Bull. Soc. Nat. luxemb., 90 (1990) p. 3-16

Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre

par Emanuela WILLE [1])

Résumé: Le développement du phytoplancton du lac de la Haute-Sûre (Grand-Duché de Luxembourg) a été suivi dans quatre points de prélèvement d'avril jusqu'en novembre 1988. La succession des grands groupes d'algues a été étudiée pour chaque station: au printemps, un développement massif de Diatomées, remplacées en été par des algues vertes, a été observé. A la fin de l'été, les algues bleues constituaient le groupe le plus important du phytoplancton. Trois fleurs d'eau ont été observées en avril, juillet et septembre, avec un développement maximal en septembre causé par la Cyanophycée unicellulaire *Gomphosphaeria naegeliana* Chod. (130134 cell./ml; 29 µg/l de chlorophylle-a).

Introduction

Le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre (fig. 1, tab. 1) se trouve au Nord du Grand-Duché de Luxembourg (Oesling) et représente le plus grand réservoir d'eau superficielle pour ce pays. Alimenté principalement par la Sûre (rivière qui prend son origine dans la région du Luxembourg belge), ce plan d'eau a, à cause de ses multiples formes d'exploitation, un intérêt national.

Les formes d'exploitation les plus importantes de ce lac sont la production d'eau potable et le tourisme, secteurs qui, dans la pratique, se trouvent souvent en conflit. Depuis l'année 1961, en vertu de l'incompatibilité existant entre ces deux formes d'exploitation, le barrage a été divisé en deux zones. A présent, une partie de ce plan d'eau (zone 2) est consacrée aux activités récréatives, l'autre (zone 1) étant soumise à un régime de protection sanitaire, afin de garantir l'approvisionnement en eau potable.

En dépit de cette répartition, un ensemble de facteurs provoquent la dégradation progressive de la qualité de l'eau du barrage d'Esch-sur-Sûre. Depuis 1974, les contrôles de routine effectués par le laboratoire de chimie du S.E.B.E.S. (Syndicat des Eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre) ont par moments observé une couleur "verdâtre" des eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre. Pendant la saison estivale, les analyses ont confirmé une assez forte désoxygénation des eaux de l'hypolimnion. Ces observations furent les premières constatations de l'eutrophisation de cette retenue. En 1986 la production d'eau potable a dû être arrêtée à cause de floraisons trop abondantes d'algues planctoniques.

[1]) Centre de Recherche Public, Centre Universitaire de Luxembourg, 162A, avenue de la Faïencerie, L-1511 Luxembourg

Tab. 1: Données générales sur le barrage d'Esch-sur-Sûre.

DONNEES GENERALES DU BARRAGE D'ESCH-SUR-SURE	
Surface	380 ha
Profondeur moyenne	16 m
Profondeur maximale	46 m
Volume total	$59 * 10^6 m^3$
Volume bassin principal	$55 * 10^6 m^3$
Volume bassins secondaires	$4.3 * 10^6 m^3$
Temps moyen de rétention	0.3 années
Longueur du Barrage	20 Km
Affluents	$175\text{-}240 * 10^6 m^3$ / an

Plusieurs études, notamment celles de Welter (1980) et Braconnier (1981) ont essayé d'expliquer les causes de cette eutrophisation en les attribuant surtout à l'apport en éléments nutritifs comme le phosphore et l'azote.

Peu de données existent dans la littérature sur la biologie du lac. A partir de 1987 on a commencé à suivre le développement qualitatif et quantitatif du phytoplancton ainsi que la teneur en chlorophylle-a de ces eaux.

Cette étude présente les travaux limnologiques effectués pendant la période avril-novembre 1988.

Matériel et méthodes

Echantillonage

Les échantillons pour le phytoplancton et les analyses physico-chimiques ont été prélevés toutes les deux semaines du 12 avril au 7 novembre 1988 pour quatre stations (fig. 1) avec une bouteille Züllig de 5 litres.

Les échantillons de phytoplancton ont été recoltés en subsurface (0-1 m) et fixés immédiatement avec une solution de lugol (Bourrelly, 1968).

Pour les analyses physico-chimiques, l'échantillonage a été effectué tous les cinq mètres aux quatre stations.

