



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Plancton dans le Rhin 2000

68^{ème} Assemblée plénière – 2 et 3 juillet 2002 - Luxembourg

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Résumé | 2 |
| 2. Introduction | 5 |
| 3. Techniques et méthodes | 6 |
| 3.1. Sites de prélèvement | 6 |
| 3.2. Analyse des échantillons de plancton | 8 |
| 3.2.1. Phytoplancton | 8 |
| 3.2.2. Zooplancton | 8 |
| 4. Résultats et discussion | 9 |
| 4.1. Débit..... | 9 |
| 4.2. Paramètres chimiques et teneur en chlorophylle a..... | 9 |
| 4.3. Composition du phytoplancton..... | 15 |
| 4.4. Composition du zooplancton | 23 |
| 4.5. Comparaison entre la composition des espèces en 1995 et en l'an 2000 | 26 |
| 4.6. Evaluation des données par rapport à la directive cadre 'Eau' de l'UE | 28 |
| 4.7. Evaluation qualitative à partir de la teneur en chlorophylle a | 28 |
| 4.8. Evaluation qualitative à partir de phytoplanctontes indicateurs | 32 |
| 5. Bibliographie | 33 |
| 6. Annexe | 36 |

1. Résumé

En l'an 2000, il a été effectué dans le cadre du „Programme d'Action Rhin“ de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR) un inventaire du phytoplancton et du zooplancton ainsi que de paramètres chimiques importants. Le recensement des données s'est étendu du lac de Constance au delta néerlandais du Rhin. En outre, des prélèvements ont été réalisés respectivement dans une station de l'Aare, du Neckar, du Main et de la Moselle, tous affluents du Rhin.

Par rapport à 1995, on constate en l'an 2000 dans la plupart des sites de prélèvement une légère amélioration du degré trophique, c'est-à-dire un recul des teneurs moyennes annuelles en chlorophylle a et en nutriments phosphate et nitrate. Les valeurs relevées pour le silicate restent inchangées ou font au contraire état d'une hausse dans quelques stations.

La teneur en chlorophylle a connaît dans toutes les stations un pic printanier aux alentours d'avril/mai. Sur le cours longitudinal du Rhin, les valeurs moyennes annuelles relevées dans le *haut Rhin* et le *Rhin supérieur* sont inférieures à 5 µg/l de chlorophylle a jusqu'à la station de **Karlsruhe**. Les valeurs maximales ne font pas apparaître non plus d'augmentation significative sur ce tronçon. Une hausse des teneurs en chlorophylle a n'est manifeste qu'avec l'entrée dans le tronçon à écoulement libre et après le débouché du Neckar dans le Rhin. Cette progression se poursuit dans le *Rhin moyen* et le *Rhin inférieur*. C'est à la station de **Kleve-Bimmen** que sont mesurées pour le Rhin en l'an 2000 la valeur maximale, avec 43,1 µg/l, et la moyenne annuelle la plus élevée, avec 8,3 µg/l. Plus en aval, dans le *delta du Rhin*, les teneurs moyennes en chlorophylle a retombent au-dessous de 5 µg/l jusqu'à la station de Maassluis, le maximum mesuré n'atteignant plus que 20 µg/l. Les grands affluents rhénans Neckar et Moselle présentent des teneurs en chlorophylle a nettement plus élevées que celles du *Rhin moyen*. La teneur maximale est de 71,3 µg/l (Moselle). Elle dépasse donc sensiblement les maximums mesurés dans le Rhin.

En se fondant sur la composition des espèces, on peut subdiviser le Rhin en différentes zones : (i) le *haut Rhin*, pour lequel les apports d'espèces issues du lac de Constance et de l'Aare jouent un rôle important, (ii) le *Rhin supérieur septentrional* et le *Rhin moyen*, influencés par les apports du Neckar, du Main et de la Moselle – avec un nombre maximal de cellules dans la Moselle, et (iii) le *Rhin inférieur* et le *delta du Rhin*, tronçons caractéristiques d'un fleuve de plaine.

Si l'on se réfère au biovolume, les diatomées (bacillariophycées) dominent. Si l'on se fonde sur le nombre de cellules, ce sont alors les cyanophycées filamenteuses (cyanobactéries) qui passent au premier plan. Celles-ci sont très abondantes dans le *haut Rhin* et le *Rhin supérieur*, mais perdent progressivement en importance vers l'aval à partir de **Mannheim** (*Rhin moyen*). On ne les voit réapparaître en masse qu'à partir de la station de **Lobith** (*delta du Rhin*) en hiver. Le reste du temps, même pendant les pics printaniers, et dans la plupart des stations, même au niveau du nombre de cellules, ce sont les diatomées centriques qui occupent les positions dominantes. Les chlorophycées et les cryptophycées arrivent en deuxième et troisième position. Pour ce qui est du pourcentage respectif des principaux groupes d'algues dans la constitution globale du phytoplancton, les stations n'offrent pas de profil homogène lorsqu'on compare les données de 1995 avec celles de l'an 2000.

La tendance régressive du nombre de cellules zooplanctoniques (moyenne annuelle) déjà observée en 1995 se poursuit. Les protozoaires et les rotifères constituent les groupes les plus importants dans toutes les stations alors que les microcrustacés (cladocères et copépodes) n'apparaissent que dans le *delta*. Le zooplancton se développe principalement en avril/mai aux périodes de densités élevées d'algues et de ~~Lebithidées~~ ~~cladocères~~ ~~copépodes~~. Les études réalisées sur le plancton ont été examinées en relation avec le système d'évaluation qualitative requis par la directive cadre européenne sur la politique de l'eau. Une analyse de qualité selon KOEMAN & BIJKERK (2001) réalisée sur la base de la teneur en chlorophylle a fait ressortir pour le *haut Rhin*, le *Rhin supérieur* et le *Rhin moyen* jusqu'à la station de **Coblence** une très bonne qualité de l'eau. Plus en aval (du *Rhin moyen* au *delta du Rhin*, **Mannheim/Neckar** et **Coblence/Moselle** compris), le niveau de qualité obtenu n'est plus que bon à moyen. La classification trophique réalisée selon la méthode LAWA (2002), qui se fonde sur les valeurs mesurées de chlorophylle a de périodes végétatives (mars à octobre) des trois années 1998, 1999 et 2000, donne un autre tableau de la situation. Elle désigne les stations de **Karlsruhe**, **Coblence** et **Bad Honnef** comme mésotrophes. Seule la station de **Kleve-Bimmen** sur le *Rhin inférieur* est classée eutrophe. La composition du plancton n'est prise en compte dans aucun des deux systèmes d'évaluation. Une faible teneur en chlorophylle a, souhaitable en soi, peut p. ex. être identifiée au travers d'espèces caractéristiques d'une moins bonne qualité de l'eau. C'est pourquoi l'analyse de la composition des espèces et de la biomasse d'espèces individuelles est indispensable. Si l'on se réfère à la composition des espèces, la qualité de l'eau doit être considérée comme moins bonne dans les quelques

stations où les cyanophycées, en particulier *Planktothrix agardhii/rubescens*, sont en position dominante.

Les données présentées dans le présent rapport et sur lesquels ce rapport se fonde peuvent permettre de caractériser la qualité des eaux selon les dispositions de la directive cadre européenne sur la politique de l'eau.

2. Introduction

Des analyses du plancton sont effectuées à un rythme quinquennal dans le cadre du « Programme d'Action Rhin » de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR). La dernière analyse faite dans le Rhin pour la CIPR date de 1995 (CIPR 1997). Le présent rapport fournit des données actualisées issues du programme de mesure de l'an 2000. Dans ce cadre, on a dressé depuis le *haut Rhin* jusqu'à la *zone de delta* néerlandaise un inventaire du phytoplancton et, sur certains sites de prélèvement, du zooplancton (répartition de la biomasse dans le temps et dans l'espace et composition des espèces phytoplanctoniques et zooplanctoniques). Sont intégrés dans cette analyse les paramètres chimiques ayant une influence sur le phytoplancton (nutriments) ainsi que le débit à l'échelle de Rees. Le rapport fait état de la situation actuelle et doit permettre d'évaluer le degré trophique actuel. Les principaux résultats sont regroupés dans le présent rapport et comparés avec ceux de 1995.

La directive cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE) prescrit d'effectuer au cours des prochaines années une évaluation de la qualité de l'eau à partir de paramètres biologiques, entre autres à partir du phytoplancton. Dans ce contexte, on a donc examiné différents systèmes d'évaluation fondés sur la teneur en chlorophylle a (KOEMAN & BIJKERK 2001, SCHMITT 1998) et sur les types d'indicateurs (KOEMAN & BIJKERK 2001) pour déterminer leur capacité à répondre à ces prescriptions.

3. Techniques et méthodes

3.1. Sites de prélèvement

En l'an 2000, les institutions suivantes ont été associées au recensement des données :

Le prélèvement et le traitement du phytoplancton dans *le haut Rhin et le Rhin supérieur* depuis **Reckingen** jusqu'à **Mannheim** (et dans le **Neckar**) ont été réalisés par l'Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage à Berne (OFEFP) et la Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). *Le Rhin moyen et inférieur* a été traité par le Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA) (de **Bad Honnef** à **Kleve-Bimmen**) et par la Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (**Coblence/Rhin** et **Coblence/Moselle**).

Tab. 1: Sites de prélèvement dans le Rhin

| Station de mesure | Point kilométrique, identification |
|--------------------|------------------------------------|
| Reckingen | 91 |
| Weil | 171 |
| Vogelgrün | 225 |
| Karlsruhe | 359 |
| Mannheim | 426 |
| Coblence | 590 |
| Bad Honnef | 640 |
| Düsseldorf | 732 |
| Walsum | 792 |
| Lobith | 863 |
| Kleve-Bimmen | 865 |
| Kampen | 995 |
| Maassluis | 1019 |
| Aare/ Felsenau | 1 (PK Rhin 102) |
| Neckar/ Mannheim | 3 (PK Rhin 428) |
| Main/ Bischofsheim | 4 (PK Rhin 497) |
| Moselle/ Coblence | 6 (PK Rhin 591) |

Les données de la station de **Bischofsheim / Main** proviennent du Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). Les échantillons du *delta du Rhin* (à partir de la frontière néerlandaise) des stations **Lobith**, **Kampen** et **Maassluis** ont été analysés par le Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).

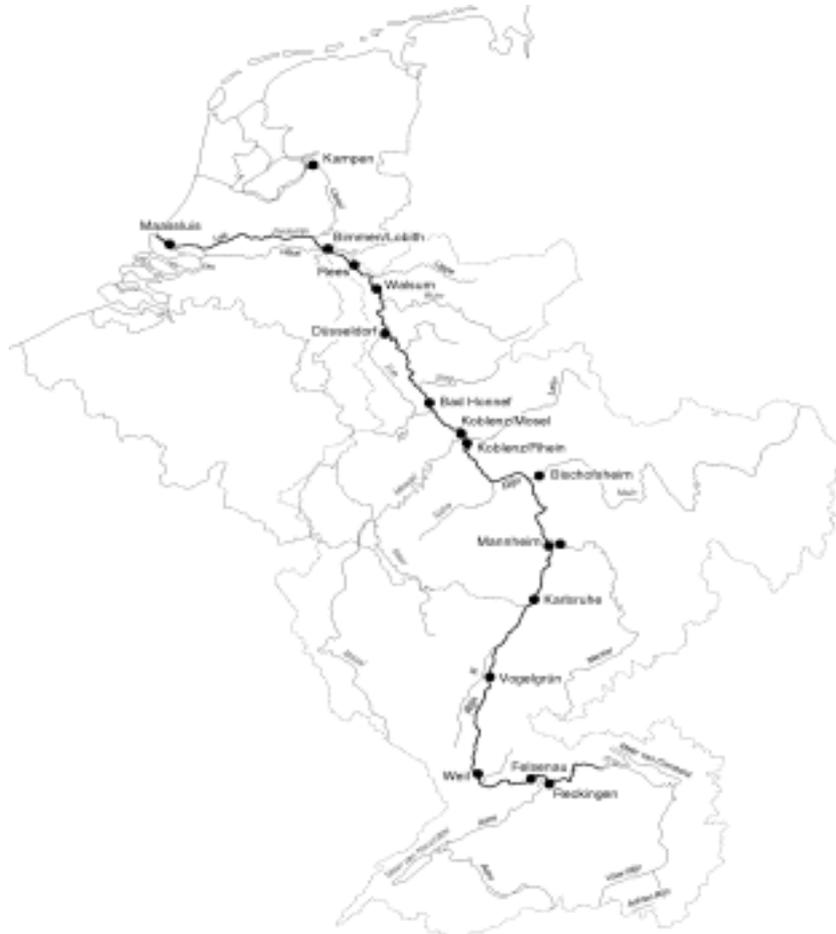


Fig. 1: Zone d'étude « Rhin »

Le programme d'analyse comprend les paramètres suivants:

1. Paramètres biotiques (rythme bimensuel): biomasse (chlorophylle a comme indicateur) et composition des espèces (nombre de cellules et biovolume) du phytoplancton, nombre d'individus et composition des espèces
2. Paramètres chimiques (rythme bimensuel). PH, nitrate, orthophosphate ou phosphate total, silicate.
3. Paramètres hydrographiques (tous les jours) : débit à l'échelle de **Rees**.

Les différents paramètres sont mesurés le même jour ou avec quelques jours d'avance ou de retard.

3.2. Analyse des échantillons planctoniques

3.2.1. Phytoplancton

On détermine en général la chlorophylle a, le nombre de cellules, les biovolumes et la composition des espèces phytoplanctoniques. Le biovolume total d'une espèce est calculé en multipliant les biovolumes moyens de l'espèce par la concentration de cellules respective (nombre de cellules/l). La liste des volumes planctoniques de la CIPR (cf. aussi POHLMAN & FRIEDRICH 2001) figure en annexe (tab. 8). Il s'agit d'une liste simplifiée dans laquelle sont regroupés quelques taxons rares ou difficiles à distinguer pour permettre un certain équilibre entre le travail de comptage à réaliser et la précision pouvant être obtenue.

