

Programme de mesure biologique Rhin 2006/2007, partie II-A



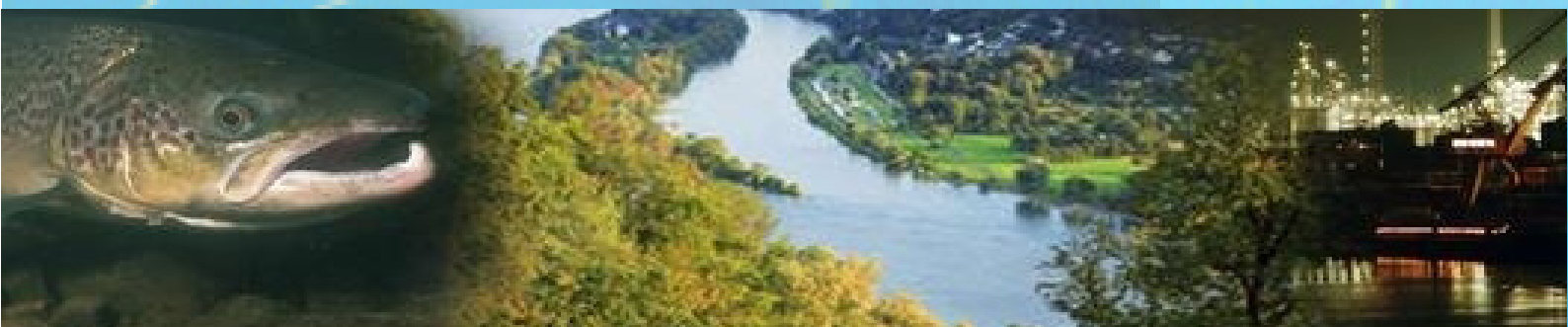
Le phytoplancton du Rhin (2006-2007)

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 169



Editeur:

Comission 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

Traduction: Isabelle Traue, Dominique Falloux

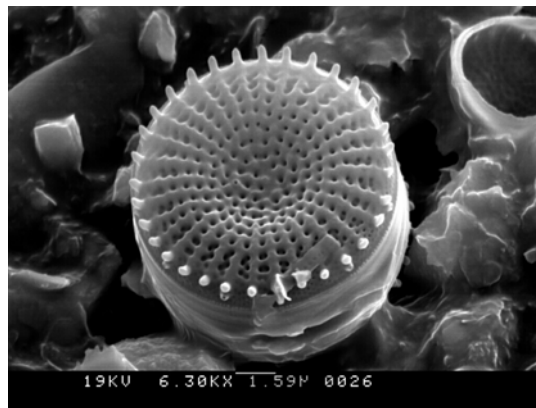
ISBN 3-935324-85-5

© IKSР-CIPR-ICBR 2009

Programme de mesure biologique Rhin 2006/2007, partie II-A

Le phytoplancton du Rhin (2006-2007)

Rédaction : Karl-Heinz Christmann



Résumé	3
1. Introduction.....	4
2. Méthodologie.....	4
2.1. <i>Champ d'étude</i>	4
2.2 <i>Méthode appliquée</i>	4
3. Résultats de la surveillance	5
3.1 <i>Débit.....</i>	5
3.2 <i>Nutriments.....</i>	6
3.3 <i>Phytoplancton.....</i>	8
3.4 <i>Zooplancton.....</i>	12
3.5 <i>Comparaison des résultats avec les analyses antérieures.....</i>	14
4. Évaluation	16
5. Bibliographie	19
Annexe : Pourcentage détenu par les différents groupes algaux dans le biovolume (stations sélectionnées)	20

Résumé

Le phytoplancton du Rhin a été analysé en 2006/07 dans le cadre du programme « Rhin 2020 » du lac de Constance jusqu'à la zone deltaïque. Le programme de surveillance a été conçu de telle manière qu'il réponde également aux dispositions de la directive cadre sur l'eau prescrivant d'évaluer l'état écologique du Rhin à l'aide du phytoplancton (et d'autres éléments de qualité biologique).

La masse bioplanctonique est très largement dominée, à certains endroits pour plus de 90%, 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 n'a été analysé que sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur, augmente également vers l'aval. Les protozoaires et les rotifères occupent une place quantitative importante, de même que les larves de bivalves en libre suspension à certaines périodes. Les crustacés ont une importance secondaire et l'impact de leur broutage sur le phytoplancton est estimé faible et se limite essentiellement aux peuplements étendus de grands mollusques bivalves.

Par rapport aux analyses réalisées six ans plus tôt, on constate que la production phytoplanctonique est restée à un niveau quasiment identique dans une situation de très légère régression des teneurs en nutriments sur l'ensemble du cours principal du Rhin. En l'état actuel des connaissances, l'état du plancton dans le lac de Constance est jugé bon autant dans le lac supérieur que dans le lac inférieur.

A hauteur d'Öhningen, le haut Rhin est estimé de « bonne » qualité et est encore sensiblement caractérisé par le plancton du lac de Constance. Plus en aval, à hauteur de Reckingen, le Rhin a un « très bon » état écologique. Le tronçon amont du Rhin supérieur compris entre Weil et Karlsruhe est également « très bon ». Le tronçon aval du Rhin supérieur et le Rhin moyen sont estimés de « bonne » qualité selon le critère du phytoplancton, alors que la qualité de la partie aval du Rhin inférieur est « moyenne » à hauteur de la frontière germano-néerlandaise. Ce gradient longitudinal de qualité reflète la concentration croissante de nutriments dans le Rhin à mesure que l'on va vers l'aval. Le ralentissement du courant prolonge le temps de séjour des eaux dans le Rhin inférieur et favorise la prolifération du phytoplancton, dont la densité augmente sensiblement sur le Rhin moyen dès Coblenz et atteint son maximum à hauteur de Clèves. Dans le delta du Rhin, les valeurs de chlorophylle a mesurées dans l'IJsselmeer sont similaires à celles du Rhin inférieur, alors qu'elles sont plus faibles à hauteur de Maassluis dans la zone d'embouchure. Le long du littoral et dans la mer des Wadden, la concentration de chlorophylle a varié sensiblement selon les années d'analyse (état variant de très bon à médiocre).

1. Introduction

L'analyse de l'élément biologique 'phytoplancton' poursuit les objectifs suivants :

- Inventaire qualitatif et quantitatif dans le Rhin du lac de Constance à la mer du Nord
- Evolution des peuplements phytoplanctoniques sur le cours du Rhin ;
- Modifications saisonnières
- Composition du phytoplancton
- Comparaison des résultats avec les analyses antérieures
- Evaluation de l'état écologique au sens de la DCE sur la base du phytoplancton.

Pour une meilleure interprétation des données phytoplanctoniques, il a également été procédé à un recensement du zooplancton sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur.

2. Méthodologie

2.1. Champ d'étude

Le champ d'analyse du « programme de mesure biologique Rhin 2006/2007 » 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 ce champ d'analyse les zones de débouché dans le Rhin des grands affluents (Main, Nahe, Lahn et Moselle) afin que puisse être pris en compte leur impact sur la croissance planctonique dans le cours principal du Rhin. La Commission du lac de Constance s'est chargée de l'évaluation de ce lac. Aux Pays-Bas, l'évaluation du phytoplancton au titre de la DCE se limite aux eaux dormantes ainsi qu'aux eaux côtières et de transition. Pour les rivières, seuls ont été transmis les résultats des mesures de chlorophylle et des données sur les nutriments mesurées en 2007 dans quelques stations de mesure.

Les points de prélèvement et les autorités compétentes figurent au chap. 2 de la partie I.

Le présent rapport se fonde sur les résultats de 2006. Lorsque des résultats ont été communiqués pour 2007 par quelques stations de mesure, ils ont également été pris en compte.

Au cours de la période de végétation comprise entre avril et octobre, les analyses de phytoplancton englobent les mesures et recensements suivants :

- concentration de chlorophylle a (mesures effectuées au moins toutes les deux semaines)
- analyse de la composition phytoplanctonique (détermination des taxons, du nombre de leurs cellules et calcul du volume cellulaire), généralement à un rythme mensuel
- calcul du biovolume total du phytoplancton
- recensement parallèle des paramètres abiotiques tels que débit, phosphate P total et concentration de silicium
- en outre, recensement du zooplancton dans les stations de mesure de Coblenz, Bad Honnef et Clèves-Bimmen.

2.2 Méthode appliquée

La méthode appliquée pour le prélèvement et le comptage du phytoplancton au sens de la DCE est décrite en détail dans la référence MISCHKE & BEHRENDT (2007).

Les échantillons d'eau ont été prélevés à une profondeur de 0,5 m. Des échantillons partiels tirés d'un même échantillon puisé ont été utilisés pour déterminer le phytoplancton et la chlorophylle.

Il a été procédé aux déterminations spécifiques suivantes :

- Chlorophylle a
- classification taxonomique du phytoplancton selon la « Liste Harmonisée des Taxons »
- nombre de cellules du phytoplancton
- biovolume des taxons et biovolume total
- concentration de P total
- Silicate dissous
- recensement du zooplancton selon les espèces et le nombre (Rhin moyen et Rhin inférieur, débouché de la Moselle ; maillage du filet 55 µm)
- en plus : biomasse zooplanctonique (uniquement à Coblenze)

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. La stratégie de comptage est décrite 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 mesures. 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).

Dans le 1^{er} mille des eaux côtières et de transition, des échantillons sont prélevés sur les premiers points d'un certain nombre de sections transversales selon la méthode OSPAR (7 fois entre mars et septembre).

3. Résultats de la surveillance

3.1 Débit

La croissance du plancton dépend essentiellement du temps de séjour de l'eau dans un tronçon fluvial donné. Il apparaît donc nécessaire de faire quelques remarques préliminaires sur le régime hydrologique.