Paramètres physico-chimiques

L'oxygène a été dosé suivant la méthode de Winkler.

Les autres analyses chimiques ont été effectuées selon la norme allemande, à savoir le phosphore total (DIN 38406/5), les nitrates (DIN 38405/9), les nitrites (DIN 38405) et l'ammoniaque (DIN 38406/5). Les analyses de chlorophylle-a ont été réalisées suivant la norme allemande (DIN 38412/6).

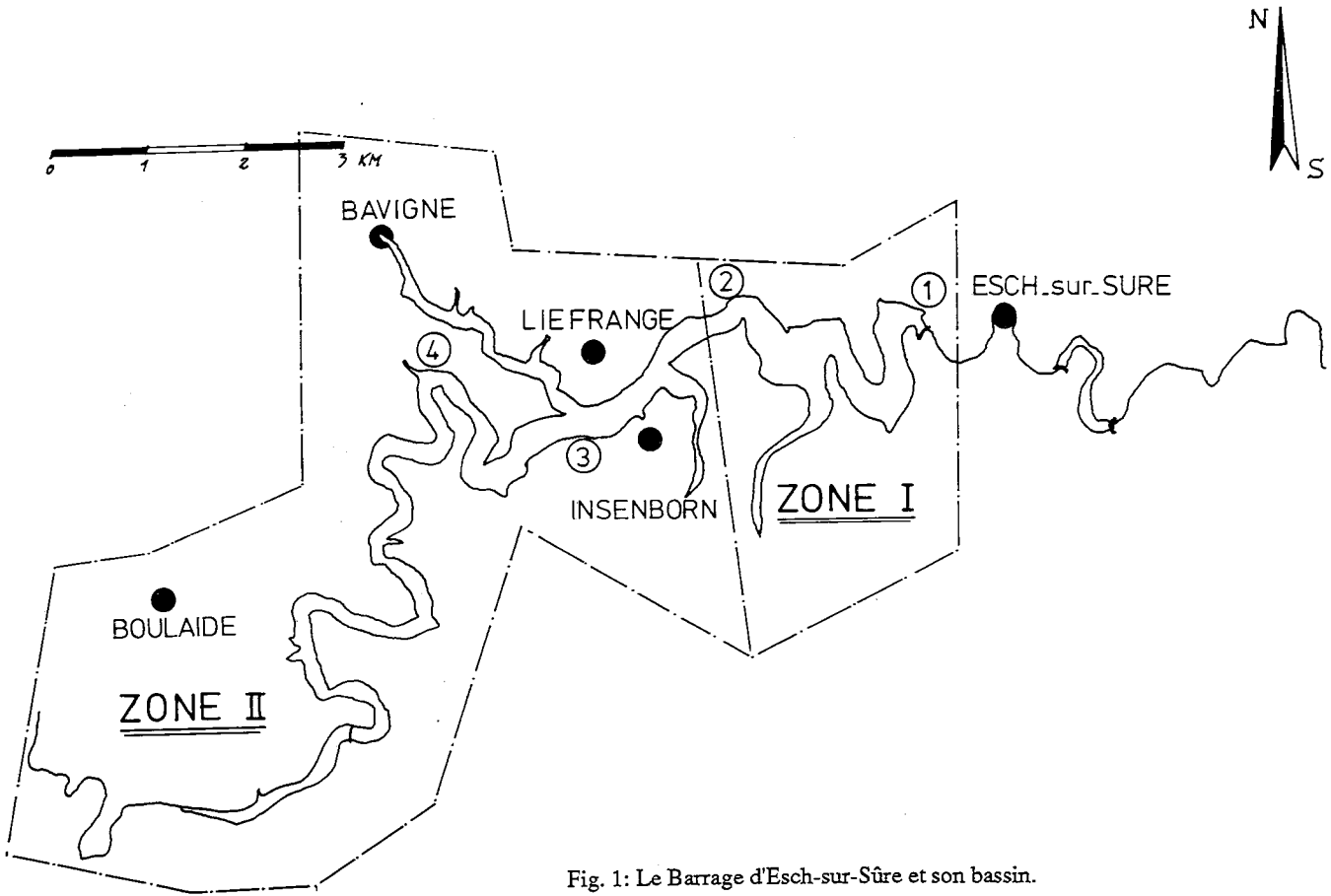


Fig. 1: Le Barrage d'Esch-sur-Sûre et son bassin.

