

Les diatomées benthiques du Rhin 2018/2019

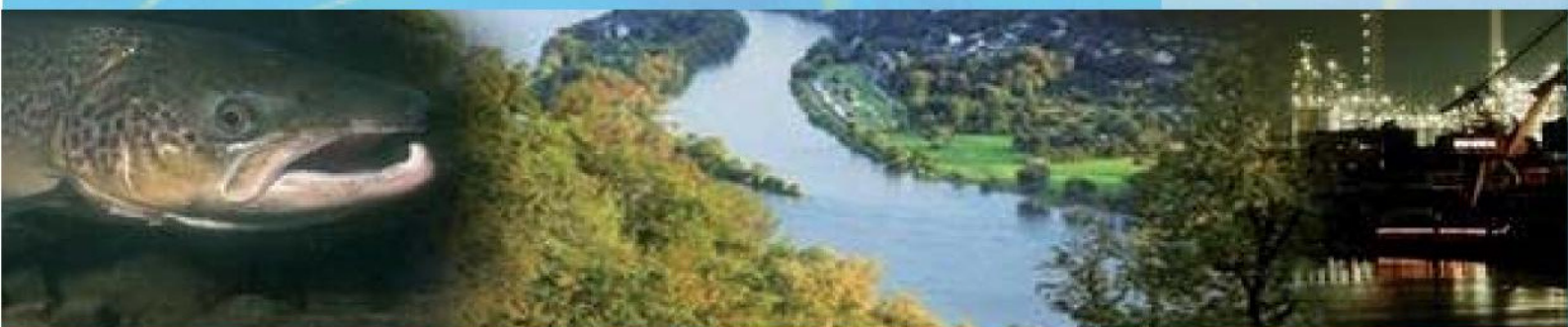


Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 275



Editeur:

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz

Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz

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

Courriel électronique: sekretariat@iksr.de

www.iksr.org

Les diatomées benthiques du Rhin 2018/2019

- Rédacteur responsable : David Heudre, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Grand Est, Metz
- Collaborateurs : Mechthild Banning, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden;
Guillaume Demortier, Agence de l'Eau Rhin-Meuse ;
Karin Deutsch, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien;
Thomas Ehlscheid, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), Mainz
Helmut Fischer, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz;
Jochen Fischer (Vorsitzender EG BMON), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), Mainz;
Jochen Lacombe, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV), Recklinghausen;
Jeroen Postema, Rijkswaterstaat- WV, Utrecht;
Yael Schindler, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
Franz Schöll, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz;
Renate Semmler-Elpers, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe;
- Coordination et rédaction : Laura Poinot, Nikola Schulte-Kellinghaus, Commission Internationale pour la Protection du Rhin - CIPR

Sommaire

Résumé.....	5
1. Introduction.....	6
2. Méthodologie.....	7
3. Taxonomie.....	8
3.1. Espèces recensées.....	8
3.2. Cortèges d'espèces du haut Rhin.....	16
3.3. Cortèges d'espèces du Rhin supérieur.....	17
3.4. Cortèges d'espèces du Rhin moyen.....	19
3.5. Cortèges d'espèces du Rhin inférieur.....	20
3.6. Cortèges d'espèces du delta du Rhin.....	22
4. Traits biologiques.....	23
4.1. Caractéristiques environnementales (Carayon <i>et al.</i> , 2019).....	25
4.2. Guildes écologiques & modes de vie (Rimet <i>et al.</i> , 2012).....	30
5. Conclusion.....	34
6. Bibliographie.....	35
ANNEXES.....	37
A. Liste des stations avec autorité.....	38
B. Liste des taxons recensés sur le Rhin avec tronçon de présence.....	39

Table des figures

Figure 1 : Nombre de taxons recensés par tronçon du Rhin	13
Figure 2 : Diversité moyenne par inventaire pour chaque tronçon du Rhin	14
Figure 3 : Abondance moyenne des 5 espèces les plus structurantes des inventaires par tronçon du Rhin.....	15
Figure 4 : Photographies des 4 espèces les plus structurantes des différents tronçons du Rhin.....	15
Figure 5 : Abondance moyenne d' <i>Achnanthydium minutissum</i> , d' <i>Achnanthydium pyrenaicum</i> et de <i>Cocconeis placentula</i> par tronçon du Rhin.....	16
Figure 6 : Photographies d' <i>Achnanthydium pyrenaicum</i> et d' <i>Achnanthydium minutissum</i> .	17
Figure 7 : Abondance moyenne de <i>Navicula cryptotenella</i> , <i>Nitzschia frustulum</i> et d' <i>Achnanthydium delmontii</i> par tronçon du Rhin	18
Figure 8 : Photographies de <i>Navicula cryptotenella</i> et d' <i>Achnanthydium delmontii</i>	18
Figure 9 : Abondance moyenne de <i>Pseudostaurosira brevistriata</i> , <i>Nitzschia fonticola</i> et <i>Staurosira venter</i> par tronçon du Rhin.....	19
Figure 10 : Photographies de <i>Pseudostaurosira brevistriata</i> , <i>Nitzschia fonticola</i> et <i>Staurosira venter</i>	20
Figure 11 : Abondance moyenne de <i>Nitzschia inconspicua</i> , <i>Nitzschia paleacea</i> et <i>Eolimna minima</i> sensu lato par tronçon du Rhin	21
Figure 12 : Photographies de <i>Nitzschia inconspicua</i> , <i>Nitzschia paleacea</i> et <i>Eolimna minima</i> sensu lato	21
Figure 13 : Abondance moyenne de <i>Skeletonema subsalsum</i> , <i>Discostella pseudostelligera</i> et <i>Cyclostephanos invisitatus</i> par tronçon du Rhin	22
Figure 14 : Photographies de <i>Discostella pseudostelligera</i> et <i>Cyclostephanos invisitatus</i>	22
Figure 15 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité au pH (Carayon <i>et al.</i> 2019).....	25
Figure 16 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à la minéralisation (Carayon <i>et al.</i> 2019)	26
Figure 17 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à l'oxygénation (Carayon <i>et al.</i> 2019)	27
Figure 18 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité aux nitrates (Carayon <i>et al.</i> 2019).....	28
Figure 19 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité au phosphore (Carayon <i>et al.</i> 2019).....	28
Figure 20 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à la saprobie (Carayon <i>et al.</i> 2019).....	29
Figure 21 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à l'azote organique (Carayon <i>et al.</i> 2019).....	30
Figure 22 : Abondances relatives des espèces selon les traits biologiques mobiles, coloniales ou pionnières (Rimet <i>et al.</i> 2012).....	31
Figure 23 : Abondances cumulées des espèces selon le trait biologique relatif à la fixation au substrat (Rimet <i>et al.</i> 2012)	32
Figure 24 : Abondances cumulées des espèces selon leur appartenance aux différentes guildes écologiques (Rimet <i>et al.</i> 2012)	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition du nombre des stations de mesure par tronçon du Rhin	7
Tableau 2 : Répartition du nombre de taxons par nombre d'échantillons où ils sont présents	8
Tableau 3 : Taxons les plus fréquents sur le Rhin	9
Tableau 4 : Taxons les plus abondants sur le Rhin	10
Tableau 5 : Taxons classés par abondance moyenne sur les stations sur lesquelles ils sont présents	12
Tableau 6 : Effort de comptage moyen par tronçon du Rhin	14
Tableau 7 : Codes numériques des stations de mesures du Rhin	23

Résumé

Le présent document vise à présenter une synthèse harmonisée des données collectées sur les diatomées benthiques du Rhin dans le cadre du volet 'Phytobenthos' du programme d'analyse biologique Rhin 2018/2019.

Un total de 340 taxons a été recensé entre août 2015 et octobre 2018 sur les 41 sites analysés, ce qui représente une diversité taxonomique importante même pour un grand fleuve comme le Rhin. On constate néanmoins que beaucoup d'espèces ne sont présentes que sur un faible nombre de stations (234 espèces ne sont trouvées que dans 1 à 5 stations), alors que seulement 25 taxons sont présents sur plus de 50% des sites prospectés et structurent donc réellement les communautés en place.

L'étude de la structure des communautés en place (présence d'espèces et rapports de dominance) nous permet de tirer des enseignements sur les informations écologiques qu'elles apportent afin de caractériser l'évolution des conditions le long du cours du Rhin.

Ainsi pour le haut Rhin, les cortèges sont typiques de milieux lotiques faiblement impactés, que ce soit par les nutriments, les matières organiques oxydables ou la minéralisation. Cette situation évolue ensuite progressivement au fil du fleuve. Les espèces caractéristiques de milieux méso-eutrophes prennent une part importante dès le Rhin supérieur. Les espèces eutrophes à hypereutrophes apparaissent en abondance notable dans la seconde moitié du cours du Rhin. La succession des cortèges au fil du fleuve traduit une augmentation plus modérée et progressive de la quantité de matières organiques et de la minéralisation.

Les espèces présentes dans le delta du Rhin traduisent quant à elles un milieu singulier de par ses caractéristiques hydromorphologiques : apparition d'espèces d'origines planctoniques en forte abondance.

Une belle succession de communautés diatomiques se déploie donc à mesure que l'on descend le Rhin vers l'aval et que s'opère une baisse de son caractère lotique couplée à un enrichissement du milieu.

1. Introduction

Les diatomées sont des algues hétérokontes microscopiques et unicellulaires dont la taille varie de quelques micromètres (μm) à plus de 500 μm . Elles ont entre autres particularités le fait de posséder une thèque siliceuse appelée frustule, dont l'étude de la structure, la morphologie et les ornements forment la base de leur taxonomie.

Colonisant tous les milieux humides, elles se développent en particulier dans les cours d'eau pour former un biofilm sur les surfaces immergées, c'est-à-dire une matrice autoproduite de substances polymères extracellulaires dans laquelle les diatomées vivent. Leur grande diversité spécifique, leur vaste distribution géographique, ainsi que leur sensibilité aux caractéristiques physicochimiques de leur milieu de vie en font d'excellents bio-indicateurs. Elles permettent notamment de qualifier leur milieu de vie du point de vue du pH, de la conductivité, de la trophie (*i.e.* charge en nutriments) ou de la saprobie (*i.e.* charge en matières organiques) (Van Dam *et al.* 1994, Rott *et al.* 1997, 1999). Leur réponse aux changements de ces variables se fait par des modifications de la composition des assemblages d'espèces en place, tant en terme qualitatifs que quantitatifs. Grâce à une connaissance croissante du préférendum écologique des taxons, il a été possible de mettre au point et d'améliorer constamment des méthodes simples d'évaluation de la qualité des eaux de surface.

Les diatomées occupent une part essentielle au sein de la Directive Cadre communautaire sur l'Eau (directive 2000/60/CE, DCE) dans l'élément de qualité biologique « Macrophytes & phytobenthos » pour l'évaluation des eaux (Union européenne, 2000). La qualité écologique d'une station de mesure sur une rivière se définit par comparaison entre la communauté présente et la communauté de référence attendue sur une rivière de ce type (géologie, typologie, taille, hydro-écorégion...). L'évaluation ne se limite donc plus à une simple quantification des pressions mais à une évaluation de l'écart constaté par rapport au référentiel.

Le présent document vise à présenter une synthèse harmonisée des données collectées sur les diatomées benthiques du Rhin entre août 2015 et octobre 2018 par les différentes autorités et institutions participant aux travaux de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR). Outre l'étude de la structure des communautés en place (présence d'espèces et rapports de dominance), des enseignements seront tirés sur les informations écologiques qu'elles apportent afin de caractériser l'évolution de la trophie ou la saprobie par exemple le long du cours du Rhin.

La méthode autrichienne (Directives pour la collecte des éléments de qualité biologique Partie A3 - phytobenthos, Lebensministerium Vienne, 2010) prend en compte en sus des diatomées les autres algues du phytobenthos. Ces données n'ont pas été intégrées dans le présent rapport, car il a été convenu de ne recenser et évaluer que les diatomées dans le programme d'analyse biologique Rhin 2018/2019. Il est à noter qu'il existe également une méthode allemande (« Phylib ») incluant les autres algues du phytobenthos (groupe partiel d'organismes phytobenthiques sans les diatomées).

2. Méthodologie

Les données disponibles et présentées dans le présent rapport sont tirées de l'analyse d'échantillons de diatomées benthiques prélevés sur 41 stations de mesure réparties sur le cours du Rhin en 5 tronçons (cf. tableau 1 ci-dessous). L'unique station du Rhin alpin, Fußach, est regroupée dans le présent rapport avec les stations du haut Rhin par souci de cohérence écologique. Cette station est en effet anthropisée (Nouveau Rhin canalisé), sous influence du Lac de Constance et située très à l'aval du secteur (pk 88 sur les 92 km de ce tronçon), elle n'est donc sans doute pas représentative des conditions sur tout l'amont du secteur Rhin alpin.

Tableau 1 : Répartition du nombre des stations de mesure par tronçon du Rhin

haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
5	23	4	3	6

La liste des stations ainsi que les autorités compétentes sont présentées dans l'annexe A. Ces stations s'étendent du Rhin alpin en Autriche jusqu'au delta du Rhin aux Pays-Bas inclus. Elles ont été échantillonnées sur la période août 2015 à octobre 2018, néanmoins 66% des prélèvements ont été réalisés entre mai et octobre 2018. Ceci constitue un pas de temps considérable au regard du faible temps d'intégration des modifications environnementales des diatomées, et les conclusions du présent rapport sont donc à relativiser au regard de cette importante dispersion des dates de prélèvements.

Seules des données fragmentaires sur les substrats prélevés sont disponibles : l'essentiel des prélèvements semble avoir été réalisé sur des supports recueillis dans le lit mineur (pierres, galets, blocs). Néanmoins, compte tenu des spécificités hydromorphologiques du Delta dans la partie néerlandaise, les prélèvements ont été réalisés sur les parties verticales immergées de roseaux.

En matière de dénominations taxonomiques, les données ont été uniformisées en utilisant comme principal ouvrage de référence celui de Lange-Bertalot *et al.* (2017). Cette uniformisation s'est avérée nécessaire pour corriger les variabilités constatées induites par la diversité des opérateurs ayant participé et par la disparité des ouvrages de détermination utilisés. En effet, si les déterminations fournies par certaines délégations semblent se baser sur des ouvrages récents tels Hofmann *et al.* (2011) ou Lange-Bertalot *et al.* (2017), la moitié des listes fournies utilisent des dénominations anciennes vraisemblablement basées sur Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a & 1991b). La plupart des changements de dénomination sont sans gravité car ils ne concernent que le transfert de l'espèce dans un autre genre. Toutefois, cela s'avère particulièrement problématique pour certains groupes taxonomiques, la diagnose de nombreuses espèces ayant considérablement évoluée au cours des dernières décennies avec parfois de nouvelles espèces valides séparées depuis. ¹

Les données ont été traitées au moyen des logiciels Omnidia 6, Microsoft Excel 2007, et le logiciel R 3.5.

¹ De manière non exhaustive, on peut citer comme changement de dénomination : *Amphora lybica* a été remplacé par *Amphora copulata* sensu lato (voir Hofmann *et al.* 2011 ou Lange-Bertalot *et al.* 2017) ; *Caloneis bacillum*, espèce marine, a été remplacée par *Caloneis lancettula* (voir Hofmann *et al.* 2011 ou Lange-Bertalot *et al.* 2017) ; *Discostella woltereckii* a été regroupé dans *Discostella pseudostelligera* emend. Genkal (voir Genkal 2015) ; *Planothidium rostratum*, a été remplacé par *Planothidium rostratoholarcticum* (voir Bağ & Lange-Bertalot 2014, Lange-Bertalot *et al.* 2017 ou Wetzell *et al.* 2019) ; *Surirella brebissonii* var. *brebissonii*, rare taxon de grande taille, a été remplacé par *Surirella lacrimula* beaucoup plus commun (voir English & Potapova 2012) *Cocconeis placentula* est dans le présent rapport sensu lato car il n'a pas été possible de faire la distinction entre les *Cocconeis placentula* sensu Jahn *et al.* 2009 déterminés par certaines délégations et la conception *Cocconeis placentula* variété indéterminée fournie par d'autres (les variétés les plus communes de cette espèce étant maintenant reconnues comme espèces indépendantes). Une incertitude existe également sur *Achnanthes ploenensis* (nommé *Kolbesia ploenensis* dans le présent rapport) qui semble également être utilisé dans certains inventaires au sens « variété indéterminée », car trouvé en alternance le long du Rhin avec son ancienne variété *gessneri* (nommé *Kolbesia gessneri* dans le présent rapport) selon les délégations.

3. Taxonomie

3.1. Espèces recensées

340 taxons appartenant à 82 genres ont été recensés sur l'ensemble des sites analysés, représentant une diversité taxonomique importante, même pour un grand fleuve comme le Rhin. L'annexe B synthétise la liste complète de ces taxons en précisant les tronçons du Rhin où ils ont été trouvés.

Cette diversité importante est toutefois à relativiser car elle comprend de nombreux taxons peu répandus dans le Rhin : en effet, 234 taxons ne sont trouvés que dans 1 à 5 échantillons, dont 125 taxons uniquement présents dans un seul échantillon (cf. tableau 2 ci-dessous).

Tableau 2 : Répartition du nombre de taxons par nombre d'échantillons où ils sont présents

Nombre de taxons	Nombre d'échantillon(s)
234*	1-5
51	6-10
18	11-15
12	16-20
10	21-25
9	26-30
3	31-35
3	36-40

* : dont 125 présents dans un seul échantillon.

A l'inverse, un petit nombre de taxons semble structurer les cortèges floristiques sur une majorité du cours du Rhin : 25 taxons sont présents dans plus de 50% des échantillons (cf. tableau 3 ci-dessous).

