



Le phytoplancton du Rhin 2012

mai 2015

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 224



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, télécopieur +49-(0)261-94252-52
Courriel électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 978-3-941994-83-6

© IKSr-CIPR-ICBR 2015

Le phytoplancton du Rhin 2012

Rédacteur responsable : Helmut Fischer, Bundesanstalt für Gewässerkunde ;
Collaborateurs : Mechthild Banning, Hessisches Landesamt für Umwelt und
Geologie (HLUG) ;
Thomas Ehlscheid, Landesamt für Wasserwirtschaft ;
Dr. Jochen Fischer (président du GE BMON), Landesamt für
Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-
Pfalz, ;
Jochen Lacombe, Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz (LANUV) ;
Jean-Luc Matte, 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 Milieu-
Rijkswaterstaat-WVL ;
Franz Schöll, Bundesanstalt für Gewässerkunde ;
Renate Semmler-Elpers, Landesanstalt für Umwelt,
Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (LUBW) ;
Sabine Zeller, Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Coordination et rédaction : Dr. Nathalie Plum et Dr. Laura Gangi
Commission Internationale pour la Protection du Rhin - CIPR

Traduction : Dominique Falloux, Isabelle Traue

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 | 11 |
| 3.3.1 <i>Dynamique spatiale et saisonnière de la teneur en chlorophylle</i> | 11 |
| 3.3.2 <i>Composition taxonomique du phytoplancton</i> | 13 |
| 3.4 Zooplancton | 14 |
| 3.5 Comparaison des résultats avec les analyses antérieures | 15 |
| 4. Evaluation de l'élément de qualité 'Phytoplancton' au titre de la DCE | 17 |
| 5. Références bibliographiques | 20 |
| Annexe 1: liste 2012 des taxons phytoplanctoniques dans le Rhin | 21 |

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. Les algues unicellulaires qui forment le phytoplancton constituent le plus souvent la majeure partie de la végétation aquatique. La prolifération de ces algues traduit un phénomène d'eutrophisation bien connu qui influe sur la qualité de l'eau. Le phytoplancton du Rhin a été analysé en 2012 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 mesurée sous forme de teneur en chlorophylle a et de biovolume est très restreinte sur le tronçon compris entre le lac de Constance et Karlsruhe. A hauteur de la station d'analyse de Karlsruhe, la biomasse augmente lentement et atteint son maximum dans le Rhin inférieur à hauteur de la station d'analyse de Bimmen / Lobith proche de la frontière germano-néerlandaise. Les affluents rhénans Neckar, Main et Moselle contribuent à cette hausse avec leurs teneurs comparativement élevées de phytoplancton. Plus en aval, la biomasse phytoplanctonique affiche à nouveau une légère baisse à mesure que l'on avance dans le delta. En termes de pourcentage, le phytoplancton est très largement dominé par les diatomées centriques, mais l'on relève également comme groupes algaux importants les cryptomonades et les chlorophycées. Les autres groupes ne sont que temporairement ou localement significatifs.

Le zooplancton qui se nourrit de phytoplancton a été recensé depuis le Rhin supérieur septentrional jusqu'au Rhin inférieur. Il augmente également de l'amont vers l'aval dans le Rhin mais les chiffres restent globalement faibles. On estime donc qu'il a peu d'impact destructeur sur le phytoplancton. Les rotifères sont les formes zooplanctoniques les plus fréquentes, mais on note que les larves de bivalves en suspension libre dans les eaux tiennent temporairement une place importante.

La biomasse phytoplanctonique est légèrement plus élevée en 2012 que dans le cadre des programmes de suivi effectués en l'an 2000 ainsi qu'en 2006/2007. Considérée dans le long terme, l'évolution de la biomasse planctonique reste en tendance à un niveau bas par rapport aux données des années 1980. Cette tendance dans le long terme est en corrélation avec la baisse des concentrations de nutriments et des apports phytoplanctoniques du lac de Constance. Elle est aussi probablement due en partie à l'activité de filtration de bivalves allochtones.

Le haut Rhin et du Rhin supérieur sont globalement dans un « très bon » état phytoplanctonique jusqu'à la station d'analyse de Mayence-Wiesbaden, à partir de laquelle le Rhin passe à un bon état qui s'étend sur le Rhin inférieur jusqu'à Cologne et Dusseldorf. A partir de la station d'analyse de Duisbourg, l'état du Rhin inférieur devient moyen. Le phytoplancton n'a pas été évalué dans les eaux du delta du Rhin. Le phytoplancton atteint le bon état dans les eaux côtières et dans la mer des Wadden (cf. tableau 9). Cet état n'est cependant pas encore aussi stable dans la mer des Wadden que dans les eaux côtières. L'état de la partie est de la mer des Wadden est moins bon que celui de la partie ouest.

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. Les algues unicellulaires qui forment le phytoplancton constituent le plus souvent la majeure partie de la végétation aquatique. La prolifération de ces algues traduit un phénomène d'eutrophisation bien connu qui influe sur la qualité de l'eau.

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. 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 doublement 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 polymorpha* et la palourde asiatique *Corbicula fluminea*). Lorsque les concentrations zooplanctoniques sont très élevées ou que les populations de bivalves sont 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 le chapitre 4 de même que dans les plans de gestion nationaux. Alors que le Plan de Gestion (PdG) 2009 englobe les données tirées du programme de surveillance 2006/2007, le projet de PdG 2014 se fonde sur les résultats du programme de surveillance 2012. Les paragraphes suivants présentent tout d'abord la dynamique planctonique du Rhin en 2012 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 comparaison aux analyses antérieures.

2. Méthodes

2.1. Champ d'analyse

Le champ d'analyse du « programme d'analyse biologique Rhin 2012 » 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, Messungen und Naturschutz (LUBW), Karlsruhe |
| | Rhénanie-Palatinat : Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG), Mayence |
| | Hesse : Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), 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 |

Tableau 1: liste des stations avec autorité

| 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 2012 ont été comparés avec les résultats de programmes d'analyse antérieurs et examinés en relation avec les évolutions dans le long terme.

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

- Concentrations de chlorophylle a (Chla) 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 Chla ont été dosées selon une norme DIN dans les laboratoires des institutions associées au programme. A l'opposé de ce qui a été fait dans le rapport 2006/2007 (CIPR 2009), mais conformément aux rapports précédents (par ex. CIPR 2002) 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 comptage diamétral 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). 2006).

Le zooplancton, facteur éventuel d'impact sur le phytoplancton, a été prélevé dans des stations d'analyse sélectionnées en aval de Mayence. A 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 qui 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 2012. Les pointes de débit relevées en janvier (la première survenant à Rees avec $6\,870\text{ m}^3/\text{s}$, une valeur légèrement supérieure à la moyenne pluriannuelle (chronique MHQ 1930-2010, $6\,670\text{ m}^3/\text{s}$) retombent rapidement à un niveau relativement bas dans la poursuite de l'hiver et se maintiennent à ce niveau jusqu'à début avril. Les débits remontent à nouveau légèrement vers la fin du printemps et au début de l'été puis redescendent à la fin de l'été pour atteindre leur niveau annuel le plus bas. La valeur correspondante de $1\,190\text{ m}^3/\text{s}$ à Rees est malgré tout un peu supérieure à la moyenne pluriannuelle des étiages (chronique MNQ 1930-2010, $1\,070\text{ m}^3/\text{s}$). Après quelques petites pointes à l'automne, le débit atteint fin décembre 2012 à peu près le niveau du débit maximal relevé en janvier 2012. En 2012, le débit annuel moyen de $2\,315\text{ m}^3/\text{s}$ correspond globalement à la moyenne pluriannuelle ($2\,290\text{ m}^3/\text{s}$).

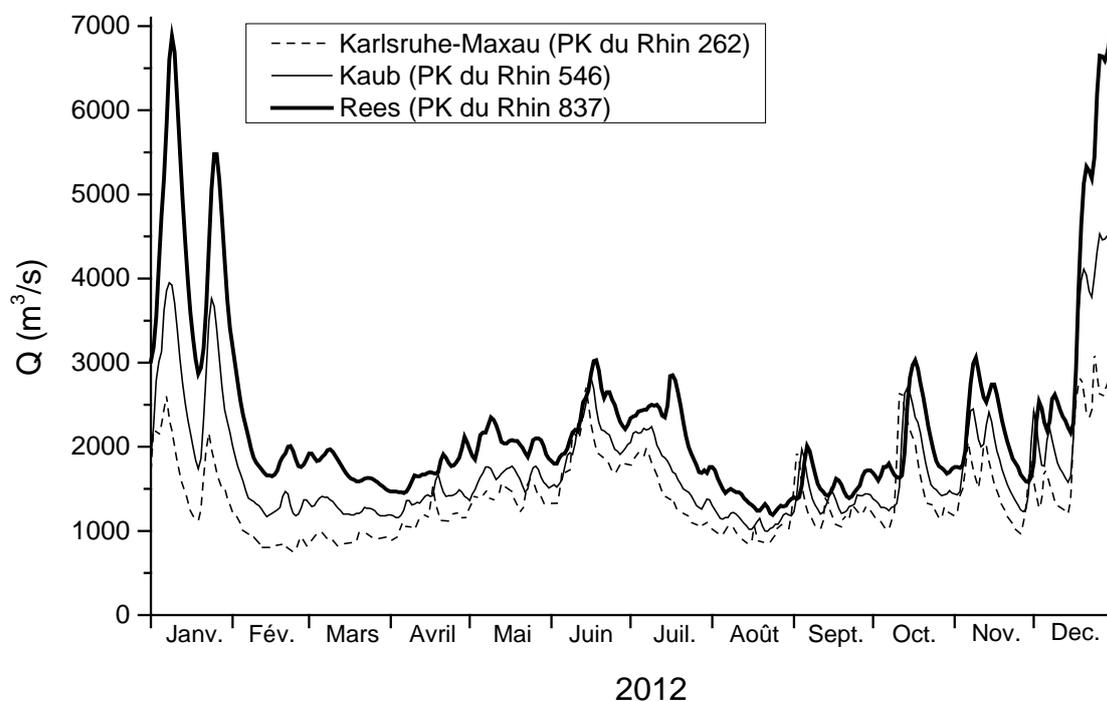


Fig. 1 : moyennes hydrologiques journalières aux échelles de Karlsruhe-Maxau (Rhin supérieur), Kaub (Rhin moyen) et Rees (Rhin inférieur) en 2012.