Analyses quantitatives et qualitatives du phytoplancton

Le phytoplancton a été compté dans des chambres de sédimentation (20 ml) grâce à un microscope inversé selon Utermoehl (1958) aprés une sédimentation de 24 heures.

Afin d'avoir un résultat statistiquement représentatif, on a compté au moins 400 cellules de l'espèce prédominante pour chaque échantillon.

Pour les algues filamenteuses et les algues coloniales comprenant un grand nombre de cellules, le nombre de filaments et de colonies a été compté. Afin de pouvoir effectuer une conversion en nombre de cellules, un nombre moyen de cellules par filament, respectivement par colonie, a été estimé statistiquement.

Pour l'identification des algues nous nous sommes basée surtout sur Huber-Pestalozzi (1968-1983), Bourrelly (1968, 1970a, 1970b) et Germain (1981).

Pour l'identification des Diatomées, les frustules ont été traités à l'eau oxygénée et observés sur des montages spécifiques préparés avec un liquide à index de réfraction élevé (Hyrax).

Résultats

Au printemps, les valeurs des paramètres physico-chimiques sont comparables dans toute la colonne d'eau.

Progressivement, des différences parfois considérables, s'établissent entre l'hypolimnion et l'épilimnion: cette stratification se remarque surtout dans les profils verticaux des paramètres T, CO_2 et O_2.

En automne, la phase d'homogénisation du lac reprend.

L'évolution ici décrite est similaire pour les quatre stations étudiées. Les figures 2-4 montrent les profils verticaux des paramètres T, pH, CO_2, O_2, et NO_3 le 12 avril, 2 août et 7 novembre.

Température

La stratification thermique des eaux du barrage s'est établie à partir du 25 juin et a duré jusqu'en septembre.

La température minimale épilimnique a été mesurée le 12 avril 1988 (9° C). Le maximum a été atteint le 16 août (21° C): à ce jour la température de l'hypolimnion variait entre 8° et 9° C (avec une différence entre l'épi- et l'hypolimnion de 10° C environ).

On peut observer que la stratification thermique diminue graduellement de la première à la quatrième station, probablement à cause de la morphologie changeante du bassin (les stations étant progressivement moins profondes de la première à la quatrième).

Oxygène

Les valeurs les plus faibles ont été mesurées dans l'hypolimnion à la fin de l'été. A partir du 19 juillet jusqu'au 30 août la concentration en oxygène dissous diminue