La **Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg** et la **Hessische Landesanstalt für Umweltschutz** comptent le phytoplancton en se basant sur la méthode UTERMÖHL (UTERMÖHL 1958). Pour calculer les biovolumes, on se base en général sur les biovolumes standards figurant dans la liste POHLMAN & FRIEDRICH (2001) de la CIPR. Des mesures et calculs de biovolumes propres ne sont généralement effectués que lorsque l'organisme considéré ne figure pas sur cette liste ou que l'on procède à une différenciation plus poussée. Des informations plus détaillées sur la méthode globale utilisée pour le phytoplancton figurent dans HOEHN et al. (1998) et dans l'annexe au présent rapport (tab. 9).

Le **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen** travaille selon la méthode Utermöhl avec un microscope d'inversion à grossissement d'un facteur 400 et d'un facteur 160 pour le comptage supplémentaire de cellules de plus grande taille. Pour les données sur les diatomées centriques solitaires dans la liste globale des espèces, on fait appel à des préparations fixées grossies d'un facteur 1000. Les taxons qui ne sont observés que dans des échantillons vivants sont indiqués dans le procès-verbal de comptage par une fréquence de 0,1. A partir du 05.04.01, *Rhodomonas* spp. L. > 10 µm est intégrée dans la liste de comptage avec un volume de 343,7 µm³ (valeurs mesurées propres).

La **Bundesanstalt für Gewässerkunde** se fonde parfois sur des volumes de cellules ne répondant pas aux dispositions de la liste CIPR. Les volumes sont analysés par les opérateurs ayant prélevé les échantillons.

3.2.2. Zooplancton

Les échantillons d'1 litre sont intégralement comptés par le **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen** avec un grossissement d'un facteur 200 (pas d'échantillons partiels). Dans d'autres échantillons de 20 litres, les cladocères et les copépodes sont sélectionnés avec une loupe stéréo (objectif de grossissement jusqu'à 64x) et déterminés à l'aide du microscope. Dans le groupe des Ciliata, il faut tenir compte du fait que les têtes sans tige de *Vorticella*, *Carchesium* et *Zoothamnium* ne peuvent pas être différenciées avec certitude. Elles sont donc regroupées ici avec les Epistylidae et les autres Ciliophora. On a ajouté à la liste de comptage la mention « autres copépodes ».

La **Bundesanstalt für Gewässerkunde** prélève des échantillons d'eau de 10 litres et les fixe dans une solution « Lugol ». Avant d'être traités, les échantillons sont filtrés sur de la gaze de 30 µm et concentrés en un volume de 40 ml. Ensuite, l'échantillon global fait l'objet d'un comptage sous binoculaire avec grossissement d'un facteur 80.

La **Hessische Landesanstalt für Umweltschutz (HLUG)** filtre des échantillons d'eau de 4 litres sur une gaze de 55 µm, les subdivise en échantillons partiels en fonction de leur densité et les détermine et compte sous microscope d'inversion.

Le **RIZA** prélève sur un échantillon de 45 litres un échantillon partiel de 5 l et le filtre sur une gaze de 50 µm. L'échantillon est subdivisé en plusieurs échantillons partiels en fonction de la densité et les individus sont comptés sous microscope d'inversion (prescription RIZA W 8140 2.111).

4. Résultats et discussion

4.1. Débit

Le débit du Rhin est mesuré tous les jours à l'échelle de **Rees**. En l'an 2000, on observe des valeurs de pointe de 5380 et 5510 m³/s fin février et début mars (fig. 2). Ensuite, les valeurs passent en deça de 4000 m³/s. Entre mi-avril et fin décembre, le niveau de 3000 m³/s n'est plus dépassé, à une exception près en juillet. La période d'étiage avec des valeurs minimales variant entre 1700 et 1800 m³/s survient entre juillet et octobre. En 2000, le débit est nettement inférieur à celui de 1995, notamment en hiver et au printemps. Une crue apparaît fin janvier avec 12.000 m³/s, suivie de valeurs de l'ordre de 4000 m³/s. On ne peut toutefois dire que l'année 2000 est une année exceptionnellement sèche. Le débit annuel moyen de 2597 m³/s est légèrement inférieur à celui de 1995 avec 2948 m³/s.

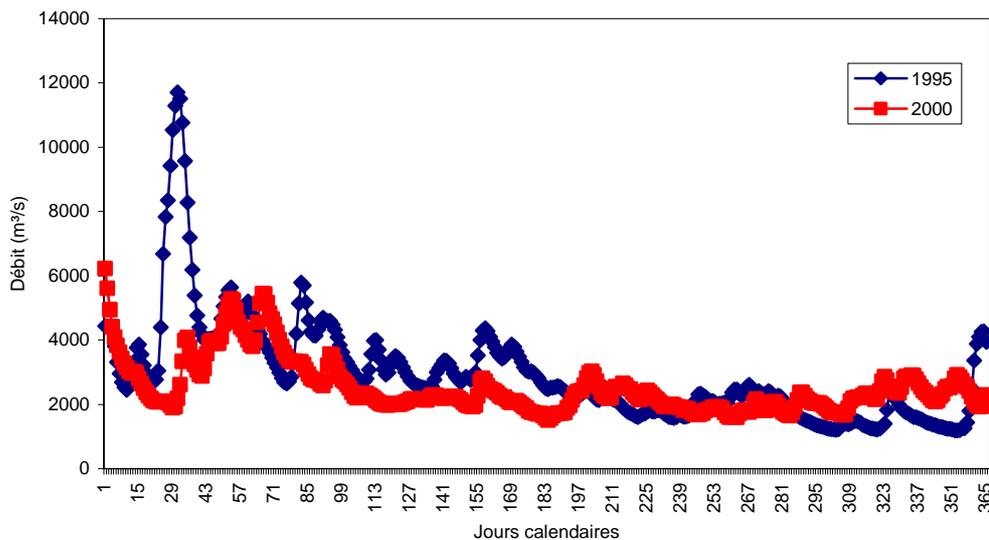


Fig. 2: Débit à l'échelle de Rees en 1995 et 2000

4.2. Paramètres chimiques et teneur en chlorophylle a

Les chapitres suivants traitent des paramètres chimiques en relation avec le développement du plancton.

L'analyse du pH ne fait pas ressortir de valeurs particulièrement élevées ou basses ; en général, le pH se situe entre 7,3 (minimum mesuré à **Maassluis**) et 8,5 (maximum mesuré à hauteur de **Kampen**).

Comme on peut s'y attendre, la teneur en silicate est élevée en hiver et atteint en mai/juin, date à laquelle on observe le développement maximal des diatomées, des valeurs minimales suivies d'une nouvelle hausse pendant le reste de l'année. Les valeurs maximales varient entre 3 et 4 mg Si/l, exception faite des stations du haut Rhin **Reckingen** et **Weil** où les valeurs maximales sont de l'ordre de 1,8 mg/l. Par rapport à 1995 (CIPR 1997), les valeurs mesurées en 2000 (valeurs annuelles moyennes) sont équivalentes ou plus élevées (tab. 2).

Les courbes de l'azote nitrique font apparaître une évolution semblable à celle du silicate avec les valeurs les plus élevées en hiver, une régression des valeurs à env. 2 mg/l (env. 1 mg/l à **Reckingen**, **Weil** et **Lauterbourg**) entre avril et juillet et une nouvelle progression à partir de septembre. Les valeurs maximales sont mesurées dans les trois stations néerlandaises (4,2 – 4,5 mg N/l), les plus basses (< 2 mg/l) dans les stations de **Reckingen**, **Weil** et **Lauterbourg**. Par rapport à 1995 (CIPR 1997), les valeurs moyennes (sur la période comprise entre le 3.1. et le 28.12.2000) continuent à baisser en l'an 2000 (tab. 2).

Les courbes d'orthophosphate font ressortir une évolution différente de celle des autres nutriments. On note en effet fréquemment des valeurs maximales pendant l'été. On observe rarement de pic précis, les valeurs étant soumises pendant toute l'année à de fortes variations (p.ex. les stations de **Lauterbourg** et de **Kleve-Bimmen**). Les valeurs de loin les plus élevées sont mesurées dans la **Moselle (Coblence)** (0,05 – 0,21 mg/l P), mais on relève également des valeurs maximales de l'ordre de 0,12 mg/l dans les stations néerlandaises du Rhin inférieur et à hauteur de **Kleve-Bimmen**. Les valeurs les plus basses ($\leq 0,015$ mg/l) sont observées dans la station de **Reckingen**. Les valeurs moyennes mesurées en l'an 2000 sont sensiblement inférieures à celles de 1995 (CIPR 1997) (tab. 2).

Tab. 2: Comparaison des valeurs moyennes annuelles de silicate, phosphate et nitrate en 1995 et 2000

| Station de mesure | PK | SiO ₂ -Si (mg/l) | | PO ₄ -P (mg/l) | | NO ₃ -N (mg/l) | |
|-------------------|------|--------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|------|
| | | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 |
| Reckingen | 91 | 1,22 | 1,23 | 0,03 | 0,01 | 1,25 | 1,20 |
| Weil | 171 | 1,4 | 1,16 | 0,02 | 0,02 | 1,57 | 1,40 |
| Karlsruhe | 359 | 2,69 | 1,88 | 0,05 | 0,03 | 1,70 | 1,51 |
| Mannheim | 426 | 2,25 | - | 0,05 | 0,04 | 1,81 | 1,67 |
| Coblence | 590 | 2,21 | 2,10 | 0,07 | 0,06 | 3,00 | 2,41 |
| Bad Honnef | 640 | 2,26 | 2,35 | 0,08 | 0,06 | 2,92 | 2,53 |
| Lobith | 863 | 2,43 | 2,42 | 0,09 | 0,09 | 3,20 | 2,89 |
| Kleve-Bimmen | 865 | 2,21 | 2,50 | 0,15 | 0,08 | 3,13 | 2,79 |
| Kampen | 995 | - | 2,78 | - | 0,1 | - | 2,90 |
| Maassluis | 1019 | 2,20 | 2,44 | 0,15 | 0,11 | - | 2,75 |
| | | | | | | | |
| Neckar/Mannheim | 3 | - | 3,61 | - | 0,17 | - | 4,45 |
| Main/Bischofsheim | 4 | - | - | - | 0,1 | - | 4,85 |
| Moselle/Coblence | 6 | 2,41 | 3,15 | 0,21 | 0,12 | 3,65 | 3,47 |

On observe dans toutes les stations de prélèvement d'avril à début mai (fig. 3) un niveau maximum de la biomasse algale (chlorophylle a en tant qu'indicateur). On peut distinguer différents tronçons du Rhin à partir des valeurs maximales de la chlorophylle a. Depuis le *haut Rhin* jusqu'à la station de **Coblence** sur le *Rhin moyen*, les valeurs maximales sont inférieures à 10 µg/l ; elles augmentent plus en aval jusqu'à Bimmen et subissent une nouvelle baisse à la station de **Maassluis** (tab. 3). La valeur maximale mesurée à la station de Bimmen s'élève à 43,1 µg/l. Seule la station de Kampen accuse une teneur en chlorophylle a encore plus élevée avec 46 µg/l. On observe, comme en 1995, un pic estival uniquement dans la station de **Kleve-Bimmen**. Des valeurs de chlorophylle a plus élevées sont mesurées dans le Neckar (51,9 µg/l) et dans la Moselle (71,3 µg/l).

Dans les stations de **Coblence/Moselle** et **Coblence/Rhin**, on dispose également de données sur la teneur en phéophytine, qui permet de mesurer la chlorophylle a déjà décomposée et les processus de « grazing » (BIDIGARE et al. 1985, LE ROUZIC et al. 1995). Les données montrent que ces valeurs sont supérieures aux valeurs de chlorophylle a dans la Moselle à partir d'octobre et dans le Rhin dès juillet. Une grande partie de la biomasse algale est donc en phase de décroissance à cette date (SUBBA RAO 1988).