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).

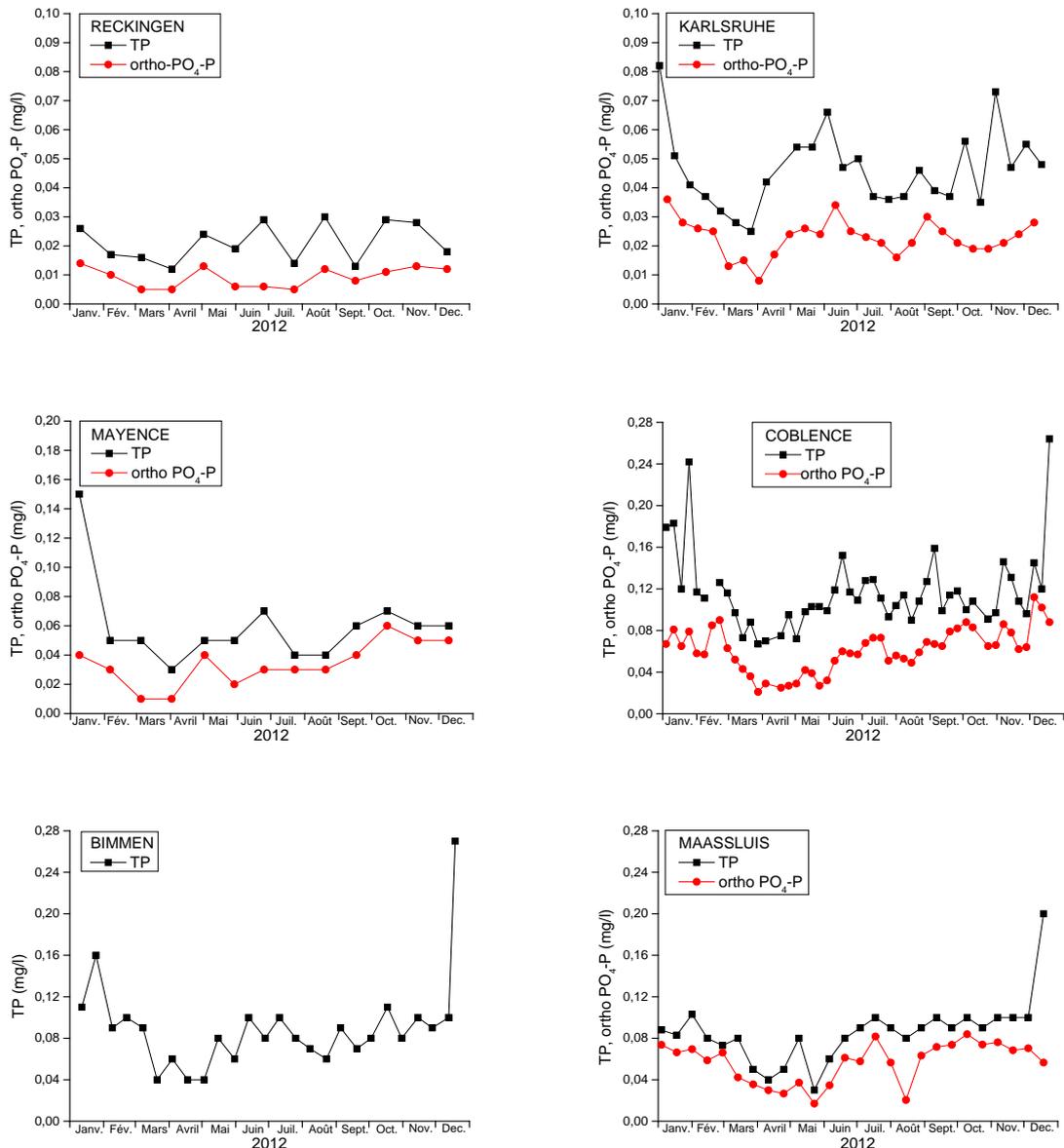


Fig. 2 : concentrations de P total (TP) et d'ortho PO₄-P en 2012 à hauteur de stations d'analyse sélectionnées le long du Rhin.

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 et en décembre. Sur le linéaire du Rhin, les concentrations de P total augmentent, passant de 21 µg/l en moyenne à Reckingen à 104 µg/l à Coblenze (moyenne saisonnière de mars à octobre). Elles retombent ensuite à un niveau légèrement inférieur avec 74 µg/l à Bimmen et 76 µg/l à Maassluis. Les concentrations d'orthophosphate P sont inférieures à la limite de détection de 5 µg/l (données non affichées) pratiquement toute l'année 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 valeurs de 65 µg/l à Coblenche et 51 µg/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 mesure les concentrations les plus basses le plus souvent pendant le bloom phytoplanctonique printanier (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.

Les concentrations d'autres nutriments (ammonium, nitrates, silicate dissous) figurent dans le tableau 2. Lors des phases de bloom planctonique, le silicate est resté un nutriment limitant pour le développement des diatomées jusque dans les années 1990, mais il n'a pas été totalement consommé en 2012 en raison du faible développement planctonique global. Les concentrations de silice restent cependant fortement influencées par le phytoplancton. Ainsi, les concentrations les plus basses, nettement inférieures aux moyennes annuelles, sont constatées pendant la phase de bloom printanier des diatomées avec 0,57 mg/l SiO₂-Si à hauteur de Coblenz et 0,47 mg/l à Maassluis.

Tab. 2 : moyennes saisonnières (mars - octobre 2012) de nutriments sélectionnés le long du Rhin. Les données de phosphore sont présentées dans la fig. 2.

| Station | NH ₄ -N (mg/l) | NO ₃ -N (mg/l) | TN (mg/l) | SiO ₂ -Si (mg/l) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|
| Reckingen | 0,03 | 1,0 | 1,2 | 1,1 (0,7 – 1,5) |
| Karlsruhe | 0,03 | 1,2 | 1,5 | 1,4 (0,9 – 2,1) |
| Mayence* | 0,02 | 1,44 | 1,7 | 1,4 (0,8 – 1,9) |
| Coblenz | 0,02 | 1,47 | 1,96 | 1,60 (0,57 – 4,72) |
| Bimmen | <0,05 | 1,9 | 2,3 | |
| Maassluis | 0,08 | 1,68 | 2,23 | 1,36 (0,47 – 2,53) |

* Echantillon 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 (tab. 3). Dans quelques affluents, les concentrations minimales de SiO₂-Si sont inférieures à 0,5 mg/l et, par là même, de l'ordre de la limitation de silicium pour les diatomées.

Tab. 3 : valeurs saisonnières moyennes (de mars à octobre 2012) de paramètres sélectionnés au débouché des affluents et dans le Rhin

| Station | TP (mg/l) | TN (mg/l) | SiO ₂ -Si (mg/l) |
|---------|-----------|-----------|-----------------------------|
| Aar | 0,033 | | |
| Neckar | 0,20 | 4,4 | 2,02 (<0,5 – 3,8) |
| Main | 0,18 | 3,86 | 1,6 (1,1 – 3,1)* |
| Nahe | 0,19 | 3,36 | 2,9 (0,7 – 4,3) |
| Lahn | 0,18 | 2,96 | 4,7 (2,1 – 5,9) |
| Moselle | 0,17 | 3,65 | 2,44 (0,17 – 3,58) |

* Echantillon de silicium extrait de la conduite 4 de la station d'analyse de Mayence, représentative pour l'essentiel du Main.

3.3 Phytoplancton

3.3.1 Dynamique spatiale et saisonnière de la teneur en chlorophylle

La concentration de chlorophylle a sert à mesurer la biomasse du phytoplancton. Les concentrations de chlorophylle représentées ici sont les concentrations « corrigées » selon la méthode internationale usuellement appliquée, c'est-à-dire après retrait de la part tenue par les phéopigments (cf. MISCHKE & RIEDMÜLLER 2013). La concentration de chlorophylle est utilisée pour caractériser la dynamique phytoplanctonique.

La figure 3 montre le développement du phytoplancton du Rhin sur l'axe longitudinal avec les moyennes saisonnières et les concentrations maximales. En sortie du lac de Constance, la dynamique planctonique et l'éventail des espèces sont encore caractérisés par le lac inférieur du lac de Constance. La masse phytoplanctonique reste relativement basse (moyenne saisonnière de 3,3 µg/l Chla en sortie du lac à Öhningen) du fait de l'état entre-temps fortement oligotrophe du lac de Constance. Les valeurs saisonnières évoluent peu vers l'aval dans le haut Rhin, bien que l'on relève des maxima jusqu'à 20 µg/l Chla à hauteur de la station d'analyse de Reckingen. Les concentrations phytoplanctoniques restent encore très faibles avec 2,0 µg/l Chla en moyenne saisonnière également à Karlsruhe.

Plus en aval, les moyennes saisonnières des concentrations de chlorophylle augmentent sensiblement pour atteindre 9,0 µg/l à Coblenze et 18,9 µg/l à Bimmen. La concentration maximale est mesurée à Bimmen en mai avec 61,5 µg/l. Les chiffres sont un peu plus bas à Maassluis où l'on relève des concentrations de Chla de 7,7 µg/l en moyenne et de 38 µg/l au maximum (figures 3 et 4).

