

## Diatomées des mares : Études préliminaires de l'écologie des mares permanentes et éphémères de la région Centre (France)

*Diatoms in ponds: Preliminary studies of the ecology of the permanent  
and ephemeral ponds in the region Centre (France)*

par Jean Bertrand\*, Luc Ector\*\* & Jean-Pierre Renon\*\*\*

\* 42 rue de Malvoisine, F-45800 Saint-Jean-de-Braye, France

\*\* Public Research Centre - Gabriel Lippmann, Department of Environment and Agro-biotechnologies (EVA),  
41 rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

\*\*\* 6 rue de la Bascule, F-45100 Orléans, France

**RESUME :** Le but de cette recherche est de comprendre la répartition des peuplements de diatomées dans les milieux spécifiques que sont les mares. L'étude de 130 mares de la région Centre (France) s'est appuyée sur le classement de Sajaloli suivant des critères d'anthropisation en treize types bien déterminés. Les auteurs démontrent que ces biotopes pratiquement jamais étudiés dans l'ensemble de leurs composantes physico-chimiques et floristiques sont d'un grand intérêt puisqu'elles ont très peu d'espèces de diatomées en commun avec les rivières de la même région. La répartition entre le nord et le sud de la Loire n'a montré aucune différence notable dans les peuplements, alors qu'il existe une divergence importante dans les caractéristiques physico-chimiques des eaux des mares. Les groupements des diatomées et leur répartition sont en accord avec la typologie de Sajaloli, alors que la chimie des eaux des mares ne restitue qu'imparfaitement cette répartition. En conclusion, les diatomées semblent pouvoir être utilisées pour la création d'un indice spécifique de la qualité des eaux des mares.

**MOTS-CLES :** Algues, Bacillariophycées, bioindication, Bassin de la Loire, mares, substrats.

**ABSTRACT:** The purpose of this research is to understand the distribution of diatom assemblages in specific environments such as permanent and ephemeral ponds. The typological classification of Sajaloli, based on anthropogenic criteria, has been used to study 130 ponds of the Centre region of France in thirteen well-defined types. The authors show that these biotopes are of particular interest because they have a very small assemblage of diatoms also found in rivers of the same region. Distribution between the north and south of the Loire River shows no significant difference in the diatom species populations, despite a significant discrepancy in the physicochemical characteristics of water in the ponds. Diatom associations and their distribution are consistent with Sajaloli's typological classification, when water chemistry of ponds imperfectly reproduces this distribution.

**KEYWORDS:** Algae, Bacillariophyceae, bioindication, Loire basin, ponds, small water bodies, substrates.

### INTRODUCTION

#### DÉFINITION DE LA MARE

La mare telle que définie par Sajaloli & Dutilleul (2001) est une pièce d'eau allant de 50 à 5.000 m<sup>2</sup> pour une profondeur maximale de 2 m ; contrairement aux étangs, elle ne comporte pas d'exutoire artificiel permettant de la vidanger. Leur nombre est estimé à près de 600 000 sur le territoire français.

La mare est un milieu particulier autonome avec une dynamique qui lui est propre, puisqu'il reçoit des apports

de l'extérieur, mais n'exporte rien d'autre que de l'eau par évaporation.

Les algues microscopiques appelées diatomées (Bacillariophycées) font partie du microphytoplancton et du microphytobenthos présents dans les mares. À notre connaissance très peu d'études ont abordé le problème complexe de la biodynamique des mares. Nous distinguerons trois types de travaux : ceux qui portent en général sur les lacs et les étangs, ceux qui sont consacrés spécifiquement aux diatomées des mares et ceux qui abordent de près ou de loin les diatomées et la qualité des eaux.

Ainsi, Oertli *et al.* (2000) s'intéressent à la diversité biologique des petits lacs et étangs de Suisse. Carré (1997) détermine une typologie des mares. Sajaloli & Dutilleul (2001) montrent l'importance primordiale de ces milieux pour la biodiversité. Bodin (2001) étudie la flore et la végétation des mares du Cher (France). Hamard *et al.* (2001) s'intéressent à leur fonctionnement physico-chimique. Kilroy *et al.* (2006) étudient vingt mares de faible profondeur dans le sud des Alpes en relation avec les diverses algues présentes, dont les diatomées.

Kitner & Poulickova (2003) montrent l'importance de la relation entre poissons et diatomées, celles-ci étant de bons indicateurs d'eutrophisation. Concernant les relations avec les diatomées, au point de vue de la physico-chimie, Stenger-Kovacs *et al.* (2007) démontrent les relations diatomées / phosphore dans 83 étangs ou lacs de Hongrie.

Deux études limitées à la seule taxonomie sous forme de listes, celle de Colombier (1907), portant sur 186 espèces de diatomées récoltées dans des mares sur un rayon de 10 km autour d'Orléans, et celle, plus récente, de Guermeur (1968), qui relate la flore diatomique de trois mares de Beaugency récoltée en 1943, sont les seules existant dans la région Centre. En outre, aucune étude jusqu'à ce jour, sauf erreur, n'avait abordé le problème écologique dans son entièreté. Toutefois, quelques études plus complètes au point de vue de l'écologie ont été réalisées portant sur neuf mares du centre de la France, dans la région de Bourges (Milot, 2002 ; Milot *et al.* 2006), et celle de Bertrand *et al.* (2007) sur une mare artificielle incluant les diatomées, utilisant le logiciel OMNIDIA toujours à titre de contrôle et d'essai de sa validité.

Deux études ayant pour but les peuplements de diatomées des tourbières (Bertrand *et al.*, 2004 ; Bertrand & Boudier, 2006) ont aussi été réalisées ; les mares des tourbières restent néanmoins très éloignées morphologiquement, floristiquement et chimiquement des mares de la région Centre.

Quelques rares études synthétiques de la chimie des eaux ont été réalisées sur le sujet. Fernandez-Alaez *et al.* (1992) utilisent deux indices : ICG et ISQA (Mingo, 1981 ; Queralt, 1982). Leclercq & Maquet (1987) créent un indice IPO, repris par Leclercq en 1995 et abandonné depuis cette date. Blanco *et al.* (2004) démontrent l'applicabilité des indices diatomiques aux lacs méditerranéens peu profonds, en particulier l'indice biologique diatomées (IBD) de Prygiel & Coste (2000) ou encore l'indice de pollu-sensibilité spécifique (IPS) (CEMAGREF, 1982-84-91). Par ailleurs, pour des applications spécifiques telles que des stations d'épuration, de rares tentatives ont été menées à l'aide des diatomées (Leclercq, 1995) sans avoir eu de développement important.

Il existe un très grand nombre de travaux sur l'élaboration d'indices synthétiques concernant la qualité des eaux des rivières à l'aide des diatomées, nous ne nous y attardons pas dans cet article.

Ainsi, à ce jour, semble-t-il, aucun indice synthétique de la qualité des eaux des mares englobant la chimie, tentant d'utiliser l'IBD par l'intermédiaire du logiciel OMNIDIA, les diatomées et les végétaux aquatiques n'a été établi mis à part les travaux de Milot *et al.* (2006). Dans les lacs et les étangs, leur dynamique biologique de fonctionnement est si différente de celle des mares qu'il nous semblait risqué d'appliquer ces indices sans une étude spécifique approfondie. Afin de mieux appréhender ces milieux stagnants et dans l'avenir proposer un indice de qualité spécifique de ces derniers, il nous a semblé indispensable d'étudier 130 mares de la région d'Orléans (Centre) suivant le plan Sajaloli qui en définissait quatorze types (dont un a

disparu depuis 2001) ; de là est né le programme scientifique ValMares (VALOriser, se Mobiliser pour l'Aménagement et la Restauration de l'Eau qui Sommeille ; Bertrand *et al.* 2010).

Dans le cadre de cet article nous n'aborderons pas le problème de la qualité des eaux des mares qui sera traité ultérieurement dans un autre article, mais seulement l'étude des peuplements qui est un préalable et pose deux questions fondamentales.

1) - Les espèces de diatomées dulçaquicoles généralement benthiques, pouvant se rencontrer en milieu pélagique (notion de tychoplancton) dans les rivières, peuvent-elles s'adapter aux conditions physiques particulières propres aux mares : température élevée, brassages éoliens, présence de macro-organismes turbulents, présence de macrophytes, faible profondeur, etc. ?

2) - Les diatomées présentes dans les mares répondent-elles aux conditions du milieu de la même façon ou différemment des diatomées benthiques des cours d'eau ?

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le projet « ValMares » est ancré dans une bande géographique orientée grossièrement nord-est / sud-ouest. Précisément, cette bande va d'Aschères-le-Marché, en Beauce, à Ligny-le-Ribault, en Sologne ; elle se déroule sur environ 1000 km<sup>2</sup> de superficie (figure 1), elle est traversée d'est en ouest par la Loire au centre de la surface explorée. Ce transect traverse donc le plateau calcaire de la Beauce et les sables et argiles de la forêt d'Orléans et de Sologne. Les mares explorées se trouvent sur ces divers substratums, qui ne furent reconnus qu'après prospection. Le choix des mares s'est donc fait en partie par la connaissance cartographique et par l'exploration sur le terrain. Les treize types de mares sont dénommés en fonction de leur situation forestière, champêtre ou urbaine : feuillus, résineux, taillis, lisières, coupes et fourrés, landes et friches, routes et autoroutes, chemins, prairies, champs, extérieurs de bâtiments, périphérie de villages, intérieurs de villages. 130 mares ont été retenues selon le plan suivant : cinq mares de chaque type au nord et cinq mares de chaque type au sud de la Loire (5 + 5) x 13 = 130). L'alimentation en eau par les fossés se rencontre dans la majorité des cas (43 %) au nord, mais un peu moins fréquemment (35 %) au sud. La situation est inverse pour l'alimentation par ruissellement ou capillarité : 32 % des mares au nord et 42 % au sud. Autrement dit, dans les trois quarts des cas, au nord comme au sud, le cheminement de l'eau de pluie se fait plutôt naturellement, l'intervention humaine ne se produisant qu'au travers des fossés, en supposant qu'ils soient curés fréquemment, ce qui est loin d'être le cas. L'influence humaine est sans doute plus nette dans le cas des mares de village ou proches des habitations (au sud 23 % et au nord 25 %), puisqu'alors l'eau s'écoule jusqu'aux mares après avoir ruisselé sur des toits et avoir circulé dans des tuyaux en ciment ou en plastique.

La permanence de l'eau dans les mares est un point crucial qui a des conséquences décisives sur les peuplements qui s'y installent. Au nord comme au sud, les proportions sont identiques : 45 mares permanentes et 20 mares temporaires.

Pour chaque mare, des mesures ou estimations de certains paramètres topologiques et écologiques ont été notées : nature géologique du substrat, mode d'alimentation en eau, permanence saisonnière, présence de poissons, dimensions (superficie et profondeur), pente des berges, ombrage.

