

Le phytoplancton du Rhin 2018

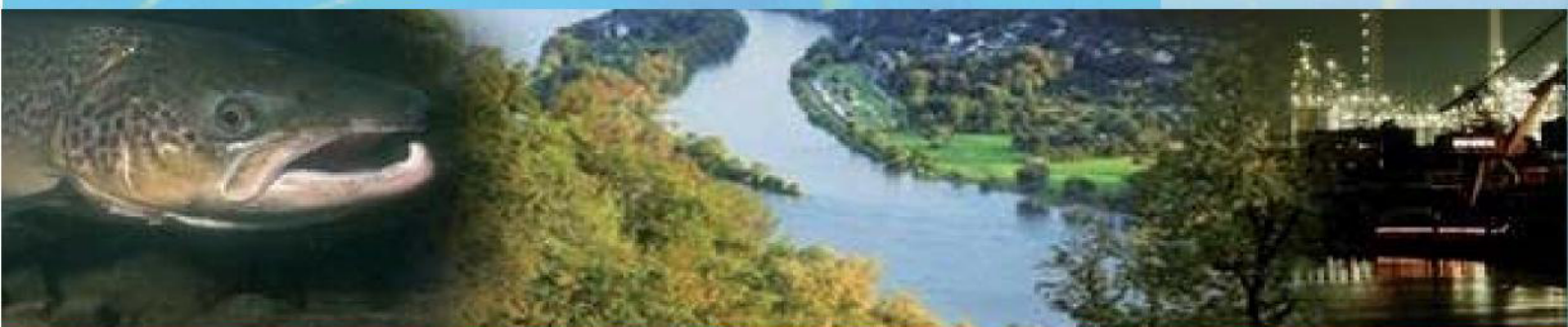


Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 273



Editeur:

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz

Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz

Téléphone +49-(0)261-94252-0, téléfax +49-(0)261-94252-52

Courrier électronique: sekretariat@iksr.de

www.iksr.org

Le phytoplancton du Rhin 2018

Chef de file et rédacteur :	Helmut Fischer, Bundesanstalt für Gewässerkunde ;
Traitement :	Mechthild Banning, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden ; Thomas Ehlscheid, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) ; Jochen Fischer (président du GE BMON), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) ; Paulin Hardenbicker, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) ; Jochen Lacombe, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) ; Guillaume Demortier, Agence de l'Eau Rhin-Meuse ; David Monnier (président du GT B), Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) ; Marieke Ohm, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - Rijkswaterstaat - WVL ; Franz Schöll, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ; Renate Semmler-Elpers, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) ; Yael Schindler, Office fédéral de l'Environnement (OFEV) ;
Coordination et rédaction :	Laura Poinso, Nikola Schulte-Kellinghaus, Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Sommaire

Synthèse	3
1. Introduction.....	4
2. Méthodes	5
2.1. Champ d'analyse	5
2.2 Méthode appliquée.....	6
3. Résultats	7
3.1 Débit.....	7
3.2 Nutriments	8
3.3 Phytoplancton	10
3.3.1 Dynamique spatiale et saisonnière de la teneur en chlorophylle	10
3.3.2 Composition taxonomique du phytoplancton	12
3.4 Zooplancton	13
3.5 Comparaison des résultats avec les analyses antérieures	15
4. Bibliographie.....	17

Synthèse

On entend par plancton des organismes de taille le plus souvent microscopique et flottant dans l'eau. Dans les grands fleuves, il constitue une composante essentielle de l'écosystème. Lorsqu'elles se développent en masse, les algues unicellulaires qui forment le phytoplancton provoquent les phénomènes bien connus d'eutrophisation qui se manifestent par une turbidité élevée et une surconsommation d'oxygène par la suite, quand la biomasse se dégrade. Le phytoplancton du Rhin a été analysé en 2018 dans le cadre du programme d'analyse biologique 'Rhin' depuis le lac de Constance jusqu'à la zone deltaïque. Le programme de suivi a pour but d'inventorier le phytoplancton et de recenser son évolution dans le temps et dans l'espace. Il répond également aux dispositions de la directive cadre européenne sur l'eau prescrivant d'évaluer l'état écologique du Rhin à l'aide du phytoplancton (et d'autres éléments de qualité biologique).

La biomasse phytoplanctonique moyenne, mesurée sous forme de teneur en chlorophylle a et de biovolume, est très faible sur le tronçon compris entre le lac de Constance et Karlsruhe. À partir de la station d'analyse de Karlsruhe, la biomasse augmente progressivement et atteint son maximum dans le Rhin inférieur à hauteur de la station d'analyse de Bimmen / Lobith proche de la frontière germano-néerlandaise. Le développement saisonnier du phytoplancton a été fortement marqué par la longue période d'étiage estival en 2018. Une efflorescence algale typique de la période printanière n'est observée en 2018 que dans le Rhin inférieur au niveau de la station d'analyse de Bimmen. À l'opposé des années antérieures, une efflorescence algale très prononcée se développe en revanche sur tout le cours du Rhin en août 2018. Elle se caractérise par deux pics notables, tout d'abord un bloom de diatomées suivi directement d'un bloom de chlorophycées. Elle donne lieu à des concentrations de chlorophylle très élevées telles que l'on n'en avait plus mesuré depuis le début des années 1990. Plus en aval, la biomasse phytoplanctonique affiche à nouveau une légère baisse à mesure que l'on avance dans le delta. Les affluents rhénans Lahn, Moselle et, dans une plus faible mesure, Main font également apparaître des efflorescences abondantes de phytoplancton au cours de l'été 2018. On note comme nouveau phénomène plus préoccupant un bloom important de cyanobactéries dans la Moselle. À l'opposé, les densités de phytoplancton restent faibles dans deux autres affluents : l'Aar et, plus étonnamment, le Neckar également.

Le zooplancton, qui se nourrit de phytoplancton, est recensé depuis le Rhin supérieur septentrional jusqu'au Rhin inférieur. Le nombre d'individus reste faible et son impact destructeur sur le phytoplancton est donc jugé faible également. Les rotifères sont les formes zooplanctoniques les plus fréquentes, mais on note que les larves flottantes de bivalves jouent parfois un rôle important, de même que les crustacés planctoniques dans la Moselle pendant la phase d'efflorescence des cyanobactéries.

Dans le long terme, la biomasse phytoplanctonique baisse depuis les années 1980 en corrélation avec le recul des concentrations en nutriments et des apports phytoplanctoniques du lac de Constance. Cette baisse est aussi probablement due en partie à l'activité de filtration de bivalves ayant immigré dans le Rhin. Au printemps 2018, la biomasse phytoplanctonique reste d'abord relativement faible comparée aux années précédentes. Par contre, les biomasses phytoplanctoniques sont exceptionnellement élevées pendant l'été. Dans le long terme, le monitoring futur permettra de montrer s'il s'agit là d'un cas particulier survenu lors d'une année extrêmement sèche et chaude ou si l'évolution climatique favorise de tels blooms algaux et contrecarre ainsi les efforts réalisés pour améliorer l'état trophique du Rhin.

1. Introduction

Dans les grands fleuves, le plancton (des organismes de taille le plus souvent microscopique et flottant dans l'eau) constitue une composante essentielle de l'écosystème. Lorsqu'elles se développent en masse, les algues unicellulaires qui forment le phytoplancton provoquent les phénomènes bien connus d'eutrophisation qui se manifestent par une turbidité élevée et une surconsommation d'oxygène par la suite, quand la biomasse se dégrade.