Tableau 3 : Taxons les plus fréquents sur le Rhin

(O = pourcentage d'occurrence du taxon sur la totalité des échantillons)

Taxon	O
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	98%
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	95%
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	93%
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg sensu lato	78%
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	76%
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller	76%
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki sensu lato	73%
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	73%
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald sensu lato	71%
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	71%
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	71%
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	68%
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	66%
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	66%
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	63%
<i>Melosira varians</i> Agardh	61%
<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	61%
<i>Planothidium rostratoholarcticum</i> Lange-Bertalot & Båk	61%
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	59%
<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	59%
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurck) Williams & Round	59%
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	56%
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot	56%
<i>Navicula rostellata</i> Kützing	56%
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	56%

Au regard du précédent, le tableau 4 ci-dessous met en évidence que les taxons les plus répandus sur les différentes stations (donc avec une occurrence forte) ne sont pas toujours ceux qui forment les populations les plus importantes. Le classement des taxons a été effectué ici en utilisant l'abondance relative cumulée pour éviter le biais qu'aurait introduit l'utilisation de l'abondance réelle (l'effort de comptage n'étant pas identique entre les échantillons).

Tableau 4 : Taxons les plus abondants sur le Rhin

(ARC = Abondance Relative Cumulée du taxon sur la totalité des échantillons)

Taxons	ARC
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	435%
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	290%
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg sensu lato	234%
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	215%
ACHNANTHIDIUM Kützing	164%
<i>Skeletonema subsalsum</i> (Cleve-Euler) Bethge	128%
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki sensu lato	123%
<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	114%
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller	89%
<i>Melosira varians</i> Agardh	85%
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee emend. Genkal	82%
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	75%
<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	75%
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	66%
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurck) Williams & Round	65%
<i>Achnantheidium delmontii</i> Peres, Le Cohu & Barthes	63%
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	58%
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	57%
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	56%
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	52%
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow sensu lato	50%
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & Möller	49%
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	47%
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	46%
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellerman) Theriot, Stoermer & Håkansson	45%
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	43%
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot in Moser & al. sensu lato	43%
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald sensu lato	43%
<i>Navicula rostellata</i> Kützing	43%
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	40%
<i>Achnantheidium pyrenaicum</i> (Hustedt) Kobayasi	39%
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	33%
NITZSCHIA A.H. Hassall	33%
<i>Planothidium rostratoholarcticum</i> Lange-Bertalot & Båk	29%
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	28%
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) Williams & Round	28%
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round	27%
<i>Navicula germainii</i> Wallace	27%
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	22%
<i>Achnantheidium atomoides</i> Monnier, Lange-Bertalot & Ector	22%
<i>Nitzschia filiformis</i> var. <i>conferta</i> (Richter) Lange-Bertalot	22%
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G.Mann in Round, Crawford & Mann	21%
LUTICOLA D.G. Mann	20%
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	20%
<i>Karayevia clevei</i> (Grunow in Cl. & Grun.) Bukhtiyarova var. <i>clevei</i>	20%
<i>Navicula caterva</i> Hohn & Hellerman	19%
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	18%
<i>Achnantheidium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	15%

Les espèces les plus répandues sur le Rhin sont donc *Nitzschia dissipata*, *Amphora pediculus* et *Navicula cryptotenella* que l'on observe sur la quasi-totalité des stations. *Cocconeis placentula* sensu lato, *Navicula antonii*, *Nitzschia fonticola*, *Achnanthydium minutissimum* sensu lato, *Navicula tripunctata* et *Cocconeis pediculus* sont également communes au sein des inventaires.

On retrouve parmi ces taxons la plupart de ceux formant les populations les plus denses : *Nitzschia dissipata* (28% à Mannheim), *Amphora pediculus* (46% à Schwanau), *Navicula cryptotenella* (20% à Gamsheim), *Cocconeis placentula* sensu lato (25% à Karlsruhe), *Nitzschia fonticola* (16% à Bacharach), *Achnanthydium minutissimum* sensu lato (48% à Fußach).

Comme lors du programme Rhin 2012/2013 *Nitzschia palea*, espèce très polluo-tolérante, est retrouvée dans 68% des inventaires. Ici encore ce constat est à relativiser : ce taxon n'est présent qu'en faible abondance dans les inventaires où il est présent avec 2,7% d'abondance relative en moyenne (arrivée en faible quantité dans le milieu via les flux organiques entrants) et il est possible que la variété *debilis*, plus polluosensible, n'ait pas toujours été distinguée lors des inventaires.

Le cas de certaines espèces très fréquentes comme *Diatoma vulgare* et *Navicula antonii* par exemple peut aussi être relativisé à la vue du tableau 5 ci-dessous : si ces espèces sont bien présentes sur respectivement 66 et 76% des inventaires, elles ne le sont qu'à une abondance moyenne inférieure ou égale à 2%. Il s'agit donc ici d'espèces plutôt ubiquistes sur le Rhin et qui ne structurent pas vraiment les communautés.

Tableau 5 : Taxons classés par abondance moyenne sur les stations sur lesquelles ils sont présents

(N : Nombre d'échantillons où le taxon est présent sur un total de 47 ;
AMP : Abondance moyenne dans les échantillons où le taxon est présent)

Taxon	AMP	N
<i>Skeletonema subsalsum</i> (Cleve-Euler) Bethge	26%	5
LUTICOLA D.G. Mann	20%	1
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	11%	38
ACHNANTHIDIUM F.T. Kützing	9%	19
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee emend. Genkal	8%	10
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg sensu lato	7%	31
<i>Achnanthydium atomoides</i> Monnier, Lange-Bertalot & Ector	7%	2
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	7%	39
<i>Achnanthydium delmontii</i> Peres, Le Cohu et Barthes	7%	9
<i>Gomphonema saprophilum</i> (Lange-Bertalot & Reichardt) Abarca Jahn Zimmermann & Enke	7%	1
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellerman) Theriot Stoermer & Håkansson	6%	7
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	6%	37
<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	5%	24
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	5%	11
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	5%	10
<i>Achnanthydium druartii</i> Rimet & Couté in Rimet & al.	5%	1
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow sensu lato	5%	11
<i>Fragilaria mesolepta</i> Rabenhorst	4%	1
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki sensu lato	4%	29
<i>Melosira varians</i> Agardh	3%	25
<i>Encyonopsis minuta</i> Krammer & Reichardt	3%	3
<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	3%	25
<i>Nitzschia liebethruthii</i> Rabenhorst var. <i>liebethruthii</i>	3%	4
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve & Möller	3%	30
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurck) Williams & Round	3%	24
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal	3%	4
NITZSCHIA A.H. Hassall	3%	11
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & Möller	3%	18
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	3%	28
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	3%	15
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	3%	2
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	3%	26

La répartition de cette diversité spécifique par tronçon du Rhin, présentée figure 1 ci-dessous, met en évidence un nombre de taxons détectés assez semblable pour les tronçons du haut Rhin, du Rhin moyen et du Rhin inférieur. Seuls le delta du Rhin et le Rhin supérieur se démarquent nettement des autres. Néanmoins, cette singularité est à relativiser du fait du nombre plus élevé de stations échantillonnées sur le Rhin supérieur (cf. tableau 1), ce qui augmente la probabilité de prélever un microhabitat particulier lié à la variabilité naturelle du milieu et donc de rencontrer de nouvelles espèces. De même, le delta du Rhin constitue un écosystème complexe avec différents bras de rivière pouvant présenter des conditions de microhabitats fort différentes pouvant augmenter la diversité, tout comme le fait que des supports différents ont pu être échantillonnés selon les stations.

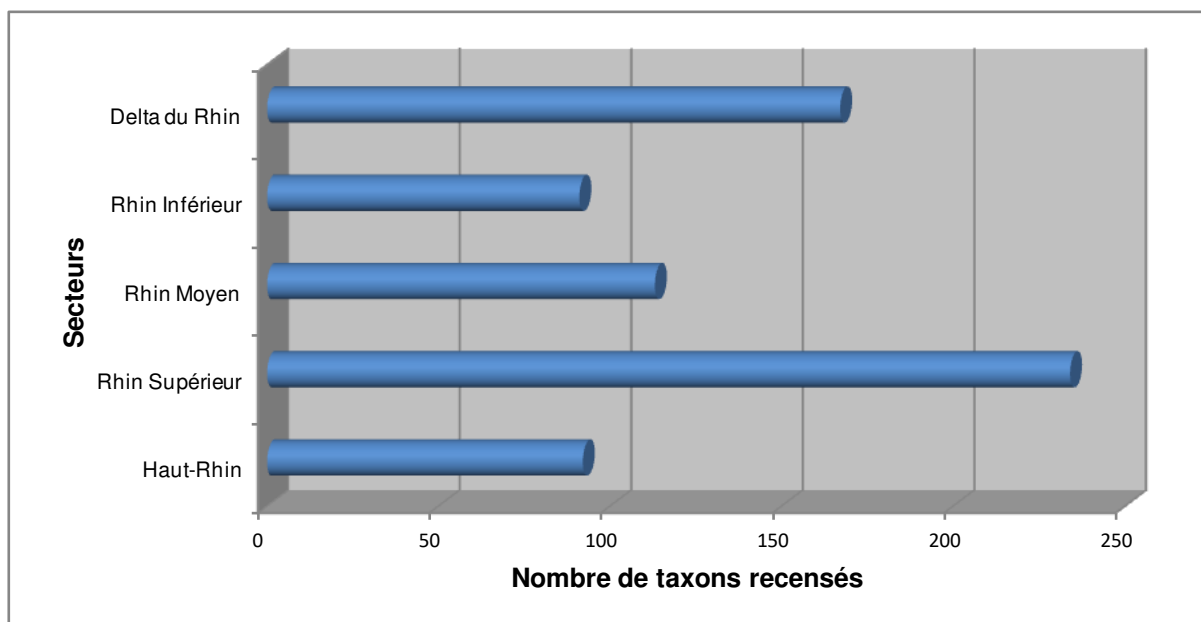


Figure 1 : Nombre de taxons recensés par tronçon du Rhin

De plus, si l'on regarde la diversité moyenne par échantillon présenté figure 2 ci-dessous, on se rend compte que l'on trouve un nombre moyen de taxons par inventaire très similaire d'un secteur à un autre. Seul le haut Rhin se distingue par une diversité de 10 à 25 taxons de moins en moyenne par échantillon. Ceci peut peut-être s'expliquer par des conditions environnementales et d'écoulement plus uniformes. Le Rhin inférieur et le delta du Rhin, bien que présentant un effort de comptage sensiblement supérieur aux autres (cf. tableau 6 ci-dessous), ne présentent pourtant pas de diversité significativement différente des autres secteurs. Bien que le Rhin supérieur soit le tronçon présentant le maximum de taxons recensés (cf. figure 1 ci-dessus), il reste dans la moyenne pour le nombre moyen de taxons identifiés par inventaire (cf. figure 2 ci-dessus). Cela montre qu'il ne s'agit pas d'un secteur homogène, mais qu'il présente une grande diversité totale car les nombreux inventaires qui le composent présentent des compositions taxonomiques sensiblement différentes. À noter enfin que la valeur de l'effort de comptage moyen sur le haut Rhin n'est pas très représentative car toutes les stations de ce tronçon présentent un effort de comptage de 400 individus, excepté la station de Fußach (seule station du Rhin alpin regroupée avec le haut Rhin pour les besoins du présent rapport) avec 578 diatomées identifiées du fait d'une méthode d'analyse différente. On peut ajouter que le recensement de 400 organismes à frustule par échantillon répond aux conditions prescrites par le guide méthodologique allemand de la LAWA.

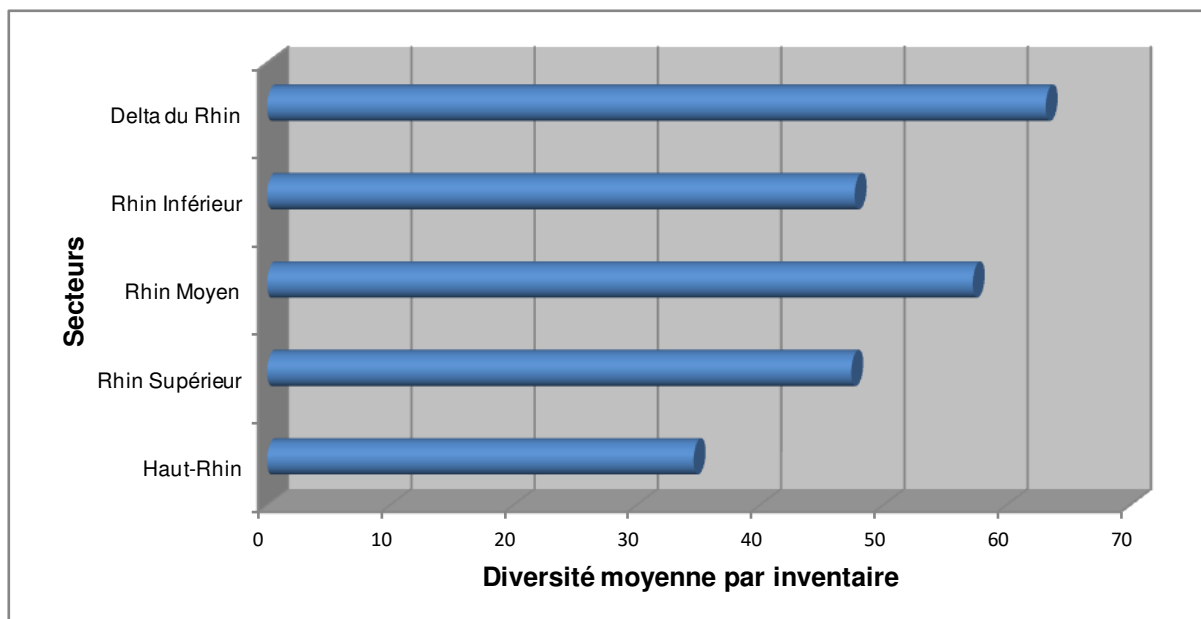


Figure 2 : Diversité moyenne par inventaire pour chaque tronçon du Rhin

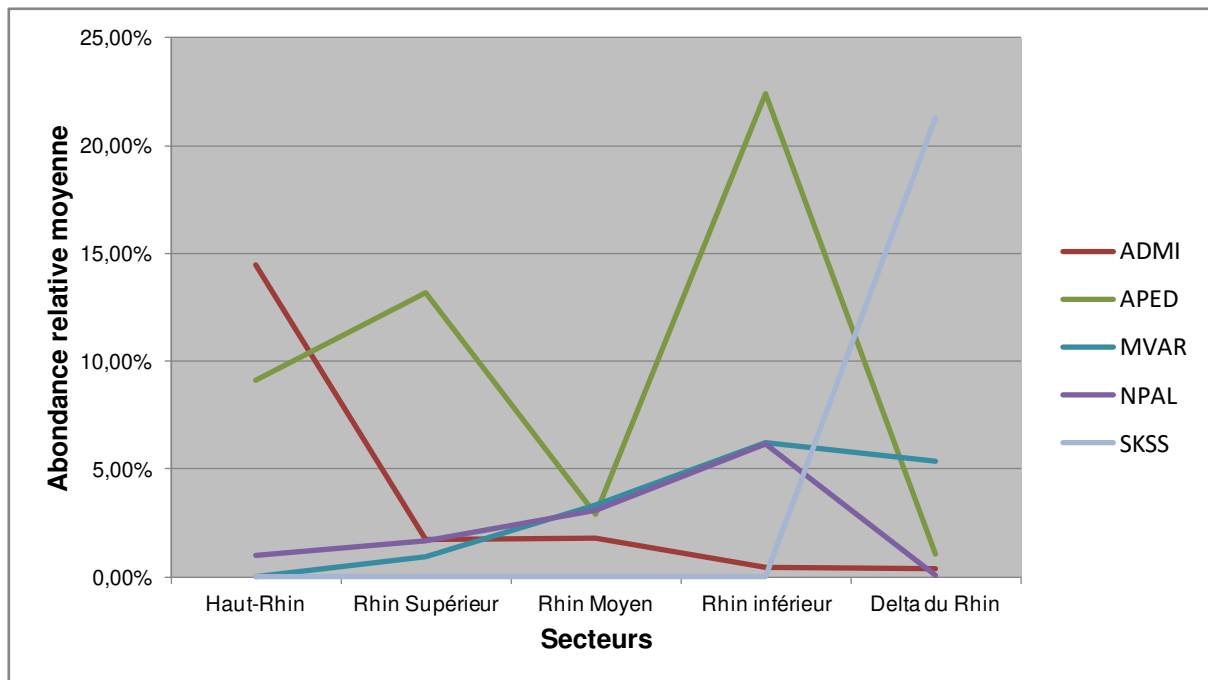
Tableau 6 : Effort de comptage moyen par tronçon du Rhin

Secteur	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
Effectif moyen	436	406	426	511	500

Parmi les espèces recensées, cinq espèces semblent assez structurantes et représentatives des différents tronçons du Rhin : *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki sensu lato, *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow, *Melosira varians* Agardh, *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith et *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge.

La figure 3 illustre leurs abondances moyennes sur les différents tronçons (voir photos dans la figure 4) :

- ✓ *Achnantheidium minutissimum* sensu lato est typique du haut Rhin et n'est présent que de manière anecdotique dans les autres tronçons.
- ✓ *Amphora pediculus*, bien qu'identifié sur tous les tronçons, se trouve en abondances plus importantes sur le Rhin inférieur. Sa faible abondance sur le Rhin moyen est une singularité par rapport au précédent exercice de 2014.
- ✓ *Melosira varians* et *Nitzschia palea* voient leur abondance moyenne croître de l'amont vers l'aval. *Melosira varians* est une espèce benthique-tychoplanctonique typique des eaux calmes eutrophes, il est donc logique de la voir prendre une place majeure dans les inventaires de la partie aval du fleuve. L'augmentation progressive de l'abondance moyenne de *N. palea*, taxon fortement pollueurésistant, est à mettre en parallèle avec l'arrivée des flux organiques et donc l'augmentation progressive de la charge organique et trophique du Rhin. Sa disparition dans le delta du Rhin est sans doute davantage due à des conditions très lenticques lui étant peu favorables, plus qu'à une amélioration de la qualité de l'eau.
- ✓ *Skeletonema subsalsum* est typique du delta du Rhin. Les conditions particulières très lenticques de ce tronçon favorisant une importante sédimentation expliquent la présence de cette espèce planctonique en forte abondance dans le benthos.



ADM1 : *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki sensu lato ; APED : *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow ; MVAR : *Melosira varians* Agardh ; NPAL : *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith ; SKSS : *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge.

