnement rhénan qui ne cesse de se dégrader, Plobsheim devient une exception où le nombre d'oiseaux et de poissons, menacés ailleurs, ne cesse d'augmenter.

Pour autant, l'équilibre y est fragile. Le 28 août 2016, une mortalité de poissons sans précédent a débuté sur le plan d'eau de Plobsheim. Des milliers de juvéniles de brochet, tanche et perche pour l'essentiel, ont été observés morts ou agonisants pendant près d'une semaine après le déclenchement du phénomène. Bien qu'il n'ait pas été possible de dénombrer les cadavres, on estime une mortalité de l'ordre de plusieurs tonnes de poisson. Les observations faites sur le terrain durant cette période ont permis de constater que le phénomène était localisé entre la base nautique de l'UNAP au nord et le Rhinland au sud. Plus encore, la plupart des cadavres provenaient de zones densément végétalisées avec une prédominance des Characidés. Ces observations laissent à penser que le phénomène de mortalité pourrait être due à une situation anoxique liées à la respiration des végétaux dans leur ensemble.

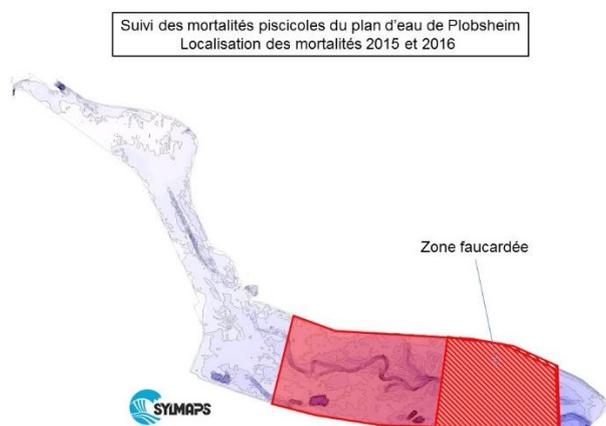


Figure 1 : Localisation supposée des mortalités en 2015 et 2016

En 2015, un premier phénomène de mortalité piscicole, de moindre ampleur qu'en 2016, avait déjà été observé. Le biotope du plan d'eau de Plobsheim est très fragile. La moindre intervention peut engendrer des perturbations importantes sur l'équilibre de cet écosystème. C'est ce qui a été démontré lors des deux derniers étés.

Ces mortalités piscicoles estivales traduisent un dysfonctionnement du milieu. L'étude qui suit vise à comprendre et apprécier les phénomènes qui ont mené à un tel déséquilibre.

Rappel des objectifs de l'étude

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

Concernant les causes, un certain nombre d'hypothèses peuvent être émises, et notamment :

- Anoxie nocturne des zones fortement végétalisées où sont théoriquement présentes les espèces touchées par les mortalités
- Evolution du peuplement de macrophytes, accentuant les variations nyctémérales des taux d'oxygène notamment
- Inflorescence de cyanobactéries causant anoxie et libération de cyanotoxines
- Relargage par le sédiment de substances toxiques suite à désoxygénation
- Désoxygénation des couches benthiques, notamment peu renouvelées,
- 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 cette étude vise 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'ichtyofaune et sa relation avec les habitats présents

1. Contexte de l'année 2017

1.1 Conditions météorologiques

Annexe 1 : Relevés météorologiques de Strasbourg en 2016 et 2017

Dans l'environnement du plan d'eau de Plobsheim, l'année 2017 a été marquée par un hiver froid et sec. Le printemps doux et sec s'est terminé par un épisode caniculaire. Il s'est prolongé jusqu'au début de l'été. La seconde partie de l'été a été plus maussade. L'automne s'est prolongé dans la grisaille.

En comparaison à 2016, marquée par un printemps pluvieux (382 contre 151mm à Strasbourg en 2017), 2017 s'est caractérisé par son ensoleillement (738h contre 462 en 2016). A partir de mi-juillet, la météo plus nuageuse a réduit l'ensoleillement (554 contre 725h). Pour mémoire en 2016, la canicule avait culminé fin août.

1.2 Débits des cours d'eau

Cette année peu pluvieuse a été marquée par des niveaux d'eau très bas du printemps à l'automne.

Le canal de décharge de l'III n'est pas venu alimenter le plan d'eau de Plobsheim au-delà de son débit sanitaire d'avril à novembre. En 2015 et 2016, en revanche, les décharges ont été plus régulières au printemps.

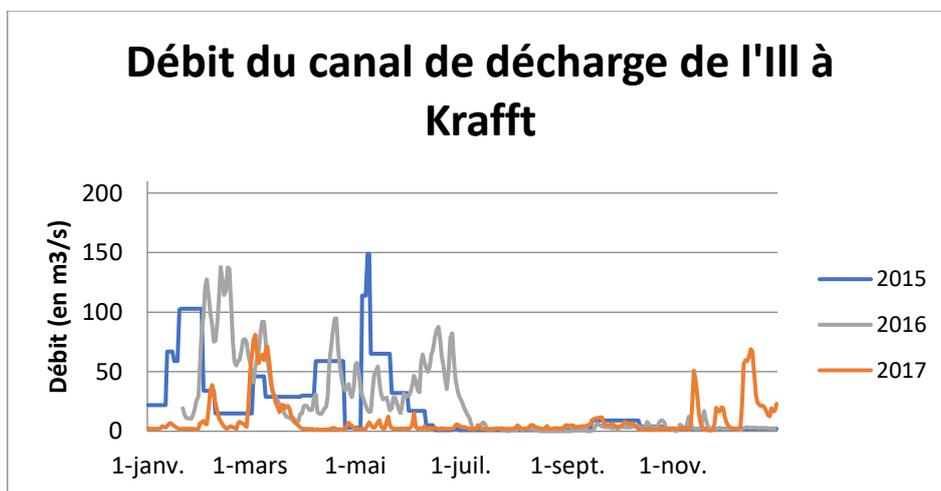


Figure 2: Débit du canal de décharge de l'III à Krafft entre 2015 et 2017

Pour compenser le faible débit de l'III, l'ouvrage de la Thumenau a vu défiler 25 m²/s durant toute la belle saison. On peut donc estimer que plus de 20 m²/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.

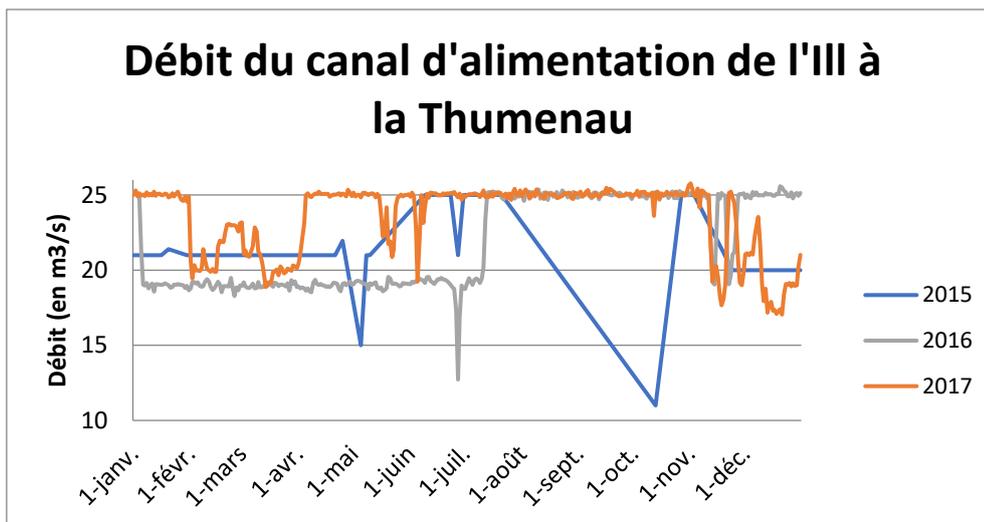


Figure 3: Débit du canal d'alimentation de l'III à la Thumenau entre 2015 et 2017

1.3 Facteurs externes

En 2017, l'UNAP a pas réussi à obtenir à temps les autorisations nécessaires à une opération de faucardage. Par conséquent, aucune opération de faucardage n'a eu lieu sur le plan d'eau de Plobsheim en 2017, contrairement aux deux années précédentes.

1.4 Mortalité de poisson

Annexe 2 : Mortalité pisciaire sur le plan d'eau de Plobsheim du 28 /06/2017

Cette année encore a été marquée par un épisode de mortalité de poisson. Le phénomène s'est déroulé entre le 20 et le 27 juin. Seuls les juvéniles de brochet mesurant de 7 à 12 cm ont été touchés dans des proportions estimées faibles.

2. Résultats

2.1 Suivi en continu de la température de l'eau

La mesure de la température est réalisée à l'aide de sondes thermiques Prosensor UA001 disposées à 1m sous la surface et à 1m du fond. Dans le cas de points de mesure où la profondeur est inférieure à 4m, seule la mesure de surface sera réalisée.

Les sondes thermiques ont été disposées de mars à octobre sur 6 points du plan d'eau et dans les 2 cours d'eau alimentant le plan d'eau, soit **12** sondes au total.

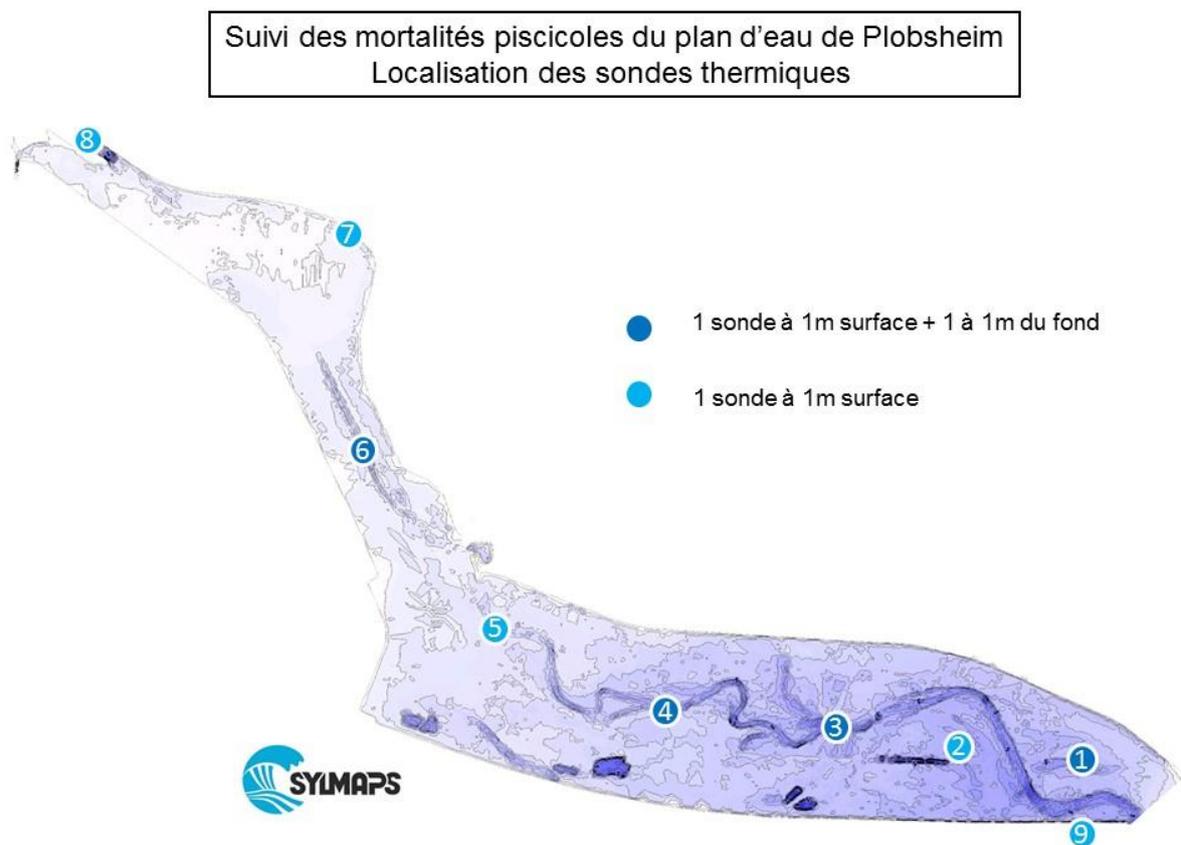


Figure 4: Localisation des sondes thermiques

2.1.1 Evolution temporelle de la température de l'eau

Annexe 3 : Evolution temporelle de la température du plan d'eau de Plobsheim sous la surface entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Entre début juin et fin août, la température minimale de l'eau à 1m sous la surface a été de 18.7°C. Elle a été enregistrée le 11 juin à 5h45 sur la station 1. La température maximale de 28.5°C a été atteinte le 21 juin à 16h sur la station 6.

