

# Étude de la dynamique des peuplements de diatomées dans le torrent de la Réserve Naturelle Nationale de La Massane (Pyrénées-Orientales, France)

Jean Bertrand<sup>1</sup>, Clothier Coste<sup>2</sup> et Joseph Garrigue<sup>3</sup>

## Résumé

Cette étude sur les populations des diatomées dans le fleuve « La Massane » depuis sa source située à 968 mètres d'altitude jusqu'à la sortie de la réserve nationale à 600 m sur environ 8 Km, c'est-à-dire dans son régime torrentiel, vise à établir une base de données datée de juin 2022, servant de référence pour les années à venir. Ce torrent constitué de petites cascades suivies généralement par des « poches » d'eaux calmes peu profondes ou des « radiers » colonisés par des bryophytes permet le développement des colonies diatomiques très différenciées d'un type de ruissèlement à l'autre. Quarante-trois espèces ont été identifiées pour un total de 11 717 frustules comptées. Il est remarquable que les espèces colonisant les rochers se propagent lentement de la source jusqu'à la sortie, alors que celles colonisant les « poches » sont pratiquement indépendantes, différentes les unes des autres et différentes de celles des cailloux. Nous prouvons que ces colonisations de La Massane sont également différentes des diatomées épilithiques tant par la faible richesse taxonomique (24.5%) que par leur faible abondance dans les récoltes sur rochers. On confirme ainsi les résultats obtenus précédemment (Bertrand *et al.* 2016) indiquant une moyenne de 38 espèces dans les rivières contre 313 sur les lichens. Nous présentons donc une liste double isolant les diatomées épilithiques des diatomées épipsamiques ou épibryophitiques.

**Mots clés** : diatomées, épibryophitiques, épipsamiques, La Massane.

## Study of diatom population dynamics in the torrent of the La Massane National Nature Reserve (Pyrénées-Orientales, France)

## Abstract

This study on diatom populations in the “La Massane” river, from its source at an altitude of 968 m to the exit of the national reserve at 600 m over approximately 8 Km, i.e., in its torrential regime, aims to establish a dated database from June 2022, serving as a reference for the years to come. This torrent, composed of small waterfalls generally followed by “pockets” of calm shallow waters or “shoals” colonized by bryophytes, allows for the development of highly differentiated diatom colonies from one runoff type to another. Ninety-three species were noted, totaling 11,717 counted frustules. It is noteworthy that species colonizing rocks spread slowly from the source to the exit, while those colonizing “pockets” are practically independent of each other and different from those on rocks. We prove that these colonizations in La Massane are also different from epilithic diatoms, both in low taxonomic richness (24.5%) and in their low abundance in rock collections. Thus, we confirm previous results (Bertrand *et al.* 2016) indicating an average of 38 species in rivers compared to 313 on lichens. We therefore present a dual list isolating epilithic diatoms from epipsammic or epibryophytic diatoms.

**Keywords** : diatoms, epibryophytic, epipsammic, La Massane.

1. 42 rue de Malvoisine, 45800, St Jean-de-Braye. [j.r.bertrand@orange.fr](mailto:j.r.bertrand@orange.fr)

2. 26 rue de Venise, 81100, Castres. [cloter@wanadoo.fr](mailto:cloter@wanadoo.fr)

