Ce rapport servira de base de travail pour la sous-commission scientifique pour la gestion des zones naturelles de la rive sud du lac de Neuchâtel. Toutes les données chimiques ont été mises à disposition de l'Office fédéral de la protection de l'environnement par le laboratoire du canton de Neuchâtel; une autorisation de Mme B. Pokorni, chef du laboratoire, est indispensable pour leur publication.

Dr. P. Liechti, Office fédéral de la protection de l'environnement, 3003 Berne

Le lac de Neuchâtel est-il eutrophe?

1. Introduction

Le développement constant de la concentration des substances nutritives que contient le lac de Neuchâtel est une des conséquences tant de l'accroissement démographique que de la mécanisation agricole. Depuis 1982, le laboratoire cantonal de la protection des eaux enregistre divers paramètres chimiques qu'il met systématiquement à la disposition de l'Office fédéral de la protection de l'environnement. Grâce à ces renseignements, il a été possible d'établir les caractéristiques chimiques du lac de Neuchâtel.

2. Un facteur limitant de la croissance végétale

Alors que durant des dizaines d'années ce sont soit l'azote, soit les composés du phosphore ou même les oligo-éléments qui ont dû porter toute la responsabilité de l'eutrophisation de nos lacs, aujourd'hui on est à même de résoudre cette question de manière relativement sûre. Les expériences enregistrées dans le cadre du projet de l'OCDE intitulé "les lacs alpins" [1] permettent de conclure que dans la majorité des lacs le phosphore est le facteur limitant de la croissance végétale. Cette constatation signifie donc qu'en comparaison avec le phosphore, toutes les autres substances nutritives sont en surnombre et que seul un accroissement de la concentration du phosphore est encore capable d'intensifier la production primaire. La stoechiométrie de la biomasse permet de déduire que la bioproduction - lorsque le rapport entre l'azote et le phosphore, dissous, dépasse 12 - dépend surtout de la concentration du phosphore. Dans le lac de Neuchâtel, ce rapport dépasse 20.

3. Teneur en phosphore du lac de Neuchâtel

Pendant les vingt dernières années, la teneur en phosphore total a augmenté d'un facteur 7. Les moyennes mobiles représentées au tableau 1 montrent clairement une progression presque linéaire. Les 800 tonnes déterminées pour 1980 correspondent à une concentration de 60 mg par mètre cube.

4. Production primaire et oxygène

Sachant que la dégradation de la biomasse dans les couches profondes consomme une grande quantité d'oxygène et qu'elle peut provoquer l'anaérobiose, la grande importance accordée à la production primaire dans l'évaluation de l'état d'un lac est tout à fait compréhensible. Lorsque la concentration en oxygène descend à moins de 4 mg/l, la décomposition des produits biologiques dans les sédiments peut relâcher des substances nutritives, donc la concentration en phosphates augmente au fond du lac de manière trop brusque. De tels phénomènes n'ont jusqu'ici pas été constatés dans le lac de Neuchâtel (ill. 2a et 2b).

De ce fait la production primaire, déterminée par la concentration du phosphore, joue un rôle important sur l'état d'un lac. Puisqu'il y a une relation de cause à effet entre la charge de phosphore et sa concentration dans un lac, il semble facile d'associer la pollution par le phosphore et l'état de santé d'un lac. L'illustration 3) [2] démontre cette relation pour quelques-uns de nos lacs. Bien que la production primaire du lac de Neuchâtel n'ait jamais été déterminée, on peut estimer, toujours d'après l'illustration 3), qu'avec 60 mg/m^3 de P-tot., elle pourrait se situer entre 200 et 300 grammes de carbone par mètre carré de surface et par année. Selon l'illustration 4) (du rapport OCDE 1982 [3]), le lac de Neuchâtel - vu sa concentration en phosphore - devrait être classé parmi les lacs eutrophes.

L'objectif à atteindre quant à la qualité des eaux d'un lac, tel que défini dans la loi suisse sur la protection des eaux et son ordonnance sur les déversements d'eaux usées, consiste à ne pas dépasser une production organique moyenne, c'est-à-dire une production primaire inférieure à 150 g de carbone par mètre carré et par année. En outre, l'oxygène du lac ne doit pas être inférieur, à aucun moment et à aucun endroit, à 4 mg par litre.

Et pourtant, bien que la production primaire dans le lac de Neuchâtel soit trop élevée, nulle part on y rencontre une situation anaérobie. Même en 1980, la concentration en oxygène au point le plus bas du lac est supérieure à 6 mg/l (illustrations 5a et 5b).

5. Substances nutritives dans les zones littorales

Dans un lac, les substances nutritives sont réparties de manière homogène, en particulier dans le sens horizontal, notamment dans sa région pélagique. Les informations concernant les concentrations, résultant de mesures effectuées au milieu du lac, s'appliquent généralement aussi aux zones littorales, pour autant qu'il n'y ait pas à proximité immédiate des déversements d'eaux ou des affluents très pollués. Lorsque la concentration en substances nutritives est élevée, elle provoque une prolifération d'algues dans les zones peu profondes. Cependant il importe de relever que certains macrophytes lacustres peuvent se nourrir des substances nutritives se trouvant dans les sédiments. Outre le fait que les algues et les tapis de végétaux sont inesthétiques, ils risquent d'entraver les activités récréatives, comme la natation par exemple. Le professeur J.B. Lachavanne de l'université de Genève a notamment étudié dans de nombreux lacs suisses l'ensemble des conséquences de l'eutrophisation sur la vie végétale et sur la vie animale des zones littorales. Pour autant que nos informations soient complètes, jusqu'ici le lac de Neuchâtel n'a pas été inclus dans ces recherches.

6. Conclusions

En 1977 déjà, les auteurs Dubois et Schetty [4] attribuèrent l'état satisfaisant du lac de Neuchâtel en premier lieu à son exposition aux vents. Effectivement, ce lac présente des conditions favorables entre la surface et les moyennes profondeurs, il est orienté sud-ouest/nord-est, c'est-à-dire exactement dans la direction des principaux vents du pied du Jura. Même si ces vents entraînent sur le lac de Neuchâtel des tempêtes automnales, ce qui crée un brassage total des eaux et garantit l'approvisionnement en oxygène des couches profondes, l'influence du vent d'ouest ne peut cependant pas éviter la prolifération des fleurs d'algues à la surface du lac.

En 1980, 73% des habitants vivant dans le bassin versant du lac de Neuchâtel disposaient de raccordements aux stations d'épuration. Dans le cadre d'une étude interne faite par l'Office fédéral de la protection de l'environnement, H.P. Fahrni a calculé en fonction de tous les facteurs connus la charge annuelle en phosphore du lac de Neuchâtel. Pour l'année 1980, cette charge a atteint 275,7 tonnes. Puisqu'en 1987, 81% des habitants du bassin versant disposeront d'un raccordement à une station d'épuration, la charge annuelle en phosphore sera alors d'environ 237 tonnes. Comme les eaux usées des 19% restants ne pourront pas être traitées, l'état des affluents ne se modifiera plus beaucoup, à moins évidemment que des mesures soient prises à la source, c'est-à-dire avec les phosphates des lessives et de l'agriculture.