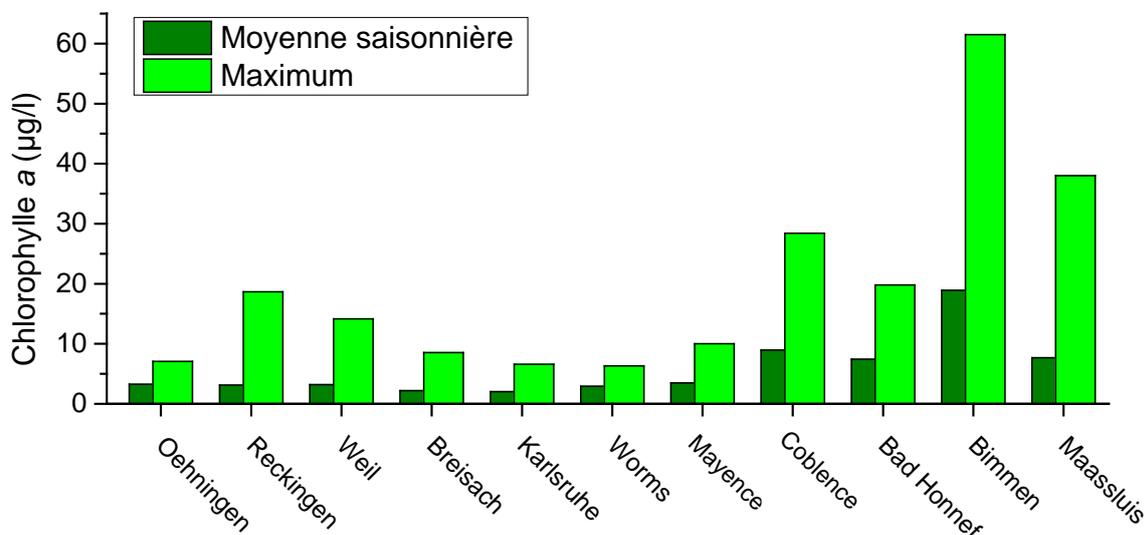


Fig. 3: concentration moyenne saisonnière (mars à octobre) et maximale de chlorophylle en 2012 le long du Rhin

La figure 4 affiche la dynamique saisonnière des concentrations de chlorophylle dans le Rhin à Karlsruhe, Coblenze et Bimmen. Les concentrations globalement très basses de chlorophylle mesurées à Karlsruhe sur l'ensemble de l'année constituent le point de départ de l'évolution plus en aval. Cette évolution est marquée par des processus de croissance et de déclin sur le linéaire et par l'impact des affluents.

On note à Coblenze un premier pic distinct de chlorophylle dès fin mars. Il est suivi de deux autres maxima en avril et mai avec respectivement 26,1 µg/l et 28,4 µg/l Chla. La concentration maximale de chlorophylle mesurée à Bimmen l'est également en mai avec

61,5 µg/l Chla. Cette valeur est la plus haute mesurée en 2012 dans le Rhin. Pendant la phase de débit minimal d'août, on relève à Bimmen un pic estival de phytoplancton non aussi nettement perceptible dans les autres stations du Rhin ou dans la plupart des affluents rhénans.

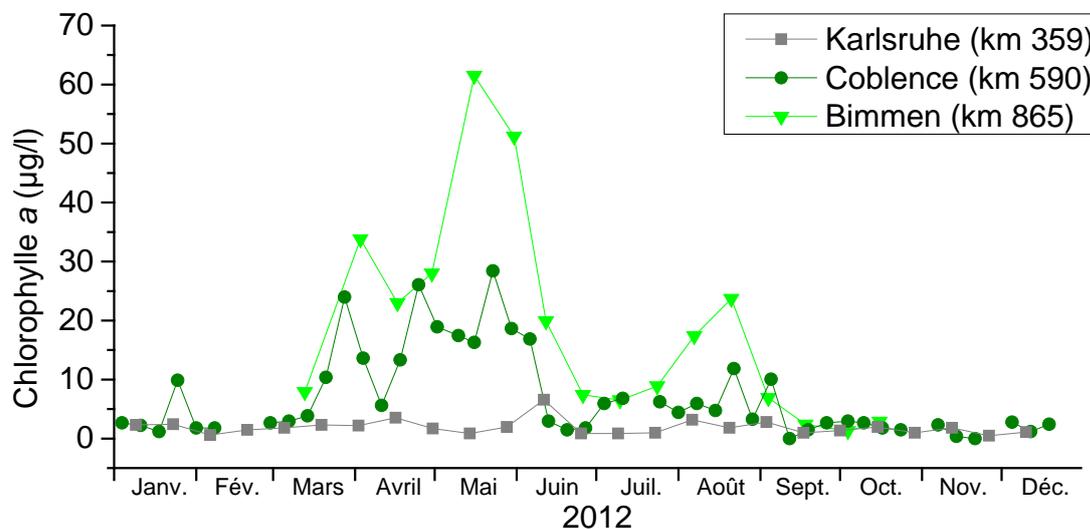


Fig. 4 : évolution saisonnière de la concentration de chlorophylle à hauteur des stations d'analyse de Karlsruhe, Coblenze et Bimmen

Quelques affluents du Rhin laissent apparaître un développement planctonique plus marqué que dans le Rhin même (fig. 5). Les concentrations de chlorophylle les plus élevées sont mesurées dans le Neckar avec 140 µg/l Chla. Les autres affluents rhénans canalisés connaissent également des blooms phytoplanctoniques printaniers marqués avec des valeurs maximales d'env. 50 µg/l Chla (Moselle et Lahn) et 80 µg/l Chla (Main). Le maximum est constaté sur la Moselle dès la fin mars, mais ne reste que brièvement à ce niveau alors que les maxima du Neckar et du Main se maintiennent jusqu'en juin. Le Main est le seul affluent où se forme également un bloom phytoplanctonique marquant vers la fin de l'été (août et septembre).

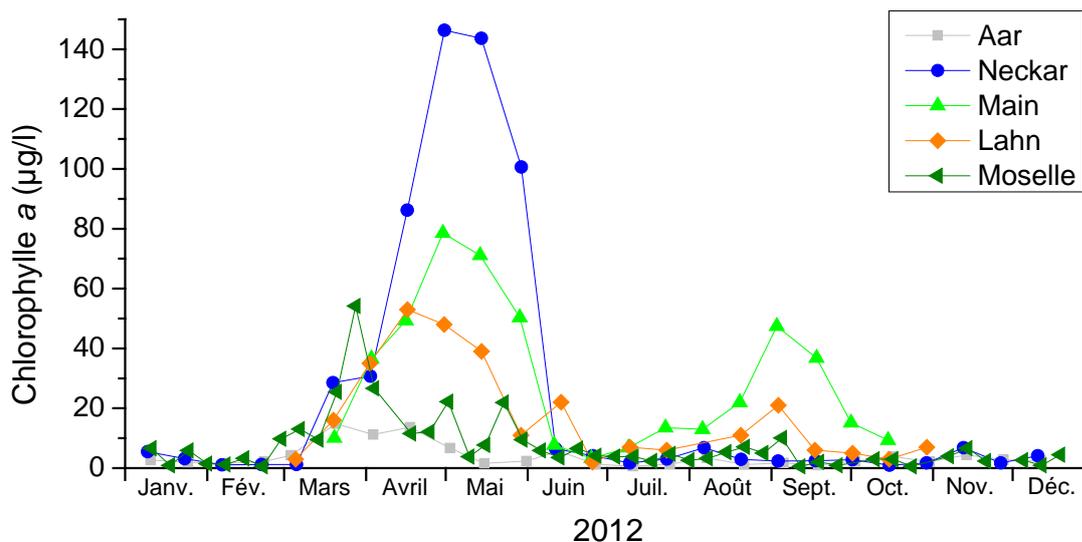


Fig. 5 : concentration de chlorophylle a dans les affluents du Rhin : Aar, Neckar, Main, Lahn et Moselle. Données de la station respectivement la plus proche du débouché dans le Rhin.

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 (classe de bacillariophycées) couvrent de loin la part la plus importante de la biomasse. Notamment pendant la phase de croissance maximale du phytoplancton au printemps, elles représentent largement plus de 90% du biovolume phytoplanctonique total à hauteur des stations d'analyse de Mayence et de Coblenz. A Bimmen, le pourcentage de diatomées correspond fin mai exactement à 90 % du volume total. Dans le courant de l'année, ce pourcentage redescend tout en restant cependant bien supérieur à 50 % dans la plupart des échantillons analysés.

La part occupée par les cryptomonades (cryptophycées) gagne en importance en été à Coblenz où elle atteint jusqu'à 24 %. Le pourcentage de chlorophycées augmente également à hauteur des stations d'analyse de Coblenz et de Bimmen au cours de l'été. Pendant le bloom planctonique estival, les chrysophycées représentent jusqu'à 37 % du volume phytoplanctonique total à Bimmen. Les cyanobactéries (cyanophycées) n'apparaissent qu'à l'automne dans des concentrations notables dans les stations de Mayence et de Coblenz.

Parmi les diatomées, les taxons dominants à Mayence pendant la période d'efflorescence printanière sont surtout des diatomées centriques caractérisées par un pourcentage élevé, mais néanmoins variable, des espèces *Stephanodiscus hantzschii* et *Melosira varians*, auxquelles s'ajoute la diatomée pennale *Diatoma vulgare*. Plus tard dans l'année, le genre *Skeletonema* (*S. subsalva* et *S. potamos*) des diatomées centriques prend une place dominante.

Les diatomées centriques (*Stephanodiscus* spp., *Melosira varians* et *Cyclotella* spp.) dominant également à Coblenz pendant le printemps. De même, on note la constitution de biomasses importantes de *Diatoma vulgare*. Comme à Mayence, les deux espèces du genre *Skeletonema* et la diatomée pennale *Navicula* spp. apparaissent plus fréquemment au cours de l'été. Parmi les cryptophycées, le genre *Cryptomonas* est celui constituant de loin la biomasse la plus conséquente, suivi du genre *Rhodomonas*. Parmi les chlorophycées, qui ne représentent globalement qu'un faible pourcentage de la biomasse, le genre dominant au printemps est *Chlamydomonas*, auquel succède temporairement plus tard dans l'année le genre *Willea*. Tout comme à Mayence, les cyanophycées, qui n'apparaissent qu'à l'automne, sont dominées par le genre *Oscillatoria*.

Le bloom printanier des diatomées à Bimmen est caractérisé par les mêmes taxons que dans les stations d'analyse situées plus en amont. L'espèce *Stephanodiscus hantzschii* occupe de loin la part prépondérante de la biomasse, en particulier pendant le pic phytoplanctonique de fin mai. On relève en outre la présence en proportions élevées des espèces *Actinocyclus normanii* et *Cyclotella meneghiniana*. Les algues brunes entrent pour la plupart dans le groupe non déterminé des chrysophycées (FRITSCH in G.S.WEST & FRITSCH, 1927).