3. Laboratoire Arago, 66650, Banyuls-sur-Mer. [rnn.massane@espaces-naturels.fr](mailto:rnn.massane@espaces-naturels.fr)

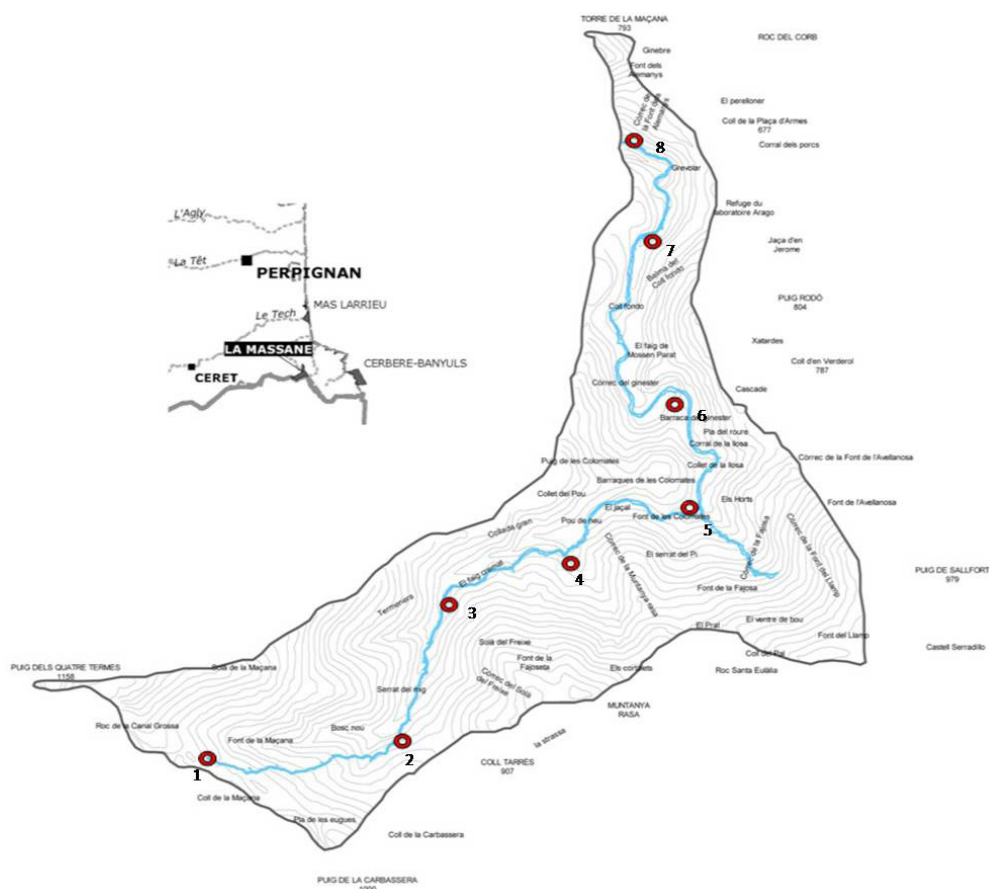


## 1. Introduction

Les petits fleuves côtiers méditerranéens français sont soumis à un régime météorologique bien particulier qui les transforme parfois en torrent dévastateur. Ce phénomène est particulièrement violent dans les Alpes de Provence et dans les Pyrénées-Orientales lors de périodes appelés « Épisode Cévenol ». Ainsi l'Argens sur la côte provençale a été bien étudié par Cazaubon *et al.* (1995) après une crue dévastatrice. Cette auteure constata alors le décapage total des roches du torrent et l'élimination de toute trace apparente de diatomées. L'année suivante des colonies de diatomées s'étaient de nouveau installées sur les rochers immergés et dans les poches d'eau dormantes (radiers). L'origine possible de ces nouvelles colonies semblait être les sables déposés au fond des poches d'eau résiduelles et les bryophytes installées. L'étude montrait formellement la variation et la diversification des micro-organismes d'une année à l'autre. (Cazaubon & Loudiki, 1986, 1995).

La Massanne, fleuve de 23 km de long prend sa source dans la réserve Nationale de La Massanne et finit sur la côte dans la ville d'Argelès (Fig. 1, 2). Les 8 premiers kilomètres à partir de la source se déroulent sur une pente relativement forte à l'abri d'une forêt de hêtres. Dans l'année 2021 (communication orale de la réserve nationale), des épisodes particulièrement pluvieux ont transformé ce fleuve en torrent décapant toutes les roches et les fonds de sables et de cailloux. Ce qui nous incita, en même temps que les récoltes de lichens habités par des diatomées, à prospecter dans le lit du torrent afin de comparer les espèces de diatomées et leurs implications possibles ou non dans la colonisation des lichens.

Le but de cette nouvelle étude est d'établir une liste complète des diatomées vivantes dans le fleuve. Cette liste servira de base pour des comparaisons ultérieures, afin de surveiller l'évolution des colonies diatomiques sur les roches et les radiers plus ou moins permanents en fonction des aléas climatiques. Récemment, une étude floristique et qualitative des eaux de la partie



**Fig. 1** – Carte de la Réserve Régionale de La Massanne (Partie française) contenant le fleuve La Massanne à sa source (Font de la Massana 968 m) jusqu'à sa sortie de la réserve, ainsi que l'affluent située sous le Puic del Sallfort (Font del Llamp ; les récoltes dénommées de 1 à 8 sont situées de manière à exprimer au mieux les spécificités du torrent.

basse de La Massane, près d'Argelès-sur-Mer (naiades. eaufrance.fr, 2021), a été faite. Elle est complétée par une étude qualitative saisonnière de l'eau de l'affluent provenant du Pic de Sallfort jusqu'à la sortie de la réserve, effectuée par Majdi et Tornès en 2021 mais non publiée.

Cette nouvelle étude vient compléter les résultats de la « Première contribution à l'étude des diatomées de la réserve naturelle nationale de la forêt de la Massane (Pyrénées-Orientales) » (Bertrand *et al.* 2022) portant sur les diatomées épilichéniques. Au cours des récoltes

de 2022 nous avons constaté que dans les poches d'eau et radiers, de nombreuses diatomées vivantes aux chloroplastes intacts, étaient radicalement différentes de celles récupérées sur les cailloux et roches dans le flux du torrent. Elles n'avaient pas été étudiées spécialement, car n'entrant alors pas dans le plan de recherche sur les lichens. Une même constatation avait été faite par Germain, dans sa thèse en 1936, qui signalait déjà la diversité des espèces de diatomées selon leurs habitats : cours d'eau rapide ou mares stagnantes. Ce travail a été conforté par Bertrand *et al.* 2015 dans l'étude des diatomées des mares comparées à celles de la Loire.



Fig. 2 – La source de La Massane, récolte 1.

## 2. Matériel et Méthodes

Huit stations ont été réparties sur les 8 km du torrent à l'intérieur de la Réserve Régionale de La Massane (Fig. 1), numérotées de 1 à 8 en partant de la source principale située à 700 mètres d'altitude (Fig. 2).

Dans chaque station il a été prélevé deux échantillons :

- un sur les cailloux ou roches situées dans la partie toujours ruisselante pour les diatomées épilithiques (Fig. 3) ;

- un dans la « poche d'eau et radiers » plus ou moins stagnante (Fig. 4) au pied des roches contenant des bryophytes et des boues pour les diatomées épiphytiques.

Sur les cailloux le prélèvement a été fait par brossage suivant les critères définis par Cazaubon (1986), Prygiel & Coste (1995- 2000) afin de permettre une estimation de la qualité biologique de l'eau. Dans les « poches d'eau » des branches de Bryophytes ont été prélevés (7 *Fontinalis squamosa* et 1 Hépatique *Pellia sp.*), ainsi que de la boue. Les prélèvements sur cailloux ont été traités comme préconisé par Prygiel & Coste (1995-2000).

Les diatomées ont d'abord été examinées avant traitement pour déceler et estimer les quantités de diatomées mortes et vivantes (présence de chloroplastes ou non).

Pour l'extraction de diatomées, des prélèvements de bryophytes et boues ont été conduites d'après Bertrand *et al.* (2004). Toutefois afin d'éliminer les restes végétaux non dissous, le résidu déposé sur une lamelle a été grillée sur plaque chauffante à 600° pendant 10 minutes, avant l'inclusion dans le Naphrax.

Avant de procéder aux calculs de corrélation nous avons normalisé les abondances des peuplements diatomiques qui suivent une loi hyperbolique par  $N_L = (n+ 1) \times \text{Log}_2$

Les indices de Shannon (Shannon & Weaver 1949) ont été calculés également avec  $\text{Log}_2$ .

Les analyses statistiques AFC (analyse factorielle des correspondances) ont été conduite à l'aide du logiciel ADE4 (Doledec & Chessel 1994 ; Thioulouse *et al.* 1997).





**Fig. 3** – Prélèvement des diatomées sur les cailloux par brossage.



**Fig. 4** – Poche d'eau de la station de récolte n° 8.

Les courbes de richesse ont été analysées et étudiées d'après les travaux de Canard & Poinot (2004). Les genres et espèces des diatomées ont été déterminés d'après Krammer (1992), Lange-Bertalot (2000, 2001, 2002, 2003, 2011), Lowe *et al.* (2014) ainsi que la littérature régionale la plus récente (Peeters & Ector, 2017, 2018 et 2020 et autres atlas régionaux).