La croissance du phytoplancton dépend de nombreux facteurs : comme toutes les plantes vertes, il a besoin de lumière et de nutriments. Le développement phytoplanctonique est donc fréquemment limité par les conditions de luminosité dans les couches aquatiques profondes. Sur le profil longitudinal du fleuve, ce développement est par ailleurs indirectement influencé par le débit et les conditions d'écoulement. Lorsque les débits sont faibles ou que les eaux sont retenues par des barrages, la durée de séjour de l'eau augmente, ce qui laisse davantage de temps au phytoplancton pour se développer ; en revanche, les débits élevés raccourcissent la durée de séjour de l'eau et emportent le plancton. Cette dernière observation s'applique encore davantage au plancton animal (zooplancton) qui, en raison de son temps de croissance plus long, ne peut se développer en quantités importantes que sur les cours aval des fleuves, dans les anciens bras ou dans les secteurs aménagés. Dans les affluents aménagés du Rhin, le développement du phytoplancton influe sur le bilan des nutriments et plus encore sur le bilan d'oxygène.

Le phytoplancton joue un rôle important dans le réseau alimentaire des grandes rivières. Il peut être absorbé tant par le zooplancton que par des filtreurs benthiques (des bivalves, en particulier la moule zébrée *Dreissena sp.* et la palourde asiatique *Corbicula fluminea*). Lorsque les concentrations zooplanctoniques sont très élevées ou les populations de bivalves importantes, de grandes quantités de phytoplancton peuvent ainsi être éliminées de la colonne d'eau. Les stades juvéniles de nombreuses espèces piscicoles dépendent de la présence d'une alimentation zooplanctonique. La production primaire planctonique constitue donc une ressource de nourriture essentielle pour le reste du réseau alimentaire et par conséquent pour les organismes supérieurs tels que les poissons.

Le phytoplancton est utilisé en tant qu'élément de qualité biologique pour l'évaluation de la qualité de l'eau selon la directive cadre sur l'eau (DCE, 2000/60/CE). Entrent dans le calcul de l'indice phytoplanctonique selon la méthode d'évaluation allemande PhytoFluss à la fois la biomasse totale mesurée en chlorophylle *a* (chl_a) et la composition de la biocénose. Les résultats de l'évaluation de l'état écologique du Rhin sont exposés dans les plans de gestion nationaux. L'actuel Plan de Gestion (PdG) coordonné à l'échelle internationale 2015-2021 se fonde sur les données du programme de monitoring de 2012. Les résultats du programme de monitoring de 2018 s'intégreront dans le troisième Plan de Gestion partie A 2021-2027. Les paragraphes suivants présentent la dynamique planctonique du Rhin en 2018 et la comparent avec les inventaires antérieurs.

L'analyse du phytoplancton poursuit les objectifs suivants :

- inventorier qualitativement et quantitativement le phytoplancton dans le Rhin du lac de Constance à la mer du Nord
- mesurer les modifications de la composition et de la biomasse phytoplanctonique sur le linéaire du Rhin
- mesurer les modifications saisonnières de la composition et de la biomasse phytoplanctonique
- interpréter les résultats en les comparant aux analyses antérieures.

2. Méthodes

2.1. Champ d'analyse

Le champ d'analyse du « programme d'analyse biologique Rhin 2018 » de la CIPR s'étend au Rhin depuis la sortie du lac de Constance (haut Rhin) jusqu'au delta du Rhin sur territoire néerlandais. Sont également intégrées dans le programme les zones de débouché des grands affluents (Aar, Neckar, Main, Nahe, Lahn et Moselle) dans le Rhin pour déterminer leur impact sur la croissance planctonique dans le Rhin.

Les analyses ont été réalisées sur mandat des services suivants :

Allemagne : Bade-Wurtemberg : Landesanstalt für Umwelt (LUBW), Karlsruhe

Rhénanie-Palatinat : Landesamt für Umwelt (LfU), Mayence

Hesse : Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) Wiesbaden :

Rhénanie-du-Nord-Westphalie : Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV), Recklinghausen

Fédération : Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Coblenz

Pays-Bas : Rijkswaterstaat (RWS) Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad

En France, le type naturel originel du Rhin est « Très très grand cours d'eau alpin ». Le référentiel national, décrit dans les arrêtés ministériels relatifs à la surveillance et l'évaluation de l'état des masses d'eau, a établi que, sur ce type de cours d'eau, l'élément de qualité 'phytoplancton' n'était pas considéré comme pertinent pour évaluer l'état ou le potentiel écologique. C'est la raison pour laquelle il n'est intégré ni au programme de surveillance ni au dispositif d'évaluation.

Tableau 1 : liste des stations et autorités compétentes

Tronçon du Rhin	Rivière	Station	Compétence	PK
Haut Rhin	Rhin	Öhningen	Bade-Wurtemberg, Confédération Helvétique	23,0
Haut Rhin	Rhin	Reckingen	Bade-Wurtemberg, Confédération Helvétique	90,1
Rhin supérieur méridional	Rhin	Weil	Bade-Wurtemberg, Confédération Helvétique	171/173
Rhin supérieur méridional	Rhin	Breisach	Bade-Wurtemberg	225
Rhin supérieur septentrional	Rhin	Karlsruhe	Bade-Wurtemberg	359,2
Rhin supérieur septentrional	Rhin	Worms	Rhénanie-Palatinat	443,3
Rhin supérieur septentrional	Rhin	Mayence	Rhénanie-Palatinat	498,5
Rhin moyen	Rhin	Coblenz	BfG	590,3
Rhin inférieur	Rhin	Bad Honnef	Rhénanie-du-Nord-Westphalie	640,0
Rhin inférieur	Rhin	Bimmen	Rhénanie-du-Nord-Westphalie	865,0
Rhin inférieur	Rhin	Lobith	Pays-Bas	863,3
Delta du Rhin	Rhin	Maassluis	Pays-Bas	1 019
Affluents du Rhin				
Haut Rhin	Aar	Zone de débouché	Bade-Wurtemberg, Confédération Helvétique	-

Rhin supérieur septentrional	Neckar	Mannheim	Bade-Wurtemberg	3,0*
Rhin supérieur septentrional	Main	Bischofsheim	Hesse	4*
Rhin supérieur septentrional	Nahe	Bingen-Dietersheim	Rhénanie-Palatinat	3,5*
Rhin moyen	Lahn	Lahnstein	Rhénanie-Palatinat	136,1**
Rhin moyen	Moselle	Coblence	BfG	2*

* Le point kilométrique correspond ici à la distance entre la station et le débouché dans le Rhin.

** Le comptage des points kilométriques pour ce tronçon de la Lahn commence à Gießen (Dutenhofen). La station d'analyse se situe à 1 km environ en amont du débouché dans le Rhin.

Les résultats de 2018 ont été comparés avec les résultats de programmes d'analyse antérieurs et examinés en relation avec les évolutions sur le long terme.

Au cours de la « période de végétation » comprise entre mars et octobre, le programme d'analyse du phytoplancton a porté sur les volets suivants :

- concentration de chlorophylle a (chl_a) comme indicateur de la biomasse phytoplanctonique (mesurées généralement tous les 14 jours)
- analyse de la composition phytoplanctonique (détermination des taxons, du nombre de leurs cellules et calcul du volume cellulaire), généralement à rythme mensuel
- calcul du biovolume total du phytoplancton
- recensement de paramètres abiotiques tels que le débit, les concentrations de nutriments (P total et N total, orthophosphate, nitrates, ammonium et silicium dissous)
- recensement du zooplancton sur des sites d'analyse sélectionnés

2.2 Méthode appliquée

La méthode appliquée pour le prélèvement et le comptage du phytoplancton au sens de la procédure allemande de transposition de la DCE est décrite en détail dans la référence MISCHKE & BEHRENDT (2007). Le phytoplancton et la chlorophylle ont respectivement été analysés à partir de sous-échantillons tirés du même échantillon puisé.

