



**HAL**  
open science

# IMPACT DE LA STATION D'ÉPURATION (STEP) DE NEUCHÂTEL (SUISSE) ET SURVEILLANCE DE L'ÉPIPÉLON LITTORAL DU LAC DE NEUCHÂTEL

Impact of the sewage purification plant of Neuchâtel  
(Switzerland) and observation of the littoral epipelon of  
lake Neuchâtel

F. Straub, M. Glauser

## ► To cite this version:

F. Straub, M. Glauser. IMPACT DE LA STATION D'ÉPURATION (STEP) DE NEUCHÂTEL (SUISSE) ET SURVEILLANCE DE L'ÉPIPÉLON LITTORAL DU LAC DE NEUCHÂTEL Impact of the sewage purification plant of Neuchâtel (Switzerland) and observation of the littoral epipelon of lake Neuchâtel. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 1995, pp.207-214. hal-03051988

**HAL Id: hal-03051988**

**<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03051988>**

Submitted on 10 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# IMPACT DE LA STATION D'ÉPURATION (STEP) DE NEUCHÂTEL (SUISSE) ET SURVEILLANCE DE L'ÉPIPÉLON LITTORAL DU LAC DE NEUCHÂTEL

*Impact of the sewage purification plant of Neuchâtel (Switzerland)  
and observation of the littoral epipelon of lake Neuchâtel*

F. STRAUB<sup>1</sup> ET M. GLAUSER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'algologie, Gymnase cantonal, CH-2300 La Chaux-de-Fonds, Suisse

<sup>2</sup>Biol-Conseils SA, rue de la Serre 5, CH-2000 Neuchâtel, Switzerland

ALGUES  
DIATOMÉES  
BACILLARIOPHYCEAE  
SUISSE  
INDICE SAPROBIQUE  
ÉPIPÉLON  
LAC  
STATION D'ÉPURATION  
IMPACT  
RESTAURATION  
MÉTHODOLOGIE  
DIAGNOSTIC

**RÉSUMÉ** – La station d'épuration de la Ville de Neuchâtel est en service depuis 25 ans. Des travaux de rénovation des installations sont en cours, ainsi que des travaux d'assainissement destinés à améliorer la qualité des rejets, qui ne satisfont plus actuellement aux normes fédérales suisses. Les eaux de rejets sont déversées dans le lac de Neuchâtel, à l'est de la ville dans la Baie de St. Blaise. Pour mesurer l'état de santé de l'interface eau/sédiment dans la zone réceptrice et pour suivre l'effet des divers travaux d'assainissement au cours du temps, un programme de surveillance des assemblages épipéliques de Diatomées et de mesures physico-chimiques a été développé sur le littoral de la commune de Neuchâtel. Ce programme d'observations est appliqué à une zone vierge d'impact (référence) et aux endroits qui subissent les rejets (effluent et déversoirs d'orages). Pour comparer les assemblages de Diatomées et livrer une classification des états de santé des interfaces eau/sédiment, deux indices ont été calculés : l'indice saprobique basé sur l'analyse des groupes d'espèces différentielles de Lange-Bertalot et la fréquence relative des espèces plus ou moins hétérotrophes. La composition des assemblages trouvés permet de comparer les stations de manière relative. Sur le plan absolu cependant, la signification des indices saprobiques appliqués à de l'épipélon lacustre est en question, en particulier pour savoir si les indices de II-(III), trouvés dans la zone de rejet, sont déjà signe d'un état critique, comme les indices II-III en rivière. Des déficits d'oxygène dissous de 35 à 40 %, bien corrélés avec les taux de Diatomées hétérotrophes, semblent amener une réponse affirmative, auquel cas le calcul classique de l'indice saprobique par l'analyse des groupes d'espèces différentielles ne serait pas tout à fait assez sévère pour être appliqué, sans calibrage, à l'épipélon du lac de Neuchâtel.

ALGAE  
DIATOMS  
BACILLARIOPHYCEAE  
SWITZERLAND  
SAPROBIC INDEX  
EPIPELON  
LAKE  
SEWAGE PURIFICATION PLANT  
IMPACT  
RESTAURATION  
METHODOLOGY  
MONITORING

**ABSTRACT** – The sewage purification plant of Neuchâtel-City is operating since 25 years. Some renovating works are in progress, because the quality of the sewage effluents, don't more comply with the swiss standards. The sewage effluent is flowing into lake Neuchâtel, eastern from the town, in the gulf of St. Blaise. A study including epipellic diatoms, physical and chemical measures, is developed on the littoral of the lake, to measure the health conditions of the interface water/sediment and to follow the course of the renovating works. This program is applied to a preserved station (reference) and to zones influenced by waste water (from the sewage effluent and from storm overflows). A saprobic index, based on the analytical method of the groups of differential species of Lange-Bertalot and the sum of relative frequencies of more or less heterotrophic diatoms, were choosen, for comparing the stations with each other. The composition of the assemblages allows to compare the stations in a relative way. But some problems are arising from the use of the absolute values of the saprobic index to qualified the epipelon. In particular, following question lies open : does the index II-(III) found in polluted stations indeed show a critical saprobic state, like the indices II-III in rivers ? The oxygen deficiencies found between 35 and 40 %, well correlated with the relative frequencies of heterotrophic diatoms, seems to give answer in the affirmative. In that case, the classical diagnosis chart used to calculate saprobic indices is not hard enough, without calibration, to be applied to the epipelon of lake Neuchâtel.