Les calculs des indices de qualité des eaux ont été réalisés selon Prygiel & Coste (1995-2000) pour les IPS et Bertrand *et al.* (2015) pour les IMSA – IMSO.

### 3. Résultats

Les analyses diatomiques des 16 récoltes (8 sur cailloux + 8 sur bryophytes des poches d'eau) ont permis de distinguer 93 espèces contenues dans 11 746 frustules comptées, parmi lesquelles seulement 23 espèces (23.5%) représentaient 95 % de l'abondance (**Tab. 1 en annexe**).

Parmi ces 93 espèces, *Rhoicosphenia abbreviata* est la plus abondante, représentant à elle seule 23% des diatomées. Les 5 espèces les plus fréquentes, représentent 36.5% du total. Ce sont les *Planothidium lanceolatum* avec 1 460 (12.5%), frustules qui sont les plus nombreuses, suivies par *Achnantheidium minutissimum* (9.4%), *Psammothidium oblongellum* (6.4%), *Eolimna minima* (5.5%) et *Gomphonema parvulum* (2.5%). Par ailleurs 47 espèces (48%) n'étaient présentes que dans une seule récolte à la fois. La qualité biologique donnée par les diatomées est estimée comme bonne avec 13.9 par IPS (indice de polluosensibilité) et 14.5 par IBD (indice biologique des diatomées).

Cependant cette analyse globale ne nous renseigne pas sur les particularités des peuplements du torrent. Ce qui nous a amené à distinguer et analyser les deux groupes séparément : les « cailloux » et les « poches d'eau ».

#### 3.1. Analyses de diatomées épilithiques

Le nombre d'espèces recensées n'est que de 58 (59.2%

du total) pour 5517 frustules, avec seulement 14 espèces qui représentent 95% de l'abondance et 29 espèces unitaires (50 %) (**Tab. 2**). Dans ce groupe quatre espèces dominent avec 68.5% de l'abondance : *Rhoicosphenia abbreviata* (41%), *Psammothidium oblongellum* (11.3%), *Eolimna minima* (8%) et *Planothidium lanceolatum* (7.9%). Ces 4 espèces se répartissent dans les 8 récoltes. Concernant les abondances simultanées des espèces dans les diverses récoltes, les corrélations inter-récoltes montrent une divergence prononcée. Nous constatons que sur les cailloux et dans le sens du courant (station de 01 vers 08) les espèces de la première récolte se propagent progressivement jusqu'à la station 03 puis se généralisent ensuite jusqu'à la fin. Les corrélations maximales ( $p < 0.001$ ) se distribuent sur la diagonale du graphique (**Tab. 2**). Les courbes de richesse des 8 récoltes sont toutes à tendance logarithmique.

Rappel : La courbe de richesse logarithmique se caractérise par une grande abondance et pour une richesse pauvre en espèces. Alors qu'une courbe de richesse parabolique indique une abondance augmentant lentement pour un nombre d'espèces en augmentation permanente.

#### 3.2. Analyse des diatomées épibryophytiques et des boues

60 espèces ont été recensées. 95% de l'abondance est représenté par 24 espèces soit presque 2 fois plus que sur les cailloux. Toutefois les 30 espèces unitaires (50%), sont également présentes dans les deux types de récoltes (**Tab. 3**), mais leur répartition est beaucoup plus irrégulière. Ainsi *Planothidium lanceolatum* la plus abondante, commune aux 8 récoltes, ne représente que 16.5%. Elle est suivie par *Achnantheidium minutissimum* pour 14.2% également répartie dans les 8 récoltes. Puis nous rencontrons *Fragilaria capucina* (13.4%) mais seulement dans 4 récoltes dont deux qui ont une abondance exceptionnelle de 363 et 465 frustules. Si l'on prend les 4 premières des occurrences nous constatons

	Cailloux	% / tot.	95 % abond	nb.esp. unit.
Nb. frustules	5517	47,09%	5236	103
Nb. espèces	58	59,18%	14	29
			24,14%	50%

### Corrélations Cailloux

220 609,01								
220 609,02	0,5768 p < 0,001							
220 609,03	0,437 p < 0,05	0,6831 p < 0,001						
220 609,04	0,3064 p < 0,1	0,7303 p < 0,001	0,6817 p < 0,001					
220 609,05	0,2158 p < 0,1	0,6645 p < 0,001	0,5624 p < 0,001	0,7615 p < 0,001				
220 609,06	0,2216 p < 0,1	0,5536 p < 0,05	0,4526 p < 0,05	0,7257 p < 0,001	0,7072 p < 0,001			
220 609,07	0,2490 p < 0,1	0,5677 p < 0,05	0,4346 p < 0,05	0,7318 p < 0,001	0,6932 p < 0,001	0,9459 p < 0,001		
220 609,08	0,2468 p < 0,1	0,5182 p < 0,05	0,4555 p < 0,05	0,6100 p < 0,001	0,6538 p < 0,001	0,8839 p < 0,001	0,8757 p < 0,001	
	220 609,01	220 609,02	220 609,03	220 609,04	220 609,05	220 609,06	220 609,07	220 609,08