Figure 3: Abondance moyenne des 5 espèces les plus structurantes des inventaires par tronçon du Rhin

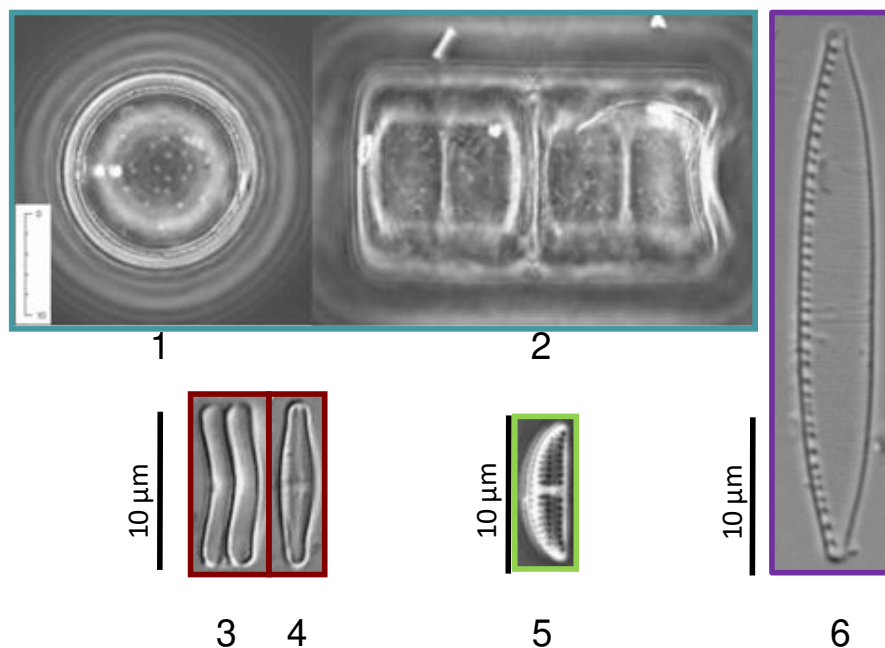


Figure 4 : Photographies des 4 espèces les plus structurantes des différents tronçons du Rhin

(1-2 : *Melosira varians* en vues valvaire (1) et connective (2) ; 3-4 : *Achnantheidium minutissimum* sensu lato en vues connective (3) et valvaire (4) ; 5 : *Amphora pediculus* ; 6 : *Nitzschia palea*. Photographies D. Heudre)

Il est possible de réaliser une analyse plus fine des compositions et abondances spécifiques en se concentrant sur les différents tronçons du Rhin.

3.2. Cortèges d'espèces du haut Rhin

Avec une moyenne de 35 taxons relevés par inventaire, et un nombre total de 92 espèces relevées, le haut Rhin est sensiblement moins diversifié que les autres tronçons (voir figure 5 et photos dans la figure 6). Les 3 espèces les plus fréquentes sont *Achnanthydium minutissimum* sensu lato et *Cocconeis placentula* sensu lato, de même qu'une espèce du genre *Achnanthydium* qui n'a parfois pas pu être identifiée ou encodée. Il pourrait s'agir d'*Achnanthydium delmontii*. *Achnanthydium minutissimum* est une espèce plutôt polluosensible et rhéophile typique de nombreuses rivières alpines de bonne qualité. À l'opposé, *Achnanthydium delmontii* se rencontre plutôt dans les rivières plus riches en nutriments. Comme vu au paragraphe 2, il est difficile de tirer des conclusions sur *C. placentula*. La conception probablement très large du taxon lors de l'identification (*C. placentula* var. indéterminée), et le fait que de nombreuses variétés sont devenues des espèces indépendantes bien reconnues, en font un probable groupement d'espèces pouvant avoir des écologies très différentes. Bien que son écologie soit difficile à définir à cause des problèmes d'identification des dernières décennies, *C. placentula* sensu stricto semble être une espèce préférant les eaux eutrophes à écoulement lent, moyennement à fortement minéralisées (voir par ex. Jahn 2009 ou Lange-Bertalot *et al.* 2017), ce qui ne correspondrait pas aux conditions rencontrées dans le haut Rhin.

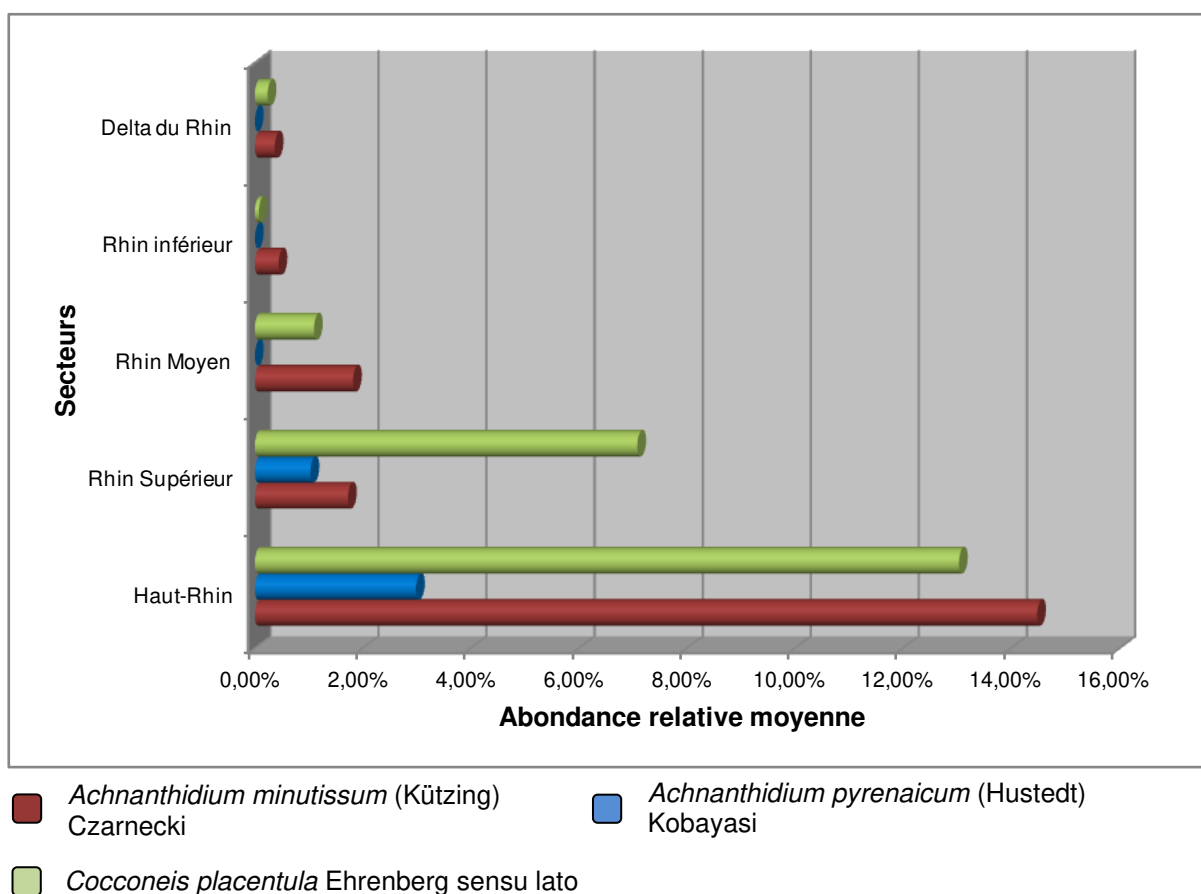


Figure 5 : Abondance moyenne d'*Achnanthydium minutissimum*, d'*Achnanthydium pyrenaicum* et de *Cocconeis placentula* par tronçon du Rhin

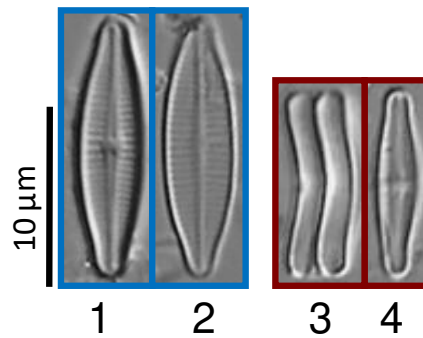


Figure 6 : Photographies d'*Achnantheidium pyrenaicum* et d'*Achnantheidium minutissimum*
(1-2 : *Achnantheidium pyrenaicum* ; 3-4 : *Achnantheidium minutissimum* sensu lato ; Photographies
D. Heudre)

Parmi les espèces accessoires caractéristiques de ce secteur, *Amphora pediculus*, *Nitzschia dissipata*, et *Navicula cryptotenella* ont été identifiées. A noter qu'une espèce du genre *Achnantheidium* est présente dans des abondances similaires à *A. minutissimum* (> 14% en moyenne) mais n'a pas pu être identifiée ou encodée. Il pourrait s'agir d'*Achnantheidium delmontii* Peres, Le Cohu et Barthes qui est généralement bien présente dans le Rhin Supérieur (voir rapport CIPR n°226 de 2014). Vérifications faites, le taxon *Achnantheidium delmontii* est bien recensé au Bade-Wurtemberg et présent dans l'ordre de grandeur mentionné dans les échantillons bade-wurtembergeois du haut Rhin. Pour des raisons techniques, le taxon avait été encodé comme genre *Achnantheidium* et il était fait mention de l'appartenance à cette espèce dans les remarques. Toutefois cette information n'était pas connue lors du traitement des données.

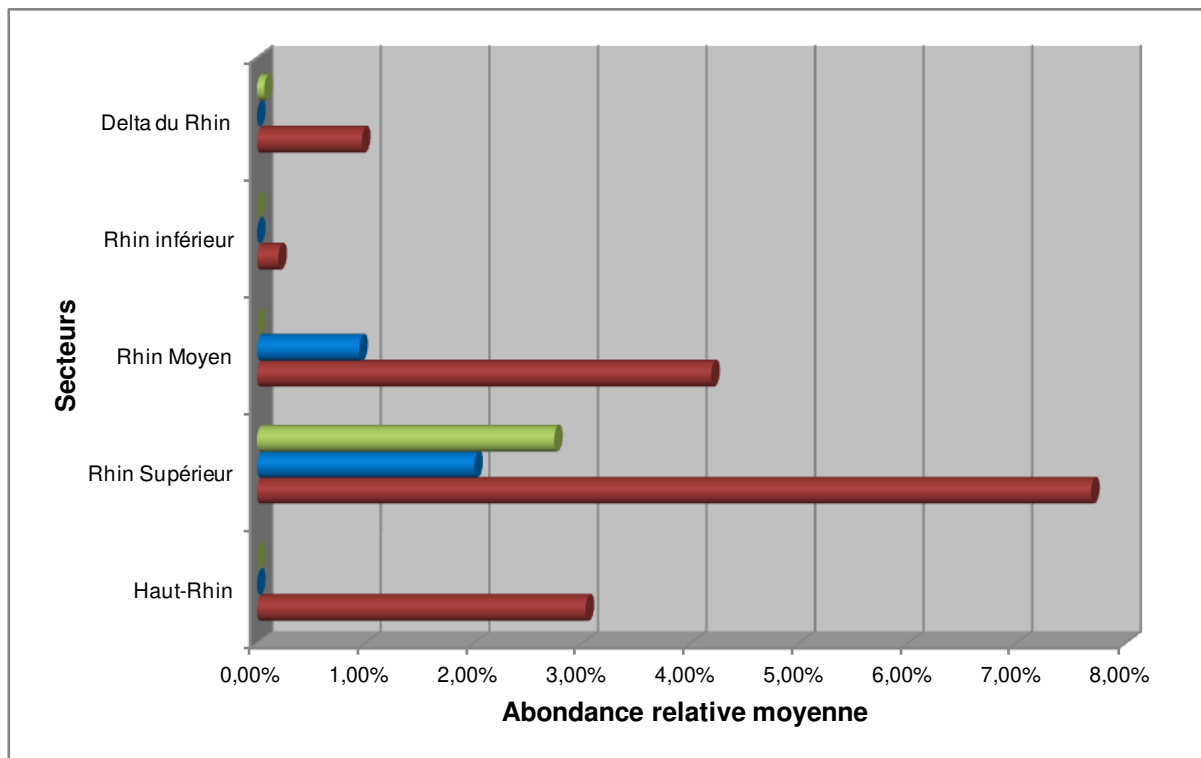
La présence d'*Achnantheidium atomoides* Monnier, Lange-Bertalot & Ector en forte abondance (21%) sur la station autrichienne de *Fußbach* est surprenante. Il s'agit en effet d'une espèce tolérante à de fortes charges trophiques et organique, préférant les eaux à conductivité élevée (Monnier *et al.* 2004).

3.3. Cortèges d'espèces du Rhin supérieur

Avec une moyenne de 47 taxons par inventaire, le Rhin supérieur se situe dans la moyenne des cortèges. De plus, avec un nombre total de 234 espèces relevées, il est de loin le secteur avec le plus de taxons recensés. Ce constat est probablement en partie lié au fait qu'il s'agit du secteur le plus densément échantillonné (23 stations de mesures) ainsi qu'à un effet opérateur probablement plus marqué en raison de la diversité des intervenants (données provenant 4 délégations sur ce tronçon).

Bien que présentes sur la grande majorité des inventaires à des abondances parfois substantielles, *Amphora pediculus* et *Nitzschia dissipata* ne sont pas les espèces les plus caractéristiques de ce tronçon (cf. figure 3 pour *A. pediculus*). Celui-ci est plutôt représenté par *Navicula cryptotenella* et *Nitzschia frustulum* sensu lato. Néanmoins, les faibles abondances moyennes de ces espèces (cf. figure 7 ci-dessous et photos dans la figure 8), et donc les faibles écarts par rapport aux autres tronçons, ne sont pas signes d'une grande robustesse de cette représentativité. De plus, *Nitzschia frustulum* a été identifié en quantité non négligeable sur certaines stations (23% sur la station d'Eltville par ex). Cette espèce est très probablement à considérer au sens large, et à relier à ses anciennes variétés *subsalina* et *inconspicua*, qui sont désormais regroupées en une espèce indépendante : *Nitzschia inconspicua* (voir notamment Trobajo *et al.* 2013). En effet, *N. frustulum* sensu stricto est une espèce trouvée dans les eaux à très fortes conductivités, saumâtres ou côtières (cf Trobajo *et al.* 2013 ou Lange-Bertalot *et al.* 2017). Dans le tronçon du Rhin supérieur, l'espèce néophyte *Achnantheidium delmontii* (voir Peres *et al.* 2012) a été identifiée en quantité substantielle, et ce par 3 délégations (France, Rhénanie-Palatinat et Bade-Wurtemberg). Pour des raisons techniques, le taxon est encore encodé par le Bade-

Wurtemberg comme genre *Achnanthydium* et son appartenance à l'espèce *Achnanthydium delmontii* est clairement indiquée en remarque dans les jeux de données correspondants. La grande diversité taxonomique ainsi que le grand nombre d'échantillons du Rhin supérieur ne permettent pas de mettre en évidence des espèces réellement caractéristiques.



- *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot ■ *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow sensu lato
■ *Achnanthydium delmontii* Peres, Le Cohu et Barthes

Figure 7 : Abondance moyenne de *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia frustulum* et d'*Achnanthydium delmontii* par tronçon du Rhin

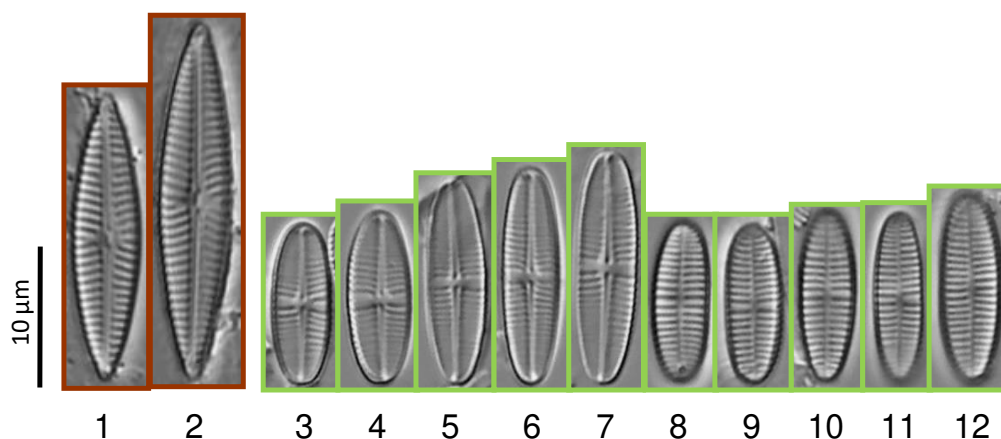
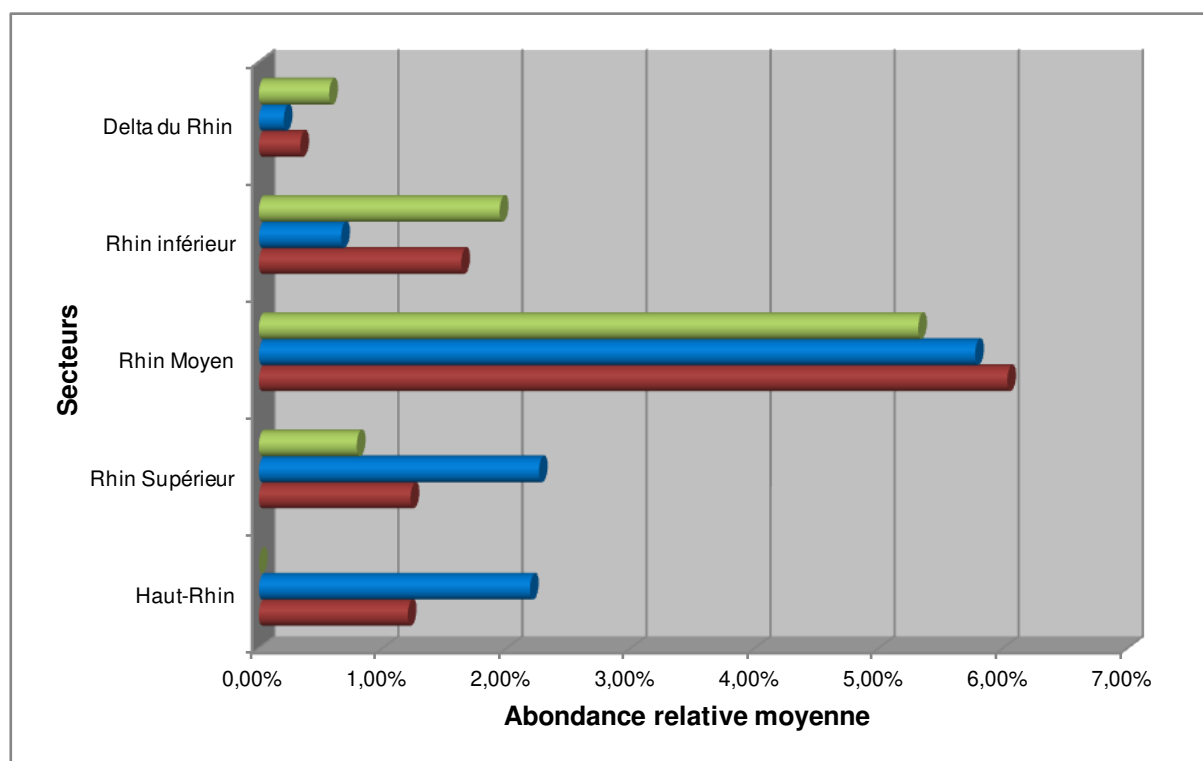


Figure 8 : Photographies de *Navicula cryptotenella* et d'*Achnanthydium delmontii* (1-2 : *Navicula cryptotenella* ; 3-12 : *Achnanthydium delmontii* ; Photographies D. Heudre)

3.4. Cortèges d'espèces du Rhin moyen

Le Rhin moyen présente une diversité moyenne de 57 taxons par inventaire. Avec un total de 113 espèces recensées en seulement 4 inventaires, il est un tronçon très hétérogène. Les espèces dominantes des 4 inventaires sont toujours différentes, à une exception près. Difficile donc en l'état d'identifier des taxons représentatifs de ce tronçon du Rhin. Seuls *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow in Van Heurck) Williams & Round, *Nitzschia fonticola* Grunow in Cleve & Möller et *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & Möller semblent se démarquer en termes d'abondance relative moyenne (cf. figure 9 et photos dans la figure 10). Ceci est toutefois à relativiser car *P. brevistriata* est surtout présent en forte abondance dans un seul échantillon (21% sur la station de Bacharach de la délégation de Rhénanie-Palatinat). *Navicula rostellata* Kützing est dans une situation similaire dans une moindre mesure (11% à Hammerstein).