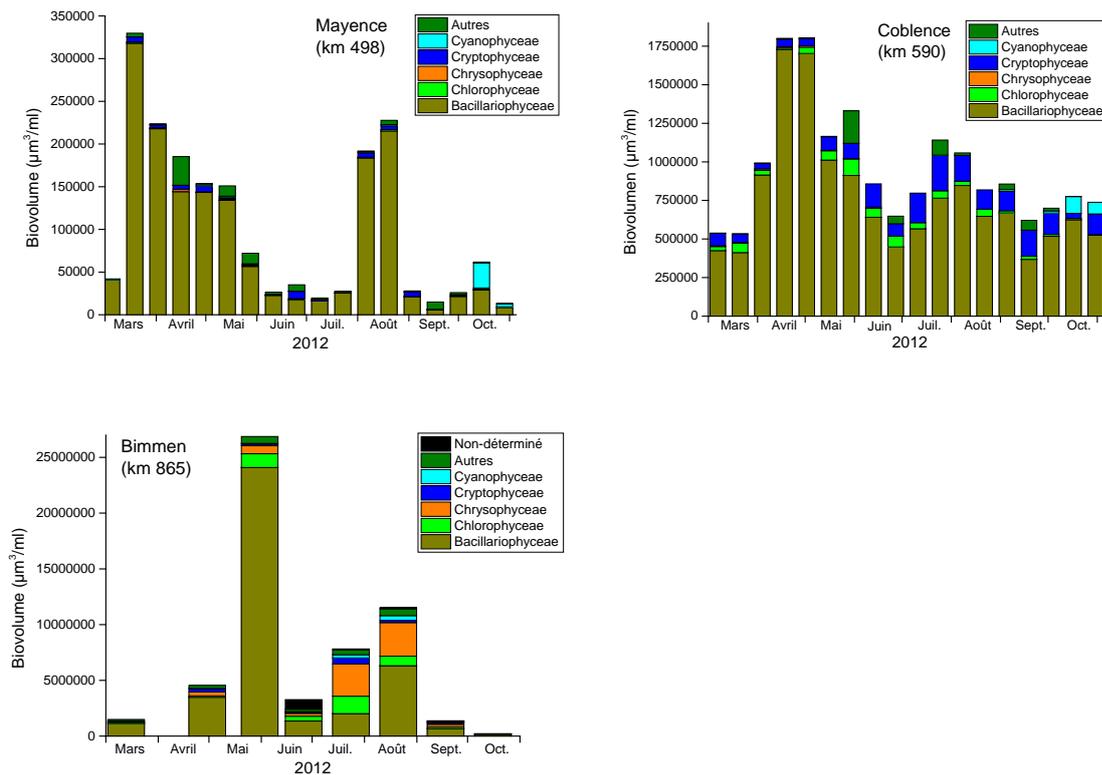


Fig. 6 : biovolumes des différentes classes d'algues dans le courant de l'année à hauteur des stations de Mayence, Coblenz et Bimmen.

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.

Le nombre et la biomasse des organismes zooplanctoniques reste globalement très bas. On ne relève de concentrations de plus de 100 exemplaires/litre pendant le bloom planctonique printanier que pour quelques dates de prélèvement. Le total des espèces zooplanctoniques augmente vers l'aval sur le linéaire du Rhin mais il reste si faible, même dans le Rhin inférieur (station d'analyse de Bimmen), qu'il n'a qu'un impact mineur sur la biomasse phytoplanctonique.

Les rotifères sont les organismes zooplanctoniques les plus fréquents. On les observe en général au printemps avec le pic phytoplanctonique (fig. 7). Les genres *Synchaeta*, *Brachionus* et *Keratella* avec respectivement plusieurs espèces sont les plus fréquents. Dans le Neckar, un deuxième pic de zooplancton dominé par le genre *Cephalodella* est apparu à la fin de l'été. Les genres susmentionnés se nourrissent de phytoplancton. Le nombre de rotifères carnivores est très faible.

Outre les rotifères, les larves flottantes de la moule zébrée (larves dites véligères) dominent le zooplancton du Rhin et de ses affluents. Au printemps, elles atteignent dans le Rhin des densités de quelque 70 ind./l et sont même plus fréquentes que les rotifères. Dans les affluents du Rhin, on a trouvé jusqu'à 180 larves véligères/l (fig. 7).

Le plancton crustacé (macrocrustacés - cladocères et copépodes) n'est présent qu'en très faible nombre dans le Rhin. Sa densité reste inférieure à 5 ind./l dans tous les échantillons sur l'ensemble du linéaire du Rhin. Dans les affluents, les crustacés sont un peu plus fréquents. On relève jusqu'à 30 ind./l, le plus souvent des larves de copépodes (« nauplius »), durant le printemps.

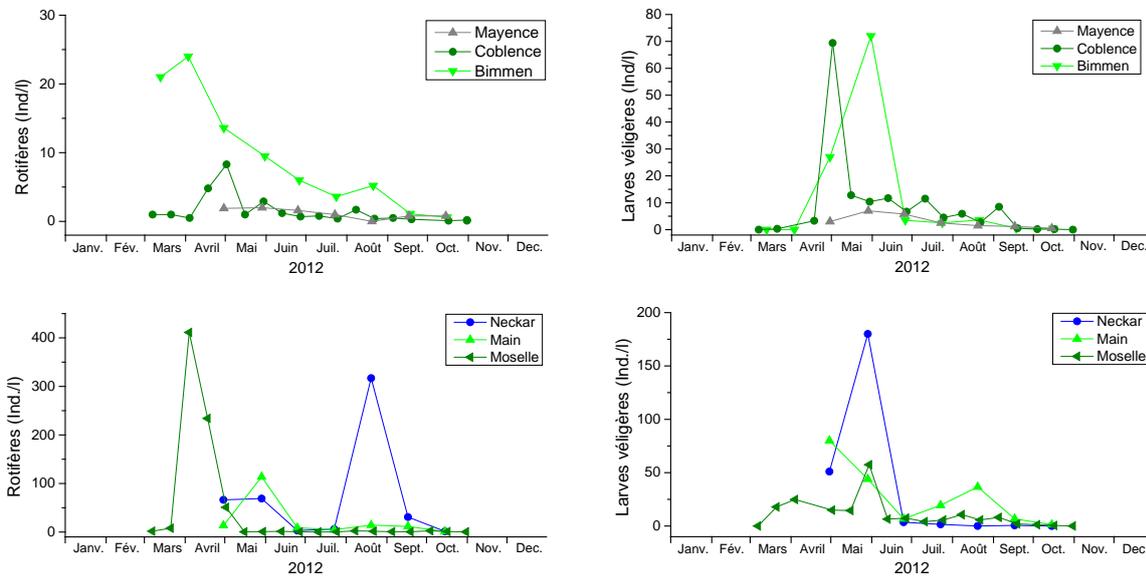


Fig. 7 : concentration de zooplancton (individus/litre) dans le Rhin et certains de ses affluents en 2012

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 0,12 mg/l en 2012. Alors que l'on y constate encore au début des années 1990 des densités maximales de phytoplancton de 80 à 100 µg/l Chl_a, des valeurs aussi élevées n'apparaissent plus par la suite. Il est cependant probable que le recul des quantités phytoplanctoniques dans le Rhin ne soit pas uniquement dû à la baisse des apports de P, mais 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.*), espèces allochtones (WEITERE & ARNDT 2002, HARDENBICKER et al. 2014).

La figure 9 met également en évidence la variabilité interannuelle des biomasses phytoplanctoniques. On note un faible développement phytoplanctonique surtout quand la période printanière est marquée, comme en 2009, par un fort débit alors qu'un printemps sec et à faible débit, comme celui de 2011, se traduit par un pic phytoplanctonique extrêmement élevé et prolongé. Les conditions hydrologiques et météorologiques en présence masquent donc fortement, par superposition, la tendance dans le long terme.

En comparant 2012 avec les séries d'analyse de 2000 et de 2006/2007, on constate que la biomasse phytoplanctonique connaît un développement un peu plus marqué en 2012

que lors des années d'analyses antérieures (cf. CIPR 2002 ; 2009). La figure 9 montre cet état de fait pour la station d'analyse de Coblenz. On a relevé à Coblenz et Bimmen en 2006/2007 des concentrations totales de pigments correspondant globalement aux concentrations de Chla mesurées en 2012. Comme les concentrations totales de pigments contiennent également la phéophytine, on peut en tirer la conclusion que les concentrations de Chla étaient globalement plus basses lors de la campagne d'analyse 2006/2007. En l'an 2000, les concentrations maximales de Chla étaient également légèrement inférieures à celles de 2012. On ne peut cependant pas en déduire une tendance dans le long terme, par ex. au sens d'une remontée des biomasses phytoplanctoniques. Cet exemple exprime plutôt la variabilité interannuelle des masses phytoplanctoniques. Il conviendrait donc d'effectuer chaque année un suivi prolongé ancré sur un raster de prélèvements relativement rapprochés dans le temps, pour en tirer des analyses de tendances, comme dans les stations de Coblenz et de Düsseldorf-Flehe (cf. données dans LES REFERENCES BIBLIO. FRIEDRICH & POHLMANN 2009, HARDENBICKER et al. 2014).

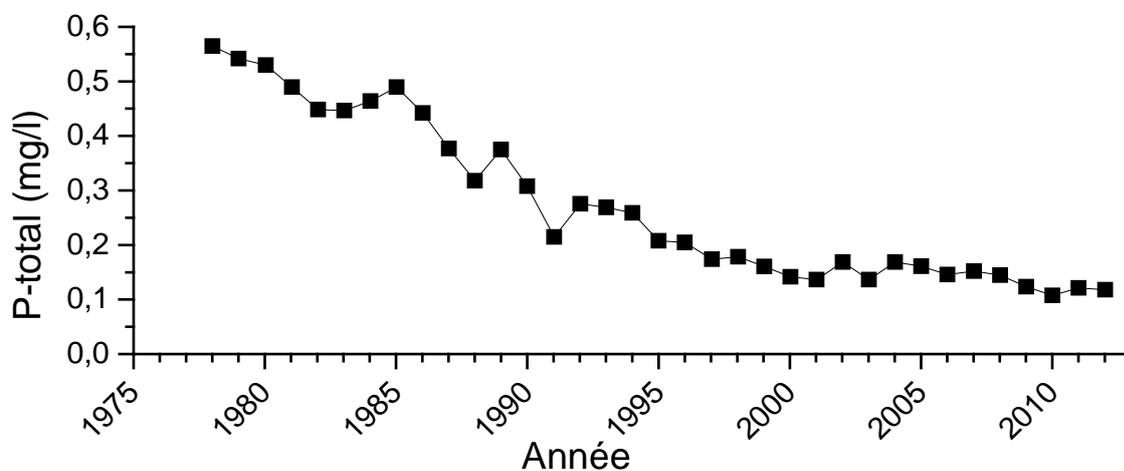


Fig. 8 : évolution de la concentration de phosphore total (moyennes annuelles) au droit de la station d'analyse de Coblenz de 1978 à 2012.