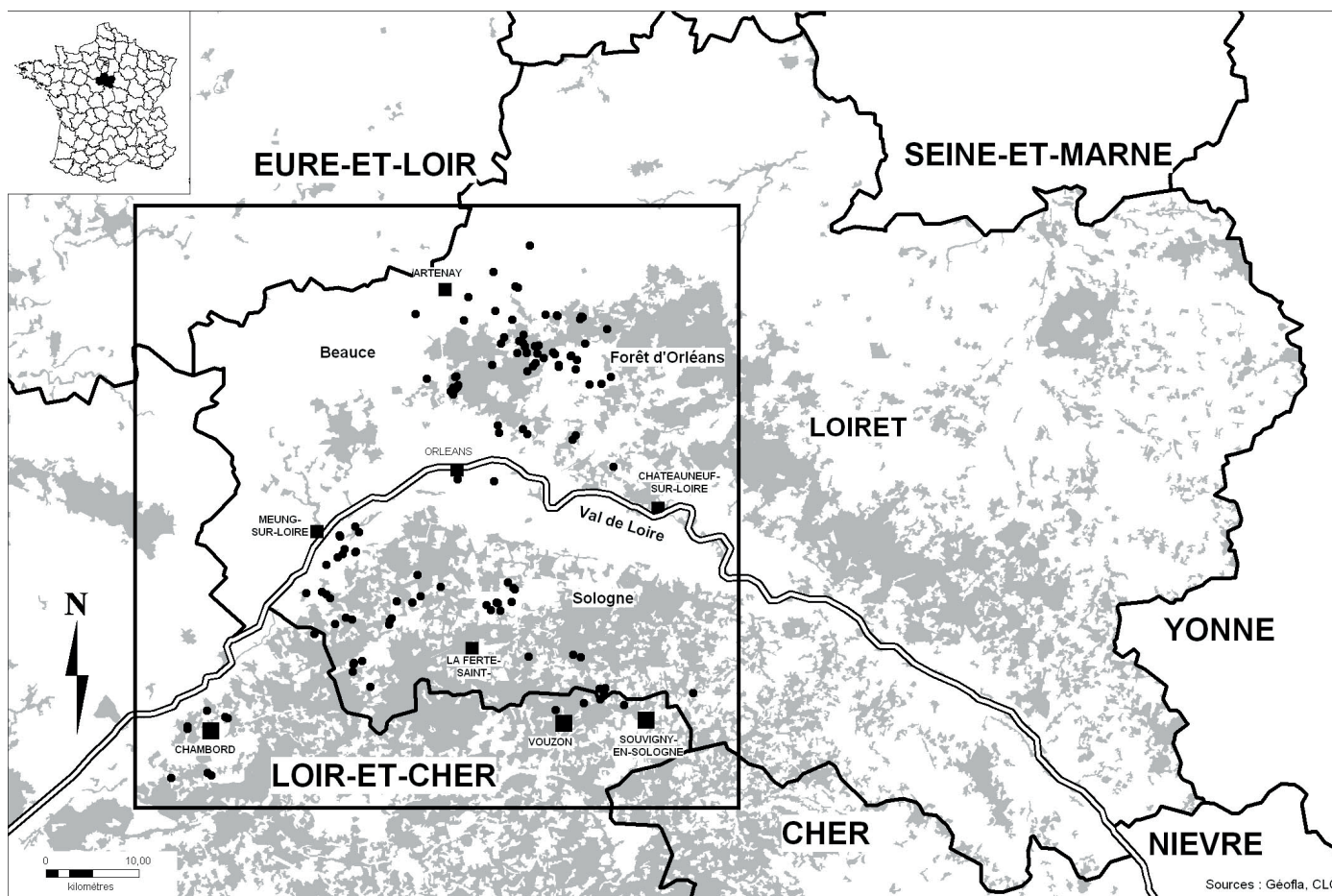


Figure 1. Carte géographique de localisation du projet ValMares.

La projection de quatre de ces paramètres (surface, ombrage, profondeur et pente des berges) et des 130 mares dans le plan des facteurs 1 et 2 d'une analyse en composantes principales (ACP) a permis de constater que notre échantillonnage de mares était aléatoire ( $p < 0,05$ ).

### RÉCOLTES, GÉNÉRALITÉS

Classiquement, la récolte des diatomées dans les rivières procède de méthodes normalisées bien connues, dont l'essentiel consiste à brosser une surface dure naturelle ou artificielle, roche ou cailloux de dimension déterminée, dans le lit de la rivière, si possible au centre (Rumeau & Coste, 1988 ; Prygiel & Coste, 2000 ; IBD NF T 90-354). Dans les mares, de par l'absence quasi constante de supports lithiques naturels ou artificiels, la récolte standardisée des diatomées s'avère un problème primordial jamais abordé ; cependant il est nécessaire d'y apporter une solution pour aboutir à une standardisation permettant l'étude écologique des diatomées. Dans cette perspective et en vue de la mesure de la qualité biologique des eaux des mares, nous avons décidé de récolter les diatomées sur un maximum de supports immergés disponibles et/ou accessibles.

Dans l'étude de Bertrand *et al.* (2013) nous avons remarqué trois groupes de supports colonisés chacun par des peuplements différents (tableau 1) :

a) les cailloux, murs et racines ;

b) les feuilles mortes, branches mortes, graminées, plantes vivantes et mousses immergées ;

c) trois supports indépendants largement isolés : les sphaignes, la boue et les tiges vivantes.

Ceci nous conduit à recommander la récolte sur le plus grand nombre possible de supports immergés. Pour les différents supports nous avons choisi les méthodologies relatives dans Bertrand *et al.* (2013).

À chaque mare, outre les données géomorphologiques notées précédemment, nous avons prélevé de l'eau en vue d'analyses chimiques. Quatorze paramètres ont été analysés à l'aide de tests classiques rapides (kits de Macherey-Nagel).

La récolte a été conservée dans des flacons de 150 cm<sup>3</sup> avec de l'eau de la mare. Aucun conservateur n'a été ajouté ; l'extraction des diatomées et l'analyse des quatorze paramètres chimiques (dont deux ont été mesurés sur le terrain : pH et conductivité) ont été réalisées dans les 24 heures.

Le brossage des supports étant exclu en raison de l'inefficacité de l'extraction des petites diatomées logées dans les interstices de certains substrats, toutes ces récoltes ont été traitées par la méthode utilisée par Bertrand *et al.* (2004). Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel ADE4 (Doledec & Chessel, 1989 ; Thioulouse *et al.*, 1997).

Les genres et espèces (tableau 2) ont été déterminés d'après Germain (1981), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, b), Krammer (1992), Lange-Bertalot (1993).



**Tableau 1.** Répartition des taxons selon les supports.

Supports	Fréquence des taxons / 80% de l'abondance
Feuilles mortes immergées	16.30 %
Plantes aquatiques	14.00 %
Branches mortes	59.40 %
Graminées	16.30 %
Mousses immergées	17.20 %
Sphaignes	16.70 %
Racines	13.40 %
Cailloux	21.40 %
Tiges immergées	20.20 %
Boue	22.10 %
Murs	27.30 %
Plancton	13.40 %

**Tableau 2.** Liste des genres et espèces.

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Achnanthes biasolettiana</i> Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-
<i>Achnanthes catenata</i> J. Bílý & Marvan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
<i>Achnanthes exilis</i> Kützing	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
<i>Achnanthes hungarica</i> (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow	2.8	1.8	0.1	0.8	-	0.3	-	0.5	11.0	2.5	1.3	0.8	0.1
<i>Achnanthes kranzii</i> Lange-Bertalot in Lange-Bertalot & Krammer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-	-
<i>Achnanthes laevis</i> Østrup	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>dubia</i> (Grunow) Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i> var. <i>rostrata</i> (Østrup) Hustedt	-	-	-	2.1	0.1	0.4	0.4	0.1	2.1	-	0.2	1.5	0.1
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow in Van Heurck var. <i>lanceolata</i>	0.3	0.1	0.1	0.6	0.2	0.1	0.7	0.6	5.4	9.7	1.0	1.8	1.4
<i>Achnanthes lutheri</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>affinis</i> (Grunow) Lange-Bertalot	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.4	-
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>gracillima</i> (F. Meister) Lange-Bertalot	3.0	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i> (Rabenhorst) Lange-Bertalot & Ruppel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	2.6
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing var. <i>minutissima</i>	9.6	8.2	2.7	14.2	6.7	14.5	18.0	10.5	6.6	2.2	12.3	3.5	8.4
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>saprophila</i> H. Kobayasi & Mayama	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	0.7	-	-	2.8	3.1

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Amphipleura pellucida</i> (Kützing) Kützing	-	-	-	3.1	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.9	0.2	-	0.2	-
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow in Schmidt et al.	0.1	0.2	-	-	-	-	-	-	0.1	0.2	0.2	4.4	3.3
<i>Amphora veneta</i> Kützing	0.1	0.2	-	-	-	-	0.2	0.0	2.6	0.9	0.2	0.1	-
<i>Anomoeoneis brachysira</i> (Brébisson in Rabenhorst) Cleve	-	0.4	3.3	0.3	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> Pfitzer	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1	-	-	-
<i>Aulacoseira crenulata</i> (Ehrenberg) Thwaites	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.0	-	-	-
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.5	2.0
<i>Aulacoseira pfaffiana</i> (Reinsch) Krammer	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	0.4	0.1	0.2	-
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	2.9	-	0.4	4.8
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	-	-	-	0.4	-	-	0.7	-	1.0	2.3	0.3	0.7	1.9
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.9
<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	1.0	0.8
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	5.4
<i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemmermann	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3
<i>Cyclotella woltreckii</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.2
<i>Cymbella aequalis</i> W. Smith in Greville	-	0.1	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella angustata</i> (W. Smith) Cleve	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-
<i>Cymbella caespitosa</i> (Kützing) Brun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	1.3
<i>Cymbella cesatii</i> (Rabenhorst) Grunow in Schmidt et al.	-	-	-	1.0	-	7.2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella cistula</i> (Hemprich in Hemprich & Ehrenberg) Kirchner	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
<i>Cymbella falaisensis</i> (Grunow) Krammer & Lange-Bertalot	-	-	-	1.1	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella gracilis</i> (Ehrenberg) Kützing	0.3	1.3	3.5	-	5.0	4.3	-	0.8	-	-	-	-	-
<i>Cymbella incerta</i> (Grunow) Cleve	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella mesiana</i> Cholnoky	0.7	0.7	0.2	0.6	0.3	0.2	-	0.5	-	-	0.3	0.8	-
<i>Cymbella microcephala</i> Grunow in Van Heurck	-	-	-	0.2	-	-	2.1	-	-	-	1.0	-	0.7
<i>Cymbella minuta</i> Hilse ex Rabenhorst	0.1	0.1	-	0.3	0.3	2.3	-	0.2	-	-	0.5	1.6	0.6
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.2
<i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch in Rabenhorst	0.7	0.4	-	0.7	2.1	0.1	-	0.3	0.1	0.1	0.5	0.5	0.3
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson ex Kützing) Van Heurck	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Diatoma vulgaris</i> Bory	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	0.1	-	-	0.3
<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	0.3	1.5	-	0.2	0.3
<i>Epithemia zebra</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	-	-	-	-	0.4	0.1	0.5	-	0.2	2.5	3.6
<i>Eunotia arculus</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Nörpel	0.3	1.0	0.4	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt var. <i>bilunaris</i>	18.1	14.2	18.4	10.0	18.0	16.1	2.0	19.9	2.1	2.0	1.4	1.4	0.4
<i>Eunotia bilunaris</i> teratological form	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia bilunaris</i> var. <i>mucophila</i> Lange-Bertalot, Nörpel & Alles	1.1	2.6	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia circumborealis</i> Lange-Bertalot & Nörpel	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	0.5	-
<i>Eunotia cristagalli</i> Cleve	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia diodon</i> Ehrenberg	-	0.2	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	0.8	1.0	2.3	-	0.4	1.6	-	0.8	-	-	-	-	-
<i>Eunotia fallax</i> A. Cleve	0.1	-	0.1	2.8	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson) Kützing	1.4	0.3	-	0.4	0.0	0.3	-	0.5	-	-	-	-	-
<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-
<i>Eunotia glacialis</i> F. Meister	0.1	0.1	1.1	0.1	1.1	0.1	0.2	-	-	0.2	0.0	-	-
<i>Eunotia implicata</i> Nörpel, Alles & Lange-Bertalot	4.4	4.8	3.7	2.3	1.0	0.4	0.5	1.0	-	-	0.7	-	0.1
<i>Eunotia incisa</i> W. Gregory	1.1	0.7	4.2	0.6	1.7	1.5	-	0.1	-	-	-	-	0.1
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow in Van Heurck	1.0	0.9	4.4	1.8	1.7	2.3	0.2	4.3	0.3	0.3	0.2	0.2	-
<i>Eunotia monodon</i> var. <i>bidens</i> (W. Gregory) Hustedt	0.4	-	0.2	-	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg var. <i>monodon</i>	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörpel & Lange-Bertalot	-	-	0.7	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia naegelii</i> Migula	2.3	3.3	2.3	5.6	4.8	0.9	-	1.6	-	-	0.2	1.3	-
<i>Eunotia naegelii</i> teratological form	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia paludosa</i> Grunow var. <i>paludosa</i>	-	0.1	0.5	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia paludosa</i> var. <i>trinacria</i> (Krasske) Nörpel & Alles	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia parallela</i> Ehrenberg	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst	4.6	2.4	1.3	1.3	0.2	1.3	0.4	0.5	0.1	0.9	-	-	0.8