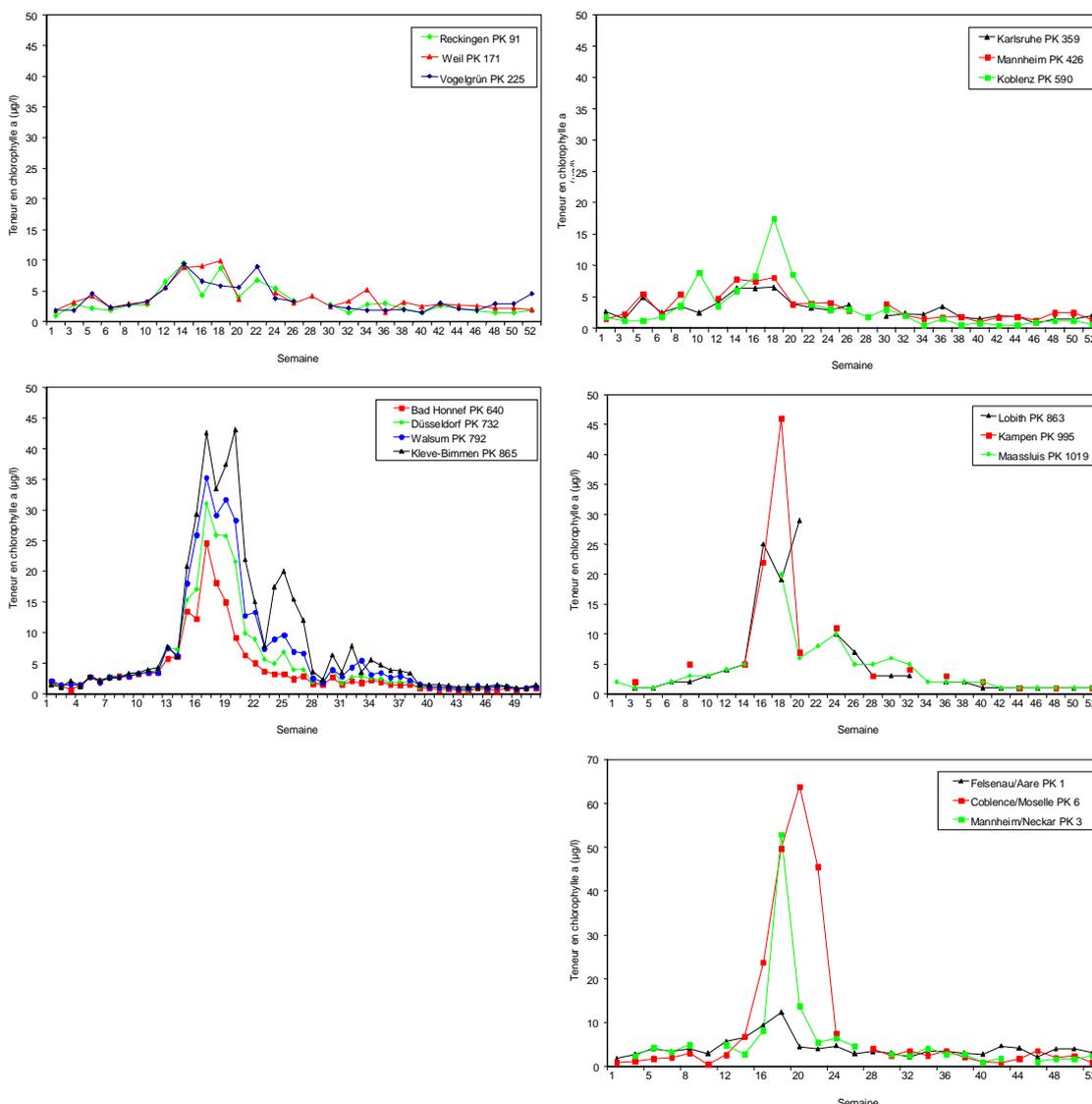


Fig. 3: Teneur en chlorophylle a (ligne en pointillés = valeur mesurée faisant défaut) au cours de l'année 2000

Exception faite de la station de **Kleve-Bimmen**, où l'on observe un deuxième pic de chlorophylle a en été, il n'y a plus de courbe présentant deux pointes. Par rapport à 1995, le pic estival observé dans cette station en 2000 est nettement inférieur à celui du printemps. Les valeurs moyennes de l'an 2000 (sur la période comprise entre le 3.1 et le

28.12.2000) sont nettement en deçà de celles de 1995 (tab. 3), à l'exception du *haut Rhin* et du *Rhin supérieur* (jusqu'à **Mannheim**). Par rapport à 1995, on note en 2000 dans la plupart des stations de prélèvement une régression des valeurs moyennes de phosphate et de nitrate, de même qu'un recul de la teneur en chlorophylle a. Les valeurs observées pour le silicate ne changent pas ; dans quelques stations on observe même une hausse, ce qui est vraisemblablement lié aux faibles valeurs de chlorophylle.

Tab. 3: Comparaison des valeurs moyennes annuelles de chlorophylle a en 1995 et 2000 et valeurs maximales en l'an 2000

| Station de mesure | PK | Valeur moyenne de chlorophylle a (µg/l) | | Valeur maximale de chlorophylle a (µg/l) |
|-------------------|------|---|------|--|
| | | 1995 | 2000 | 2000 |
| Rhin | | | | |
| Reckingen | 91 | 3,1 | 3,3 | 9,5 |
| Weil | 171 | 3 | 3,8 | 9,9 |
| Vogelgrün | 225 | | 3,6 | 9,4 |
| Karlsruhe | 359 | 2,7 | 2,9 | 6,5 |
| Mannheim | 426 | 3,4 | 3,9 | 8,1 |
| Coblence | 590 | 7,4 | 3,3 | 17,5 |
| Bad Honnef | 640 | 7 | 3,4 | 24,6 |
| Lobith | 863 | 21,1 | 5,2 | 29,1 |
| Kleve-Bimmen | 865 | 13,5 | 8,3 | 43,1 |
| Kampen | 995 | | 9,0 | 46,0 |
| Maassluis | 1019 | 18 | 3,8 | 20,0 |
| Affluents | | | | |
| Aare/Felsenau | 1 | | 4,2 | 12,3 |
| Neckar/Mannheim | 3 | | 6,5 | 53,9 |
| Moselle/Coblence | 6 | 15,5 | 8,7 | 71,3 |

La baisse des courbes de nutriments (silicate et phosphate) est en partie parallèle (fig. 4) à la hausse de la courbe de chlorophylle a et en partie décalée dans le temps, c'est-à-dire environ 2 semaines après le pic de chlorophylle. Le nombre de cellules et le biovolume des diatomées ainsi que la teneur en silicate sont inversement proportionnels ; on peut donc supposer que la régression des diatomées est due à un manque de silicate (voir

aussi TUBBING et al. 1994). Selon ADMIRAAL et al. (1994), une limitation de phosphate n'est pas vraisemblable.

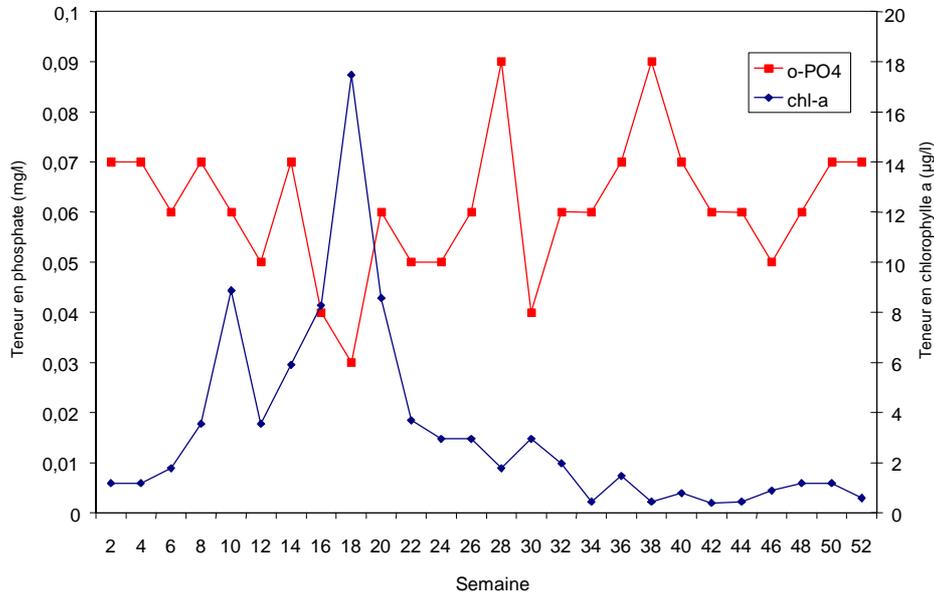


Fig. 4: Evolution de la teneur en chlorophylle a et en phosphate (ortho-PO₄-P) à la station de **Coblenz** en l'an 2000

La baisse observée de phosphate et de chlorophylle a ainsi que la hausse simultanée du silicate au cours des dernières années peut également être un indicateur de l'influence exercée par les nutriments sur le niveau de la biomasse algale. C'est pourquoi NIXDORF et al. (2000) discutent de la possibilité de tenir compte de la teneur en phosphate comme paramètre de classification de la qualité des eaux. L'évolution observée des nutriments et de la teneur en chlorophylle a peut être interprétée comme une légère amélioration du degré trophique du Rhin. Il convient cependant de garder en mémoire que dans les grands fleuves les facteurs physiques et hydrodynamiques (luminosité, débit, vitesse d'écoulement, température de l'eau) jouent un rôle plus important dans les variations du développement phytoplanctonique (IBELINGS et al. 1998, IKSR 1997, NIXDORF et al. 2000) que le taux de réduction des teneurs en nutriments végétaux atteint jusqu'à présent. Par ailleurs, l'abondance des espèces non sensibles n'est pas seulement fonction de la teneur nutritive, mais aussi de la salinité (FRIEDRICH & MÜLLER 1984), qui dépend à son tour non seulement des apports anthropiques de sel mais aussi des conditions de débit dans certains tronçons du fleuve (p.ex. à Maassluis).

4.3. Composition du phytoplancton

L'analyse de la composition des espèces fait ressortir quelques différences manifestes eu égard à trois aspects: (1) saisonnier, (2) spatial et (3) en fonction de l'indication en biovolume ou nombre de cellules.

(1) Les variations saisonnières dans la composition des espèces se traduisent par un maximum de cyanophycées (cyanobactéries) en hiver, la dominance des diatomées (bacillariophycées) au printemps et en été et la présence massive de chlorophycées, de chrysophycées/haptophycées et en partie de péridiniens (dinophycées) en été.

(2) Si l'on considère les données sous l'aspect spatial, on peut subdiviser la zone en deux : en amont et en aval de la station de **Mannheim** et/ou **Coblence**. En amont de ces stations, l'influence du lac de Constance se traduit par la dominance de la cyanobactérie *Planktothrix agardhii/rubescens*, une algue typique des eaux calmes. Plus en aval, les apports du Neckar, du Main et de la Moselle influencent la composition du plancton. Ce n'est que dans le *Rhin inférieur* que l'on observe à nouveau un développement planctonique dans un ordre de grandeur notable. Le biovolume le plus élevé est détecté à la station de **Lobith** ($18,7 * 10^6$ /ml), suivie de **Kleve-Bimmen** et **Coblence**. La densité maximale de cellules est obtenue dans la **Moselle (Coblence)** (83500/ml).

(3) Les données en nombre de cellules sont le plus souvent dominées par la cyanobactérie *Planktothrix agardhii/rubescens*, le biovolume par les diatomées centriques (fig. 5, 6 et 8). Alors que les minuscules cyanobactéries unicellulaires ne contribuent que peu au biovolume, les grandes diatomées et les autres groupes d'algues constituent souvent la plus grande partie de la biomasse. Dans ce contexte, il convient de souligner que les pourcentages indiqués dans les figures 5, 6 et 8 se basent sur des chiffres très différents. Ceci ressort du tableau 4 qui fait état du total des cellules, du biovolume global et du pourcentage des cyanobactéries par rapport à ces deux paramètres dans la station de **Lobith**. Les chiffres en vert font très clairement ressortir cette divergence : Au cours de la 2^{ème} semaine, les cyanobactéries représentent 83 % du nombre total de cellules (1681 cellules/ml), mais seulement 31 % du biovolume global. Au cours de la 18^{ème} semaine, elles représentent 52 % du nombre total de cellules (49261 cellules/ml), mais seulement 3 % du biovolume global.

Tab. 4: Comparaison entre le pourcentage des cyanobactéries dans le total de cellules et dans le biovolume global (en chiffres absolus) à hauteur de Lobith (semaines sélectionnées)

| Semaine | Total des cellules/ml | Cyanobactéries | % du total de cellules | Biovolume global/ml | Cyanobactéries | % du biovolume global |
|---------|-----------------------|----------------|------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|
| 2 | 1618 | 1334 | 83 | 175935 | 54662 | 31 |
| 4 | 899 | 412 | 46 | 186154 | 16698 | 9 |
| 14 | 6124 | 1682 | 27 | 3418971 | 81587 | 2 |
| 16 | 20764 | 53 | 0 | 2347950 | 2528 | 0 |
| 18 | 49261 | 25638 | 52 | 18785303 | 600929 | 3 |
| 20 | 24063 | 826 | 3 | 4219219 | 11647 | 0 |
| 36 | 3371 | 0 | 0 | 388126 | 0 | 0 |
| 38 | 2134 | 32 | 1 | 409045 | 451 | 0 |
| 40 | 3836 | 3219 | 84 | 164893 | 45388 | 28 |
| 42 | 351 | 0 | 0 | 76400 | 0 | 0 |
| 44 | 297 | 84 | 28 | 32036 | 676 | 2 |
| 46 | 310 | 135 | 44 | 44074 | 1904 | 4 |
| 52 | 3436 | 3306 | 96 | 24333 | 6854 | 28 |

Les diatomées et les cryptomonades dominant dans la station de **Reckingen** ; on observe deux pics de cyanobactéries uniquement en automne.

La cyanobactérie *Planktothrix agardhii/rubescens* domine de loin les autres espèces pendant presque toute l'année dans les stations de prélèvement de **Weil** et de **Vogelgrün**, tant au niveau du nombre de cellules qu'à celui des biovolumes. Si l'on se fonde sur le biovolume, les diatomées *Diatoma vulgaris* et *Cocconeis* sp. – formes tychoplantoniques non comparables aux espèces centriques – sont codominantes au printemps (fig. 5). Par ailleurs, on note des densités et biovolumes élevés pendant toute l'année pour la cryptomonade *Rhodomonas minuta*.

A partir de **Karlsruhe**, *Planktothrix agardhii/rubescens* n'est plus dominante en termes de nombre de cellules et de biovolume que jusqu'au début du printemps et à partir du mois d'octobre. En revanche, un groupe de diatomées centriques, appelé complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira*, gagne en importance dans le *Rhin supérieur* septentrional (en aval de la confluence avec le Neckar canalisé, riche en plancton). La diatomée *Skeletonema subsalsum* atteint pour la première fois des chiffres importants, représentant en été jusqu'à 35 % du biovolume global. Plus en aval (**Mannheim**), *Planktothrix agardhii/rubescens* perd à nouveau en importance, alors que les diatomées du complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* et *Cryptomonas* spp. représentent une plus grande partie du plancton.