L'amplitude thermique journalière maximale a été atteinte le 11 juin sur la station 6. Entre le matin et la fin d'après-midi l'eau est passée de 21.95 à 25.8°C, soit une amplitude de 4.05°C.

Entre début juin à fin août, la température a excédé 20°C en surface 88 jours. Durant 7 jours, entre le 21 et le 28 juin, à 1m de profondeur, l'eau a dépassé les 25°C. Cette température a à nouveau été atteinte entre le 5 et le 10, puis le 18 et le 23 juillet.

2.1.2 évolution longitudinale de la température de l'eau

Annexe 4 : Evolution longitudinale de la température du plan d'eau de Plobsheim sous la surface entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 5 : Evolution de la température du plan d'eau de Plobsheim à 1m sous la surface et 1m du fond entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

La superposition des courbes de température prises à 1m sous la surface sur les stations 1, 3 et 6 met en évidence :

- Un réchauffement de l'eau dans le sens nord-sud, correspondant à l'écoulement du plan d'eau durant cette période
- Des eaux globalement plus fraîches (1.3°C en moyenne entre la station 1 et la station 6 sur la période) et une plus grande inertie thermique de la station 1 (1.2°C de variation journalière moyenne contre 1.92 pour la station 6)
- Un réchauffement de l'eau et une amplitude thermique marquée de la station 6

La superposition des courbes de température prises à 1m au dessus du fond sur les stations 1, 3 et 4 met en évidence :

- Un réchauffement de l'eau dans le sens nord-sud, correspondant à l'écoulement du plan d'eau durant cette période (0.6°C en moyenne sur la période entre les station 1 et 4)
- Une variation maximale de 2.4°C entre les station 1 et 4 atteinte le 30 juillet

2.1.3 évolution verticale de la température de l'eau

Annexe 6 : Evolution de la température à 1m sous la surface et 1m du fond sur la station 3 entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 7 : Profils thermiques des stations

La variation verticale a été mesurée en continu sur la station n°3. En moyenne, les températures relevées à 1m et 4m de fond varient de 0.53°C. L'écart maximal de 2.62°C a été enregistrée le 23 juin à 12h30.

Les profils thermiques réalisés ponctuellement sur les stations (dont A, B et C atteignant 9m de profondeur) ne mettent pas non plus en évidence de stratification thermique entre début juin et septembre. En moyenne, la variation entre la surface et le fond a été inférieure à 1°C. Elle a atteint 2.4°C le 31 juillet sur la station A.

2.2 Suivi de l'oxygène dissous

Annexe 8 : Evolution de la concentration l'oxygène dissous mesurée en continu

Annexe 9 : Evolution verticale de la concentration en oxygène dissous

Annexe 10 : Evolution verticale de la saturation en oxygène dissous

Afin d'apprécier les variations de teneur en oxygène dissous du plan d'eau de Plobsheim, 4 sondes à oxygènes Hobo U26 Prosensor ont été mises en place durant la période estivale du 23 juin au 18 octobre.

Deux ont été placées sur la station centrale n°3. L'objectif de ces sondes, placées respectivement à 1m de la surface et 1 m du fond, a été de suivre les variations d'oxygène liées d'une part à la production primaire (activité planctonique) et d'autre part à l'activité de dégradation de la matière organique. Les deux autres sondes (station 2 et 4Est) ont eu pour objectif de suivre les variations d'oxygène dans les zones de vie caractéristiques des juvéniles des espèces phytophiles morts en masse en 2015 et 2016. Elles ont été mises en place sur un plateau de 2 à 3 m de profondeur, densément colonisé par les végétaux. L'une a été placée sur la station n°2, avec une prédominance de potamots à grandes feuilles. L'autre est placée plus au sud sur la station n°4Est, colonisée par les Characidés.

Afin de compléter ces mesures constantes mais localisées, il a été procédé à des mesures verticales de la surface jusqu'au fond, de la température, de la teneur et de la saturation en oxygène dissous. Afin d'obtenir une bonne représentation des variations verticales, ces mesures ont été réalisées tous les 50 cm avec une sonde multi-paramètres. Pour obtenir une bonne représentation spatiale, ces mesures ont été réalisées sur l'ensemble des points de prélèvement d'analyse d'eau et de sédiment. Enfin, pour obtenir une bonne représentation temporelle, ces mesures ont été réalisées lors de chaque campagne de prélèvement d'eau (1 par mois de juin à septembre) et à une heure comparable après lever du jour (et donc du début de l'activité de photosynthèse).

En période estivale, il est probable que les zones peu brassées, en particulier les fosses déconnectées, soient le foyer de désoxygénation. Comme pour les mesures verticales sur stations de prélèvement, les mesures ont été réalisées tous les 50 cm avec une sonde multi-paramètres. Ces mesures ont été réalisées 1 fois par mois entre juin et septembre et à une heure précise après lever du jour (et donc du début de l'activité de photosynthèse). Elles ont été réalisées au point le plus profond de chacune des fosses déconnectées du plan d'eau.

Les herbiers et notamment les massifs de Characidés, constituant également des zones à faible brassage, des mesures y ont également été réalisées pour permettre d'apprécier l'évolution verticale de l'oxygène au sein de ces massifs.

Suivi des mortalités piscicoles du plan d'eau de Plobsheim
Localisation des mesures d'oxygène

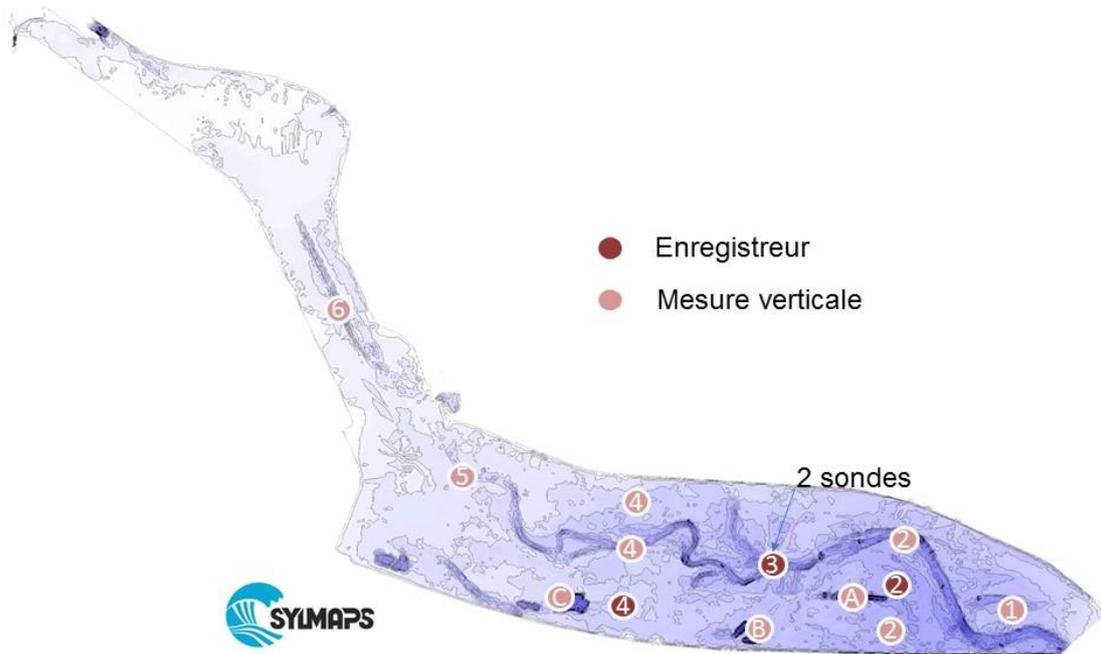


Figure 5: Localisation des points de mesures d'oxygène

La superposition des courbes de concentrations d'oxygène dissous mesurées en continu à 1m sous la surface met en évidence :

- Une concentration d'oxygène globalement adaptée à la vie aquatique
- Une période critique, où la concentration a évolué en deçà de 5 mg/L. Cet épisode de désoxygénation a duré 4 jours entre le 10 et le 13 août sur la station 3 avec un creux à 1,95 mg/L le 11 août à 7H12. Dans le même temps, sans pour autant atteindre le seuil critique, les stations 3Fond et 4 ont également enregistré une baisse d'oxygène.
- Une constance des concentrations sur la station 2 autour de 8mg/L durant l'ensemble de la période
- Des variations nyctémérales très marquées sur la station 4Est, notamment entre le 4 et le 10 juillet. Le 6 juillet, ces teneurs ont évolué de 6.1 et 23.45 mg/L.

Les mesures ponctuelles réalisées les 23 juin, 18 et 31 juillet, 29 août et 28 septembre sur l'ensemble de la couche d'eau mettent en évidence :

- Une désoxygénation marquée (<1mg/L) de la couche benthique de la station 4Est à partir du 31 juillet. Notons que la couche de Characidés caractéristique de la station représentait environ 30cm en juin. Dès fin juillet, on en retrouvait près de 1m.
- Une légère désoxygénation de la couche benthique de la station 1 les 23 juin (2,3 mg/L) et 18 juillet (5,7 mg/L)

- Une constante significative de la teneur en oxygène (autour de 8mg/L) sur toutes la couches d'eau sur d'autres stations quel que soit la date.

2.3 Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau

Annexes 11 à 19 : résultats des analyses d'eau des stations 0 à 7

Afin d'appréhender au mieux les évolutions estivales du biotope du plan d'eau, les analyses physico-chimiques de l'eau intègrent les évolutions temporelles et longitudinales du milieu.

C'est pourquoi, 4 campagnes d'analyses ont été réalisées durant l'été, en juin, juillet, août et septembre. L'absence de stratification thermique et le caractère singulier de ce plan d'eau, plus proche dans son fonctionnement en réalité d'une annexe hydraulique que d'un plan d'eau, amène à devoir adapter les protocoles habituellement utilisés pour les investigations en écosystème lacustre. Ainsi les 6 stations de prélèvement sont positionnées à proximité de l'axe médian constitué par le chenal. Par leur positionnement, elles tendent à être caractéristiques de l'évolution longitudinale de la partie principale du plan d'eau.