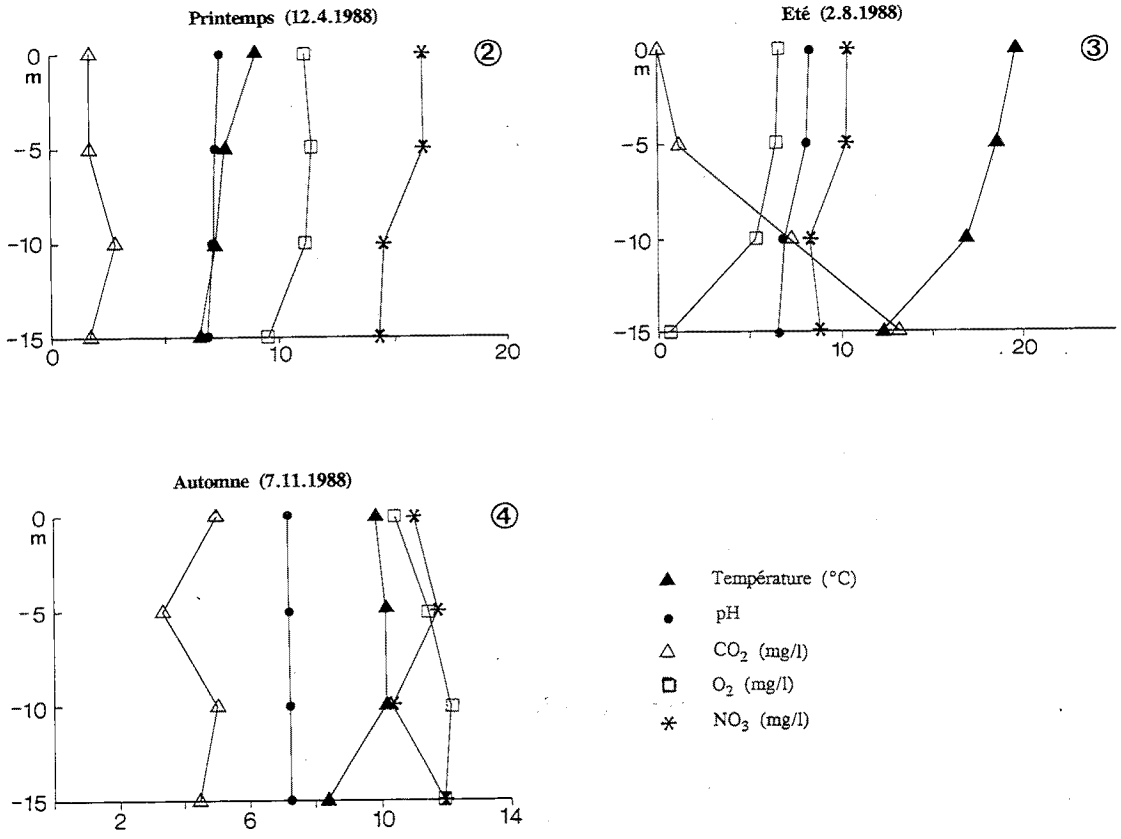


Fig. 2-4: Profils verticaux de quelques paramètres physico-chimiques en printemps, été et automne.

fortement (jusqu'à 0 mg O_2/l). Il est probable que, pendant cette période, l'oxygène est consommé suite à la décomposition du plancton qui, lors du mélange des eaux, est entraîné dans la zone tropholitique du lac.

pH et CO_2

Il y a de toute évidence une liaison très étroite (proportionnalité inverse) entre les paramètres pH et anhydride carbonique dans l'épilimnion. On a pu effectivement relever qu'aux valeurs les plus élevées de pH correspondent des valeurs très basses de CO_2 (du 5 juillet au 16 août).

La valeur de pH la plus élevée mesurée pendant cette période était de 9,46 le 5 juillet au 'Hellekessel' en surface (0 mg/l d'anhydride carbonique).

On remarque, par contre, un accroissement des valeurs d'anhydride carbonique dans l'hypolimnion (du 2 août au 3 octobre). La valeur maximale atteignait 18,75 mg/l à 'Zillenhett' le 3 octobre. Cette anhydride carbonique est un des produits de la décomposition du plancton (oxydation de la matière organique) dans la zone tropholitique du lac. Un autre produit de cette décomposition est l'ammoniac, qui augmente pendant la même période (0,14 mg/l le 3 octobre à 'Zillenhett').

Phosphore total

Au printemps, la concentration en phosphore total dans l'épilimnion variait autour de 30 µg P/l. En été elle variait entre 10 et 20 µg P/l et elle dépassait de nouveau 20 µg P/l en automne.

Le manque d'oxygène dissous dans l'hypolimnion a eu, à la fin de la période estivale, vraisemblablement des conséquences sur le cycle du phosphore. On remarque que le phosphore devient soudainement abondant dans l'hypolimnion à la fin de l'été. La moyenne annuelle du phosphore total est de 24,5 µg P/l pour l'année 1988.

Nitrates

Les nitrates constituent dans les eaux du barrage d'Esch-sur-Sûre la source la plus importante d'azote pour le phytoplancton. La concentration en nitrates variait entre 10 et 20 mg NO_3/l au cours de l'année. La teneur la plus élevée a été mesurée en juin (19,18 mg NO_3/l en moyenne). La valeur moyenne annuelle en azote (somme des nitrates, nitrites et ammoniac) était de 3,1 mg N/l.

Chlorophylle-a et densité phytoplanctonique totale

On a pu identifier par l'étude de l'évolution de ces deux paramètres trois blooms algaux au cours de cette année: en avril, en juillet et en septembre. Une assez bonne corrélation est observée entre les résultats de dosage de la chlorophylle et les comptages des algues (fig. 5-8). A la station 1, les concentrations les plus élevées ont été observées le 5 juillet avec 14 µg/l de chlorophylle-a et 3629 cell./ml; à la station 2, le 19 septembre avec 22 µg/l et 54782 cell./ml; à la station 3, le 26 octobre avec 20 µg/l et 28943 cell./ml et à la station 4, le 19 septembre avec 29 µg/l et 130341 cell./ml.