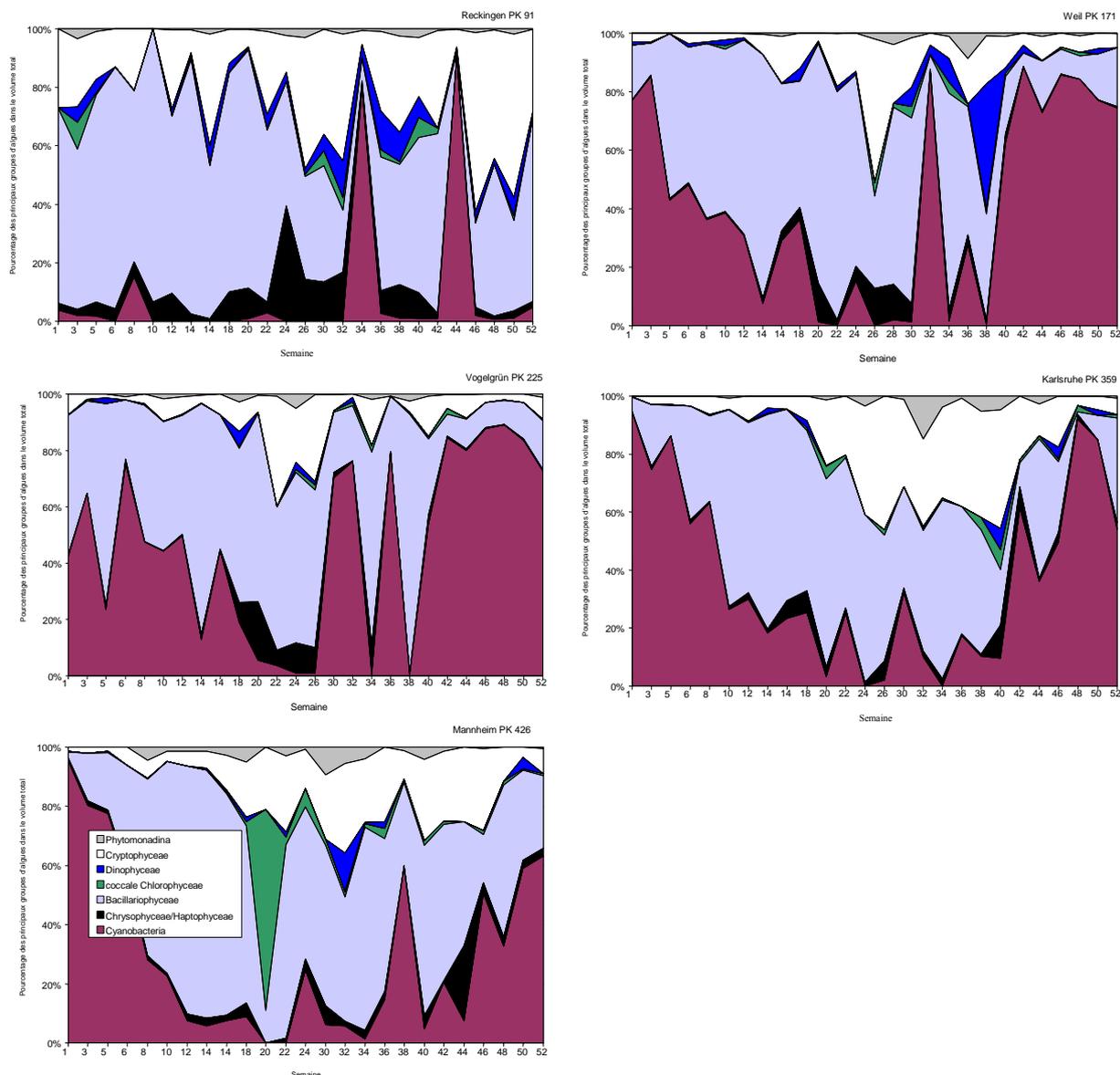


Fig. 5: Pourcentage des principaux groupes d'algues dans le biovolume total (%) de Reckingen à Mannheim au cours de l'an 2000

Les paragraphes suivants décrivent brièvement le rôle joué par l'Aare, le Neckar, le Main et la Moselle, affluents du Rhin (fig. 6). A hauteur de **Felsenau/Aare**, la cyanobactérie *Planktothrix agardhii/rubescens* domine de loin les autres espèces pendant presque toute l'année, tant au niveau du nombre des cellules qu'à celui des **Almanchesim/Neckar**, on trouve à côté des diatomées planctoniques (groupe *Cyclotella/Stephanodiscus*, *Skeletonema subsalsum*) un nombre relativement élevé de diatomées benthiques appartenant aux genres *Nitzschia* et *Navicula* dans les échantillons printaniers. En été, les chrysophycées, de même que d'autres flagellés (phytomonadinées) et

les chlorophycées coccales, représentent une part relativement élevée dans le biovolume.

A **Bischofsheim/Main**, on relève une dominance manifeste des diatomées; si l'on considère le nombre de cellules, les chlorophycées tiennent une part notable dans le phytoplancton.

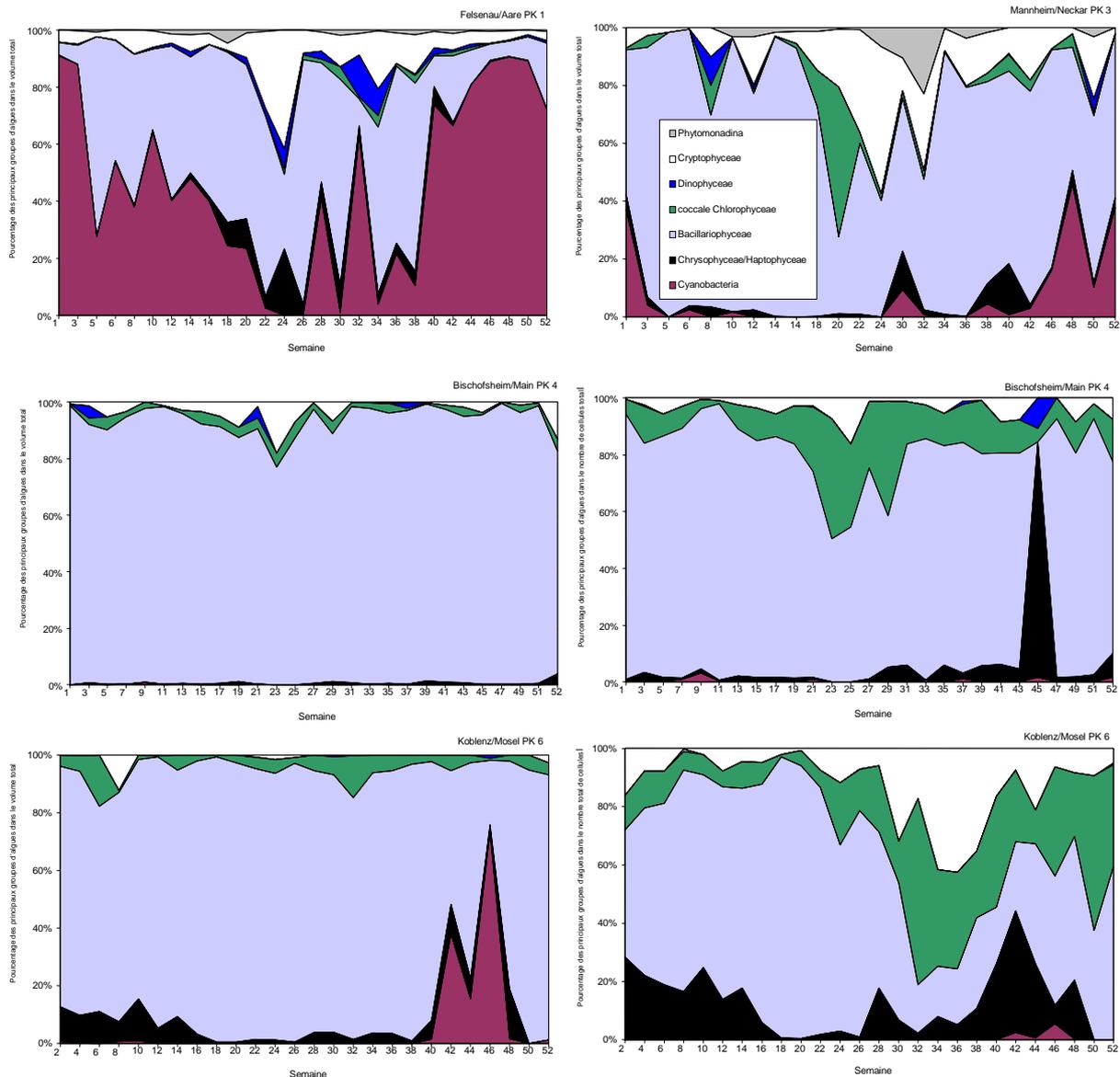


Fig. 6: Pourcentage des principaux groupes d'algues dans le biovolume total et le nombre total de cellules (%) dans les affluents du Rhin au cours de l'an 2000

A hauteur de **Coblence/Moselle**, les diatomées centriques représentent pendant presque toute l'année la plus grande part du biovolume : on trouve au printemps, parallèlement à *Skeletonema potamos* et *S. subsalsum*, qui forment le pic de début mai, de petites for-

mes centrales indéfinies ainsi que *Cyclostephanos dubius* et l'espèce pennale *Navicula lanceolata*. Les formes pennales jouent un rôle particulier en automne, conformément à leur développement saisonnier sur les berges et le lit. Les biovolumes des chlorophycées *Scenedesmus* (groupe *S. armatus*) et *Oocystis* spp. ainsi que les cryptomonades *Cryptomonas* spp. et *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica* jouent un rôle secondaire, mais digne d'être mentionné, au printemps et en été. Si l'on se fonde sur le nombre de cellules, on relève au printemps une dominance des petites bacillariophycées centrales et pennales, de même qu'une recrudescence de *Skeletonema potamos* et *S. subsalsum*. Enfin, les cellules de chlorophycées *Scenedesmus* (groupe *S. armatus*) et *Dictyopshaeirium* spp. ainsi que celles des cryptomonades *Cryptomonas* spp. et *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica* apparaissent en nombre élevé au printemps et en été.

Les biovolumes et le nombre de cellules sont comparés dans les stations suivantes. En aval de la station de **Coblence**, le graphique du nombre de cellules et du biovolume fait apparaître des différences importantes. Celles-ci peuvent s'expliquer par le fait que le biovolume est composé soit d'une multitude de petites algues, soit d'un nombre peu important de grosses cellules. La figure 7 montre qu'à hauteur de la station de **Coblence** la part de biovolume tenue par les bacillariophycées est pratiquement toujours plus importante que celles des chrysophycées/monadoïdes, alors que ces dernières atteignent en été et en automne un pourcentage plus élevé que les bacillariophycées au niveau du nombre total de cellules.

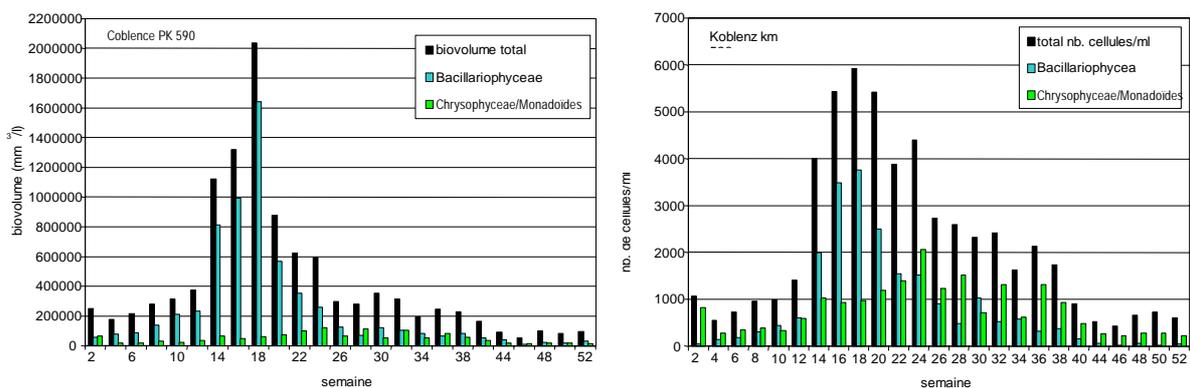


Fig. 7: Comparaison de la part tenue par différents groupes d'algues dans le biovolume total et dans le nombre total de cellules dans le Rhin à hauteur de Coblence

A hauteur de **Coblence**, le biovolume est composé en majeure partie de *Planktothrix* spp. en hiver et au début du printemps (fig. 8a). Par la suite, le biovolume est dominé

par les diatomées centriques. On note en outre une co-dominance des cryptophycées de l'été jusqu'à la fin de l'année ainsi que des chrysophycées/haptophycées, parmi elles *Dinobryon* spp. En automne, on note ci et là des concentrations élevées de la diatomée benthique *Cocconeis pediculus* et de *Planktothrix* spp. Si l'on se fonde sur le nombre de cellules, ce sont les chlorophycées et les chrysophycées/haptophycées qui occupent les positions les plus importantes. Les petites diatomées centriques dominant à partir du mois d'avril (et sont vraisemblablement responsables du pic de chlorophylle) et les cryptomonades en été, tout particulièrement l'espèce *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctica*.