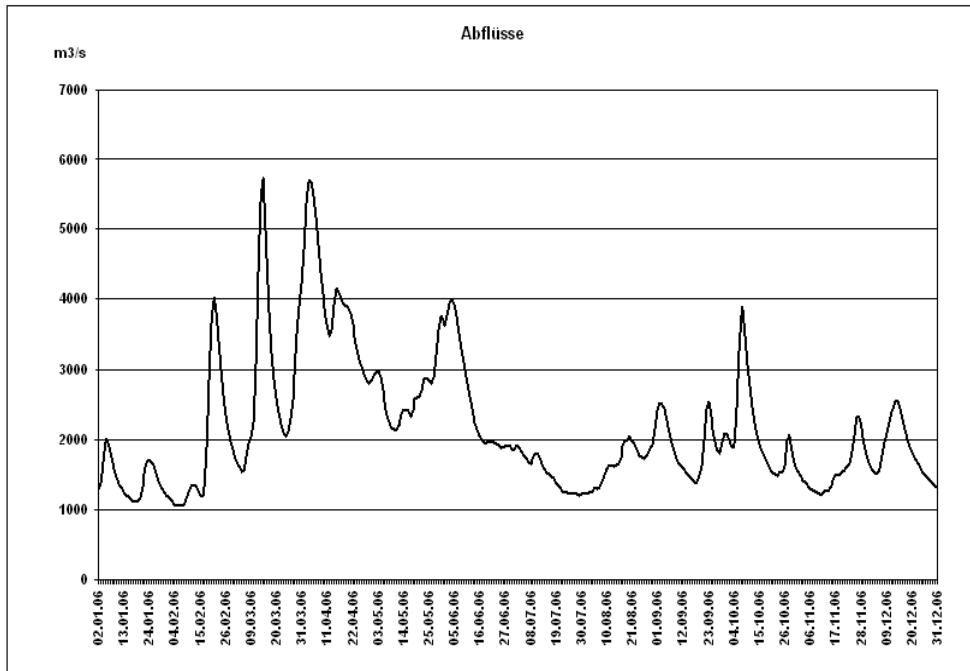
Le régime hydrologique du Rhin supérieur est en majeure partie déterminé par les événements pluviaux et par la fonte des neiges dans les Alpes, la Forêt Noire et les Vosges. Les pointes de débit surviennent habituellement entre avril et juin. Plus en aval, le Rhin est de plus en plus alimenté en eau par ses affluents et les débits maximums se décalent généralement vers le début du printemps.

La figure 2 montre les hydrogrammes de l'échelle de Rees sur le Rhin inférieur en 2006 et 2007. Au cours des deux premiers mois de 2006, le débit est proche du débit d'étiage moyen (MNQ) de 1050 m³/s et ne descend pas plus bas au cours des deux années. Entre fin février et fin avril, on note l'apparition de plusieurs pointes de débit. Les deux maximums annuels dépassent nettement le niveau MHQ de 4200 m³/s et atteignent des pointes de presque 6000 m³/s. On note également des débits surélevés au cours des mois de juin et d'octobre. Le débit annuel moyen (2090 m³/s) est sensiblement inférieur à celui de l'année suivante.

L'année 2007 est caractérisée dans une plus large mesure par des débits plus élevés. Le débit moyen de crue (MHQ) est dépassé à plusieurs reprises de janvier à mars et des dépassements supplémentaires sont constatés en août et décembre. Le débit annuel moyen est de 2350 m³/s.

Pegel: 2790010 / Rees / Rhein
Jahr: 2006

26.09.08



Pegel: 2790010 / Rees / Rhein
Jahr: 2007

26.09.08

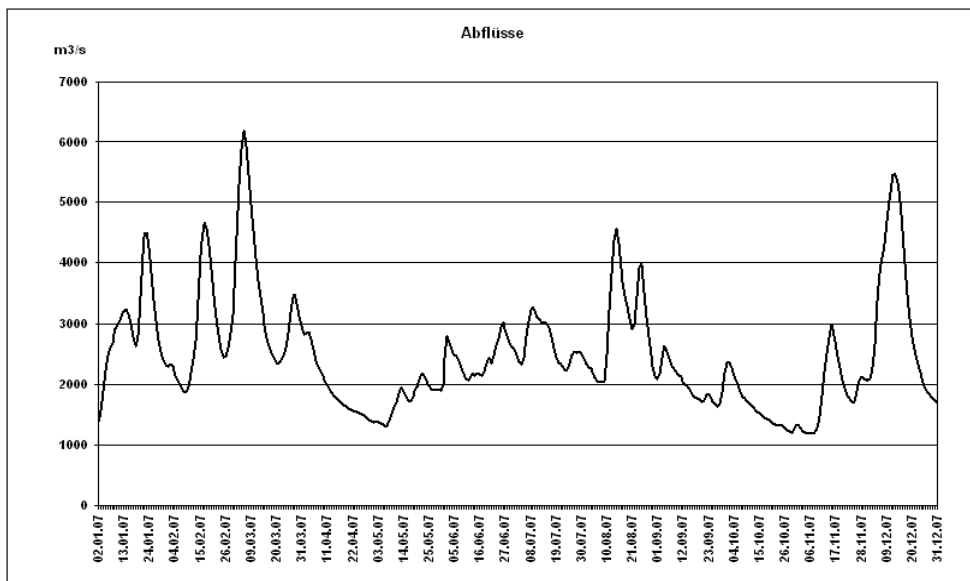


Fig. 1 : Débits (m³/s) à l'échelle de Rees/Rhin inférieur en 2006 et 2007

3.2 Nutriments

Presque toutes les stations ont recensé les nutriments phosphore et acide silicique dissous (SiO₂-Si). Les composés azotés n'ont plus été pris en compte dans le programme

de mesure car ils sont d'une importance secondaire pour l'eutrophisation des eaux intérieures et ne permettent pas d'interpréter les résultats des prélèvements de plancton.

La concentration de PO₄-P total augmente continuellement en moyenne saisonnière depuis le lac de Constance (< 10 µg/l à la station de mesure d'Öhningen) jusqu'au Rhin inférieur (> 150 µg/l à la station de mesure de Clèves-Bimmen, fig. 3). Les valeurs relevées au cours des deux années ne sont légèrement inférieures à celles de la station de Coblenche, située en amont, qu'à Bad Honnef.

Une augmentation de la concentration d'acide silicique dissous est également visible vers l'aval avec une moyenne saisonnière passant de 0,9 mg/l à Öhningen à 2,3 mg/l SiO₂-Si à Bimmen. Les concentrations les plus basses apparaissent fréquemment au cours de la période de prolifération maximale des diatomées, mais l'acide silicique n'est pas épuisé, même en phase de forte expansion des diatomées.

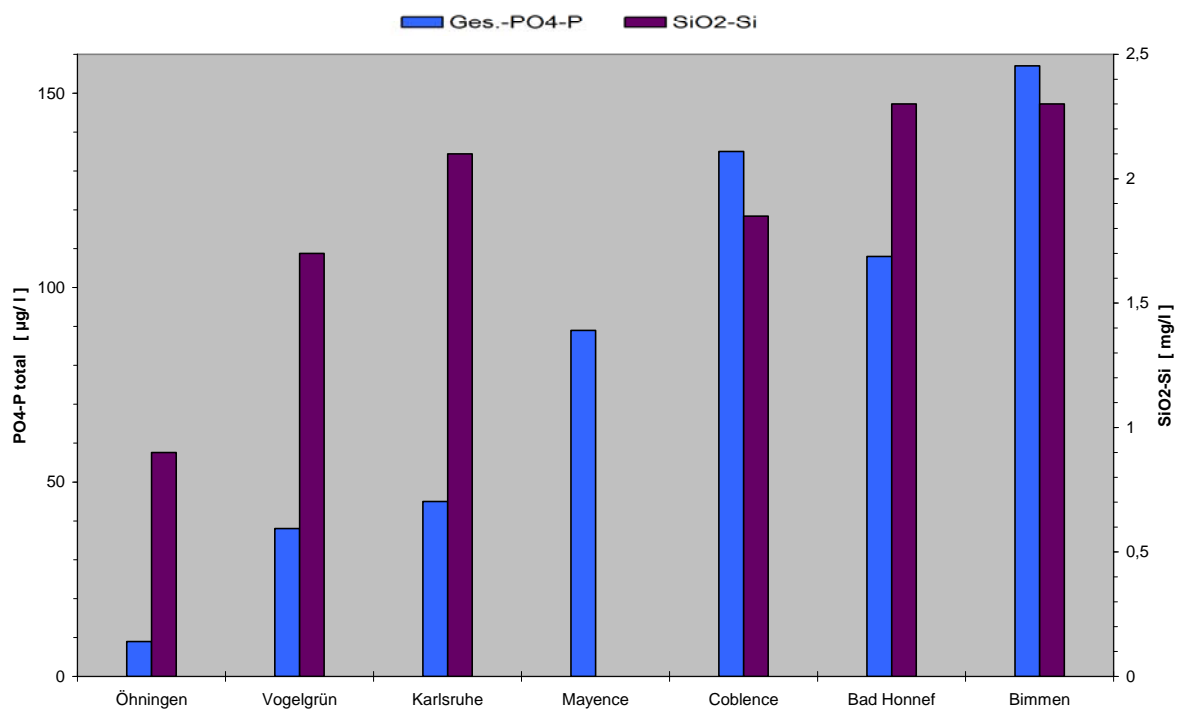


Fig. 2 : Moyenne saisonnière (avril – octobre 2006) des concentrations de phosphore P total et de silicium à hauteur de stations de mesure sélectionnées

La concentration moyenne de phosphore est sensiblement plus élevée dans les grands affluents que dans le Rhin et dépasse la valeur d'orientation de 150 µg/l. Les valeurs moyennes saisonnières pour le silicium sont plus élevées dans les affluents dans lesquels elles ont été mesurées que dans le Rhin moyen (tab. 1) et se situent la plupart du temps dans le même ordre de grandeur que celles relevées sur le Rhin inférieur.