7. Qu'entreprennent la Confédération et les cantons?

La concentration en substances nutritives des affluents est trop grande, il faut la réduire. Le premier pas consiste à établir un état de la situation , afin de savoir avec précision où se trouvent les sources de ces substances. La Confédération (OFPE et SHN) et les cantons de Vaud, Neuchâtel et Fribourg sont en train

d'établir un programme d'analyses pour les affluents du lac de Neuchâtel. Le Service hydrologique national a installé des appareils de mesures pour déterminer les débits, et les laboratoires cantonaux ~~calculent les paramètres~~ sont responsables pour le prélèvement des données chimiques; les mesures ont commencé en janvier 1982. L'Office fédéral de la protection de l'environnement, qui disposera des premiers résultats dans quelques mois, se chargera de les stocker sur des supports électroniques pour utilisation ultérieure. Une première vue d'ensemble est attendue pour l'été 1983.

[1] H.J. Fricker; Critical evaluation of the application of statistical phosphorus loading models to alpine lakes, Dissertation ETH Zürich (1981)

[2] H.P. Fahrni; Que peuvent supporter nos lacs?; Gas-Wasser-Abwasser 62,3 (1982)

[3] Eutrophisation des eaux: Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte; OCDE (Paris 1982)

[4] J.P. Dubois, O. Schetty; Evolution de l'état sanitaire de la baie d'Auvernier (lac de Neuchâtel) de 1962 à 1973; Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie Vol. 39 (1977)

Fig. 1

Lac de Neuchâtel

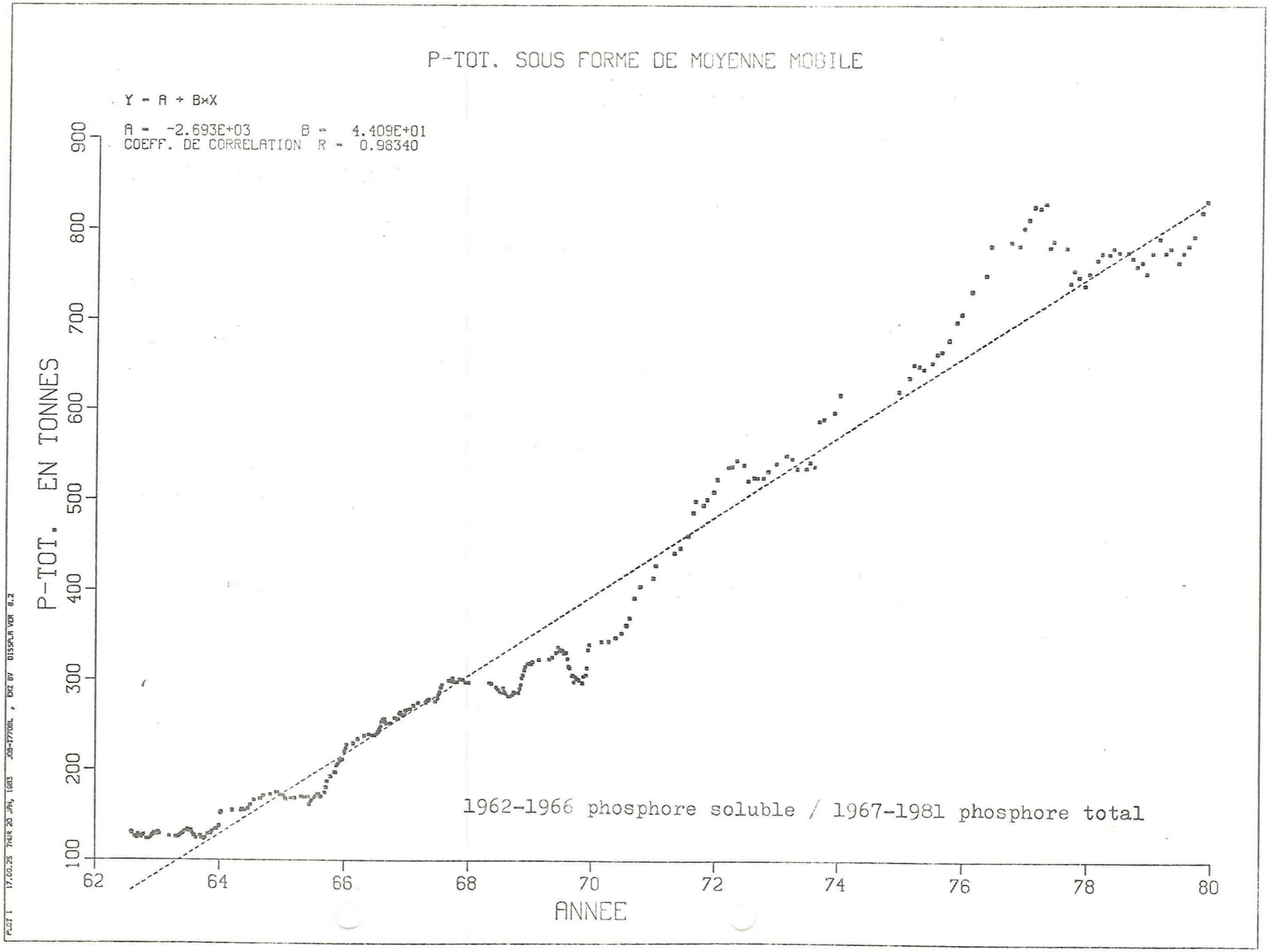


Fig. 2a

2407 LAC DE NEUCHATEL

P04-TOT.