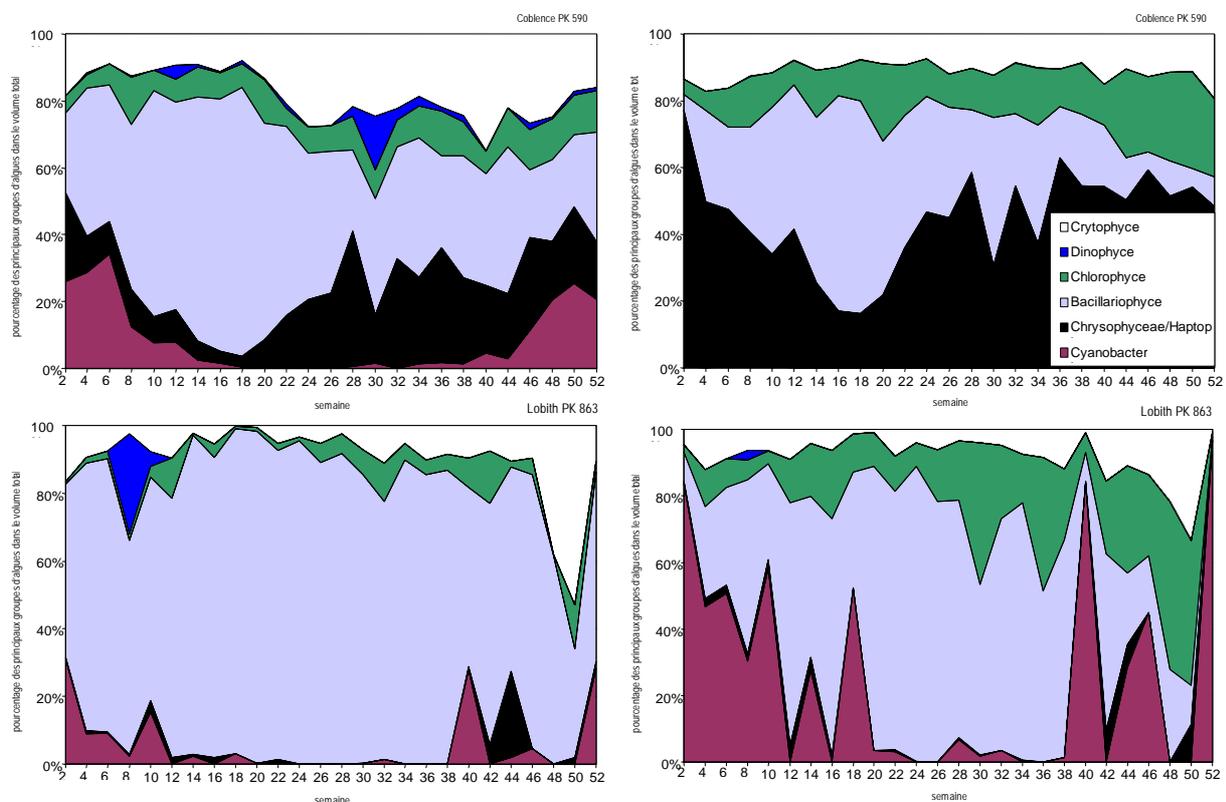


Fig. 8a: part tenue par les principaux groupes d'algues dans le nombre total de cellules et dans le biovolume total de Coblenz à Lobith au cours de l'an 2000.

Si l'on se réfère au biovolume, les cryptophycées occupent à **Lobith** une position dominante en hiver, alors que les diatomées centriques du complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* s'imposent au printemps, l'espèce *Skele*

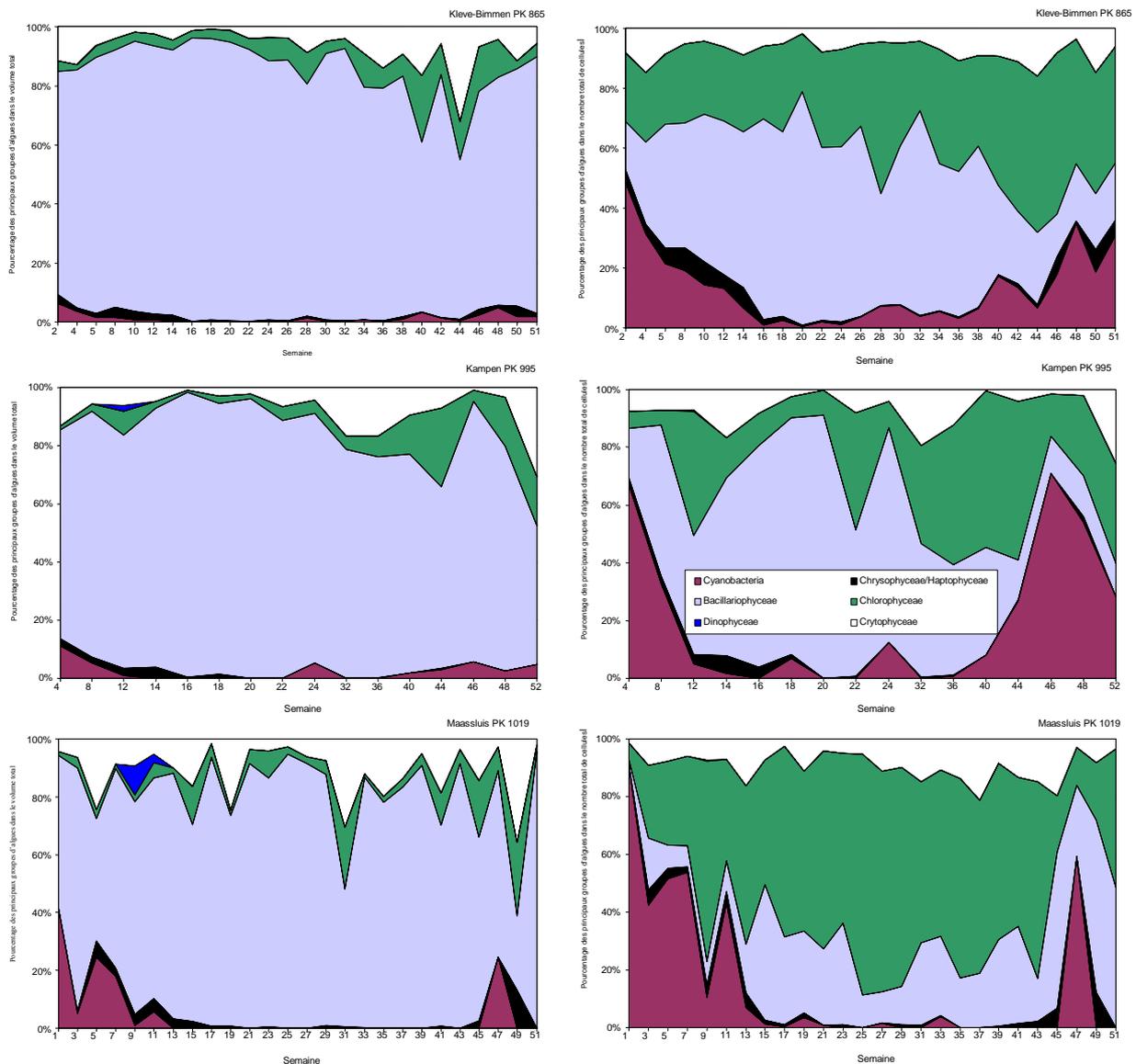


Fig. 8b: part tenue par les principaux groupes d'algues dans le nombre total de cellules et dans le biovolume total de Kleve-Bimmen à Maassluis au cours de l'an 2000.

tonema subsalsum tenant une place prépondérante d'avril à juin. En hiver, les chrysophycées, ainsi que *Melosira varians* et *Planktothrix agardhii/rubescens*, tiennent une part plus importante dans le biovolume. Si l'on considère le nombre de cellules, on note parallèlement à une dominance du complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* et de *Skeletonema subsalsum* des valeurs élevées de

Planktothrix agardhii/rubescens de janvier à mars ainsi et vers la fin de l'automne, ainsi que des concentrations de *Spermatozopsis* sp. vers la fin de l'été et de chlorophycées unicellulaires en automne.

A **Kleve-Bimmen**, le complexe dominant est sans conteste celui des *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira*, notamment rapporté au biovolume. Si l'on se réfère au nombre de cellules, c'est *Planktothrix agardhii/rubescens* qui obtient en hiver les valeurs les plus élevées. Ici également, comme dans les stations en aval, on note de grandes différences entre l'évolution graphique du nombre de cellules et celle du biovolume (fig. 8b).

A **Kampen** également, le complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* occupe une position dominante dans le biovolume. On constate encore sporadiquement certains jours de prélèvement des valeurs élevées de *Skeletonema subsalsum* et *Rhodomonas* spp. La situation est un peu différente cependant lorsqu'on observe le nombre de cellules : si les valeurs du complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* Komplexes et de *Skeletonema subsalsum* sont élevées, on relève également des densités importantes de *Planktothrix agardhii/rubescens* (en hiver), de *Spermatozopsis* sp., *Rhodomonas* spp. et de chlorophytes unicellulaires (dominantes en été).

Rapporté au biovolume, le complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* (différentes classes de grandeur) se partage la position dominante avec *Skeletonema subsalsum* à hauteur de la station de **Maassluis**. Si l'on se fonde sur le nombre de cellules, on relève la dominance de *Planktothrix agardhii/rubescens* de janvier à mars et en automne. Le reste du temps, les densités les plus élevées sont atteintes à nouveau par le complexe *Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira* et par *Skeletonema subsalsum*. De manière plus sporadique, on mesure des valeurs élevées de chlorophytes sphériques.

Par rapport à 1995, on ne constate pas de hausse ou de baisse homogène des différents groupes principaux, à l'exception des bacillariophycées dont les pourcentages régressent dans toutes les stations. A hauteur de la station de **Coblence/Moselle**, la composition des groupes principaux n'évolue pas notablement. Les chlorophycées augmentent dans les stations de **Kleve-Bimmen** et **Maassluis** alors qu'elles régressent à **Coblence** et **Lobith** à l'avantage des cryptophycés, qui connaissent une légère hausse générale.

On note une augmentation des cyanobactéries, p.ex. à hauteur des stations de **Lobith** et **Maassluis**, alors qu'elles sont en baisse à hauteur des stations de **Kleve-Bimmen**. On observe du reste une grande divergence entre les stations de **Kleve-Bimmen** et de **Lobith**, pourtant très proches l'une de l'autre, non seulement dans la composition du phytoplancton (figure 9) mais également au niveau du zooplancton. L'influence de l'Emscher, qui se jette dans le Rhin à hauteur de **Lobith**, en est certainement la raison.

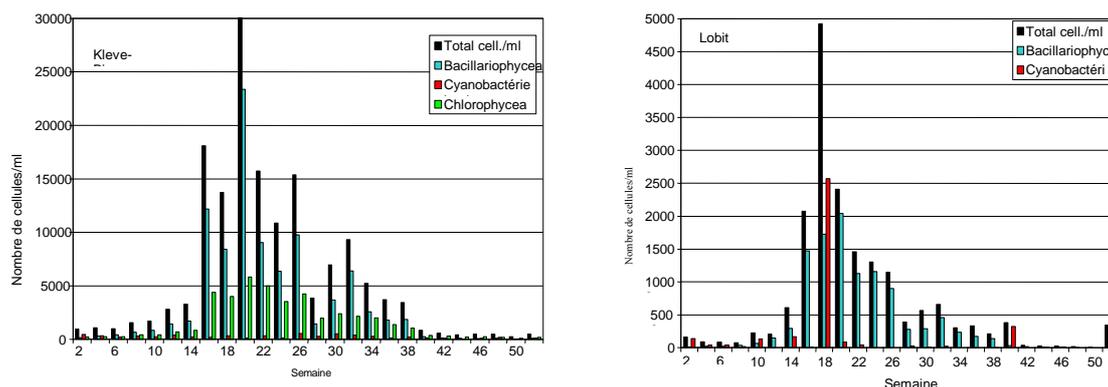


Fig. 9: part tenue par les principaux groupes d'algues dans le nombre total de cellules à hauteur de Kleve-Bimmen et de Lobith

4.4. Composition du zooplancton

On dispose de données sur l'abondance du zooplancton dans les stations de **Coblence**, **Kleve-Bimmen** et dans les stations néerlandaises de **Lobith**, **Kampen** et **Maassluis**, de même que sur le Main et la Moselle. Les densités maximales d'individus sont observées en avril/mai dans toutes les stations. Les protozoaires et les rotifères représentent dans toutes les stations les groupes dominants. Les copépodes (répartis en nauplies et spécimens adultes) et les cladocères n'apparaissent qu'en faible nombre. Les larves véligères de la dreissène polymorphe *Dreissena polymorpha* sont réparties de manière très hétérogène, avec des densités élevées dans une station et une absence totale dans d'autres. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la formation des larves est apériodique et qu'on ne les trouve que pendant 2 à 3 semaines dans le plancton. Les écarts peuvent toutefois provenir également du nombre parfois très faible d'individus dans les échantillons (0 à 5 individus par litre à **Lobith** le 17.5.2000 et, à l'opposé, 84 individus par litre

sur un total de 292 individus le 16.5.2000 à **Kleve-Bimmen**). Peut-être devrait-on décider de compter les individus dans un échantillon constitué d'une plus grande quantité d'eau et d'uniformiser la méthode de traitement, afin de minimiser cette "erreur".

Sur l'ensemble de l'année, les sept stations présentent globalement une image relativement hétérogène au niveau du nombre d'individus et du modèle de répartition. Les pourcentages des principaux groupes (y compris la dreissène polymorphe *Dreissena polymorpha*) par rapport au total des individus formant le zooplancton sont rassemblés en figure 10.

Dans le courant de l'année, les protozoaires et les rotifères occupent la plus grande part du zooplancton. Seules les larves véligères de la dreissène polymorphe atteignent des densités comparables au cours des mois de mai, juin et août. Les copépodes (nauplies et adultes) ne représentent qu'un très faible pourcentage et atteignent un pic en juin. Chez les protozoaires, *Vorticella* spp. et *Zoothamnium* spp. sont les espèces les plus fréquentes, chez les rotifères les espèces non identifiables.