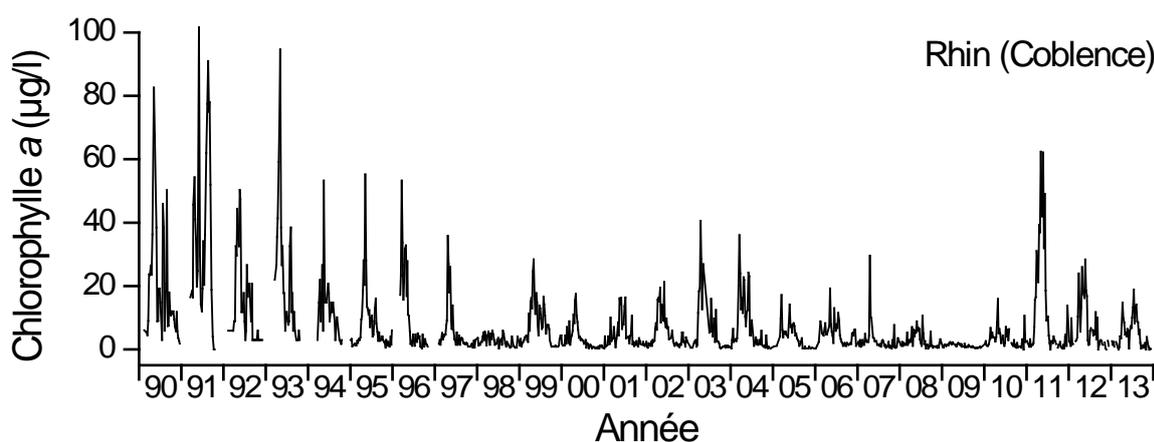


Fig. 9 : évolution de la concentration de chlorophylle a à hauteur de la station d'analyse de Coblenz depuis 1990.

4. Evaluation de l'élément de qualité 'Phytoplancton' au titre de la DCE

Pour l'élément de qualité biologique 'phytoplancton', l'Allemagne a appliqué la méthode « PhytoFluss » (voir ci-dessous) pour évaluer l'état écologique conformément à la directive cadre européenne Eau. Les données brutes des stations de prélèvement sur le haut Rhin germano-suisse ont été mises à disposition pour l'évaluation réalisée selon la méthode allemande. En outre, les eaux de transition et les eaux côtières ont été évaluées selon la méthode néerlandaise.

La méthode d'évaluation allemande appliquée au phytoplancton a été modifiée de manière déterminante depuis le dernier rapport établi en 2009 (CIPR 2009). Dans la version « PhytoFluss 3.0 »¹, l'« indice spécifique du potamoplancton » (TIP) a été remplacé par de nouvelles listes d'indicateurs agissant pour la plupart au niveau de l'espèce et susceptibles de mettre en évidence la teneur en phosphore total. Dans son indicateur « biomasse », le système d'évaluation intègre à présent la biomasse maximale du phytoplancton en plus de la valeur moyenne. Parmi d'autres modifications, par exemple dans la pondération des indicateurs individuels relatifs à différents groupes d'algues, la valeur corrigée de la chlorophylle est prise comme mesure de la biomasse.

L'évaluation de l'état ou du potentiel du Rhin et de ses grands affluents basée sur l'élément de qualité biologique 'Phytobenthos' est présentée dans le tableau 4. Le haut Rhin et du Rhin supérieur sont globalement dans un « très bon » état phytoplanctonique jusqu'à la station d'analyse de Mayence-Wiesbaden, à partir de laquelle le Rhin passe à un bon état qui s'étend sur le Rhin inférieur jusqu'à Cologne et Dusseldorf. A partir de la station d'analyse de Duisbourg, l'état du Rhin inférieur devient moyen.

Conformément à la DCE européenne, Le phytoplancton a été évalué dans les eaux côtières et les eaux de transition mais il ne l'a pas été dans les eaux du delta du Rhin (voir ci-après).

¹ Les Länder fédéraux allemands riverains du Rhin ont convenu d'utiliser la méthode PhytoFluss 3.0 (Mischke und Riedmüller 2013) en raison de sa plus grande plausibilité par rapport à la version précédente encore en vigueur (version 2.2). Au niveau des résultats, les deux versions restent très similaires.

Tableau 4 : évaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion 2009 et le projet de PdG 2014

| Evaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour le PdG 2009 et le projet de PdG 2014 | | | | | | | très bon | 1 |
|---|-------------------|--|---------------|--------------------|-----------------------------------|----------|--------------------|---|
| | | | | | | | bon | 2 |
| Mise à jour : mai 2015 | | | | | | | moyen | 3 |
| Evaluation des éléments de qualité non requise | | | | | | | médiocre | 4 |
| pas de recensement ou d'évaluation de l'élément / base de données insuffisante | | | | | | | mauvais | 5 |
| masse d'eau | PK | Station d'analyse CIPR du contrôle de surveillance dans la masse d'eau | Etat / Land | Catégorie PdG 2009 | Catégorie dans projet de PdG 2014 | PdG 2009 | Projet de PdG 2014 | |
| LAC DE CONSTANCE | | | | | | | | |
| BOD-OS Lac supérieur du lac de Constance | aucun kilométrage | Fischbach-Uttwil | DE-BW | naturelle | naturelle | 2 | 2 | |
| BOD-USR Lac du Rhin dans le lac inférieur du lac de Constance | | | DE-BW | naturelle | naturelle | | 2 | |
| BOD-USZ Lac de Zeller dans le lac inférieur du lac de Constance | | Lac de Zeller | CH / St. Gall | naturelle | naturelle | 2 | 2 | |
| HAUT RHIN (Lac de Constance – Bâle) | | | | | | | | |
| Haut Rhin 1 - du lac de Constance au débouché de l'Aar | 24-102,7 | Sortie du lac inférieur Öhningen, Reckingen | CH / DE-BW | naturelle | naturelle | | 1 | |
| Haut Rhin 2 - du débouché de l'Aar à Bâle | 102,7-170 | | CH / DE-BW | fortement modifiée | naturelle | | 1 | |
| RHIN SUPERIEUR (Bâle - Bingen) | | | | | | | | |
| Rhin supérieur 1 - OR 1 - Vieux Rhin de Bâle à Breisach | 170-225 | Weil am Rhein | CH / DE-BW | fortement modifiée | fortement modifiée | | 1 | |
| Rhin supérieur 2 - OR 2 - Rhin 2 - Ensemble de festons du Rhin de Breisach à Strasbourg | 225-292 | en amont de Rhinau | DE-BW | fortement modifiée | fortement modifiée | | 1 | |
| Rhin supérieur 3 - OR 3 - Rhin 3 - Rhin canalisé de Strasbourg à Iffezheim | 292-352 | Karlsruhe | DE-BW | fortement modifiée | fortement modifiée | | 1 | |
| Rhin supérieur 4 - OR 4 - Rhin 4 - Du barrage d'Iffezheim jusqu'en amont du débouché de la Lauter | 352-428 | | DE-BW | fortement modifiée | fortement modifiée | | 1 | |
| Rhin supérieur 5 - OR 5 - Débouché de la Lauter jusqu'au débouché du Neckar | 352-428 | | DE-BW | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 1 | |
| Rhin supérieur 6 - OR 6 - Débouché du Neckar jusqu'au débouché du Main | 428 - 497 | Worms | DE- RP | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 1 | |
| Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main ju | 497 - 529 | de Mayence/Wiesbaden | DE- RP | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 2 | |
| RHIN MOYEN (Bingen - Bonn) | | | | | | | | |
| Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main ju | 497 - 529 | de Mayence/Wiesbaden | DE- RP | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 2 | |
| RHIN INFÉRIEUR (Bonn - Clèves-Bimmen/Lobith) | | | | | | | | |
| Rhin inférieur 1 - NR 1 - de Bad Honnef à Leverkusen | 639-701 | Cologne-Godorf | DE-NW | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 2 | |
| Rhin inférieur 2 - NR 2 - de Leverkusen à Duisbourg | 701-764 | Port de Dusseldorf | DE-NW | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 2 | |
| Rhin inférieur 3 - NR 3 - de Duisbourg à Wesel | 764-811 | Duisburg-Walsum /Orsoy | DE-NW | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 3 | |
| Rhin inférieur 4 - NR 4 - de Wesel à Clèves | 811-865 | Niedermoermter / Rees | DE-NW | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 3 | |
| DELTA DU RHIN (Lobith – Hoek van Holland) | | | | | | | | |
| Maas-Waalkanaal | n.c. | | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Nieuwe Maas, Oude Maas (en aval du Hartelkanaal) | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 2 | 3 | |
| Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Calandkanaal, Beerkanaal | 998-1013 | Maassluis | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand | n.c. | | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand | n.c. | | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Noordzeekanaal | n.c. | | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Twentekanaalen | n.c. | | NL | artificielle | artificielle | 2 | 2 | |
| Zwarte meer | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 2 | |
| Ketelmeer + Vossemeer | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 2 | |
| Markermeer | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 3 | |
| Randmeren-Oost | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 2 | |
| Randmeren-Zuid | n.c. | | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 2 | |
| IJsselmeer | n.c. | Vrouwezand | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 3 | |
| Littoral de la mer des Wadden | n.c. | Boomkensdiep | NL | fortement modifiée | fortement modifiée | 3 | 2 | |
| Mer des Wadden | n.c. | Dantziggat, Doovebalg west | NL | naturelle | naturelle | 3 | 2 | |
| Côte hollandaise (eaux côtières) | n.c. | Noordwijk | NL | naturelle | naturelle | 2 | 2 | |

Phytoplancton dans les eaux côtières et eaux de transition

Pour les eaux côtières et les eaux de transition, le phytoplancton est l'élément de qualité biologique le plus important. Il est évalué en fonction de sa biomasse (en tant que chlorophylle a) et de la composition de ses taxons (uniquement des algues du genre *Phaeocystis*) (VAN DER MOLEN 2012). *Phaeocystis* met très tôt en évidence les phénomènes d'eutrophisation et peut donc être vue comme une sorte de système d'avertissement précoce.