## INTRODUCTION

La station d'épuration de la Ville de Neuchâtel, inaugurée en 1970, a été construite alors avec une capacité de 75 200 équivalents-habitants. Après 25 ans de fonctionnement, des travaux de rénovation des installations sont nécessaires. Bien que la capacité initiale n'ait pas encore été atteinte, les rejets de cette station ne satisfont pas aux nouvelles normes fédérales suisses. Par exemple actuellement, 40 % des valeurs annuelles de DBO<sub>5</sub>, 30 % des valeurs de DCO, 20 % des teneurs en matières en suspension et 20 % des teneurs de P-total dépassent les normes. Ainsi parallèlement, des travaux d'assainissement destinés à améliorer la qualité des rejets sont également en cours.

Les eaux de rejets sont déversées dans le lac de Neuchâtel, à l'est de la ville. Les eaux réceptrices sont celle de la baie nord-est (baie de Saint-Blaise), qui est une zone de pente faible, dans laquelle le taux de sédimentation est plus important, qu'à l'ouest de la ville. Directement influencés par l'effluent, les sédiments de nature sapropélique des stations 3 et 4 (figure 1) portent la trace des rejets. Leur couleur brun-noir est visible en plongeant.

Pour mesurer l'état de santé de ces sédiments et pour suivre l'effet des divers travaux d'assainissement au cours du temps, un programme de surveillance des assemblages épipélics de diatomées et de mesures physico-chimiques a été développé sur le littoral de la commune de Neuchâtel, dans une zone vierge d'impact et aux endroits qui subissent les rejets. L'épipélon a été

choisi car il intègre les variations de conditions écologiques de l'interface sédiment/eau. L'analyse du périphyton sur substrats artificiels a été écartée pour deux raisons. Tout d'abord parce que cette communauté n'est dépendante que de l'eau (dont la qualité est très influencée par les courants) et que certaines des stations de prélèvement sont en zone de pêche (risques de ne pas retrouver les substrats artificiels). Les Diatomées ont été choisies car c'est un groupe d'algues très diversifié, présent dans tous les milieux aquatiques, dans lequel on connaît bien la sensibilité des espèces envers les matières organiques et avec lequel plusieurs indices de qualité d'eau ont été développés (Lange-Bertalot 1978, 1979a et b, Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991, Coste 1978, 1986, Coste *et al.*, 1991, Rumeau et Coste 1988, Leclercq et Maquet 1987).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Six lieux de prélèvement ont été choisis (Fig. 1) :

- station 1. Monruz, profondeur 3-4 m, distance de la rive env. 20 m. A proximité d'un déversoir d'orage.
- station 2. STEP, profondeur 2-3 m, distance de la rive env. 3 m. Cette station est située entre la rive et l'effluent. Elle n'est donc pas directement influencée par les rejets d'épuration.
- station 3. STEP; profondeur 6 m, distance de la rive env. 30 m.
- station 4. STEP, profondeur 9 m, distance de la rive env. 70 m.
- station 5. Quai Osterwald, profondeur 3-4 m, distance de la rive env. 35 m. A proximité d'un déversoir

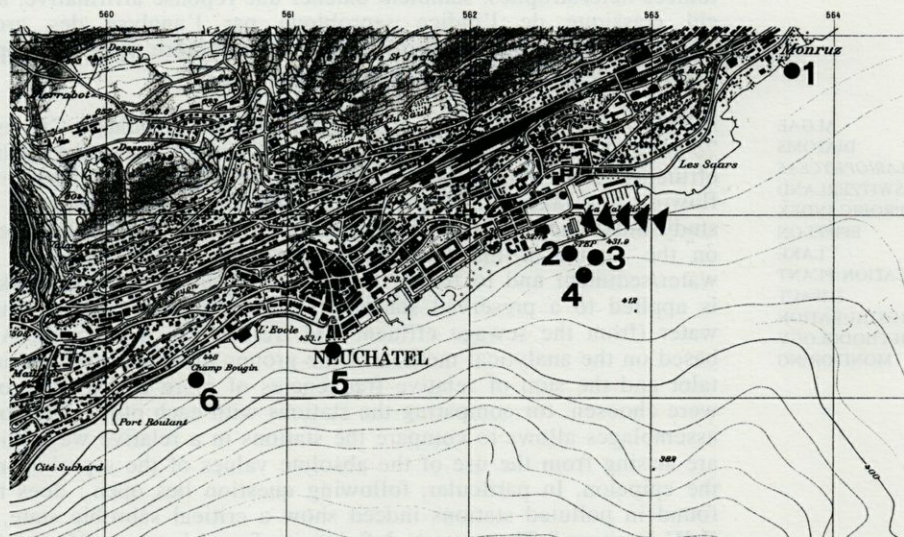


Fig. 1. – Répartition des six stations de prélèvements sur le littoral du lac de Neuchâtel. La série de flèches situe la station d'épuration.

*Distribution of the six sampling stations on the littoral zone of Lake Neuchâtel. Arrows indicate the emplacement of the sewage purification plant.*



d'orage.

station 6. Champ-Bougin, profondeur 3-4 m, distance de la rive env. 30 m.