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Eunotia pirla</i> J.R. Carter & Flower	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg	2.0	0.1	0.8	0.1	0.2	0.3	0.1	0.9	-	-	-	-	-
<i>Eunotia rhomboidea</i> Hustedt	-	-	0.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia septentrionalis</i> Østrup	2.6	0.3	0.1	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	0.1
<i>Eunotia soleirolii</i> (Kützing) Rabenhorst	0.7	0.2	1.7	0.4	0.8	0.2	0.1	0.5	-	0.6	-	-	-
<i>Eunotia steineckeii</i> J.B. Petersen	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia tenella</i> (Grunow) Hustedt in Schmidt <i>et al.</i>	0.2	0.6	1.2	-	1.5	0.1	-	0.6	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria bidens</i> Heiberg	-	-	-	-	-	-	4.8	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria brevistriata</i> var. <i>elliptica</i> Héribaud	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	3.7	-
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (Østrup) Hustedt	0.8	-	1.0	0.3	0.6	4.5	2.2	1.3	-	-	0.2	0.3	1.4
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabenhorst) Rabenhorst	-	0.9	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	-	0.3	0.7
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>perminuta</i> (Grunow) Lange-Bertalot	0.5	-	-	0.1	-	-	-	-	-	0.4	0.6	-	0.1
<i>Fragilaria capucina</i> ssp. <i>rumpens</i> (Kützing) Lange-Bertalot	0.1	0.7	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	0.2	-	-	0.6	0.2	0.5	1.2	0.1	0.7	0.8	0.1	0.1	0.2
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow f. <i>construens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> (Ehrenberg) Hustedt	-	0.5	0.7	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.2	-
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-
<i>Fragilaria delicatissima</i> (W. Smith) Lange-Bertalot	0.6	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	-	-	-	-	0.1	-	-
<i>Fragilaria elliptica</i> Schumann	0.1	-	-	4.1	-	0.8	-	0.2	0.3	0.1	6.8	2.6	1.1
<i>Fragilaria nanana</i> Lange-Bertalot	0.3	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.3	-	0.6
<i>Fragilaria nitzschoides</i> Grunow in Van Heurck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-
<i>Fragilaria tenera</i> (W. Smith) Lange-Bertalot	1.4	-	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.2	0.9	1.5	-
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	0.2	-	-	0.1	-	-	0.2	-	-	0.1	-	0.5	4.0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot var. <i>ulna</i>	2.4	-	-	0.2	-	0.1	0.2	0.1	1.1	1.6	0.3	0.4	0.1
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>crassinervia</i> (Brébisson in W. Smith) R. Ross	0.2	2.2	2.6	0.2	1.6	1.8	-	0.4	-	-	-	-	-
<i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rabenhorst) De Toni	0.2	-	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	0.1	-	-	-
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	2.2	-	0.4	0.2	0.6	-	0.5	0.2	0.6	0.7	-	0.2	0.1
<i>Gomphonema acutiusculum</i> (O. Müller) Cleve-Euler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Gomphonema affine</i> Kützing	0.6	0.2	-	1.4	0.5	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4
<i>Gomphonema amoenum</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	-	0.2	0.1	0.1	0.2	0.7	-	0.1	1.1
<i>Gomphonema angustum</i> C. Agardh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-	0.2
<i>Gomphonema auritum</i> A. Braun ex Kützing	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema bohemicum</i> Reichelt & Fricke in Schmidt et al.	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	0.9	-	-	0.8	0.1	0.1	1.3	2.7	2.3	2.7	0.2	0.5	0.7
<i>Gomphonema constrictum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	-	-	0.1
<i>Gomphonema exiguum</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	1.1	1.7	10.1	1.1	3.2	1.8	2.1	1.1	0.2	0.1	0.6	1.7	0.4
<i>Gomphonema insigne</i> W. Gregory	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Gomphonema minutum</i> (C. Agardh) C. Agardh	-	-	-	-	0.9	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-
<i>Gomphonema parallelistriatum</i> Lange-Bertalot & E. Reichardt	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> Grunow in Van Heurck	0.1	-	-	-	0.8	-	-	0.1	0.1	-	0.1	-	0.1
<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>	7.0	7.8	4.9	7.2	10.7	4.2	12.9	9.0	9.7	9.8	6.8	8.9	3.4
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> Lange-Bertalot & E. Reichardt	-	0.4	-	-	0.2	-	3.3	-	0.6	-	0.2	-	0.7
<i>Gomphonema pseudoaugur</i> Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-
<i>Gomphonema pseudotenellum</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E. Reichardt & Lange-Bertalot	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow in Van Heurck) Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.1	-
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.6	-	0.4	-
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.3	-	0.1	0.2	-
<i>Hantzschia abundans</i> Lange-Bertalot	-	-	-	0.2	-	-	0.3	0.1	0.1	-	-	-	-
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	1.0	0.1	0.1	0.3	0.1	-	0.2
<i>Hantzschia elongata</i> (Hantzsch) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	-	-	-	-	-	-	-	0.2	1.7	0.1	0.2	0.4	-
<i>Meridion constrictum</i> Ralfs	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula absoluta</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Navicula accomoda</i> Hustedt	-	-	-	0.2	-	-	0.3	-	0.2	0.2	1.3	-	-
<i>Navicula atomus</i> (Kützing) Grunow	-	0.1	-	-	0.1	-	0.8	0.2	0.2	-	0.5	0.1	0.7
<i>Navicula begeri</i> Krasske	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula capitata</i> (Ehrenberg) R. Ross	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.3	-	-	-



Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Navicula capitatoradiata</i> H. Germain	0.2	-	-	0.5	-	-	-	0.9	1.6	0.7	0.4	0.3	0.6
<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.5	-	-	-
<i>Navicula cohnii</i> (Hilse) Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot	-	0.1	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	0.1	-
<i>Navicula contenta</i> Grunow in Van Heurck	0.2	-	-	-	-	-	1.4	0.3	-	-	0.1	-	0.1
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	0.5	0.3	-	1.1	0.2	0.3	2.3	0.5	0.2	2.6	2.8	3.9	1.4
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot	0.1	-	-	-	-	0.2	-	-	1.5	0.9	0.4	0.3	0.3
<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot	0.1	0.2	-	1.6	-	-	1.6	0.1	0.1	2.0	0.4	1.5	0.1
<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>ambigua</i> (Ehrenberg) Cleve	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	0.3	-	-
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing var. <i>cuspidata</i>	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	0.2	0.1	0.2
<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>heribaudii</i> Peragallo in Héribaoud	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula festiva</i> Krasske	-	0.5	0.6	-	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Navicula goeppertiana</i> (Bleisch ex Rabenhorst) H.L. Smith	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1	0.3	-	-
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
<i>Navicula halophila</i> (Grunow in Van Heurck) Cleve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-
<i>Navicula hustedtii</i> Krasske	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula ignota</i> var. <i>acceptata</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
<i>Navicula insociabilis</i> Krasske	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula joubaudii</i> H. Germain	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	1.2	2.7	-	-	-
<i>Navicula lanceolata</i> (C. Agardh) Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Navicula mediocris</i> Krasske	-	1.8	0.4	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula menisculus</i> Schumann	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.4	4.1	0.4
<i>Navicula microcari</i> Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula minima</i> Grunow in Van Heurck	6.0	4.8	1.1	7.4	1.3	2.3	4.9	8.6	8.5	14.8	9.3	7.2	3.4
<i>Navicula molestiformis</i> Hustedt	0.2	0.2	-	0.4	0.3	0.3	1.1	0.4	1.2	2.6	0.5	0.1	-
<i>Navicula mutica</i> var. <i>ventricosa</i> (Kützing) Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
<i>Navicula muticopsis</i> Van Heurck	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula pelliculosa</i> (Kützing) Hilse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.3
<i>Navicula perminuta</i> Grunow in Van Heurck	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula pseudobryophila</i> Hustedt	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula pupula</i> Kützing	0.5	0.3	-	0.3	-	0.1	0.4	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1
<i>Navicula pygmaea</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	0.1	-	-	0.2	0.4	0.4	0.9	0.2	1.1	0.5	0.0	1.4	1.0
<i>Navicula radiosafallax</i> Lange-Bertalot	0.1	-	7.1	0.2	-	3.0	0.7	-	0.4	0.1	-	0.5	-
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Navicula saprophila</i> Lange-Bertalot & Bonik	0.3	0.2	-	0.2	0.8	0.2	7.5	0.4	1.6	2.8	9.1	0.1	2.1
<i>Navicula seminulum</i> Grunow	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
<i>Navicula soehrensensis</i> Krasske	0.1	-	0.1	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula subminuscula</i> Manguin	0.1	-	-	0.1	-	-	-	-	3.6	1.5	0.1	0.1	0.2
<i>Navicula suchlandtii</i> Hustedt	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Navicula tenelloides</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-
<i>Navicula tridentula</i> Krasske	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.7	-
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot	0.1	-	-	0.2	-	-	-	-	0.7	0.8	4.2	0.2	0.8
<i>Navicula veneta</i> Kützing	-	-	-	0.5	-	-	-	-	0.3	0.7	0.7	0.3	0.3
<i>Navicula wildii</i> Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neidium alpinum</i> Hustedt	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neidium ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer in Krammer & Lange-Bertalot	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neidium hercynicum</i> Ant. Mayer	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neidium productum</i> (W. Smith) Cleve	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	-	0.1	-	-	-	0.1	-
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith	-	-	-	-	-	-	0.3	0.2	-	-	0.2	0.2	2.8
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot	0.9	3.4	1.7	1.0	5.2	3.5	0.7	1.9	0.1	0.5	0.4	-	2.5
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	-	0.1	-	-	-	-	0.3	-	1.5	1.1	0.9	4.0	1.3
<i>Nitzschia angustata</i> (W. Smith) Grunow	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia bryophila</i> (Hustedt) Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
<i>Nitzschia communata</i> Grunow	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
<i>Nitzschia constricta</i> (W. Gregory) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-
<i>Nitzschia debilis</i> (Arnott in O'Meara) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	0.2	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.4	1.2	5.2
<i>Nitzschia draveillensis</i> M. Coste & Ricard	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6
<i>Nitzschia dubia</i> W. Smith	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	0.1	-	0.2	-
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	0.3	-	0.7	-	-	0.2	2.3	1.4	0.5	-
<i>Nitzschia fruticosa</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch	-	-	-	0.2	-	1.9	1.0	1.7	0.1	-	-	1.8	0.6
<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.5	1.1	-	-
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
<i>Nitzschia intermedia</i> var. <i>robusta</i> Hustedt	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia linearis</i> (C. Agardh) W. Smith var. <i>linearis</i>	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	0.3
<i>Nitzschia linearis</i> var. <i>tenuis</i> (W. Smith) Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia modesta</i> Hustedt ex Brendemuhl	0.2	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.3	-	-	-