Les concentrations de nutriments (P total, orthophosphate, N total, nitrates, ammonium, silicium dissous) et la teneur en chl_a ont été dosées selon une norme DIN dans les laboratoires des institutions associées au programme. À l'opposé de ce qui a été fait dans le rapport 2006/2007 (CIPR 2009), mais conformément à d'autres rapports (par ex. CIPR 2002, 2015) et à la pratique internationale, on utilise dans le présent rapport la concentration « corrigée » de chlorophylle a.

L'analyse taxonomique (microscopique) du phytoplancton s'est fondée sur la méthode UTERMÖHL avec détermination et comptage sous microscope inversé des algues sédimentées dans des chambres Utermöhl (voir description dans MISCHKE & BEHRENDT 2007). Le biovolume d'un taxon s'obtient par multiplication du nombre de cellules identifiées pour ce taxon avec le volume cellulaire spécifique à chaque taxon consigné dans le logiciel d'évaluation « PhytoFluss » ou pouvant être déterminé par de propres analyses. La somme de tous les volumes algaux individuels donne le biovolume total de l'échantillon.

Aux Pays-Bas, le prélèvement se fait conformément aux « lignes directrices de surveillance des eaux de surface au titre de la directive cadre sur l'eau » (VAN SPLUNDER et al. 2006).

Le zooplancton, facteur éventuel d'impact sur le phytoplancton, a été prélevé dans des stations d'analyse sélectionnées en aval de Mayence. À cette fin, au moins 20 litres d'eau

sont déversés dans un filet à plancton d'un maillage de 55 µm et le plancton ainsi intercepté est recensé en nombre et en espèces.

3. Résultats

3.1 Débit

La croissance du plancton dépend essentiellement du temps de séjour de l'eau dans un tronçon fluvial donné. En raison du courant élevé présent dans le Rhin alpin, il n'y a pas constitution de phytoplancton dans ce tronçon ; il n'a donc pas été considéré dans l'analyse. Le régime hydrologique du haut Rhin et du Rhin supérieur est en majeure partie déterminé par les événements pluviaux et par la fonte des neiges dans les Alpes, la Forêt Noire et les Vosges (il s'agit d'un régime dit 'nival'). Les débits moyens les plus élevés y surviennent habituellement entre avril et juin. Plus en aval, le Rhin est de plus en plus alimenté en eau par ses affluents de régime hydrologique marqué par les précipitations et les débits maximums se décalent vers le début du printemps (passage à un régime hydrologique dit 'pluvial').

La figure 1 montre les hydrogrammes de l'échelle de Karlsruhe-Maxau (Rhin supérieur), de Kaub (Rhin moyen) et de Rees (Rhin inférieur) en 2018. La première des deux pointes de débit de janvier s'élève à 7 680 m³/s à Rees et est, comme dans les autres échelles, nettement supérieure à la moyenne pluriannuelle des crues annuelles (échelle de Rees, MHQ 1930-2017, 6 510 m³/s). En raison des très faibles précipitations survenues dans le bassin, les débits régressent très rapidement par la suite et sont nettement inférieurs aux débits d'étiage moyens à partir de fin juin et au cours des mois suivants. À partir de fin juillet s'engage une phase d'étiage significatif de 126 jours avec des débits tous inférieurs à l'étiage annuel moyen de 1 050 m³/s, avec une seule interruption due à un bref pic de débit en septembre. Le débit le plus bas mesuré à l'échelle de Rees est de 747 m³/s en octobre et l'épisode d'étiage s'achève avec l'arrivée de débits plus abondants début décembre. Les températures de l'eau mesurées en 2018 étaient également exceptionnelles. Elles ont atteint jusqu'à 28 °C en moyenne journalière à la station d'analyse de Coblenze et sont restées supérieures à 25 °C pendant plusieurs semaines.

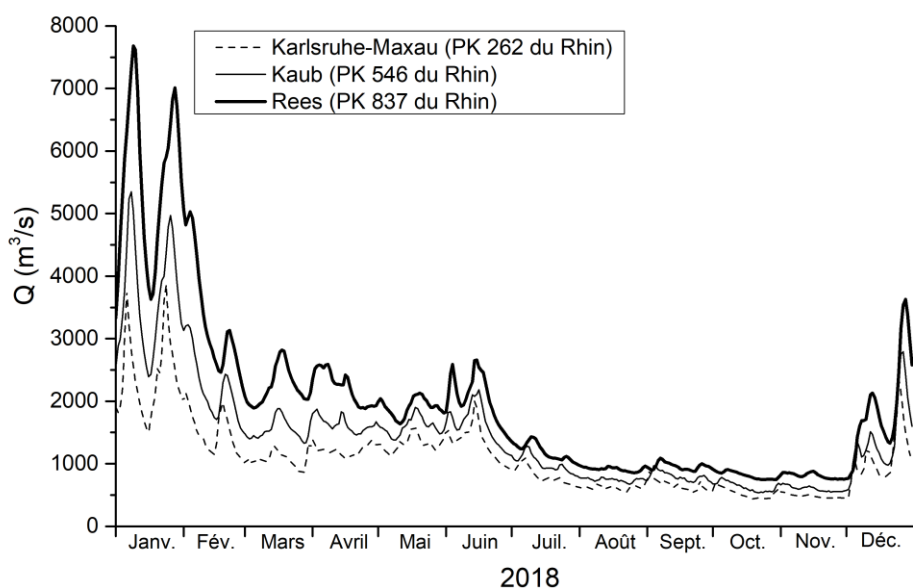


Figure 1 : moyennes hydrologiques journalières aux échelles de Karlsruhe-Maxau (Rhin supérieur), Kaub (Rhin moyen) et Rees (Rhin inférieur) en 2018 (données de la Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), mises à disposition par la BfG).

3.2 Nutriments

Les éléments nutritifs des plantes recensés sont le phosphore (P total, orthophosphate), l'azote (N total, nitrates, ammonium) et le silicium (acide silicique dissous). En raison de leur fonction importante dans la croissance du phytoplancton, les concentrations de phosphore le long du Rhin sont représentées ci-dessous (figure 2).