Les stations de prélèvement 2 et 3 sont les plus directement influencées par les rejets de la station d'épuration, car l'effluent se situe à 5 m du bord et à 2,8 m de profondeur. La station 1 (Monruz) se situe dans le même contexte hydrologique que les stations 2-4 (baie de St. Blaise, pente faible, sédimentation active). Les stations 5 et 6 sont situées à des endroits moins abrités (pente plus raide, sédimentation moins active). La station 6 est située à proximité de la prise d'eau destinée à la distribution d'eau potable (station de pompage de Champ-Bougin). Les stations choisies au large de la STEP sont destinées à estimer l'impact de la station d'épuration sur les sédiments du lac. La station 6 sert de référentiel.

Pour l'instant, 2 campagnes de prélèvements ont été effectuées : l'une, le 7 octobre 1993, après une période ventée, à la fin de la stratification estivale ; l'autre le 24 avril 1994, après 15 jours de calme, pendant la période de croissance printanière.

Les échantillons ont été prélevés en plongée, en prenant soin de déranger au minimum la surface des sédiments, afin de réduire l'effet d'intégration pluriannuel par mélange, dû à la sédimentation et à la bonne conservation des squelettes de Diatomées. La partie aqueuse, non consolidée du sédiment a été aspirée délicatement au moyen d'une seringue munie d'un embout flexible (ROUND 1981 modifié). Les échantillons ont été directement fixés au formol et conservés en bouteilles de PET.

Les échantillons sont attaqués avec quelques gouttes d'HCl concentré pour dissoudre les minéraux carbonatés. Ensuite ils sont attaqués à H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pour oxyder les matières organiques. Les squelettes nettoyés de Diatomées sont montés entre lame et lamelle dans du Naphrax.

Les préparations microscopiques sont observées en optique à fort grossissement (12,5 × 100). Un sous-échantillon statistiquement représentatif d'au moins 500 valves est dénombré. Pendant le comptage les individus sont attribués aux taxons reconnus jusqu'aux niveaux taxonomiques de la variété ou de l'écotype. Seuls les individus entiers ont été dénombrés. Les individus fragmentés ou portant des traces de dissolution ont été écartés du dénombrement, pour réduire l'influence de la dérive et de la contamination par les sédiments anciens.

La taxonomie utilisée est essentiellement basée sur la flore de Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991.

Le diagnostic de l'état de santé de l'interface sédiment/eau aux stations étudiées, n'est basé que sur l'abondance relative des taxons benthiques. Ainsi les fréquences des taxons planctoniques (bien que pouvant aussi vivre parfois dans le benthos) n'ont pas été intégrés aux calculs. Cette précaution a été prise pour deux raisons :

- l'origine planctonique ou benthique des individus trouvés ne peut pas être attestée ;
- la sensibilité aux matières organiques de la plupart des taxons planctoniques est mal (voire pas du tout) connue.

L'interprétation des résultats a été conduite selon deux méthodes :

**a. Méthode des groupes d'espèces différentielles de classes saprobiques (Lange-Bertalot 1978, 1979a et b, Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991).**

Cette méthode consiste à assigner à chaque taxon un indice de sensibilité envers les matières organiques et les autres molécules réduites habituellement présentes dans les eaux résiduelles. Ces indices ont été attribués empiriquement au cours d'études extensives d'observations de populations *in situ* ou au cours d'expérimentations ponctuelles en milieux artificiels (valeurs des indices tirés de Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991, Denys 1991 et Hofmann 1993). L'indice de quatre degrés (1 = très sensible à 4 = très tolérant) indique jusqu'à laquelle des quatre classes saprobiques (I, oligosaprobie à IV, polysaprobie, Kolkwitz 1950, Liebmann 1958, Slàdeček 1973) chaque taxon peut résister. Le diagnostic est posé à partir de la fréquence relative des quatre groupes de sensibilité à l'intérieur de l'assemblage de Diatomées trouvé. Cette méthode, contrairement à celles des indicateurs de classe, reconnaît pour des autotrophes vrais comme la plupart des Diatomées, qu'il n'y a pas en principe de dépendance directe de ces organismes aux matières organiques, mais seulement une tolérance plus ou moins marquée. Ainsi, on peut trouver tous les taxons, en faible abondance (forte concurrence) dans les basses classes de charge organique, tandis que dans les classes élevées, seuls quelques taxons tolérants peuvent vivre en abondance (faible concurrence). La définition des classes saprobiques ainsi que l'échelle de diagnostic (en particulier pour les classes II, II-III) à partir des assemblages de Diatomées sont discutées d'après les propositions de Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991 et de Hofmann 1987. Cette méthode a été choisie, plutôt que l'utilisation des autres indices diatomiques, car elle a déjà été utilisée avec succès en Suisse, en particulier pour qualifier l'état de santé de rivières jurassiennes (Elber *et al.*, 1994a, 1994b).

**b. Méthode qui consiste à étudier la distribution de taxons plus ou moins hétérotrophes (Cholnoky 1968).**

En effet certaines Diatomées assimilent facultativement des composés organiques. Si l'utilisation de ces composés comme source de carbone ou d'énergie semble reconnue, cette utilisation comme source d'azote (Hellebust & Lewin 1977, Admiraal *et al.*, 1987, Van Dam *et al.*, 1994) est sujette à caution (Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991) ou est en tous cas en discussion. D'autre part, au vu de la littérature existante à notre connaissance, l'emploi des qualificatifs « hétérotrophe facultatif ou obligatoire » (même envers le carbone) nous semble prématuré pour l'instant. Ainsi nous préférons adopter ici une position prudente, en qualifiant les espèces concernées de « plus ou moins hétérotrophes ». La présence de ces Diatomées est connue dans les eaux d'épuration (Fesel 1984), dans les abreuvoirs naturels du gibier (Wuthrich 1975) ou sur les bouses de vaches en voie de décomposition (Straub-non pub.). Ces espèces sont naturellement présentes en petite quantité (2-5%) dans les assemblages benthiques



du lac de Neuchâtel (Wuthrich 1960, Straub 1989) : elles font partie des décomposeurs normalement présents dans les systèmes équilibrés. Les indications physio-écologiques des taxons plus ou moins hétérotrophes proviennent de Van Dam 1979 et de Denys 1991. La présence de matières organiques favorise le développement et provoque des abondances locales anormales de ces Diatomées particulières.