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Nitzschia obtusa</i> W. Smith	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	0.9	0.9	-	1.0	0.7	1.2	2.3	1.5	7.1	2.0	8.2	4.9	6.9
<i>Nitzschia paleacea</i> Grunow in Van Heurck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.6	-
<i>Nitzschia paleaeformis</i> Hustedt	0.1	2.5	1.6	2.4	4.6	2.1	0.9	4.6	-	-	0.9	1.0	0.5
<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow in Van Heurck) Peragallo	2.4	2.0	0.5	3.7	2.3	4.7	3.8	6.7	4.2	0.7	6.2	1.4	1.9
<i>Nitzschia prolongata</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	-	-	-	-
<i>Nitzschia pseudofonticola</i> Hustedt	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia pumila</i> Hustedt	-	0.9	0.7	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst	-	-	-	0.7	-	-	1.9	-	-	0.5	0.2	0.4	-
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-
<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>delognei</i> (Grunow in Van Heurck) Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.3	0.9
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	0.2	-	0.1
<i>Nitzschia tubicola</i> Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia appendiculata</i> var. <i>amaniana</i> Krammer	0.2	0.7	-	-	0.2	0.3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	0.1	0.1	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia braunii</i> (Grunow) Cleve	-	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	-	0.1	-	-	0.1	-	-
<i>Pinnularia brebissonii</i> (Kützing) Rabenhorst	-	-	-	-	0.3	-	-	-	0.2	-	-	-	-
<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia divergens</i> W. Smith	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia divergentissima</i> var. <i>capitata</i> Hustedt	-	-	-	0.2	0.1	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.8	0.2	-
<i>Pinnularia jocolata</i> (Manguin) Krammer	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia legumen</i> Ehrenberg	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia mesolepta</i> (Ehrenberg) W. Smith	-	-	-	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	0.2	0.2	0.3	0.1	0.5	0.4	-	0.2	0.2	0.1	-	0.8	-
<i>Pinnularia neomajor</i> Krammer	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	-	0.2	-	0.3	0.1	-	-
<i>Pinnularia nodosa</i> (Ehrenberg) W. Smith	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia obscura</i> Krasske	0.2	0.1	0.3	0.1	-	-	0.1	0.1	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia silvatica</i> J.B. Petersen	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia sinistra</i> Krammer	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-
<i>Pinnularia subcapitata</i> var. <i>elongata</i> Krammer	0.1	-	0.4	0.2	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	-	-
<i>Pinnularia subcapitata</i> W. Gregory var. <i>subcapitata</i>	2.1	2.1	2.6	1.2	8.7	0.9	0.3	0.8	0.1	1.4	0.0	0.1	-
<i>Pinnularia viridiformis</i> Krammer	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	-	0.3	-	-	0.1	-	-
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.5	0.3	-
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	-	-	-	0.9	-	-	0.8	-	0.1	-	0.2	0.3	0.2
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	0.1	0.3	0.6	0.2	0.1	0.1	0.7	0.1	-	0.2	-	-	-
<i>Stauroneis anceps</i> f. <i>gracilis</i> Rabenhorst	-	-	-	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	-	-

Tableau 2 (suite).

Taxons	Feuillus	Résineux	Taillis	Lisières	Coupes - Fourrés	Landes - Friches	Routes - Autoroutes	Chemins	Prairies	Champs	Extérieurs bâtiments	Extérieurs villages	Intérieurs de villages
<i>Stauroneis gracilis</i> Ehrenberg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-
<i>Stauroneis kriegeri</i> R.M. Patrick	0.6	1.7	0.1	0.5	0.4	0.4	1.6	1.2	0.7	0.8	0.9	0.1	0.1
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stenopterobia curvula</i> (W. Smith) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stenopterobia delicatissima</i> (F.W. Lewis) Brébisson ex Van Heurck	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow in Cleve & Grunow	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.1	0.3	0.6
<i>Surirella angusta</i> Kützing	0.1	-	-	0.2	0.1	-	0.1	0.2	0.4	1.0	0.6	0.1	0.5
<i>Surirella minuta</i> Brébisson	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-	-	0.1
<i>Surirella ovalis</i> Brébisson	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-
<i>Surirella ovata</i> Kützing	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-
<i>Surirella venusta</i> Østrup	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	0.9	0.7	1.5	0.0	0.4	0.8	-	0.9	-	-	-	-	-
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	1.0	4.1	2.3	0.4	0.2	2.4	-	0.9	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle & Heimdal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	4.1	0.4
Total (%)	98.7	98.6	99.4	98.9	98.4	98.9	98.1	98.5	96.0	97.9	97.8	99.1	98.5

## RÉSULTATS

### CHIMIE DES EAUX

L'étude de la chimie des eaux des mares faisant l'objet d'une publication particulière (Bertrand & Renon, 2013), nous n'incluons dans cette publication que le tableau synthétique (tableau 3) comportant les quatorze paramètres chimiques dans les treize types de mares, justifiant les résultats suivants.

Dans la zone explorée de la région Centre, on constate que l'eau des mares est douce alors que celle des sources émergentes du plateau beauceron est riche en carbonates. La conductivité et la minéralisation sont très faibles. Il en est de même pour le pH, en moyenne de 6,5. L'ACP des données révèle une nette opposition entre les mares du nord et celles du sud de la Loire. Les premières ont une dureté et une conductivité 1,5 et 1,3 fois plus élevées que les secondes, celles-ci ayant une concentration en nitrates 7,5 fois plus forte. Enfin, l'isolement des nitrates est remarquable puisqu'il stigmatise par des concentrations élevées les mares de prairies, de champs, d'intérieurs de villages, d'extérieur de bâtiments ou de villages, donc une influence humaine plus forte au sud qu'au nord.

### APPROCHE FLORISTIQUE

Dans la suite du texte, le terme « taxon » désignera les espèces et les catégories infra-spécifiques (sous-espèces, variétés, écotypes ...).

Il a été effectué 290 récoltes (une à quatre récoltes par mare) réparties sur 141 mares dans treize des quatorze types définis par Sajaloli & Dutilleul (2001). Nous n'avons conservé que 265 récoltes provenant de 130 mares correspondant au plan d'échantillonnage prévu (10 mares x 13 types), qui nous ont fourni 382 espèces et sous-espèces réparties dans 36 genres. Dans ces 36 genres, l'abondance relative des 382 taxons classés selon un rang décroissant suit une courbe asymptotique bien connue en écologie (fig. 2). Quelques genres ou espèces montrent une grande abondance alors qu'un grand nombre d'espèces n'offrent que peu d'individus. Ainsi six genres représentent 84 % de l'abondance totale : *Eunotia* d'abondance 20,8 % ne représente que 9,2 % des espèces, tandis que *Navicula* d'abondance 17,3 % représente 17,3 % des espèces. De même *Achnanthes* avec une abondance de 14,8 % ne possède que 5,5 % des espèces. *Nitzschia* d'abondance 13,2 % possède 12,6 % d'espèces, *Gomphonema* avec 12,6 % d'abondance n'a que 6,5 % d'espèces et enfin *Fragilaria* d'abondance 5,5 % n'a que 6 % des espèces.

Certains genres sont représentés par de nombreuses espèces (comme *Navicula* avec 85 taxons) ou au contraire par une seule espèce (comme *Stephanodiscus hantzschii*). L'analyse au niveau des genres montre que cette diversification paraît liée au type de milieu, mares ou rivières. Nous avons récapitulé les genres comprenant au moins trois espèces, soit 23 des 46 genres rencontrés dans les mares. Parmi ceux-ci, seulement trois genres (*Amphora*, *Cocconeis*, *Gyrosigma*) offrent plus d'espèces en rivières qu'en mares. Pour vingt genres, le nombre d'espèces