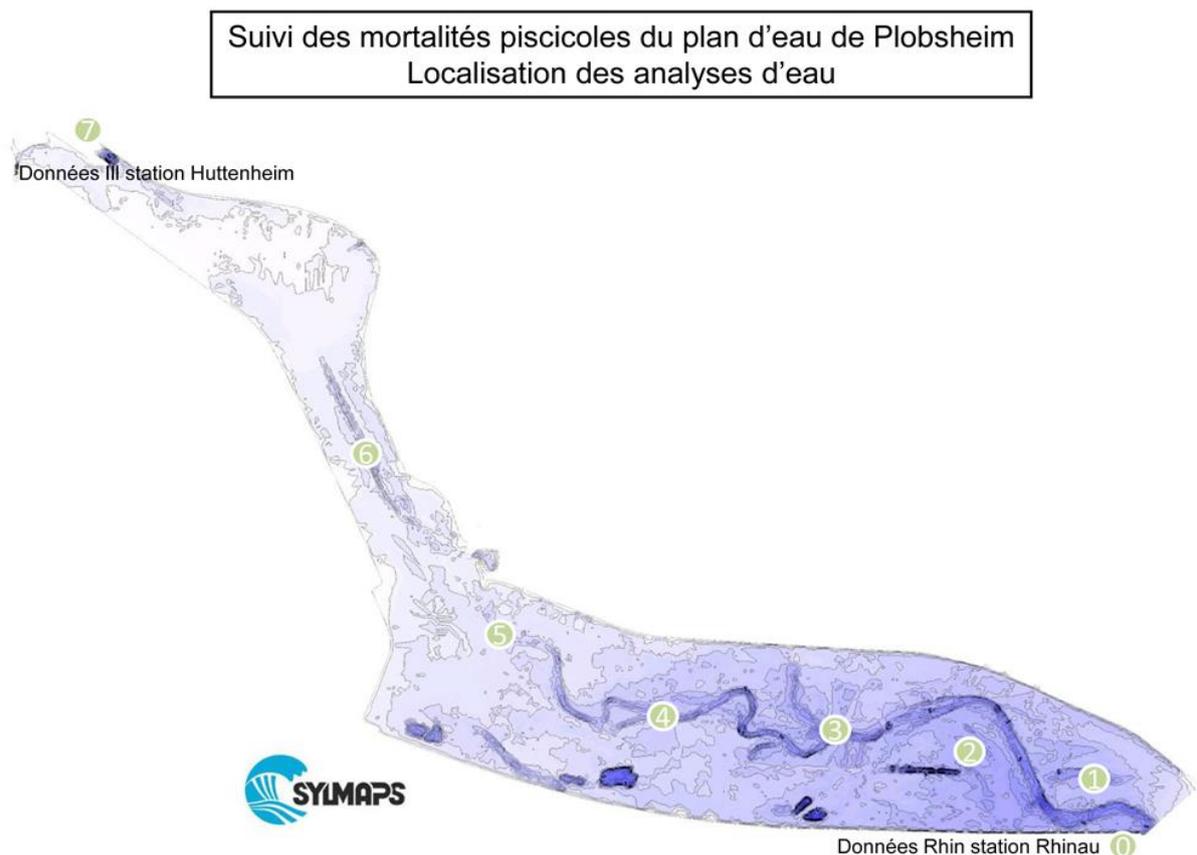


Figure 6: Localisation des points d'analyses d'eau

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 :

- Transparence, évaluée au moyen d'un disque de Secchi
- Température de l'air et de l'eau
- Oxygène dissous et pourcentage de saturation
- Ph et 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 4 points à profondeur distincte. Les prélèvements sont mélangés dans un sceau, puis 1 litre est prélevé en flaconnage en plastique neuf, conservé dans une glacière contenant des pains de glace puis apporté dès la fin des prélèvements au laboratoire Eurofins de Saverne (67) pour analyses.

Les paramètres mesurés ont été sélectionnés pour leur aptitude à mettre en évidence les fonctions biochimiques de dégradation de la matière organique et d'assimilation des nutriments.

Ces prélèvements d'eau intégrés ont été réalisés sur les stations 1 à 6 les 8 juin, 18 juillet, 17 et 29 août et 28 septembre, puis analysés en laboratoire. Pour compléter ce jeu de données, ont été relevés les résultats d'analyses d'eau réalisés sur le Rhin à Rhinau et l'III à Kogenheim les 19 juin, 24 juillet, 16 août et 14 septembre.

Globalement la majeure partie des paramètres analysés ont été présents dans des concentrations inférieures aux seuils de détection. Lorsqu'ils évoluent dans des proportions mesurables, ils reflètent généralement une très bonne qualité d'eau.

Cependant quelques variations sont notables.

- **Ph**

Le plan d'eau de Plobsheim dispose d'une eau basique avec des valeurs comprises en fonction des lieux et du moment entre 7.7 et 8.7.

L'augmentation longitudinale du pH (du nord au sud) est liée à l'activité photosynthétique. En effet, outre le courant évoluant vers le sud, le point 1 était en général échantillonné vers 8h du matin et le point 6 plus en milieu de journée vers 13h.

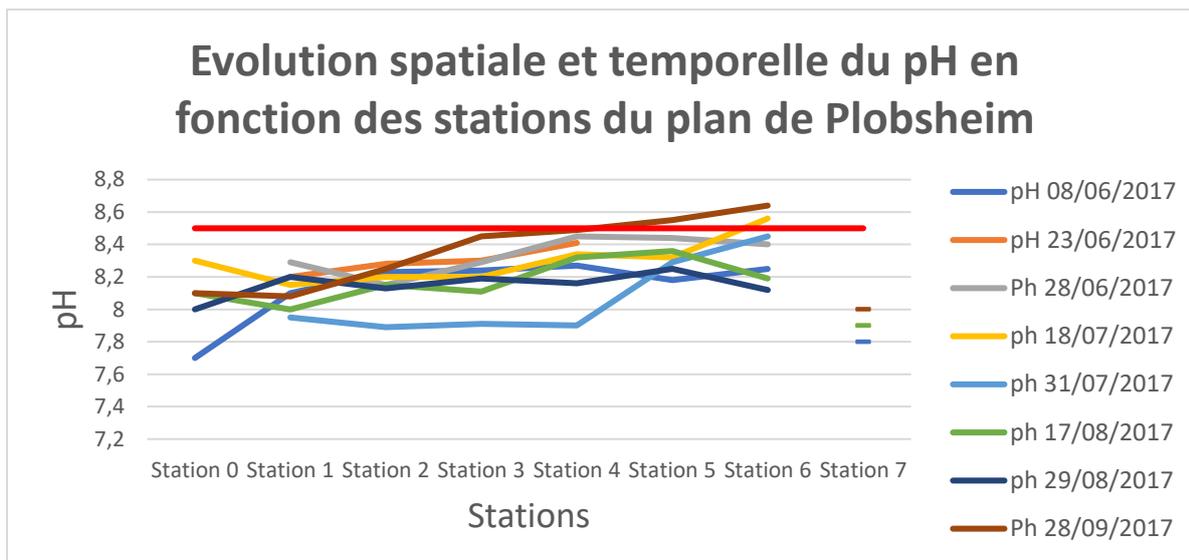


Figure 7: évolution du pH

- Matières en suspension

L'évolution des MES met en évidence une teneur importante sur les stations 5 et 6 et à moindre mesure sur la station 1.

Sur la station 1, la plus proche du Rhin, cette augmentation s'explique facilement avec l'alimentation par les eaux du fleuve, généralement chargées en MES.

Quant aux stations 5 et 6, les observations faites sur le terrain lors des campagnes de prélèvements ont permis d'observer de visu ou par l'intermédiaire du sondeur, la présence significative de poissons fouilleurs (brème et tanche) sur cette zone du plan d'eau.

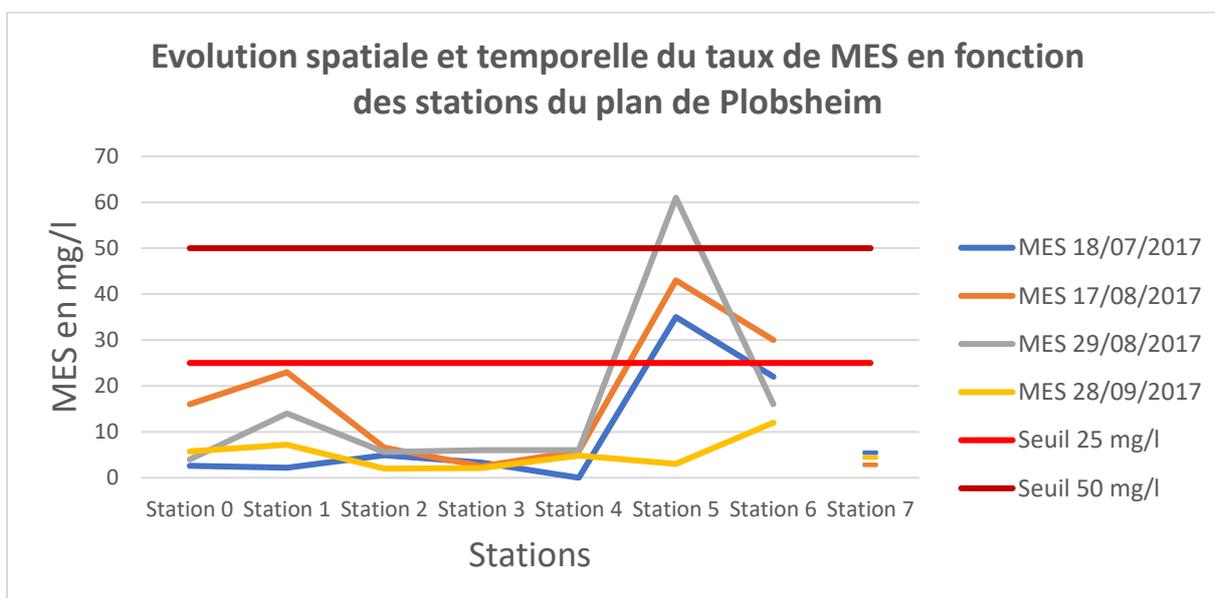


Figure 8: Evolution des matières en suspension

- Nitrites (NO₂-)

Les teneurs en nitrites sont supérieures au seuil de très bonne qualité (0.03 mg/L) dans le Rhin (station 0) et dans l'III (station 7).

Notons aussi que cette teneur diminue significativement avec le temps de juin à septembre. Elle diminue aussi du nord au sud du plan d'eau, mettant en évidence le caractère auto-épurateur de cette masse d'eau.