## RÉSULTATS

La flore trouvée dans les échantillons est composée de 171 taxons. Cette flore se décompose de la manière suivante :

- 128 taxons benthiques dont on connaît la sensibilité. Ces taxons forment 97 à 99 % des assemblages analysés ;
- 20 taxons benthiques dont on ne connaît pas la sensibilité ;
- 23 taxons planctoniques ou tychoplanctoniques.

L'abondance des taxons non classés dans le gradient de sensibilité est négligeable et n'influence pas le diagnostic de qualité.

La liste floristique complète, les valences auto-écologiques et les abondances relatives des taxons figurent sur un tableau général, que l'on peut commander sans charge, chez le premier auteur (sur envoi d'une disquette de 3,5", MacIntosh). L'assemblage de base, qui définit le type de végétation trouvée, est dominé par *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* Lange-Bert. et par *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun., les deux taxons les plus fidèles et les plus abondants de tout le périphyton naturel des lacs carbonatés du Jura (Straub 1982, 1989). Cet assemblage de base est le mieux développé en automne. Aux stations 3 et 4 (directement influencées par les rejets de la STEP), la présence du premier des deux taxons est masquée par le développement remarquable de *Navicula schoenfeldii* (Hust.). Cette composition particulière signale que les conditions trophiques à ces stations sont anormalement élevées. Ces stations se caractérisent aussi par des taux plus élevés des principales Diatomées résistantes suivantes : *Achnanthes lanceolata* ssp. *frequentissima* Lange-Bert., *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kütz.) Lange-Bert., *Navicula menisculus* Schum., *N. pupula* Kütz., toutes tolérantes, ainsi que *Navicula accomoda* Hust., *N. atomus* var. *permitis* (Hust.) Lange-Bert., *N. minima* Grun., *N. seminulum* Grun., *Nitzschia capitellata* Hust., *N. palea* (Kütz.) W. Smith, toutes très tolérantes. Au printemps, les assemblages sont temporairement modifiés ou enrichis par les taxons colonisateurs comme *Diatoma ehrenbergii* Kütz. (st. 2), *Fragilaria capucina* Dem. var. *capucina* (st. 1) ou *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* (Rabenh.) Rabenh. (st. 2,3,5 et 6).

L'importance des 4 classes de sensibilité (somme des abondances relatives de chaque taxon attribué à chaque classe de sensibilité) trouvées dans la végétation des six stations se trouve sur le tableau I et est exprimée graphiquement sur la figure 2. La classe la mieux représentée est celle des Diatomées sensibles. Les Diatomées tolérantes et très tolérantes sont présentes partout, mais à des taux inférieurs ou près de 10 % aux stations non touchées directement par l'effluent. Dans les stations (2), 3 et 4 influencées par la STEP, la somme de ces deux classes représente de 15 à 27,8 % de la végétation. Le 26 avril 1994 à la station 2, l'importance des Diatomées très sensibles provient de la forte croissance de *Diatoma ehrenbergii* Kütz. Cette abondance n'est probablement pas révélatrice de conditions particulières à l'interface eau/sédiment mais plutôt de la colonne d'eau à cet endroit, car cette espèce est souvent tychoplanctonique (Huber-Pestalozzi 1942). La différence de composition de la végétation des sta-

Tabl. I. - La composition de la végétation est exprimée par la somme des abondances relative des taxons regroupés par classes de sensibilité envers les matières organiques. La classe 2 de sensibilité est la mieux représentée. Figurent également la somme des abondances relatives de Diatomées hétérotrophes et le déficit en oxygène dissous aux six stations étudiées. Les stations 3 et 4 se distinguent par les taux les plus élevés de Diatomées tolérantes et très tolérantes, de Diatomées plus ou moins hétérotrophes, en corrélation avec des déficits en oxygène dissous dépassant 30 %. Pour l'acceptation de la notion d'hétérotrophie, se référer au texte.

The composition of the vegetation is given as the sum of the relative frequencies of the taxa, which are grouped into sensibility classes against organic matter. The class 2 is the most represented. The sum of the relative frequencies of heterotrophic diatoms is also given, with the oxygen deficiencies measured at the sampling stations. At stations 3 and 4, are found the higher frequencies of tolerant and most tolerant diatoms, the higher frequencies of more or less heterotrophic ones, well correlated with oxygen deficiencies higher than 30 %. The sense given to the term heterotrophy is explain in the text.