**Tableau 3.** Synthèse des analyses chimiques selon les types de mares.

	Types de mares	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	TH	Cond.	pH	Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>
		mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	°F	μS cm <sup>-1</sup>		mg l <sup>-1</sup>	°fr	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>
Median	<i>Feuillus</i>	8.5	0	2.4	0.275	0	0.175	4.05	111	6.3	13.5	4.05	0	0	15
Min		4	0	0	0.04	0	0	1.8	55	5.5	6	1.8	0	0	0.2
Max		25	7	5	0.8	0.2	2	10.7	225	6.8	35	12.6	0.1	0	20
Median	<i>Résineux</i>	10.5	0	1.25	0.11	0.015	0.1	3.6	123	6.0	15	4.5	0	0	3
Min		3	0	0	0	0	0	1.8	44	5.7	5	2.7	0	0	0.12
Max		40	20	60	3	0.75	4	9.9	417	7.2	35	19.5	5	6	20
Median	<i>Taillis</i>	7	0	0	0.125	0	0.15	3.6	78	6.0	10	3.6	0	0.25	3.5
Min		4	0	0	0	0	0	1.8	35	5.5	5	1	0	0	0.4
Max		12	30	5.5	0.5	0.04	0.7	8.9	230	9.0	35	9.9	0.1	20	17
Median	<i>Lisières</i>	15	0	1	0.04	0	0.1	7.1	193	6.5	30	7.2	0	0	5
Min		2	0	0	0	0	0	1.8	47	6.0	5	3.6	0	0	0
Max		75	57	8.5	0.5	0.4	2	18	430	7.5	50	14.4	0.1	1	20
Median	<i>Coupes-Fourrés</i>	7	0	0	0.2	0	0.1	2.7	55	5.6	10	3.6	0	0	3
Min		4	0	0	0.07	0	0	1.8	42	5.0	5	1.8	0	0	0.5
Max		12	15	2.5	0.4	0.07	0.2	7.2	165	8.0	25	7.2	0.1	3	20
Median	<i>Landes-Friches</i>	7	0	0	0.115	0	0.1	3.6	79	6.0	10	3.6	0	0.75	2
Min		0.5	0	0	0.04	0	0	1.8	30	5.4	5	2.7	0	0	0.6
Max		40	5	2.5	0.9	0.05	0.25	5.4	165	7.7	20	6.4	0	3	10
Median	<i>Routes-Autoroutes</i>	40	5	8.5	0.04	0.02	0.15	13.45	355	7.0	32.5	12.6	0	1.5	5.75
Min		14	0	2	0	0	0	7.1	171	6.5	22	7.2	0	0	0.8
Max		60	15	40	1	3	0.6	18	454	9.0	60	16.2	0.6	7	20
Median	<i>Chemins</i>	6.25	0	1	0.09	0.005	0.275	3.6	85	6.0	12.5	4.95	0	0.75	7
Min		3	0	0	0	0	0.05	1.8	50	5.7	7	3.6	0	0	1
Max		9	10	8	0.65	0.4	0.8	12.5	275	6.5	40	12.6	0.2	20	20
Median	<i>Prairies</i>	28	18.5	11	0.095	0.055	0.175	17.05	463	7.1	55	16.65	0.425	1.75	15
Min		2.5	0	0	0	0	0	3.6	58	6.0	5	4	0	0	4
Max		200	60	30	2.5	0.4	3	39.6	890	9.0	105	32.4	3	4.5	50
Median	<i>Champs</i>	48.5	32.5	7.9	0.07	0.035	0.1	26.95	572	7.0	67.5	25.1	0.225	0.5	21.5
Min		10	0	3	0	0	0	8.9	195	6.5	30	7.1	0	0	1.5
Max		105	210	17	2	1.15	0.9	79.2	1399	7.8	180	50.4	0.8	60	30
Median	<i>Extérieurs Bâtiments</i>	10	0	2.1	0.125	0.01	0.45	15.2	260	7.6	38.5	10.8	0.125	0	3.25
Min		2	0	0	0	0	0.05	5.4	102	6.8	15	5.4	0	0	0.4
Max		70	35	18	0.2	0.1	3.6	19.8	565	10.0	70	18	0.3	1	15
Median	<i>Extérieurs Villages</i>	18	2.5	9.5	0.04	0.025	0.325	13.45	316	7.6	40	13.3	0	0.25	5
Min		10	0	0	0	0	0.05	5.4	150	6.5	5	3.6	0	0	1.7
Max		75	47	17	0.1	0.5	5	34.2	626	9.0	97	27	1.4	120	40
Median	<i>Intérieurs Villages</i>	22	0	1	0	0.1	0.1	14.3	300	7.2	40	12.6	0	0	4
Min		4	0	0	0	0	0.1	6.3	121	6.5	17.5	7.2	0	0	0.5
Max		45	25	5.8	0.04	0.6	0.7	23.4	450	9.5	70	18	0.1	25	10
Médianes générales		10.5	0	1.25	0.095	0.01	0.15	7.1	193	6.5	30	7.2	0	0.25	5
Moyennes générales		24.8	21.4	5.6	?	?	?	30	587	7.1	115	22.9	0.1	58.4	21.2
Fleuve Loire	Tables calcaires	24	20	?	?	?	?	25	470	7.8	100	?	0.5	22	?
	Sologne	11	9	?	?	?	?	5	120	7.1	20	?	0.5	11	?
Rivières	Tables calcaires	12	9.5	?	?	0.1	0.06	16	340	8	65	23	0.001	26	?
	Sologne	11	12.5	?	?	0.07	0.06	2.7	90	6	11	3	0.004	12	?



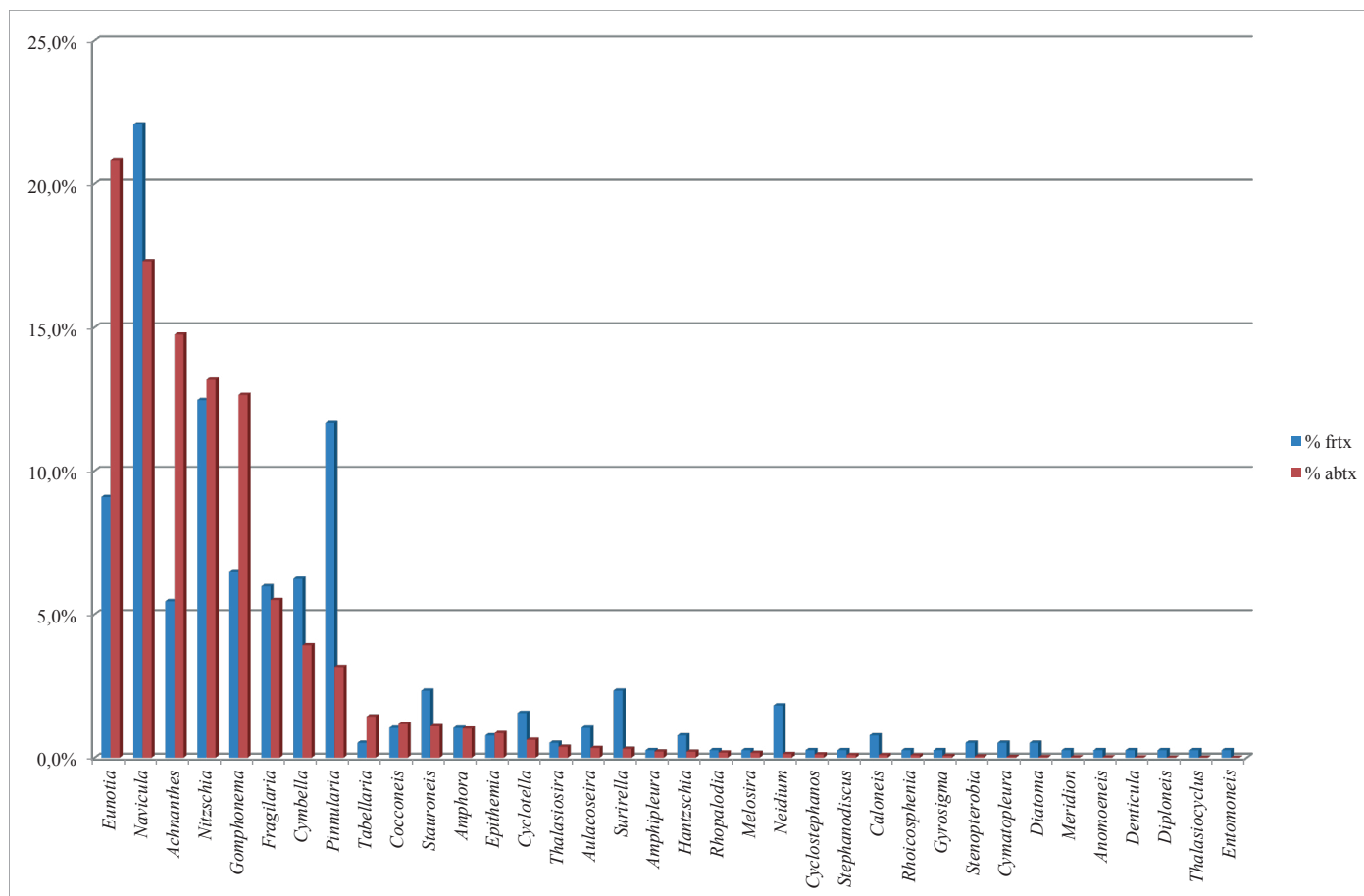


Figure 2. Répartition des genres.

est nettement plus élevé dans les mares, et sept d'entre eux (*Caloneis*, *Epithemia*, *Eunotia*, *Hantzschia*, *Neidium*, *Pinnularia*, *Stauroneis*) sont même totalement absents en rivières.

On trouve ainsi seulement neuf genres (*Achnanthes*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Fragilaria*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*) avec des espèces exclusives des rivières, alors que 21 des 23 genres présentent des espèces exclusives des mares.

En outre pour les 23 autres genres (représentés par moins de trois espèces), on constate que sept genres (*Amphipleura*, *Anomoeneis*, *Entomoneis*, *Meridion*, *Rhopalodia*, *Stenopteroberia*, *Thalassiocyclus*) ne se trouvent que dans les mares, quatre seulement en rivières (*Asterionella*, *Ellerbeckia*, *Opephora*, *Sellaphora*) et dix genres sont communs aux deux milieux (*Cyclostephanos*, *Cymatopleura*, *Denticula*, *Diatoma*, *Diploneis*, *Melosira*, *Rhicosphenia*, *Stephanodiscus*, *Tabellaria*, *Thalassiosira*).

#### RÉPARTITION DES ESPÈCES

Le classement des espèces en fonction de leur abondance montre que 54 espèces représentent 80 % de l'abondance totale. L'allure asymptotique de l'abondance en fonction des rangs peut se décrire ainsi : 16 espèces seulement représentent 55 % de l'abondance totale, puis 148 espèces

constituent 42 % de l'abondance, enfin 218 espèces constituent 3 % de l'abondance.

Parmi les espèces les plus courantes, *Gomphonema parvulum* (GPAR), dont l'occurrence est de 89 % du total des récoltes, participe pour 7,7 % de l'abondance totale. *Eunotia bilunaris* (EBIL), malgré une occurrence de 74,8 %, ne participe que pour 10,8 % de l'abondance. *Achnanthes minutissima* (AMIN) avec 9,1 % d'abondance est présent avec une occurrence de 62 %. Enfin nous avons *Navicula minima* (NMIN) pour 70 % d'occurrence.

Nous citerons quelques nouveautés pour la région mais toutes répertoriées dans la *Süßwasserflora von Mitteleuropa* : *Eunotia crista-galli* présent dans quatre récoltes, puis *Gomphonema amoenum*, *Navicula americana*, *N. caterva*, *N. ignota* var. *palustris*, *N. riparia*, *Nitzschia lanceolata*, *N. lorenziana*, toutes les sept présentes dans deux récoltes seulement. *Achnanthes laevis*, *Caloneis aerophila*, *Gomphonema auritum*, *Nitzschia obtusa*, *Pinnularia divergens* var. *decrecens*, *P. sinistra*, *Stauroneis acuta* sont présentes dans une récolte seulement avec cinq individus au maximum. Une exception remarquable : *Achnanthes kranzii* est présente dans une seule récolte avec 106 individus (0,09 % de l'abondance totale). Deux espèces indicatrices d'un stress biologique (forme tératologique) ont été relevées : *Eunotia bilunaris* f. tératologique, *Eunotia naegellii* f. tératologique.

### RÉPARTITION NORD / SUD DES PEUPEMENTS

De par leur substrat, leur histoire et leur usage, les mares des zones au nord et au sud de la Loire peuvent être différentes et il est important de le vérifier. Les analyses factorielles de correspondances (AFC) effectuées montrent une faible différence entre le nord de la Loire et le sud pour les peuplements de diatomées, alors que l'ACP de la physico-chimie de ces mares montre une différence beaucoup plus marquée.

Si l'on prend la totalité des récoltes, soit les 382 espèces, la répartition nord-sud du nombre d'espèces est de : nord 52,1 %, sud 47,9 %. Toutefois dans les espèces communes aux deux zones, comprises dans les 239 espèces réputées colonisatrices efficaces, les espèces du nord ont une abondance relative de 50,1 %, tandis que les espèces communes du sud ont une abondance de 49,9 %. Cette faible divergence repose essentiellement sur les espèces erratiques d'importance négligeable.