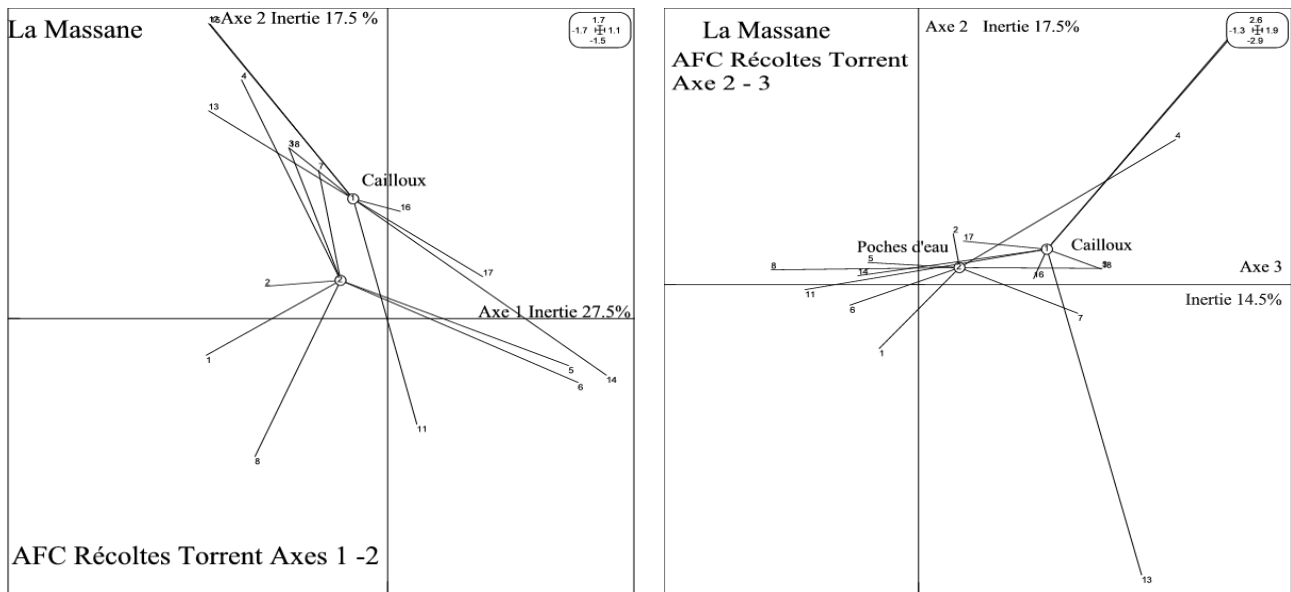
**Tab. 2** - Tableau des intercorrélations des 8 récoltes sur les cailloux dans les cascades. En noir les corrélations maximales, en rouge l'absence ou la faiblesse des corrélations. On remarque une corrélation progressive, jusqu'à la totalité des récoltes au fil du courant. Les n° des absides et ordonnées des axes correspondent aux lames de la collection de référence.

que ce sont 4 espèces différentes du tri par abondance (soit 39.4%) qui sont dominantes. Ainsi nous avons : *Achnanthydium minutissimum* (14.2% de l'abondance), *Eolimna minima* (3.2%), *Gomphonema parvulum* (3.7%) et *Planothidium lanceolatum* pour 16.4%, deux fois plus important que dans les cailloux.

Concernant les abondances simultanées dans les 8 récoltes, les corrélations sont nulles (**Tab. 3**). Elles montrent une indépendance presque totale. Par ailleurs, la corrélation entre les deux groupes (cailloux et poche d'eau) est faible (0.4948 p < 0.01) et nous n'avons que 26 espèces communes (25%). Ces divergences entre les deux groupes sont bien montrées dans les AFC (**Fig. 5 et 6**) où nous constatons un écart conséquent entre les deux centres d'inertie. Les axes 1 et 2 concentrent à eux seuls 45 % de l'inertie totale.

### 3.3. Analyse de deux espèces dominantes

C'est l'évolution des abondances dans le cours du torrent de la station 1 vers la station 8, qui montrent sans ambiguïté, dans les deux cas la vitalité ou la régression des deux espèces dominantes (**Fig. 7 et 8**) dans deux biotypes différents (**Fig. 9**). Dans la station 1, donc à la source, sur les cailloux, *Rhoicosphenia abbreviata* est peu apparent alors que *Planothidium lanceolatum* semble déjà implanté. Par contre dans les poches d'eau, ces deux espèces sont pratiquement inexistantes. Puis *P. lanceolatum* sur les cailloux, décroît inexorablement jusqu'à la station 8 (sortie de La Massane). Toutefois il se développe rapidement dans les poches d'eau jusqu'à la station 4, décroît jusqu'en 6 et 7 pour se développer de nouveau en 8. Quant aux *Rhoicosphenia abbreviata* il se développe rapidement jusqu'à la station 4 puis reste



**Fig. 5 et 6** – AFC (Analyse factorielle de correspondance) des trois axes d’inerties. Les deux groupes (cailloux et poches d’eau) montrent leurs divergences (absence de corrélation) des espèces et l’abondance des récoltes du torrent La Massanne.

à peu près constant jusqu’à la station 8. Par contre dans les poches d’eau *R. abbreviata* ne se développe qu’en station 4 et 5 puis semble disparaître.

Cependant malgré ces divergences, les courbes de richesse des deux groupes sont également logarithmiques confirmant la vigueur de la reproduction des diatomées dans le torrent que ce soit sur les cailloux ou les bryophytes.

### 3.4. Analyse de la qualité biologique des eaux

Si l’on considère les poches d’eau comme des petites mares, les indices de qualité peuvent être évalués individuellement avec le système Indice des mares (Bertrand *et al.* 1995).

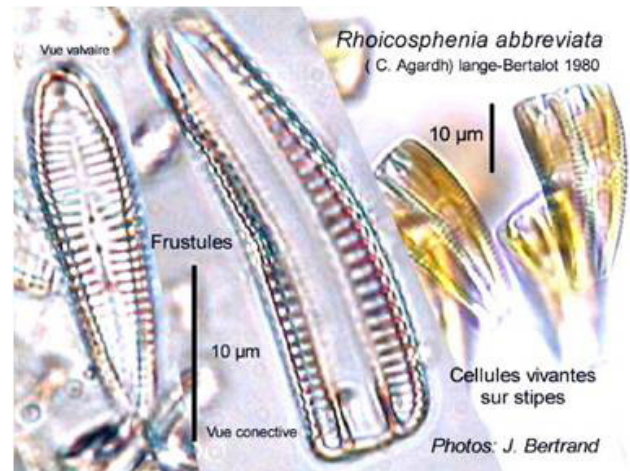
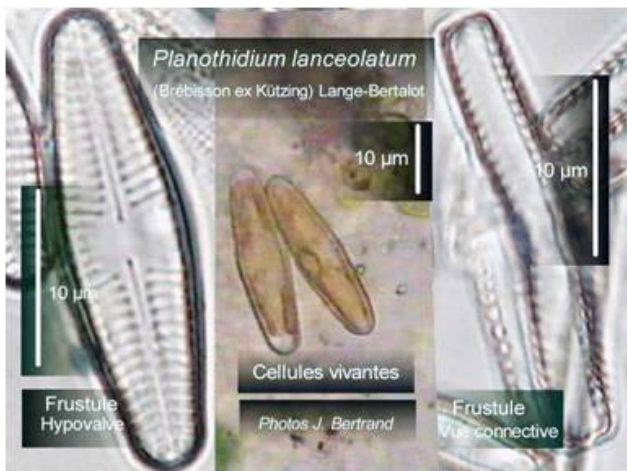
- IMSA : indice anthropique mare (pollution révélée par  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$ ).