Classes	stations	1	2	3	4	5	6
<b>7-oct-94</b>							
1. très sensibles		9.3	6.8	7.2	6.3	11.5	8.5
2. sensibles		78.5	81.0	64.2	64.1	75.7	84.3
3. tolérants		7.3	6.8	12.5	15.0	6.2	3.2
4. très tolérants		3.3	4.0	14.3	12.8	4.3	1.0
$\Sigma$ hétérotrophes		3.3	5.7	13.8	12.4	4.2	2.6
déficit en oxygène [%]		0.71	2.74	36.17	45.29	-9.42	-6.38
<b>26-avr-94</b>							
1. très sensibles		9.4	26.0	8.4	9.2	5.6	8.0
2. sensibles		78.0	58.2	70.7	70.8	81.3	83.7
3. tolérants		7.8	8.8	11.2	12.8	8.8	6.1
4. très tolérants		2.2	6.3	8.4	4.6	3.0	0.4
$\Sigma$ hétérotrophes		4.0	4.7	8.0	4.6	3.9	1.5
déficit en oxygène [%]		12.9	12.03	33.3	45.0	9.2	11.1



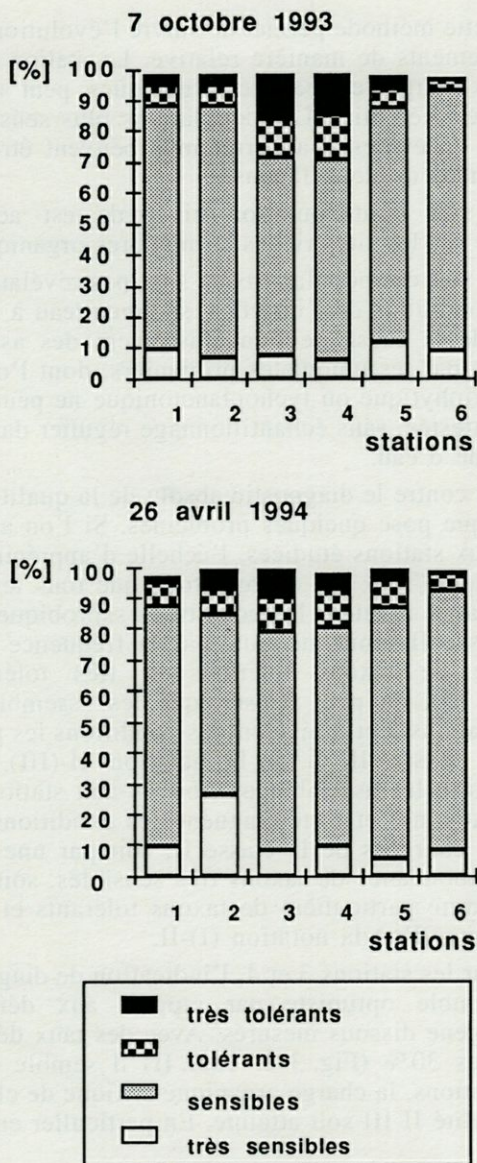


Fig. 2. – Distribution des fréquences relatives de Diatomées par classe de sensibilité aux six stations étudiées. Les stations 3 et 4 présentent des taux de 20 à 30% de Diatomées tolérantes et très tolérantes.

Distribution of relative frequencies of diatoms into the classes of sensibility in the sampling stations. At stations 3 and 4, 20 to 30% of tolerant and most tolerant diatoms were found.

tions 3 et 4 est mieux marquée en automne. Aux stations 1 et 5, qui reçoivent certaines quantités d'eaux usées diluées pendant les orages (déversoirs d'orages), l'épipélon ne porte pas de trace marquée de cet impact. La végétation la plus sensible a été trouvée à la station 6, près du captage d'eau de la Ville de Neuchâtel.

Les Diatomées plus ou moins hétérotrophes (Van Dam 1979, Denys 1991) suivantes ont été

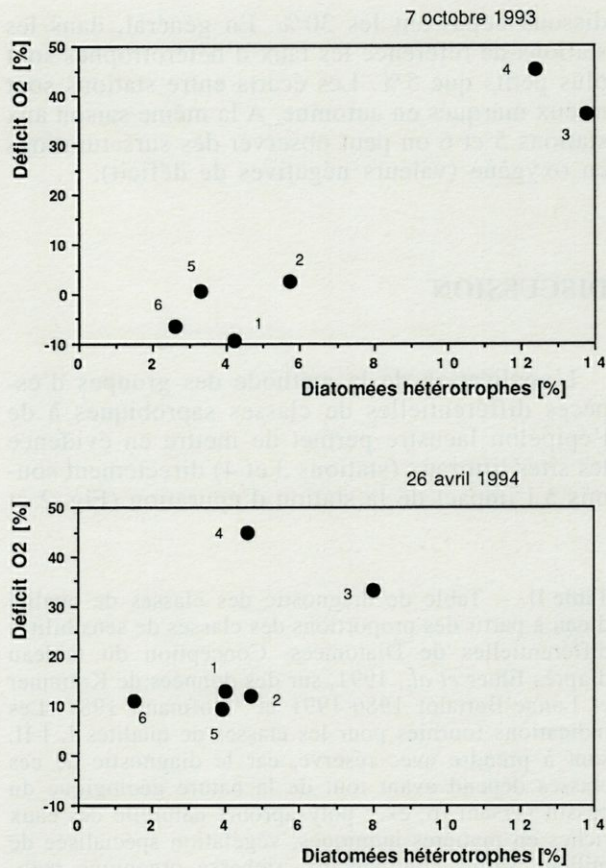


Fig. 3. – Distribution des fréquences relatives de Diatomées plus ou moins hétérotrophes en fonction du déficit en oxygène dissous aux six stations étudiées. Les stations 3 et 4 présentent des abondances maximales de Diatomées hétérotrophes et des déficits d'oxygène dissous dépassant 30%. Au printemps, la différence entre stations est moins marquée. Pour l'acceptation de la notion d'hétérotrophie, se référer au texte.