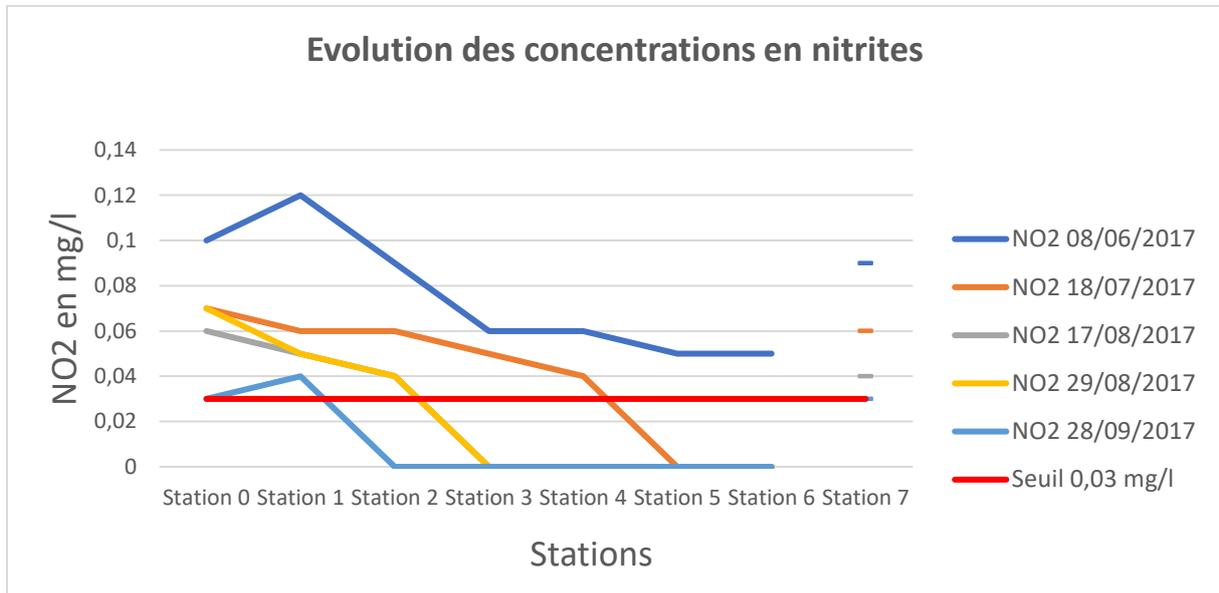


Figure 9: évolution des concentrations en nitrites

- Nitrates (NO3-)

Les nitrates sont présents dans de faibles proportions dans le Rhin et le plan d'eau de Plobsheim. Notons cependant, qu'ils sont présents dans une plus forte proportion dans l'Ill (station 7).

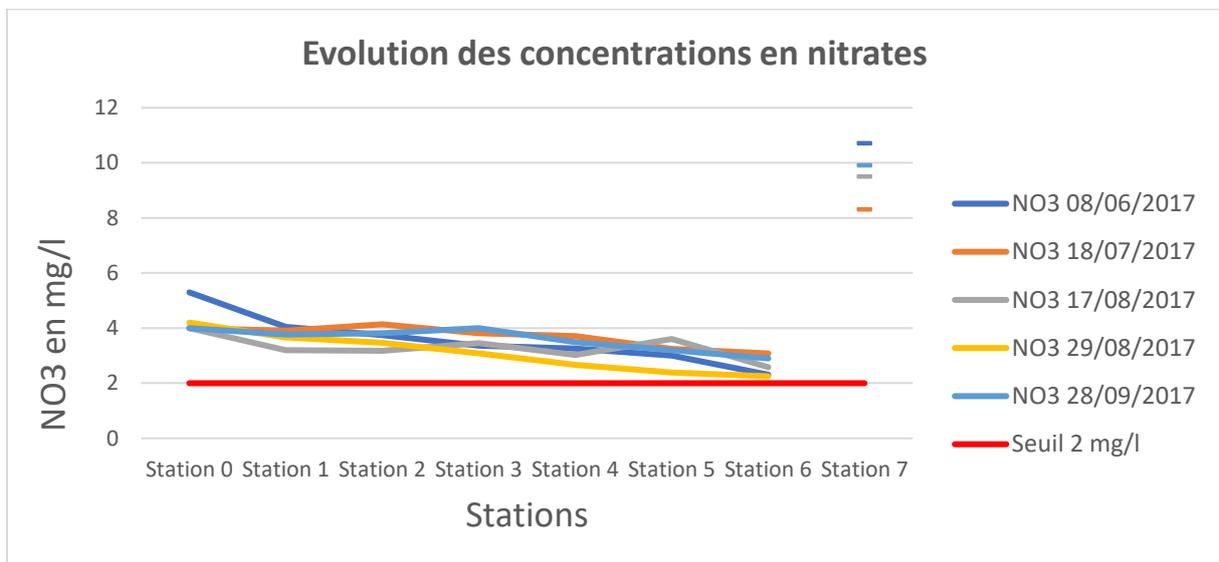


Figure 10: Evolution des concentrations en nitrates

- Chlorophylle A et phéopigments

Révéléateurs de l'activité photosynthétique, la Chlorophylle A et les phéopigments ont connu une augmentation significative sur les stations 5 et 6 les plus au sud le 18 juillet et le 29 août.

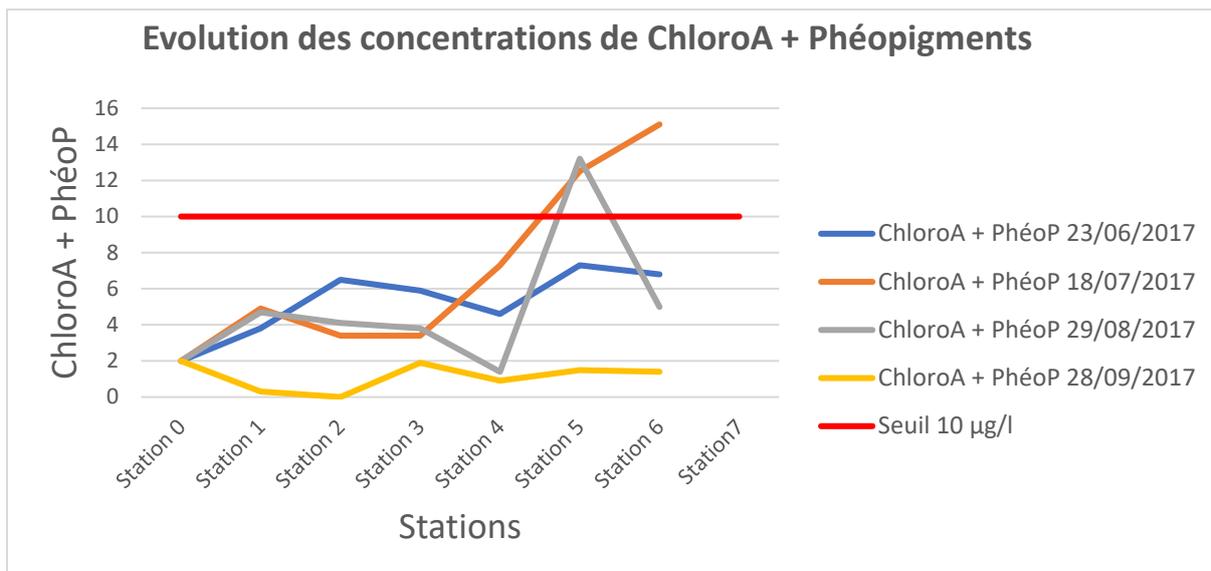


Figure 11: évolution des concentrations en chlorophylle A et phéopigments

2.4 Suivi de la qualité des sédiments

Annexe 20 : Rapport d'analyses des sédiments

Les prélèvements ont eu lieu une fois dans l'année en automne sur les 6 stations. Ils ont été réalisés à l'aide d'une benne d'Eckmann dans la couche biologiquement active. Les sédiments sont placés dans un flacon d'1 litre sans bulle d'air et fermé hermétiquement, conservés selon les règles d'assurance qualité, et envoyés dans les plus brefs délais en laboratoire agréé.

Les mesures des paramètres suivants y sont réalisées dans la phase solide du sédiment : matière sèche, matières minérales, matières organiques, Azote et Phosphore total et principaux micro-polluants.

Les sédiments ont été prélevés le 18 octobre. Sur la station 3 aucun prélèvement n'a pu être réalisé en raison de la nature du sédiment présent sur cette station : du gravier grossier dépourvu de dépôt sédimentaire fin.

	Station 1	Station 2	Station 4	Station 5	Station 6
Matière Sèche (en %PB)	29,4	30,5	31,3	27,4	26,7
Matière organique (en %MS)	9,2	8,3	9,8	13,6	14,3
Azote totale (g/kg)	4,46	3,78	4,11	5,05	5,53
Phosphore (g/kg)	0,784	0,627	0,679	1,02	0,885
Arsenic (mg/kg)	6,55	6,27	10,8	12,7	12,6
Mercure (mg/kg)	0,19	0,34	1,07	1,25	1,16
PCB (mg/kg)	<0,0012	0,0033	<0,0012	<0,0012	<0,0012

Figure 12: tableau de synthèse des analyses de sédiments

Suivi des mortalités piscicoles du plan d'eau de Plobsheim
Localisation des analyses de sédiment

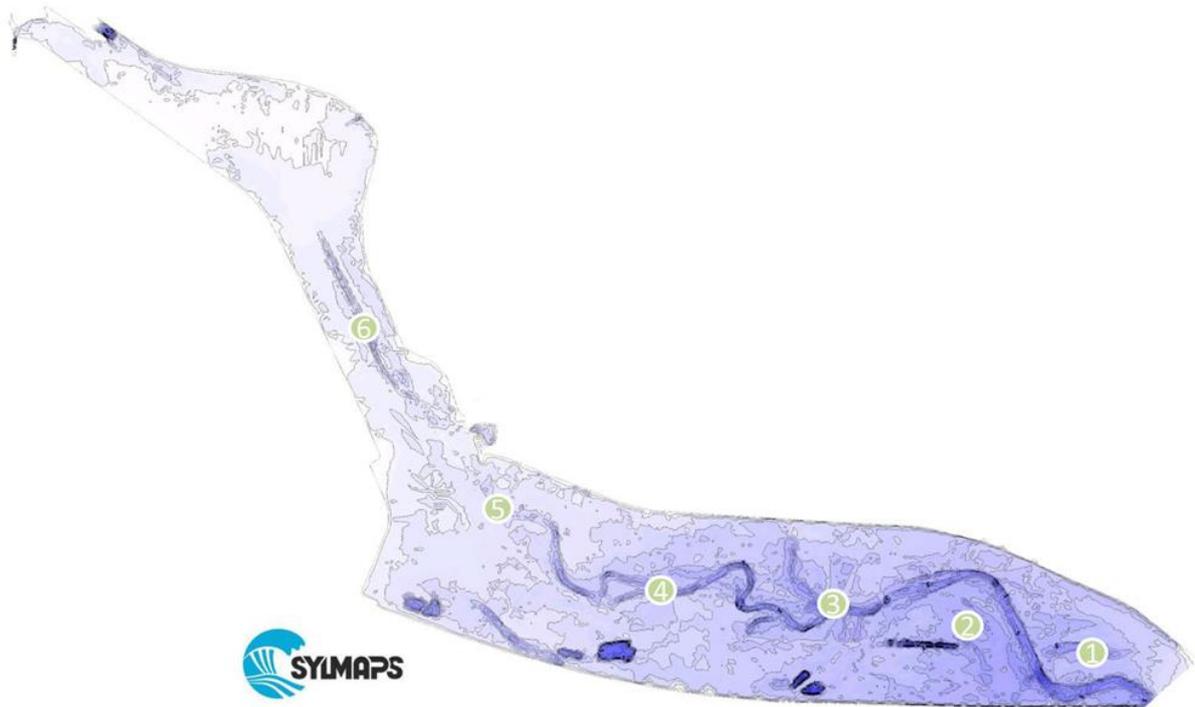


Figure 13: Localisation des points de prélèvement de sédiments

Cette analyse met en évidence :

- Une bonne minéralisation globale de la vase avec une proportion faible de matière organique dans les matières sèches
- Une excellente minéralisation des sédiments de la station 2
- Une sédimentation et une présence d'éléments nutritifs et polluants marquée sur les stations 5 et 6
- Une proportion équilibrée entre azote et phosphore
- L'apport d'éléments nutritifs par le sud (Ill) et dans une moindre mesure par le nord (Rhin)
- L'apport de métaux lourds par l'Ill

2.5 Suivi du phytoplancton et des cyanobactéries

Annexe 21 : Rapport d'analyses des prélèvements phytoplanctoniques

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 deux stations lors de journées ensoleillées et peu venteuses. La première se situe au niveau de la station n°3, dans une fosse centrale au cœur des zones de mortalités. La seconde se situe au niveau de la station n°5, dans une zone peu profonde (2m) en partie médiane du plan d'eau.