Plus généralement, on peut estimer que les cortèges en place sur le Rhin moyen ne sont pas très caractéristiques, et semblent former une transition entre ceux du Rhin supérieur et du Rhin inférieur. Ceci peut être mis en lien avec la présence de *Navicula recens*, espèce préférant les eaux fortement minéralisées (cf. Lange-Bertalot *et al.* 2017), qui apparaît sur les inventaires situés les plus à l'aval du Rhin supérieur et qui se maintient à 5% d'abondance moyenne par inventaire jusqu'au Rhin inférieur.



■ *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow in Van Heurck) Williams & Round ■ *Nitzschia frutulum* (Kützing) Grunow
 ■ *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & Möller

Figure 9 : Abondance moyenne de *Pseudostaurosira brevistriata*, *Nitzschia fonticola* et *Staurosira venter* par tronçon du Rhin

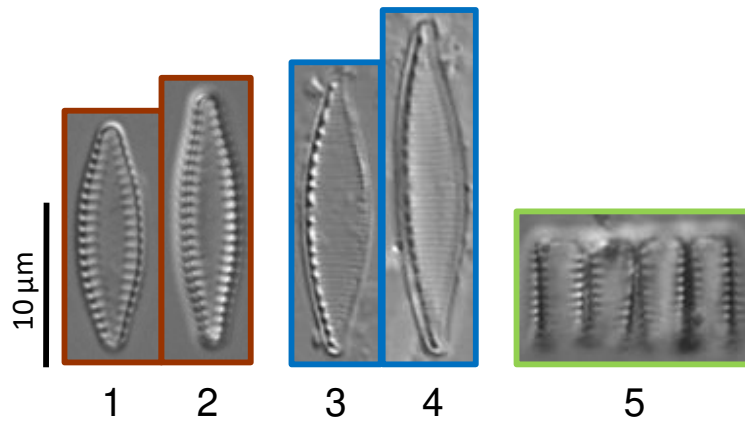


Figure 10 : Photographies de *Pseudostaurosira brevistriata*, *Nitzschia fonticola* et *Staurosira venter*

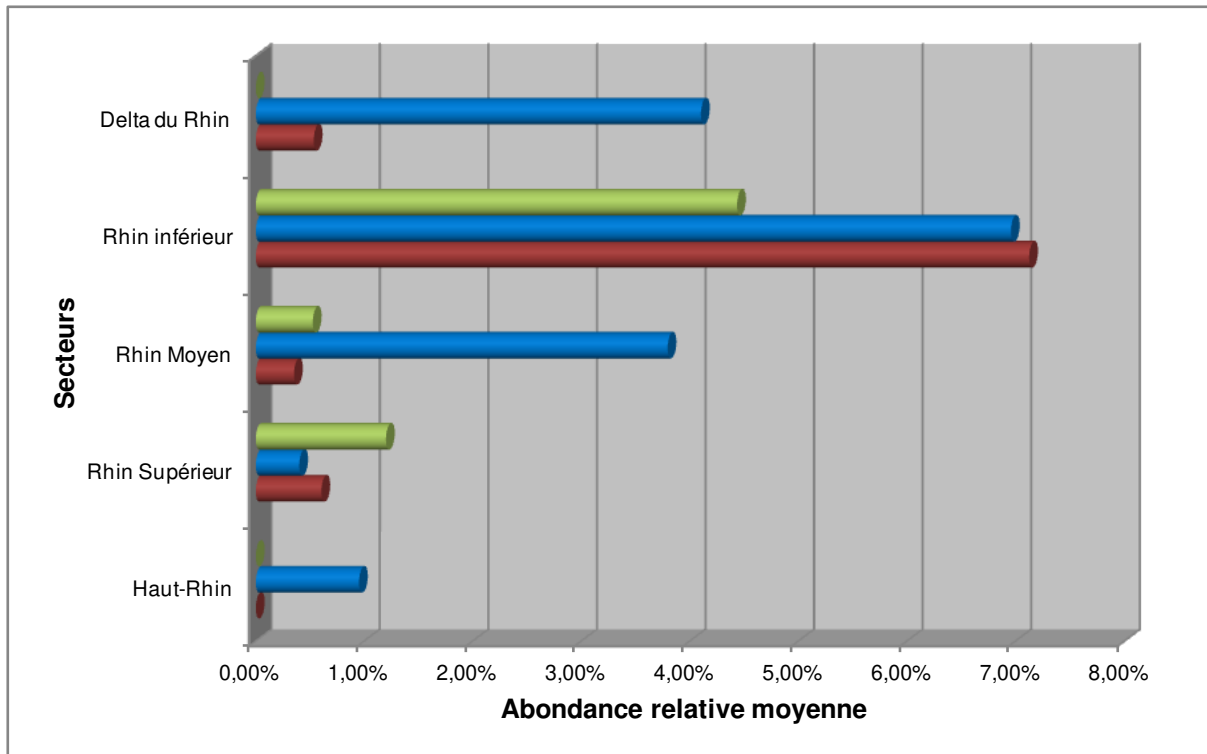
(1-2 : *Pseudostaurosira brevistriata*; 3-4 : *Nitzschia fonticola*;
5 : *Staurosira venter* ; Photographies D. Heudre)

3.5. Cortèges d'espèces du Rhin inférieur

Avec une moyenne de 48 taxons relevés par inventaire, le Rhin inférieur se situe dans la moyenne. Le nombre total d'espèces relevées de 91 en fait le tronçon présentant le moins de taxons avec le haut Rhin. Il est à noter toutefois que le Rhin inférieur ne comporte que 3 stations, pour 5 pour le haut Rhin, mais a fait l'objet d'un effort de comptage supérieur (cf. tableau 6). Ce faible nombre de stations s'explique par les conditions hydrologiques particulières de 2018 qui n'ont pas permis la réalisation de nombreux prélèvements pour cause d'assec.

Les cortèges comportent toujours de fortes abondances d'*Amphora pediculus* et de *Melosira varians* dans une moindre mesure (cf. figure 3).

Les espèces annexes les plus caractéristiques de ce tronçon sont *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia paleacea* et *Eolimna minima* sensu lato (cf. figure 11 et photos dans la figure 12). A noter que les dénominations *Navicula minima* et *Eolimna minima* ne sont plus en vigueur (voir Wetzel *et al.* 2015 et Lange-Bertalot *et al.* 2017). Il n'a pas été possible d'utiliser les dénominations récentes car ces noms anciens correspondent actuellement à plusieurs espèces indépendantes (par ex. *Sellaphora nigri* (De Notaris) C.E. Wetzel & Ector). Le Rhin inférieur est le seul tronçon présentant une forte abondance de *Nitzschia abbreviata* (Hustedt in Schmidt *et al.*). Il est à noter qu'au lieu de *N. abbreviata*, et selon la littérature utilisée, il peut s'agir de *Nitzschia soratensis* Morales & Vis ou de *Nitzschia (frustulum var.) inconspicua* Grunow (cf Trobajo *et al.* 2013 et Lange-Bertalot *et al.* 2017).



- *Nitzschia inconspicua* Grunow
- *Nitzschia paleacea* (Grunow) Grunow in Van Heurck
- *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot in Moser et al. sensu lato

Figure 11 : Abondance moyenne de *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia paleacea* et *Eolimna minima* sensu lato par tronçon du Rhin

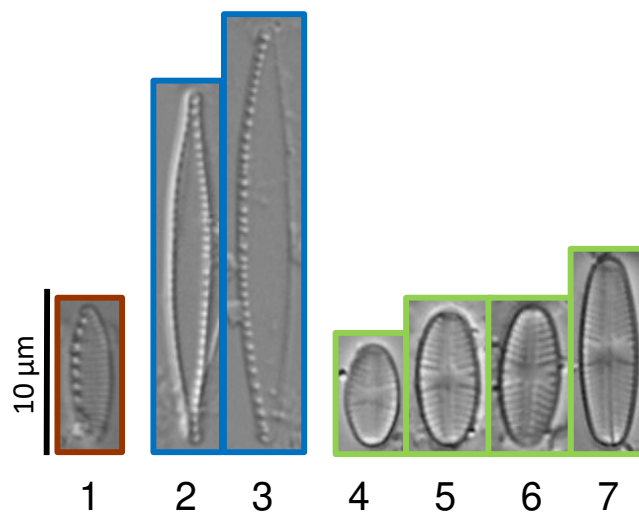


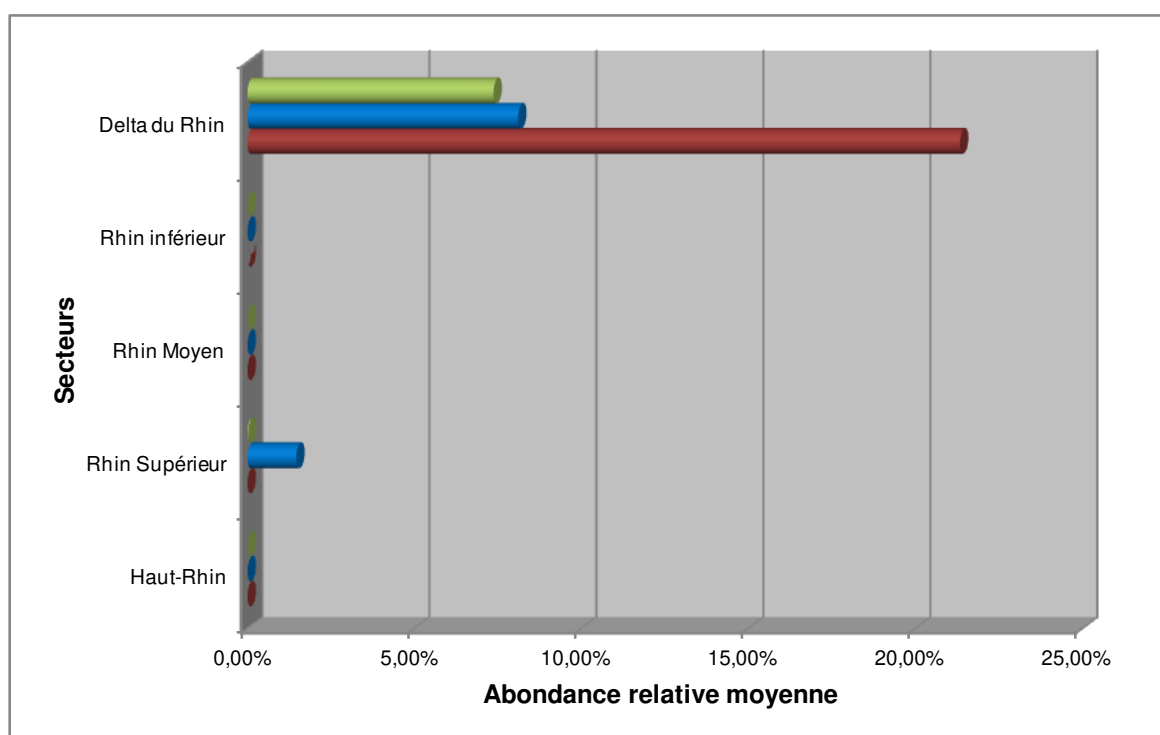
Figure 12 : Photographies de *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia paleacea* et *Eolimna minima* sensu lato

(1 : *Nitzschia inconspicua* ; 2-3 : *Nitzschia paleacea* ; 4-7 : *Eolimna minima* sensu lato ; Photographies D. Heudre)

3.6. Cortèges d'espèces du delta du Rhin

Avec une moyenne de 63 taxons relevés par inventaire et un nombre total de 167 espèces recensées, le delta du Rhin est assez atypique (cf. figure 13 et photos dans la figure 14). Il possède les inventaires les plus diversifiés, et également la deuxième plus grande diversité taxonomique totale du Rhin.

Il s'agit d'un milieu atypique présentant pour l'essentiel une flore spécifique et sensiblement différente du reste du Rhin. Les taxons planctoniques apparaissent en effet en abondances non négligeables dans les inventaires, alors qu'ils étaient anecdotiques plus en amont. Ceci peut s'expliquer par les conditions très lenticques de ce tronçon favorisant le développement du plancton et sa sédimentation. Les espèces caractéristiques de ce tronçon sont *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge, *Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk & Klee emend. Genkal et *Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Hellerman) Theriot, Stoermer & Håkansson. Comme espèces annexes, on relève *Nitzschia dissipata*, *Nitzschia paleacea* et une espèce indéterminée de *Luticola*.



- *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge
- *Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk & Klee emend. Genkal
- *Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Hellerman) Theriot, Stoermer & Håkansson

Figure 13 : Abondance moyenne de *Skeletonema subsalsum*, *Discostella pseudostelligera* et *Cyclostephanos invisitatus* par tronçon du Rhin

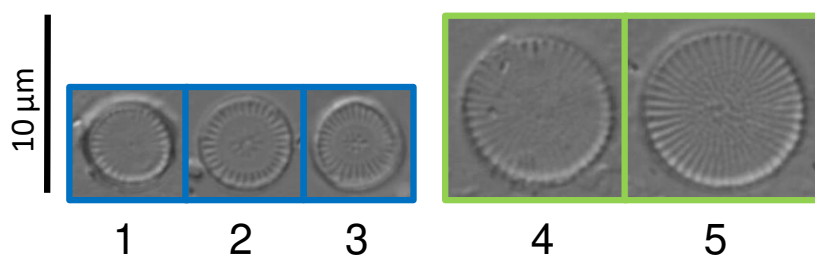


Figure 14 : Photographies de *Discostella pseudostelligera* et *Cyclostephanos invisitatus* (1-3 : *Discostella pseudostelligera* ; 4-5 : *Cyclostephanos invisitatus* ; Photographies D. Heudre)

4. Traits biologiques

En sus de la description taxonomique des cortèges en place, une étude des traits biologiques des espèces a été réalisée pour tenter de mettre en évidence l'évolution des peuplements le long du Rhin et donc les conditions environnementales structurantes.

Dans un souci de lisibilité, pour toutes les figures des paragraphes suivants du rapport, les stations sont identifiées par un code numérique présenté en tableau 7 ci-dessous. Il est possible de se reporter au tableau de l'annexe A pour de plus amples informations sur ces stations.

Tableau 7 : Codes numériques des stations de mesures du Rhin

Secteur	Identifiant	Station	Point kilométrique	Affluents principaux
<i>Rhin alpin</i>	01	Fußbach	<i>sans objet</i>	
haut Rhin	02	Stein (Hemishofen)	25	{ Aare (pk102,5)
	03	Ellikon (Lottstetten-Nack)	63	
	04	Sisseln (Obersäckingen)	126	
	05	Pratteln / Wyhlen	159	
Rhin supérieur	06	Kembs	194	{ Neckar (pk 428)
	07	Neuenburg	199	
	08	Breisach	217	
	09	Wyhl	248	
	10	Rhinau	261	
	11	Schwanau	272	
	12	Kehl	291	
	13	Gambsheim	310	
	14	Grauelsbaum	317	
	15	Steinmauern	345	
	16	Lauterbourg-Karlsruhe	350	
	17	Karlsruhe	360	
	18	Speyer	399	
	19	Mannheim	435	
	20	Nordheim	451	
	21	Biblis	456	
	22	Fähre Eich	461	
	23	Stockstadt	468	
24	Leeheim	478		
25	Ginsheim	491	{ Main (pk 496,5)	
26	Wiesbaden	499		
27	Eltville	509	{ Nahe (pk 529,5)	
28	Heidenfarth-Nonnenaue	512		
Rhin moyen	29	Bacharach (RP)	542	{ Lahn (pk 585,5), Moselle (pk 592) & Sieg (pk 595,5)
	30	Bacharach (HE)	543	
	31	Andernach/Namedy	615	
	32	Hammerstein	618	
Rhin inférieur	33	Niederkassel-Mondorf	665	{ Ruhr (pk 780) Lippe (pk 814,5)
	34	Meerbusch-Nierst	758	
	35	Rees	841	

Secteur	Identifiant	Station	Point kilométrique	Affluents principaux
delta du Rhin	36	Lobith Ponton	863	
	37	Hagestein boven stuw	945	
	38	Gouderak noord	<i>sans objet</i>	
	39	Dortsche Biesbosch	975	
	40	Kuipersveer	985	
	41	Kampen	995	

Sans objet : pas de PK car non situé sur le cours principal du Rhin.