Tab. 1 : valeurs saisonnières moyennes (d'avril à octobre 2006) de paramètres sélectionnés au débouché des affluents et dans le Rhin moyen

Station de mesure	P-PO ₄ total (µg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)	Pigments totaux (µg/l)
Rhin à Coblenche	134	1,85	7,45
Main	213 (2007)		7,9 (2007)
Nahe	256		14,4
Lahn	221		18,8
Moselle	226	2,6	18,1
Sieg	105	2,7	10,6
Wupper	121	2,0	10
Ruhr	97	2,3	5,5
Lippe	176	3,9	8,8

3.3 Phytoplancton

3.3.1 Chlorophylle et biovolume total

La concentration de chlorophylle a sert à mesurer la biomasse du phytoplancton. Dans le cadre de l'évaluation de l'état écologique au sens de la DCE, la méthode d'évaluation proposée par MISCHKE & BEHRENDT (2007) consiste à utiliser les pigments dits 'totaux' pour calculer l'indice total. Ils correspondent à la chlorophylle « non corrigée », c'est-à-dire à la concentration de chlorophylle a sans retrait des phéopigments. Ce paramètre est également utilisé dans les paragraphes suivants, en plus du biovolume total, pour caractériser le développement du phytoplancton.

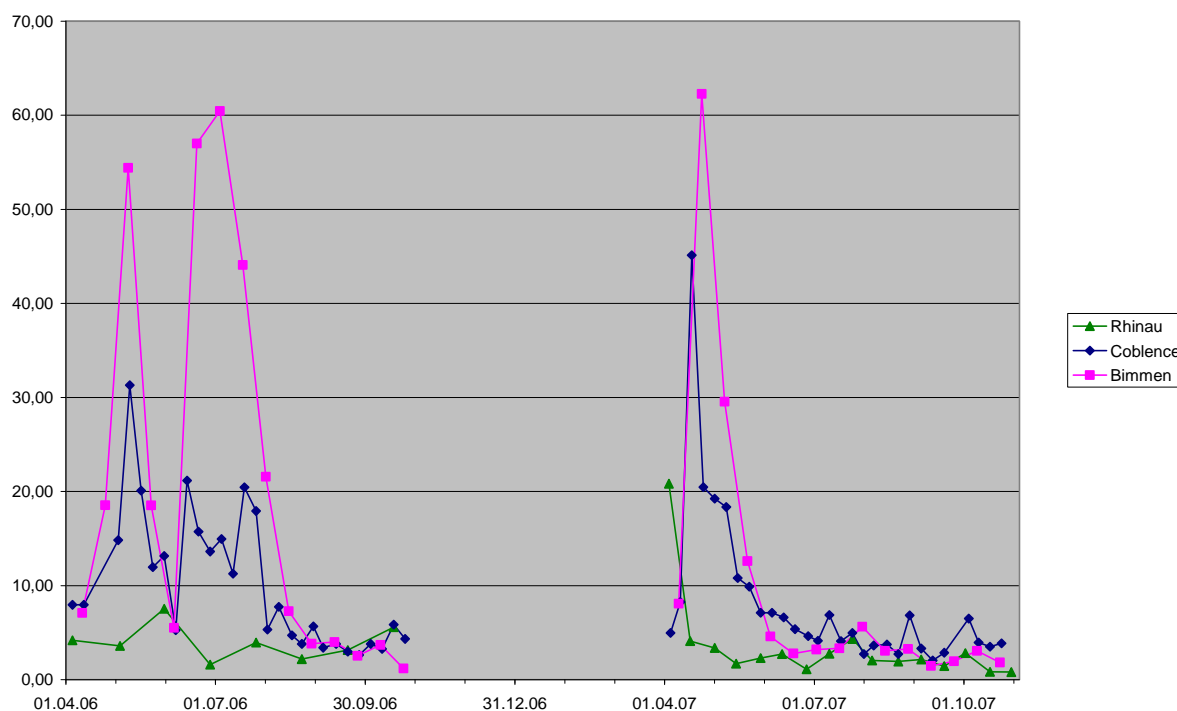


Fig. 3 : Evolution saisonnière de la concentration des pigments totaux (µg/l) dans les stations de mesure de Rhinau, de Coblenche et de Clèves-Bimmen (2006 et 2007)

3.3.2 Modifications saisonnières

La figure 4 montre les modifications saisonnières de la teneur en pigments totaux dans des stations de mesure sélectionnées du Rhin supérieur, Rhin moyen et Rhin inférieur. Sur la période considérée, les croissances phytoplanctoniques les plus marquantes ont toujours lieu au cours du premier semestre. Les variations les plus fortes apparaissent à hauteur de la station de Clèves-Bimmen alors qu'elles restent faibles dans le Rhin

supérieur. On relève notamment en 2006 plusieurs maxima de biomasse dépassant 50 $\mu\text{g/l}$ à hauteur de la station de Clèves-Bimmen. Au cours de l'année suivante, un développement phytoplanctonique maximal n'est plus constaté à cet endroit que fin avril. Comme il ressort de la figure, la biomasse algale augmente sensiblement vers l'aval.

Pour représenter l'évolution du phytoplancton sur l'ensemble du tronçon du Rhin analysé, on utilise en parallèle les concentrations de pigments totaux et les volumes algaux totaux. La figure 5 met en comparaison les valeurs moyennes saisonnières des pigments totaux et le biovolume total relevé sur le cours du Rhin.

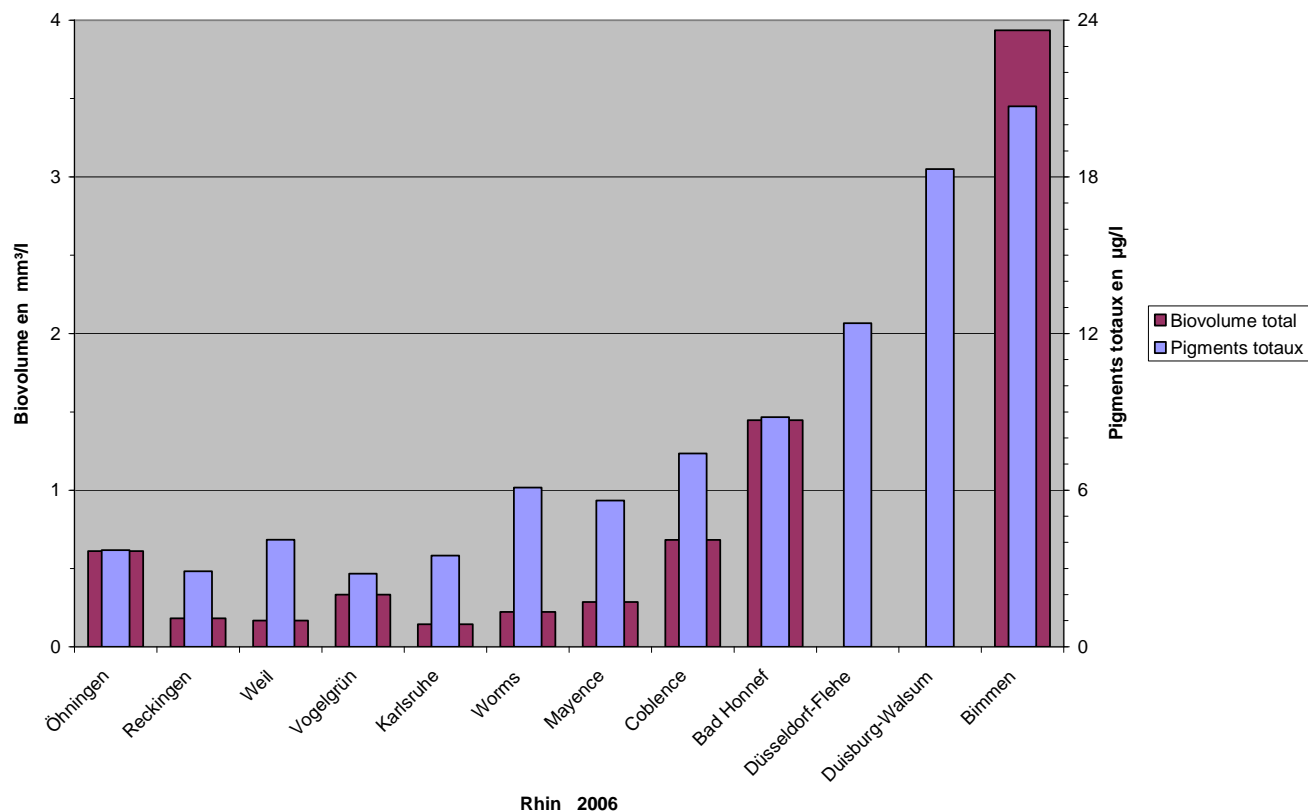


Fig. 4 : Pigments totaux et biovolume total du phytoplancton (moyenne saisonnière entre avril et octobre 2006)

Les deux paramètres montrent clairement que l'évolution algale est comparativement faible dans le haut Rhin et le Rhin supérieur avec des moyennes de pigments totaux < 5 $\mu\text{g/l}$ et un volume algal < 1 mm^3/l . Plus l'on s'oriente vers l'aval et plus augmentent les concentrations en nutriments et l'eutrophisation potentielle, ce qui se manifeste nettement par une croissance phytoplanctonique accrue. On note une hausse sensible sur le Rhin moyen à partir de Coblence. Cette hausse se poursuit progressivement jusqu'à la frontière germano-néerlandaise à hauteur de Clèves-Bimmen. Sur le tronçon reliant Coblence à Clèves, le phytoplancton apporté à la masse d'eau courante par le Rhin supérieur et les affluents peut se multiplier de manière importante pendant une période d'écoulement de l'ordre de trois jours (en situation de débits moyens). Comme le montre la figure 4, le biovolume algal est six fois plus élevé en 2006 sur le segment aval du Rhin supérieur qu'à hauteur de Coblence et même 16 fois supérieur aux valeurs mesurées dans le Rhin supérieur (par ex. à Worms). Cette prolifération est moins importante au cours de l'année suivante. Une augmentation sensible de la biomasse phytoplanctonique dans le Rhin inférieur avait déjà été constatée par FRIEDRICH & POHLMANN (2009) au cours des années précédentes. Les mesures de chlorophylle disponibles pour les stations de Maassluis et de Kampen en 2007 laissent penser que ce développement ne se poursuit pas aux Pays-Bas mais que la densité phytoplanctonique se maintient à peu près au niveau constaté dans le Rhin inférieur.