Un litre d'eau brute est prélevé recueilli à l'aide d'une bouteille de prélèvement type Van Horn dans 1 m 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).

Suivi des mortalités piscicoles du plan d'eau de Plobsheim
Localisation des recherches de cyanobactéries

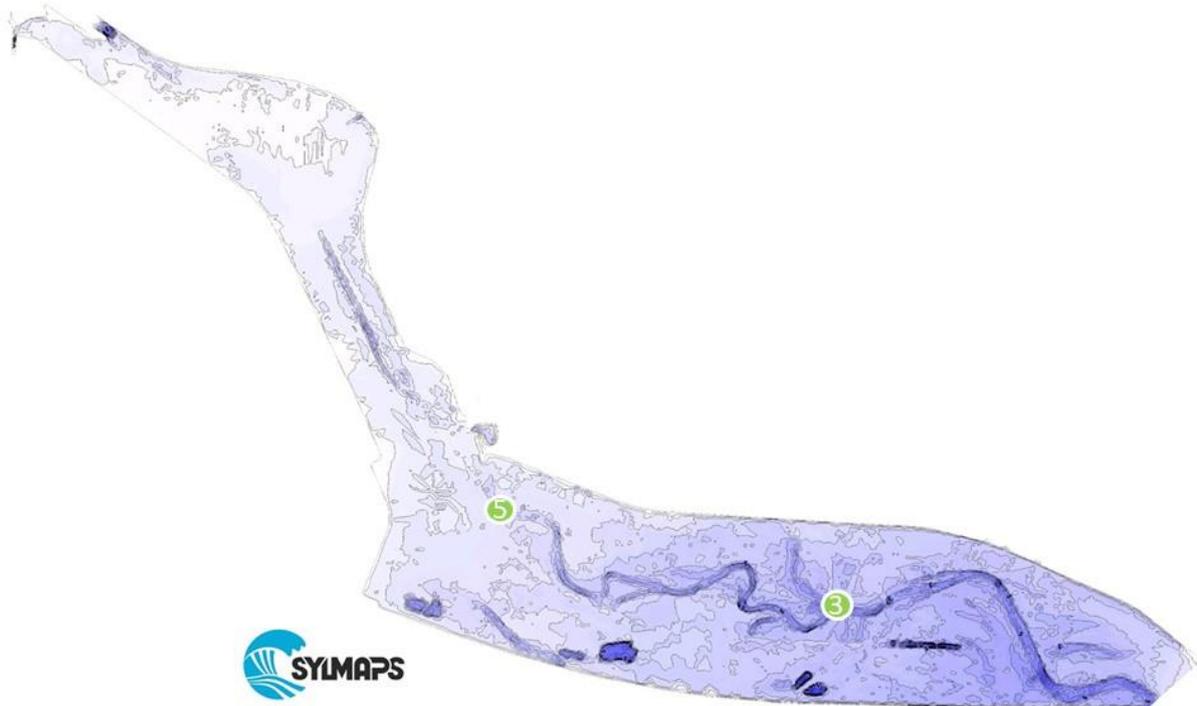


Figure 14: Localisation des points de prélèvement planctonique

Les prélèvements d'eau ont été réalisés sur les stations 3 et 5 les 8, 23 et 28 juin, 18 et 31 juillet, 17 et 29 août et 28 septembre. Une détermination et le dénombrement en laboratoire des cyanobactéries ont été réalisés à la suite. La fixation des échantillons des 17 et 29 août s'est révélée défailante si bien qu'aucun dénombrement n'a été possible sur ces échantillons.

La concentration globale en phytoplancton évolue autour du seuil de bon état (2500 cell/mL). Notons un développement marqué début juin et globalement plus important sur la station 5. La station 3 présente tout de même deux phases de développement en juin puis fin juillet.

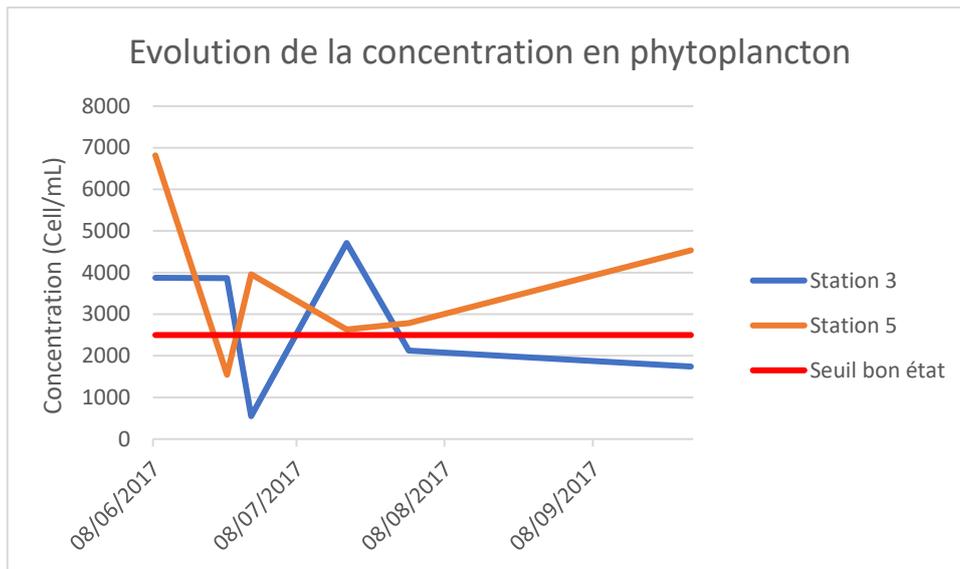


Figure 15: Evolution de la concentration en phytoplancton

Concernant les cyanobactéries, les concentrations évoluent bien en deçà des seuils sanitaires (20000 cell/mL). Cependant à la faveur de la canicule de fin juin, deux pics ont été enregistrés : un premier le 23 juin de faible ampleur (1615 cell/mL) sur la station 3 produit par *Aphanothece sp.*, le second le 28 juin plus marqué (3480 cell/mL) sur la station 5 regroupant *Chroococcale*, *Pseudanabaena sp.*, *Planktothrix sp.*

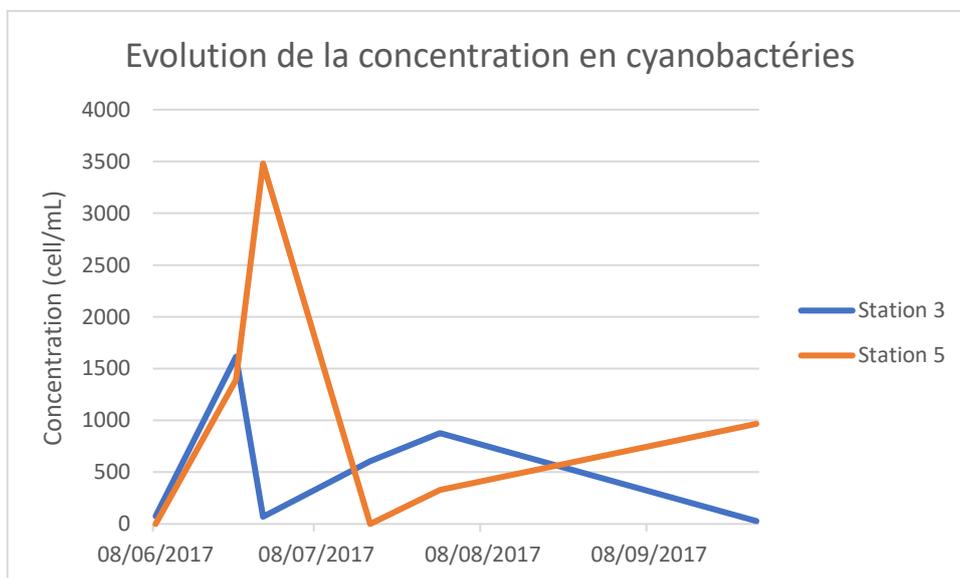


Figure 16: Evolution de la concentration en cyanobactéries

2.6 Suivi des macrophytes

Le plan d'eau de Plobsheim abrite une faune et une flore aquatique diversifiée. Chaque espèce a un rôle majeur à jouer dans le fonctionnement et le maintien de cet écosystème aquatique.

La « biodiversité » en tant que tel permet à cet écosystème d'acquérir une résistance et une résilience importantes vis-à-vis de la disparition des espèces pouvant être entraînées par certaines activités anthropiques. Parmi cette biodiversité, le compartiment végétal représentée par les macrophytes.

Les macrophytes du plan d'eau de Plobsheim ne constituent pas un groupe d'espèces emblématiques comme peuvent l'être les oiseaux (#LPO) ou les poissons (#FDP67) en raison de leur présence « passive » et « dissimulée » sous l'eau et de la sensibilité des usagers du plan d'eau. Leur importance et leurs rôles ont donc tendance à être minimisés voir même considéré comme envahissant par certains des différents usagers de la base nautique de Plobsheim.

Ce sont cependant un groupe d'organismes clés dans le fonctionnement et le maintien de cet écosystème, qui assurent la survie, le maintien et le développement de nombreuses espèces emblématiques tels que le brochet, la tanche ou les anatisés. Les végétaux aquatiques sont donc garants du maintien de la biodiversité.

Les végétaux aquatiques sont à la base de nombreuses relations inter- et intra-spécifiques au sein des écosystèmes aquatiques et assurent de nombreux rôles :

- Assure la production d'oxygène en phase diurne grâce à l'activité photo-oxygénique.
- Sert de base d'alimentation et de support d'alimentation pour les poissons et autres organismes aquatiques.
- Constitue des caches/abris pour s'extraire des prédateurs, du soleil ou bien encore du courant.
- Protège contre l'érosion des berges, notamment en atténuant le batillage ou les remous.
- Exerce une autoépuration naturelle du milieu, de par leur rôle de bio accumulateur notamment en utilisant les sels minéraux tels que les nitrates et phosphates ou métaux lourds pour se développer.

Durant la fin de l'été 2016, une caractérisation des habitats a été réalisée. Ont été utilisés pour ces relevés, une embarcation motorisée, d'un combiné sondeur/GPS à balayage latéral Humminbird Onix 10 SI couplé au logiciel de cartographie Autochart, d'un râteau, d'un grappin et d'un aquascope. Les relevés ont été effectués par transects orienté Est-Ouest espacés de 100 m.

Les macrophytes ont fait l'objet d'un relevé pour leur valeur en temps qu'habitat piscicole. Ils ont été consignés par famille et par degré d'abondance. La nature des fonds nus (minéral ou organique) et le colmatage par les algues filamenteuses ont également été renseignés.

L'inventaire des végétaux aquatiques a été retranscrit sous une représentation graphique de la répartition des végétaux aquatique du plan d'eau. Le gradient de couleur correspond au potentiel biogène de chaque espèce inventoriée par rapport au peuplement piscicole. On remarque une prédominance de certaines espèces telles que les Characidées, élodées et algues filamenteuses. On peut également noter que la zone située en face de la base nautique ayant subi le faucardage en 2015 et 2016 correspond à la zone possédant la meilleure biodiversité végétale d'une part et d'autre part, les végétaux présents dans cette zone sont ceux qui représentent les habitats les plus biogènes pour les espèces piscicoles du plan d'eau. Il est donc d'un intérêt primordial d'essayer de conserver ces zones à forte biodiversité.