Distribution of relative frequencies of more or less heterotrophic diatoms in terms of oxygen deficiency at the sampling stations. Higher frequencies of heterotrophic diatoms were found at stations 3 and 4, where oxygen deficiencies higher than 30% were measured. In spring, differences between stations are lesser important. The sense given to the term heterotrophy is explain in the text.

observées : *Gomphonema parvulum* (Kütz.) Kütz., *Navicula atomus* (Kütz.) Grun., *N. atomus* var. *permitis* (Hust.) Lange-Bert., *N. goeppertiana* (Bleisch) H.L. Smith, *N. gregaria* Donkin, *N. minima* Grun., *N. pelliculosa* (Bréb.) Hilse, *N. saphrophila* Lange-Bert., *N. seminulum* Grun., *N. tripunctata* Hilse, *Nitzschia capitellata* Hust., *N. palea* (Kütz.) W. Smith. Les sommes des abondances de ces Diatomées trouvées aux six stations sont distribuées par rapport aux taux de déficit en oxygène dissous, sur la figure 3. Des abondances maximales (8 à 13,8%) ont été trouvées aux stations 3 et 4, corrélées avec des déficits d'oxygène



dissous dépassant les 30%. En général, dans les stations de référence les taux d'hétérotrophes sont plus petits que 5%. Les écarts entre stations sont mieux marqués en automne. A la même saison aux stations 5 et 6 on peut observer des sursaturations en oxygène (valeurs négatives de déficit).

## DISCUSSION

L'application de la méthode des groupes d'espèces différentielles de classes saprobiques à de l'épipélon lacustre permet de mettre en évidence les sites littoraux (stations 3 et 4) directement soumis à l'impact de la station d'épuration (Fig. 2 et

Table II. – Table de diagnostic des classes de qualité d'eau à partir des proportions des classes de sensibilités différentielles de Diatomées. Conception du tableau d'après Elber *et al.*, 1991, sur des données de Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991 et \*Hofmann 1987. Les indications fournies pour les classes de qualités I, I-II, sont à prendre avec réserve, car le diagnostic de ces classes dépend avant tout de la nature géologique du bassin versant (p. ex. : polysaprobie naturelle des eaux riches en matières humiques, végétation spécialisée de milieux salins continentaux, richesse organique naturelle des lacs eutrophes carbonatés).

*Diagnosis chart of water qualities using the proportions of discriminating sensibilities of diatoms. Chart conceived after Elber et al., 1991, on data from Krammer et Lange-Bertalot 1986-1991 and \*Hofmann 1987. Given indications for the water qualities I, I-II must be critical considered because the diagnosis of these two classes depends mostly on the geological nature of the watershed (i.e. natural polysaprobic waters from peat-bogs, specialized vegetation from continental saline environments, natural organic richness of carbonated eutrophic lakes).*

Classes de qualités saprobiques	Proportion des groupes d'espèces différentielles de diatomées
<b>I : oligosaprobie</b> Non chargé à peu chargé 95% < saturation O <sub>2</sub> < 105%	* très sensibles ≥ 90 % sensibles + tolérants + très tolérants ≤ 10 %
<b>I-II : oligo-β-mésosaprobie</b> Peu chargé Déficit d'O <sub>2</sub> < 15 %	* très sensibles ≥ 50% sensibles + tolérants + très tolérants ≤ 50 %
<b>II : β-mésosaprobie</b> Modérément chargé Déficit d'O <sub>2</sub> < 30%	très sensibles ≤ 10% sensibles ≥ 50% tolérants + très tolérants < 50%
<b>II-III : β-α-mésosaprobie</b> Charge critique Déficit d'O <sub>2</sub> < 50%	0% < sensibles < 50% 50% ≤ tolérant + très tolérants < 90%
<b>III : α-mésosaprobie</b> fortement pollué Déficit d'O <sub>2</sub> < 75%	sensibles ≤ 10% tolérants ≤ 50% très tolérants < 50%
<b>III-IV : α-méso-polysaprobie</b> très fortement pollué Déficit d'O <sub>2</sub> < 90%	10% < sensibles + tolérants < 50% très tolérants > 50%
<b>IV : polysaprobie</b> excessivement pollué Déficit d'O <sub>2</sub> > 90%	sensibles + tolérants ≤ 10% très tolérants ≥ 90%

3). Cette méthode permet de suivre l'évolution des peuplements de manière relative. La station 6, la moins chargée en matières organiques, peut servir de site référentiel. Les populations plus sensibles mises en évidence au printemps peuvent être interprétées de deux façons :

— soit l'autoépuration hivernale est active, même sur les sites riches en matières organiques ;

— soit ces populations ne sont pas révélatrices des conditions de l'interface sédiment/eau à cette période, à cause de l'envahissement des assemblages par les ubiquistes printaniers, dont l'origine périphtyque ou tychoplanctonique ne peut pas être attestée, sans échantillonnage régulier dans la colonne d'eau.

Par contre le diagnostic absolu de la qualité saprobique pose quelques problèmes. Si l'on applique aux stations étudiées, l'échelle d'appréciation classique (Tabl. II), on remarque que tous les assemblages révèlent les conditions saprobiques de la classe II. Tout au plus, par la fréquence plus élevée de taxons tolérants et très tolérants (Tabl. III), on peut penser, que les assemblages des stations 3 et 4 révèlent les conditions les pires de la classe II, d'où la notation II-(III). Au contraire, les assemblages trouvés aux stations 5 (en automne) et 6, témoignent des conditions les moins chargées de la classe II, soit par une certaine abondance de taxons très sensibles, soit par une rareté particulière de taxons tolérants et très tolérants, d'où la notation (I)-II.