En moyenne saisonnière, la croissance phytoplanctonique est d'ordinaire plus élevée au niveau des débouchés des grands affluents du Rhin supérieur et du Rhin moyen que dans les tronçons correspondants du Rhin en soi. C'est également le cas pour le zooplancton dans la Moselle au droit de Coblenze.

3.3.3 Composition du phytoplancton

La figure 5 présente les pourcentages respectifs de groupes algaux importants dans le biovolume total sur le tronçon compris entre le lac de Constance et le tronçon aval du Rhin inférieur. A l'exception d'Öhningen, on constate en moyenne saisonnière que les bacillariophycées (diatomées planctoniques) sont dominantes dans toutes les stations de mesure. Les cryptophycées arrivent le plus souvent en deuxième position en pourcentage du biovolume total.

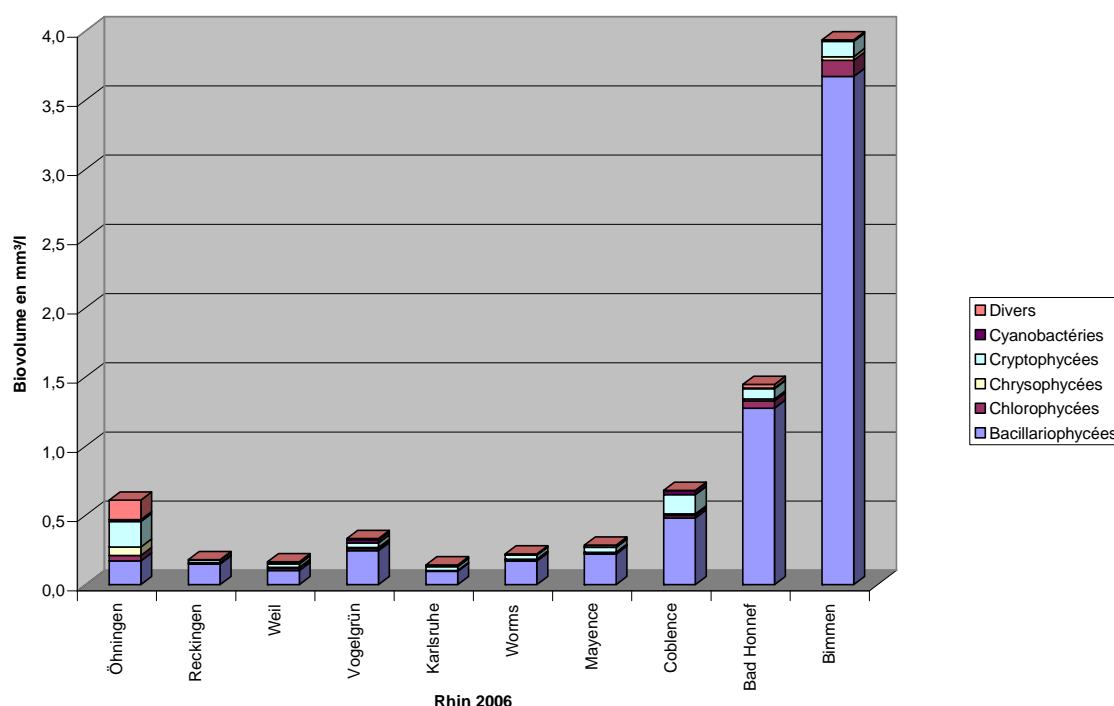


Fig. 5 : Évolution du biovolume total du phytoplancton depuis le haut Rhin jusqu'au Rhin inférieur avec indication des proportions respectives de groupes algaux importants (moyenne saisonnière 2006)

Les paragraphes suivants présentent sous forme sommaire l'évolution du phytoplancton (2006) dans les différents tronçons du Rhin. Des graphiques des différentes stations de mesure mettant en relief le pourcentage respectif des principaux groupes algaux dans le biovolume total sur la période comprise entre avril et octobre 2006 sont rassemblés en **annexe**.

3.3.4 Haut Rhin

A hauteur d'**Öhningen**, la biomasse est environ trois fois supérieure à celle des stations du haut Rhin et du tronçon amont du Rhin supérieur situées plus en aval. Elle est en outre fortement impactée par le plancton du lac de Constance. La composition algale de cette station de mesure s'écarte nettement de celle des autres stations et est principalement dominée par les diatomées et les cryptophycées. Les proportions d'autres groupes algaux dans le biovolume total augmentent à certaines périodes, comme par ex. les cyanobactéries (*Anabaena lemmermannii* etc., env. 20%) en septembre 2006, les dinophycées (péridiniens, > 40%) en juillet et les zygothécées (notamment *Spirogyra sp.*, presque 50%) au début du mois d'octobre. On relève déjà à **Reckingen** une baisse

très prononcée du biovolume total ainsi qu'une modification de la composition algale. Comme dans toutes les stations de mesure plus en aval, les diatomées occupent, en moyenne saisonnière, la plus grande part de la biomasse phytoplanctonique. Les autres groupes algaux ne sont représentés qu'en faibles pourcentages (< 10% dans la plupart des cas).

3.3.5 Rhin supérieur

Sur l'ensemble du Rhin supérieur, la biomasse phytoplanctonique est encore relativement faible. Le biovolume total ne dépasse 0,5 mm³/l dans aucune station. Les bacillariophycées sont nettement dominantes avec un pourcentage pratiquement toujours supérieur à 50 % du biovolume. On compte également parmi les groupes algaux importants les cryptophycées et les chrysophycées. A **Weil**, les cyanobactéries (*Planktothrix agardhii*) apparaissent en plus grand nombre en juin et en novembre et les chlorophycées (*Chlorococcales*, *Coelastrum asteroideum*, *Scenedesmus obliquus*) occupent à peu près un tiers de la biomasse phytoplanctonique durant le mois d'août. On note en septembre à **Breisach/Vogelgrün** que les bacillariophycées (*Eunotia sp.*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*) occupent 92 % du biovolume. A peine un mois plus tard, la composition algale s'est radicalement modifiée : en plus des diatomées, les cyanobactéries (*Planktothrix*) et les cryptophycées (*Rhodomonas lacustris*, *R. lens*) gagnent en importance avec des pourcentages respectifs d'environ 30 % du volume planctonique. A côté des diatomées et des cryptophycées, on relève à **Karlsruhe** une augmentation temporaire des cyanobactéries (12 % en mai), des dinophycées (17 % en août, surtout l'espèce *Ceratium hirundinella*) et des euglénophycées (*Trachelomonas sp.*, 10 % en juillet). La densité phytoplanctonique est toujours faible à Worms et à Mayence. Dans des situations de dominance des diatomées, les formes centriques telles que diverses espèces du genre *Cyclotella* et l'espèce *Stephanodiscus minutulus* sont les plus fréquentes.

3.3.6 Rhin moyen

A hauteur de la station de mesure de **Coblence**, encore en amont du débouché de la Moselle dans le Rhin, le biovolume total représente en 2006 le double de celui constaté à Mayence. Les diatomées en constituent la majeure partie (> 70 % en moyenne saisonnière). Les pics de biomasse sont essentiellement le fait des diatomées centriques (entre autres *Skeletonema potamos*, *S. subsalsum*, *Melosira varians*, *Stephanodiscus hantzschii*), de *Diatoma vulgare* et de *Navicula sp.* Les chrysophycées et le genre *Cryptomonas* y sont temporairement associés, de même que différentes chlorophycées. La proportion de chlorophycées augmente légèrement en été et en automne sans pour autant dépasser les 10%. Les diatomées dominent le phytoplancton à **Bad Honnef** avec une part de 88 % du volume total. Les chlorophycées sont plus fréquentes alors que le biovolume des cryptophycées baisse.

3.3.7 Rhin inférieur

En 2006, le biovolume total augmente entre Bad Honnef et **Clèves-Bimmen**, passant de 1,44 à 3,96 mm³/l en moyenne saisonnière. Cette hausse est la plus importante relevée sur le cours du Rhin dans son ensemble. La part tenue par les diatomées s'élève à 93 % à Bimmen. Le pourcentage de chlorophycées gagne également en importance mais ne dépasse pas 3% du biovolume total en moyenne et 10% approximativement en été. Les diatomées centriques restent les espèces dominantes, notamment *Skeletonema subsalsum*, *S. potamos*, *Stephanodiscus hantzschii*, *St. neoastreae* et *St. Minutulus*, ainsi que diverses espèces du genre *Cyclotella*, pour lesquelles sont mesurées des valeurs biomassiques élevées. Certaines chlorophycées (par ex. *Chlamydomonas sp.*, *Coelastrum microporum*) et cryptophycées se développent temporairement en grand nombre pendant l'été.

L'éventail des espèces dans le Rhin inférieur comprend plus de 300 taxons (liste dans FRIEDRICH & POHLMANN 2009).