A hauteur de la station de **Coblence** également, les protozoaires et les rotifères sont les principaux représentants du zooplancton. Les pointes d'abondance (avec 90-95 ind./l au total) surviennent de fin avril à mi-mai. Un autre pic est observé chez les protozoaires en hiver (janvier et décembre), avec *Arcella* spp. et *Zoothamnium* spp. comme principaux représentants. Les principales espèces ou principaux genres de rotifères sont *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* et *Polyartha* sp.. *Dreissena polymorpha* n'apparaît qu'en très faible densité en mai/juin. Dans cette station également, les copépodes (nauplies et adultes) et les cladocères ne représentent qu'une très faible part du zooplancton. Pour le phytoplancton, c'est à **Kleve-Bimmen** que l'on relève le deuxième chiffre le plus élevé en termes de densité d'individus (292/l). Là aussi, le zooplancton est dominé par les protozoaires et les rotifères, avec cependant une répartition variable au cours de l'année. Les protozoaires sont abondants toute l'année, avec une pointe en avril. En revanche, les rotifères atteignent leur maximum en mai. On relève également en avril et juin des valeurs élevées comparables. On note en outre la présence de larves véligères de dreissènes polymorphes dans cette même station, avec un maximum en mai/juin. Des individus isolés sont observés d'avril à décembre. La répartition des nauplies et formes adultes des copépodes est hétérogène tout au long de l'année. Les cladocères sont présents toute l'année en faible densité. Le genre le plus important dans cette station est le protozoaire *Arcella* spp..

A **Lobith**, le summum du développement zooplanctonique est également atteint début mai. Cependant, le chiffre maximal (!) atteint se limite ici à 43 individus par litre. Les rotifères dominant à nouveau, suivis des protozoaires. On trouve des cladocères et des copépodes en faible nombre, les nauplies et les adultes du dernier de ces deux groupes présentant une répartition changeante au cours de l'année. *Dreissena polymorpha* n'est pas présente dans cette station.

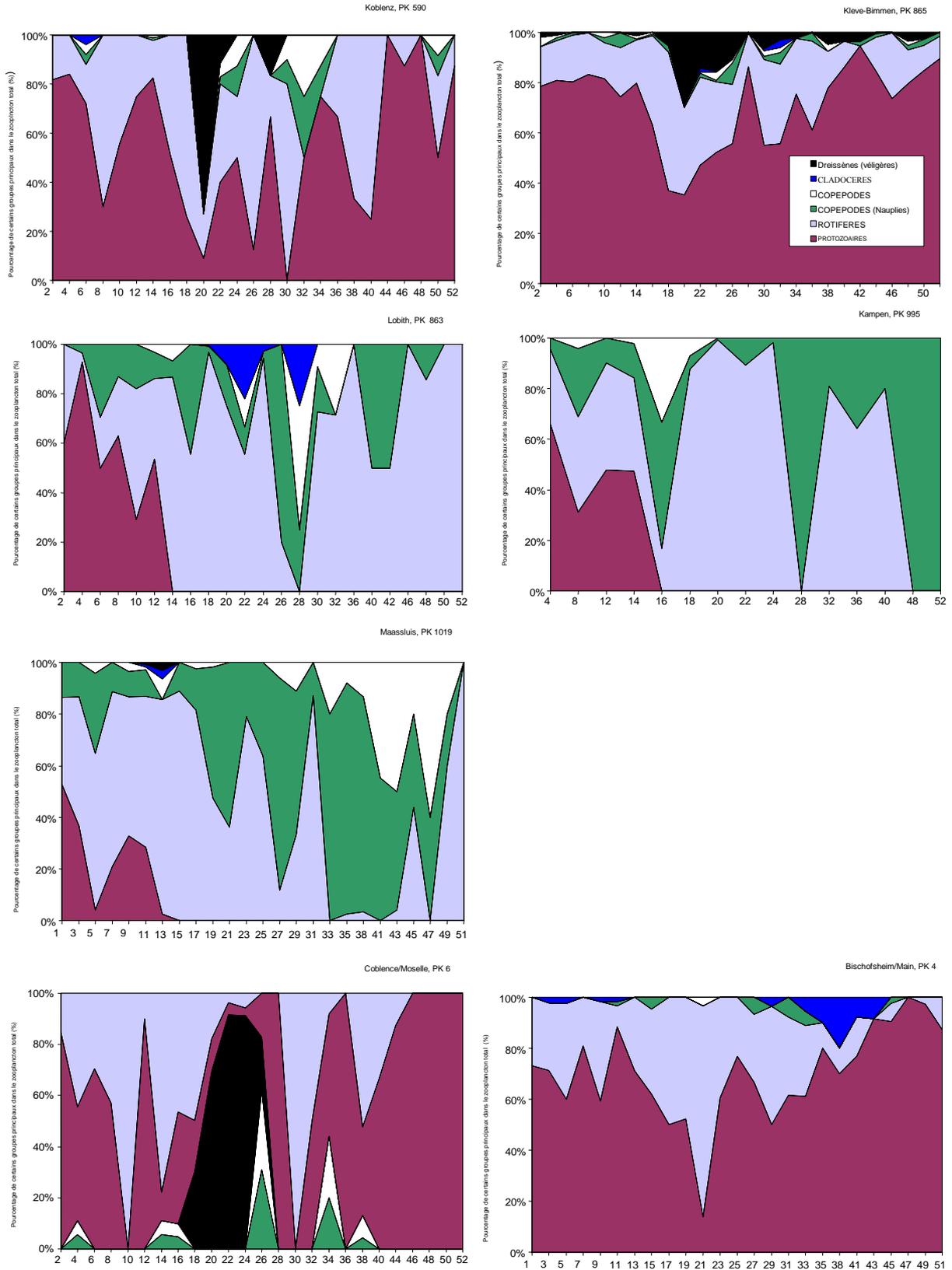


Fig. 10: Répartition des principaux groupes zooplanctoniques dans le Rhin, le Main et la Moselle en l'an 2000.

La situation est similaire dans la station de **Kampen**. Là aussi, le maximum est atteint en mai (67 individus/l) et est constitué de rotifères. Arrivent ensuite à nouveau les protozoaires, dont la présence n'est constatée qu'en hiver et au printemps, comme à **Lo-bith**. Les cladocères et *Dreissena polymorpha* sont absents et les copépodes sont rares. Les rotifères dominent à **Maassluis**. Ils sont suivis des protozoaires. Le summum zooplanctonique est atteint en mars/avril (51 ind./l). On compte des copépodes (nauplies et adultes) toute l'année (en faible densité). Des cladocères et des larves véligères de *Dreissena polymorpha* sont identifiées en mars.

Dans les trois dernières stations, on ne relève que de faibles densités d'individus. A l'exception des genres *Keratella* spp. et *Arcella* spp., aucune espèce ou genre n'apparaît en quantité notable.

Le nombre d'individus de loin le plus élevé (1132/l) est constaté à hauteur de **Coblence** dans la **Moselle** (fig. 10), ce qui peut venir des temps prolongés de séjour de l'eau, la Moselle étant un fleuve canalisé. Cette observation concorde avec la biomasse phytoplanctonique importante disponible comme base d'alimentation et avec la vitesse réduite du courant, qui s'accorde avantageusement au temps de développement des rotifères. Dans la station de **Bischofsheim** sur le **Main**, les rotifères dominent également. On compte ici une densité maximale de 395 individus par litre

4.5. Comparaison entre la composition des espèces en 1995 et en l'an 2000

Phytoplancton: La composition des espèces phytoplanctoniques est considérée comme un bon indicateur de la qualité de l'eau. Par rapport au début du siècle passé, on ne note pas de modification majeure dans la composition des principaux groupes d'algues, bien que la teneur nutritive ait fortement changé (IBELINGS et al. 1998). On constate en revanche que certaines espèces ont subi des modifications dans le Rhin (BACKHAUS & KEMBALL 1978, FRIEDRICH & MÜLLER 1984, IBELINGS et al. 1998, NIXDORF et al. 2000). On explique par exemple l'apparition de *Skeletonema subsalsum* par une teneur élevée en chlorures. Dans les stations du Rhin moyen et du Rhin inférieur, les bacillariophycées prédominent la plupart du temps. Elles sont également considérées comme des espèces fluviales typiques (WEHR & DESCY 1998). Dans la plupart des sites de prélèvement, il n'a hélas pas été fait de distinction entre les autres espèces potamoplancto-

niques typiques, comme p.ex. *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Skeletonema potamos* et *Stepanodiscus hantzschii*.

L'analyse de la composition des espèces débouche sur une subdivision du Rhin en différents tronçons fluviaux. Les abondances de cyanobactéries dans le *haut Rhin* sont probablement dues aux apports en provenance du lac de Constance et des affluents ou à la localisation des stations de prélèvement (p.ex. canalisation). Le *Rhin moyen* est influencé par les apports du Neckar et de la Moselle, tous deux caractérisés par des abondances planctoniques de beaucoup supérieures à celles du Rhin. Le *Rhin inférieur* et le *delta du Rhin* se distinguent des autres tronçons par leur caractère de fleuves de plaine. Ces différences telles que le changement éventuel de la teneur en matières en suspension, de la zone euphotique ou une faible vitesse du courant, influencent la quantité du phytoplancton en cela p.ex. qu'une teneur élevée en matières en suspension et un ralentissement du courant peuvent accroître les processus de descente vers le fond.

Zooplancton: la régression des densités (valeur moyenne annuelle) de protozoaires et de rotifères – et dans une moindre mesure de copépodes également - constatée en 1995 par rapport à 1990 se poursuit en l'an 2000 (tab. 5), excepté à hauteur de la station de **Coblence/Moselle** où le nombre de rotifères est à nouveau en hausse.

Tab. 5: Valeurs moyennes des principaux groupes zooplanctoniques dans le cadre des analyses effectuées en 1995 et en l'an 2000 (- = aucune mesure). Ont été évalués les échantillons prélevés du 14.3 au 4.10.1995 ainsi que du 26.02 au 11.10.2000 (en l'an 2000, n = 16).

| PK | Station de mesure | Protozoaires | | Rotifères | | Cladocères | | Copépodes | | Dreissènes | |
|-----------|-------------------|--------------|--------|-----------|--------|------------|--------|-----------|--------|------------|--------|
| | | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l | ind./l |
| Rhin | | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 | 1995 | 2000 |
| 590 | Coblence | 43 | 13 | 16 | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 865 | Bimmen | 120 | 63 | 52 | 33 | 1 | 0 | 2 | 1 | 5 | 10 |
| 1019 | Maassluis | 47 | - | 47 | 9 | 1 | 0 | 14 | 4 | 139 | 0 |
| Affluents | | | | | | | | | | | |
| 4 | Main/Bischofsheim | - | 74 | - | 48 | - | 1 | - | 1 | - | - |
| 6 | Moselle/Coblence | 37 | 25 | 28 | 47 | 0 | 0 | 4 | 2 | - | 77 |

On constate ici également une forte progression des larves véligères de dreissènes polymorphes, visible aussi sous une forme moins prononcée à **Coblence** et à **Kleve-Bimmen**. A **Maassluis**, en revanche, ce bivalve n'est plus observé. La régression des densités zooplanctoniques s'explique probablement par le maintien d'une tendance à la baisse du phytoplancton (chlorophylle a) (voir à ce sujet CIPR 1997).

4.6. Evaluation des données par rapport à la directive cadre 'Eau' de l'UE

En vertu des dispositions de la directive cadre 'Eau' de l'UE (2000/60/CE), les cours d'eau européens doivent faire l'objet d'un suivi et d'une évaluation de qualité. La question est de savoir dans quelle mesure le paramètre chlorophylle a et des espèces particulières phytoplanctoniques doivent être intégrés dans l'évaluation, étant donné que le phytoplancton est transporté avec la « masse d'eau courante ». Dans ce contexte, plusieurs systèmes d'évaluation ont déjà été proposés (NIXDORF et al. 2000, KOEMAN & BIJKERK 2001). Dans l'ouvrage de NIXDORF et al. (2000), les avantages et inconvénients de différents paramètres sont examinés en détail. Les auteurs conseillent d'opter pour une classification fondée sur la composition taxonomique rapportée au biovolume, ceci en relation avec des paramètres tels que le degré de limpidité, la chlorophylle a, la teneur en phosphate, et des paramètres hydrodynamiques.

4.7. Evaluation qualitative à partir de la teneur en chlorophylle a

En s'inspirant du modèle de la directive cadre 'Eau' de l'UE (2000/60/CE), KOEMAN & BIJKERK (2001) proposent d'estimer l'état biologique du Rhin au moyen de la teneur en chlorophylle a. Sur la base de cette proposition, il est procédé dans le présent rapport au calcul de la moyenne estivale (avril à septembre) de la teneur en chlorophylle a en l'an 2000. D'après KOEMAN & BIJKERK (2001), une teneur en chlorophylle a inférieure à 5 µg/l correspond à la classe de qualité 1 (très bon état écologique; la classe 2 (bon état) est atteinte avec des valeurs de chlorophylle a comprises entre 5 et 10 µg/l ; le niveau moyen de la classe 3 correspond à 11-25 µg/l ; la classe 4, avec des valeurs de l'ordre de 26 à 40 µg/l est considérée comme mauvaise. Avec des teneurs en chlorophylle a supérieures à 40 µg/l, on entre dans la classe 5, qui correspond à un très mauvais état. Les valeurs obtenues en l'an 2000 dans les stations de mesure jusqu'à **Coblence** incluse correspondent à la classe 1. En aval de cette station, ainsi qu'à hauteur des stations de

Mannheim/Neckar et de **Coblence/Moselle**, le niveau de qualité atteint ne correspond plus qu'aux classes 2 ou 3 (voir tableau 6).