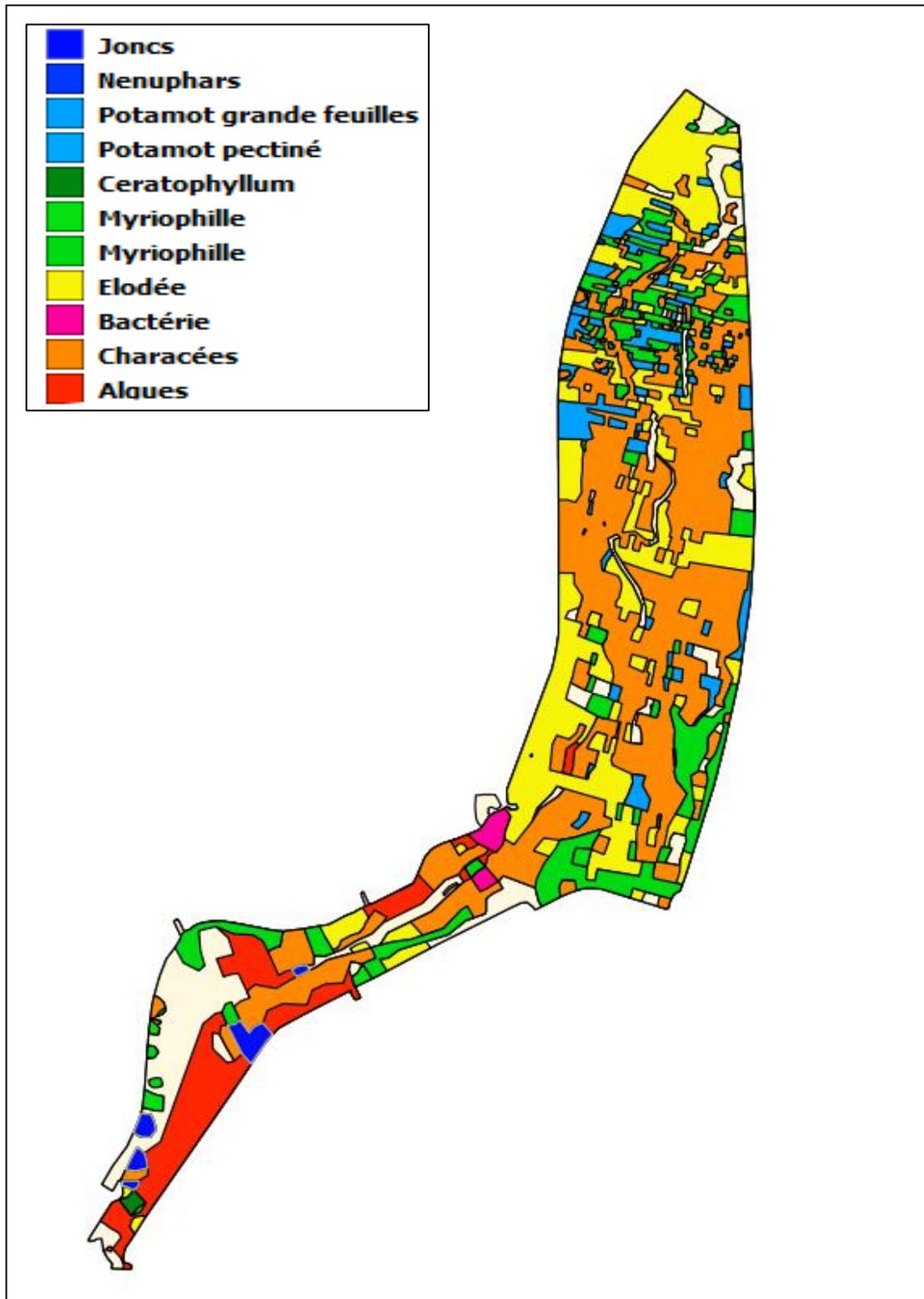


Figure 17: cartographie des cortèges floristiques du plan d'eau de Plobsheim

En 2014, l'université de Strasbourg avait réalisé une première cartographie de la végétation aquatique du plan d'eau de Plobsheim (Combroux, 2015). La végétation aquatique a été identifiée et cartographiée pendant 7 journées de terrain au cours des mois de juin 2014 pour la partie sud, non navigable du plan d'eau et septembre 2014 pour la partie navigable. Les relevés de végétations ont été réalisés à l'aide d'un zodiac et les espèces prélevées grâce à un grappin ou un râteau. Les patches d'herbiers ont été géo-localisés afin de réaliser une cartographie de la végétation. Ils ont été nommés au niveau des grands groupements (caractérisés par les espèces dominantes) puis classés en fonction des associations végétales et des classes phytosociologiques représentées. La nomenclature utilisée suit le Synopsis des groupements végétaux de Franche-Comté (Ferez *et al.* 2009).

En s'essayant à un comparatif des deux cartographies, on remarque que la répartition des végétaux apparaît différente, sans doute d'une part par rapport à l'échelle temporelle, mais également par un biais de la méthode d'échantillonnage. On remarque que la cartographie de la fédération montre un maillage plus précis des espèces végétales aquatiques par rapport à la cartographie proposée par l'université de Strasbourg. Cependant l'avantage établi par la cartographie de l'université Strasbourg est qu'elle répertorie une plus grande diversité de végétaux que l'on ne retrouve pas dans la cartographie de la fédération.

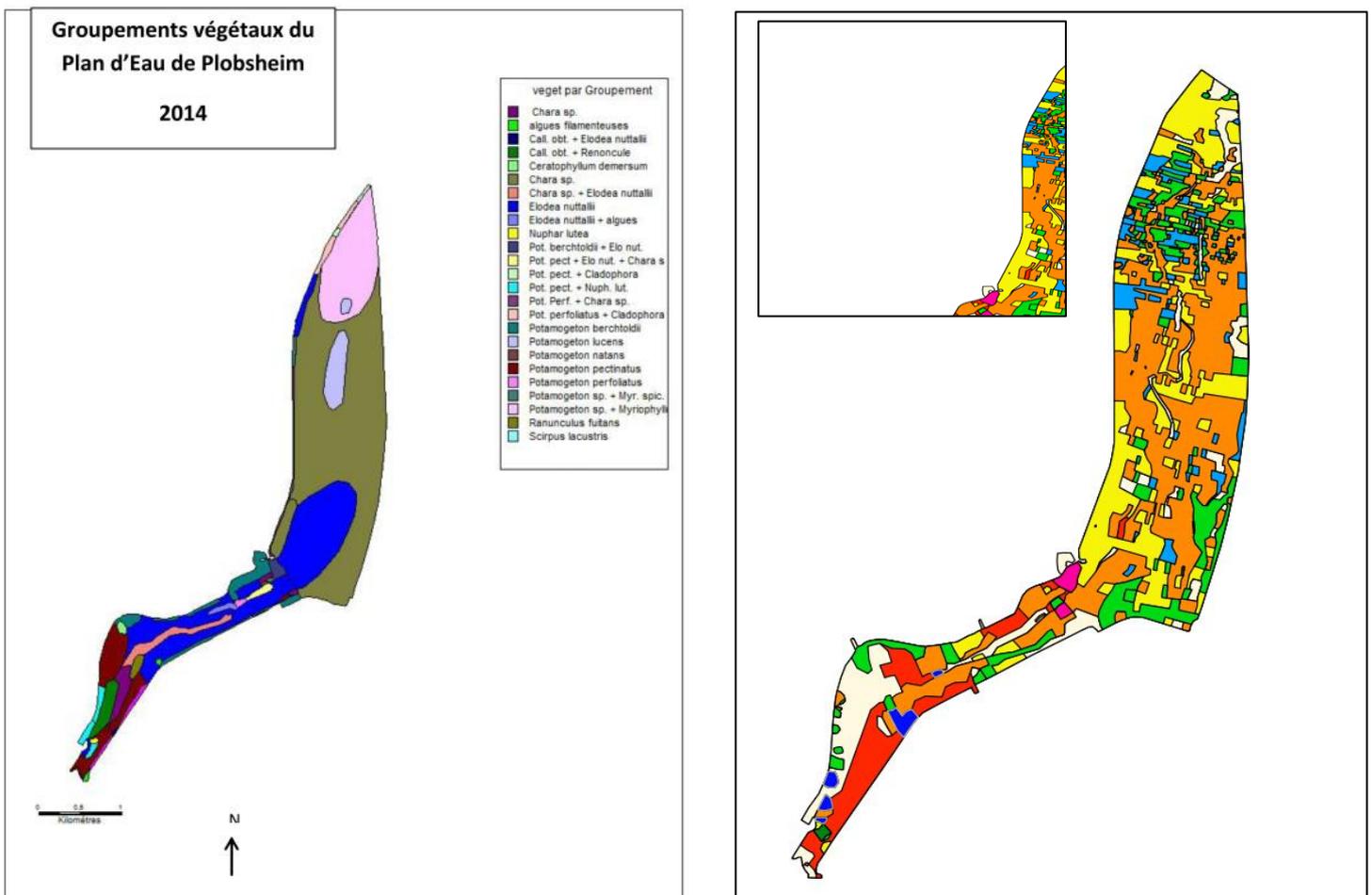


Figure 18: comparaison graphique des relevés floristiques réalisés par l'Unistra en 2014 et la FDP en 2016

2.7 Inventaires piscicoles

Annexe 21 : plan d'eau de Plobsheim, rapport d'étude piscicole 2017, Sage Environnement

3. Discussion

La faible teneur de l'eau et des sédiments en nutriments, la turbidité faible, la rareté du phytoplancton et l'abondance des macrophytes caractérisent le plan d'eau de Plobsheim comme un **écosystème eutrophe à eau claire**.

La composition des sédiments, les faibles concentrations dans le milieu d'azote et de phosphore sont signes d'une bonne assimilation des nutriments. La bonne oxygénation globale de l'ensemble de la colonne d'eau le prouve également. Elle exclut en l'état la généralisation des phénomènes de relargage par les sédiments de nutriments ou de toxines.

L'évolution des paramètres biogènes a été globalement stable durant la période estivale. Cependant, l'année 2017 a été marquée par l'absence de crue. En 2015 et 2016, le plan d'eau a reçu, durant la période végétative, les nutriments charriés par l'Ille et le Rhin. De toute évidence, la production primaire en a été limitée en 2017. De même, l'absence de faucardage a aussi limité l'activité de dégradation durant la période estivale. C'est pourquoi, cette première campagne, exempte de facteur aggravant, offre en quelque sorte un état des lieux initial du plan d'eau de Plobsheim.

Les pêches d'inventaire réalisées en 2017 mettent en évidence une richesse spécifique importante avec 21 espèces de poissons et une espèce d'écrevisse. Elles montrent également une distorsion entre des rendements numériques élevés mais pondéralement moyens. Ceci met en évidence une forte interdépendance du système Rhin-Plobsheim où le plan d'eau constitue un biotope optimal pour la reproduction et la croissance des juvéniles.

Localisation de la zone sensible

L'analyse de la répartition spatiale des espèces et classes d'âge victimes des mortalités survenues en 2015 et 2016 (brochet, perche, tanche juvéniles et écrevisse) apparaît riche en enseignement quant à la localisation de dysfonctionnement létaux. En effet, la superposition des cartes de densités de juvéniles capturés en juillet 2017 par pêche électrique fait apparaître une zone correspondant globalement à la partie centrale telle que définie dans l'APB où sont localisées les stations d'observation 4 à 6.