3.3.8 Delta du Rhin

Il n'a pas été analysé de phytoplancton dans les stations de mesure situées sur les cours d'eau néerlandais. On dispose de mesures de chlorophylle pour 2007. Dans l'IJsselmeer, les teneurs en pigments totaux sont du même ordre de grandeur que dans la partie aval du Rhin inférieur, alors que sont mesurées des valeurs plus basses dans la zone d'embouchure à hauteur de Maassluis.

3.3.9 Evaluation globale du cours principal du Rhin

Considéré globalement, l'élément 'phytoplancton' ne joue un rôle important qu'à partir du Rhin moyen. En plus de la lumière et de la présence de nutriments ainsi que de la vitesse d'écoulement plus faible vers l'aval, les températures et les débits pendant la période végétative ainsi que le broutage des prédateurs sont des paramètres importants pour l'évolution algale.

La fig. 3 montre que l'évolution phytoplanctonique peut varier sensiblement selon les années. L'année 2006 a été caractérisée par deux grands pics de phytoplancton au printemps et en été. Des températures relativement élevées de l'eau et une capacité de filtration plus faible des bivalves ont favorisé l'évolution algale. La pression due au broutage de la palourde asiatique (*Corbicula fluminea*) présente en grand nombre sur le phytoplancton s'est réduite à la suite de la mort de nombreux exemplaires due à l'assèchement des berges, et éventuellement à l'échauffement du Rhin inférieur à 27°C au plus qui a persisté pendant deux semaines en juillet/août. VIERGUTZ et al. (2007) et WEITERE et al. (2008) ont démontré dans des essais en laboratoire que le taux de filtration de *Corbicula* baissait à des températures > 25°C et n'excluent pas que cet effet se manifeste également dans le Rhin.

L'année suivante a été caractérisée par un pic très prononcé au printemps ; il n'a cependant pas été observé de pic en été. Ce dernier n'est probablement pas dû au débit élevé lors de l'été 2007 (tab. 2). Les températures dans le Rhin inférieur n'ont jamais dépassé 25°C.

Le tableau 2 compare les moyennes saisonnières du biovolume total et des pigments totaux mesurés dans les stations de Bad Honnef et de Clèves-Bimmen avec les débits mesurés dans les stations de mesure de Bonn et Rees.

Tab. 2 : Comparaison du débit (juillet/août) et des paramètres de biomasse (moyenne saisonnière) sur une année

Année	Station de mesure	Débit moyen (m ³ /s), juillet-août	Pigments totaux (µg/l)	Biovolume total (mm ³ /l)
2006	Bad Honnef		8,8	1,45
	Bonn	1429		
	Rees	1594		
	Clèves-Bimmen		20,7	3,94
2007	Bad Honnef		5,5	0,39
	Bonn	2489		
	Rees	2837		
	Clèves-Bimmen		10,9	1,09

3.4 Zooplancton

On dispose de valeurs d'abondance du zooplancton pour les stations de Coblenze (où a également été déterminée la biomasse), de Bad Honnef et de Clèves-Bimmen.

La figure 7 met en évidence le pourcentage respectif des principaux groupes rapporté au nombre d'individus et au poids sec. La répartition est assez similaire au cours des deux années. La majeure partie de la biomasse globale est composée des rotifères suivis des protozoaires (ont été recensés les ciliés et les amibes testacées). Rapportées à la biomasse, les larves de bivalves en suspension libre dans les eaux représentent également un groupe important. La densité d'individus reste faible cependant. La part tenue par les macrocrustacés (cladocères, copépodes) est quasi inexistante et probablement sans grande influence sur la densité algale.

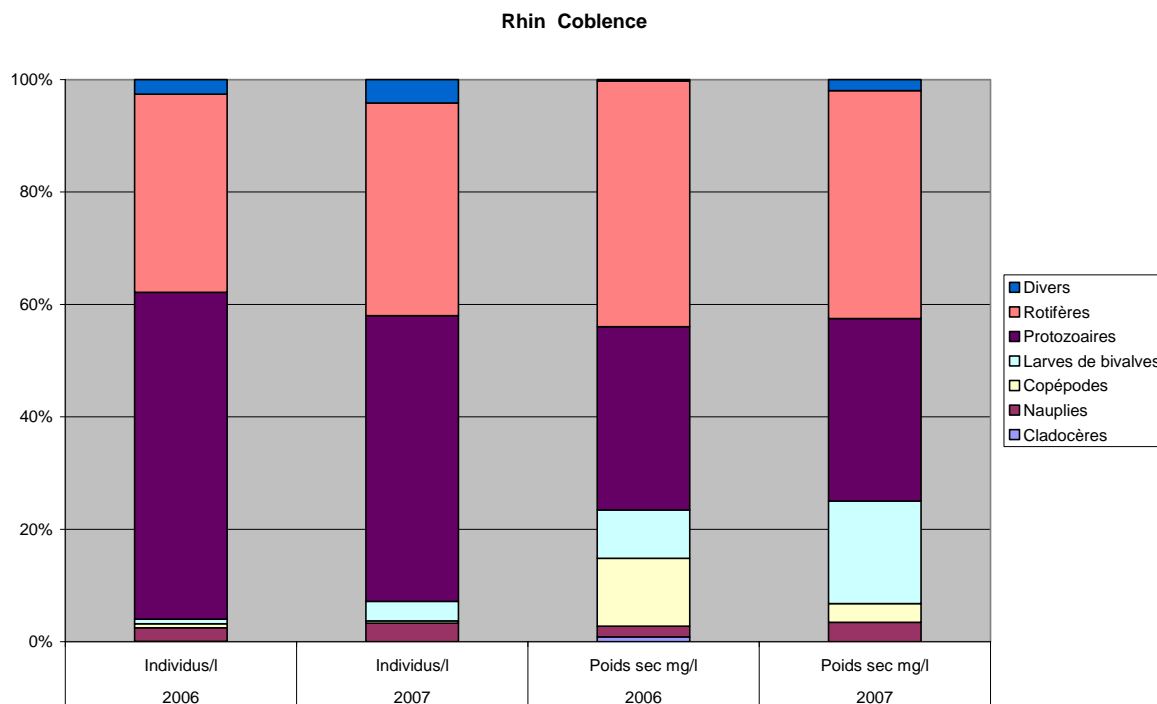


Fig. 6 : Pourcentage tenu dans le Rhin à Coblence par les principaux groupes zooplanctoniques par rapport au nombre total d'individus et au poids sec (2006 et 2007)

Dans le Rhin inférieur également, les protozoaires (et parmi eux un pourcentage élevé d'amibes testacées) et les rotifères sont les groupes aux densités d'individus les plus fortes. On relève comme espèces fréquentes les rotifères *Keratella cochlearis*, *Synchaeta* div.sp. et de nombreuses autres espèces fréquentes non identifiées de plus près. La plupart des espèces zooplanctoniques ont leur pic d'expansion en mai et en juin. Le tableau 3 met en relief les abondances des différents groupes zooplanctoniques dans trois stations de mesure et sur la période 2006-2007 (moyenne saisonnière d'avril à octobre). Il ressort de ce tableau que l'amélioration croissante des conditions d'alimentation se traduit par une hausse du nombre d'individus (à l'exception des crustacés) sur le tronçon reliant Coblence et Clèves-Bimmen.

Tab. 3 : Zooplancton (indiv./l) dans le Rhin moyen et le Rhin inférieur (moyenne saisonnière 2006-07)

Station de mesure	Protozoaires	Rotifères	Cladocères	Copépodes	Larves de bivalves
Coblence	33	13	2	5	6
Bad Honnef	44	20	1	1	7,5
Clèves-Bimmen	55	29	2	2	12

Le développement du phytoplancton est vraisemblablement beaucoup plus influencé par le « broutage » des filtreurs sessiles que par le zooplancton. Si la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) constituait par le passé et il y a quelques années encore des peuplements étendus, le principal filtreur est aujourd'hui la palourde asiatique *Corbicula fluminea*, une espèce néozoaire qui s'est propagée à plusieurs millions d'exemplaires dans le cours inférieur du Rhin.

Les peuplements zooplanctoniques du Rhin sont soutenus par les apports permanents d'organismes venant des affluents. En 2006 et 2007, la biomasse zooplanctonique au débouché de la Moselle était supérieure d'un facteur 5 environ à celle du Rhin à Coblence, avec une dominance des rotifères et des protozoaires.

3.5 Comparaison des résultats avec les analyses antérieures

Le phosphore et le silicium sont les **nutriments** les plus importants dans la croissance du plancton. On note dans le rapport CIPR de 2002 sur le phytoplancton une nette tendance à la baisse entre les moyennes annuelles de 1995 et de l'an 2000. Cette tendance se poursuit, dans une plus faible mesure, aujourd'hui encore. La station de Clèves-Bimmen enregistre depuis longtemps les concentrations de phosphate P total. L'évolution de ces concentrations est reproduite dans la figure 8 ci-dessous. Il en ressort qu'après une forte diminution au départ les concentrations ne baissent plus que lentement au cours des dernières années et que les valeurs mesurées varient autour de la valeur d'orientation CIPR de 0,15 mg.

On constate également pour l'acide silicique dissous ($\text{SiO}_2\text{-Si}$) que les moyennes annuelles sont à nouveau en légère régression par rapport à 2005.