La répartition des espèces exclusives du nord ou du sud qui ont une abondance très faible montre qu'il y a 2,2 % d'espèces exclusives du nord et seulement 1,8 % exclusives du sud.

### RÉPARTITION DES PEUPEMENTS DANS LES DIFFÉRENTS TYPES DE MARES

L'AFC (figure 3) porte sur 265 récoltes et 382 taxons dans les treize types de mares. Les 265 récoltes sont projetées dans le plan des axes 1 et 2. L'ensemble se compose d'une branche principale verticale oblique suivant l'axe 2 et d'une deuxième presque perpendiculaire à la première branche. Le premier quart que nous nommerons nord-est inclut toutes les mares à dominante acide. Le quart sud-est et l'axe 2 concernent les mares à forte charge de nutriments et légèrement basiques.

S'il y a bien éclatement des différents types de mares le long de la branche principale, certains sont très proches et peuvent être regroupés ; il en est ainsi pour : prairies et champs, feuillus et résineux, landes et friches. Par contre les taillis sont nettement séparés du groupe précédent. Le cas isolé des lisières mérite d'être étudié de plus près car, de par sa situation sur le terrain, ce type appartient également à la forêt et aux champs qu'elles bordent. Les chemins, bien que faisant partie de la forêt, se situent la plupart du temps en dehors du groupe des feuillus et des résineux.

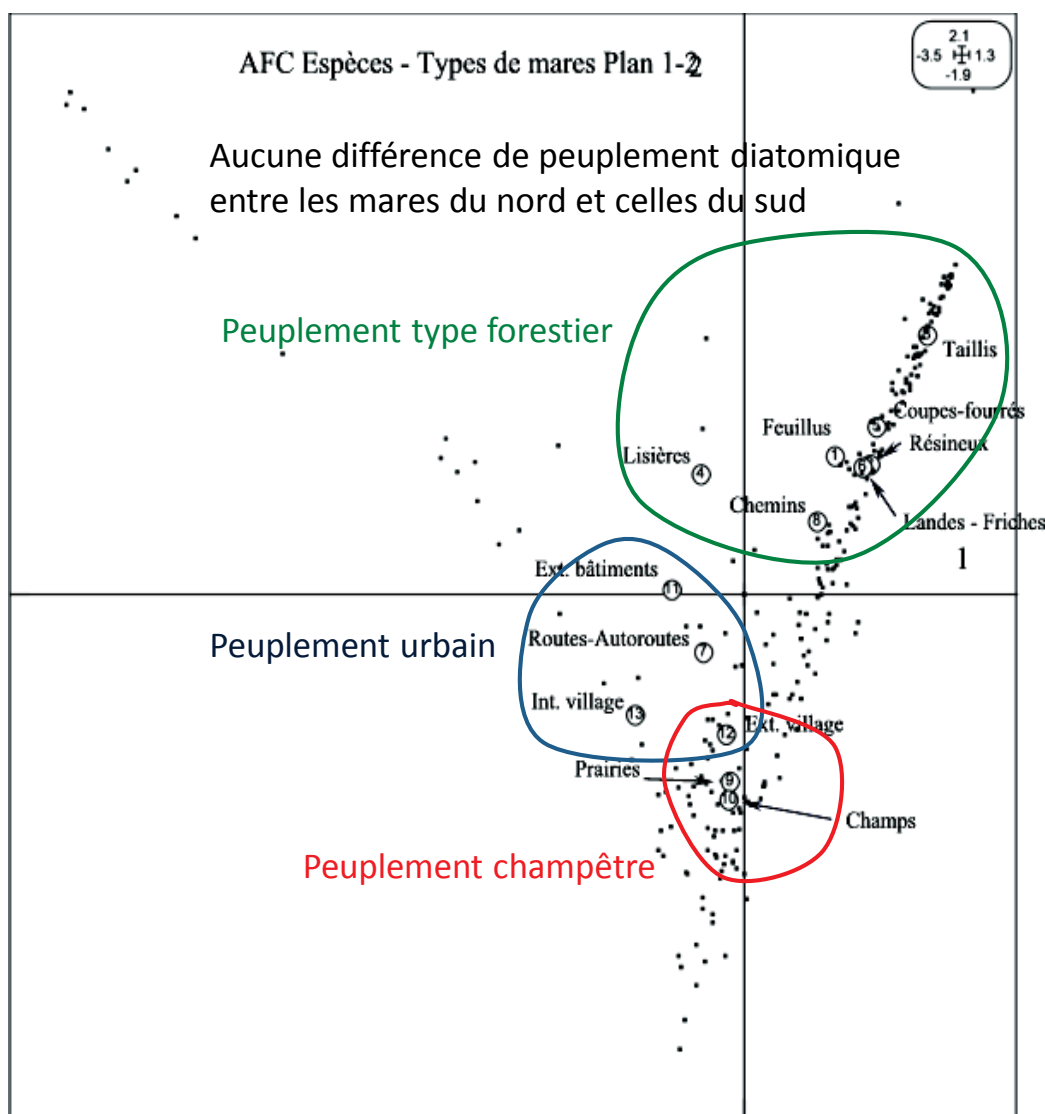


Figure 3. Graphe AFC et types de mares.

Par ailleurs les mares d'intérieurs de village et de périphérie offrent des peuplements forts différents. Le type des extérieurs de bâtiments, que l'on pouvait imaginer se rapprocher des mares de village, s'en éloigne très largement.

Les routes et autoroutes sont également bien distinctes des autres classes.

Étonnamment, une ACP (figure 4) du tableau 3 (quatorze variables chimiques x treize types de mares) ne confirme pas la description ci-dessus. Nous observons d'une part un groupe resserré de neuf types près du centre d'inertie et d'autre part quatre types nettement individualisés. Ainsi les routes et les chemins sont largement distincts de tous les

autres types. Toutefois, nous sommes réservés quant à la qualité de ce type de mares car les récoltes incomplètes et la difficulté à classer certaines mares ne nous assurent pas des résultats solides. Les lisières et taillis forment un groupe à part, mais proche du groupe principal. Cette ACP des variables chimiques comparée à celle des espèces tendrait à confirmer les conclusions de Le Cohu (1974) qui démontre l'interdépendance très lâche entre la chimie des eaux des étangs et les peuplements de diatomées.

Le groupe des mares de coupes et de taillis s'illustre surtout par un maximum d'*Eunotia* pour les taillis (abondance 47,3 % du groupe taillis), accompagné de *Gomphonema*

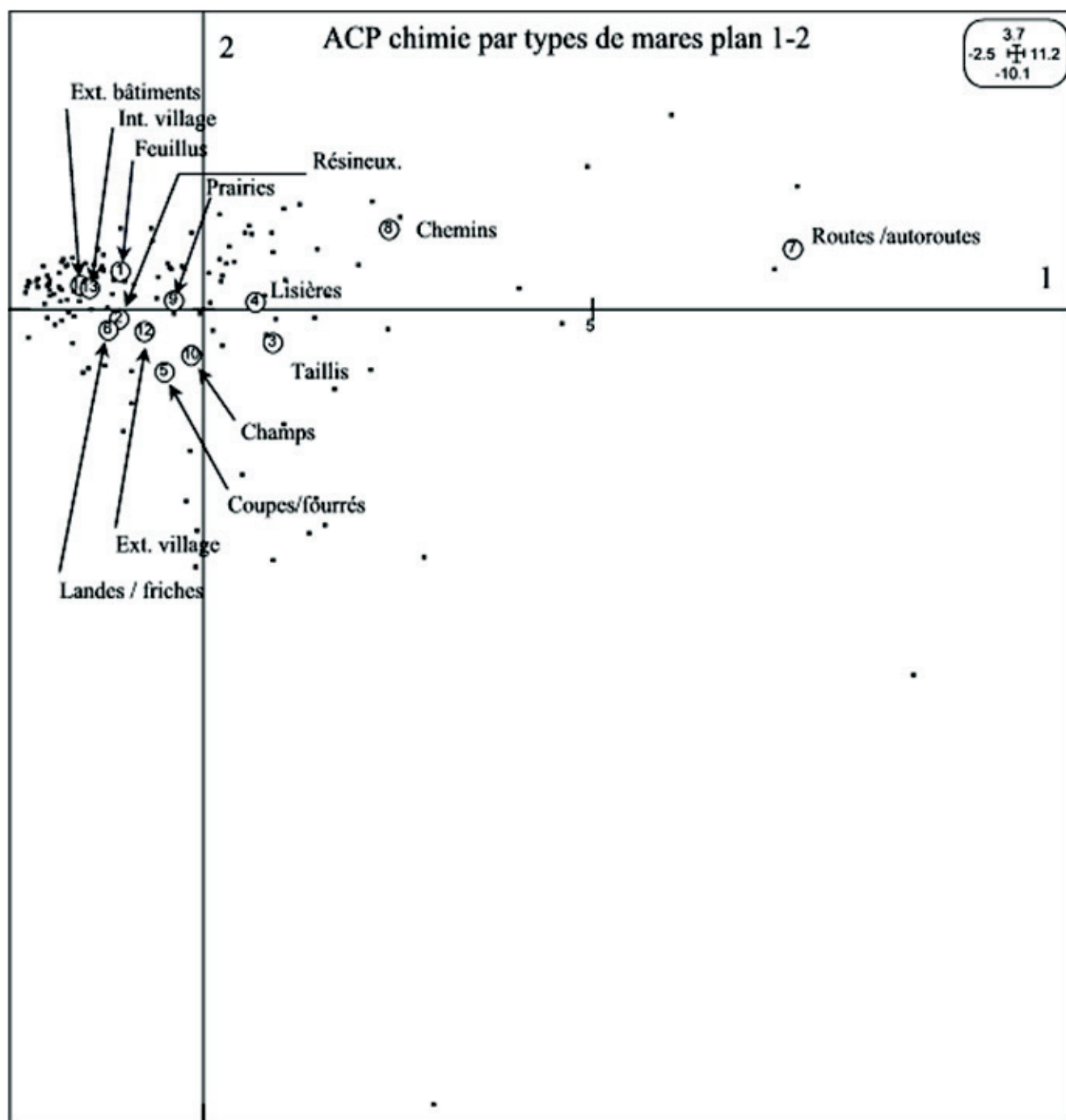


Figure 4. Graphe ACP et chimie des mares.

(abondance 11,8 % du groupe taillis) et de *Pinnularia* à son maximum (abondance 10,1 % du groupe coupes).