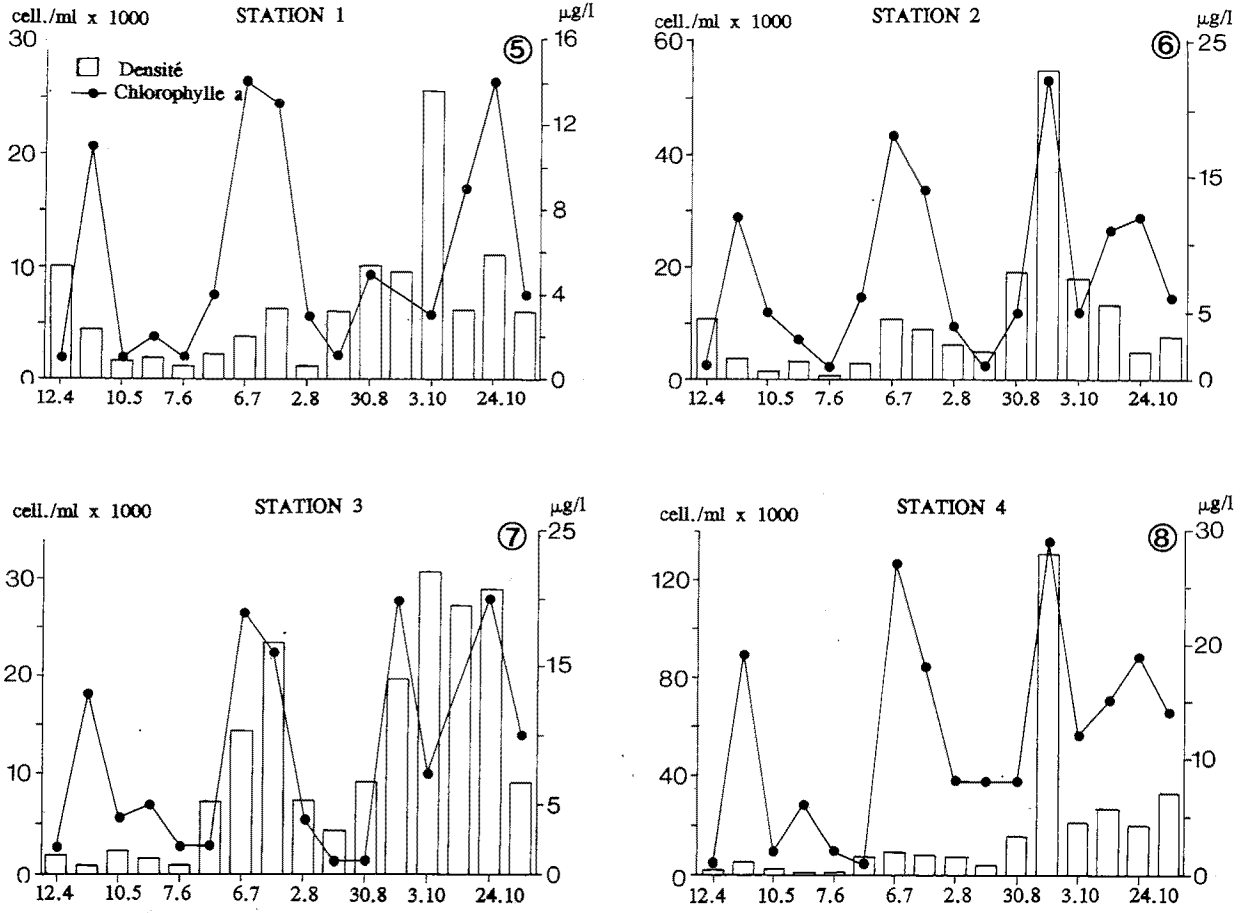


Fig. 5-8: Evolution comparée densité/chlorophylle-a dans les quatre stations (densité en cell./ml et chlorophylle-a en µg/l).