L'évolution des concentrations longitudinales de nutriments solubilisés, diminuant du nord vers le sud parallèlement au flux d'eau observé durant la période de l'étude, ne permet pas de mettre en évidence une augmentation de la trophie de cette zone sensible. Elle fait en revanche apparaître la capacité d'autoépuration du milieu.

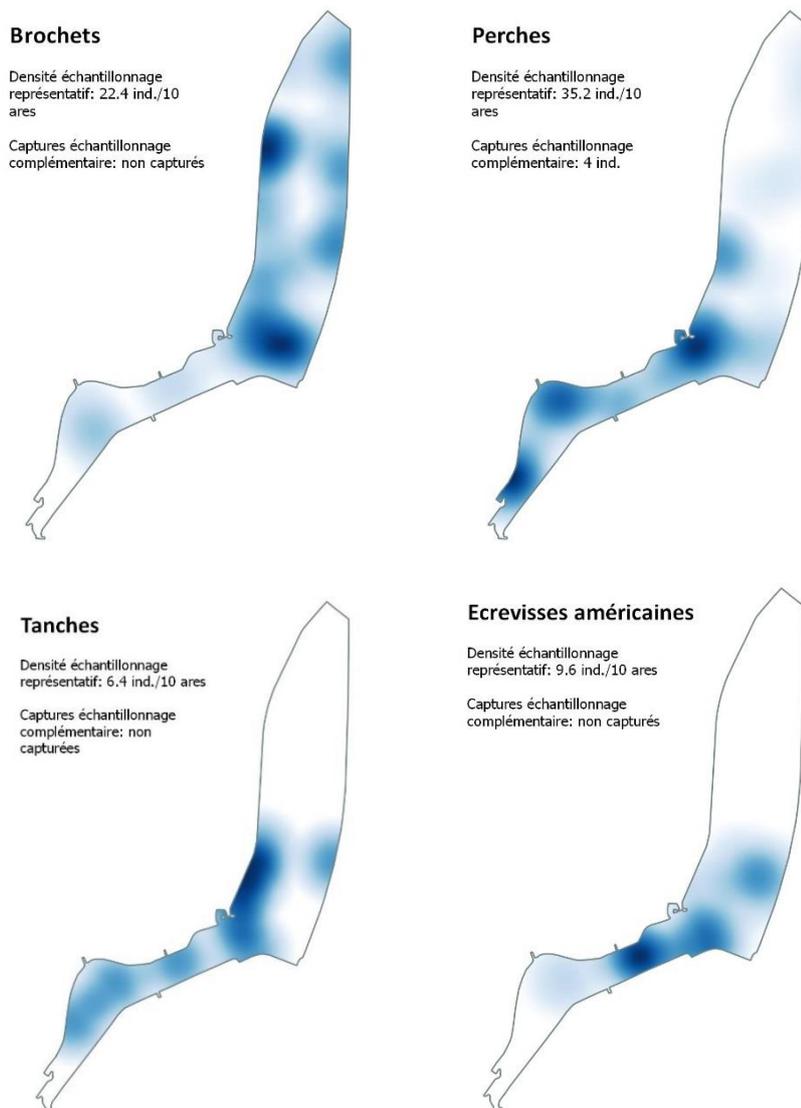


Figure 19: Répartition relative par espèce des captures réalisées lors des pêches électriques de juillet 2017

Cependant, l'analyse de l'évolution longitudinale de la composition des sédiments montre clairement une **diminution de la minéralisation et une augmentation des éléments nutritifs sur le station 5 et 6**. La présence significative de poissons fouilleurs dans cette zone, mis en évidence par les pêches d'inventaires, tend à mécaniquement remettre en suspension les sédiments comme le montre l'évolution des MES. Les nutriments contenus dans les sédiments deviennent alors disponibles pour la production primaire. **L'évolution des concentrations en chlorophylle A et phéopigments, significativement plus importantes sur la station 5, sous-tend cette hypothèse**. Notons également un **pic significatif de concentration en cyanobactéries** (3500 cellules/mL) enregistré le 28 juin lors de la principale période caniculaire de 2017. Bien que le développement de cyanobactéries n'ait pas atteint le seuil critique de 20 000 cellules/mL, ce résultat constitue un élément supplémentaire quant à la sensibilité de la zone environnant la station 5.

Suivi des mortalités piscicoles du plan d'eau de Plobsheim
Localisation de la « zone sensible »

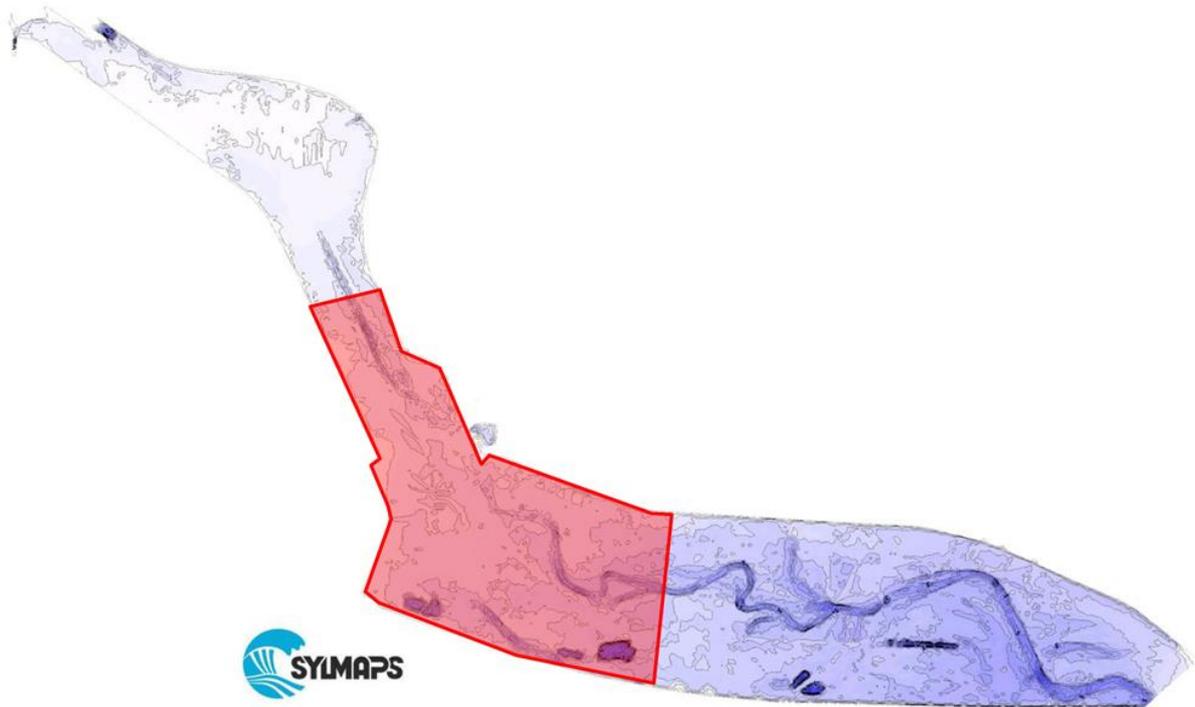


Figure 20: Localisation de la zone sensible du plan d'eau de Plobsheim

Variations d'oxygène et recouvrement végétal

Les enregistrements d'oxygène en continu et les mesures ponctuelles d'oxygène réalisés durant la période d'étude ne font pas apparaître de désoxygénation benthique sur les stations les plus profondes, non végétalisées, connectées ou non au chenal principal. En revanche, sur les stations peu profondes et végétalisées les évolutions des taux d'oxygène sont plus variables.

La station 4Est n'est pas directement connectée au chenal principal. Elle est disposée dans une zone de faible profondeur (2 à 2,5m en fonction du marnage) à une centaine de mètres de la rive Est sur la limite de démarcation des zones nord/centre telles que définies par l'APB. L'habitat est composé essentiellement d'un tapis dense de Characidés parsemé de quelques taches d'élodées. Le 23 juin lors de la pose de la sonde à oxygène l'épaisseur de Characidés représentait environ 50 cm. Dès fin juillet, le couvert végétal atteignait 1 mètre si bien que l'enregistreur d'oxygène s'est retrouvé à fleur des végétaux. Sous l'effet du batillage, le câble d'amarre a créé un trou circulaire d'une cinquantaine de centimètres de diamètre dans le tapis de Characidés. Les mesures verticales d'oxygène y ont été réalisées.

Les relevés sur cette station ont mis en évidence des variations nycthémérales très marquées. Le 6 juillet, les taux d'oxygène ont évolué dans la journée de 6.1 et 23.45 mg/L (respectivement 74 et 286%

de saturation). Cet épisode chaud et ensoleillé a duré du 4 au 10 juillet. Le seuil critique de 5mg/L n'a pas été franchi durant cette période. Cependant la variation (380%) et surtout la concentration sont en mesure d'impacter la faune. Selon plusieurs auteurs (Ritola et al. 2002, Fridell et al. 2007, Thorarensen et al. 2010), l'hypersturation en oxygène dissous peut être considéré comme un élément stressant pour les poissons. Elle peut conduire à une réduction du système immunitaire, causer des maladies, voire une mortalité.

Dès le 31 juillet, les mesures verticales d'oxygène montrent une importante désoxygénation dans une zone d'eau libre à l'intérieur d'un banc de Characidés. Le 31/07, le 29/08 et le 28/09 la mesure la plus profonde était inférieure à 1mg/L (à 2 ou 2,5m selon le marnage). En revanche, la station 4Ouest ne subit aucune désoxygénation. Cette station est caractérisée par une végétation mixte de Characidés, élodée et myriophylle.

Au même moment, la station 2 située dans un massif de potamot subit également des variations journalières. Elles n'excèdent pas une augmentation de 50% pour un maximum de 13,19 mg/L d'oxygène dissous enregistrés. Située devant la base nautique, cette station de mesure continue de l'oxygène s'est révélée stable avec des variations faibles (150%) et une moyenne dépassant les 8mg/L. Les profils verticaux se sont également révélés stables.

Les mêmes types d'observations ont été réalisées sur la station 2ouest également caractérisée par un massif de potamot. En revanche, la station 2Est, colonisée par des Characidés, subit une perte d'oxygène dans les couches benthiques, notamment le 31 juillet à 10h45 où sont relevés 5.13 mg/L d'oxygène à proximité du fond.

Aux vues de ces résultats, il apparaît que les zones étudiées colonisées par les Characidés sont caractérisées par d'importantes variations nyctémérales et spatiales. En comparaison, les zones colonisées par des potamots, des associations végétales ou dépourvues de végétation apparaissent beaucoup plus stables.

Anoxie benthique et sédiments

Comme nous venons de le mettre en évidence, dès le 31 juillet, les mesures verticales d'oxygène montrent une importante désoxygénation dans une zone d'eau libre à l'intérieur d'un banc de Characidés. Le 31/07, le 29/08 et le 28/09 la mesure la plus profonde était inférieure à 1mg/L (à 2 ou 2,5m selon le marnage). La station 2Est dans 3,5 m marque une désoxygénation, mais de moindre ampleur (> 5mg/L). Dans le même temps, les stations 2 et 2Ouest situées dans des massifs de potamots et la station 4Ouest se sont révélées stables.