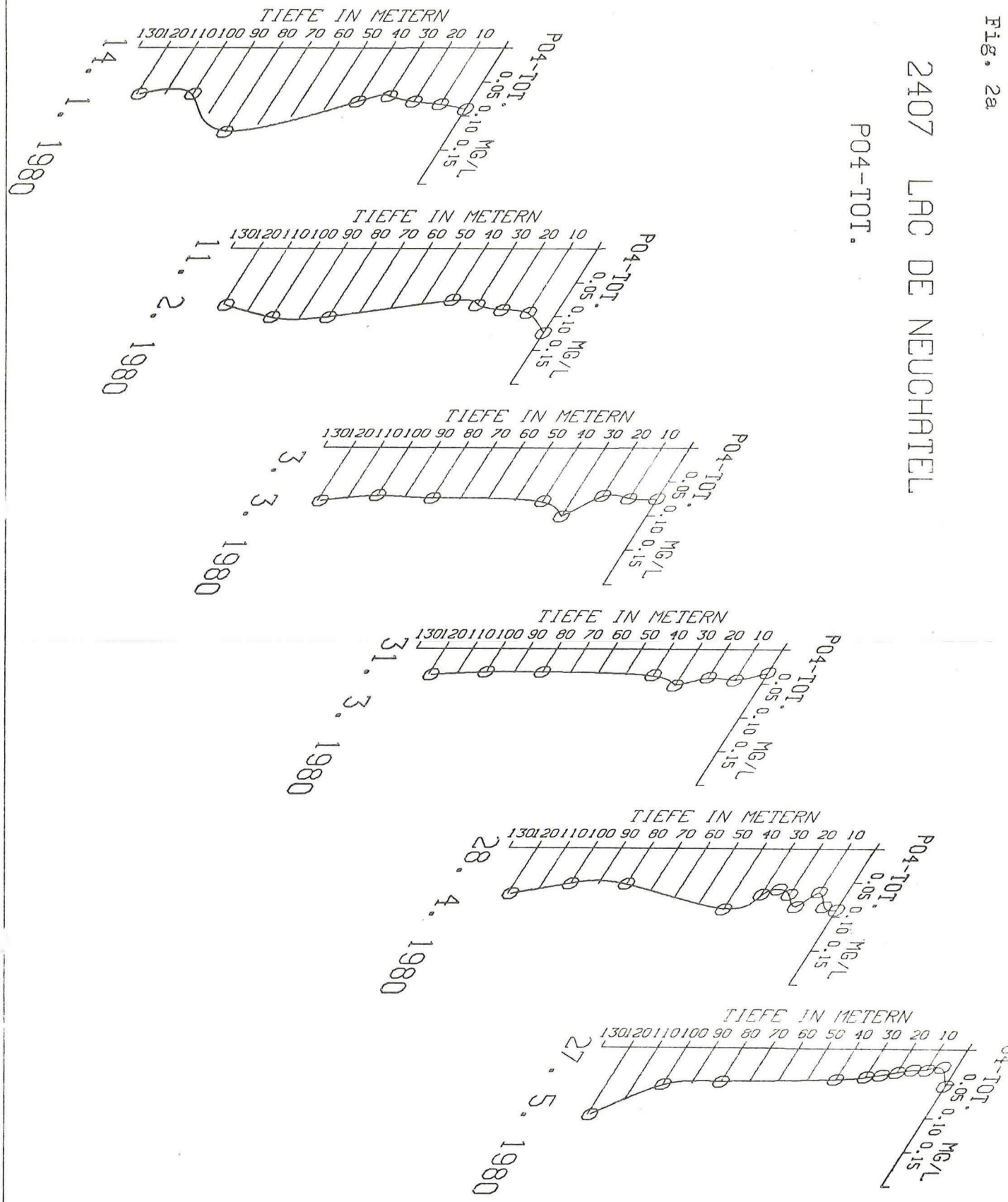
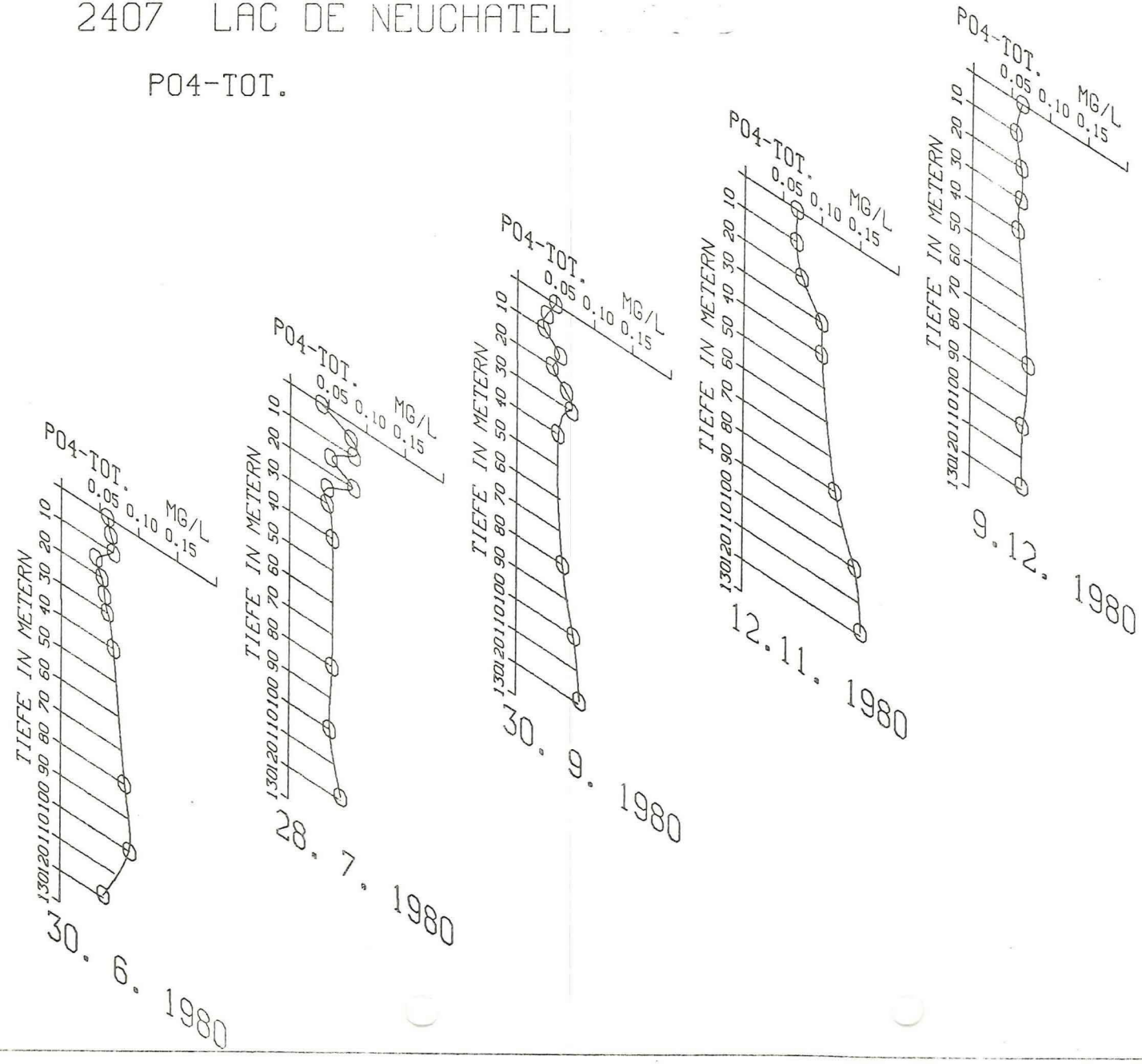