- IMSO : indice saprobique mare (pollution organique révélée par  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_2$ ).

La **Fig. 10** montre l’évolution comparative de la qualité des eaux des « poches ».

Les courbes IPS bien que non utilisables pour les eaux dormantes, montrant une bonne qualité progressive en suivant les stations, nous servent de comparatif pour bien visualiser les aspects originaux des courbes IMSA-IMSO.

La courbe IMSA montre une déclinaison régulière de la qualité sauf dans la station 4 où elle est inversée. Par contre la courbe des IMSO révélant la charge de matière



**Fig. 7 et 8** – Images des deux diatomées plus abondantes dans le cours de La Massanne. Ces deux diatomées *Planothidium lanceolatum* (**Fig. 7, à gauche**) et *Rhoicosphenia abbreviata* (**Fig. 8, à droite**), sont deux espèces produisant des biofilms en sécrétant des mucos ou des stipes permettant leur forte adhésion sur les rochers.



	Poches	% / tot.	95 % abond	nb.esp. unit.
Nb. frustules	6228	53,15%	5916	127
Nb. espèces	60	61,22%	24	30
			40%	50%

220 609,01b								
220 609,02 b	0,5352 p < 0,1							
220 609,03b	0,4165 p < 0,1	0,6907 p < 0,01						
220 609,04b	0,3012 p < 0,1	0,5903 p < 0,05	0,7032 p < 0,01					
220 609,05b	0,2165 p < 0,1	0,5383 p < 0,05	0,5386 p < 0,05	0,6811 p < 0,01				
220 609,06b	0,1569 p < 0,1	0,5319 p < 0,05	0,3813 p < 0,1	0,4662 p < 0,1	0,3435 p < 0,1			
220 609,07b	0,5333 p < 0,1	0,4408 p < 0,1	0,3519 p < 0,1	0,3269 p < 0,1	0,1704 p < 0,1	0,3606 p < 0,1		
220 609,08b	0,2214 p < 0,1	0,2549 p < 0,1	0,2704 p < 0,1	0,3659 p < 0,1	0,3235 p < 0,1	0,0366 p < 0,1	0,3500 p < 0,1	
	220 609,01b	220 609,02b	220 609,03b	220 609,04b	220 609,05b	220 609,06b	220 609,07b	220 609,08b

**Tab. 3** – Tableau des intercorrélations des 8 récoltes dans les « poches d'eau et radiers. En noir les corrélations maximales, en rouge l'absence ou la faiblesse des corrélations. À l'opposé des résultats du tableau 2, nous avons une corrélation pratiquement nulle pour la presque totalité des récoltes et donc absence également de corrélation avec les prélèvements sur cailloux dans chaque récolte associée.

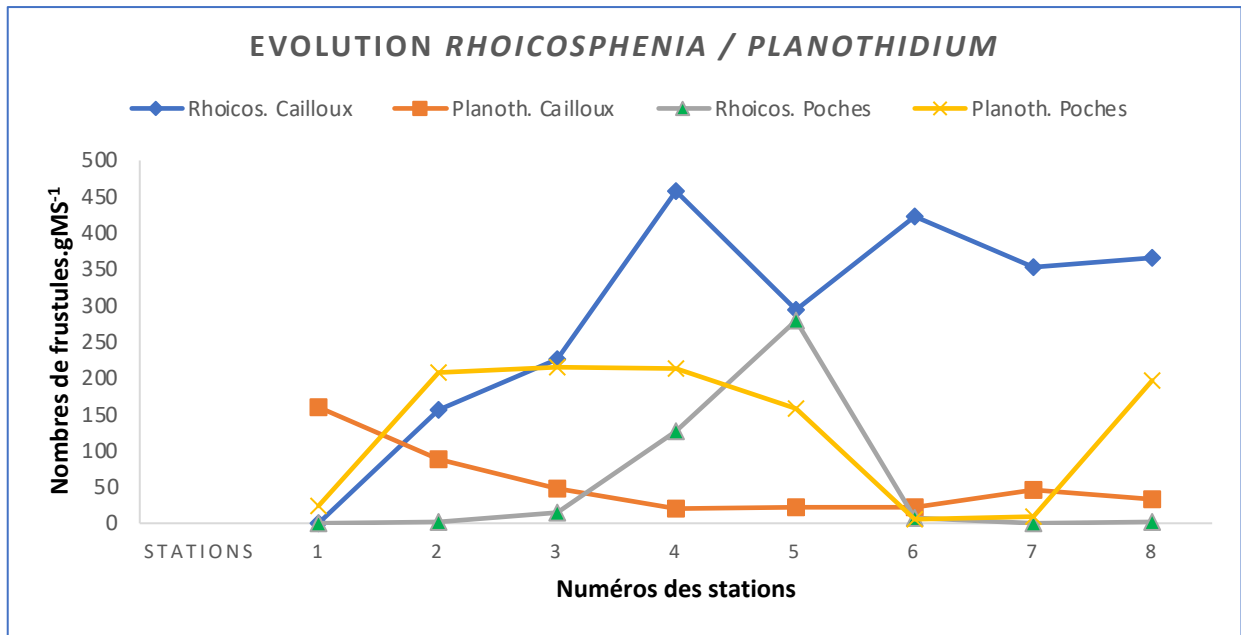
organique est anarchique pour les stations de 6 à 8. Elle montre ainsi une dégradation sévère à la station 6, une excellente qualité à la station 7, pour redescendre au plus bas à la station 8. La comparaison avec les graphes, montre l'absence de corrélation entre les diverses stations, donc la diversité importante des taxons vivants, et donne à penser qu'il existe une pollution exogène dans et autour de ces points d'eau.