Pour les stations 3 et 4, l'indication de diagnostic semble optimiste par rapport aux déficits d'oxygène dissous mesurés. Avec des taux dépassant les 30% (Fig. 3 et Tabl. II) il semble qu'à ces stations, la charge organique critique de classe de qualité II-III soit atteinte. En particulier en au-

Tabl. III. – Composition des assemblages épipélics de Diatomées du littoral du Lac de Neuchâtel (Commune de Neuchâtel) et valeurs saprobiques biocénotiques.

*Composition of the epipellic assemblages of diatoms from the littoral of lake Neuchâtel (Commune of Neuchâtel) and biocoenotic saprobic values.*

Classes	stations	1	2	3	4	5	6
<b>7-oct-94</b>							
1. très sensibles		9.3	6.8	7.2	6.3	11.5	8.5
2. sensibles		78.5	81.0	64.2	64.1	75.7	84.3
3. tolérants		7.3	6.8	12.5	15.0	6.2	3.2
4. très tolérants		3.3	4.0	14.3	12.8	4.3	1.0
Σ 3 et 4		10.6	10.8	26.9	27.8	10.6	4.3
qualité saprobique		II	II	II-(III)	II-(III)	(I)-II	(I)-II
<b>26-avr-94</b>							
1. très sensibles		9.4	26.0	8.4	9.2	5.6	8.0
2. sensibles		78.0	58.2	70.7	70.8	81.3	83.7
3. tolérants		7.8	8.8	11.2	12.8	8.8	6.1
4. très tolérants		2.2	6.3	8.4	4.6	3.0	0.4
Σ 3 et 4		9.9	15.0	19.6	17.4	11.8	6.5
qualité saprobique		II	II	II-(III)	II-(III)	II	(I)-II



tomne 1993, après une période d'agitation, les déficits ne semblent pas naturels, car dans le lac de Neuchâtel, dont la longueur est parallèle à l'axe des vents dominants, les mélanges dûs aux perturbations météorologiques atteignent 15 à 30 mètres de profondeur, même pendant la stratification thermique (Besson 1991).

Ces problèmes de diagnostic sont probablement liés au fait que l'échelle d'appréciation provient d'observations empiriques faites en rivières, en principe sur de l'épilithon (communautés fixées au substrat). Cette situation idéale permet de ne baser le diagnostic, que sur les communautés de Diatomées présentes aux différentes stations étudiées et d'éviter la prise en compte des individus provenant de la dérive. Dans le domaine lacustre, les courants littoraux entraînent en profondeur des individus qui proviennent de la zone la plus productive riche en oxygène (entre 0,5 et 1 m de profondeur, Straub 1989), en particulier ici les petites cellules des espèces sensibles à fort pouvoir de multiplication comme *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* Lange-Bert. et *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun. Ces deux taxons sont représentés ici en surnombre dans tous les assemblages, ce qui a pour effet de ramener l'indication au sein de la classe II. On peut penser, qu'une modification de l'échelle de diagnostic soit souhaitable (H. Lange-Bertalot, com. orale) pour pouvoir appliquer la méthode des groupes d'espèces différentes à l'épipélon lacustre du lac de Neuchâtel. D'après les résultats obtenus grâce à cette première approche, le niveau de charge critique (II-III) devrait être diagnostiqué sur la base d'assemblages dont : l'abondance des taxons tolérants et très tolérants dépassent 20 %, l'abondance des taxons sensibles est réduite de 15 à 20 % par rapport aux assemblages référentiels. Ces indications sont à prendre pour l'instant sous toute réserve, car il n'est pas exclu, qu'une certaine part de l'abondance des groupes d'espèces tolérantes et très tolérantes aux stations 3 et 4, soit liée à la profondeur des sites de prélèvement. Une prospection plus intensive au large de la station 6, (pour établir un transect référentiel) permettra sans doute de lever l'incertitude et de mieux calibrer l'échelle d'interprétation.