Fig 2b

2407 LAC DE NEUCHATEL

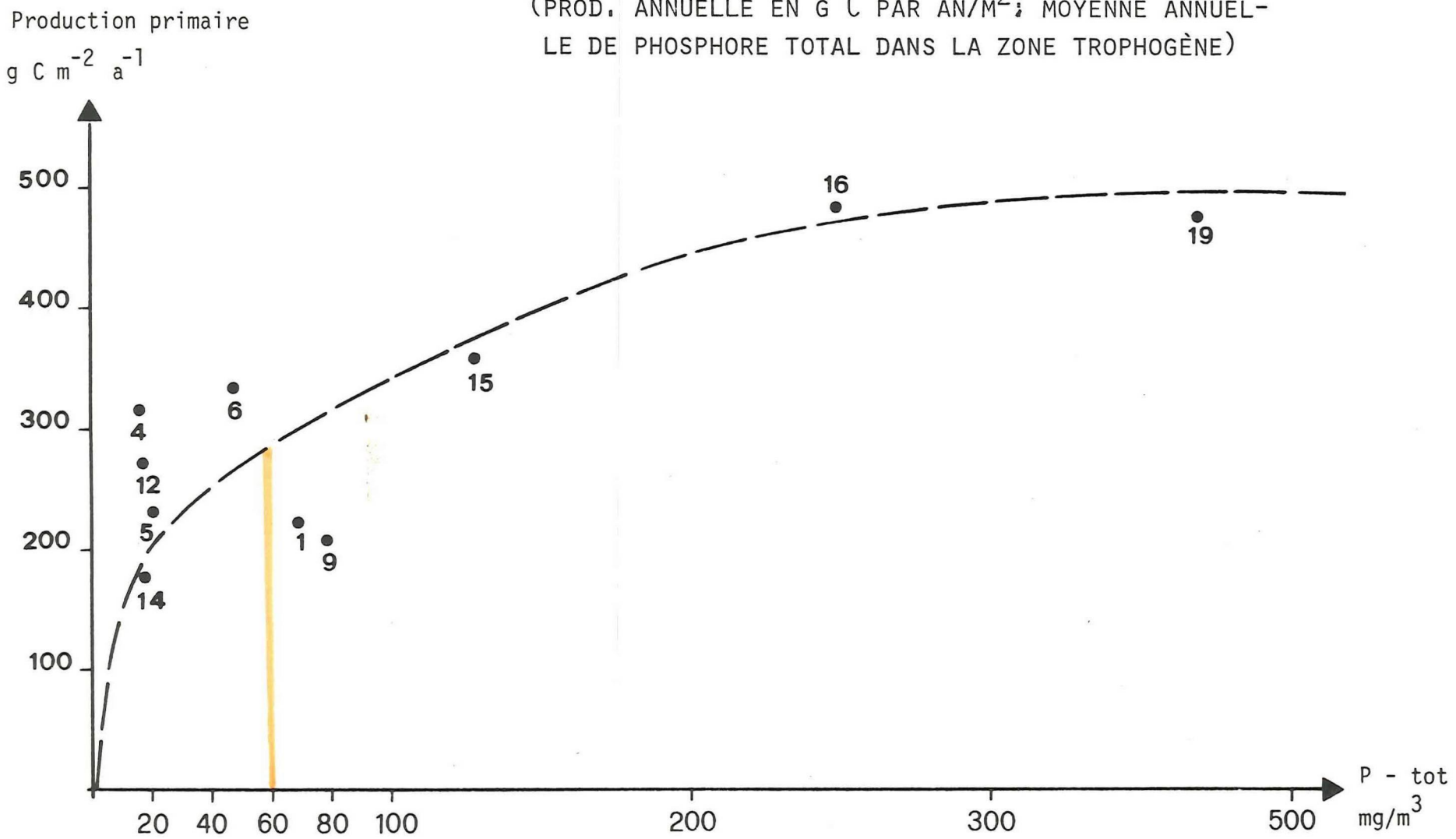
PO4-TOT.



PLOT 2 11.10.34 WED 17 NOV, 1982 JOB-177068 , EN2 BV DISSPLA VER 8.2

FIG. 3: PRODUCTION PRIMAIRE EN PHOSPHORE TOTAL

(PROD. ANNUELLE EN G C PAR AN/M^2; MOYENNE ANNUELLE DE PHOSPHORE TOTAL DANS LA ZONE TROPHOGÈNE)



Liste des lacs pour Fig. 3

Nom	Numéro d'ordre
Lac de Genève	1
Lago Maggiore	4
Vierwaldstädtersee	5
Lac de Bienne	9
Walensee	12
Sempachersee	14
Hallwilersee	15
Greifensee	16
Baldeggersee	19