Tableau 6: classes de qualité des eaux d'après KOEMAN & BIJKERK (2001)

| Station de mesure | PK | Chl. a (µg/l)* | Classe de qualité |
|-------------------|------|-------------------|----------------------|
| Reckingen | 91 | 4,52 | 1 |
| Weil | 171 | 4,91 | 1 |
| Vogelgrün | 225 | 4,48 | 1 |
| Karlsruhe | 359 | 3,69 | 1 |
| Mannheim | 426 | 4,05 | 1 |
| Coblence | 590 | 4,53 | 1 |
| Bad Honnef | 640 | 5,65 | 2 |
| Düsseldorf | 732 | 8,24 | 2 |
| Walsum | 792 | 10,64 | 3 |
| Lobith | 863 | 9,17 | 2 |
| Kleve-Bimmen | 865 | 14,30 | 3 |
| Kampen | 995 | 14,38 | 3 |
| Maassluis | 1019 | 6,08 | 2 |
| Aare/Felsenau | 1 | 4,85 | 1 |
| Neckar/Mannheim | 3 | 5,12 | 2 |
| Moselle/Coblence | 6 | 16,73 | 3 |

Le rapport 1995 de la CIPR (CIPR 1997) a fait appel au système d'évaluation mis au point par le LAWA (2000) (tableau 7). Ce système d'évaluation repose sur le calcul de la moyenne des valeurs de chlorophylle a mesurées de début mars à fin octobre sur une période de prélèvement de 3 ans, ceci pour prendre en compte les variations hydrologiques des différentes années. Le tableau 7 liste quelques stations pour les besoins d'une comparaison de qualité entre 1995 et l'an 2000. Selon la méthode de classification du LAWA, les stations de **Karlsruhe**, **Coblence** et **Bad Honnef** sont mésotrophes ; seul le *Rhin inférieur* (station de **Kleve-Bimmen**) est considéré eutrophe. D'après cette estima-

tion, la qualité des eaux des stations de **Coblence** et de **Bad Honnef** se serait améliorée par rapport à 1995.

Tableau 7: Classification du niveau trophique du Rhin selon la méthode du LAWA. La base de données est constituée des valeurs de chlorophylle a mesurées toutes les deux semaines au cours de la période végétative (mars à octobre) de 1993 à 1995 ainsi que de 1998 à l'an 2000.

| Station de prélèvement | Chlorophylle a 1993-1995 | | Classe trophique 1995 | Chlorophylle a 1998-2000 | | Classe trophique 2000 |
|------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|--------------------------|---------|-----------------------|
| | percentile 90 | moyenne | | percentile 90 | moyenne | |
| Karlsruhe | 12,2 | 5,3 | I-II mésotrophe | 6,5 | 3,7 | I-II mésotrophe |
| Coblence | 35,5 | 15,2 | II eutrophe | 14,3 | 5,5 | I-II mésotrophe |
| Bad Honnef | 33,7 | 12 | II eutrophe | 15,8 | 6,2 | I-II mésotrophe |
| Kleve-Bimmen | 61,1 | 22,8 | II eutrophe | 32,3 | 15,8 | I-II eutrophe |

Ces deux systèmes représentent les deux premières approches s'attaquant à la problématique de l'évaluation. En raison des différentes périodes sur lesquelles ils fondent leur évaluation et des délimitations de leurs classes de qualité respectives, ils sont difficilement comparables. En outre, le système du LAWA englobe plus de classes que celui proposé par KOEMAN & BIJKERK (2001). Ce dernier s'accorde mieux toutefois avec le système d'évaluation à cinq classes de la directive cadre européenne sur la politique de l'eau, alors qu'il faudrait faire passer le système du LAWA de sept à cinq classes. En relation avec le choix d'un paramètre „phytoplanctonique“ d'évaluation de l'état écologique, on a examiné de plus près l'évolution dans le temps des valeurs maximales de chlorophylle a, de biovolume et de total des cellules dans les différentes stations. Il apparaît que les maximums des trois paramètres surviennent à des périodes distinctes dans les stations du haut Rhin et du Rhin supérieur, et ce jusqu'à la station de **Mannheim**. Ce n'est qu'à partir de la station de **Coblence** que les valeurs maximales de ces trois paramètres sont observées le même jour de prélèvement. Plus en aval, les pointes de biovolume et de total des cellules surviennent le même jour alors que les valeurs maximales de chlorophylle a sont souvent mesurées à des dates variables.

Malgré tout, les maximums de ces trois paramètres sont constatés le même mois, à l'opposé des stations du haut Rhin. Ces écarts montrent clairement qu'il convient de sé-

lectionner consciencieusement les paramètres en fonction des enseignements que l'on désire en tirer. Une teneur élevée en chlorophylle a peut p.ex. s'accompagner d'un biovolume élevé et d'un nombre relativement faible de cellules, lorsqu'on se trouve dans une situation de dominance de grandes diatomées. Cependant, on peut également avoir une teneur élevée en chlorophylle a en relation avec un nombre important de cyanobactéries et un biovolume relativement faible.

Jusqu'à présent, la teneur en chlorophylle a a été utilisée comme paramètre de classification, conjointement avec des paramètres chimiques. La teneur en chlorophylle a présente l'avantage de pouvoir être mesurée rapidement et sans grands moyens. Par analyse des différents pigments „marqueurs“, les mesures effectuées par chromatographie liquide haute pression (CLHP) indiquent la composition des populations algales au niveau du groupe principal (WILTSHIRE & SCHRÖDER 1994). Cependant, la teneur en chlorophylle a de chaque cellule algale dépend de l'espèce considérée et de son état physiologique (DEVENTER 1993). Les teneurs maximales en chlorophylle a par biovolume sont obtenues dans la plupart des stations pendant les mois d'hiver. Ce phénomène peut venir de l'adaptation des algues à la faible luminosité, c'est-à-dire d'une teneur plus élevée en chlorophylle a des cellules pour exploiter de manière optimale le peu de lumière disponible. En raison de sa variabilité, la teneur en chlorophylle a est un paramètre de biomasse moins appropriée que le biovolume p.ex. Par ailleurs, une estimation de la qualité des eaux fondée sur la teneur en chlorophylle a reste insuffisante, car elle ne prend pas en compte la composition du plancton. Au travers d'espèces caractéristiques d'une moins bonne qualité des eaux, on peut par exemple déterminer un faible niveau, souhaitable en soi, de biomasse. C'est pourquoi l'analyse de la composition des espèces et de la biomasse des différentes espèces est recommandée. D'après NIXDORF et al. (2000), il conviendrait de faire appel au biovolume et non au calcul du nombre de cellules pour déterminer la biomasse, car la biomasse globale peut être constituée d'un nombre limité de grandes algues ou de très nombreuses petites algues (voir également les figures 8a & b). Autant l'analyse des espèces que la détermination du biovolume supposent un investissement en temps très élevé. Cependant, une fois identifié le biovolume des différentes espèces algales, le comptage des cellules par ordinateur ne prend plus trop de temps. Une grande importance doit toutefois être accordée au personnel chargé de l'analyse du phytoplancton.

4.8. Evaluation qualitative à partir de phytoplanctons indicateurs

Si l'on doit faire appel à des espèces phytoplanctoniques indicatrices spécifiques, il s'impose de définir des espèces indicatrices et d'uniformiser et calibrer les méthodes. Un système a été présenté par KOEMAN & BIJKERK (2001) et examiné à l'exemple du bassin néerlandais du Rhin.

Les communautés d'espèces typiques du milieu fluvial sont dominées la plupart du temps par les diatomées (REYNOLDS & DESCY 1996, WEHR & DESCY 1998 in NIXDORF et al. 2000). C'est pourquoi le système proposé par KOEMAN & BIJKERK (2001) pour évaluer la qualité des eaux repose sur des espèces de diatomées. Cependant, parmi les espèces mentionnées par KOEMAN & BIJKERK (2001), seules *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Skeletonema potamos*, *S. subsalsum* et *Tabellaria fenestrata* étaient présentes en faible densité dans les sites où ont été effectués les prélèvements. Dans la plupart des stations de prélèvement, l'inventaire de la CIPR n'a pas fait en outre de distinction entre les espèces des genres potamoplanctoniques typiques tels que *Aulacoseira*, *Cyclotella* et *Stephanodiscus* qui constituent pour une part essentielle le système d'évaluation. Les deux derniers genres mentionnés ont été regroupés dans un complexe. Pour cette raison, le système proposé par les deux auteurs sus-indiqués n'a pu être appliqué.

L'atelier organisé par la CIPR en mars 2001 a donné lieu à des discussions controversées sur la définition du potamoplancton, c'est-à-dire sur la question de savoir « à partir de quand on pouvait parler de véritable potamoplancton ». Le potamoplancton, c'est-à-dire les espèces exclusivement ou principalement présentes dans les fleuves (REYNOLDS & DESCY 1996), est caractérisé par un rapport surface/volume important et par une forte photoadaptation permettant d'assurer une division rapide des cellules et une absorption maximale de la lumière. Ces propriétés sont le plus développées chez les diatomées centriques, ce qui explique leur prédominance très fréquente (WEHR & DESCY 1998). Un autre paramètre déterminant pour le développement du potamoplancton, c'est-à-dire la reproduction des organismes, est celui de la rapidité du courant et du temps d'écoulement ou temps de séjour de la masse d'eau. On a proposé de ne parler de communauté potamoplanctonique qu'à partir d'un temps de séjour d'au moins trois jours. On a également évoqué la question de savoir si les espèces phytoplanctoniques

indicatrices se prêtaient réellement à une évaluation, la composition des espèces pouvant être influencée par de nombreux facteurs abiotiques et biotiques. D'après le LAWA (1998), les fleuves sont dominés par le plancton quand leur production primaire correspond au moins à la catégorie trophique II (eutrophe, valeur moyenne de chlorophylle a > 7 µg/l). Les modifications dans la composition et la fréquence des espèces ne sont pas uniquement à mettre sur le compte du "processus eutrophique", mais sont également dues à des paramètres morphologiques et hydrologiques et des variations de pollution par des substances nuisibles organiques. Par ailleurs, il convient dans ce contexte de faire la distinction entre différents tronçons fluviaux (fleuve alpin ou de massifs moyens, fleuve de vallée etc.) et différents temps d'écoulement. (voir également le tableau 2 dans l'ouvrage de NIXDORF et al. (2000)).

Les données exposées dans le présent rapport et sur lesquelles il repose constituent le fondement d'une caractérisation de la qualité des eaux dans le cadre de la directive cadre 'Eau' de l'UE. Les approches d'évaluation visant à déterminer la qualité des eaux sur la base du phytoplancton n'ont pas encore été définitivement mises au point (NIXDORF et al. 2000). Un système d'évaluation devrait cependant reposer sur les teneurs en chlorophylle a, la composition des espèces et le biovolume du phytoplancton, ainsi que sur la concentration de phosphore total, la profondeur de visibilité et différents autres facteurs hydrologiques spécifiques des eaux courantes.

5. Bibliographie

- ADMIRAAL, W., BREEBAART, L., TUBBING, G.M.P., VAN ZANTEN, B., DE RUIJTER VAN STEVENINCK, E.D. & BIJKERK, R. (1994): Seasonal variation in composition and production of planktonic communities in the lower river rhine. – *Freshw. Biol.* 32: 519-531.
- BACKHAUS, D. & KEMBALL, A. (1978): Gewässergüteverhältnisse und Planktonentwicklung im Hochrhein, Oberrhein und Neckar.- *Arch. Hydrobiol.* 82: 166-206.
- CIPR (COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DU RHIN) (1997): Plancton dans le Rhin 1995.
- DEVENTER, B. (1993): Der Einfluss von Aufbereitungsmethoden und Lagerungsbedingungen sowie Licht- und Nährstoffmangel auf die Pigmentverteilung verschiedener Planktonarten.- *Ber. Zentr. F. Meeres- u. Klimaforsch. Reihe E, Nr. 4.*

- DIRECTIVE 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- FRIEDRICH, G. & MÜLLER, D. (1984): Rhine. In: Ecology of European Rivers. B.A. Whitton (Ed.) 644 s. Offord, pp.265-315.
- HÖHN, E., CLASEN, J., SCHARF, W., KETELAARS, H.A.M., NIENHÜSER, A.E., HORN, H., KERSKEN, H. & EWIG, B. (1998): Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen. ATT-Technische Information Nr. 7., 2. völlig neu bearbeitete Aufl., Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren, AK-Biologie, Siegburg. 151. S.
- IBELINGS, B., ADMIRAAL, W., BIJKERK, R., IETSWAART, T. & PRINS, H. (1998): Monitoring of algae in Dutch rivers: does it meet its goals? – J. Appl. Phycol. 10: 171-181.
- KOEMAN, R. & BIJKERK, R. (2001): Bericht über den IKSR/CIPR workshop „fytoplankton in rivieren“, Bonn, 28-29 maart 2001.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (1998): Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuchverlag, Berlin.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2002): Methode zur Klassifikation der Trophie planktonführender Fließgewässer-Ergebnisse der Erprobungsphase. - Bearbeitet vom LAWA Unterarbeitskreis „Planktonführende Fließgewässer“, Saarbrücken, 54 pp.
- LE ROUZIC, B., BERTRU, G. & BRIENT, L. (1995): HPLC analysis of chlorophyll a breakdown products in interpret microalgae dynamics in a shallow bay.- Hydrobiol. 302: 71-80.
- NIXDORF, B., U. RIEDMÜLLER, U. MISCHKE & E. HOEHN (2000): Klassifizierungsverfahren für Fließgewässer anhand des Phytoplanktons. Teil II der Literaturstudie über 'Ökologische Gewässerwertung – Phytoplankton' im Auftrag der ATV/DVWK und LAWA-AG 'Fließende Gewässer.
- POHLMAN, M. & FRIEDRICH, G. (2001): Bestimmung der Phytoplanktonvolumina – Methodik und Ergebnisse am Beispiel Niederrhein.- Limnol. 31: 229-238.
- REYNOLDS, C.S. & DESCY, P.-P. (1996): The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers.- Arch. Hydrobiol., Suppl. 113: 161-187.
- RIZA (2000): Het kwantitatief bepalen van zoöplankton in oppervlaktewater. Werkvoorschrift W 8140 2.111.