Par définition, on parle d'efflorescence de *Phaeocystis* à partir d'une concentration de $> 10^6$ cellules/l. Le nombre de mois d'efflorescence du genre *Phaeocystis* définit les limites des classes. Pour l'évaluation, on utilise en outre comme indicateur de la biomasse totale le percentile 90 des concentrations de chlorophylle pendant la période estivale (de mars à septembre).

La grille d'évaluation partielle de la chlorophylle a donne le niveau d'évaluation finale si la valeur obtenue est inférieure à celle de la grille d'évaluation de la composition des espèces (efflorescence de *Phaeocystis*). L'évaluation finale est exprimée sous forme d'indice de qualité écologique (EKR), la limite étant de 0,4 pour l'état médiocre/moyen, de 0,6 pour l'état moyen/bon et de 0,8 pour l'état bon/très bon.

Le phytoplancton atteint le bon état dans les eaux côtières et dans la plupart des zones de la mer des Wadden (cf. tableau 5). Cet état n'est cependant pas encore aussi stable dans la mer des Wadden que dans les eaux côtières. L'état de la partie est de la mer des Wadden est moins bon que celui de la partie ouest.

Tableau 5 : évaluation finale de l'élément de qualité « phytoplancton » - après prise en compte dans les calculs de l'évaluation de la chlorophylle a et de l'efflorescence de *Phaeocystis* - sur la base du système d'évaluation néerlandais dans les stations du contrôle de surveillance des eaux côtières et les eaux de transition du bassin du Rhin.

| Station d'analyse | masse d'eau | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Noordwijk 2 | Côte hollandaise | 0,54 | 0,53 | 0,61 | 0,84 | 0,62 | 0,86 | 0,55 | 0,60 | 0,81 | 0,64 | 0,66 | 0,92 |
| Terschelling 4 | Côte de la mer des Wadden | 0,64 | 0,75 | 0,63 | 0,49 | 0,39 | 0,85 | 0,60 | 0,52 | 0,63 | 0,66 | 0,46 | 0,68 |
| Dantziggat | Partie est de la mer des Wadden | 0,41 | 0,48 | 0,47 | 0,47 | 0,54 | 0,51 | 0,52 | 0,24 | 0,52 | 0,44 | 0,50 | 0,48 |
| Doove Balg West | Partie ouest de la mer des Wadden | | | | | | 1,00 | 0,56 | 0,69 | 0,61 | 0,74 | 0,65 | 0,72 |
| Partie nord de Marsdiep | Partie ouest de la mer des Wadden | | | | | | | | | | 0,68 | 0,56 | 0,74 |
| | Total mer des Wadden | 0,41 | 0,48 | 0,47 | 0,47 | 0,54 | 0,76 | 0,54 | 0,47 | 0,57 | 0,62 | 0,57 | 0,65 |

Légende : état / potentiel écologique :

| | |
|----------|---|
| très bon |  |
| bon |  |
| moyen |  |
| médiocre |  |

5. Références bibliographiques

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

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

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 DER MOLEN 2012: Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2015-2021. STOWA 2012-31