REMERCIEMENTS – Nos remerciements vont à B. Zaugg, du bureau Aquarius, Neuchâtel et à H. Havlicek, plongeuse engagée par le bureau Biol-Conseils, Neuchâtel, pour leur aide technique lors des prélèvements. R. Stettler, chimiste de la Ville de Neuchâtel, pour les analyses chimiques. H. Lange-Bertalot, de Francfort, M. Coste, de Bordeaux et L. Leclercq, de Liège dont les remarques pertinentes, nous ont permis de mieux interpréter nos résultats. Un lecteur anonyme pour ses conseils, en particulier à propos de l'emploi de la notion d'hétérotrophie chez les Diatomées.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADMIRAAL W., C. RIAUX-GOBIN et R.W.P.M. LAANE, 1987. Interaction of ammonium, nitrate, and D- and L-aminoacids in the nitrogen assimilation of two species of estuarine benthic diatoms. *Mar. Ecol. Progr. ser.* **40** : 267-273.
- BESSON O., 1991. Quelques remarques sur les ondes internes dans le lac de Neuchâtel. Polycop. Inst. mathématiques, Univers. Neuchâtel : 1-18.
- CHOLNOKY B.J., 1968. Die Oekologie der Diatomeen in Binnengewässern, J. Cramer, Lehre, 1-699.
- COSTE M., 1978. Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. Méthodologie comparée et approche typologique. Thèse, Univ. Franche-Comté : 1-143.
- COSTE M., 1986. Qualité biologique des eaux : les méthodes microfloristiques. ENGREF, Paris : 1-60.
- COSTE M., C. BOSCA et A. DAUTA, 1991. Use of algae for monitoring rivers in France. In : Whitton, B.A., Rott, E., Friedrich, G. (eds), Use of algae for monitoring rivers : 75-88
- DENYS L., 1991. A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the western belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list. *Serv. géol. Belgique, Professional paper.* **246** : 1-41.
- ELBER F., K. MARTI & K. NIEDERBERGER, 1991. Pflanzenökologische und limnologische Untersuchung der Reussdelta-Gebietes (Kanton Uri). Ver. Geobot. Inst. ETHZ, Stift. Rübel, Zürich, **105** : 1-272.
- ELBER F., J. HÜRLIMANN, K. NIEDERBERGER, 1994a. Diagnostic de la qualité des eaux et de l'écomorphologie de la Suze. Rapport AquaPlus (Wollerau), Office de la protection des eaux du canton de Berne, trad. F. Straub : 1-96.
- ELBER F., J. HÜRLIMANN, K. NIEDERBERGER, 1994b. Diagnostic de la qualité des eaux et de l'écomorphologie de la Birse et de ces affluents. Rapport AquaPlus (Wollerau), Office de la protection des eaux du canton de Berne, trad. F. Straub : 1-96.
- FESEL U., 1984. Die Präsenz von Diatomeen und Diatomeenassoziationen unter den eusaprobien Verhältnissen des Abwasser. Umweltplanung und Umweltschutz. *Schriftenreihe der hessischen Landesanstalt für Umwelt.* **9** : 1-191.
- HELLEBUST & LEWIN, 1977. Heterotrophic nutrition. In Werner, D. (ed.), The biology of diatoms. Botanical Monographs 13, Blackwell, Oxford : 169-197.
- HOFMANN G., 1987. Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren. Diplomarb. Univers. Frankfurt a Main, 264 S.
- HOFMANN G., 1993. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. Diss. J. W. Goethe-Universität, Frankfurt am Main : 1-195.
- HUBER-PESTALOZZI G., 1942. Das Phytoplankton des Süßwassers 2 (2) : Diatomeen. In : Thienemann A. (ed), Die Binnengewässer **16** (2) : 367-549.



- KOLKWITZ R., 1950. Oekologie der Saprobien. Ueber die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. *Schriftenreihe Ver. Wasser-, Bod. Lufthyg.* **4**, Piscator Ver., Berlin-Dahlem : 1-64.
- KRAMMER K. et H. LANGE-BERTALOT, 1986 - 91. Bacillariophyceae 1-4. Band 2/1-4 von : Süßwasserflora von Mitteleuropa (begr. von A.Pascher). G. Fischer, Stuttgart.
- LANGE-BERTALOT H., 1978. Diatomeen-Differentiaten anstelle von Leitformen : ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastung. *Arch. Hydrobiol.*, Suppl., **51** : 393-427.
- LANGE-BERTALOT H., 1979a. Pollution tolerance of Diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia.* **64** : 285-304.
- LANGE-BERTALOT H., 1979b. Toleranzgrenzen und Populationsdynamik benthischer Diatomeen bei unterschiedlich starker Abwasserbelastung, exemplarisch für den unteren Main. *Arch. Hydrobiol.*, Suppl., **56** : 184-219.
- LECLERCQ L. et B. MAQUET, 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénologiques et diatomiques. Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique, Document de travail 38, 113 p.
- LIEBMANN H., 1958. Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. Biologie des Trinkwassers, Badewassers, Frischwassers, Vorfluters und Abwassers. Band 1. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 640 S.
- ROUND F. E., 1981. The ecology of algae. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge : 1-629.
- RUMEAU A. et M. COSTE, 1988. Initiation à la systématique des Diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **309** : 1-69.
- SLÀDEČEK V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol.*, Beih. **7** (1-4) : 1-218.
- STRAUB F., 1982. Diatomées épilithiques de six lacs du Jura suisse : premiers résultats. C.R. 4<sup>e</sup> coll. ADLAF. *Crypto. : Algol.* **3** (4) : p. 347.
- STRAUB F., 1989. Application de l'écologie des diatomées littorales de lacs carbonatés à la reconstitution des environnements préhistoriques d'un site archéologique. Hauterive-Champréveyres (lac de Neuchâtel). Thèse, Université de Neuchâtel, 88 et 207 p.
- VAN DAM H., 1979. Diatoms and water quality in lowland streams in the province of Northern Brabant (The Netherlands). *Hydrobiol. Bull. Amsterdam.* **13** (1) : 13-21.
- VAN DAM H., A. MERTENS & J. SINKELDAM, 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology.* **28** (1) : 117-133.
- WUTHRICH M., 1960. Les Diatomées du lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. Neuchâteloise Sci. Nat.* **83** : 7-40.
- WUTHRICH M., 1975. Les Diatomées. Contribution à la connaissance de la flore algologique du Parc National Suisse. *Ergebn. wiss. Untersuch. Schweiz. Nat. Park.* **14** (72) : 273-369.

Reçu le 4 novembre 1994; received November 4, 1994  
 Accepté le 5 janvier 1995; accepted January 5, 1995