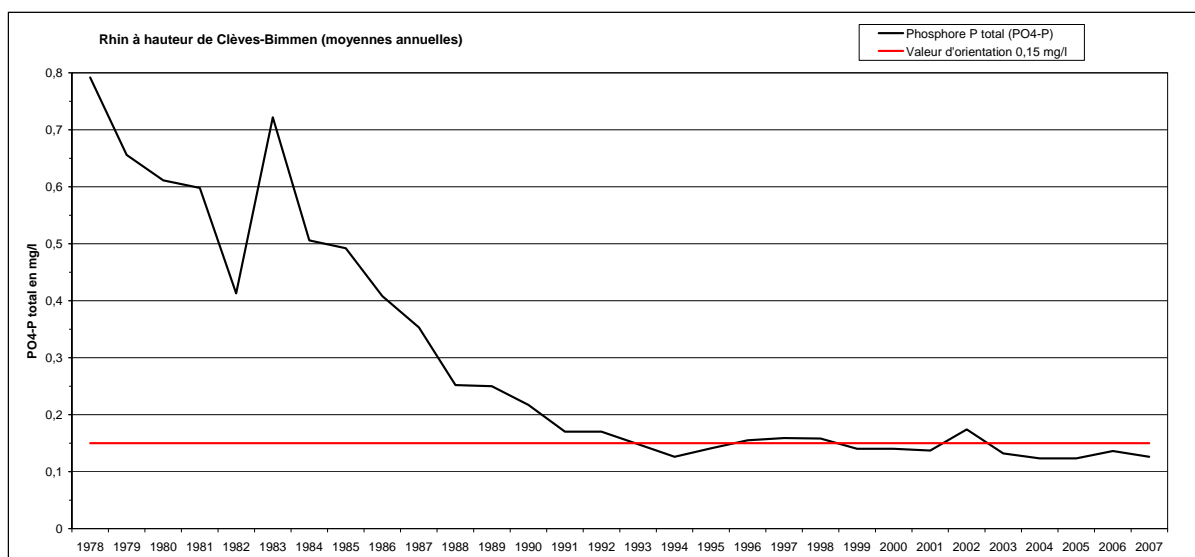


Fig. 7 : Evolution des concentrations de phosphore P total (PO₄-P) dans le Rhin à hauteur de Clèves-Bimmen de 1978 à 2007 (source : LANUV NRW)

Une comparaison des concentrations de chlorophylle apparaît difficile pour plusieurs raisons. Comme le montre le tableau 4, des concentrations moyennes plus élevées ont certes été mesurées en 2006 dans toutes les stations, mais il s'agit ici de moyennes obtenues sur la période de végétation (avril à octobre). Les moyennes annuelles réelles seraient probablement plus basses, du fait de la production primaire ralentie par la luminosité plus faible des mois d'hiver.

A Coblenze et Clèves-Bimmen, les pics de chlorophylle sont supérieurs à ceux mesurés six ans auparavant ; ils sont en revanche plus faibles à Bad Honnef. Comme il ne s'agit ici que de valeurs journalières et que les concentrations maximales réelles de phytoplancton n'ont probablement pas été saisies le jour même du prélèvement, une comparaison n'est possible que sous certaines réserves. Cette présentation ne doit donc pas faire oublier que des fluctuations sensibles peuvent se produire de manière naturelle, étant donné que des paramètres également naturels agissant sur la croissance phytoplanctonique, tels que le rayonnement global et le débit, varient d'une année à l'autre (cf. tableau 2).

Tab. 4 : Comparaison des valeurs mesurées de chlorophylle (moyenne annuelle 1995 et 2000, moyenne saisonnière 2006)

	Moyenne de chlorophylle a (µg/l)			Max. de chlorophylle a (µg/l)	
	1995	2000	2006	2000	2006
Coblenze	7,4	3,3	5,2	17,5	19,1
Bad Honnef	7	3,4	6	24,6	16,1
Clèves-Bimmen	13,5	8,3	14,2	29,1	44,7

4. Évaluation

L'état écologique requis au titre de la directive cadre sur l'eau peut être évalué au moyen de l'élément biologique 'phytoplancton' selon une méthode récemment mise au point en Allemagne (MISCHKE & BEHRENDT 2007 ; voir tab. 5).

Le système modulaire gradué utilisé en Suisse pour évaluer l'état des cours d'eau englobe un module phytoplancton (diatomées / diatomées centriques) comme indicateur de la qualité de l'eau (<http://www.modul-stufen-konzept.ch>). Dans le cadre du présent rapport, les données brutes des stations de prélèvement sur le haut Rhin ont été mises à disposition pour l'évaluation globale réalisée selon la méthode allemande.

Par ailleurs, les eaux de transition et les eaux côtières ont été évaluées selon la méthode néerlandaise (voir tab. 6).

Du haut Rhin au Rhin inférieur : évaluation selon la méthode allemande

Le système d'évaluation multimétrique appliqué aux types fluviaux 10.1 (du Rhin en aval du lac de Constance jusqu'au débouché de la Wupper) et 20.1 (Rhin : du débouché de la Wupper jusqu'au delta du Rhin) comporte trois paramètres individuels fournissant des informations sur la biomasse algale et sur la composition taxonomique du phytoplancton :

- Les pigments totaux comme outil de mesure de la biomasse phytoplanctonique. Après conversion de la moyenne saisonnière de chlorophylle non corrigée, on obtient des valeurs appelées « valeurs B » et comprises entre 0,5 et 5,5, ces valeurs B évoluant à la hausse à mesure qu'augmentent les concentrations de pigments totaux. Ces chiffres sont pris en compte pour le calcul de l'indice global.
- Paramètre « pénnales » : indice compris entre 1 et 3 découlant de la comparaison entre la valeur de dominance des diatomées pénnales et les limites définies de catégories spécifiques du type fluvial considéré. Le pourcentage de pénnales baisse dans les types fluviaux du Rhin à mesure qu'augmente la dégradation, ce qui se traduit par une hausse de l'indice.
- Indice spécifique du potamoplancton (TIP) pour les types fluviaux : paramètre de dégradation se fondant sur des taxons indicateurs.

L' « indice global ,phytoplancton' » est obtenu par calcul de la moyenne de ces trois paramètres métriques individuels.

Les données sont évaluées automatiquement à l'aide du logiciel d'évaluation

« Phytofluss ». On obtient au final les indices calculés et le résultat de l'évaluation.

Le « très bon état » correspond à des valeurs de l'indice global comprises entre 0,5 et 1,5 ; au-dessus de 1,5 et jusqu'à 2,5, on est dans une situation de « bon état » etc.

Le tableau 5 fait état de l'évaluation écologique obtenue dans les stations de mesure du Rhin pour le phytoplancton.

Tab. 5 : Evaluation de l'état écologique obtenu dans les stations de mesure sur la base de la méthode d'évaluation allemande (2006/2007)

Station de mesure	PK	Type	Pigments totaux Valeur B	Pennales EQ	TIP	Indice total	Évaluation
Oehningen	23	10.1	0,5	3	2,6	2,0	bonne
Reckingen	90	10.1	0,5	1	2,3	1,3	très bonne
Weil	171	10.1	0,5	1	2,6	1,4	très bonne
Vogelgrün	225	10.1	0,5	1	2,6	1,4	très bonne
Karlsruhe	359	10.1	0,5	1	2,7	1,4	très bonne
Worms	443	10.1	0,6	3	2,6	2,06	bonne
Mayence	498	10.1	0,5	3	2,6	2,04	bonne
Coblence	590	10.1	0,9	3	2,6	2,16	bonne
Honnef	640	10.1	1,2	3	2,8	2,33	bonne
Bimmen	863	20.1	2,8	3	3,2	3,02	moyenne
2007							
Coblence	590	10.1	0,5	3	2,5	2,00	bonne
Honnef	640	10.1	0,6	2	2,8	1,79	bonne
Bimmen	863	20.1	1,6	3	3,5	2,72	moyenne

Comme il ressort de cette présentation synoptique, la sortie du lac inférieur (du lac de Constance) est considérée comme « **bonne** » à hauteur de la station d'Ohningen en 2006. Rapportés à l'élément biologique 'phytoplancton', le haut Rhin à Reckingen et le Rhin supérieur jusqu'à Karlsruhe sont dans un « **très bon** » état. Le tronçon plus en aval du Rhin supérieur et le Rhin moyen jusqu'à Bad Honnef rentrent dans la catégorie d'évaluation de « **bon** » état. L'évaluation globale de la station de mesure de Clèves-Bimmen située sur le cours aval du Rhin inférieur débouche sur un état « **moyen** ». Les stations de mesure plus en aval dans le delta du Rhin ne sont actuellement pas évaluables au moyen du phytoplancton.

Si l'on observe les indices individuels, on constate dès Coblence une hausse de la valeur indicative (valeur B) des **pigments totaux**, qui atteint son maximum à Bimmen.

A Ohningen, le chiffre indicatif pour les **pennales** s'élève à « 3 » à la sortie du lac inférieur du lac de Constance, le plancton étant ici fortement impacté par la croissance des diatomées dans le lac de Constance. De Reckingen à Karlsruhe, la valeur « 1 » indique certes des conditions écologiques favorables, mais elle remonte à « 3 » à hauteur de Worms, signe d'une dégradation croissante.

L'**indice TIP** reste pratiquement à un niveau de 2,6 jusqu'à Coblence puis remonte à Bad Honnef et atteint une valeur maximale de 3,2 dans le tronçon aval du Rhin inférieur.

Les données obtenues en 2007 sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur débouchent sur la même évaluation, mais les indices sont ici plus bas. Globalement, la production primaire est restée à un plus faible niveau en 2007 du fait du débit plus élevé et du temps de séjour raccourci des eaux.

Eaux de transition et eaux côtières : Evaluation selon la méthode néerlandaise

La trophie des eaux de transition et des eaux côtières a été évaluée à l'aide des concentrations de chlorophylle a. Le tableau B.6 donne un aperçu de la classification sur la période 2001 – 2007 sur la base du système d'évaluation néerlandais.¹ L'évaluation (très bon : bleu, bon : vert, moyen : jaune, médiocre : orange) est exprimée sous forme de quotient de qualité écologique (*ecologische kwaliteitsratio* EKR) : la limite entre médiocre et moyen est de 0,4 ; elle est de 0,6 entre moyen et bon et de 0,8 entre bon et très bon.