FIG. 4

DISTRIBUTION PROBABLE DES DIFFERENTES CATEGORIES TROPHIQUES

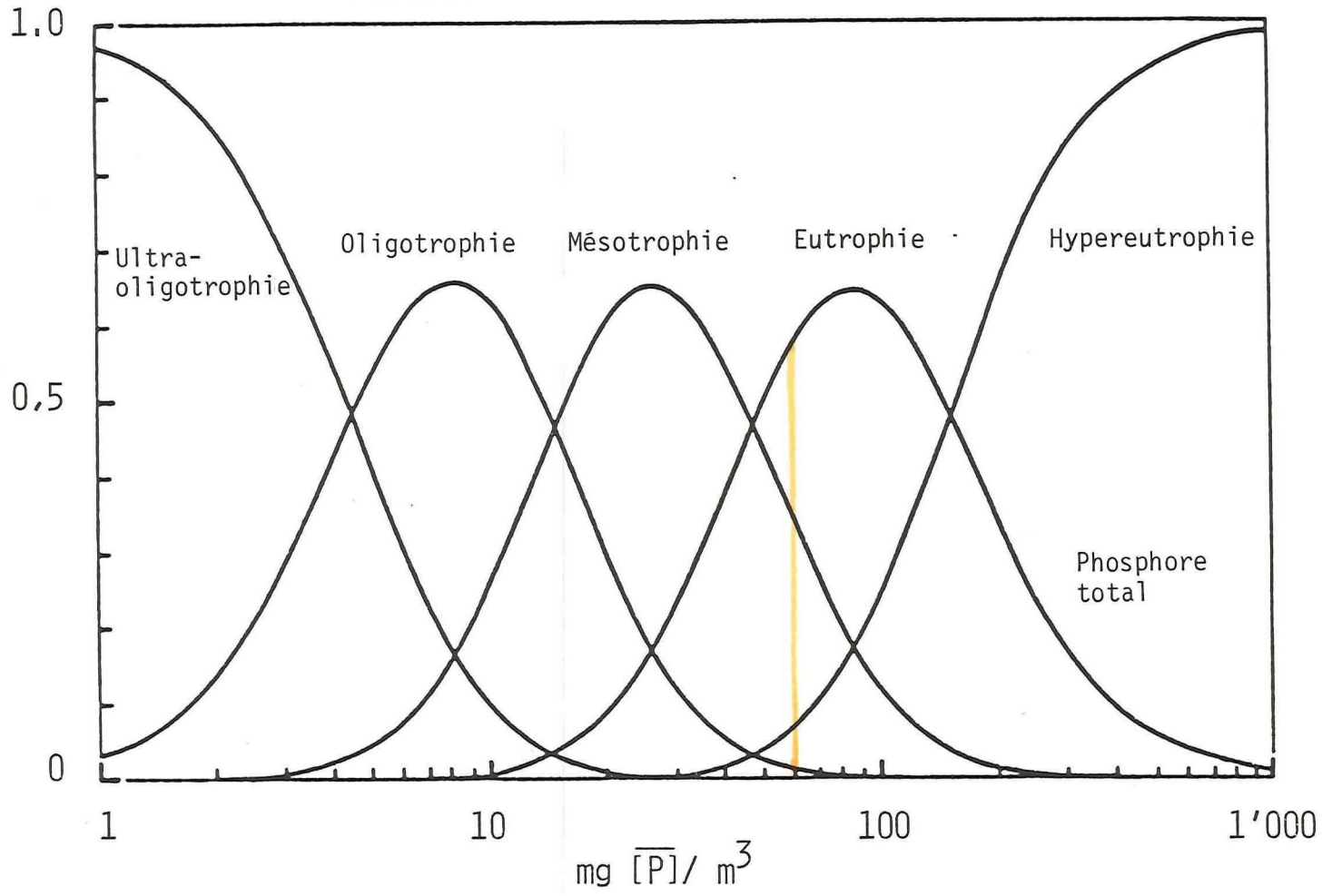


Fig 5a

2407 LAC DE NEUCHATEL

SAUERSTOFF

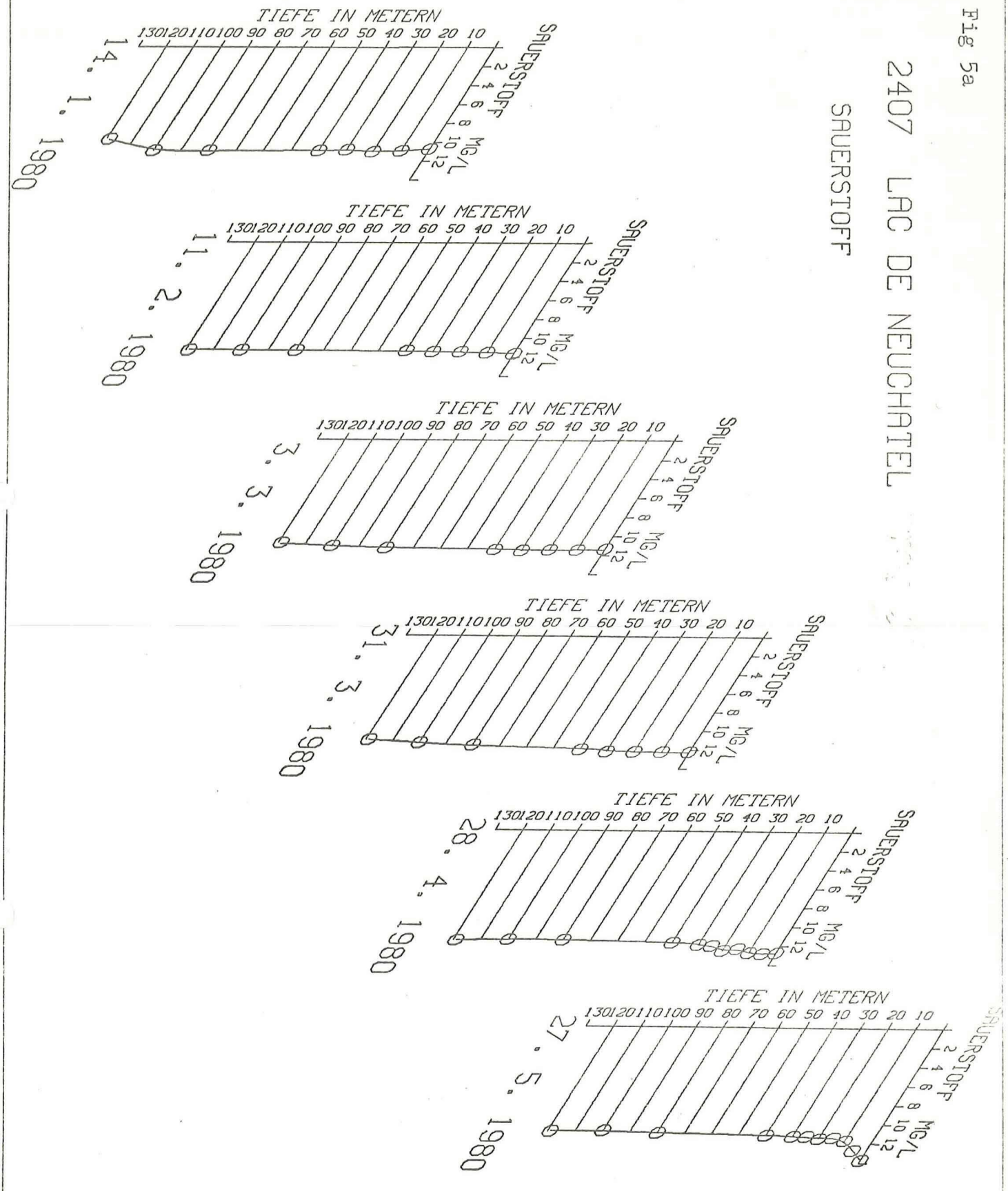
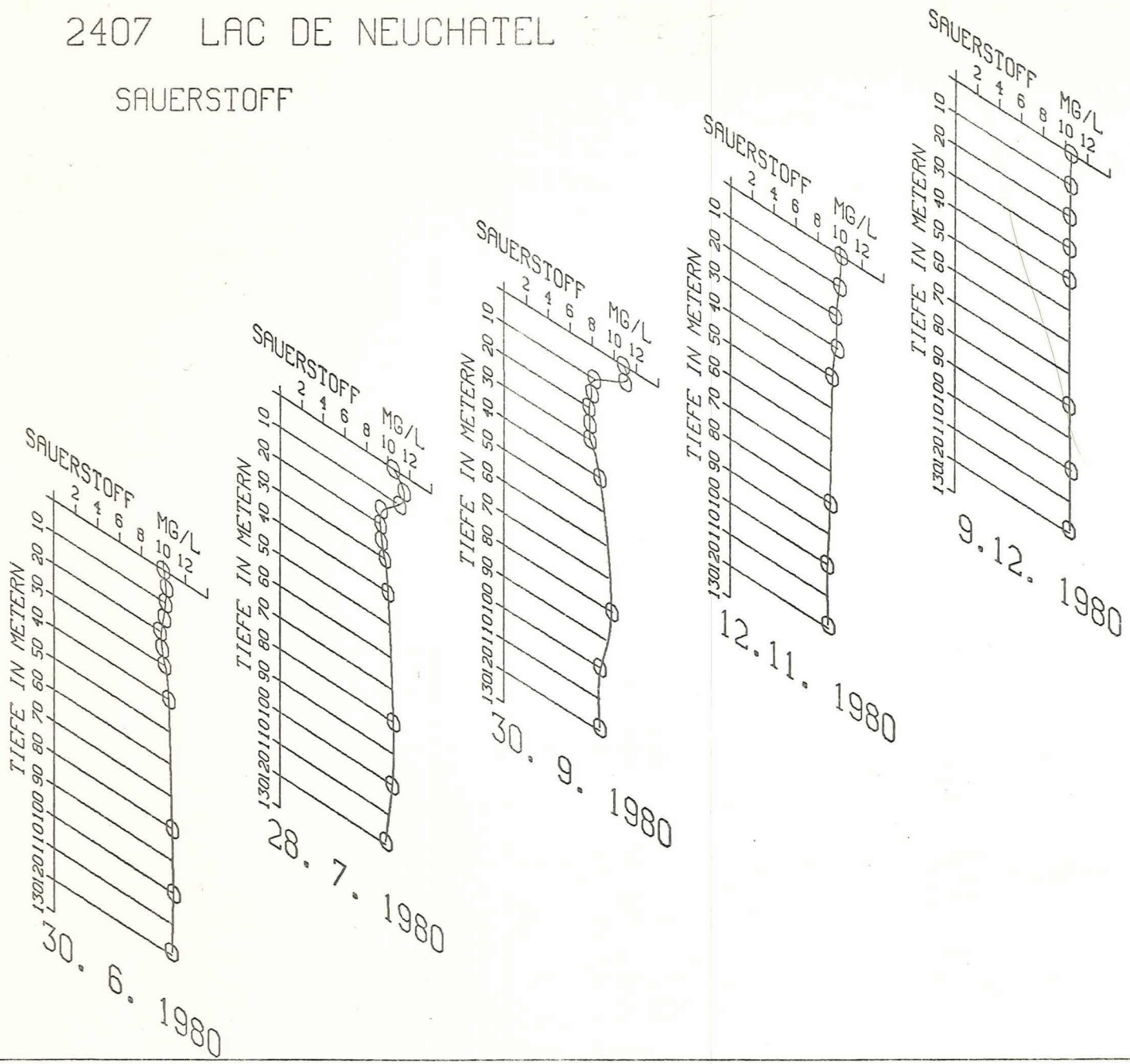