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

WEITERE 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

Annexe 1: liste 2012 des taxons phytoplanctoniques dans le Rhin

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| BACILLARIOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Achnanthes sp.</i> | x | | x | | | x | x | | | x | | | | |
| <i>Achnantheidium catenatum</i> | x | x | x | x | | | | | | | | | | |
| <i>Achnantheidium eutrophilum</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Achnantheidium minutissimum</i> | x | x | x | x | x | | x | | | | x | | | |
| <i>Achnantheidium minutissimum ssp. scotia</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Achnantheidium pyrenaicum</i> | x | x | x | | x | | | | | | x | | | |
| <i>Achnantheidium straubianum</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Actinocyclus normanii</i> | x | | x | x | | | x | | x | x | | x | x | |
| <i>Amphora copulata</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Amphora inariensis</i> | x | x | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Amphora indistincta</i> | x | x | | | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Amphora ovalis</i> | | | x | | x | | x | | | | x | x | | |
| <i>Amphora pediculus</i> | | x | x | x | x | | | | x | | x | x | | |
| <i>Amphora sp.</i> | | x | | x | x | x | x | x | | | x | | | x |
| <i>Asterionella formosa</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Aulacoseira ambigua</i> | | | x | | | | | | | | | x | | |
| <i>Aulacoseira granulata</i> | | | | x | | x | x | x | x | x | | | x | x |
| <i>Aulacoseira muzzanensis</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Aulacoseira subarctica</i> | | | | | | x | | | | | | x | | |
| <i>Aulacoseira sp.</i> | x | x | x | | x | | x | | | x | | x | x | |
| <i>Bacillaria paxillifer</i> | | | | | | | | | | | | x | x | |
| <i>Bumilleria sp.</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Caloneis bacillum</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Caloneis sp.</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cocconeis pediculus</i> | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | x | | x |
| <i>Cocconeis placentula</i> | x | x | x | x | x | | x | | x | | x | x | | |
| <i>Cocconeis pseudolineata</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Cocconeis sp.</i> | | x | | | | | x | x | | | | | | x |
| <i>Cyclostephanos delicatus</i> | | | | x | x | x | x | | | | | | | |
| <i>Cyclostephanos dubius</i> | | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Cyclostephanos invisitatus</i> | x | x | x | x | x | | x | | x | x | | x | x | |
| <i>Cyclotella atomus</i> | x | | x | x | x | | | | x | x | x | x | x | |
| <i>Cyclotella bodanica</i> | x | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Cyclotella comensis</i> | | x | x | x | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Cyclotella costei</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | | |
| <i>Cyclotella cyclopuncta</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Cyclotella distinguenda</i> | | x | x | | | | x | | | | x | | | |
| <i>Cyclotella kuetzingiana</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Cyclotella ocellata</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | |
| <i>Cyclotella radiosa</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | | | |
| <i>Cyclotella sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Cymatopleura elliptica</i> | | | | | x | | | | | | | | x | |
| <i>Cymatopleura solea</i> | | | | x | | x | x | x | | x | x | x | | x |
| <i>Cymbella affinis</i> | x | x | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Cymbella compacta</i> | | x | x | x | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Cymbella lanceolata</i> | | | | | | | | | | | | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Cymbella</i> sp. | x | | | | | x | x | x | x | x | x | | | x |
| <i>Cymbopleura inaequalis</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Diatoma ehrenbergii</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | | | |
| <i>Diatoma hyemalis</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Diatoma monilliformis</i> | | x | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Diatoma tenuis</i> | | | | x | | | | x | | x | | | x | x |
| <i>Diatoma vulgare</i> | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x |
| <i>Diatoma</i> sp. | | | x | | x | | | | | | | | | |
| <i>Diploneis elliptica</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Diploneis</i> sp. | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Discostella pseudostelligera</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Encyonema minutum</i> | | x | x | x | | | | | | | | | | |
| <i>Encyonema prostratum</i> | | | x | | | | | | | | | x | | |
| <i>Encyonema silesiacum</i> | x | x | x | x | x | | | | | | x | | | |
| <i>Epithemia adnata</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Epithemia</i> sp. | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eunotia</i> sp. | | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Fragilaria acus</i> | x | | x | x | | x | x | | | | | x | x | |
| <i>Fragilaria capucina</i> | x | x | x | | | x | x | x | | | x | | | |
| <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> | | x | x | x | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Fragilaria constricta</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria construens</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | |
| <i>Fragilaria cyclopus</i> | | x | x | x | x | | | | | | | x | x | |
| <i>Fragilaria delicatissima</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria nanana</i> | x | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria pinnata</i> | x | x | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Fragilaria tenera</i> | x | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Fragilaria ulna</i> | | | | | | | | x | x | | | | | x |
| <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>angustissima</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | | |
| <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>ulna</i> | | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Fragilaria</i> sp. | x | x | x | x | x | x | | | x | x | x | | | x |
| <i>Frustulia</i> sp. | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Gomphonema micropus</i> | x | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Gomphonema minutum</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Gomphonema olivaceum</i> | x | x | x | x | x | | | | | | x | | | |
| <i>Gomphonema parvulum</i> | | x | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Gomphonema pumilum</i> | x | x | x | x | x | | | | | | x | | | |
| <i>Gomphonema supertergestinum</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Gomphonema tergestinum</i> | | x | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Gomphonema</i> sp. | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | | |
| <i>Gyrosigma acuminatum</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Gyrosigma attenuatum</i> | | x | x | x | x | | x | | x | x | x | | x | |
| <i>Gyrosigma sciotoense</i> | | x | x | | x | | | | | | x | x | x | |
| <i>Gyrosigma</i> sp. | | x | | | | x | x | x | | | x | | | x |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Hippodonta capitata</i> | | | | | | | x | | | | x | | | |
| <i>Melosira varians</i> | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Meridion circulare</i> | | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula antonii</i> | x | x | x | x | x | | | | | | x | x | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Navicula capitata</i> | | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | | |
| <i>Navicula caterva</i> | | | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula cincta</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula cryptotenella</i> | | x | x | x | x | | | | | | x | x | x | |
| <i>Navicula cryptotenelloides</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Navicula gregaria</i> | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | x | |
| <i>Navicula lanceolata</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | x |
| <i>Navicula menisculus</i> | | | | | | x | x | | | | x | | | |
| <i>Navicula radiosa</i> | x | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Navicula recens</i> | x | | | | x | | | | | | | x | x | |
| <i>Navicula reichardtiana</i> | | x | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Navicula reinhardtii</i> | x | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula rhynchocephala</i> | | | | | x | x | | | | | | | | |
| <i>Navicula seibigiana</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula slesvicensis</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula splendidula</i> | | x | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Navicula tripunctata</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | | |
| <i>Navicula trivialis</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Navicula veneta</i> | | | | | | | | | | | x | x | | |
| <i>Navicula viridula</i> | | | x | | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Navicula sp.</i> | x | | x | x | | x | x | x | x | x | | | | x |
| <i>Neidium sp.</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Nitzschia acicularis</i> | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | x | x |
| <i>Nitzschia acicularis var. acicularis</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Nitzschia amphibia</i> | | x | | | | | | | | | | x | x | |
| <i>Nitzschia angustata</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Nitzschia capitellata</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Nitzschia constricta</i> | | | | | x | | | | | | | x | | |
| <i>Nitzschia dissipata</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Nitzschia flexa</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Nitzschia fonticola</i> | | x | x | x | x | x | | | | | x | | | |
| <i>Nitzschia frustulum</i> | | x | | | x | | | | | | x | | | |
| <i>Nitzschia frustulum var. inconspicua</i> | | x | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Nitzschia fruticosa</i> | | | | | | | | | | x | | | x | x |
| <i>Nitzschia heufferliana</i> | | x | x | x | x | | x | | | | x | x | x | |
| <i>Nitzschia levidensis</i> | | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Nitzschia linearis</i> | | | | | x | | | x | | | x | x | x | x |
| <i>Nitzschia palea</i> | x | x | x | | x | | | | x | x | x | x | x | |
| <i>Nitzschia recta</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | x | | |
| <i>Nitzschia sigmoidea</i> | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | | x |
| <i>Nitzschia sociabilis</i> | | | | x | x | | | | | | x | x | | |
| <i>Nitzschia supralitorea</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Nitzschia vermicularis</i> | | | x | x | | x | x | | | | x | x | x | |
| <i>Nitzschia sp.</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x |
| <i>Pinnularia sp.</i> | x | x | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Planothidium frequentissimum</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Planothidium lanceolatum</i> | | x | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Reimeria sinuata</i> | | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> | | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | | x |
| <i>Rhoicosphenia curvata</i> | | | | | | | | x | | | | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Sellaphora pupula</i> | x | | | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Sellaphora sp.</i> | | x | x | x | | | | | | | x | x | | |
| <i>Skeletonema potamos</i> | | | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Skeletonema subsalsum</i> | | | x | x | | x | x | x | x | x | | | x | x |
| <i>Stauroneis sp.</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Stephanodiscus alpinus</i> | x | x | x | x | x | x | x | | | | x | | x | |
| <i>Stephanodiscus hantzschii</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Stephanodiscus minutulus</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Stephanodiscus neoastraea</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | |
| <i>Stephanodiscus sp.</i> | | | | | | | x | x | | | | | | x |
| <i>Surirella brebissonii</i> | | x | x | x | x | | x | | | | x | x | x | |
| <i>Surirella minuta</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Surirella ovalis</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Surirella sp.</i> | | x | x | | | x | x | x | | | x | x | | x |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> | x | x | x | | x | x | x | | | | x | | | |
| <i>Tabularia fasciculata</i> | | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Thalassiosira lacustris</i> | | | x | | | | | | x | x | | x | x | |
| <i>Thalassiosira weissflogii</i> | x | | | x | | | | | x | x | | | | |
| <i>unb. pennate Diatomee</i> | | | x | | | | | | x | x | x | | | |
| <i>unb. zentrale Diatomee</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| BICOSOECOPHYCEA (HNF) | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Bicosoeca sp.</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| CHLORODENDROPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scherffelia sp.</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| CHLOROPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Actinastrum hantzschii</i> | | | | | | | x | x | x | x | | x | x | x |
| <i>Ankistrodesmus falcatus</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Ankyra judayi</i> | | | | x | | | | | x | x | | | | |
| <i>Ankyra lanceolata</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Ankyra sp.</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Carteria sp.</i> | | | x | x | | | | | x | x | | | | |
| <i>Characium sp.</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Chlamydocapsa sp.</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Chlamydomonas sp.</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Chlorogonium sp.</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Coelastrum astroideum</i> | | | | x | | x | x | | | | | x | x | |
| <i>Coelastrum microporum</i> | x | x | x | x | x | | | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Coelastrum polychordum</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Coelastrum reticulatum</i> | | | | x | | | x | | | | x | | x | |
| <i>Coelastrum sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Crucigenia fenestrata</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Crucigenia tetrapedia</i> | x | x | | x | | | | | | | x | x | x | |
| <i>Crucigeniella apiculata</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Crucigeniella crucifera</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Crucigeniella pulchra</i> | | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Crucigeniella rectangularis</i> | | | | | | | | | | | | x | x | |
| <i>Crucigenia sp.</i> | | | | | | | | | | x | | | | x |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Dictyosphaerium sp.</i> | x | x | x | x | | | | | x | | | x | x | |
| <i>Didymocystis planctonica</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Elakatothrix genevensis</i> | x | | | x | | | | | | | x | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Elakatothrix sp.</i> | | | | | | | | x | x | | | | | |
| <i>Eudorina elegans</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Eudorina sp.</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Eutetramorus fottii</i> | x | | | | | | x | | | | | | x | |
| <i>Eutetramorus sp.</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Gonium sp.</i> | | | | | | | | x | | x | | | | |
| <i>Golenkinia radiata</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Granulocystis helenae</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Kirchneriella aperta</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Kirchneriella cf. subcapitata</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Kirchneriella contorta</i> | | | | | x | | | | x | x | | | x | |
| <i>Kirchneriella lunaris</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Kirchneriella obesa</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Kirchneriella sp.</i> | x | x | x | | | | | x | x | x | | | | |
| <i>Lobomonas sp.</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Monoraphidium arcuatum</i> | x | | | x | | x | x | x | x | x | x | | x | x |
| <i>Monoraphidium contortum</i> | x | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Monoraphidium griffithii</i> | x | x | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Monoraphidium komarkovae</i> | | | | | | x | x | | | | | x | | |
| <i>Monoraphidium tortile</i> | | x | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Monoraphidium sp.</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Neodesmus danubialis</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Nephrocytium sp.</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Pandorina morum</i> | x | | | x | | | x | | | x | | | x | x |
| <i>Pediastrum boryanum</i> | x | x | x | x | | x | x | | | | | x | x | x |
| <i>Pediastrum boryanum var. longicorne</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Pediastrum duplex</i> | | x | | | | | x | | x | x | | x | x | |
| <i>Pediastrum tetras</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Phacotus lendneri</i> | | | | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Phacotus lenticularis</i> | | | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Planktonema lauterbornii</i> | | x | x | x | | | x | | | | x | | | |
| <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> | | | | x | | | | | | x | | | | |
| <i>Pseudodictyosphaerium (Dactylococcus) jurisii</i> | | | | x | | | | | | | | x | x | |
| <i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Pteromonas sp.</i> | | | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Quadrichloris sp.</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Quadrigula pfitzeri</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Scenedesmus acuminatus</i> | | x | | | | | | | x | x | | x | x | |
| <i>Scenedesmus acutus</i> | | | | | | x | | | | | | x | | |
| <i>Scenedesmus armatus</i> | | x | | x | x | | | | | | x | x | x | |
| <i>Scenedesmus arthrodesmiformis</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus bicaudatus</i> | | x | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus costato-granulatus</i> | | | | x | | | | | x | x | | x | | |
| <i>Scenedesmus dimorphus</i> | | | | x | | | x | x | | | | x | | x |
| <i>Scenedesmus dispar</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus falcatus</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Scenedesmus grahneisii</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus intermedius</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Scenedesmus lefevrii</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Scenedesmus linearis</i> | | | | x | | | | | | x | | | | |
| <i>Scenedesmus longispina</i> | | | | | | x | | | | | | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Scenedesmus magnus</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Scenedesmus nanus</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus opoliensis</i> | | | | | | x | x | x | | | | x | x | x |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | | | x | x | | x | x | x | | | | x | | x |
| <i>Scenedesmus sempervirens</i> | | | | x | | | | x | x | x | | x | x | x |
| <i>Scenedesmus smithii</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Scenedesmus tenuispina</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Scenedesmus sp.</i> | | | | | x | x | x | x | x | x | x | | | x |
| <i>Schroederia setigera</i> | | | | x | | x | | | | | x | x | x | |
| <i>Schroederia/ Pseudoschroederia sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Scourfieldia cordiformis</i> | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Spermatozopsis exultans</i> | | | | | | | | | x | x | | x | x | |
| <i>Sphaerocystis schroeteri</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| <i>Sphaerocystis sp.</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Tetraedron caudatum</i> | | | | | | | | x | | | | x | x | x |
| <i>Tetraedron minimum</i> | x | | x | x | | | | | | x | x | x | x | x |
| <i>Tetraedron triangulare</i> | | x | | | | | x | | | | | x | | |
| <i>Tetrastrum glabrum</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i> | | | x | | | | | | x | x | | x | x | x |
| <i>Tetrastrum triangulare</i> | | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Tetrastrum sp.</i> | | | | | | | | x | x | | | | | |
| <i>Treubaria schmidlei</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Treubaria cf. planktonica</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Willea irregularis</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| <i>Willea sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | |
| unb. Chlorococcale | | | | | | | | | | x | x | | | |
| unb. Chlorophyceae | | | | | | | | | x | x | | | | |
| unb. Volvocale | x | | x | | | | | | | | x | | | |
| CHOANOFLLAGELLATEA | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Codosiga botrytis</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Salpingoeca gracilis</i> | x | x | | | | | | | | | | | | |
| CHRYSOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Bitrichia chodatii</i> | x | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Chromulina sp.</i> | x | | | | x | | | | | | x | | | |
| <i>Chrysamoeba sp.</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chrysococcus biporus</i> | | | | | | | | | x | x | | | x | |
| <i>Chrysococcus diaphanus</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Chrysococcus minutus</i> | | | x | x | x | x | x | | x | x | | x | x | |
| <i>Chrysococcus rufescens</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Chrysococcus rufescens f. tripora</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Chrysococcus sp.</i> | | | | | | | | | x | x | x | | | |
| <i>Chrysoflagellaten</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Chrysolykos planctonicus</i> | x | x | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Dinobryon bavaricum</i> | | | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Dinobryon crenulatum</i> | x | | x | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Dinobryon cylindricum</i> | x | | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Dinobryon divergens</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x |
| <i>Dinobryon petiolatum</i> | x | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Dinobryon sertularia</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Dinobryon sociale</i> | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | x |
| <i>Dinobryon sociale var. stipitatum</i> | x | x | | | | | | | | | | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Dinobryon sociale</i> var. <i>americana</i> | | x | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Erkenia subaequiciliata</i> | | | | x | | | | | x | x | x | | | |
| <i>Kephyrion</i> cf. <i>petasatum</i> | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Kephyrion</i> cf. <i>spirale</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Kephyrion francevii</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Kephyrion littorale</i> | x | x | | | x | | | | | | | | x | |
| <i>Kephyrion ovale</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Kephyrion planctonicum</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Kephyrion</i> sp. | | | | | x | | | x | x | x | | | | x |
| <i>Ochromonas</i> sp. | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | x | |
| <i>Pseudokephyrion circumvallatum</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Pseudokephyrion entzii</i> | x | x | x | | x | | | | | | x | | | |
| <i>Pseudokephyrion ovum</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Pseudokephyrion pseudospirale</i> | x | | x | | x | | | | | | | | | |
| <i>Pseudokephyrion</i> sp. | | | | | x | x | x | x | x | x | | | | x |
| <i>Uroglena</i> sp. | x | x | x | | | | | | | | | | | |
| unb. <i>Chrysophyceae</i> | | | | | | x | | | x | x | | | | |
| <i>Chrysophyceencyste</i> | | x | x | x | x | | | | | | x | x | | |
| CRYPTOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cryptomonas erosa/ovata</i> | x | x | x | x | x | | | | | | x | x | x | |
| <i>Cryptomonas marssonii</i> | x | x | x | x | x | | | | | | | x | x | |
| <i>Cryptomonas reflexa</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Cryptomonas rostratiformis</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Cryptomonas</i> sp. | x | | x | | | x | x | x | x | x | x | | | x |
| <i>Rhodomonas lacustris</i> | | | | x | x | x | x | | | | | x | x | |
| <i>Rhodomonas lacustris</i> var. <i>lacustris</i> | x | x | x | x | x | | | | x | x | x | x | x | |
| <i>Rhodomonas lacustris</i> var. <i>nannoplanctica</i> | | x | | | x | | | | x | x | | | | |
| <i>Rhodomonas lens</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | |
| <i>Rhodomonas</i> sp. | | | | | | | | x | | | | | | x |
| unb. <i>Cryptophyceae</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| CYANOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anabaena bergii</i> | x | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anabaena circinalis</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| <i>Anabaena flos-aquae</i> | x | | | | | | x | | | x | x | | | |
| <i>Anabaena lemmermannii</i> | x | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anabaena sigmoidea</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Anabaena viguieri</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Anabaena</i> sp. | | | | | | | x | | | | | | x | |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | | | x | | | | | | x | x | x | | | |
| <i>Aphanizomenon gracile</i> | | | | x | | | x | x | | | | x | | |
| <i>Aphanocapsa delicatissima</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Aphanocapsa</i> sp. | | | | | | | | | x | x | x | | | |
| <i>Aphanothece clathrata</i> | | | | | | | | | | x | | x | | |
| <i>Aphanothece minutissima</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Aphanothece</i> sp. | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Chroococcus minutus</i> | | | x | | x | | | | | | | | x | |
| <i>Chroococcus turgidus</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| <i>Chroococcus</i> sp. | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Cyanodiction filliforme</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Geitlerinema</i> sp. | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Gloeocapsa</i> sp. | | | | | | | | | | | x | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Gloeocapsopsis</i> sp. | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Komvophoron constrictum</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Leptolyngbya</i> sp. | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Limnothrix obliqueacuminata</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Limnothrix planctonica</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| <i>Limnothrix redekei</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Limnothrix</i> sp. | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Lyngbya</i> sp. | | | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Microcystis wesenbergii</i> | | x | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Microcystis</i> sp. | | | | | | | | | | | | | | x |
| <i>Nodularia</i> sp. | x | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oscillatoria agardhii</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Oscillatoria limnetica</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Oscillatoria limosa</i> | | | x | x | | | x | | | | x | x | | |
| <i>Oscillatoria tenuis</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Oscillatoria</i> sp. | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Phormidium</i> sp. | | x | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Planktothrix agardhii</i> | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | | x | x | |
| <i>Planktothrix clathrata</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Planktothrix compressa</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Planktothrix isothrix</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Planktothrix rubescens</i> | | x | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Pseudanabaena catenata</i> | | | | x | | x | x | | | | x | | | |
| <i>Pseudanabaena limnetica</i> | x | x | x | | | x | x | | x | x | x | | | |
| <i>Pseudanabaena</i> sp. | | | | | | x | x | | x | x | | | | |
| <i>Romeria</i> sp. | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Snowella lacustris</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Snowella</i> sp. | | | | | | | | | | x | | | | |
| <i>Synechocystis aquatilis</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Synechocystis</i> sp. | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Woronichinia elorantae</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Woronichinia</i> sp. | | | | | | | x | | | | | | | |
| unb. Chroococcales | | | | | | | | | x | | | | | |
| unb. Cyanobacteria | | | | | | | | | x | x | | | | |
| unb. Oscillatoriales | | | | | | | | | x | x | | | | |
| DESMIDIACEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium bioculatum</i> | x | x | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium depressum</i> | x | x | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium depressum</i> var. <i>planctonicum</i> | | | | x | | | | | | | x | | | |
| <i>Cosmarium laeve</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium obtusatum</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium subcostatum</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium</i> sp. | | | | | | | | x | | | x | | | |
| <i>Cosmarium Zygospora</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| DICTYOCOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudopedinella erkensis</i> | x | x | x | | | | x | | x | x | x | | | |
| DINOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ceratium hirundinella</i> | x | x | x | x | | x | x | x | | | x | | | |
| <i>Gymnodinium helveticum</i> | x | x | x | x | | | x | | | | x | | | |
| <i>Gymnodinium lantzschii</i> | x | x | x | | x | | | | | | | | x | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Gymnodinium uberrimum</i> | x | | x | | x | | | | | | | | | |
| <i>Gymnodinium sp.</i> | x | | | x | x | x | x | | x | x | x | | | |
| <i>Peridinium umbonatum</i> | x | | x | | | x | | | | | x | | | |
| <i>Peridinium willei</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Peridinium sp.</i> | | x | x | x | x | x | x | x | | | x | | x | x |
| EUGLENIDA | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Colacium sp.</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Euglena sp.</i> | | | | | x | | | x | | | x | x | x | x |
| <i>Phacus sp.</i> | | | | | | x | | | x | x | | | | |
| <i>Trachelomonas volvocinopsis</i> | | | | | | x | | | | | | | | |
| <i>Trachelomonas sp.</i> | | | | | | | x | | x | x | | | | |
| KATABLEPHARIDACEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Katablepharis ovalis</i> | x | x | x | x | x | | | | | | | x | x | |
| <i>Katablepharis sp.</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| KLEBSORMIDIOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Koliella longiseta</i> | | | | | x | | | | | | x | | | |
| PRYMNESIOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chrysochromulina parva</i> | x | x | x | | x | x | x | | x | x | | | | x |
| PRASINOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Nephroselmis sp.</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Pyramimonas inconstans</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Pyramimonas sp.</i> | | | x | | x | | | | | | x | | | |
| <i>Tetraselmis cordiformis</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Tetraselmis sp.</i> | | | | | | | | | x | | | | | |
| STAMENOPILE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mallomonas akrokomos</i> | | | | x | | | | | x | | | x | x | |
| <i>Mallomonas caudata</i> | | | | | | | | | | | x | | x | |
| <i>Mallomonas sp.</i> | x | x | x | x | | x | | x | x | x | x | | x | |
| SYNUROPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Synura sp.</i> | x | | x | x | x | | x | x | | x | x | | | x |
| TREBOUXIOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Chlorella sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | |
| <i>Coenocystis planctonica</i> | | | | | | | x | | | | | | | |
| <i>Gloeotila pelagica</i> | | | | | x | | | | | | | | | |
| <i>Lagerheimia balatonica</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| <i>Lagerheimia genevensis</i> | | | | | | | | x | | | | | | x |
| <i>Lagerheimia ciliata</i> | | | | | | | x | | | | | x | | |
| <i>Lagerheimia genevensis</i> | | | x | | | | | | x | x | x | x | | |
| <i>Nephrochlamys subsolitaria</i> | | | | | | | | | | | x | x | x | |
| <i>Oocystis marssonii</i> | | | | | | | | | x | x | | | | |
| <i>Oocystis sp.</i> | x | x | x | x | x | | x | x | | | x | x | x | x |
| <i>Siderocelis kolkwitzii</i> | | | | x | | | | | | | | x | | |
| <i>Tetrachlorella ornata</i> | | | | | | | | | | | | | x | |
| ULOTRICHACEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ulothrix sp.</i> | | x | x | | x | x | x | | | | x | | | |
| ULVOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| diverse Ulotrichales | | | | | | | | | | | x | | | |
| XANTHOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Goniochloris pulchra</i> | | | | | | | | | | | | x | | |
| <i>Tetraedriella sp.</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tribonema sp.</i> | | | | | | | | x | | | | | | |