Le groupe des mares de feuillus et de résineux comporte une majorité d'*Eunotia* (abondance 41 % du groupe), de *Gomphonema* (abondance 11,8 % du groupe) et d'*Achnanthes* (abondance 14,5 % du groupe). Ainsi nous remarquons que les *Eunotia* et *Pinnularia*, diatomées classiquement colonisatrices d'eaux pures, sont inversement distribuées par rapport aux *Navicula* et à tous les autres

genres. Une exception, *Cymbella*, qui semble beaucoup plus prolifique dans les mares de friches où nous remarquons *C. gracilis*, *C. silesiaca* et *C. cesatii* en tant qu'espèces dominantes. Ceci montre clairement une progression depuis des types d'eaux relativement pures (IPS 18,6) vers des types d'eaux médiocres (IPS 8,4), comme le montre le classement régressif des IPS, même s'il n'est pas strictement adapté aux mares (tableau 4). Le classement des quatre genres principaux de diatomées (figure 5) montre le remplacement

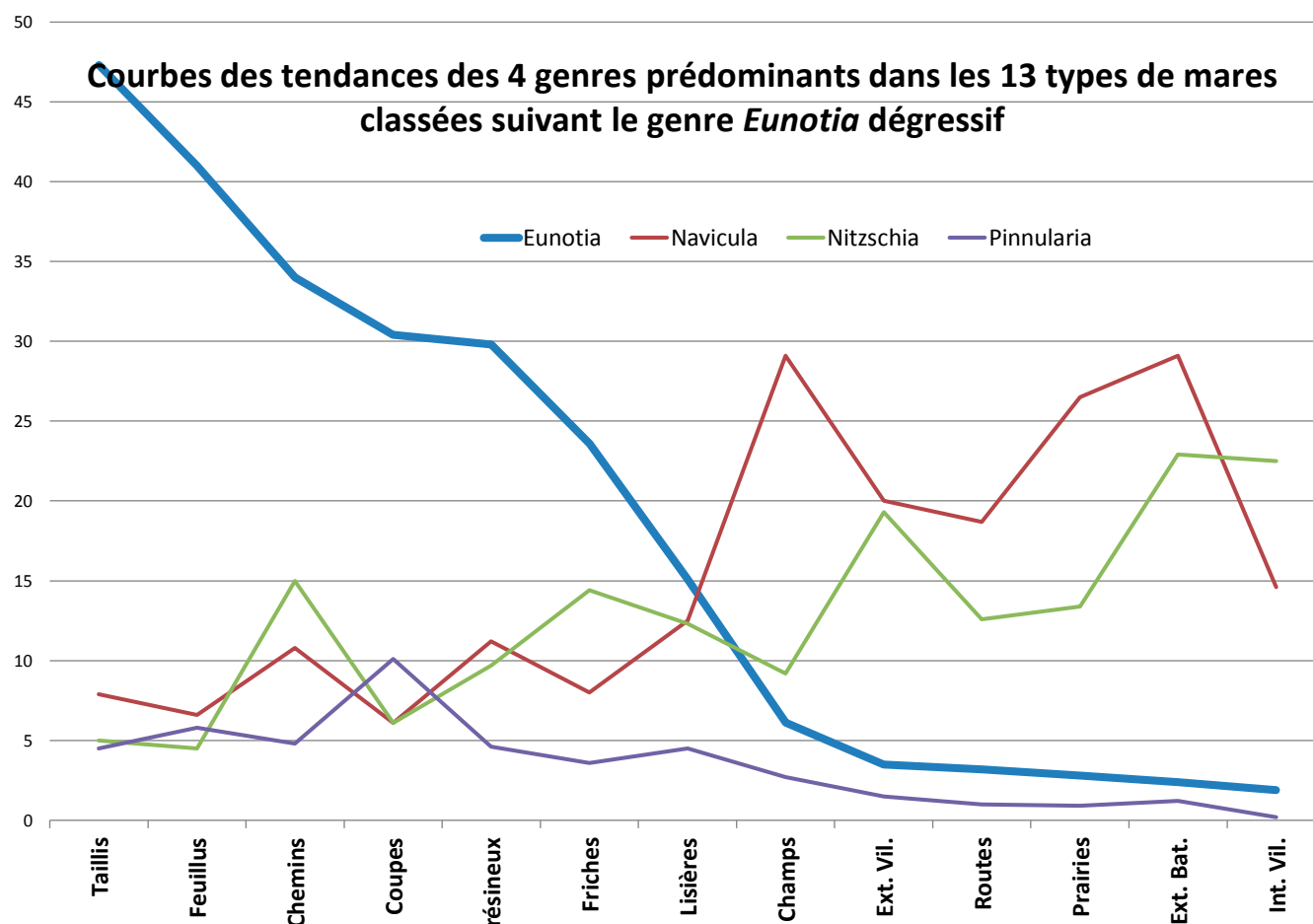


Figure 5. Relation Genre-Types de mares.

Tableau 4. Moyenne des indices H' de Shannon & Weaver selon les types de mares.

	Taillis	Chemins	Landes - friches	Coupes - Fourrés	Feuillus	Résineux	Lisières	Routes-Autoroutes	Int. Villages	Ext. Villages	Champs	Ext. Batiments	Prairies
IPS	18.6	18.0	17.8	17.0	16.9	16.1	15.5	12.4	12.3	11.8	11.5	10.1	8.4
H'	2.77	3.58	2.83	2.96	2.94	3.03	3.00	2.83	2.90	3.18	3.52	2.90	3.21
E <sub>H</sub>	0.64	0.75	0.66	0.68	0.67	0.68	0.65	0.62	0.64	0.68	0.76	0.63	0.70
Nb. Sp./mare	28.8	26.6	29.2	31.2	32.2	28.7	31.1	31.7	33.0	26.5	31.0	35.0	27.2
Nb. Sp./type	120	128	128	130	151	122	133	135	131	112	121	146	94

progressif des *Eunotia* et des *Pinnularia* par les *Nitzschia* et les *Navicula* et illustre bien la régression de la qualité des eaux des mares par les changements de composition et d'abondance relative des peuplements diatomiques.

## RICHESSSE TAXONOMIQUE

La moyenne des indices  $H'$  de Shannon & Weaver (1949) calculés en Log de base 2, pour les types de mares (tableau 4), se situe entre 2,77 et 3,52. Nous remarquons quelques cas particuliers : les mares de « taillis » se démarquent dans l'AFC des types de mares (figure 3) ; elles possèdent le  $H'$  le plus faible (2,77), le nombre d'espèces dans le type le plus bas (94), mais également une moyenne du nombre d'espèces par mare (27,2) inférieure à la moyenne de l'ensemble des types (30,2). De plus, dans ces mares de taillis, l'indice  $R$  d'équitabilité de 0,64 confirme une assez faible régularité taxonomique comparée à celles des chemins ( $R = 0,75$  et  $H' = 3,58$ ) pour 146 espèces, avec 35 espèces en moyenne par mare.

C'est le type « intérieurs de villages » qui affiche le plus grand nombre d'espèces (151) avec un nombre moyen de 32,2 espèces par mare. Cependant cette moyenne cache une grande disparité car deux mares n'ont que quinze espèces alors qu'une autre en offre cinquante. Les indices  $H'$  de 2,9 et  $R$  de 0,64 révèlent aussi la pauvreté taxonomique des mares « intérieurs de villages ». À l'opposé, le type mare de « champs » se situe dans le groupe des mares relativement bien peuplées, à la faveur d'une mare exceptionnellement riche en espèces, avec une moyenne des espèces par mare de 29,2 ( $H'$  de 3,52,  $R$  de 0,76). L'utilisation d'indices de qualité des eaux comme l'IBD et l'IPS cités précédemment permet le classement de groupes de diatomées. Dans le cas de trois mares du Cher (Milot *et al.*, 2006), l'utilisation de l'indice de qualité des eaux IBD prévu pour les rivières, ayant conduit à des aberrations, nous avons appliqué provisoirement l'indice IPS plus complet, également pour les rivières, en l'absence d'un indice spécifique « mares ».

Le classement hiérarchique des types de mares basé sur la qualité IPS et sur l'abondance relative des espèces (figure 5 et tableau 4) permet de mieux appréhender la distribution de celles-ci dans les différents types de mares. La répartition des principaux genres *Eunotia*, *Navicula*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Cymbella* et *Fragilaria* dans les treize types confirme les conclusions de l'AFC des types de mares.

## DISCUSSION

En se basant sur la qualification des eaux des rivières (IPS), malgré son inadaptation probable au cas des mares, quatre taxons, *Gomphonema parvulum* (GPAR), *Navicula minima* (NMIN), *Eunotia bilunaris* (EBIL) et *Achnanthes minutissima* (AMIN) donnent une image globale du peuplement diatomique des mares ; ainsi *Gomphonema parvulum* et *Navicula minima* sont des taxons classiquement d'eau polluée, selon Van Dam *et al.* (1994) et Lange-Bertalot (Omnidia 5-3) qui les considèrent comme tolérants à la pollution ; ils sont en opposition avec et *Achnanthes minutissima* qui sont des taxons d'eau de rivières relativement pures selon les mêmes auteurs. Dans les quinze espèces d'abondance dominante, six seraient affiliées à des eaux sensiblement eutrophes et six à des eaux oligotrophes d'après les notes de qualité attribuées par le système de cotation IPS. La confirmation est donnée par *Achnanthes hungarica* (AHUN), taxon réputé d'eau polluée (Van Dam *et al.* 1994, hypereutrophe et

alpha-mésosaprobe) ; il est retrouvé effectivement et systématiquement dans 30 % des récoltes lorsque les nutriments sont en excès. Toutefois *Stauroneis kriegeri* (STKR) (fréquence 41 %, abondance 0,7 %), pourtant considérée comme une espèce d'eau relativement pure (IPS = 4,8), nous est apparue dans les mares comme mésotrophile. Concernant les espèces téatologiques, *Eunotia bilunaris* et *E. naegelii*, nous n'en avons pas décelé l'origine ; en consultant les données chimiques, on note que  $NH_4$  est présent avec 0,2 mg/l et que le pH est de 6, ce qui ne semble pas être des valeurs d'atteintes biologiques.

## COMPARAISON DES PEUPELEMENTS DIATOMIQUES DES MARES ET DES RIVIÈRES

Nous avons vu que les 130 mares comportaient 382 taxons pour 265 récoltes ; en comparaison le peuplement des rivières de l'année 2010 en région Centre (IRSTEA, communication personnelle) comportait 471 taxons pour 142 récoltes.

En calculant la moyenne de onze supports pour obtenir l'abondance moyenne du milieu « mare » et en comparant la même opération réalisée pour huit récoltes effectuées en rivières (collection J. Bertrand à partir d'une sélection de supports identiques), puis en effectuant le test non paramétrique de Wilcoxon, l'hypothèse nulle est rejetée (risque < 0,001) ; donc les deux séries sont dissemblables. Ce résultat nous confirme que ces deux milieux diffèrent nettement par la composition et l'abondance relative moyenne de leur peuplement de diatomées. La répartition des genres et des espèces dans les mares est très différente de celles que l'on peut rencontrer dans les milieux lotiques de la région Centre tels que les fleuves (Bertrand, 2007) ou les canaux (Bertrand, 2003).

À titre d'exemple, citons deux genres présents dans les mares (mais peu présents ou totalement absents dans les rivières) : *Eunotia*, avec 35 espèces (occurrence 9 %) dont l'abondance atteint 21 % du total des diatomées, est un genre très souvent associé aux eaux acides que l'on retrouve constamment dans les mares. De même *Pinnularia* est représenté par 45 espèces (occurrence 11,8 %), mais son abondance n'est que de 3,2 % du total des espèces.

Dans les rivières, lorsque l'on retient 80 % de l'abondance comme dans le cas des mares et que l'on compare les espèces des deux systèmes mares et rivières de la région Centre, il n'y a que sept espèces communes aux deux milieux (corrélation 0,161,  $p < 0,1$ ) : *Amphora pediculus*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cyclotella pseudostelligera*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia amphibia*, *N. dissipata*, *N. palea*. Il est à noter que, sur les sept espèces communes, cinq sont plus abondantes dans les rivières ; seules *N. palea* et *G. parvulum* sont plus abondantes pour les mares. Ces résultats remarquables par la différence essentielle des peuplements entre les deux écosystèmes, montrent l'originalité des mares, d'où la nécessité d'une exploration la plus complète possible des espèces.