Fig. 5b

2407 LAC DE NEUCHATEL

SAUERSTOFF



PLOT 4 11.11.01 WED 17 NOV, 1992 JOB-T7708B , ERZ BV DISSPLA VER 8.2

Appendix

Phosphore total dans les affluants du lac de Neuchâtel

Moyennes de l'année 1979

Affluant	concentration en mg/l
Le Seyon	0.087
L'Areuse	0.094
Le Canal de la Broye	0.209
La Mentue	0.218
Le Buron	0.368
Le Canal Oriental	0.318
La Thielle	0.169
Le Mujon	0.287
L'Arnon	0.123
La Serrière	0.071

4.1.1/4

Les entreprises suisses et étrangères qui pourraient offrir des moyens d'améliorer les particularités de solidification des cendres retenues par les électrofiltres et d'autres résidus provenant d'usines d'incinération des déchets, sont invitées à se mettre en relation avec l'Office fédéral de la protection de l'environnement.

Des contacts ont naturellement été établis avec des services spécialisés étrangers et l'on a procédé à l'évaluation de divers ouvrages traitant de ces travaux spécifiques pour pouvoir se rallier à l'état des connaissances actuelles. Mais nous acceptons très volontiers toute information concernant des expériences non publiées dans le domaine en question.

Etat des travaux

Pour l'heure, les essais ne s'étendent qu'aux cendres des électrofiltres, parce que de tous les résidus nocifs, ceux-ci sont les plus faciles à traiter. Les résultats obtenus jusqu'à présent confirment la présomption que la teneur en chlorure constitue un obstacle majeur à la solidification ou à la fixation des substances toxiques. Un fait d'importance lorsqu'il s'agira de porter son choix sur un procédé.

(Jörg Schärer)

Eaux superficielles

LE LAC DE NEUCHÂTEL

Premier d'une série, cet article a pour but de présenter sous une forme accessible à chacun, à partir de données actuelles, le lac de Neuchâtel. Les principaux lacs suisses seront exposés de manière similaire dans les prochains numéros du bulletin.

Généralités

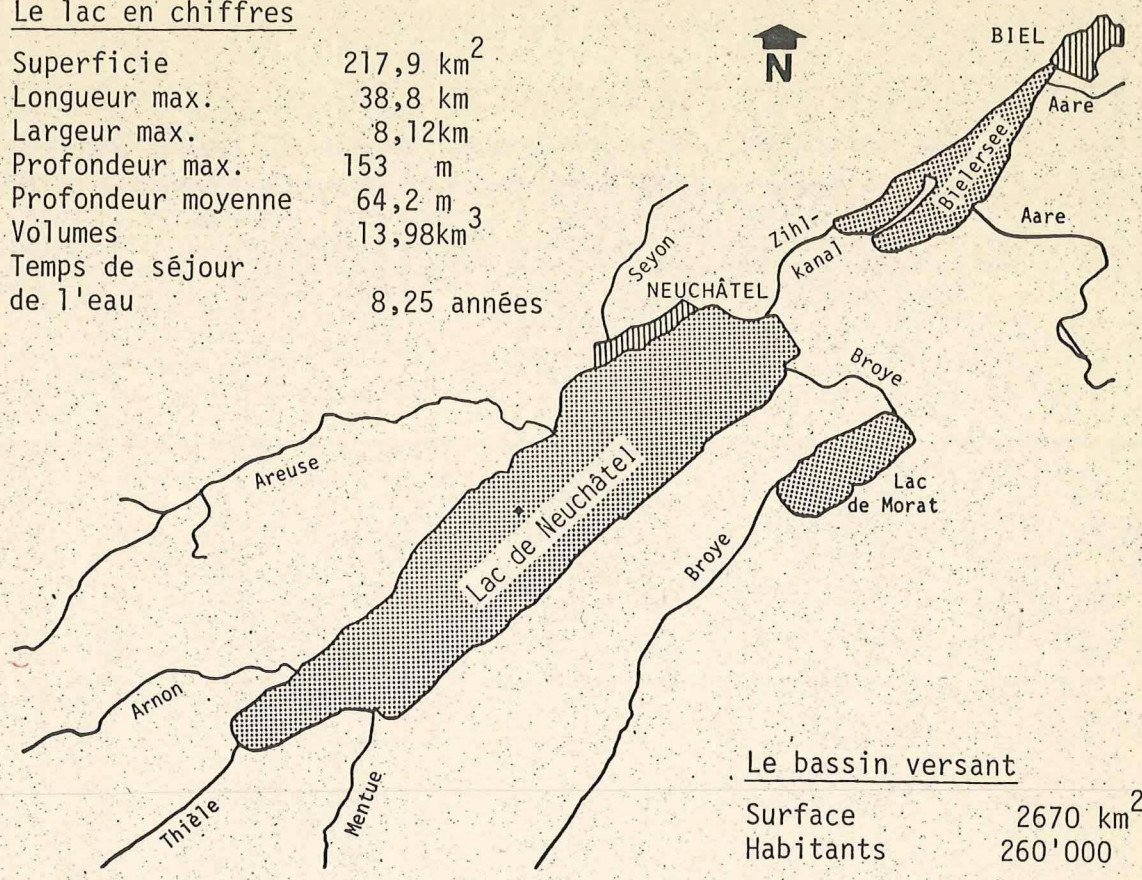
Avec une surface de 214,6 km^2, le lac de Neuchâtel est le plus grand des lacs se trouvant entièrement sur territoire suisse. Son importance dépasse les limites régionales, que ce soit comme fournisseur d'eau potable, sur le plan de l'économie piscicole ou comme vaste réserve pour les plantes et les oiseaux aquatiques. Les cantons de Neuchâtel, Fribourg, Vaud et Berne se partagent son bassin versant de 2'670 km^2; dans la vallée de Joux, le bassin versant comprend même une partie du territoire français. Sur les 60 m^3/sec. d'eau qui se déversent dans le lac de Neuchâtel, trois quart environ proviennent des trois cours d'eau que sont l'Areuse, la Thielle et la Broye. L'effluent se jette dans le lac de Bienne. Depuis la correction des eaux du Jura, le lac de Neuchâtel joue, conjointement avec lac de Morat, le rôle de bassin compensateur pour l'Aar qui se déverse dans le lac de Bienne. La première correction des eaux du Jura, de 1888, a abaissé de 2,77 m le niveau du lac, découvrant ainsi partiellement une vaste zone littorale peu profonde située sur la rive sud. C'est là que prit naissance une des plus grandes régions humides de Suisse. Ce biotope, unique en son genre, passe pour être une réserve naturelle d'importance internationale.