Tab. 6 : Evaluation de l'élément de qualité biologique « phytoplancton » sur la base du système d'évaluation néerlandais.

Station de mesure	Masses d'eau	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Noordwijk 2	Côte hollandaise	0,54	0,53	0,61	0,84	0,62	0,86	0,55
Boomkensdiep	Côte de la mer des Wadden	0,64	0,75	0,63	0,49	0,39	0,80	0,60
Dantziggat (+Boovebalg West 2007)	Mer des Wadden	0,41	0,48	0,47	0,47	0,54	0,51	0,52

Il ressort du tableau que les évaluations varient fréquemment selon les années, à l'exception de la station Dantziggat dans la mer des Wadden qui a toujours été qualifiée de « moyenne ». L'état de la mer des Wadden et de la bordure du littoral néerlandais varie selon les années : il est bon à très bon certaines années, puis varie entre moyen et médiocre au cours d'autres années. Il apparaît donc nécessaire de stabiliser le « bon état ».

¹ L'estimation de la situation en zone côtière se limite à la zone côtière correspondant au 1^{er} mille marin et s'oriente sur les critères d'évaluation européens tirés du processus d'interétalonnage. Il en résulte des écarts par rapport aux déclarations d'OSPAR. En effet, OSPAR considère l'état de la mer du Nord dans son ensemble, c'est-à-dire avec les estuaires et les zones côtières. Des programmes de réduction de l'azote sont également en cours dans le cadre d'OSPAR. Les déclarations centrales sont comparables, qu'elles viennent de la DCE ou d'OSPAR.

5. Bibliographie

CIPR (2002) : Le plancton dans le Rhin. Rapport n° 129-f, 41 p.

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

MISCHKE, U. & H. BEHRENDT (2007): Handbuch zum Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-WRRL in Deutschland. Weißensee Verlag, 88 S.

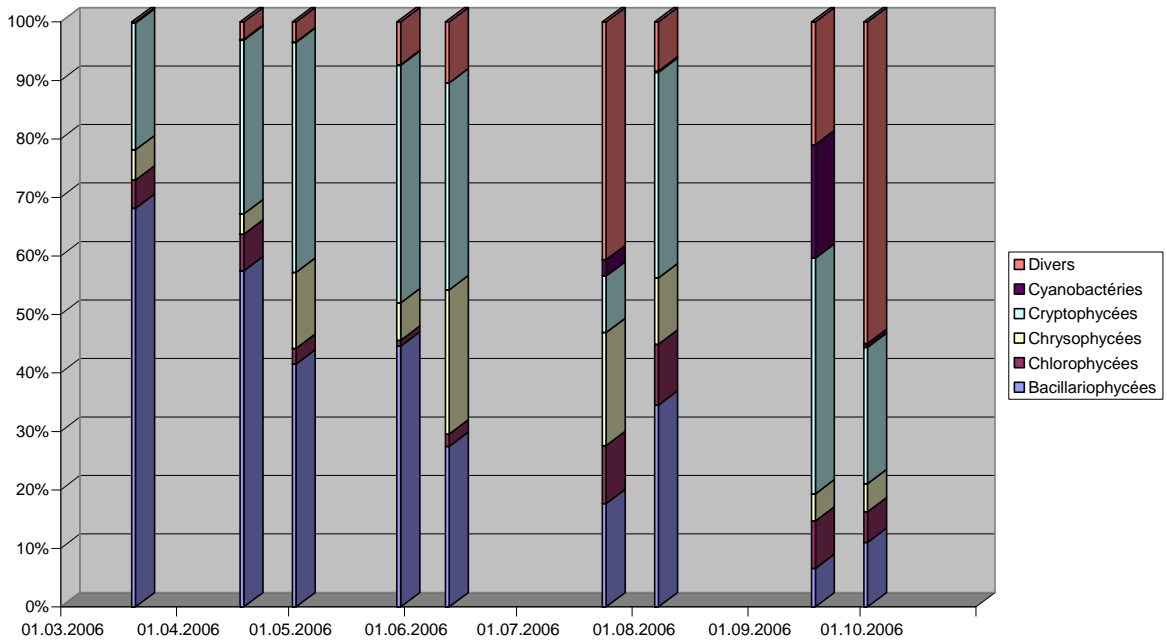
VAN SPLUNDER I.I.T.A., H. PELSMA, A. BAK (2006)
Richtlijnen Monitoring Oppervlaktewater Europese Kaderrichtlijn Water.

VIERGUTZ, C., M. KATHOL, H. NORF, H. ARNDT & M. WEITERE (2007): Control of microbial communities by the macrofauna: A sensitive interaction in the context of extreme summer temperatures. – *Oecologia* 151, S. 115-124.

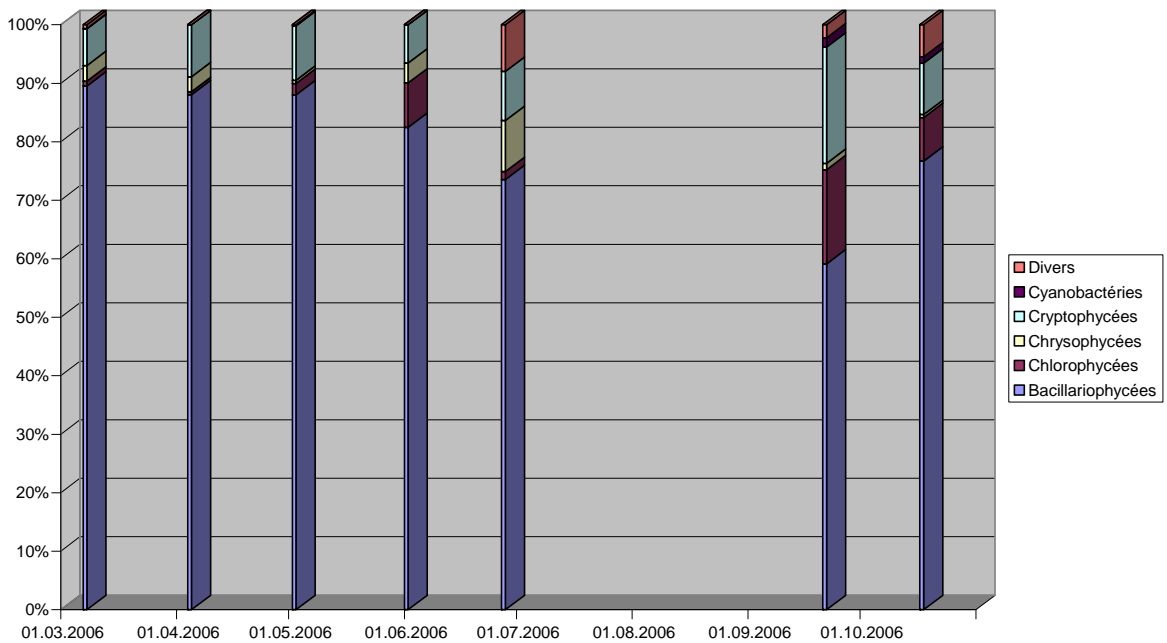
WEITERE, M, J. DAHLMANN, C. VIERGUTZ & H. ARNDT (2008): Differential grazer-mediated effects of high summer temperatures on pico- and nanoplankton communities. – *Limnol. Oceanogr.* 53(2), S. 477-486.

Annexe : Pourcentage détenu par les différents groupes algaux dans le biovolume (stations sélectionnées)