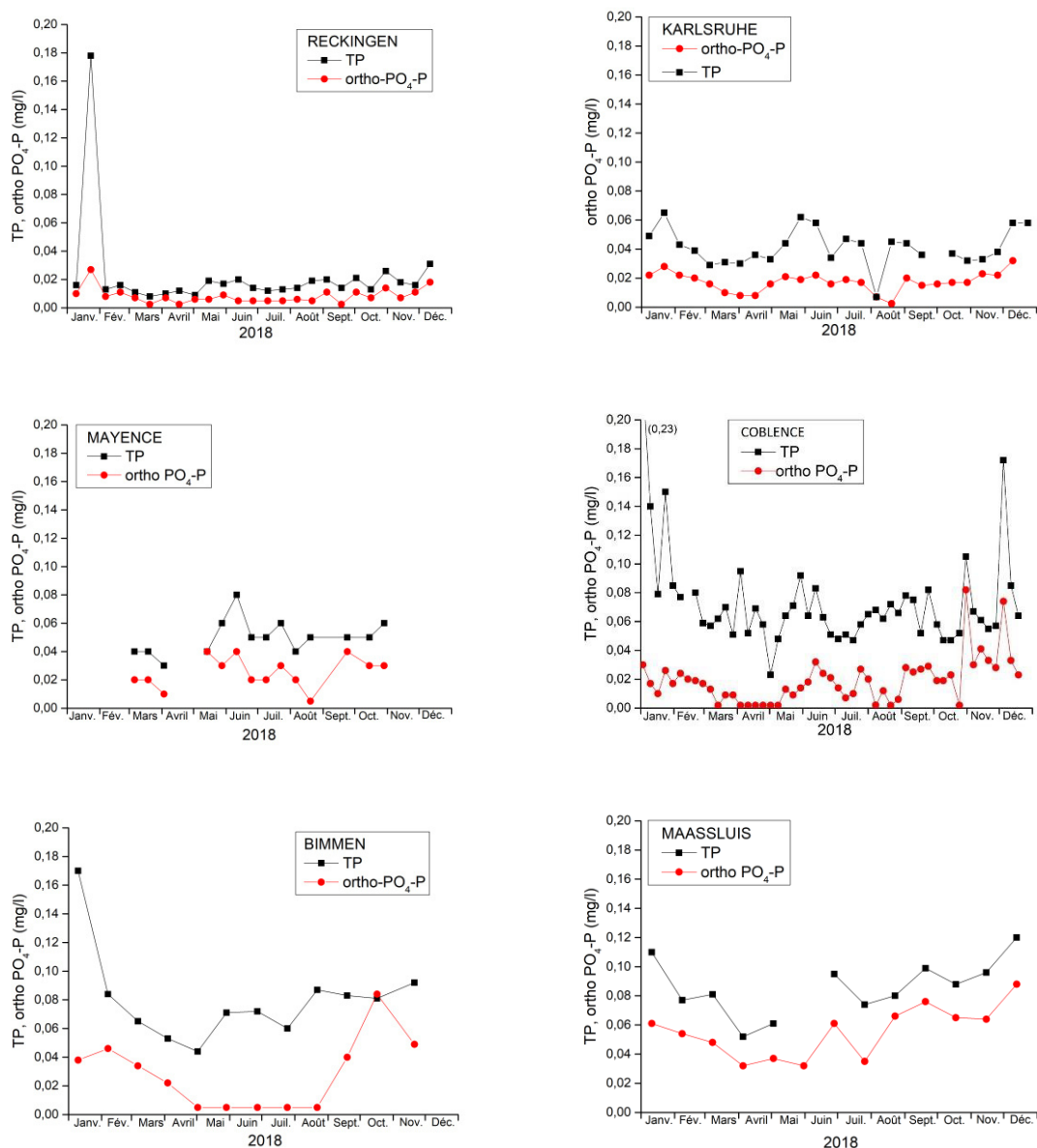


Figure 2 : concentrations de P total (TP) et d'ortho $\text{PO}_4\text{-P}$ en 2018 à hauteur de stations d'analyse sélectionnées le long du Rhin.

Les concentrations de P total (TP) font apparaître au fil de l'année une relation avec le débit, les maxima étant vraisemblablement dus à des phénomènes érosifs pendant les périodes de débits élevés en janvier. Sur le linéaire du Rhin, les concentrations de P total augmentent, passant de 15 $\mu\text{g/l}$ en moyenne à Reckingen à 62 $\mu\text{g/l}$ à Coblenz, 68 $\mu\text{g/l}$ à Bimmen et 88 $\mu\text{g/l}$ à Maassluis (moyenne saisonnière de mars à octobre). Les concentrations d'orthophosphate P sont pratiquement toutes inférieures à la limite de quantification de 5 $\mu\text{g/l}$ (données non affichées) de mars à octobre à hauteur de la station d'Öhningen située à la sortie du lac de Constance réoligotrophisé. Ces concentrations augmentent sur le linéaire du Rhin avec des moyennes saisonnières de 19 $\mu\text{g/l}$ à Coblenz et 50 $\mu\text{g/l}$ à Maassluis.

En termes d'écologie planctonique, la teneur en P total, élément nutritif des plantes potentiellement disponible, est un indicateur du développement potentiel maximal de la biomasse. En revanche, les concentrations d'orthophosphate P dissous, élément nutritif des plantes directement disponible, sont influencées à la fois par les apports et par la capacité du phytoplancton à l'absorber. Ceci explique pourquoi on relève les concentrations d'orthophosphate les plus basses surtout pendant le bloom phytoplanctonique printanier, et à Coblenz et Bimmen également pendant le bloom algal estival (voir aussi la figure 4). En règle générale, on ne constate un effet nutritif limitant pour la croissance du phytoplancton qu'à partir de concentrations nettement inférieures à 20 µg/ d'orthophosphate P. Cet état jugé positif semble atteint entre-temps au moins sur quelques sites au cours du printemps.

Les concentrations d'autres nutriments (ammonium, nitrates, silicate dissous) figurent dans le tableau 2. Pendant les phases de déploiement massif d'espèces planctoniques, le silicium est resté un nutriment limitant pour le développement des diatomées jusque dans les années 1990, mais il n'a pas été totalement consommé en 2018, même pendant la brève mais intense efflorescence diatomique. Les concentrations de silicium restent cependant fortement influencées par le phytoplancton. Ainsi, les concentrations les plus basses de SiO₂-Si à Bimmen et Maassluis restent inférieures à 0,5 mg/l pendant le bloom estival des diatomées et donc bien en deçà des moyennes annuelles de ces deux stations.

Tableau 2 : moyennes saisonnières (mars à octobre 2018) de nutriments sélectionnés le long du Rhin. Les données de phosphore sont présentées dans la figure 2.

Station	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	TN (mg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)
Reckingen	0,03	0,90	1,1	-
Karlsruhe	0,03	1,2	-	1,4 (1,1 – 2,1)
Mayence*	-	1,5	1,8	2,0 (1,5 – 2,9)
Coblenz	0,03	1,61	2,12	1,5 (0,86 – 2,68)
Bimmen	<0,05	1,8	2,1	1,8 (0,48 – 3,3)
Maassluis	0,11	1,65	-	1,6 (0,45 – 3,0)

* Échantillon extrait de la conduite 1 de la station d'analyse de Mayence, représentative du Rhin sans influence du Main.

Les concentrations moyennes de phosphore total et d'azote total au droit des débouchés de grands affluents sont nettement supérieures à celles observées dans les stations du Rhin (tableau 3). Dans quelques affluents, les concentrations minimales de SiO₂-Si sont nettement inférieures à 0,5 mg/l pendant la phase du bloom diatomique et donc dans la zone où commence l'effet limitant du silicium pour les diatomées.

Tableau 3 : valeurs saisonnières moyennes (de mars à octobre 2018) de paramètres sélectionnés au débouché des affluents* dans le Rhin

Station	TP (mg/l)	TN (mg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)
Neckar	0,13	4,4	2,5 (<0,5 – 3,8)
Main	0,19	4,4	3,9 (0,2 – 7,0)
Nahe	0,17	3,4	4,5 (2,1 – 7,9)
Lahn	0,13	3,0	6,4 (3,1 – 8,6)
Moselle	0,11	3,654,2	1,72 (0,28 – 3,61)

* Les données affichées ici ne sont pas disponibles pour l'Aar. La concentration d'azote nitrique, qui constitue généralement la plus grande part de l'azote total, est de 1,16 mg N/l.

3.3 Phytoplancton

3.3.1 Dynamique spatiale et saisonnière de la teneur en chlorophylle

La concentration en chlorophylle *a* (chl_a) sert à mesurer la biomasse du phytoplancton et est utilisée ici pour caractériser la dynamique phytoplanctonique. Les concentrations de chlorophylle représentées ici sont les concentrations usuelles « corrigées » après retrait du pourcentage des phéopigments (cf. MISCHKE & RIEDMÜLLER 2013).