Phytoplancton

En tout 97 espèces d'algues ont été déterminées pendant l'année 1988 (tab. 2). Les Diatomées (41 esp.) et les Chlorophycées (31 esp.) se sont révélées être les groupes les plus riches en espèces, alors que les Cyanophycées (7 esp.), les Chrysophycées (8 esp.), les Euglénophycées (3 esp.), les Pyrrophycées (3 esp.) et les Cryptophycées (4 esp.) étaient nettement moins diversifiées.

Au cours de l'année 1988, on a pu mettre en évidence la succession des grands groupes d'algues du barrage. Cette évolution était semblable aux quatre stations (fig. 9-12). Le nombre des espèces algales qui ont une biomasse importante est peu élevé et chaque période au cours de l'année est souvent dominée par un seul taxon. Ainsi on peut distinguer plusieurs phases dans l'évolution du phytoplancton:

1. phase des Cryptophycées: au début de notre étude, une présence importante de Cryptophycées, surtout des espèces du genre *Rhodomonas* est notée, particulièrement aux stations 1 et 2 où elles peuvent atteindre jusqu'à 87 % des cellules algales (fig. 9 et 10).

2. phase à Diatomées printanières: d'avril jusqu'au début mai on observe un développement important de Diatomées des genres *Stephanodiscus* et *Asterionella*. Les Diatomées centriques (*Stephanodiscus*) apparaissent d'abord; l'algue *Stephanodiscus hantzschii* Grun. est dominante dans le bloom du 12 avril au 10 mai.

Après celle-ci un développement important de la Diatomée *Asterionella formosa* Hassal a été noté (fig. 13). Les Diatomées disparaissent alors presque complètement du phytoplancton pour le reste de l'année, sauf à la station 2 où *Achnantes* sp. constituait une part importante du phytoplancton en juin et en août.

3. phase à Chlorophycées: à partir du mois de juin, on note une importante croissance des algues vertes, surtout aux stations 1 et 2. Les algues vertes constituaient une proportion importante du phytoplancton jusqu'à la fin de l'été. C'est surtout le genre *Sphaerocystis* qui était le plus abondant et qui était l'algue responsable du bloom en juillet. Parmi les algues vertes notons aussi la présence du genre *Volvox*, abondant en été dans les stations 1 et 4.

4. phase à Cyanophycées: les algues bleues se sont surtout développées à partir de la fin juin et sont restées dominantes jusqu'à la fin octobre presqu'à toutes les stations. Aux stations 1 et 2, où les algues vertes ont connu un fort développement, elles sont devenues dominantes seulement à partir du mois d'août. L'algue bleue la plus importante tout le long de cette période était l'espèce unicellulaire *Gomphosphaeria naegeliana* Chod. Ce taxon était responsable du bloom observé le 19 septembre. D'autres algues bleues importantes étaient différentes espèces du genre *Anabaena*, alors que les genres *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* et *Microcystis* étaient nettement moins abondants.