#### 4. Conclusions

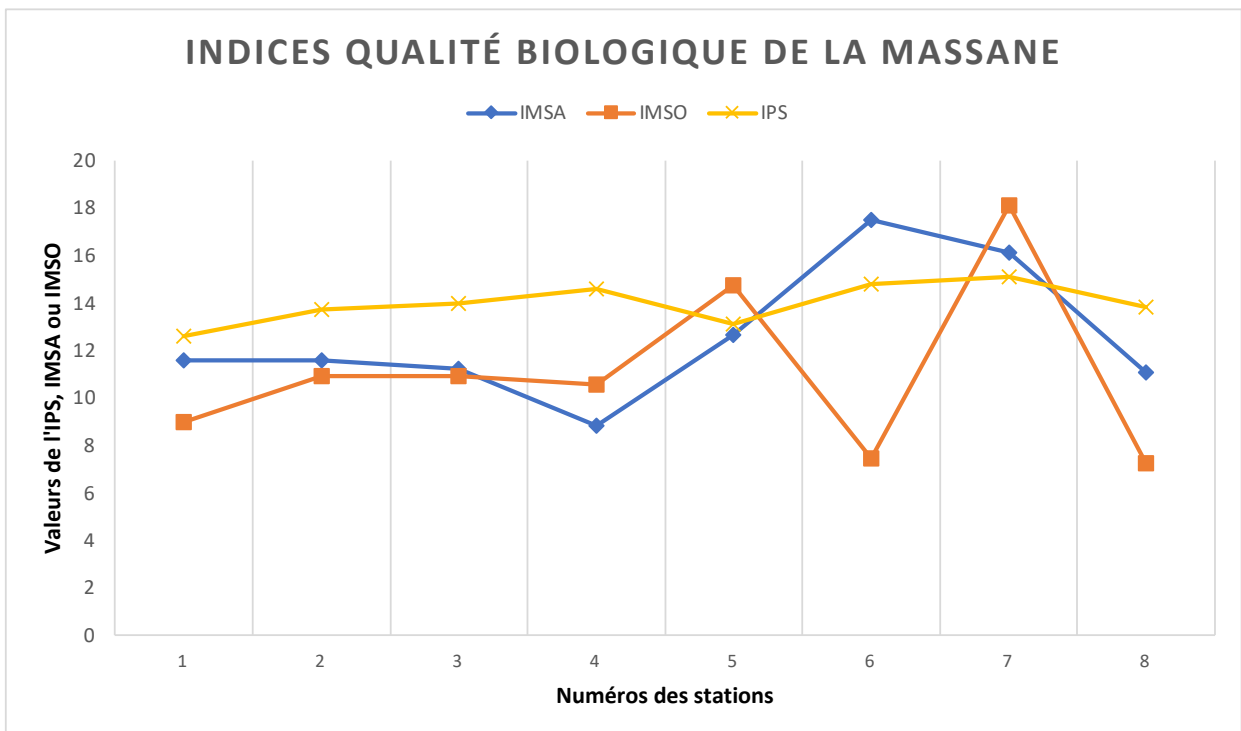
La présente étude est essentiellement basée sur le torrent La Massane, dans la Réserve Naturelle Nationale. Elle confirme et complète les travaux de Cazaubon *et al.* (1995) sur la rivière l'Argens (Var), en démontrant sans ambiguïté qu'après une saison où la rivière s'était transformée en torrent et avait décapé les rochers de toutes vies algales, la vie reprenait dès l'année suivante avec des modifications importantes.

L'étude de la Rivière La Massane conduite en 2021 et 2022, après une période de fortes pluies (communication orale des techniciens de la réserve nationale) montre la vigueur des diatomées par leur abondance exceptionnelle tant sur les roches que sur les bryophytes. Il est

remarquable que la récolte de 93 espèces essentiellement aquatiques sur les 8 points échelonnés le long de la rivière soit incomparable aux 378 espèces récoltées dans les lichens de la même réserve, celles-ci ayant été amenées par les turbulences éoliennes qui sont toujours beaucoup plus riches. Cependant, l'étude plus détaillée, consistant à séparer les récoltes sur les cailloux de celles effectuées dans les poches d'eau contenant des bryophytes et de la boue a permis de constater la présence de colonies différentes en espèces et en abondance entre les deux types d'habitats (cailloux vs. poches d'eau). La présence dominante des *Rhoicosphenia abbreviata*, en abondance sur tous les cailloux, n'est pas reprise dans les poches d'eau. De même pour *Planothidium lanceolatum*, dont l'abondance diminue inexorablement en suivant le sens du courant, mais se retrouve constamment dans les deux habitats. L'absence de corrélations de pratiquement toutes les stations des poches d'eau, alors que les diatomées des cailloux se perpétuent depuis la source vers l'aval (confirmé par les résultats des AFC) montre sans ambiguïté l'existence des deux groupes relativement indépendants. Cette indépendance peut être provoquée par le régime torrentiel avec le décapage subit par les cailloux, car certaines espèces de diatomées



**Fig. 9** – Courbe de la coévolution des abondances des deux espèces les plus importantes dans le cours de La Massane des 8 stations. En abscisses : le n° de la station de récolte en partant de la source (n°1) ; En ordonnée : l'abondance (nombre) des frustules de diatomées de la station de récolte en valeur absolue pour 1 g. de matière sèche.



**Fig. 10** – Courbe de la coévolution de la qualité biologique dans les « poches » d'eau en fonction de leurs positions de 1 à 8. Suivant deux modes de qualification : IPS (utilisée pour les fleuves et cours d'eau en plaine) et IMSA (indice saprobique)-IMSO (indice organique) mode de qualification utilisées pour des eaux stagnantes (étangs, petites pièces d'eau). En abscisses : les n° de la station de récolte en partant de la source (n°1). En ordonnée : La qualité biologique de l'eau ; de 1 à 20. Suivant deux systèmes : IPS (indice de polluo-sensibilité). IMSA Indice saprobique mares - IMSO indice organique mares

peuvent s'accrocher fermement à l'aide de tubes secrétés ou par adhésion à l'aide de mucus. D'autre part le calme relatif des poches d'eau permet le développement et la

reproduction végétative de nombreuses autres espèces de formes libres et pouvant se déplacer par elles-mêmes (Bertrand, 1991).