Les représentations graphiques présentées ci-après visent à caractériser le profil du Rhin de l'amont vers l'aval. Ce profil ne peut néanmoins être parfait compte tenu du fait que certaines stations ne sont pas situées sur le cours principal (Vieux Rhin à Kembs par exemple). Elles permettent cependant une représentation amont-aval intéressante de l'évolution des communautés jusqu'au tronçon du Rhin inférieur inclus. On se heurte à la limite de ce type de représentation à partir de la station n° 36 : pour le tronçon du delta du Rhin, les stations étant réparties sur plusieurs bras de cours d'eau, elles sont ici classées dans un ordre arbitraire et ne constituent donc plus une succession au sens amont-aval.

Différents auteurs ont réalisé des synthèses de l'autoécologie des diatomées au moyen de traits biologiques. Ces traits visent à quantifier la préférence des espèces pour des caractères physico-chimiques du milieu comme les niveaux trophiques ou saprobiques, le pH, l'oxygénation (voir par exemple Van Dam, 1994 ou Hofmann, 1994) ou selon leur mode de vie comme leur caractère colonial, pionnier, rhéophile... (Rimet *et al.*, 2012).

De nombreux traits caractérisés par différents auteurs ont été testés, néanmoins peu ont révélés de façon significative des tendances sur le Rhin. Cette faiblesse de réponse est principalement due au fait que la plupart de ces travaux sont anciens : la taxonomie des diatomées étant continuellement en évolution, beaucoup de taxons reconnus à ce jour n'existaient pas à l'époque des travaux de caractérisation et ne disposent dès lors pas encore de traits biologiques codés. Les travaux récents (2019) de Carayon *et al.* pallient ce problème en fournissant des données autoécologiques pour de nombreux taxons en intégrant les évolutions de la taxonomie et les espèces nouvelles ou invasives apparues sur le territoire français ces dernières décennies. Les proportions de la catégorie « Non renseignée » sont donc beaucoup plus faibles qu'avec des référentiels plus anciens.

Limites observées de l'utilisation des traits biologiques :

* Pour les raisons évoquées au paragraphe précédent, la catégorie « Non renseignée » sur les stations 1 à 35 ne représente ici essentiellement que les taxons non déterminés à l'espèce mais uniquement mentionnés au genre (*Achnantheidium sp* ou *Nitzschia sp*), niveau qui n'est que rarement renseigné d'un point de vue écologique par les auteurs.

* On observera également sur la plupart des graphiques un pic de la catégorie « Non renseignée » pour les stations 36 à 41. Ceci est en partie dû à la présence d'espèces peu courantes dans la flore de France métropolitaine pour lesquelles les auteurs ne disposaient pas d'informations suffisantes pour leur attribuer une sensibilité (essentiellement *Skeletonema potamos*, présente en forte abondance).

Néanmoins, quelques résultats intéressants évoqués ci-après ressortent des différents traits testés.

4.1. Caractéristiques environnementales (Carayon *et al.*, 2019)

Cette publication récente de 2019 vise à proposer un référentiel autoécologique des espèces de diatomées mis à jour taxonomiquement, sur le modèle du référentiel de Van Dam (1994). Elle comprend 809 taxons de la flore de France métropolitaine, dont l'écologie est décrite au moyen de 7 traits. Pour chacun de ces traits, des valeurs optimales de tolérances sont fournies pour les paramètres constitutifs des traits (la conductivité pour le trait « minéralisation » par ex.), ainsi que la répartition des taxons en classes.

La figure 15 montre que les cortèges en place sont dominés par des espèces alcaliphiles et alcalibiontes. Les alcalibiontes se retrouvent en légère dominance dès la station n° 2 d'Hemishofen, puis la tendance s'inverse progressivement vers l'aval du cours du Rhin. Les taxons neutrophiles sont présents uniquement de manière anecdotique dans des abondances très faibles ne les rendant pas perceptibles à l'échelle de ce graphique. Aucun taxon acidophile n'a été recensé, ce qui est cohérent avec les substrats géologiques du bassin du Rhin.

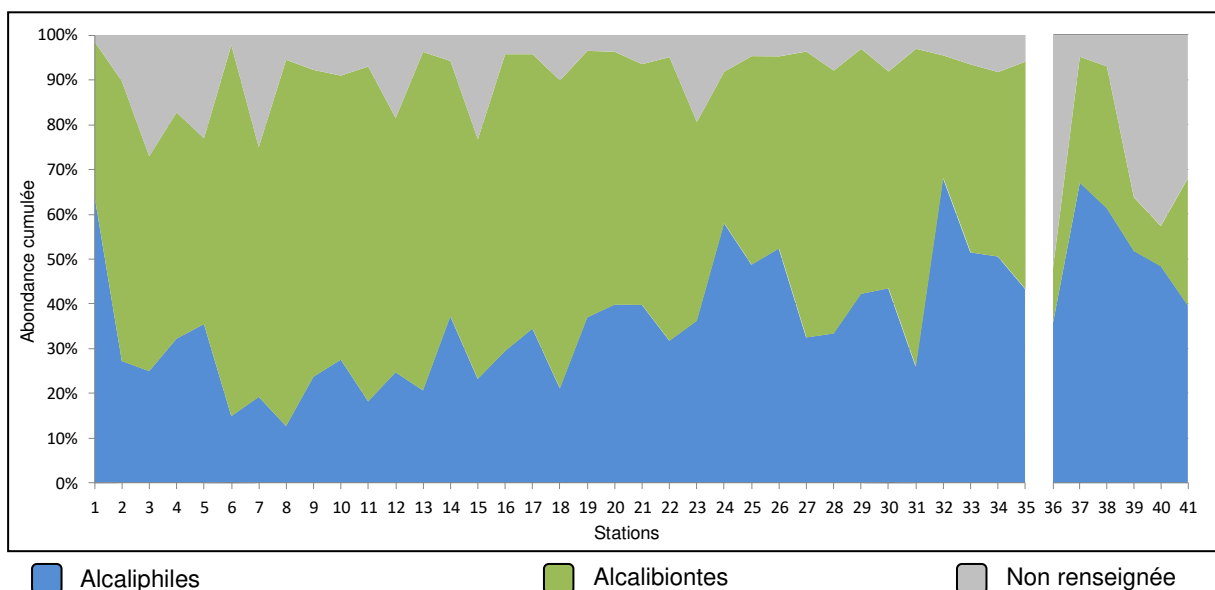


Figure 15 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité au pH (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

La figure 16 montre que les cortèges du Rhin sont globalement très majoritairement constitués de taxons préférant les minéralisations moyennes. Néanmoins, il est à noter une apparition notable d'espèces préférant les minéralisations plus élevées à partir de la station de Lauterbourg-Karlsruhe (n° 16, située au milieu du Rhin supérieur). Cette présence indique une tendance à l'accroissement jusqu'à la fin du Rhin supérieur vers la station d'Elville (n° 27) puis tend à diminuer. Il est difficile de tirer des conclusions sur le delta du Rhin à cause de la forte proportion de la catégorie « non renseignée » liée à la présence de *Skeletonema subsalsum*. Toutefois, cette espèce planctonique est décrite dans la littérature comme préférant les minéralisations élevées voire les eaux saumâtres (Kiss *et al.* 2012). En tenant compte de cela, le profil semble tout à fait cohérent avec l'augmentation progressive de la minéralisation vers l'aval d'un grand fleuve.

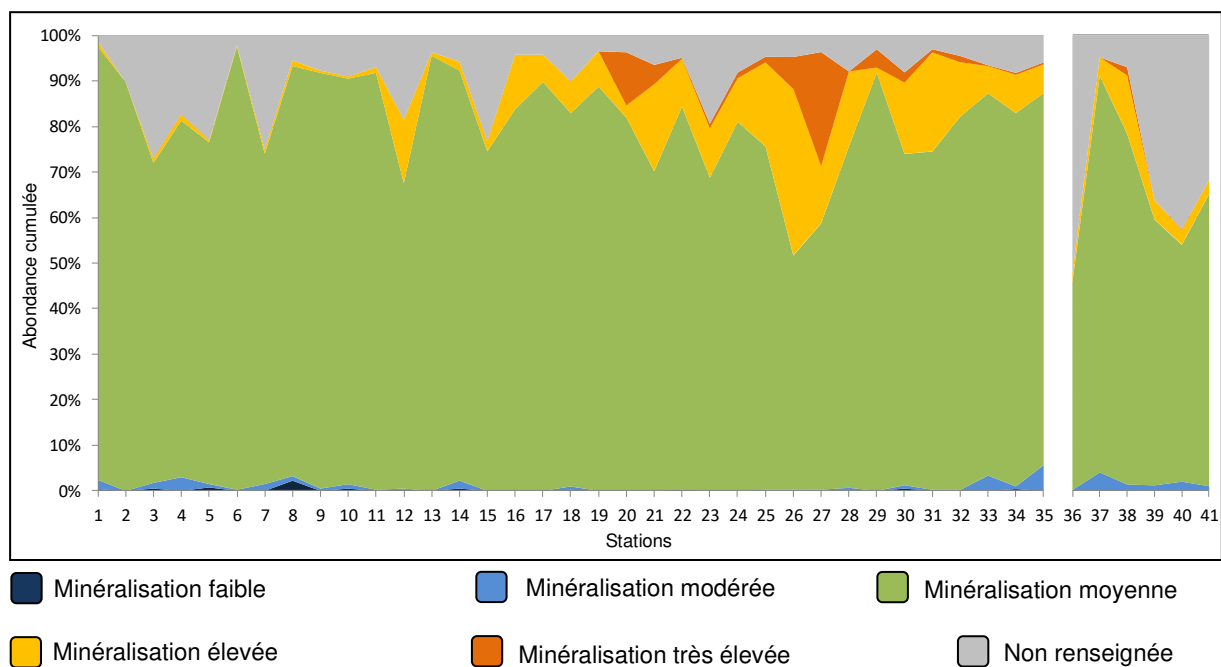


Figure 16 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à la minéralisation (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

La figure 17 présente la répartition par classe de sensibilité à l'oxygénation. Les premières stations montrent une forte proportion d'espèces préférant les milieux très oxygénés, ce qui est cohérent avec le caractère lotique du Rhin Alpin et du haut Rhin. La proportion de ces taxons diminue rapidement vers l'aval jusqu'à se maintenir à environ 10%. La majorité du cours du Rhin se caractérise à partir du Rhin supérieur par une dominance de taxons caractéristiques des oxygénations élevées et modérées. La deuxième moitié du cours du Rhin voit l'apparition de taxons adaptés à des milieux peu oxygénés en quantité faible, pour maximum d'environ 10% sur les stations de Heidenfarth-Nonnenaue et Hammerstein (respectivement n° 28 et 32).

Ce constat indiquerait une bonne oxygénation du milieu, surtout considérant un fleuve de ce gabarit.

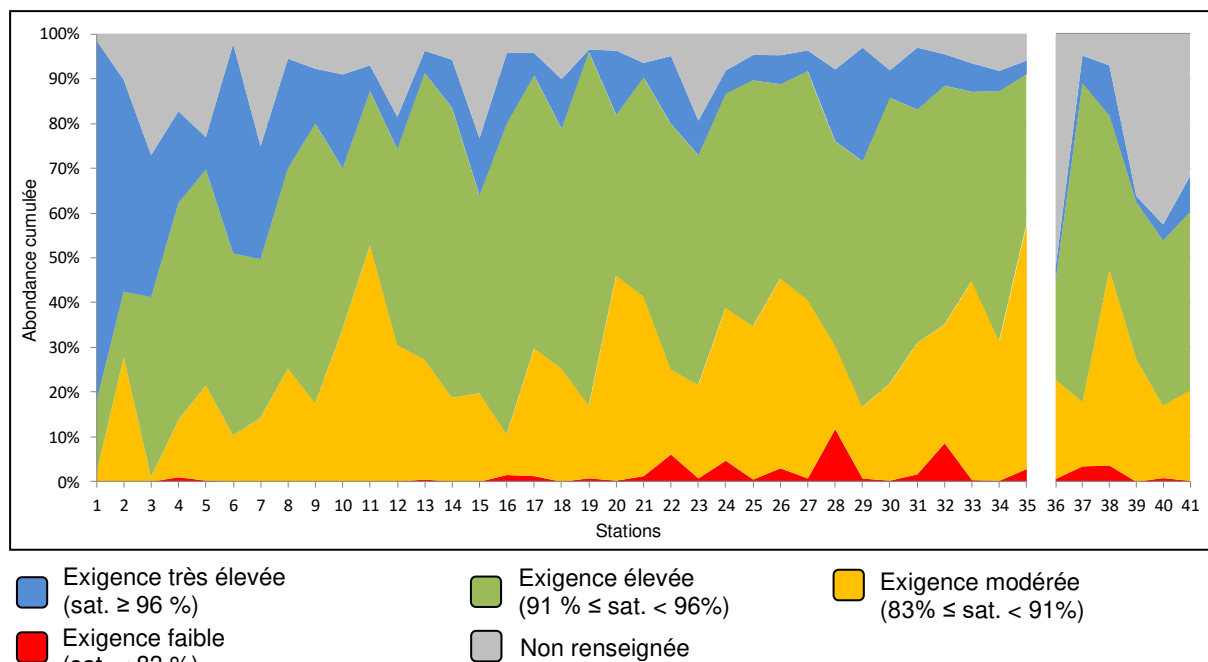


Figure 17 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à l'oxygénation (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))
sat. : Saturation en oxygène

Concernant la trophie (assimilable à la charge du milieu en nutriments) (voir figures 18 et 19, représentant respectivement la sensibilité des cortèges aux nitrates et au phosphore) le Rhin présente un cas de figure assez classique des grands cours d'eau : l'enrichissement en nitrates est rapide et le phosphore se place en élément limitant.

Il est intéressant de noter sur la figure 18 que les cortèges deviennent rapidement eunitrophiles, mais qu'ils évoluent ensuite progressivement vers une dominance de mesonitrophile. Le pic de la catégorie « oligonitrophiles » sur la station de Kembs (n° 6) est lié à la présence de 38% d'*Achnanthydium delmontii*. Il faut donc relativiser le constat de cette figure car si cette espèce se trouve parmi les *Achnanthydium sp.* identifiés sur le haut Rhin et la partie amont du Rhin supérieur (catégorie « non renseignée » du graphique), la proportion de la catégorie « oligonitrophiles » augmenterait notablement sur certaines stations.

L'enrichissement par le phosphore semble beaucoup plus progressif (voir figure 19). Le haut Rhin est ainsi essentiellement dominé par des cortèges typiques de milieux oligotrophes à oligomésotrophes. Il faut en effet attendre la station de Schwanau (n° 11) pour que le milieu devienne mésotrophe. Le pic de la catégorie « mésotrophes » de la station de Pratteln / Wyhlen (n° 5) est un artefact lié à la présence d'une forte abondance de *Cocconeis placentula* sensu lato, que ce modèle considère donc avec l'écologie de *Cocconeis placentula* sensu stricto. Les espèces caractéristiques de milieux eutrophes à hypereutrophes n'apparaissent en quantité notable que vers la seconde moitié du cours principal du Rhin vers la station de Nordheim (n° 20). Enfin, on observe deux pics de trophie correspondants à la confluence avec le Main à l'aval de la station de Ginsheim (n° 25), et aux diverses confluences à l'aval des stations de Bacharach (n° 29 & 30). On signalera que les deux stations de Bacharach (n° 29 & 30) ne sont distantes que d'1 km, l'une se trouvant sur rive gauche (n° 29) et l'autre sur rive droite (n° 30) du Rhin. On suppose que ces stations sont encore influencées par la station d'épuration située 1 km en amont, ce qui pourrait expliquer les différences relevées dans leurs cortèges d'espèces.