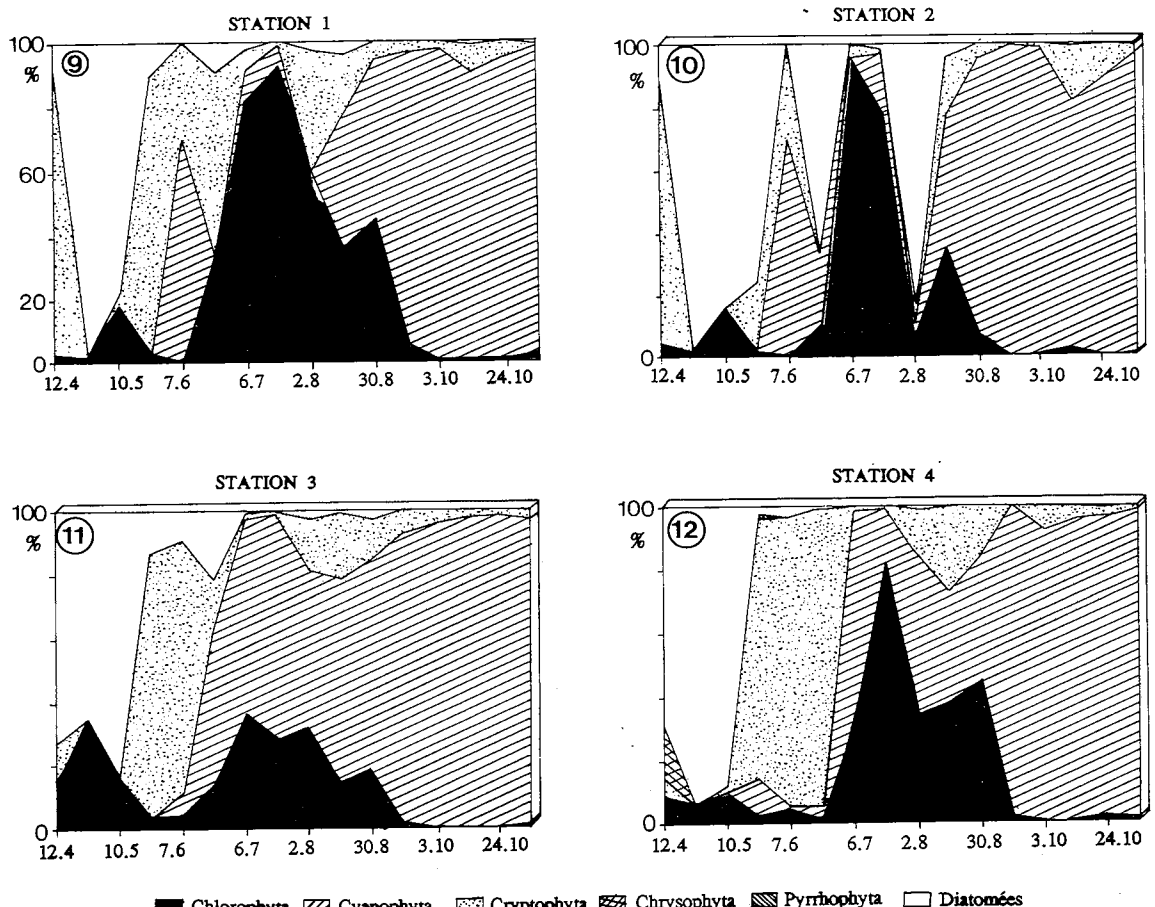


Fig. 9-12: Succession des grands groupes d'algues dans les quatre stations.