La figure 3 montre le développement du phytoplancton du Rhin sur l'axe longitudinal avec les moyennes saisonnières et les concentrations maximales sur l'année 2018. En sortie du lac de Constance, la dynamique planctonique et l'éventail des espèces sont encore influencées par le lac inférieur du lac de Constance. La masse phytoplanctonique reste relativement basse (moyenne saisonnière de 2,1 µg/l chl_a en sortie du lac à Öhningen) du fait de l'état fortement oligotrophe du lac de Constance. Dans un premier temps, les valeurs saisonnières évoluent peu vers l'aval dans le haut Rhin et sur de longs tronçons du Rhin supérieur. Les concentrations maximales de chl_a amorcent cependant une hausse significative sur le cours longitudinal du Rhin à partir de Weil am Rhein avec 20 µg/l mesurés à Breisach, 63 µg/l à Coblenche et 96 µg/l à Bimmen (figure 3). Sur la plupart des sites, ces valeurs maximales ne sont pas atteintes au printemps comme au cours des années passées (cf. CIPR 2015) mais pendant l'été estival.

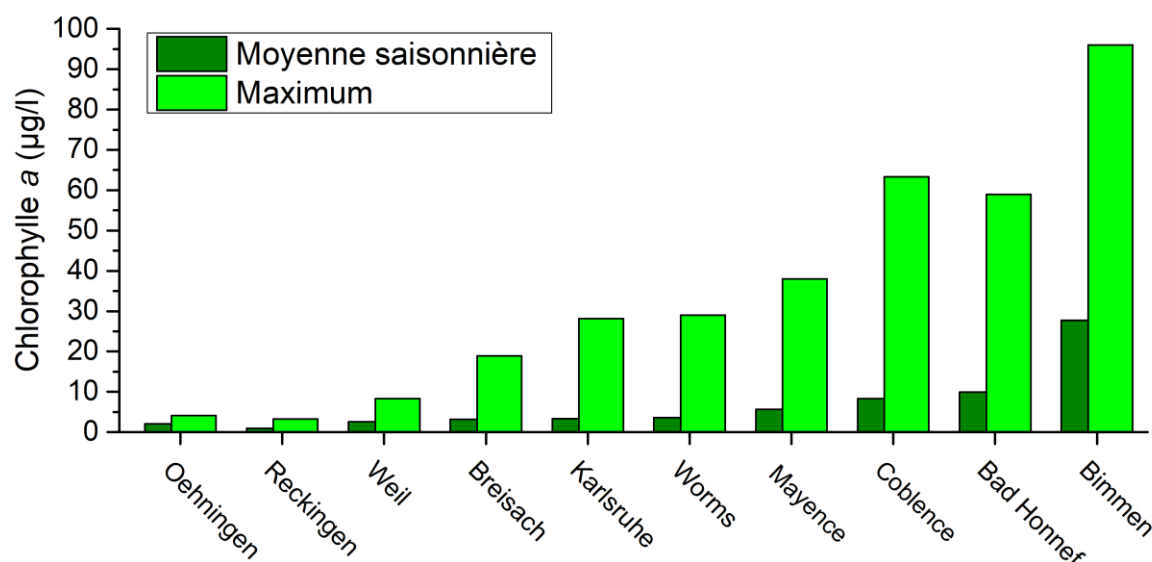


Figure 3 : concentration moyenne saisonnière (mars à octobre) et maximale de chlorophylle en 2018 le long du Rhin

La figure 4 montre la dynamique saisonnière des concentrations de chl_a dans le Rhin aux stations d'analyse de Karlsruhe, Coblenche et Bimmen. Les très faibles débits accompagnés de températures élevées de l'eau favorisent le développement d'un bloom algal en été dans le Rhin tel qu'on n'en a jamais connu depuis le début des années 1990 (voir également le paragraphe 3.5). Les hautes concentrations de chl_a déjà mesurées à Karlsruhe jusqu'à 28 µg/l montrent que cette efflorescence d'algues naît en grande partie dans le Rhin même et non dans les affluents régulés tels que le Neckar et le Main. Ce bloom algal étant clairement visible à l'œil nu, on a intensifié les prélèvements hebdomadaires à hauteur de la station d'analyse de Coblenche pour mieux observer le déroulement de ce phénomène. Les concentrations relevées à Coblenche atteignent jusqu'à 81 µg/l de chl_a et se répartissent en plusieurs pics distincts. À Bimmen, où la fréquence de prélèvement est bihebdomadaire, on mesure des valeurs allant jusqu'à 96 µg/l de chl_a.

Un net pic printanier du phytoplancton n'est constaté en 2018 avec 40 µg/l de chla qu'à Bimmen. À Coblenche en revanche et dans les stations d'analyse situées plus en aval, la concentration de chla reste relativement faible avec un maximal printanier de 12 µg/l.

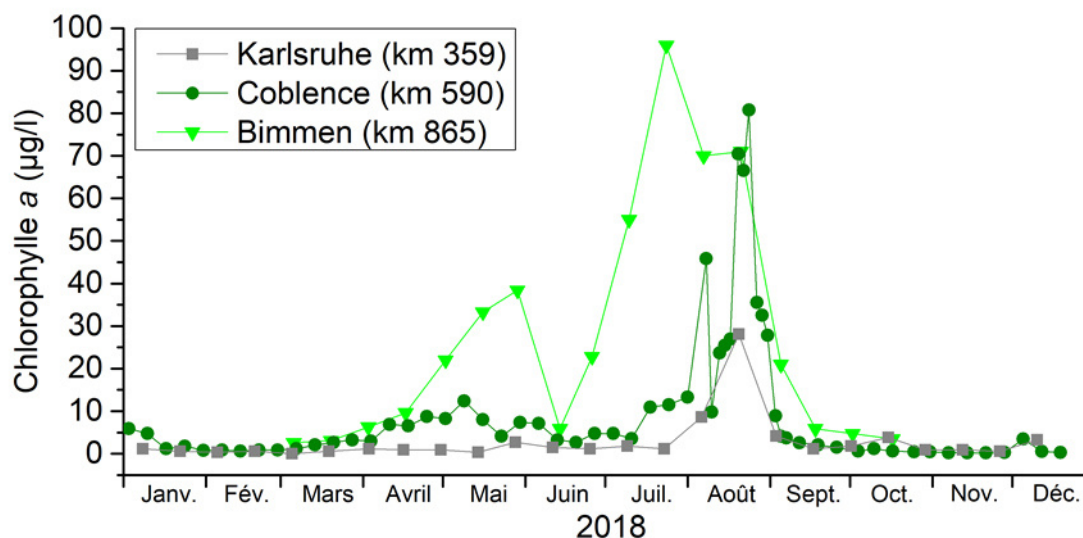


Figure 4 : évolution saisonnière de la concentration de chlorophylle à hauteur des stations d'analyse de Karlsruhe, Coblenche et Bimmen

La dynamique phytoplanctonique des affluents du Rhin en 2018 est sensiblement différente de celle constatée en 2012 et différente également du développement planctonique dans le Rhin. Contrairement à 2012, on ne relève dans la Moselle et le Neckar aucune ou qu'une très faible efflorescence algale au printemps (figure 5). Mis à part une valeur de chlorophylle surélevée, on note aussi l'absence d'un bloom algal printanier dans le Main, mais une efflorescence algale suit à la fin de l'été avec des valeurs allant jusqu'à 34 µg/l de chla, ce bloom étant surtout composé de petites diatomées centriques (*Cyclotella meneghiniana*). Cette même espèce se retrouve au printemps dans la Lahn où elle forme une efflorescence algale printanière marquante avec des concentrations atteignant jusqu'à 46 µg/l de chla. Après un recul en juin, la concentration de chla remonte fortement en août dans la Lahn avec un maximum de 123 µg/l, les blooms algaux estivaux étant ici aussi majoritairement constitués de diatomées, notamment de l'espèce centrique *Aulacoseira granulata* typique de l'été. On note en outre la présence en biomasses importantes des dinoflagellés *Parvodinium umbonatum* et *Peridinium sp.* Une efflorescence de cyanobactéries exceptionnellement forte apparaît dans la Moselle à partir de la mi-août dans des concentrations pouvant atteindre jusqu'à 100 µg/l de chla. Elle est constituée dans sa quasi-totalité du genre *Microcystis*, une cyanobactérie potentiellement toxique, qui représente ici jusqu'à 98 % de la biomasse phytoplanctonique totale. À titre de précaution, la Rhénanie-Palatinat a publié des avertissements relatifs aux usages récréatifs de la Moselle.