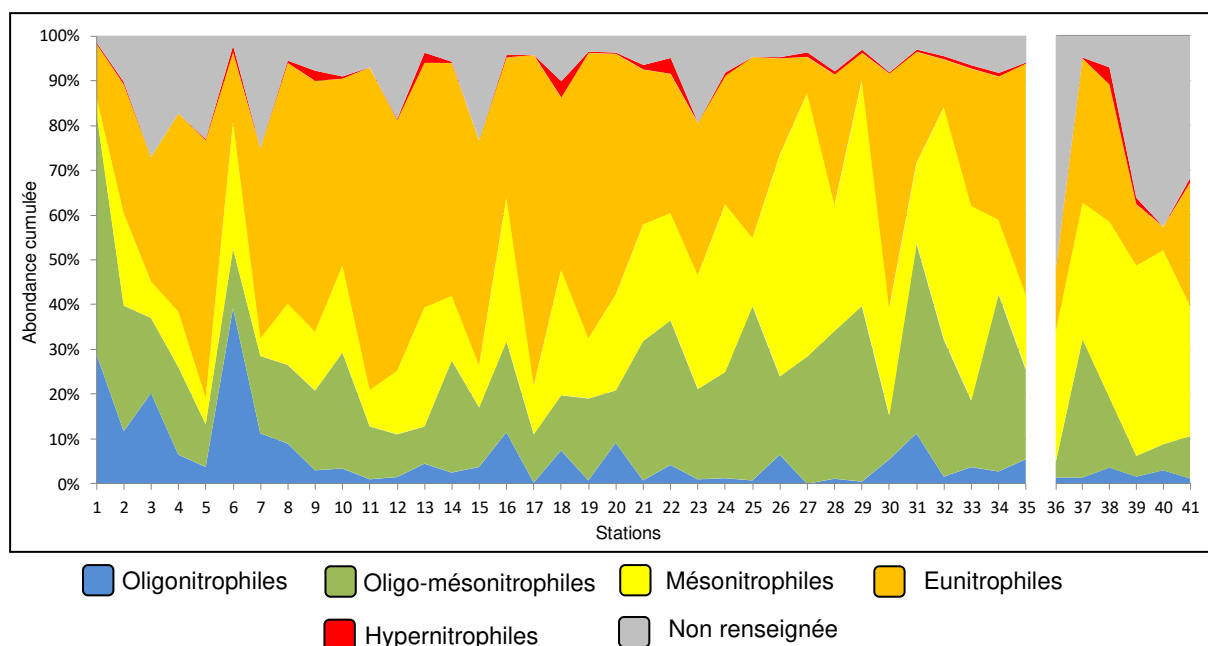


Figure 18 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité aux nitrates (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

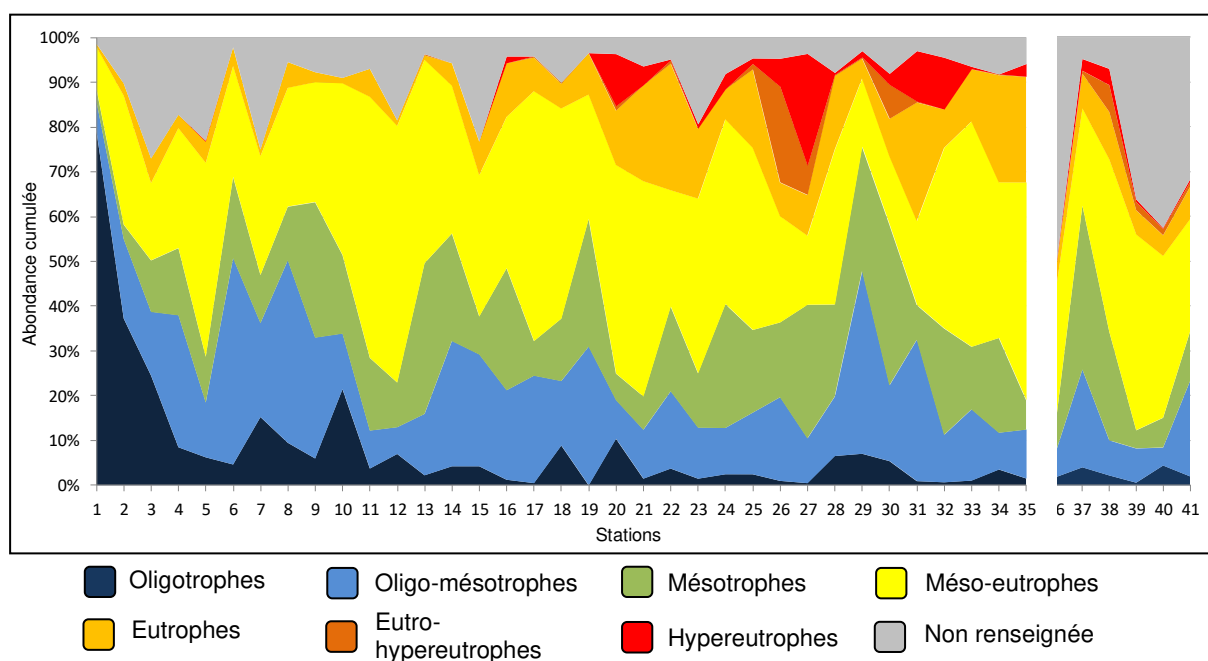


Figure 19 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité au phosphore (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

Enfin, concernant la saprobie (assimilable à la charge du milieu en matières organiques) la figure 20 montre que le Rhin est majoritairement dominé par des taxons β -mésosaprobés sur la quasi-totalité de son cours, ce qui indiquerait un milieu plutôt faiblement impacté par les matières organiques. Une augmentation progressive de l'importance des taxons α -mésosaprobés, qui devient sensible à partir de la fin du Rhin supérieur vers la station de Mannheim (n° 19) et dans les secteurs du Rhin moyen et du Rhin inférieur, est constatée.

Ce profil présente une faible robustesse sur le delta du Rhin, l'abondance de la classe « Non renseignée » pouvant approcher les 50%. Toutefois, cette catégorie étant liée à la forte abondance de *Skeletonema subsalsum*, qui est une espèce plus caractéristique de la minéralisation que d'une éventuelle charge en matière organique, il n'y a pas lieu de remettre en cause la bonne qualité de ce tronçon du point de vue de la saprobie.

La figure 21 présente la sensibilité des espèces aux formes organiques de l'azote (NO_2^- et NH_4^+) et vient compléter la saprobie. Le profil est assez semblable avec l'apparition en abondance notable d'espèces adaptées à des concentrations importantes de ces formes de l'azote à partir de la station de Leeheim (n° 24) vers la fin du Rhin supérieur. Enfin, on observe deux pics d'espèces α -mésopolysaprobies correspondant à la confluence avec le Main à l'aval de la station de Ginsheim (n° 25), et aux diverses confluences situées à l'aval des stations de Bacharach (n° 29 & 30).

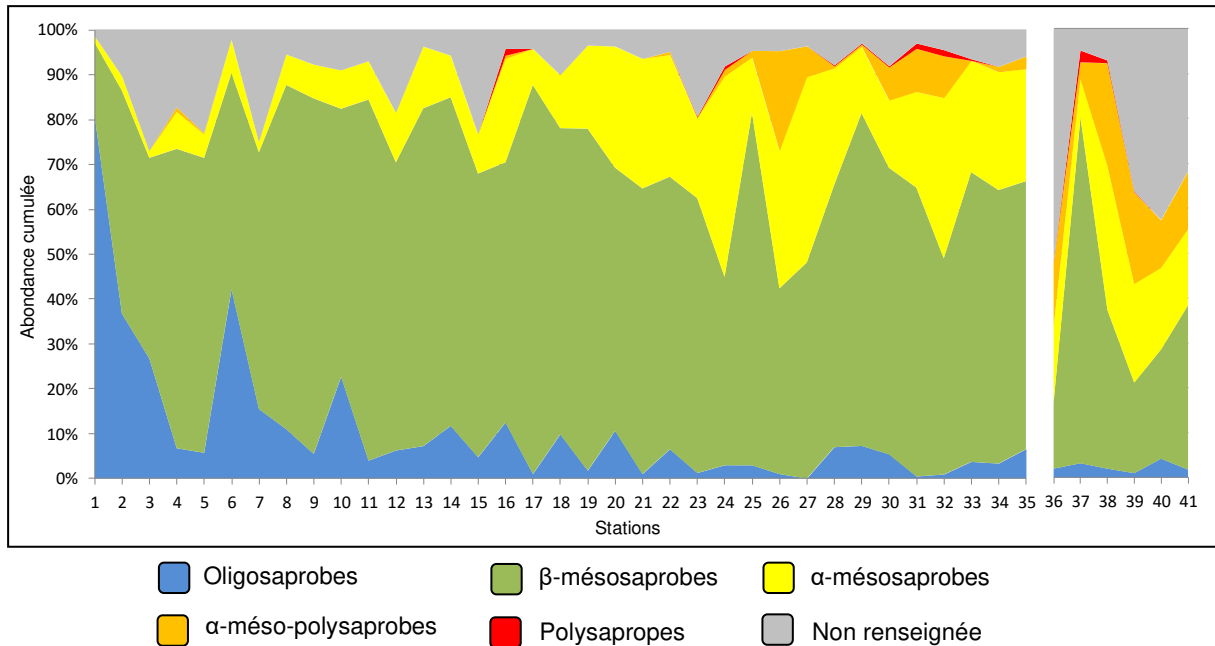


Figure 20 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à la saprobie (Carayon et al. 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

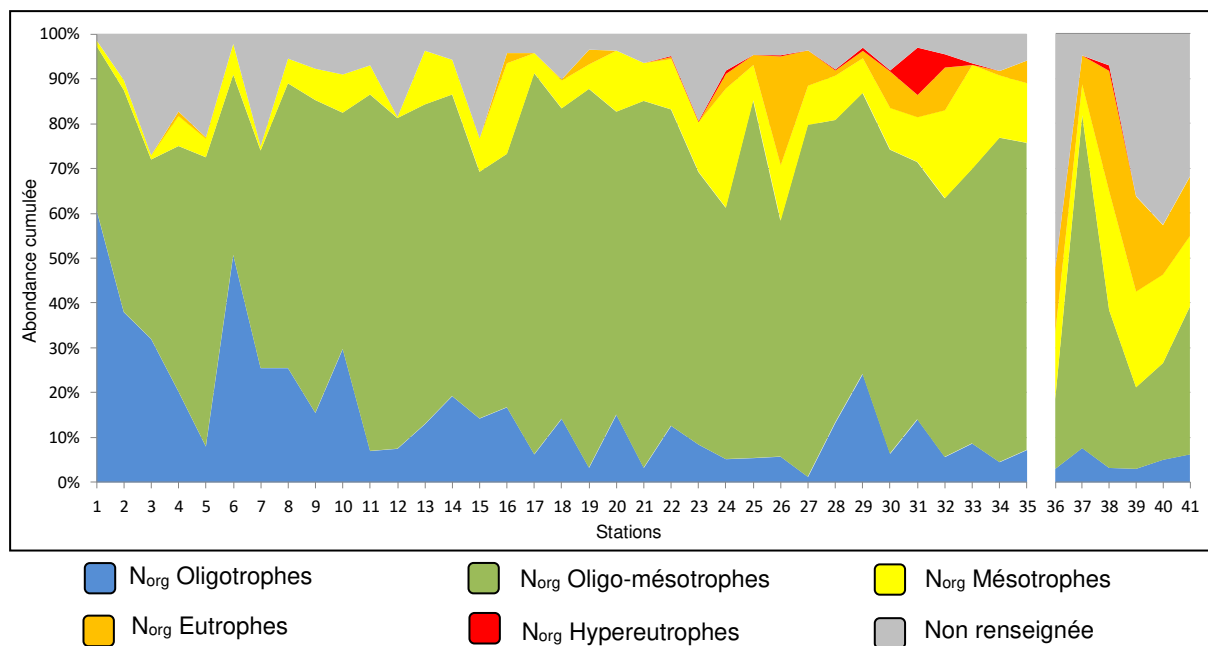


Figure 21 : Abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité à l'azote organique (Carayon *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

4.2. Guildes écologiques & modes de vie (Rimet *et al.*, 2012)

La majorité des indices biotiques basés sur les diatomées sont construits sur les polluosensibilités des espèces. Néanmoins, des études récentes ont montré l'intérêt d'utiliser des métriques complémentaires pour la bioindication : les formes de vie, les tailles de cellules et les guildes écologiques. Malheureusement, l'appartenance des taxons à ces différentes métriques est souvent dispersée dans de nombreux articles et ouvrages. De plus, les études utilisant de telles métriques font souvent référence à de la littérature grise et des listes non publiées. L'objectif de cet article était de rendre disponible une importante liste de taxons fréquemment observés dans les rivières européennes avec leur appartenance à ces différentes métriques. 1115 taxons ont été codifiés dans un fichier Excel. Il apparaît clairement que l'appartenance des taxons aux métriques est déterminée par la taxonomie (Rimet *et al.*, 2012).

La figure 22 présente les abondances des taxons pour les traits biologiques mobiles, coloniaux ou pionniers. On observe une bonne corrélation inversée entre les mobiles et les coloniaux. Les populations en places sur le Rhin sont globalement dominées par des taxons mobiles, et on observe une baisse de ceux-ci dès que les formes coloniales augmentent en abondance : ceci est caractéristique des stations placées sur des zones plus lentiques, dont le tronçon du delta du Rhin est un parfait exemple. La seule exception est la station de Bacharach gérée par la délégation de Rhénanie-Palatinat (n° 29) où l'augmentation des espèces coloniales est liée à la présence en forte abondance de deux taxons araphidés coloniaux : *Pseudostaurosira brevistriata* et *Staurosira venter*.

Les espèces pionnières sont parmi les premières à coloniser un support récemment immergé, grâce à des adaptations comme la capacité à se fixer fortement sur un support vierge de biofilm ou une reproduction rapide. De ce fait, elles sont également caractéristiques des milieux où le biofilm subit un décapage important. Leur abondance est importante du haut Rhin jusqu'à la zone centrale du Rhin supérieur, jusqu'au niveau de la station de Stockstadt (n° 23) à partir de laquelle leur abondance passe durablement sous les 10%. Leur abondance remonte sensiblement sur le Rhin inférieur. Les principales espèces pionnières sont *Achnanthydium minutissimum* sur le haut Rhin, espèce pionnière des milieux lotiques dans lesquels les supports peuvent être soumis à charriage ou le

biofilm décapé par le courant, et plus généralement sur les autres tronçons *Amphora pediculus*, espèce pionnière de milieux soumis à un fort broutage du biofilm (par des mollusques gastéropodes ou des poissons par exemple). Enfin, elles semblent quasi absentes du delta du Rhin, vraisemblablement à cause de la part importante que prennent les espèces d'origine planctonique dans le benthos (voir figure 23).

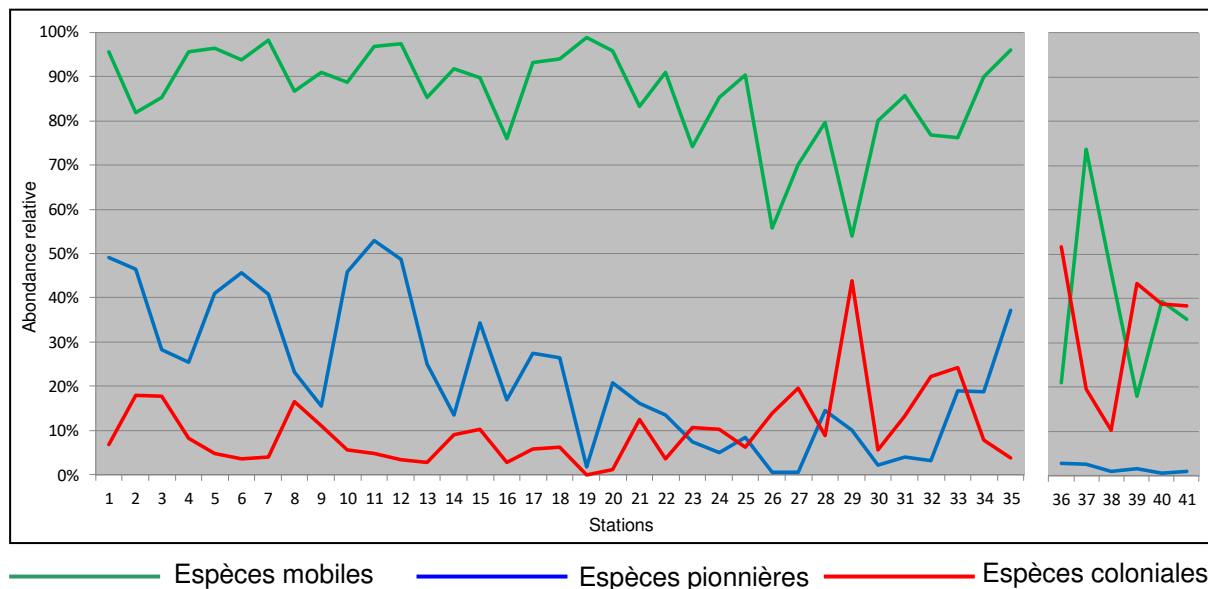
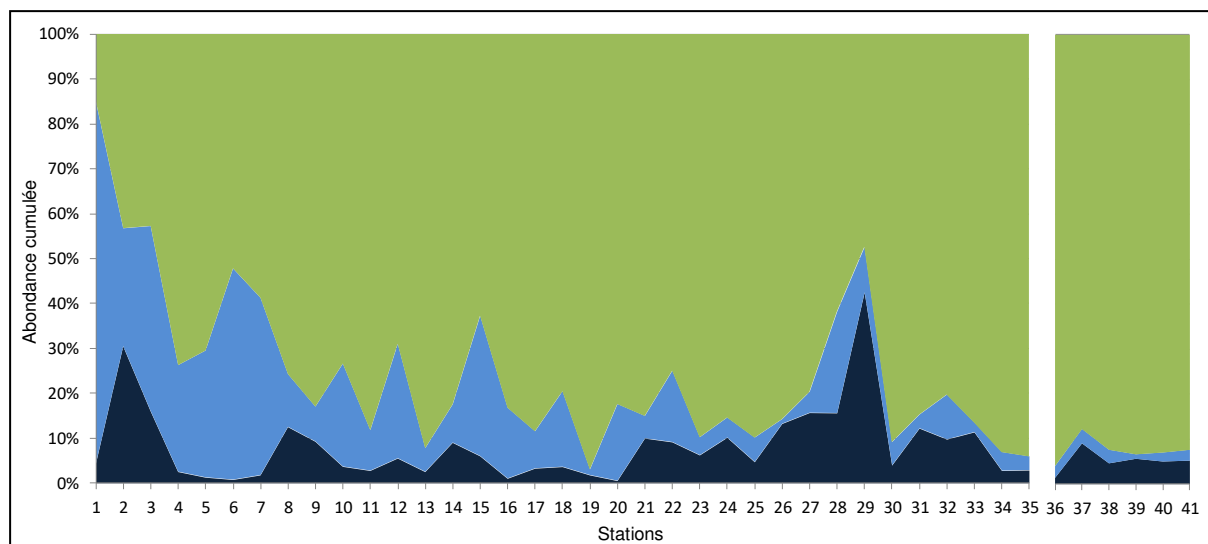


Figure 22 : Abondances relatives des espèces selon les traits biologiques mobiles, coloniales ou pionnières (Rimet et al. 2012) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

La figure 23 présente les abondances cumulées des taxons selon leur caractère fixé ou non au substrat, ainsi que le type de fixation. On observe un pic de formes pédonculées pour le tronçon du haut Rhin et le début du Rhin supérieur, lié à la présence en grande quantité d'espèces du genre *Achnantheidium*, espèces adaptées aux milieux lotiques.