Teneur en substance fertilisantes pendant la période de recirculation des eaux au printemps

Nitrate	Ortho-phosphates	Phosphore total
0,93 mg N/l	0,039 mg P/l	0,054 mg P/l

Le lac en chiffres

Superficie	217,9 km^2
Longueur max.	38,8 km
Largeur max.	8,12km
Profondeur max.	153 m
Profondeur moyenne	64,2 m
Volumes	13,98km^3
Temps de séjour de l'eau	8,25 années



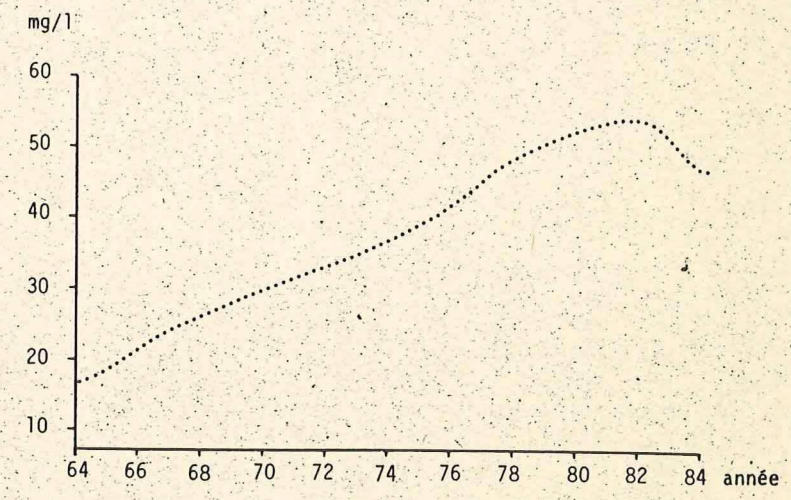
Le bassin versant

Surface	2670 km^2
Habitants	260'000

Evolution de la concentration de phosphore dans le lac de Neuchâtel

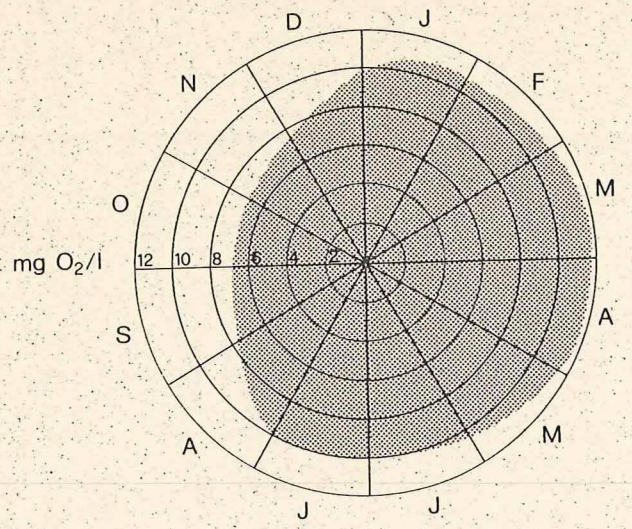
Grâce au travail de pionnier de H. Sollberger et à d'autres études détaillées, on peut aujourd'hui suivre l'évolution des substances nutritives dans le lac de Neuchâtel au cours des 25 dernières années. Si en 1960 le lac possédait moins de 20 mg de phosphore par m^3 d'eau, on en mesurait 30 mg/m^3 en 1970 et 50 mg/m^3 en 1980. C'est seulement au cours des deux dernières années que la charge en phosphore a diminué. Les mesures de protection des eaux prises pendant les années 1970 dans le bassin versant ne laissent apparaître leur efficacité que maintenant.

Evolution de la concentration de phosphore dans le lac de Neuchâtel



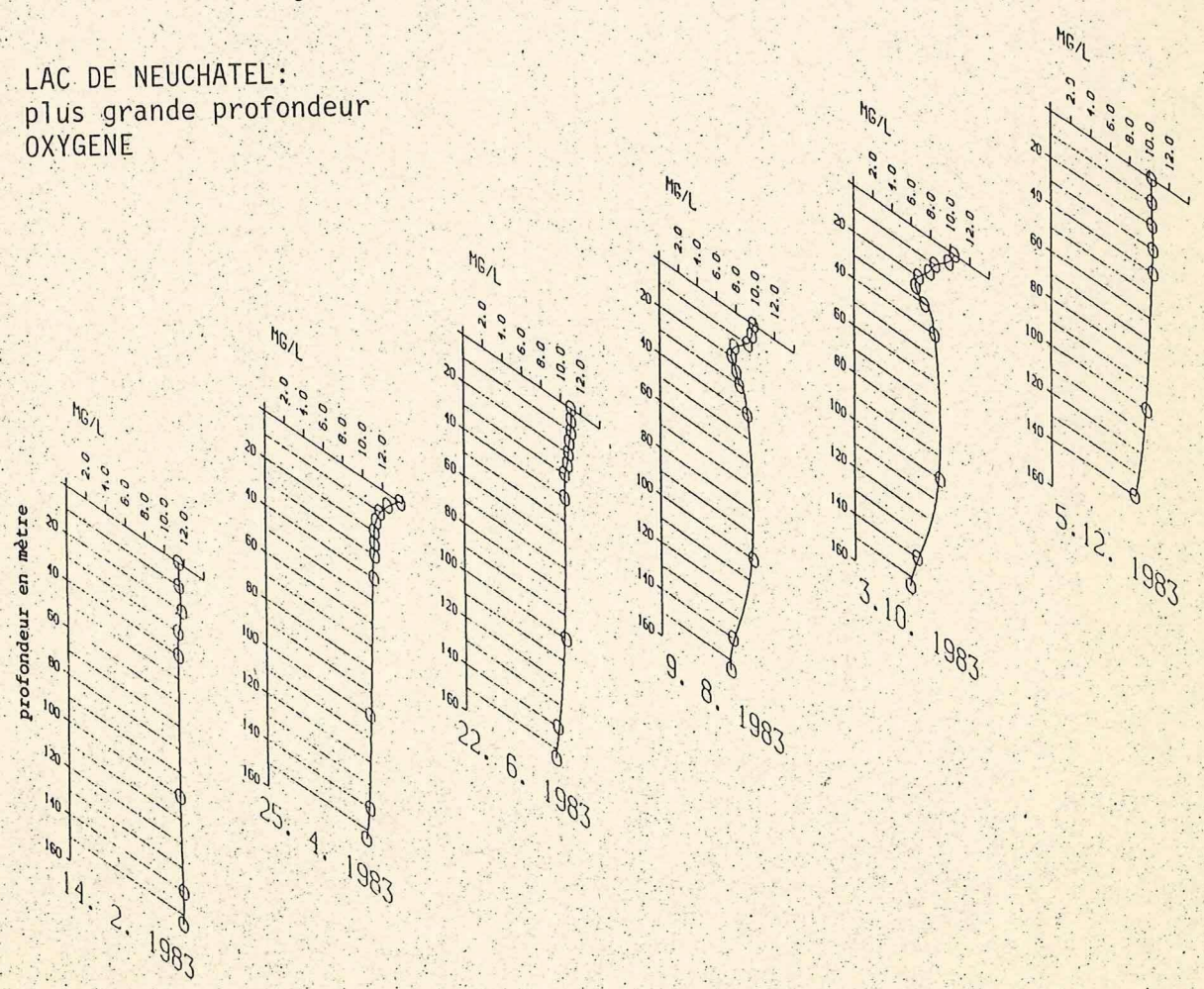
Le lac s'étend parallèlement à la première chaîne du Jura. Cette situation est particulièrement avantageuse pour son état sanitaire, attendu qu'aussi bien la bise que le vent d'ouest sont canalisés sur le long de son axe, provoquant le brassage de la masse d'eau et entraînant une aération bienvenue des couches profondes.