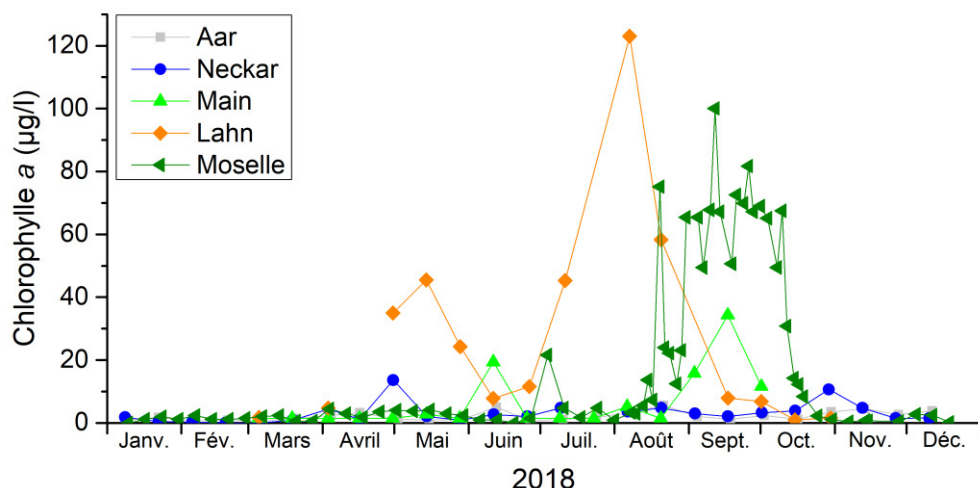


Figure 5 : concentration de chlorophylle a dans les affluents du Rhin : Aar, Neckar, Main, Lahn et Moselle. Données de la station respectivement la plus proche du débouché dans le Rhin.

3.3.2 Composition taxonomique du phytoplancton

La figure 6 montre la composition taxonomique du phytoplancton selon les classes d'algues dans des stations d'analyse sélectionnées. Les diatomées (ici encore regroupées dans la classe des bacillariophycées) représentent de loin la part la plus importante de la biomasse. Au printemps, elles représentent largement plus de 90% du biovolume phytoplanctonique total à hauteur des stations d'analyse de Coblenze et de Bimmen. Les espèces les plus fortement représentées sont les diatomées centriques *Skeletonema subsalsum*, *Aulacoseira normanii* et *Skeletonema potamos* pendant le pic algal de fin mai. Plus en amont à Breisach, on trouve également, en plus des diatomées, des cryptomonades (cryptophycées) qui occupent une large part de la biomasse phytoplanctonique totale, plus particulièrement l'espèce *Rhodomonas lacustris*.

La composition taxonomique du phytoplancton pendant l'efflorescence algale de l'été est observée de plus près à hauteur de la station d'analyse de Coblenze. On note ici tout d'abord un bloom de diatomées très marqué formé le 8 août de diatomées centriques de l'espèce *Skeletonema potamos* dans un ordre de grandeur de 80 %. Cette espèce, considérée thermophile, est typique des grands fleuves et constitue ici fréquemment une grande part de la biomasse. On suppose qu'elle profitera à l'avenir de la hausse des températures induite par le changement climatique (Dubela et al. 2014). Une analyse effectuée le 15 août dans la station de Coblenze montre cependant que la biomasse de *Skeletonema potamos* est retombée à environ 2 pour cent de la valeur du 8 août. La position dominante est alors occupée par la diatomée *Cyclotella meneghiniana* typique du milieu fluvial, mais ceci dans une biomasse phytoplanctonique beaucoup plus restreinte. À nouveau une semaine plus tard, le 22 août, c'est au tour des chlorophycées du genre *Coelastrum polychordum* de dominer la communauté phytoplanctonique et de former un second bloom algal de composition totalement différente.

La dynamique phytoplanctonique frappante relevée au niveau de la station de Coblenze est confirmée par les comptages mensuels de phytoplancton réalisés dans les autres stations (comparaisons de la figure 6). La chlorophycée *Coelastrum polychordum*, qui a provoqué un bloom planctonique à la station d'analyse de Coblenze le 22.08, est une espèce typique des grands lacs préalpins. Il est donc logique qu'on l'ait détectée en grand nombre loin en amont et jusqu'au débouché de l'Aar. À hauteur de la station d'analyse de Breisach, *Coelastrum polychordum* représente déjà presque 60 % de la biomasse algale le 21.08. Le 20.08, cette espèce est même représentée à plus de 90 % dans la biomasse phytoplanctonique totale à Mayence. Plus en aval, à hauteur de la station d'analyse de Bimmen, l'efflorescence des chlorophycées n'est manifestement pas

encore pleinement arrivée à ces dates. *Coelastrum polychordum* est certes présent en grand nombre mais les diatomées dominent encore, comme à Coblenz une semaine plus tôt.

Au total, les résultats sur le phytoplancton dans le Rhin et ses affluents montrent d'une part que les biomasses algales continuent à régresser au printemps et que l'état trophique s'améliore de ce fait. D'autre part, les efflorescences algales très visibles en été démontrent que le potentiel trophique de développement de biomasses algales élevées reste présent dans le Rhin comme dans ses affluents (en 2018 dans la Moselle et la Lahn) et que différentes espèces phytoplanctoniques peuvent en profiter.

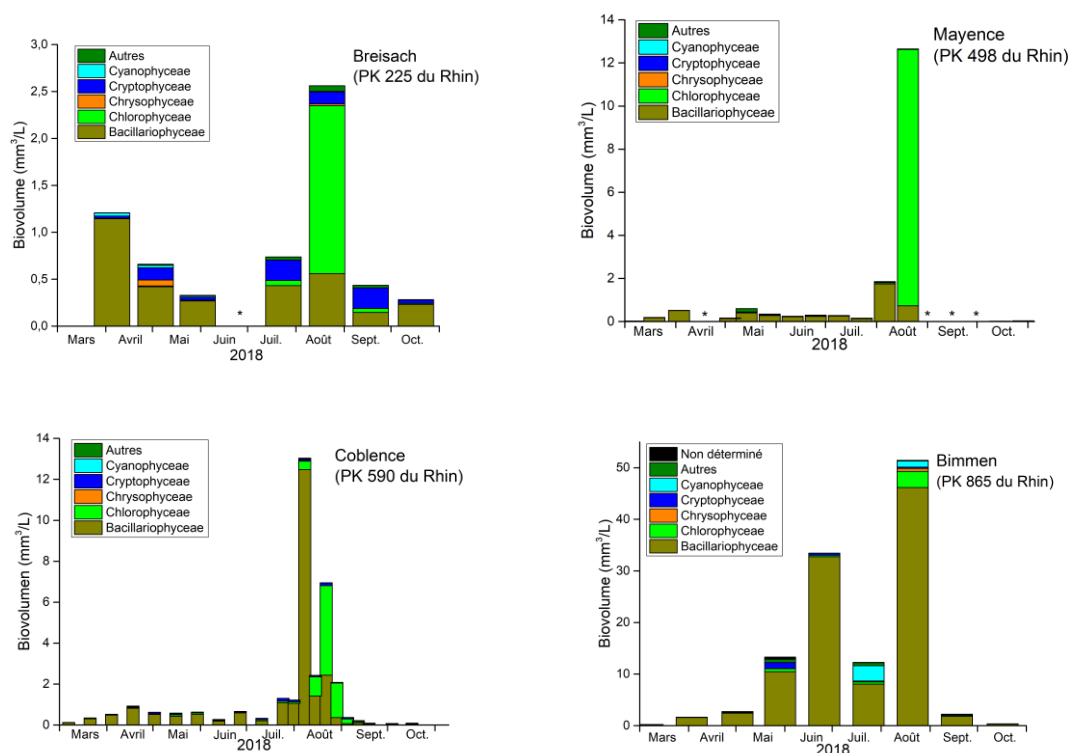


Figure 6 : biovolumes des différentes classes d'algues dans le courant de l'année à hauteur des stations de Breisach, Mayence, Coblenz et Bimmen (* = pas de prélèvements)