Cette figure met en évidence une forte abondance d'espèces fixées par coussinet et sur les stations n° 2 & 3, ainsi qu'une présence grandissante de celles-ci sur la moitié aval du cours principal du Rhin. Ces deux phénomènes sont dus à la présence d'espèces de *Fragilariaceae* adaptées aux zones lenticules (c'est-à-dire *Tabularia*, *Staurosira*, *Pseudostaurosira*...). Cela s'explique à l'amont par l'influence du lac de Constance, et à l'aval par le ralentissement progressif du Rhin et l'influence d'ouvrages comme les barrages.



■ Espèces non fixées au substrat
 ■ Espèces fixées au substrat par un pédoncule
 ■ Espèces fixées au substrat par un coussinet

Figure 23 : Abondances cumulées des espèces selon le trait biologique relatif à la fixation au substrat (Rimet *et al.* 2012) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

Enfin, on trouve dans cette publication une répartition des espèces dans quatre grandes guildes écologiques, liée à leur mode de vie :

- ✓ La guildes « Low profile » regroupe des espèces de stature basse, y compris prostrées ou érigées. Un tel groupe rassemble principalement des taxons résistants aux perturbations physiques (turbulences) et ne tolérant généralement pas l'enrichissement en nutriments. On y trouve par exemple *Achnanthydium minutissimum*.
- ✓ La guildes « High profile » comprend les grandes espèces ou celles ayant tendance à former des colonies. Ce groupe ne résiste pas aux turbulences et préfère les eaux calmes. Il sera favorisé par l'enrichissement en nutriments du milieu.
- ✓ La guildes des « Motiles » est composé de taxons capables de se déplacer rapidement (par exemple les genres *Navicula* et *Nitzschia*), et constituerait un groupe de taxons adaptés aux milieux turbulents et à des concentrations élevées en nutriments.
- ✓ La guildes « planktonic » regroupe comme son nom l'indique les taxons qui vivent principalement sous forme planctonique et qui se retrouvent dans le benthos après sédimentation.

Dans cette classification, certaines espèces au cas un peu complexe posent problèmes. On peut citer par exemple *Amphora pediculus* qui est classée « Low profile » car de stature basse, mais étant une espèce pionnière en milieu eutrophe résistante au broutage. Les *Eunotia* sont un groupe qui mériterait d'être plus finement étudié car elles sont classées « High profile ». Ce genre contient en effet beaucoup de grandes espèces formants des rubans, mais il est plutôt inféodé aux eaux neutres à acides oligotrophes et oligosaprobies, et il existe de petites espèces comme *Eunotia exigua* à stature basse.

Néanmoins, bien que n'étant pas exempte de défauts, elle offre une vision intéressante de la succession des peuplements structurels des diatomées le long d'un cours d'eau. On peut observer cette succession sur la figure 24 ci-dessous. On observe une dominante de « Low profile » sur la partie amont du Rhin avec un maximum de 87% du cortège pour la station

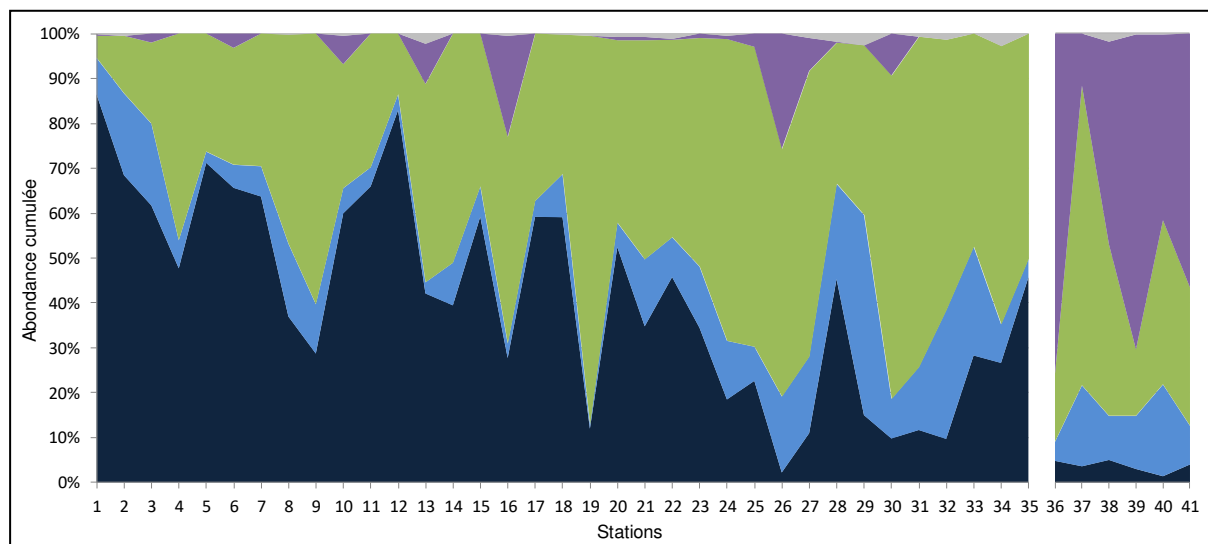
de Fußach (n° 1), ce qui caractérise bien ce tronçon à forte énergie aux eaux très lotiques et turbulentes.

À l'exception du pic de 83% situé autour de la station de Kehl (n° 12), on observe globalement jusqu'à la station de Wiesbaden (n° 26) un déclin de cette guildes qui est remplacée progressivement par celle des « Motile », qui atteint un pic maximum de 87% sur la station de Mannheim (n° 19). Le Rhin reste en effet un milieu à forte énergie mais commence à être enrichi de façon notable en nutriments (voir figure 18 sur la trophie selon Carayon *et al.*, 2019). De plus, le ralentissement du courant doit permettre la sédimentation des matières en suspension près des berges là où sont généralement réalisés les prélèvements, et les espèces de la guildes « Motile » sont bien adaptées pour résister à cette sédimentation.

À l'aval de la station de Wyhl (n° 9) et jusqu'à la station de Rees (n° 35), des remontées de l'abondance des « Low profile » provoquées par la prépondérance d'*Amphora pediculus* dans ces tronçons sont observables (voir figure 3). Le milieu étant eutrophisé, et probablement moins turbulent, *A. pediculus* qui est une espèce pionnière résistante au broutage du biofilm devient une composante essentielle des cortèges en place là où sont prélevés les supports. Dans une moindre mesure, des espèces d'*Achnanthydium* (*A. delmontii* ou indéterminée) contribuent également à augmenter l'abondance de cette guildes, notamment dans le Rhin supérieur.

L'abondance des « High profile » augmente de façon modérée à l'aval de la station de Nordheim (n° 20), avec toutefois un maximum de 45% sur la station de Bacharach amont (n° 29) : le milieu devient plus lentique et la charge en nutriments s'accroît.

On peut noter également l'apparition en abondance notable des planctoniques essentiellement dans le tronçon du delta du Rhin, même s'il y a quelques artéfacts comme sur les stations de Lauterbourg-Karlsruhe (n° 16) ou de Wiesbaden (n° 26). Ces singularités sont liées à l'abondance de *Discostella pseudostelligera* (station n°16) et de *Cyclotella meneghiniana* Kützing (n° 26). Ces espèces d'origine planctonique sont fréquemment observées en forte abondance dans le benthos car elles semblent capables après sédimentation de se maintenir et de se multiplier dans le benthos.



■ Guildes « Low profile » ■ Guildes « High profile » ■ Guildes « Motile »
 ■ Guildes « Planktonic » ■ Non renseignée

Figure 24 : Abondances cumulées des espèces selon leur appartenance aux différentes guildes écologiques (Rimet *et al.* 2012) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

Nous constatons donc ici une belle et logique succession des guildes à mesure que l'on descend le Rhin vers l'aval et que s'opère une baisse de son caractère lotique couplée à un enrichissement en nutriments.

Conclusion

L'étude de la structure des communautés de diatomées nous a permis de caractériser l'évolution des conditions écologiques le long du cours du Rhin.

Ainsi pour le haut Rhin les cortèges sont typiques de milieux lotiques faiblement impactés, que ce soit par les nutriments, les matières organiques oxydables ou la minéralisation. Cette situation évolue ensuite progressivement au fil du fleuve. Les espèces caractéristiques de milieux méso-eutrophes prennent une part importante dès le Rhin supérieur. Les espèces eutrophes à hypereutrophes apparaissent en abondance notable dans la seconde moitié du cours du Rhin. La succession des cortèges au fil du fleuve traduit une augmentation plus modérée et progressive de la quantité de matières organiques et de la minéralisation.

Les espèces présentes dans le delta du Rhin traduisent quant à elles un milieu singulier de par ses caractéristiques hydromorphologiques : apparition d'espèces d'origines planctoniques en forte abondance.

Une belle succession de communautés diatomiques se déploie donc à mesure que l'on descend le Rhin vers l'aval et que s'opère une baisse de son caractère lotique couplée à un enrichissement du milieu. La majorité du cours du Rhin se caractérise ainsi par des taxons préférant les minéralisations moyennes et par une dominance de taxons caractéristiques des oxygénations élevées et modérées. Concernant la charge du milieu en nutriments, il présente un cas de figure assez classique des grands cours d'eau : l'enrichissement en nitrates est rapide et le phosphore se place en élément limitant avec un accroissement plus progressif de l'amont vers l'aval. De plus, il est majoritairement dominé par des taxons β -mésosaprobies sur la quasi-totalité de son cours, ce qui indiquerait un milieu plutôt faiblement impacté par les matières organiques. On observe toutefois deux pics d'espèces caractéristiques de milieux eutrophes-hypereutrophes et α -mésopolysaprobies qui correspondent à la confluence du Main à l'aval de la station de Ginsheim, et aux diverses confluences situées à l'aval des stations de Bacharach. Enfin, les cortèges en place sont dominés par des espèces alcaliphiles et alcalibiontes.

5. Bibliographie

Bak M. & Lange-Bertalot, H. (2014). Four small-celled *Planothidium* species from Central Europe proposed as new to science. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 43(4): 346-359.

Carayon D., Tison-Rosebery J. & Delmas F. (2019). Defining a new autoecological trait matrix for French stream benthic diatoms. *Ecological Indicators* 103: 650-658.

English J.D. & Potapova M.G. (2012). Ontogenetic and interspecific valve shape variation in the *Pinnatae* group of the genus *Surirella* and the description of *S. lacrimula* sp. nov. *Diatom research* 27(1): 9-27.

Genkal S. (2015). Morphological variability, taxonomy and ecology of *Discostella pseudostelligera* (Bacillariophyceae, Centrales) and similar species. *Nova Hedwigia* 101(3-4): 427-449.

Hofmann, G. (1994). Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie.- *Bibliotheca Diatomologica* 30: 1-241.

Hofmann G., Werum M. & Lange-Bertalot H. (2011). Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Lange - Bertalot, Horst (ed.). 3522 Fig. auf 133 Tafeln. 908p.

Jahn R., Kusber W.H. & Romero O.E. (2009). *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C. placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta): Typification and taxonomy. *Fottea, Olomouc* 9(2): 275-288.

Kiss K.T., Klee R., Ector L. & Acs E. (2012). Centric diatoms of large rivers and tributaries in Hungary: morphology and biogeographic distribution. *Acta Botanica Croatica* 71(2): 311-363.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 1986, 876 p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1988). Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 1988, 610p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991a). Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In : H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 1991a, 576 p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991b). Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 4. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 1991b, 468 p.

Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M. & Cantonati M. (2017). Freshwater benthic diatoms of Central Europe: Over 800 common species used in ecological assessment. English edition with updated taxonomy and added species. Schmitt-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books. 942 p.

Monnier O., Lange-Bertalot H., Rimet F., Hoffmann L. & Ector L. (2004). *Achnantheidium atomoides* sp. nov., a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg. *Vie et milieu* 54(2-3): 127-136.

Pérès F., Barthès A., Ponton E., Coste M., Ten-Hage L. & Le-Cohu R. (2012). *Achnantheidium delmontii* sp. nov., a new species from French rivers - *Fottea, Olomouc* 12(2): 189–198.

Rimet F. & Bouchez A. (2012). Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406: 1-14.

Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117–133.

Rott E., Hofmann G., Pall K., Pfister P. & Pipp E. (1997). Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobien Indikation.- *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien*: 1-73.

Rott E., Binder N., Van Dam H., Ortler K., Pall K., Pfister P. & Pipp E. (1999). Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation und autökologische Anmerkungen.- *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien*: 1-248.

Trobajo R., Rovira L., Ector L., Wetzel C. E., Kelly M. & Mann D.G. (2013). Morphology and identity of some ecologically important small *Nitzschia* species. *Diatom Research* 28(1): 37-59.

Wetzel C. E., Ector L., Van de Vijver B., Compere P. & Mann D. G. (2015). Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). *Fottea, Olomouc* 15(2): 203-234.

Wetzel C. E., Van de Vijver B., Blanco S. & Ector L. (2019). On some common and new cavum-bearing *Planorbulina* (Bacillariophyta) species from freshwater. *Fottea, Olomouc* 19(1): 50-89.

ANNEXES

A. Liste des stations avec autorité

Identifiant*	Secteur	Rivière	Station	Autorité	Point kilométrique
01	<i>Rhin alpin</i>	Nouveau Rhin	Fußbach	Autriche	<i>sans objet</i>
02	haut Rhin	Rhin	Stein (Hemishofen)	Site : Confédération suisse. Analyse et fourniture des données : Bade-Wurtemberg	25
03		Rhin	Ellikon (Lottstetten-Nack)	Bade-Wurtemberg	63
04		Rhin	Sisseln (Obersäckingen)	Bade-Wurtemberg	126
05		Rhin	Pratteln / Wyhlen	Bade-Wurtemberg	159
06		Rhin supérieur	Vieux Rhin	Kembs	France
07	Vieux Rhin		Neuenburg	Bade-Wurtemberg	199
08	Rhin		Breisach	Bade-Wurtemberg	217
09	Rhin		Wyhl	Bade-Wurtemberg	248
10	Rhin		Rhinau	France	261
11	Rhin		Schwanau	Bade-Wurtemberg	272
12	Rhin		Kehl	Bade-Wurtemberg	291
13	Rhin		Gambsheim	France	310
14	Rhin		Grauelsbaum	Bade-Wurtemberg	317
15	Rhin		Steinmauern	Bade-Wurtemberg	345
16	Rhin		Lauterbourg-Karlsruhe	France	350
17	Rhin		Karlsruhe	Bade-Wurtemberg	360
18	Rhin		Speyer	Rhénanie-Palatinat	399
19	Rhin		Mannheim	Bade-Wurtemberg	435
20	Rhin		Nordheim	Hesse	451
21	Rhin		Biblis	Hesse	456
22	Rhin		Fähre Eich	Rhénanie-Palatinat	461
23	Rhin		Stockstadt	Hesse	468
24	Rhin		Leeheim	Hesse	478
25	Rhin		Ginsheim	Hesse	491
26	Rhin		Wiesbaden	Hesse	499
27	Rhin		Eltville	Hesse	509
28	Rhin		Heidenfarth-Nonnenaue	Rhénanie-Palatinat	512
29	Rhin moyen	Rhin	Bacharach (RP)	Rhénanie-Palatinat	542
30		Rhin	Bacharach (HE)	Hesse	543
31		Rhin	Andernach/Namedy	Rhénanie-Palatinat	615
32		Rhin	Hammerstein	Rhénanie-Palatinat	618
33	Rhin inférieur	Rhin	Niederkassel-Mondorf	Rhénanie-du-Nord-Westphalie	665
34		Rhin	Meerbusch-Nierst	Rhénanie-du-Nord-Westphalie	758
35		Rhin	Rees	Rhénanie-du-Nord-Westphalie	841
36	delta du Rhin	Waal	Lobith Ponton	Pays-Bas	863
37		Nederrjin-Iek	Hagestein boven stuw	Pays-Bas	945
38		Hollandsche IJssel	Gouderak noord	Pays-Bas	<i>sans objet</i>
39		Dortsche Biesbosch	Dortsche Biesbosch	Pays-Bas	975
40		Oude Maas	Kuipersveer	Pays-Bas	985
41		IJssel	Kampen	Pays-Bas	995

*propre à l'étude

Sans objet : pas de PK car non situé sur le cours principal du Rhin.