Cependant, les analyses à l'aide de l'indice IPS (rappelons que celle-ci n'est pas adaptable aux torrents de montagne) montrent une qualité biologique moyenne sur les cailloux. Par contre, nous constatons la qualité franchement mauvaise des poches d'eau se dégradant de la source vers l'aval à l'aide des indices IMSA-IMSO. Dégradation probablement due à la destruction des retombées des végétaux en décomposition dans la forêt environnante et la présence probable de nombreux animaux tels les sangliers et petits rongeurs, ainsi que des oiseaux comme le *Cinclus cinclus* (Cincle plongeur) cherchant des larves aquatiques pour se nourrir. Par ailleurs il est étrange que les résultats issus des récoltes saisonnières effectuées depuis la source issue du Pic de Sallfort jusqu'à la sortie de la réserve, montre une qualité saisonnière de l'eau excellente voisine de 18/20 (IBD) (Majdi et Tornès en 2021, non publié) alors que la charge de matière organique est importante ainsi que la présence de bovins venant pâturer.

**Remerciements** : Nous remercions particulièrement tous les volontaires qui ont participé à la récolte des échantillons dans des conditions parfois difficiles ainsi que le traducteur et les correcteurs pour les conseils et les reformulations inexacts du texte original.

## Références

- Bertrand J., Renon J. P., Monnier O. & Ector L. (2004) - Relation « diatomées épiphytes-bryophytes » dans les tourbières du mont Lozère (France). *Vie et Milieu*, 54 (2-3) : 59-70.
- Bertrand J., Ector L. & Renon J.-P. (2015) - Écologie des mares. Mesures de la qualité des eaux par les diatomées. Deux nouveaux indices spécifiques, comparaison avec l'indice IPS. *Symbioses*, nouvelle série 33 : 50-72.
- Bertrand J., Coste C., Le Cohu R., Renon, J. P. & Ector L. (2016) - Étude préliminaire sur la présence de diatomées sur les lichens. *Botany Letters* 163(2) : 93-115.
- Bertrand J., Coste C. & Rolland D. (2020) - Inventaire des diatomées sur les lichens et causes de leur présence. *Carnets Natures*, 7 : 51-77.
- Bertrand J., Coste C. & Garrigue J. (2022) - Première contribution à l'étude des diatomées de la réserve naturelle nationale de la forêt de la Massane (Pyrénées-Orientales). *Carnets Natures*, 9 : 45-66.
- Blamey M. & Grey-Wilson C. (1991) - La flore d'Europe occidentale. Arthaud, Paris. 544 p.
- Canard A. & Poinsot D. (2004) - La répartition spatiale des individus et des peuplements par la méthode des quadrats. *Rapport, Université de Rennes*. 28 p.
- Cazaubon A. & Loudiki M. (1986) - Micro répartition des algues épilithiques sur les cailloux d'un torrent Corse, Le Rizzanèse. *Annales de Limnologie* 22 (1) : 3-16.
- Cazaubon A., Rolland T. & Mohammed L. (1995) - Heterogeneity of periphyton in French Mediterranean rivers. *Hydrobiologia* 300/301 : 105-114.
- Chadefaud M. (1960) - Les végétaux non vasculaires (Cryptogamie). In *Traité de botanique systématique*, edited by Chadefaud M. & L. Emberger. Tome 1 : 524-529, 543-545, 639-640.
- Doledec S. & Chessel D. (1994) - Co-inertia analysis : an alternative method for studying species- environment relationships. *Freshwater Biology*, 31 : 277-294. doi:10.1111/j.1365-2427.1994.tb01741.x
- Germain H. (1936) - Les diatomées d'eaux douces. *Bull. Soc. Nat. Ouest*. 193 p.
- Garrigue J. (2018) - Climatologie, analyse des données 2017. *Travaux de la Massane*, 112. 36 p.
- Krammer K. (2000) - Diatoms of Europe, the genus *Pinnularia*. Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 1. 703 p.
- Krammer K. (2002) - Diatoms of Europe, *Cymbella*. Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 3. 584 p.
- Krammer K. (2003) - Diatoms of Europe, *Cymbopleura*, *Delicatula*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 4. 530 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991a) - Bacillariophyceae 3 Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/3. 576 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1988) - Bacillariophyceae 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/2. 596 p.
- Lange-Bertalot H. (2001) - Diatoms of European Inland Waters and comparable Habitats. *Naviculasensustricto*, 10 genera separated from *Naviculasensulato*. *Frustulia* Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 2. 526 p.
- Lange-Bertalot H, Malgorzata B. & Witkowski A. (2011) - *Eunotia* and some related genera. *Diatoms of Europe*, Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 6. 747 p.
- Moreau H., Grimsley N., Subirana L. & Margaine M. (2011) - Suivi spatio-temporel des microalgues du fleuve côtier. *Travaux de la Massane*, 91. 11 p.
- Paulmier G. (1997) - Atlas des diatomophycées des côtes françaises et des aires océaniques adjacentes. IFRMER-DRV / RH / RST / 97-14 / Concarneau. 439 p.

- Peeters V. & Ector L. (2017) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Centriques, Araphidées ; Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne -Franche - Comté Vol. 1. 309 p.
- Peeters V. & Ector L. (2018) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Monoraphidées, Brachyraphidées, Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne - Franche-Comté Vol. 2. 271 p.
- Peeters V. & Ector L. (2017) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Naviculacées ; Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne - Franche-Comté Vol. 3. 323 p.
- Prygiel J. & Coste M. (2000) - Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Cemagref, Agence de l'Eau : 134 p. + 89 pl. + cd-rom TAX'IBD français/anglais.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1949) - The mathematical theory of communication. Urbana and Chicago: 1-125.
- Thioulouse J., Chessel D., Doledec S. & Olivier J.-M. (1997) - ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistic and Computing*, 7 (1): 75-83. doi:10.1023/A:1018513530268.
- 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 (1) : 117-133. doi:10.1007/BF0233425



Soumis le 3 janvier 2024  
Accepté le 13 janvier 2024  
**Publié en ligne (pdf) le 23 janvier 2024**

**Annexe, Tab. 1** - Liste alphabétique des diatomées du torrent de La Massane : Liste complète des espèces de diatomées vivantes distribuées suivant lieu de leur récolte. Les espèces en noir appartiennent aux cailloux ; les espèces en rouge appartiennent aux poches d'eau de la même station. Les pourcentages sont calculés en fonction du nombre de frustules compté de chaque biotope.