Concentration d'oxygène sur le fond pendant une année



Bien qu'aujourd'hui la concentration de phosphore et la production d'algues soient à peu près identiques à celles du lac de Bienne, on a encore jamais mesuré moins de 6 mg/l d'oxygène dans les couches profondes, contrairement au lac de Bienne. Le lac de Neuchâtel "digère" les algues excédentaires manifestement encore sans difficulté pour le bilan en oxygène, grâce à l'intense brassage annuel de ses eaux (cf. figures).

LAC DE NEUCHATEL:
plus grande profondeur
OXYGENE



Mais l'augmentation de l'eutrophisation (excédent de substances fertilisantes) pose des problèmes dans la zone littorale ainsi que dans le secteur de la pêche. Aujourd'hui 55 pêcheurs professionnels vivent du produit de la pêche dans le lac de Neuchâtel; ils capturent par année quelque 500 tonnes de corégones et de poissons blancs. Au cours des dernières années, ils ont constaté à plusieurs reprises que leurs filets se recouvraient entièrement de diatomées, longues algues filandreuses; attendu que cette végétation rend les filets visibles aux poissons, leur capture est évidemment plus difficile et le produit de la pêche s'en ressent considérablement.

La rive sud du lac a vu également la production des algues augmenter de manière importante: le joran (violent vent soufflant du nord-ouest) et la bise ont poussé le tapis d'algues, en une masse inesthétique, vers les plages et les roselières qui ont subi des dommages. Quand bien même les causes du recul des roseaux ne soient pas encore tout à fait définies, il ne fait cependant aucun doute que l'influence de l'eutrophisation joue en l'espèce un rôle important.

La progression de l'eutrophisation se manifeste également sur les populations du fond du lac. Selon les études de C. Lang, les organismes typiques des lacs eutrophes qui vivent dans la vase (p. ex. les turbifex), ont proliféré au cours des dernières décennies.

Evaluation de la charge en substances nutritives

Les services cantonaux de la protection des eaux des cantons de Fribourg, Vaud et Neuchâtel effectuent actuellement, en collaboration avec l'Office fédéral de la protection de l'environnement, une étude intégrale sur les affluents du lac.

Les résultats recueillis permettent provisoirement d'établir le bilan en phosphore suivant:

Affluents	
Canal de la Broye	120 t de phosphore/année
Thielle	55 t de phosphore/année
Areuse	27 t de phosphore/année
Petits affluents (au total)	68 t de phosphore/année
Affluents, au total	270 t de phosphore/année
Déversements directs des stations d'épuration (y compris les déversoirs d'orages dans le lac)	40 t
Total	310 t de phosphore/année

Chaque année, env. 100 t ressortent du lac.

Plus de 85 % de la charge en phosphore pénètrent dans le lac par l'intermédiaire des affluents. Or, ces derniers reçoivent également les eaux usées épurées et non épurées d'une grande partie de la population vivant dans le bassin versant.

Les trois principaux affluents que sont la Broye, la Thielle et l'Areuse déversent à eux seuls approximativement les 2/3 de la charge totale en phosphore du lac. Ce qui est frappant, c'est la charge élevée provenant du lac de Morat, très eutrophe (plus de 100 tonnes par année), qui emprunte le canal de la Broye pour se déverser dans le lac de Neuchâtel.

Les concentrations en phosphore les plus élevées se trouvent dans la Thielle et l'Arnon pendant les périodes de crues. Il est possible que sur les surfaces en son temps asséchées et aujourd'hui cultivées de manière intensive le long de la Thielle et de l'Orbe, les engrais soient fréquemment emportés par les eaux de ruissellement.

Dans les affluents plus petits, tels que la Mentue et le Sayon, la charge provient en revanche des eaux usées communales, bien que celles-ci disposent de stations d'épuration.

Effet des mesures d'assainissement

En 1981, la population vivant dans le bassin versant du lac de Neuchâtel était raccordée à 70 % env. à une station d'épuration. Les Step en service éliminent des eaux usées quelque 150 tonnes de phosphore. Lorsque les installations en projet et celles en cours de réalisation seront terminées, le taux de raccordement atteindra 81 %. La charge en phosphore sera ainsi réduite de quelque 45 tonnes. Une interdiction des phosphates dans les produits de lessive l'abaissera encore de 25 tonnes. Dès lors, on aurait plus qu'une charge de 235 tonnes de phosphore par année et une concentration de quelque 35 µg P/l dans le lac. Cette réduction exercerait un effet bénéfique non seulement sur le lac de Neuchâtel, mais également sur celui de Bienne.

(Hans-Peter Fahrni et
Paul Liechti)

Ouvrages consultés

(1) H. Sollberger, Etude sanitaire du lac de Neuchâtel, première partie 1958-1962, Neuchâtel, Laboratoire Cantonal (1974).
(2) J.P. Dubois et O. Schetty, Evolution de l'état sanitaire de la baie d'Auvernier (lac de Neuchâtel) de 1962 à 1973 Schweiz. Z. Hydrologie 39, 1-11 (1977).
(3) OFPE, les phosphates dans les lessives, cahier de l'environnement, Berne, juillet 1983.
(4) OFPE, épuration des eaux usées et qualité des eaux de surface, 1.1.83.
(5) C. Lang et L. Cuvit, Degré d'eutrophisation du lac de Neuchâtel en 1979-80 et du lac de Morat en 1980 évalué à partir de la faune des sédiments. Rapport présenté à l'OFPE en mai 1981.

HÉCATOMBE DE POISSONS PAR DU PURIN - UN SERVICE CANTONAL DE PROTECTION DES EAUX RÉAGIT

On le sait pourtant qu'une pollution par le purin provoque la mort des poissons! Or la statistique qui nous a été communiquée pour les années 1976 à 1980 prouve que le purin reste en tête des causes puisqu'il représente 25 % des cas. Les autres causes sont:

- eaux usées industrielles ou artisanales	17 %
- pesticides et désinfectants	11 %
- eaux usées domestiques	10 %
- manque d'oxygène (phénomène naturel)	10 %
- huile, essence, goudron	8 %
- boues provenant de la vidange des retenues	4 %
- jus de silos	2 %
- ciment liquide	1 %
- autres causes (rivières asséchées, chlore, explosions, eau de percolation de décharge)	12 %