| Taxons/stations d'analyse | ÖH | RE | WE | VO | KA | WO | MA | KO | BA | BI | AA | NE | MA | MO |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ZYGNEMOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Closteriopsis acicularis</i> | | | | | | | | | | | | x | | x |
| <i>Closterium aciculare</i> | | x | | | | | | | | | | | | |
| <i>Closterium acutum</i> | | | | | | | | | | | x | | | |
| <i>Closterium acutum var. linea</i> | | | x | | | | | | | | | | x | |
| <i>Closterium acutum var. variable</i> | x | x | x | | | | | | | | x | | | |
| <i>Closterium gracile</i> | | | | | | x | x | | | | | | | |
| <i>Closterium leibleinii</i> | | | | x | | | | | | | | | | |
| <i>Closterium limneticum</i> | | | x | | | | | | | | | | x | |
| <i>Closterium parvulum</i> | | | x | | | | | | | | | | | |
| <i>Closterium sp.</i> | | | | | | x | | x | | x | x | | | |
| <i>Mougeotia sp.</i> | | | | | | x | x | | | | x | x | | |
| <i>Staurastrum cingulum</i> | | | | | | | | | | | x | | | |

ÖH = Öhningen, PK 23 du Rhin
 RE = Reckingen, PK 90 du Rhin
 WE = Weil, PK 173 du Rhin
 VO = Vogelgrun, PK 224 du Rhin
 KA = Karlsruhe, PK 359 du Rhin
 WO = Worms, PK 443 du Rhin
 MA = Mayence, PK 499 du Rhin
 KO = Coblenche, PK 590 du Rhin
 BA = Bad Honnef, PK 640 du Rhin
 BI = Bimmen, PK 865 du Rhin
 AA = Aar, débouché au 102 du Rhin
 NE = Neckar, débouché au PK 428 du Rhin
 MA = Main, débouché au PK 497 du Rhin
 MO = Moselle, débouché au PK 592 du Rhin