	Total frustules	5518	%	6228	%
	Nb. taxons	56		70	
	Taxons diatomées	Cailloux	Cailloux	Poches	Poches
1	<i>Achnanthes coarctata</i> (Brebisson) Grunow			10	0,16
2	<i>Achnanthes petersenii</i> Hustedt	12	0,22		
3	<i>Achnanthes taeniata</i> Grunow in Cleve & Grunow	70	1,27		
4	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	217	3,93	887	14,24
5	<i>Achnantheidium pyrenaicum</i> (Hustedt) Kobayasi	48	0,87	84	1,35
6	<i>Adlafia bryophila</i> (Petersen) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin			4	0,06
7	<i>Amphora inariensis</i> Krammer	13	0,24		
8	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow			2	0,03
9	<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve			4	0,06
10	<i>Cocconeis neodiminuta</i> Krammer in Ricard	3	0,05		
11	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	2	0,04		
12	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> (Ehr.) Grunow	289	5,24	24	0,39
13	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehr.) Van Heurck	392	7,10	189	3,03
14	<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg var. <i>scutellum</i>			1	0,02
15	<i>Cymbopleura amphicephala</i> Krammer			2	0,03
16	<i>Denticula tenuis</i> Kützing	2	0,04		
17	<i>Diadesmis contenta</i> Grunow.			75	1,20
18	<i>Diadesmis gallica</i> Grunow			213	3,42
19	<i>Diatoma hyemalis</i> (hiemale) (Roth) Heiberg	69	1,25	351	5,64
20	<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) D.G. Mann in Round Crawford & Mann	4	0,07	30	0,48
21	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabh.) D.G. Mann in Round	22	0,40	109	1,75
22	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann	12	0,22	77	1,24
23	<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot	446	8,08	202	3,24
24	<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg			12	0,19
25	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Mills			4	0,06
26	<i>Eunotia exigua</i> (Breb.) Rabenhorst			4	0,06
27	<i>Eunotia exigua</i> (Brebisson ex Kützing) Rabenhorst	2	0,04		
28	<i>Eunotia glacialis</i> Meister			3	0,05
29	<i>Eunotia incisa</i> Gregory	2	0,04	4	0,06
30	<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	68	1,23	580	9,31
31	<i>Eunotia naegelii</i> Migula			4	0,06
32	<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg			2	0,03
33	<i>Eunotia soleirolii</i> (Kützing) Rabenhorst	6	0,11	18	0,29
34	<i>Eunotia sudetica</i> O. Müller			2	0,03
35	<i>Fragilaria capucina</i> Desm. (Grunow) Lange-Bertalot	4	0,07	836	13,42
36	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot			19	0,31
37	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> (Kütz) Lange-Bertalot ex Bukht.			18	0,29

38	<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	4	0,07	31	0,50
39	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	19	0,34	29	0,47
40	<i>Gomphonema bohemicum</i> Reichelt & Fricke			2	0,03
41	<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	8	0,14	101	1,62
42	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	6	0,11		
43	<i>Gomphonema minutum</i> (Ag.) Agardh	172	3,12	26	0,42
44	<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing	75	1,36	229	3,68
45	<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson	2	0,04		
46	<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann			1	0,02
47	<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot var. <i>atomus</i>			8	0,13
48	<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	17	0,31	177	2,84
49	<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	2	0,04		
50	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing			9	0,14
51	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot			33	0,53
52	<i>Navicula gregaria</i> Donkin			2	0,03
53	<i>Navicula hasta</i> Pantocsek	3	0,05	2	0,03
54	<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	4	0,07	3	0,05
55	<i>Navicula lesmonensis</i> Hustedt	2	0,04		
56	<i>Navicula radiosa</i> Kützing			4	0,06
57	<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot	1	0,02		
58	<i>Navicula upsaliensis</i> (Grunow) Peragallo	2	0,04		
59	<i>Neidium bisulcatum</i> Lagersted			2	0,03
60	<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	6	0,11	4	0,06
61	<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller			7	0,11
62	<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow			2	0,03
63	<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	55	1,00	2	0,03
64	<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch ex Cleve & Grunow	2	0,04		
65	<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W.M. Smith	4	0,07	8	0,13
66	<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow) M. Peragallo			42	0,67
67	<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch in Rabenhorst	3	0,05		
68	<i>Nupela lapidosa</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot var. <i>lapidosa</i>	6	0,11	31	0,50
69	<i>Orthoseira dendroderes</i> (Ehrenberg) Crawford			2	0,03
70	<i>Pinnularia acrospheria</i> W. Smith			2	0,03
71	<i>Pinnularia appendiculata</i> (Agardh) Cleve			4	0,06
72	<i>Pinnularia brebissonii</i> (Kütz.) Rabenhorst	4	0,07	4	0,06
73	<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	4	0,07	2	0,03
74	<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory	4	0,07		
75	<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	4	0,07	4	0,06
76	<i>Planothidium delicatulum</i> (Kütz.) Round & Bukhtiyarova	3	0,05		
77	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brebisson ex Kützing) Lange-Bertalot	435	7,88	1025	16,46
78	<i>Platessa conspicua</i> (A.Mayer) Lange-Bertalot	18	0,33		
79	<i>Psammothidium chlidanos</i> (Hohn & Hellerman) Lange-Bertalot			18	0,29
80	<i>Psammothidium daonense</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot			14	0,22
81	<i>Psammothidium oblongellum</i> (Oestrup) Van de Vijver	625	11,33	126	2,02
82	<i>Reimeria sinuata</i> (Greg.) Kociolek & Stoermer	56	1,01	29	0,47
83	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	2273	41,19	429	6,89



84	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müller			6	0,10
85	<i>Sellaphora mutatoides</i> Lange-Bertalot & Metzeltin	4	0,07		
86	<i>Sellaphora stroemii</i> (Hustedt) Kobayasi in Mayama Idei Osada & Nagumo	5	0,09		
87	<i>Stauroneis gracilima</i> Hustedt	2	0,04		
88	<i>Stauroneis kriegeri</i> Patrick			2	0,03
89	<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	2	0,04	2	0,03
90	<i>Surirella angusta</i> Kützing	2	0,04		
91	<i>Thalassiosira visurgis</i> Hustedt	1	0,02		
92	<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara			4	0,06
93	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère			30	0,48