3.4 Zooplancton

Les organismes zooplanctoniques présents dans le Rhin et ses affluents se nourrissent pour la plupart de bactéries et de phytoplancton. Eux-mêmes constituent l'alimentation des poissons et sont donc un élément important de la chaîne alimentaire, surtout dans les zones riveraines et les eaux calmes.

En raison du nombre limité d'espèces et de la faible biomasse du zooplancton relevés pendant la campagne d'analyse 2012 (voir CIPR 2015), le zooplancton n'a été échantillonné que dans quelques stations d'analyse en 2018. En 2018, le nombre d'espèces et la biomasse sont également bas. La figure 7 montre le nombre d'organismes zooplanctoniques sélectionnés à hauteur des stations d'analyse de Coblenz et de Bimmen pour le Rhin, ainsi que dans les affluents Neckar et Moselle.

Les rotifères sont des organismes zooplanctoniques typiques des eaux courantes. Ils apparaissent généralement au printemps quand le développement phytoplanctonique est à son apogée (figure 7). C'est le cas en 2018 dans le Neckar, bien que l'efflorescence printanière du phytoplancton soit relativement peu prononcée avec un maximum de

20 µg/l de chla et de 40 unités de rotifères par litre. On note l'absence d'efflorescence algale dans la Moselle au printemps 2018. En conséquence, le nombre de rotifères est encore plus bas que dans le Neckar avec un maximum de 12 unités/l. Ceci vaut également de manière similaire pour le Rhin où ne sont détectées au plus que 9 unités/l dans les stations d'analyse de Coblenche et de Bimmen sur toute la campagne. Ce nombre très bas est surprenant car des efflorescences phytoplanctoniques marquantes sont survenues pendant la phase d'été, offrant une alimentation abondante aux rotifères. Ces blooms phytoplanctoniques ont peut-être été trop courts pour que les rotifères, dont le temps de régénération est long, aient pu y réagir.

On compte parmi les autres organismes zooplanctoniques typiques du Rhin les larves (dites véligères) des dreissènes *Dreissena polymorpha* et *Dreissena rostriformis bugensis*. Elles sont expulsées par les exemplaires adultes à un rythme apériodique et peuvent très rapidement apparaître en concentrations de plusieurs centaines d'unités par litre quand ces coquillages forment des peuplements massifs. En 2018 cependant, le nombre de larves véligères est relativement faible. Un chiffre élevé de 300 larves véligères/l n'est détecté que dans le Neckar. Le nombre de larves de ce coquillage reste à un bas niveau pendant toute l'année 2018 dans la Moselle et des prélèvements plus intensifs dans le Rhin à Coblenche ne font ressortir que des densités de 40 larves véligères/l au maximum. On suppose que ce faible nombre est dû à la régression de la dreissène polymorphe, espèce ayant immigré dans le Rhin et qui en est progressivement refoulée par la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*), espèce de plus grande taille et moins fréquente.

D'autres organismes zooplanctoniques ne sont représentés dans le Rhin et ses affluents Neckar et Moselle qu'en nombre limité. Le plancton crustacé (macrocrustacés - cladocères et copépodes) n'est présent qu'en très faible nombre dans le Rhin. Sur tout le linéaire du Rhin, les échantillons du Neckar font également tous ressortir des concentrations inférieures à 2 unités/l. Dans la Moselle, les crustacés sont plus fréquents et on en compte jusqu'à 26 unités/l, le plus souvent sous forme de larves de copépodes (« nauplius ») pendant l'efflorescence des cyanobactéries.

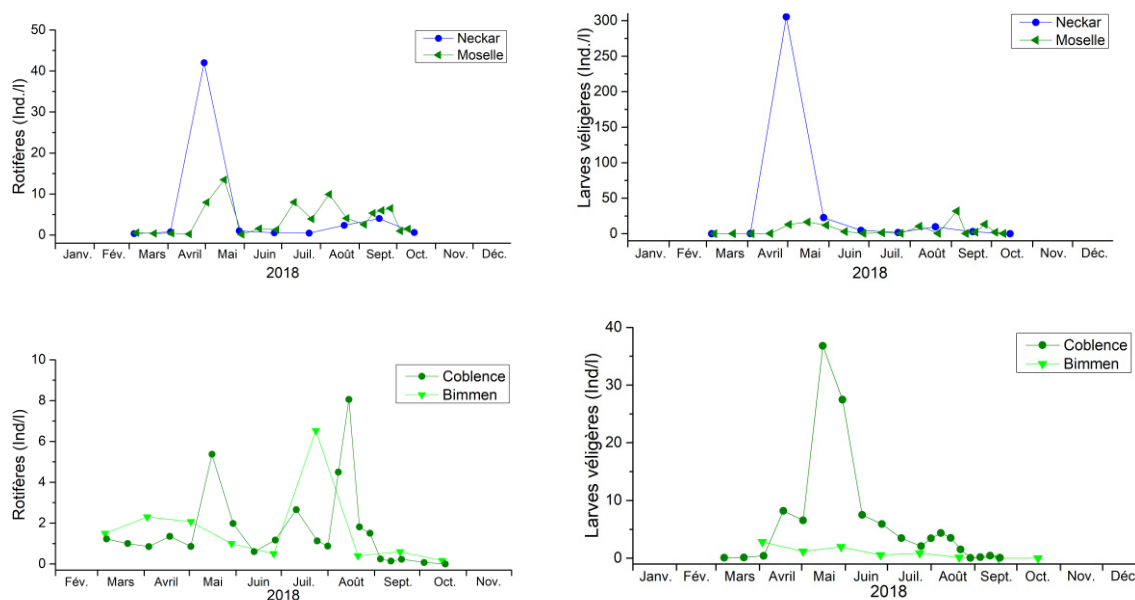


Figure 7 : concentration de zooplancton (unités/litre) dans le Rhin et certains de ses affluents en 2018

3.5 Comparaison des résultats avec les analyses antérieures

Les références bibliographiques FRIEDRICH & POHLMANN (2009) et HARDENBICKER et al. (2014) décrivent l'évolution du phytoplancton dans le Rhin sur une longue période de temps. Ces deux études mettent en relief sur le long terme une nette baisse des biomasses phytoplanctoniques correspondant au recul de la concentration en P total. Cette tendance est également clairement reconnaissable dans les figures 8 et 9. La concentration annuelle moyenne de P total passe de 0,56 mg/l en 1978 à 0,10 mg/l en 2018 à hauteur de la station d'analyse de Coblenz. Alors que l'on y observe encore au début des années 1990 des densités maximales de phytoplancton de 80 à 100 µg/l de chl_a, des valeurs aussi élevées n'apparaissent plus depuis. Le recul général des quantités phytoplanctoniques dans le Rhin n'est pas uniquement dû à la baisse des apports de phosphore mais aussi à une diminution des apports du lac de Constance et plus encore au broutage intensifié de la moule zébrée (*Dreissena sp.*) et de la palourde asiatique (*Corbicula sp.*), qui sont toutes deux des espèces exotiques (WEITERE & ARNDT 2002, HARDENBICKER et al. 2014, CIPR 2015).