- SUBBA RAO, D.V. (1988): Species specific primary production measurements of arctic phytoplankton.- Br. Phycol. J. 23: 273-282.
- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol. **9**, 1-38
- TUBBING, G.M.J., ADMIRAAL, W., BACKHAUS, D., FRIEDRICH, G., DE RUYTER VAN STEVENINCK, E.D., MÜLLER, D. & KELLER, I. (1994): Results of an international plankton investigation on the river Rhine.- Wat. Sci. Techn. 3: 9-19.
- WEHR, J.D. & DESCY, J.-P. (1998): Use of phytoplankton in large river management.- J. Phycol. 34: 741-749.
- WILTSHIRE, K.H. & SCHRÖDER, F. (1994): Pigment patterns in suspended matter from the tidal river Elbe, Northern Germany.- Neth. J. Aquat. Ecol. 28: 255-265.

6. Annexe

Tableau 8: Liste CIPR des volumes phytoplanctoniques en l'an 2000

| Taxons | Volume (μm^3) | Source |
|--|----------------------------|--------|
| CYANOPHYTA | | |
| CYANOPHYCEAE | | |
| Chroococcales | | |
| Chroococcus spp. | 250 | K |
| Merismopedia spp. | 0,7 | |
| Microcystis spp. | 47,7 | |
| autres Chroococcales | 14,1 | |
| | | |
| Hormogonales | | |
| Anabaena spp. | 41,8 | |
| Aphanizomenon spp. | 80 | K |
| Limnothrix spp. | 35,2 | |
| Oscillatoria spp. | 200 | K |
| Planktothrix agardhii / rubescens | 40,8 | |
| Pseudanabaena spp. | 13,7 | |
| Spirulina spp. | 3,1 | ATT |
| autres Hormogonales | 2 | K |
| | | |
| CHROMOPHYTA | | |
| CHRYSOPHYCEAE / HAPTOPHYCEAE | | |
| Chrysococcus spp. | 134,0 | |
| Dinobryon spp. | 383,2 | |
| Erkenia subaequiciliata / Chrysochromulina parva | 73,8 | |
| Mallomonas cf. akrokomos | 154,3 | |
| Mallomonas spp. | 1195,0 | |
| Synura / Syncrypta spp. | 640,0 | |
| autres Chrysophyceae aloricat | 100 | K |
| autres Chrysophyceae loricat | 53,6 | |
| autres Haptophyceae | 73,8 | |
| | | |
| XANTHOPHYCEAE | | |

| | | |
|---|--------|--|
| Goniochloris mutica | 321,4 | |
| Tribonema spp. | 32,6 | |
| autres Xanthophyceae | 200 | |
| | | |
| BACILLARIOPHYCEAE | | |
| Centrales | | |
| Acanthoceras zachariasii | 584,2 | |
| Actinocyclus normanii | 3926,6 | |
| Aulacoseira granulata, D. < 5 µm | 292,4 | |
| Aulacoseira granulata, D. > 5 µm | 1063,7 | |
| Aulacoseira spp. | 829,5 | |
| Melosira varians | 4671,5 | |
| Rhizosolenia spp. | 65 | |
| Skeletonema potamos | 124,0 | |
| Skeletonema subsalsum | 200,0 | |
| complexe Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira D. < 5 µm | 65,8 | |
| complexe Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira D. 5 < 10 µm | 271,6 | |
| complexe Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira D. 10 < 15 µm | 815,0 | |
| complexe Cyclotella-Stephanodiscus-Cyclostephanos-Thalassiosira D. ³ 15 µm | 4195,3 | |
| Pennales | | |
| Asterionella formosa | 471,0 | |
| Cocconeis spp. | 1276,0 | |
| Diatoma tenuis | 1264,5 | |
| Diatoma vulgare | 9325,5 | |
| Diatoma spp. | 950 | |
| Fragilaria crotonensis | 1072,0 | |
| Fragilaria ulna - Sippe, L. < 100 µm | 713,6 | |
| Fragilaria ulna - Sippe, L. 100 - 200 µm | 2792,7 | |
| Fragilaria ulna - Sippe, L. > 200 µm | 5334,5 | |
| Fragilaria spp. | 950 | |
| Gyrosigma spp. | 6850 | |
| Navicula gregaria | 388,0 | |
| Navicula lanceolata | 2334,0 | |
| Navicula spp., L. < 25 µm | 301,2 | |

| | | |
|--|---------------|----------|
| Navicula spp., L. > 25 µm | 894,8 | |
| Nitzschia acicularis – Typ | 281,0 | |
| Nitzschia spp., L. < 25 µm | 209,0 | |
| Nitzschia spp., L. 25 - 50 µm | 581,5 | |
| Nitzschia spp., L. 50 - 100 µm | 902,0 | |
| Nitzschia spp., L. > 100 µm | 8400 | |
| Rhoicosphenia abbreviata | 1659 | |
| Surirella spp. | 1718,5 | |
| Tabellaria fenestrata / flocculosa | 1888,7 | |
| autres Pennales, L. < 25 µm | 355,6 | |
| autres Pennales, L. 25 – 50 µm | 677 | |
| autres Pennales, L. > 50 µm | 13200 | |
| | | |
| DINOPHYCEAE | | |
| Ceratium hirundinella | 45000 | K |
| Peridinium spp. | 1830 | |
| autres Dinophyceae | 5000 | K |
| | | |
| CHLOROPHYTA | | |
| PRASINOPHYCEAE | | |
| Nephroselmis spp. | 155 | |
| Tetraselmis spp. | 360,5 | |
| autres Prasinophyceae | 200 | |
| | | |
| CHLOROPHYCEAE | | |
| Volvocales | | |
| Carteria spp. | 780 | |
| Chlamydomonas spp., L. □ 10 µm | 170,0 | |
| Chlamydomonas spp., L. > 10 - 15 µm | 694,5 | |
| Chlamydomonas spp., L. > 15 µm | 2099,5 | |
| Eudorina elegans | 904 | |
| Pandorina morum | 147,3 | |
| Pteromonas spp. | 590 | |
| autres Volvocales unicellulaires, L. < 10 µm | 100 | K |
| autres Volvocales unicellulaires, L. > 10 µm | 671 | |
| autres colonies de Volvocales, L. < 10 µm | 287,0 | |

| | | |
|--|--------------|----------|
| autres colonies de Volvocales, L. > 10 µm | 750 | K |
| Dunaliellales | | |
| Spermatozopsis sp. | 6,1 | |
| Chlorococcales | | |
| groupe des formes d'Actinastrum hantzschii | 53,0 | |
| Ankistrodesmus spp. | 52 | |
| Chlorella spp. | 30 | K |
| Coelastrum spp. | 97,3 | |
| Crucigenia spp. | 47,6 | |
| Crucigeniella spp. | 32,9 | |
| Dictyosphaerium pulchellum | 73,4 | |
| Dictyosphaerium spp. / Dactylosphaerium spp. | 11,9 | |
| Kirchneriella spp. | 45 | |
| Lagerheimia spp. | 51,8 | |
| Micractinium pusillum | 121,5 | |
| Monoraphidium arcuatum | 31,4 | |
| Monoraphidium contortum | 11,4 | |
| Monoraphidium griffithii | 102,1 | |
| Monoraphidium spp. | 11,9 | |
| Neodesmus danubialis | 11,1 | |
| Oocystis spp., L. < 10 µm | 156,7 | |
| Oocystis spp. L. > 10 µm | 492,0 | |
| Pediastrum boryanum | 48,2 | |
| Pediastrum duplex | 173,8 | |
| Pediastrum tetras | 104 | |
| Pediastrum spp. | 330 | |
| Scenedesmus denticulatus u. opoliensis | 151,0 | |
| Scenedesmus spp., L. < 10 µm | 37,1 | |
| Scenedesmus spp., L. > 10 µm | 86,2 | |
| Schroederia spp. (incl. Pseudoschroederia et Ankyra) | 136,1 | |
| Tetraedron spp. | 103,0 | |
| Tetrastrum spp. | 52,1 | |
| palmelloide Chlorococcales, D. < 10 µm | 136 | |
| palmelloide Chlorococcales, D. > 10 µm | 600 | |
| autres Chlorococcales | 40 | |
| Chlorophyta sphériques, unicellulaires., D. < 3 µm | 7,9 | |

| | | |
|---|---------------|----------|
| Chlorophyta, sphériques, unicellulaires., D. 3 - 6 µm | 31 | |
| Chlorophyta, sphériques, unicellulaires., D. > 6 µm | 156 | |
| colonies de Chlorophyta, sphériques, D. < 3 µm | 3,4 | |
| colonies de Chlorophyta, sphériques, D. 3 - 6 µm | 31 | |
| colonies de Chlorophyta, sphériques, D. > 6 µm | 156 | |
| Ulotrichales | | |
| Gloeotila spp. | 14 | |
| Koliella spp. | 46,5 | |
| autres Ulotrichales | 17,4 | |
| | | |
| CONJUGATOPHYCEAE | | |
| Desmidiales | | |
| Closterium spp. | 624,1 | |
| Cosmarium spp. | 3655 | |
| Staurastrum spp. | 12000 | K |
| Zygnemales | | |
| Mougeotia spp. | 1055,0 | |
| | | |
| CRYPTOPHYTA | | |
| CRYPTOPHYCEAE | | |
| Cryptomonas spp., L. < 15 µm | 357,0 | |
| Cryptomonas spp., L. 15 -30 µm | 1209,5 | |
| Cryptomonas spp., L. > 30 µm | 3550,0 | |
| Rhodomonas minuta, incl. var. nannopl. | 104,5 | |
| Rhodomonas spp., L. < 10 µm | 44,3 | |
| autres Cryptophyceae | 75,3 | |
| | | |
| EUGLENOPHYTA | | |
| EUGLENOPHYCEAE | | |
| Euglena spp. | 2987 | |
| Lepocinclis spp. | 300 | K |
| Phacus spp. | 3030 | |
| Trachelomonas spp. | 1503,5 | |
| autres Euglenophyceae | 3000 | |

ATT= ATT-Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. Arbeitskreis. Biologie (1998), K= Kümmerlin, R. (1996, non publié)

Tableau 9: formes cellulaires et formules correspondantes de calcul du volume aux fins de détermination de la biomasse phytoplanctonique (tiré de HOEHN *et al.* 1998)

| Symbole et forme du corps | Formule de calcul |
|--|---|
| K = sphère | volume = $\pi/6*(longueur*longueur*largeur)$ |
| D = ellipsoïde | volume = $\pi/6*(longueur*largeur*largeur)$ |
| E = ellipsoïde pour les <i>Dinophycées</i> | volume = $\pi/6*(longueur*largeur*(largeur*0.82))$ |
| E = ellipsoïde pour les autres groupes (sans <i>Dinophycées</i>) | volume = $\pi/6*(longueur*largeur*(largeur*0.65))$ |
| Q = rectangle (hauteur = largeur) | volume = longueur*largeur*largeur |
| q = rectangle (hauteur < largeur): | volume = longueur*largeur*(largeur*0.33) |
| Z = cylindre (hauteur = longueur, diamètre = largeur) | volume = $\pi/4*largeur*(largeur)*longueur$ |
| z = cylindre (diamètre = longueur, largeur, hauteur = 0.35*diamètre) | volume = $\pi/4*largeur*(largeur*0.35)*longueur$ |
| S = colonne elliptique | volume = $\pi/4*longueur*largeur*(largeur*0.66)$ |
| s = disque | volume = $\pi/8*longueur*largeur*(largeur*0.5)$ |
| 3 = colonne triangulaire (longueur = longueur des angles, hauteur = largeur) | volume = $1/2*longueur*(1/2*longueur*\sqrt{3})*largeur$ |
| 5 = colonne triangulaire (longueur = longueur des angles, hauteur = 1/2 largeur) | volume = $1/2*longueur*(1/2*longueur*\sqrt{3})*(largeur/2)$ |
| T = 4 colonnes triangulaires (<i>Crucigenia</i> - <i>Coenobium</i> , hauteur = 2/3*largeur) | volume = $(longueur*longueur*(2/3*largeur))/4$ |
| k = cône | volume = $\pi/3*(largeur/2)^2*longueur$ |
| H = fuseau | volume = $2*\pi/15*largeur*largeur*longueur$ |
| J = double cône | volume = $2/3*\pi*((1/2*largeur)^2)*1/2*longueur$ |
| 2 = deux ellipsoïdes | volume = $2*(\pi/6*(longueur*(largeur/2)*(largeur/2)))$ |
| F = pyramide triangulaire | volume = $1/3*((longueur*largeur*0.5)*(0.8*largeur))$ |
| P = deux pyramides triangulaires | volume = $2*(1/3*(1/2*largeur*((\sin 60^\circ)*largeur))*(longueur/2))$ |
| C = cornet de glace (cône) | volume = $\pi/12*largeur*largeur*((largeur/2)+longueur)$ |
| d = "double sphère" | volume = $(\pi/6*longueur*largeur*largeur)+(\pi/6*largeur*largeur*largeur)$ |