L'anoxie benthique de la station 4Est pose la question du relargage de sédiments. En 2017, Les points de prélèvements ont été choisis dans une approche prospective longitudinale. Les analyses de sédiments ont été réalisées sur le chenal, là où le courant anime en permanence la masse d'eau. Les analyses de sédiment ont pu montrer que la station 5, située au nord du Rhinland dans 2,2m d'eau, disposait des sédiments les plus riches en éléments nutritifs, notamment en phosphore. Cette station 5 est située dans le « cône de déjection » du plan d'eau. Le fond y est vaseux mais dépourvu d'herbiers. Or parce qu'ils retiennent mécaniquement les sédiments chargés mais aussi parce qu'ils fixent biologiquement les nutriments et polluants, les herbiers semblent être aux cœurs du processus de

sédimentation et de fixation de ce plan d'eau. Comme le montre les résultats de la stations 4Est, la densité d'herbier peut provoquer l'anoxie benthique, et les phénomènes de relargage qui y sont associés. Pour tenter de vérifier l'hypothèse de phénomène de relargage, il semblerait propice de multiplier les stations peu profondes dans des zones à végétation dense (Characidés, élodée). Un suivi vertical de l'oxygène et des analyses de sédiments seraient à envisager pour apprécier plus finalement les évolutions physico-chimiques de ces zones.

La désoxygénation de surface de la station 3

Début août 2017 le temps devient plus maussade à Plobsheim. La couverture nuageuse limite la photosynthèse. La température de l'eau descend sous les 25°C. Le 4 et le 10 août des orages éclatent. Dès le 4 août, l'oxygène passe sous les 8mg/L sur la station 3 mesurée à 1m sous la surface. Cette station est située en pleine eau du chenal ici profond de 6m. Le 10 août dès le matin la station passe sous les 5 mg/L. Le lendemain à 7H12 on enregistre 1,58 mg/L à 1m sous la surface et 5,98 mg/L à 1m du fond. La Station 4Est marque également la désoxygénation sans passer le seuil critique. En revanche, la station 2 n'affiche aucune variation notable. Le recul de l'activité photosynthétique se retranscrit dans l'amoindrissement de l'amplitude nyctémérale enregistrée sur les différentes stations. Mais seule la station 3Surface affiche un déficit d'oxygène marqué. Il est envisageable que faute d'apport d'oxygène lié à la photosynthèse pour la compenser, une **activité de dégradation localisée en surface sur les débits végétaux dérivants puisse être à l'origine de cet épisode de désoxygénation.**

La mortalité des brochetons

Une mortalité de brochetons de l'année a été constatée entre le 23 et le 28 juin. Ces poissons n'excédant pas 10 cm dérivait, moribonds sous la surface. Les autopsies réalisées sur ces poissons n'ont pas révélé de lésions majeures pouvant expliquer leur mort. L'examen microscopique des branchies a cependant montré une altération de la structure branchiale et une présence importante de plusieurs espèces bactériennes, signe d'une colonisation secondaire par des pathogènes opportunistes. Les analyses physico-chimiques n'ont mis en évidence aucun caractère léthal. Le comportement surnageant des brochetons observés le 22 juin tend à penser qu'ils étaient victimes de sursaturation gazeuse. Généralement les sursaturations gazeuses sont dues à l'Azote dissous. En milieu naturel ces sursaturations en azote se rencontrent à proximité de sources ou de résurgences. Elles peuvent aussi apparaître à la rencontre de deux masses d'eau très différentes thermiquement. Ni l'une ni l'autre de ces conditions n'ont été mises en évidence sur le plan d'eau de Plobsheim durant cette période. Aux vues des variations d'oxygène enregistrées au début de l'été 2017, notamment sur la station 4Est, se pose la question des impacts de la sursaturation en oxygène. Des études menées sur des juvéniles de saumon atlantique montrent qu'ils sont peuvent survivre à des saturations de 350 % pendant 10 jours (Person – Le Ruyet, 2002). D'autres études menées sur la truite arc-en-ciel et l'anguille montrent en revanche qu'elles ne peuvent survivre à des conditions hyperbariques d'oxygénation de l'ordre de 2 atmosphères absolus d'oxygène au-delà de 15 heures et qu'une altération des branchies intervient dès 90 minutes d'exposition (Barthelemy et al. 1981, Sebert et al. 1984). Reste à comprendre pourquoi alors que les plus fortes concentrations et variations d'oxygène ont été enregistrées début juillet, les mortalités ont cessé fin juin.

4. Conclusion

Les mortalités piscicoles significatives qu'a connu le plan d'eau de Plobsheim en 2015 et 2016 ont induit l'émission d'un certain nombre d'hypothèses.

Au terme d'une première année d'étude, dans un contexte climatique, hydraulique et anthropique moins marqué que les deux années précédentes, des tendances peuvent être dégagées pour expliquer les disfonctionnements létaux qu'a connu le plan d'eau de Plobsheim :

- ✓ Les pêches d'inventaire réalisées en 2017 ont précisé la répartition spatiale des espèces et classes d'âge touchées par les mortalités antérieures. Les brochets, tanches et perches juvéniles évoluent **dans la zone centrale**, telle que définie dans l'Arrêté de Protection de Biotope,
- ✓ Cette même zone présente **le niveau trophique le plus élevé** du plan d'eau,
- ✓ Au cours de l'année 2017, lors de la **canicule** de début d'été, un **développement de cyanobactéries** de faible amplitude y a été observé,
- ✓ A partir de fin juillet, une **désoxygénation benthique** a été observée dans les massifs de **Characidés**,
- ✓ En août, les enregistrements en continu d'oxygène dissous en pleine eau ont montré une **désoxygénation significative** qui semble générée par **dégradation des débits végétaux** naturellement présents.

Aux vues de ses observations, **un scénario plausible** pour expliquer les mortalités antérieures tend à se dégager. Au cœur de l'été, au fur et à mesure du développement des végétaux la désoxygénation benthique s'accroît. Le faucardage émet une surproduction de débris végétaux emportés depuis la base nautique vers le sud par le courant animant le plan d'eau dans un contexte de basses eaux de l'III. La dégradation de cette matière organique induit une désoxygénation de la zone centrale où elle vient s'accumuler. Un épisode caniculaire accentue les variations nyctémérales en oxygène dissous. Il apporte les conditions climatiques favorables au développement de cyanobactéries, qui trouvent par ailleurs les nutriments nécessaires à leur développement dans cette zone centrale. Accentué ou pas par une dépression subite causée par un orage ponctuant l'épisode caniculaire, l'anoxie intervient et cause la mort des êtres vivants présents dans cette zone. Dès les premières heures suivant leur mort les poissons se mettent à flotter à la faveur de leurs vessies natatoires. Ils sont entraînés par les vents dominants vers la zone Nord (base nautique). En revanche, les écrevisses présentes également en nombre sur la zone centrale, dépourvues de vessie natatoire, restent sur place après leur mort, comme observé en 2016. Les investigations futures vont tendre à affirmer la véracité de ce scénario.

Cependant, d'ores et déjà, une relation étroite entre structure végétale et variation de l'oxygène dissous se dessine. Les Characidés, du moins lorsqu'ils forment des massifs denses et homogènes, accentuent ces variations dans des proportions sub-létales. Alors que les zones à végétation plus diversifiée et notamment celles où sont présents les potamots présentent une plus grande stabilité. C'est pourquoi, il semble nécessaire d'être vigilant quant à l'impact du faucardage sur les peuplements végétaux. En effet, les opérations de faucardage ont pour objectif de réduire les populations de potamot et de myriophylle sur la zone la plus diversifiée d'un point de vue végétal et la plus stable d'un point de vue physico-chimique. Les opérations de faucardage entraînent des modifications du cortège floristique macrophytique. La forte perturbation causée par le faucardage va permettre aux Characidés, algues pionnières, de s'y développer et ensuite y prospérer, ne laissant aucune possibilité

d'implantation pour les autres espèces autrefois présentes. Outre la perte biodiversité floristique et faunistique, c'est la stabilité physico-chimique qui pourrait être impactée par les opérations de faucardage.

5. Perspectives

Afin de disposer d'éléments de comparaison, à l'exception des pêches d'inventaire, l'ensemble du protocole mis en œuvre en 2017 sera reconduit.

Un renforcement du maillage du suivi de la zone centrale va être mis en œuvre. Il portera sur l'évolution de l'oxygène dissous, la physico-chimie de l'eau, la composition des sédiments et le développement planctonique.

Une attention particulière sera apportée au choix des stations afin de tenter de dégager une réelle influence des structurations végétales sur les variations d'oxygène, notamment.

Enfin, l'abandon des pêches d'inventaire laissera place à l'introduction d'un nouveau compartiment biologique dans le suivi de ce milieu. Il est envisagé de réaliser des Indices Biologiques des Macrophytes Lacustres (IBML) pour mettre en évidence les variations trophiques et les perturbations physico-chimiques du milieu. De plus, l'inventaire floristique réalisé pour la mise en œuvre de cet indice permettra d'approcher finement l'évolution de la phyto-sociologie des végétaux en place.

Bibliographie

Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) - MEDD & Agences de l'eau – 2003

Gestion sécurisée du risque « Cyanobactéries », Etat de l'art et exemple de la bouée du barrage de Jaunay – Nakache -Danglot et al. – 2017

Evaluation et maitrise de l'impact écologique du faucardage au Grand Large (69) – Quentin Dumoutier – 2012

Guide de prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques – Aquaref – 2011

Etat écologique des plans d'eau ; des acquis et des interrogations : le peuplement piscicole est-il un indicateur pertinent - O. Schlumberger – 2004

Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'Inra : Prélèvement, dénombrement et biovolumes - J.C. Druart et F. Rimet – 2008

Les peuplements piscicoles en lacs : assemblages types et niveaux d'eutrophisation - O. Schlumberger et al. - 2002

Effects of oxygen availability on hematological parameters, immune status, gill histomorphology and gene expression of Senegalese sole (*Solea senegalensis*): the role of acute hyperoxia – D. Brazão et T. Malheiro – 2015

Effect of hypoxia, normoxia and hyperoxia conditions on gill histopathology in two weight groups of beluga (*Huso huso*) - F. Bagherzadeh Lakani - 2014

Annexes

Annexe 1 : Relevés météorologiques de l'année 2017 à Strasbourg

Annexe 2 : Compte-rendu sur la mortalité des brochetons de juin 2017 – Dr Vom Scheidt

Annexe 3 : Evolution temporelle de la température du plan d'eau de Plobsheim sous la surface entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 4 : Evolution longitudinale de la température du plan d'eau de Plobsheim sous la surface entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 5 : Evolution de la température du plan d'eau de Plobsheim à 1m sous la surface et 1m du fond entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 6 : Evolution de la température à 1m sous la surface et 1m du fond sur la station 3 entre le 1^{er} juin et le 30 août 2017

Annexe 7 : Profils thermiques des stations

Annexe 8 : Evolution de la concentration l'oxygène dissous mesurée en continu

Annexe 9 : Evolution verticale de la concentration en oxygène dissous

Annexe 10 : Evolution verticale de la saturation en oxygène dissous

Annexe 11 : résultats des analyses d'eau de la station 0

Annexe 12 : résultats des analyses d'eau de la station 1

Annexe 13 : résultats des analyses d'eau de la station 2

Annexe 14 : résultats des analyses d'eau de la station 3

Annexe 15 : résultats des analyses d'eau de la station 4

Annexe 16 : résultats des analyses d'eau de la station 5

Annexe 17 : résultats des analyses d'eau de la station 6

Annexe 18 : résultats des analyses d'eau de la station 7

Annexe 19 : Rapport d'analyses des sédiments

Annexe 20 : Rapport d'analyses des prélèvements phytoplanctoniques

Annexe 21 : plan d'eau de Plobsheim, rapport d'étude piscicole 2017, Sage Environnement