Cependant, il est possible que les conditions hydrologiques et météorologiques actuelles se superposent aux tendances sur le long terme et encouragent la formation de blooms algaux saisonniers. Au cours d'une période printanière de fort débit, comme en 2009 et, en tendance, en 2018 également, le développement phytoplanctonique est faible, alors que le printemps 2011, qui a été sec et marqué par de faibles débits, a connu un pic phytoplanctonique extrêmement élevé et prolongé (figure 9). L'influence des conditions météorologiques est particulièrement visible pendant l'épisode d'étiage estival de 2018. Ici, le phytoplancton profite des temps d'écoulement prolongés, des températures élevées de l'eau et d'une activité ralentie des coquillages. Par conséquent, il existe toujours un potentiel de formation d'efflorescences algales dans le Rhin malgré la nette baisse des concentrations de phosphore total. Cette constatation démontre la variabilité interannuelle considérable des biomasses phytoplanctoniques.

Parallèlement au pic phytoplanctonique estival marquant déjà décrit plus haut, on note - en comparaison avec les chroniques antérieures - que le bloom algal du printemps 2018 est resté faible dans le Rhin. La figure 9 montre cet état de fait pour la station d'analyse de Coblenz. On note ici aussi une forte variabilité interannuelle des biomasses phytoplanctoniques. Dans l'ensemble, la dynamique phytoplanctonique exceptionnelle de 2018, qui est due à des conditions météorologiques particulières, montre clairement la nécessité urgente d'effectuer un monitoring durable du phytoplancton avec une grille de prélèvement fixant des pas de temps relativement rapprochés. Comme déjà décrit pour les stations d'analyse de Coblenz et de Düsseldorf-Flehe, des analyses de tendance de ces chroniques peuvent mettre en évidence les succès de la gestion des eaux et documenter les modifications environnementales survenant sur le long terme (cf. FRIEDRICH & POHLMANN 2009, HARDENBICKER et al. 2014).

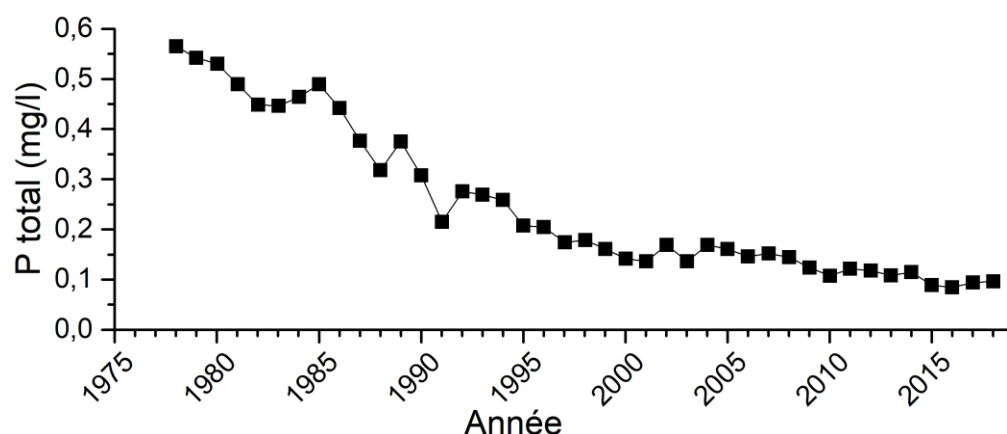


Figure 8 : évolution de la concentration de phosphore total (moyennes annuelles) au droit de la station d'analyse de Coblenz de 1978 à 2018.

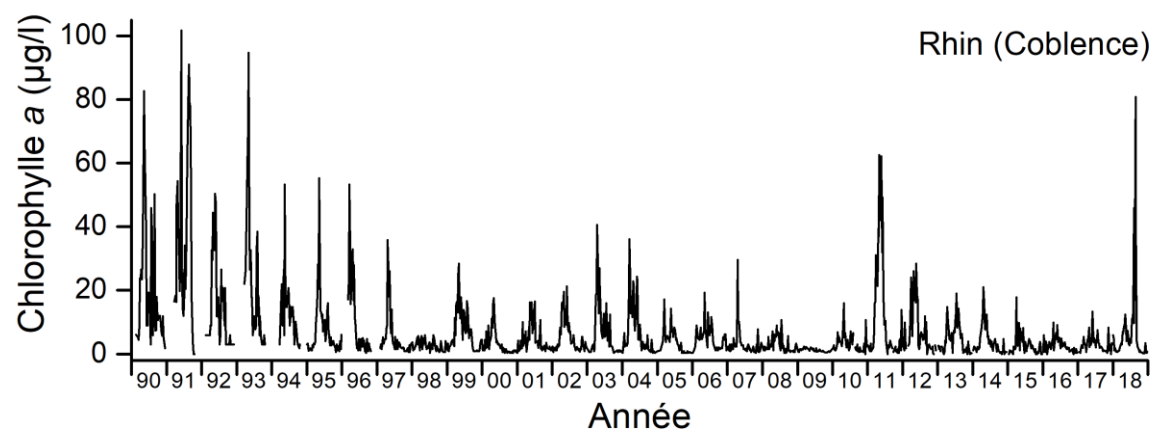


Figure 9 : évolution de la concentration de chlorophylle a à hauteur de la station d'analyse de Coblence depuis 1990.

4. Bibliographie

CIPR (2002) : Plancton dans le Rhin. Rapport n° 129-f.

CIPR (2009) : Le phytoplancton dans le Rhin. Programme d'analyse biologique Rhin 2006/2007, partie II-A. Rapport n° 169.

CIPR (2015) : Le phytoplancton du Rhin 2012. Rapport n° 224.

DULEBA, M., ECTOR, L., HORVATH, Z, KISS, K.T., MOLNAR, L.F., POHNER, Z., SZILAGYI, Z., TOTH, B., VAD, C.F., VARBIRO, G., ÁCS, E. (2014): Biogeography and phylogenetic position of a warm-stenotherm centric diatom, *Skeletonema potamos* (C.I. Weber) Hasle and its long-term dynamics in the river Danube. *Protist* 165, 715-729. DOI: 10.1016/j.protis.2014.08.001

FRIEDRICH, G. & M. POHLMANN (2009): Long-term plankton studies at the lower Rhine/Germany. – *Limnologica* 39, pp. 14-39.

HARDENBICKER, P., ROLINSKI, S., WEITERE, M. & H. FISCHER (2014): Temporal trends in the phytoplankton dynamics of the rivers Rhine and Elbe. - *International Review of Hydrobiology*, DOI: 10.1002/iroh.201301680

MISCHKE, U. & H. BEHRENDT (2007) : Handbuch zum Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-WRRL in Deutschland. Weißensee Verlag, Berlin.

MISCHKE, U. & U. RIEDMÜLLER (2013): Überarbeitung des Phytoplanktonverfahrens nach WRRL für Fließgewässer und Tool PhytoFluss 3.0. FKZ 371024207. Rapport final non publié.

VAN SPLUNDER, I., PELSMA, T.H.A.M. & A. BAK (2006) Richtlijnen Monitoring Oppervlaktewater Europese Kaderrichtlijn Water. Versie 1.3, augustus 2006. ISBN 9036957168.

AUTRE SOURCE, M. & H. Arndt (2002) Top-down effects on pelagic heterotrophic nanoflagellates (HNF) in a large river (River Rhine): do losses to the benthos play a role? – *Freshwater Biology* 47, 1437-1450. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2002.00875.x