L'utilisation des indices IBD et IPS dans l'étude des mares, par l'intermédiaire du logiciel OMNIDIA dans les travaux de Milot (2002), de Milot *et al.* (2006) et de Bertrand *et al.* (2007) sur une mare artificielle (les seuls existants à notre connaissance), nous ont permis de vérifier et constater l'inadéquation de ces indices au regard des résultats physico-chimiques. En effet, tous les indices créés sont destinés à la mesure de la qualité des eaux des rivières, que ce soit des indices généralistes comme l'IPS et l'IBD ou bien spécifiques comme l'indice de Leclercq (Leclercq 1995), ce qui nous a conduits à entreprendre cette étude sur 130 mares afin d'avoir une connaissance plus approfondie



de ces milieux. Malgré leur inadéquation, nous les avons retenus dans l'étude ci-dessus faute de mieux et comme terme de référence. Nous étions convaincus que les diatomées réagissent en grande partie en fonction de la physico-chimie des eaux, accessoirement de la turbulence liée à l'écoulement des rivières et en particulier les espèces fixées, jusqu'au moment où nous avons découvert la grande différence des peuplements des mares par rapport aux rivières. Ceci pourrait expliquer à notre avis le manque de fiabilité de l'indice IPS appliqué aux mares.

## CONCLUSION

Le point important révélé par cette étude est sans conteste l'indépendance floristique des peuplements des diatomées des mares par rapport à ceux des rivières. Par ailleurs il n'y a aucune différence significative entre les peuplements diatomiques des mares du nord et du sud de la Loire. Les peuplements des diatomées intègrent étroitement la typologie anthropique de Sajaloli et nous retrouvons les treize types bien différenciés, bien que les feuillus et les résineux semblent pouvoir être confondus. La séparation des « Peuplements forestiers » et des « Peuplements urbains » est franche. Toutefois on remarque une certaine similitude entre les « Peuplements champêtres » et les « Peuplements urbains », probablement due à un surcroît de nutriments dans ces mares. Ceci tendrait à montrer que la pression anthropique est bien intégrée par les diatomées.

Ces résultats nous amènent à nous interroger sur la raison de cette discrimination. Est-ce une évolution génétique lente des diatomées adaptées à chacun de ces types de milieux qui pourrait être comparable au modèle d'isolation des îles ?

Ou plus simplement est-ce que la physique des mares est le facteur limitatif de l'adaptation de certaines espèces de diatomées ?

Ces premiers résultats, basés sur un échantillon réduit de mares, nécessiteraient une étude beaucoup plus vaste sur un nombre plus grand de mares pour être validés. Toutefois le bon accord de la répartition des diatomées avec la classification typologique de Sajaloli nous porte à croire en la possibilité d'établir un ou des indices de qualité spécifiques des mares.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'association Loiret, Nature, Environnement (LNE) pour le soutien et l'organisation sans lesquels le programme « Valmares » n'aurait pu être réalisé. Sont remerciés également : la Région Centre, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, l'Office national des forêts, la Direction régionale de l'Environnement Centre et le GAL Forêt d'Orléans-Loire-Sologne pour leur participation financière. Nos remerciements vont également à M. Coste pour ses conseils éclairés, à M. Ferréol de l'IRSTEA pour son aide précieuse ainsi qu'à Madame A. Jani pour les traductions. Nous remercions aussi les examinateurs anonymes en charge de l'évaluation et de la correction du manuscrit pour leurs conseils et judicieuses suggestions.

## RÉFÉRENCES

Bertrand J., 2003 - Etude de la dynamique des populations de diatomées (Bacillariophycées) sur le déversoir

du canal d'Orléans à Combleux (Loiret, France) en relation avec la pluviométrie du massif forestier. *Symbioses, nouvelle série*, **8** : 29-38.

Bertrand J., 2007 - Inventaire et répartition des diatomées dans les sources de la réserve naturelle de Saint-Mesmin. *Association Loiret Nature Environnement*, 23 p.

Bertrand J. & Boudier P., 2006 - La tourbière de Bouttecul à Onnion (Haute-Savoie, France): Les bryophytes et les communautés de diatomées associées. *Symbioses, nouvelle série*, **16** : 46-50.

Bertrand J. & Renon J.P., 2013 - Ecologie des mares II - mesure de la qualité des eaux : essai. In Rimet F., Bouchez A., Ector L. & Montuelle B., eds. 32ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française and 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 September 2013, pp. 30-32.

Bertrand J., Renon J.P., Monnier O. & Ector L., 2004 - Relations «Diatomées épiphytes-Bryophytes» dans les tourbières du Mont Lozère (France). *Vie et Milieu*, **54** (2-3) : 59-70.

Bertrand J., Gavand S., Risser S. & Milot E., 2007 - Etude écologique d'une micro-zone humide (mare artificielle) et analyse de ses variations au cours d'une année. *Symbioses, nouvelle série*, **19** : 35-41.

Bertrand J., Berger A., Gavand S., Lequivard L., Millouet J.C., Pinneau X., Renon J.P. & Thomas A., 2010 - Etude écologique de 130 mares de l'Orléanais (Région Centre). Création d'indices de qualité des eaux. *Valmares - Programme scientifique (2007-2010)*, Loiret Nature Environnement, 106 p. + annexe 34 p.

Bertrand J., Ector L. & Renon J.P., 2013 - Diatomées des mares. I. L'échantillonnage des diatomées : un problème de choix des supports. *Symbioses, nouvelle série*, **31** : 31-38.

Blanco S., Ector L. & Bécarea E., 2004 - Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish shallow lakes. *Vie et Milieu*, **54** (2-3) : 71-79.

Bodin C., 2001 - Flore et végétation des mares du département du Cher, *Nature*, **18** : 28 p.

Carré F., 1997 - *Appellatifs et désignatifs des mares en Eure-et-Loir : éléments de micro-hydrodynamie régionale*. In Teissier-Esminger A. & Sajaloli B. (1997) *Radioscopie des mares*, L'Harmattan, coll. « Environnement », 288 p.

CEMAGREF, 1982-1984-1991 - *Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q. E. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse-CEMAGREF, Lyon, 218 p.

Colombier M. (du), 1907 - Catalogue des diatomées des environs d'Orléans. Extrait des Mémoires de la Société d'agriculture, sciences, belles-lettres et arts d'Orléans, 8° : 142-166, 9pl., Orléans, impr. de A. Gout.

Doledec D. & Chessel L., 1989 - Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II - Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Oecologia. Oecologia Generalis*, **10** (3) : 207-232.

Fernandez-Alaez C., Fernandez-Alaez M. & Bécarea E., 1992 - Utilisation de deux indices chimiques (ICG et ISQA) dans la détermination de la qualité de l'eau de plusieurs rivières espagnoles. *Hydroécologie Appliquée*, **4** : 37-47.

Germain H., 1981 - Flore des diatomées (diatomophycées) eaux douces et saumâtres du massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Paris, Société nouvelle des éditions Boubée, 444 p.

- Guermeur P., 1968 - Note sur la flore diatomique de Beaugency. *Bulletin de l'Association des Naturalistes Orléanais et de la Loire moyenne, nouvelle série*, **40** : 91 p.
- Hamard N., Lepiller M. & Montiege O., 2001 - Fonctionnement physico-chimique des mares, *Université d'Orléans, ESEM, ISTO*, 45 p.
- Kilroy C., Biggs B.J.F., Vyverman W. & Broady P.A., 2006 - Benthic diatom communities in subalpine pools in New Zealand: relationships to environmental variables. *Hydrobiologia*, **561** : 95-110.
- Kitner M. & Poulickova A., 2003 - Littoral diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lakes. *Hydrobiologia*, **506-509** : 519-524.
- Krammer K., 1992 - *Pinnularia* : eine Monographie der europäischen Taxa. *Bibliotheca Diatomologica*, **26** : 1-353.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1986 - Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. In Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D eds, *Süßwasserflora von Mitteleuropa* **2** (1). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1988 - Bacillariophyceae. Teil 2 : Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D., eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* **2** (2). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1991a - Bacillariophyceae. Teil 3 : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl H., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D. eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* **2** (3). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H., 1991b - Bacillariophyceae. Teil 4 : Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In Ettl H., Gärtner G., Gerloff J., Heynig H. & Mollenhauer D., eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* **2** (4). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 p.
- Lange-Bertalot H., 1993 - 85 neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur *Süßwasserflora von Mitteleuropa* Vol. **2** (1-4). J Cramer ed., Berlin, Stuttgart, 454 p.
- Le Cohu R., 1974 - Recherches expérimentales sur l'écologie des algues d'eau douce : utilisation des enceintes en milieu naturel. *Thèse. Rennes, Université Rennes*, 271 p.
- Leclercq L., 1995 - Application d'indices chimique et diatomique de la qualité des eaux courantes utilisant les peuplements de diatomées d'une station d'épuration par lagunage à microphytes-macrophytes (Doische, Prov. Namur, Belgique). *Vie et Milieu*, **45** (3/4) : 187-198.
- Leclercq L. & Maquet B., 1987 - Deux nouveaux indices diatomiques et de qualité chimique des eaux courantes. Comparaison avec différents indices existants. *Cahiers de Biologie Marine*, **28** : 303-310.
- Milot E., 2002 - *Vers la recherche d'un indicateur de qualité des micro-zones humides : étude physico-chimique et microscopique des eaux de mares du canton de Châteauneuf sur Cher (Cher)*, mémoire de DEA Aménagement, Développement, Environnement sous la direction de Bertrand Sajaloli, Université d'Orléans, 131 p.
- Milot E., Bertrand J., Renon J.-P. & Lepiller M., 2006 - Etude préliminaire d'essai de qualification des eaux des mares par l'IBD. *Symbioses nouvelle série*, **14** : 15-20.
- Mingo J., 1981 - *La vigilancia de la contaminación fluvial I*. Tratamiento de los datos de control analítico. M.O.P.U.
- Oertli B., Auderset J., Castella E., Juge R. & Lachavanne J.B., 2000 - *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*. Genève, OFEFP. LEBA, Université de Genève, 434 p.
- Prygiel J. & Coste M., 2000 - *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354*. CEMAGREF, Agences de l'Eau: 134 p. + 89 pl. + cd rom TAX'IBD français/anglais, Douai.
- Queralt R., 1982 - La calidad de las aguas en los ríos. *Tecnología del agua*, **4** : 49- 57.
- Rumeau A. & Coste M., 1988 - Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation d'un indice diatomique générique. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, N° spécial **309** : 69 p.
- Sajaloli B. & Dutilleul C., 2001 - Les Mares, des potentialités environnementales à conserver, rapport final. Centre de Biogéographie-Ecologie UMR 8505 CNRS – ENS LSH. 103 p.
- Shannon C.E. & Weaver W., 1949 - The mathematical theory of communication. Urbana, University of Illinois, 117 p.
- Stenger-Kovács C., Buczkó K., Hajnal E. & Padisak J., 2007 - Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia*, **589** : 141-154.
- Thioulouse J., Chessel D., Doledec S. & Olivier J.M., 1997- ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, **7** : 75-83.
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J., 1994 - Coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Journal of Aquatic Ecology*, **28** : 117-133.