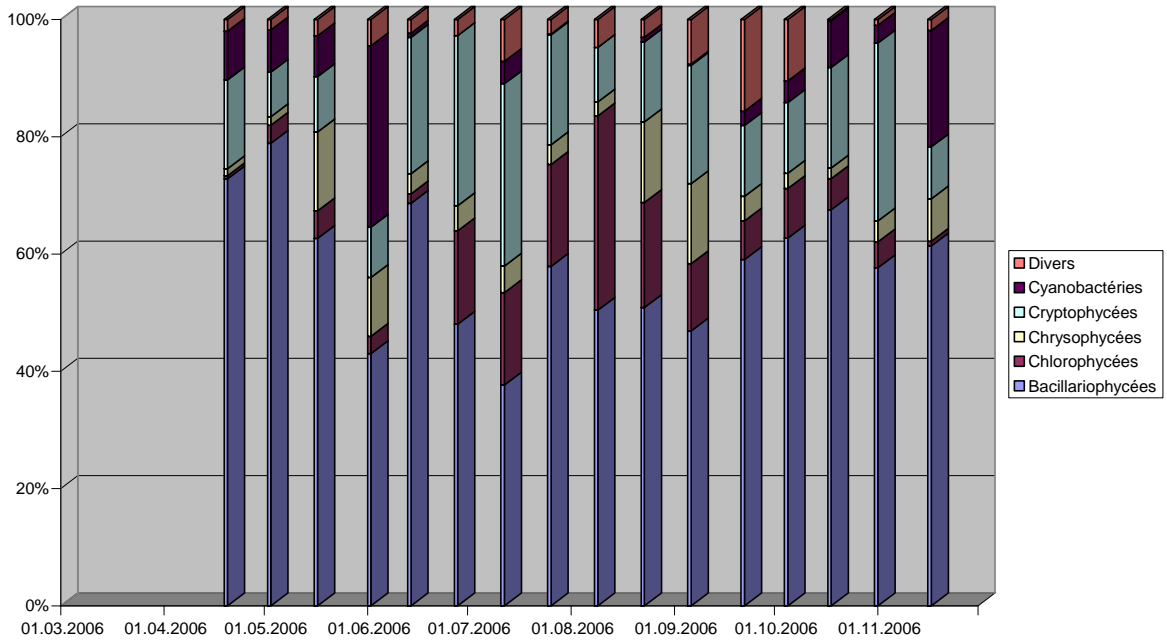
Biovolume Rhin / Öhningen



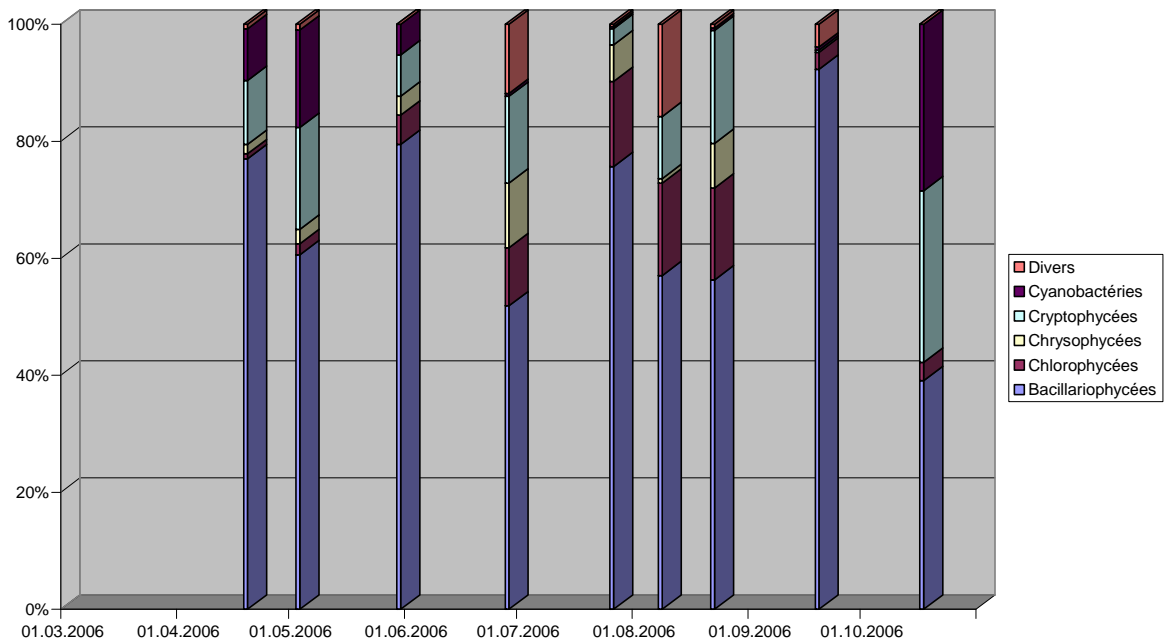
Biovolume Rhin / Reckingen



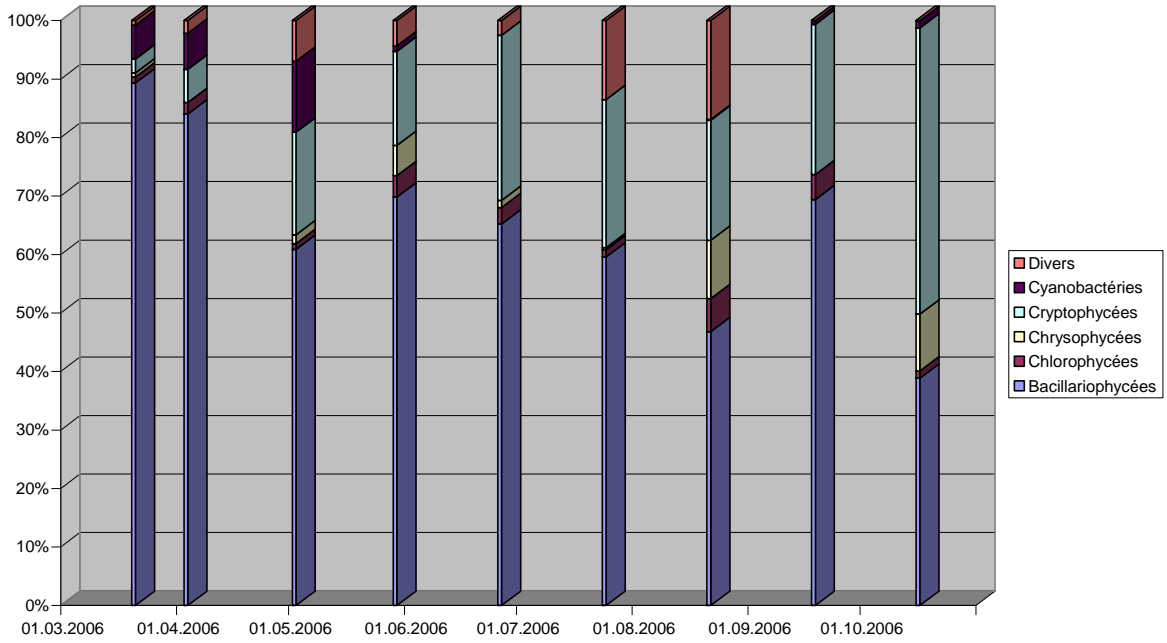
Biovolume Rhin / Weil



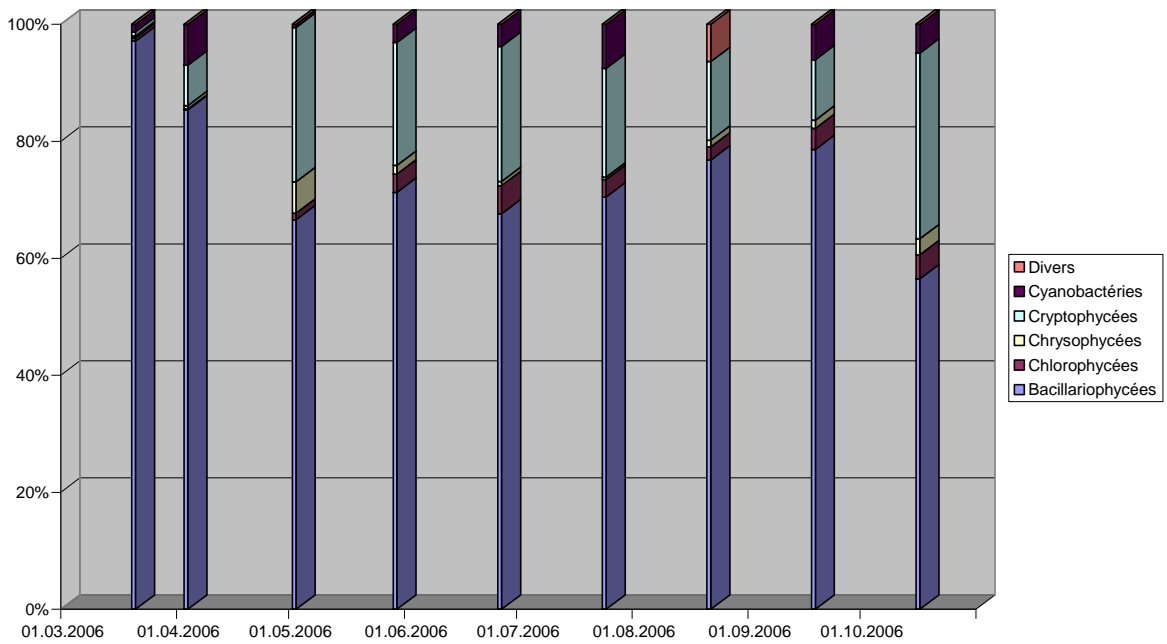
Biovolume Rhin / Vogelgrün



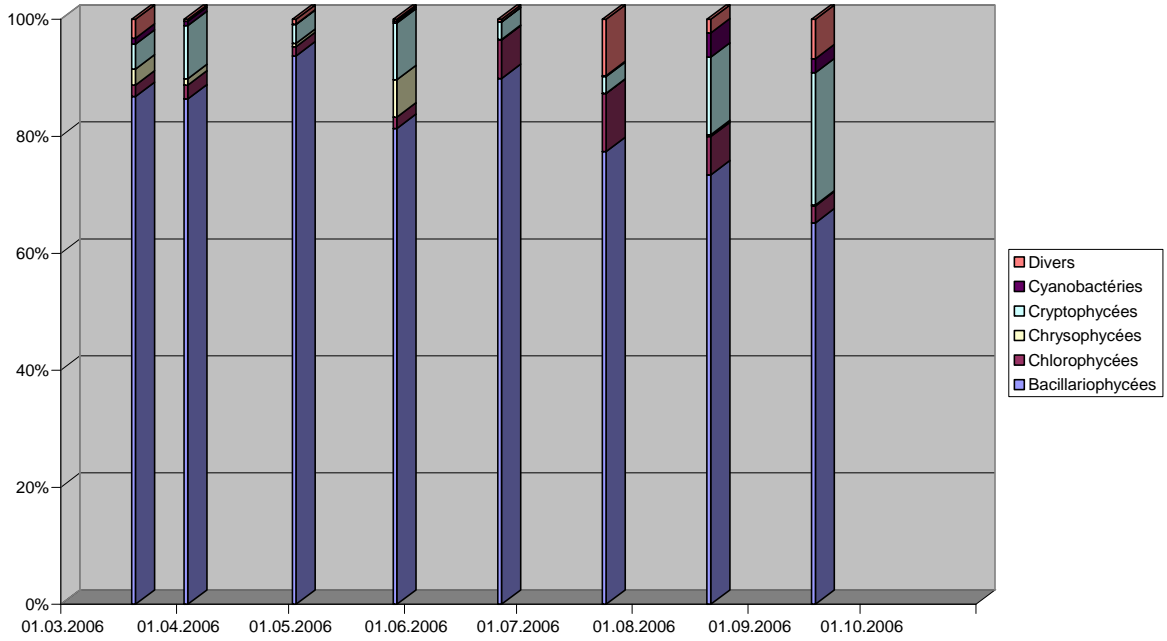
Biovolume Rhin / Karlsruhe



Biovolume Rhin / Coblenz



Biovolume Rhin / Bad Honnef



Biovolume Rhin / Bimmen