B. Liste des taxons recensés sur le Rhin avec tronçon de présence

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Achnanthes</i> sp.	X	X			
<i>Achnantheidium atomoides</i> Monnier, Lange-Bertalot & Ector	X			X	X
<i>Achnantheidium catenatum</i> (Bily & Marvan) Lange-Bertalot			X		
<i>Achnantheidium delmontii</i> Peres, Le Cohu & Barthes		X			X
<i>Achnantheidium druartii</i> Rimet & Couté in Rimet <i>et al.</i>		X			
<i>Achnantheidium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	X	X	X	X	X
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki				X	
<i>Achnantheidium</i> sp.	X	X	X		X
<i>Achnantheidium jackii</i> Rabenhorst					X
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki sensu lato	X	X	X	X	X
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki f. <i>inconspicuum</i> (Østrup) Compère & Riaux-Gobin				X	
<i>Achnantheidium modestiforme</i> (Lange-Bertalot) Van de Vijver		X			
<i>Achnantheidium pfisteri</i> Lange-Bertalot				X	
<i>Achnantheidium pyrenaicum</i> (Hustedt) Kobayasi	X	X			
<i>Achnantheidium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot		X			
<i>Achnantheidium subatomus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	X	X	X		
<i>Achnantheidium subhudsonis</i> (Hustedt) Kobayasi		X			
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory ex Greville) Hustedt		X			X
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg					X
<i>Adlafia</i> sp.					X
<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot		X			X
<i>Amphipleura pellucida</i> Kützing		X			
<i>Amphora</i> sp.		X		X	
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & Archibald sensu lato	X	X	X	X	X
<i>Amphora hemicyclus</i> Stoermer & Yang		X			

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Amphora inariensis</i> Krammer	X	X		X	
<i>Amphora indistincta</i> Levkov		X	X		X
<i>Amphora macedoniensis</i> Nagumo		X			
<i>Amphora minutissima</i> W. Smith		X	X		
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing		X	X		X
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	X	X	X	X	X
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehr.) Pfitzer					X
<i>Asterionella formosa</i> Hassall		X			X
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen					X
<i>Aulacoseira</i> sp.		X			
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen		X			
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) Hendey		X		X	X
<i>Caloneis lancettula</i> (Schulz-Danzig) Lange-Bertalot & Witkowski	X	X	X		X
<i>Caloneis</i> sp.				X	
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve			X		
<i>Cavinula cocconeiformis</i> (Gregory ex Greville) Mann & Stickle in Round, Crawford & Mann		X			
Diatomées centriques indifférenciées		X	X		
<i>Cocconeis</i> sp.		X			
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg		X	X		X
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg		X	X	X	
<i>Cocconeis neothumensis</i> Krammer		X			X
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	X	X	X	X	X
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg sensu lato	X	X	X	X	X
<i>Cocconeis pseudolineata</i> (Geitler) Lange-Bertalot	X	X			
<i>Craticula subminuscula</i> (Manguin) C.E. Wetzel & Ector in C.E. Wetzel <i>et al.</i>		X			
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) D.M. Williams & Round				X	

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round					X
<i>Cyclostephanos</i> sp.					X
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellerman) Theriot Stoermer & Håkansson		X			X
<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt		X			X
<i>Cyclotella cryptica</i> Reimann, Lewin & Guillard					X
<i>Cyclotella</i> sp.		X			
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing		X	X		X
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brebisson ex Kützing) W. Smith		X	X		
<i>Cymatopleura solea</i> (Brebisson) W. Smith		X	X		
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith var. <i>apiculata</i> (W. Smith) Ralfs in Pritchard		X			
<i>Cymatopleura</i> sp.		X			
<i>Cymatosira belgica</i> Grunow in Van Heurck					X
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	X			X	
<i>Cymbella</i> sp.	X	X			X
<i>Cymbella compacta</i> Østrup		X		X	X
<i>Cymbella excisa</i> Kützing	X	X			
<i>Cymbella helvetica</i> Kützing		X	X		
<i>Cymbella hustedtii</i> Krasske	X				
<i>Cymbella lanceolata</i> (Agardh) Agardh		X			
<i>Cymbella lange-bertalotii</i> Krammer		X	X		
<i>Cymbella neocistula</i> Krammer	X				
<i>Cymbella parva</i> (W. Smith) Kirchner in Cohn	X				
<i>Cymbella tumida</i> (Brebisson) Van Heurck		X	X	X	
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	X	X			
<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing			X		
<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing	X	X			

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	X				X
<i>Diatoma moniliformis</i> (Kützing) D.M. Williams	X	X			X
<i>Diatoma tenuis</i> C. Agardh	X				
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	X	X	X	X	X
<i>Diatoma vulgare</i> Bory var. <i>linearis</i> Grunow in Van Heurck					X
<i>Diploneis oculata</i> (Brebisson in Desmazières) Cleve		X			
<i>Diploneis parva</i> Cleve		X			
<i>Diploneis separanda</i> Lange-Bertalot					X
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee emend. Genkal		X			X
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee		X			
<i>Encyonema auerswaldii</i> Rabenhorst		X			
<i>Encyonema caespitosum</i> Kützing	X	X			X
<i>Encyonema leibleinii</i> (C.Agardh) W.Silva, R.Jahn, T.A.V.Ludwig & M.Menezes in Silva <i>et al.</i>	X	X	X		
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabh.) D.G. Mann in Round, Crawford & Mann	X	X		X	
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabhenhorst) D.G. Mann	X	X			X
<i>Encyonema simile</i> Krammer		X			
<i>Encyonema ventricosum</i> (Agardh) Grunow in Schmidt <i>et al.</i>	X	X			
<i>Encyonema vulgare</i> Krammer	X				
<i>Encyonopsis krammeri</i> Reichardt	X				
<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer	X	X			
<i>Encyonopsis minuta</i> Krammer & Reichardt	X	X			
<i>Encyonopsis subminuta</i> Krammer & Reichardt		X			
<i>Eolimna comperei</i> Ector, Coste et Iserentant in Coste & Ector		X			
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot in Moser <i>et al.</i> sensu lato		X	X	X	
<i>Epithemia sorex</i> Kützing					X
<i>Eucoconeis laevis</i> (Østrup) Lange-Bertalot	X				

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt					X
<i>Fallacia lenzii</i> (Hustedt) Lange-Bertalot in Werum <i>et al.</i>		X	X		
<i>Fallacia mitis</i> (Hustedt) D.G.Mann		X			
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle & Mann ssp. <i>pygmaea</i>					X
<i>Fallacia pygmaea</i> ssp. <i>subpygmaea</i> Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi & Alfinito		X			
<i>Fallacia subhamulata</i> (Grunow in Van Heurck) D.G. Mann	X	X	X		
<i>Fallacia sublucidula</i> (Hustedt) D.G. Mann		X			
<i>Fallacia tenera</i> (Hustedt) Mann in Round			X		
<i>Fistulifera pelliculosa</i> (Brebisson) Lange-Bertalot		X			
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot		X			X
<i>Fragilaria austriaca</i> (Grunow) Lange-Bertalot	X				
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres	X				X
<i>Fragilaria distans</i> (Grunow in Van Heurck) Bukhtiyarova					X
<i>Fragilaria</i> sp.					X
<i>Fragilaria mesolepta</i> Rabenhorst			X		
<i>Fragilaria neointermedia</i> Tuji & D.M. Williams					X
<i>Fragilaria pararumpens</i> Lange-Bertalot, Hofmann & Werum in Hofmann <i>et al.</i>	X				X
<i>Fragilaria recapitellata</i> Lange-Bertalot & Metzeltin	X				
<i>Fragilaria rumpens</i> (Kützing) G.W.F. Carlson	X	X			
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	X	X	X	X	X
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer		X			
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg				X	
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst					X
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg					X
<i>Gomphonema</i> sp.		X	X		X
<i>Gomphonema calcifugum</i> Lange-Bertalot & Reichardt	X				

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Gomphonema cymbelliclinum</i> Reichardt & Lange-Bertalot	X				
<i>Gomphonema italicum</i> Kützing		X	X		
<i>Gomphonema micropus</i> Kützing		X			
<i>Gomphonema minutum</i> (Agardh) Agardh		X			X
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	X	X			X
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	X	X	X		X
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot	X	X			
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> Reichardt & Lange-Bertalot		X			
<i>Gomphonema saprophilum</i> (Lange-Bertalot & Reichardt) Abarca, Jahn, Zimmermann & Enke			X		
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow		X			
<i>Gomphonema tergestinum</i> (Grunow in Van Heurck) Schmidt in Schmidt <i>et al.</i>	X	X		X	X
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg					X
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst		X	X		
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst		X			X
<i>Gyrosigma kuetzingii</i> (Grunow) Cleve					X
<i>Gyrosigma sciotoense</i> (Sullivan et Wormley) Cleve	X	X	X		X
<i>Halamphora montana</i> (Krasske) Levkov		X			
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov			X		
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberh.) R.M. Patrick in Patrick & Reimer	X			X	
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski		X	X	X	X
<i>Hippodonta costulata</i> (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski		X			X
<i>Hippodonta</i> sp.					X
<i>Hippodonta pumila</i> Lange-Bertalot, Hofmann & Metzeltin		X			
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopa					X
<i>Karayevia clevei</i> (Grunow in Cleve & Grunow) Bukhtiyarova var. <i>clevei</i>	X	X	X	X	X

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Kolbesia gessneri</i> (Hustedt) Aboal		X			
<i>Kolbesia kolbei</i> (Hustedt) Round & Bukhtiyarova		X			
<i>Kolbesia ploenensis</i> (Hustedt) Kingston		X	X	X	
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson					X
<i>Lindavia radiosa</i> (Grunow) De Toni & Forti		X			
<i>Luticola</i> sp.					X
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G. Mann in Round, Crawford & Mann	X	X	X		X
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann in Round, Crawford & Mann			X		X
<i>Luticola ventriconfusa</i> Lange-Bertalot					X
<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot					X
<i>Mayamaea permitis</i> (Hustedt) Bruder & Medlin		X		X	X
<i>Melosira varians</i> Agardh		X	X	X	X
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	X				X
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	X	X	X	X	X
<i>Navicula associata</i> Lange-Bertalot		X	X		
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	X	X	X		
<i>Navicula cari</i> Ehrenberg					X
<i>Navicula catalanogermanica</i> Lange-Bertalot & Hofmann		X			
<i>Navicula caterva</i> Hohn & Hellerman	X	X		X	X
<i>Navicula cincta</i> (Ehr.) Ralfs in Pritchard		X			
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing		X	X		X
<i>Navicula cryptofallax</i> Lange-Bertalot & Hofmann		X			
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	X	X	X	X	X
<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot	X	X		X	
<i>Navicula difficillimoides</i> Hustedt		X			
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot		X	X	X	

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Navicula germainii</i> Wallace		X	X	X	
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	X	X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp.		X	X		X
<i>Navicula jakovljevicii</i> Hustedt	X				
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	X	X	X	X	X
<i>Navicula libonensis</i> Schoeman		X			
<i>Navicula margalithii</i> Lange-Bertalot		X			
<i>Navicula menisculus</i> Schumann		X			
<i>Navicula novaesiberica</i> Lange-Bertalot				X	
<i>Navicula oligotraphenta</i> Lange-Bertalot & Hofmann		X			
<i>Navicula oppugnata</i> Hustedt				X	
<i>Navicula phyllepta</i> Kützing		X			
<i>Navicula radiosa</i> Kützing					X
<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot		X	X	X	X
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot	X	X	X	X	X
<i>Navicula rostellata</i> Kützing	X	X	X	X	
<i>Navicula salinarum</i> Grunow in Cleve & Grunow				X	X
<i>Navicula schroeteri</i> Meister		X			
<i>Navicula slesvicensis</i> Grunow		X			
<i>Navicula splendicula</i> Van Landingham		X			
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	X	X	X	X	X
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot					X
<i>Navicula upsaliensis</i> (Grunow) Peragallo		X			X
<i>Navicula vandamii</i> Schoeman & Archibald		X			
<i>Navicula veneta</i> Kützing	X	X	X	X	X
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg		X			

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Navigeia decussis</i> (Østrup) Bukhtiyarova	X	X	X		
<i>Navigeia schoenfeldii</i> (Hustedt) Bukhtiyarova		X			
<i>Nitzschia</i> sp.	X	X	X		
<i>Nitzschia abbreviata</i> Hustedt in Schmidt <i>et al.</i>		X		X	
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith					X
<i>Nitzschia acula</i> Hantzsch ex Cleve & Grunow					X
<i>Nitzschia adamata</i> Hustedt			X		
<i>Nitzschia agnita</i> Hustedt				X	
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow		X	X		X
<i>Nitzschia amplexans</i> Hustedt		X	X		
<i>Nitzschia archibaldii</i> Lange-Bertalot					X
<i>Nitzschia bergii</i> Cleve-Euler		X			
<i>Nitzschia brevissima</i> Grunow in Van Heurck		X	X		X
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt in A.Schmidt <i>et al.</i>		X	X	X	X
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt var. <i>tenuirostris</i> (Grunow in Van Heurck) Bukhtiyarova		X			
<i>Nitzschia communis</i> Rabenhorst			X		
<i>Nitzschia costei</i> Tudesque, Rimet & Ector		X			
<i>Nitzschia dealpina</i> Lange-Bertalot & Hofmann				X	
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow ssp. <i>dissipata</i>	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia filiformis</i> (W.M.Smith) Van Heurck		X	X	X	X
<i>Nitzschia filiformis</i> var. <i>conferta</i> (Richter) Lange-Bertalot		X	X	X	X
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia frequens</i> Hustedt		X	X		X
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow		X	X		
<i>Nitzschia graciliformis</i> Lange-Bertalot & Simonsen					X
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch		X			X

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Nitzschia hantzschiana</i> Rabenhorst					X
<i>Nitzschia heufleriana</i> Grunow		X		X	X
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow		X	X	X	X
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch ex Cleve & Grunow		X	X	X	
<i>Nitzschia liebethruthii</i> Rabenhorst		X	X		
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W.M.Smith		X	X		X
<i>Nitzschia media</i> Hantzsch.		X		X	X
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow in Cleve & Moller		X	X	X	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith var. <i>debilis</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow		X	X		
<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia parvula</i> W.M.Smith				X	
<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow) M.Peragallo	X				
<i>Nitzschia pusilla</i> (Kützing) Grunow emend. Lange-Bertalot	X		X		X
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch in Rabenhorst	X	X	X		X
<i>Nitzschia rectiformis</i> Hustedt					X
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith		X		X	X
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith		X			X
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia solgensis</i> Cleve-Euler		X			
<i>Nitzschia soratensis</i> Morales & Vis		X			
<i>Nitzschia subacicularis</i> Hustedt in A.Schmidt et al.		X			X
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt		X	X		X
<i>Nitzschia subtilis</i> Grunow in Cleve & Grunow		X		X	X
<i>Nitzschia supralitorea</i> Lange-Bertalot		X	X	X	X
<i>Nitzschia tenuis</i> W.Smith				X	

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Nitzschia tubicola</i> Grunow					X
<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst		X			X
<i>Nitzschia wuellerstorffii</i> Lange-Bertalot		X	X		
<i>Pantocsekiella comensis</i> (Grunow in Van Heurck) K.T. Kiss & Ács		X			X
<i>Pantocsekiella costei</i> (Druart et F. Straub) K.T. Kiss & Ács		X			X
Diatomée pennée non identifiée		X	X	X	
<i>Placoneis undulata</i> (Østrup) Lange-Bertalot			X		
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova		X			X
<i>Planothidium engelbrechtii</i> (Cholnoky) Round & Bukhtiyarova		X			
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	X	X	X	X	X
<i>Planothidium granum</i> (Hohn & Hellerman) Lange-Bertalot				X	
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot		X		X	X
<i>Planothidium minusculum</i> (Hustedt) Witkowski, Kulikovskiy & Plinski	X				
<i>Planothidium minutissimum</i> (Krasske) Morales		X		X	X
<i>Planothidium rostratoholarcticum</i> Lange-Bertalot & Båk	X	X	X	X	X
<i>Planothidium</i> sp.		X			X
<i>Platessa conspicua</i> (A.Mayer) Lange-Bertalot		X		X	
<i>Platessa holsatica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	X				
<i>Platessa hustedtii</i> (Krasske) Lange-Bertalot		X			
<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compère		X			
<i>Praestephanos</i> sp.					X
<i>Psammothidium lauenburgianum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova & Round		X	X	X	
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurck) D.M. Williams & Round	X	X	X	X	X
<i>Pseudostaurosira medliniae</i> D.M. Williams & Morales		X			
<i>Pseudostaurosira sopotensis</i> (Witkowski & Lange-Bertalot) Morales, C.E. Wetzel & Ector		X			
<i>Pseudostaurosira subsalina</i> (Hustedt) Morales			X		

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Punctastriata lancettula</i> (Schumann) Hamilton & Siver		X			X
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	X	X	X	X	X
<i>Reimeria uniseriata</i> Sala Guerrero & Ferrario		X		X	
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg					X
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	X	X	X		X
<i>Rossithidium petersenii</i> (Hustedt) Round & Bukhtiyarova		X			
<i>Sellaphora nigri</i> (De Notaris) C.E. Wetzel & Ector	X	X			X
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky	X	X	X	X	X
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann		X			
<i>Sellaphora utermoehlii</i> (Hustedt) C.E. Wetzel & D.G. Mann		X	X	X	
<i>Simonsenia delognei</i> Lange-Bertalot	X	X			X
<i>Skeletonema potamos</i> (Weber) Hasle		X			X
<i>Skeletonema subsalsum</i> (Cleve-Euler) Bethge					X
<i>Stauroneis</i> sp.	X				
<i>Staurosira</i> sp.					X
<i>Staurosira binodis</i> Lange-Bertalot in Hofmann, Werum & Lange-Bertalot		X	X		X
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	X	X			X
<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal		X			
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & Moeller		X	X	X	X
<i>Staurosirella</i> sp.		X			X
<i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehrenberg) D.M. Williams & Round		X			
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M. Williams & Round	X	X	X	X	
<i>Stephanodiscus alpinus</i> Hustedt in Huber-Pestalozzi		X			
<i>Stephanodiscus</i> sp.		X	X		X
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow in Cleve & Grunow					X
<i>Stephanodiscus medius</i> Håkansson					X

Taxons	haut Rhin	Rhin supérieur	Rhin moyen	Rhin inférieur	delta du Rhin
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kützing) Round					X
<i>Stephanodiscus neoastraea</i> Håkansson & Hickel					X
<i>Stephanodiscus parvus</i> Stoermer & Håkansson					X
<i>Stephanodiscus tenuis</i> Hustedt					X
<i>Surirella angusta</i> Kützing		X		X	
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer & Lange-Bertalot		X			X
<i>Surirella lacrimula</i> English	X	X		X	X
<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing				X	
<i>Surirella ovalis</i> Brébisson				X	
<i>Surirella</i> sp.		X	X		
<i>Surirella splendida</i> (Ehrenberg) Kützing			X		
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing			X		
<i>Tabularia fasciculata</i> (C.A. Agardh) Williams & Round		X	X		X
<i>Thalassiosira lacustris</i> (Grunow) Hasle in Hasle & Fryxell		X	X		X
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle & Heimdal		X			X
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) Fryxell & Hasle		X			X
<i>Tryblionella angustata</i> W. Smith					X
<i>Tryblionella angustatula</i> (Lange-Bertalot) Cantonati & Lange-Bertalot in Kusber <i>et al.</i>	X	X	X	X	X
<i>Tryblionella brunoi</i> (Lange-Bertalot) Cantonati & Lange-Bertalot in Kusber <i>et al.</i>			X	X	X
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D.G. Mann in Round <i>et al.</i>		X			X
<i>Tryblionella kuetsingii</i> Alvarez-Blanco & Blanco		X	X	X	
<i>Tryblionella levidensis</i> W. Smith		X			
<i>Tryblionella salinarum</i> (Grunow) Pantocsek					X
<i>Tryblionella</i> sp.					X
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	X	X			
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère		X	X	X	X