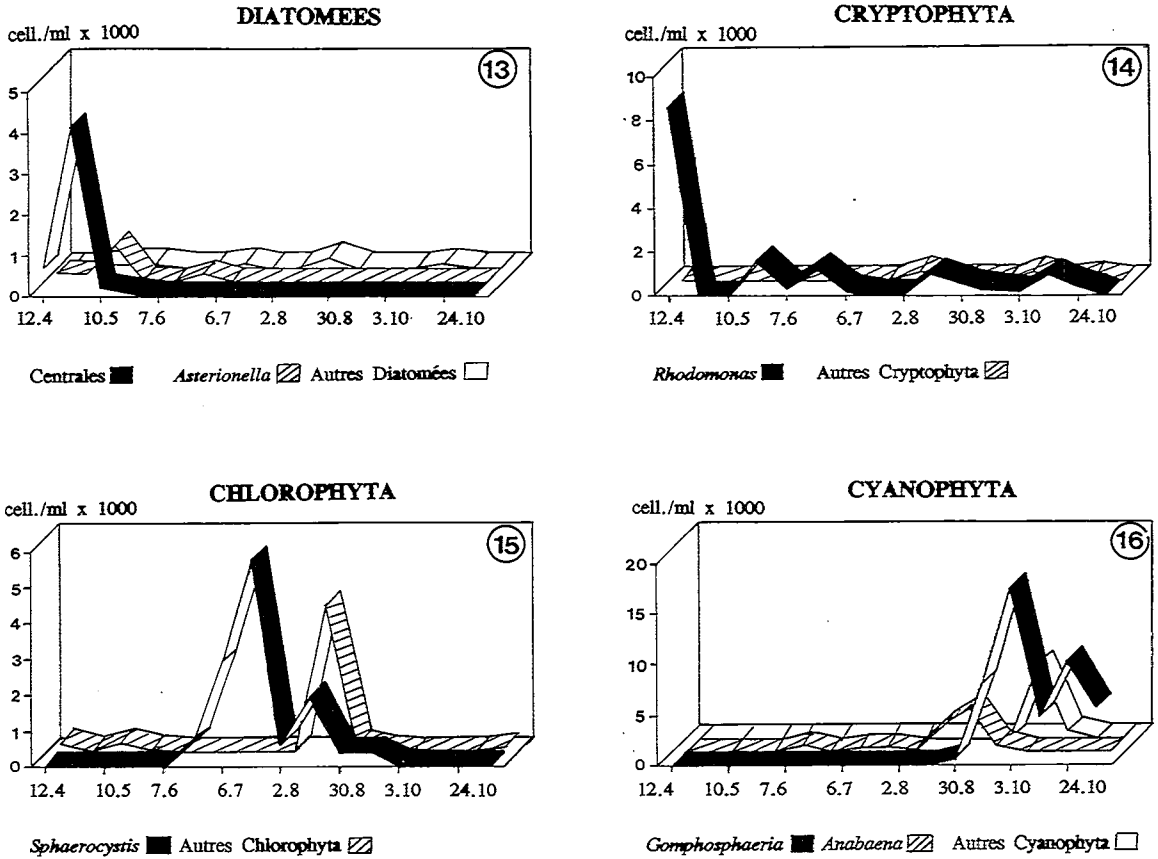


Fig. 13-16: Evolution des espèces phytoplanctoniques les plus importantes.

Tab. 2: Liste des genres d'algues trouvées dans le Barrage d'Esch-sur-Sûre.

PHYLUM	GENRE	NOMBRE D'ESPECES
Chlorophyta		
	Actinastrum	1
	Chlamydomonas	1
	Chlorogonium	1
	Closteriopsis	1
	Closterium	1
	Coelastrum	1
	Cosmarium	1
	Crucigenia	1
	Dictyosphaerium	1
	Elakatotrix	1
	Gloeocystis	1
	Kirchneriella	1
	Monoraphidium	3
	Oocystis	1
	Pandorina	1
	Pediastrum	3
	Scenedesmus	4
	Schroederia	1
	Sphaerocystis	1
	Staurastrum	1
	Tetraedron	1
	Tetrastrum	1
	Treubaria	1
	Volvox	1
Chrysophyta		
	Chrysococcus	1
	Dinobryon	3
	Mallomonas	3
	Synura	1
Diatomées		
	Achnanthes	4
	Asterionella	1
	Cocconeis	1
	Cyclotella	1
	Cymatopleura	1
	Cymbella	1
	Diatoma	2
	Eunotia	1
	Fragilaria	1
	Gomphoneis	1
	Gomphonema	4
	Melosira	2

	Meridion	1
	Navicula	6
	Neidium	1
	Nitzschia	5
	Rhoicosphaenia	1
	Stephanodiscus	1
	Synedra	3
	Surirella	3
Cyanophyta		
	Anabaena	1
	Aphanizomenon	1
	Aphanocapsa	1
	Chroococcus	1
	Gomphosphaeria	1
	Microcystis	1
	Oscillatoria	1
Euglenophyta		
	Euglena	1
	Leponciclis	1
	Trachelomonas	1
Cryptophyta		
	Rhodomonas	1
	Cryptomonas	1
	Ceratium	1
	Gymnodinium	1
	Peridinium	1

Discussion

La présence de plusieurs fleurs d'eau au cours d'une année montre clairement que le barrage d'Esch-sur-Sûre est à placer dans la catégorie des lacs eutrophes (Sommer & al., 1986). Ceci est confirmé aussi par les teneurs en phosphore total (moyenne annuelle de 24,5 µg P/l), la concentration moyenne annuelle en azote (3,1 mg N/l), les valeurs de chlorophylle-a qui peuvent atteindre jusqu'à 29 µg/l, ainsi que par la diminution parfois drastique de la concentration en oxygène dans l'hypolimnion à la fin de l'été.

Notre travail a permis de mettre en évidence la succession des grands groupes d'algues au cours d'une année. La présence de Cryptophycées et de Diatomées surtout pendant la période printannière de l'année, de même que la prédominance des algues vertes et bleues en été ont déjà été mises en évidence pour plusieurs lacs eutrophes des régions tempérées (Amblard, 1987). Les facteurs déterminant le développement et la succession dans le temps de ces grands groupes d'algues sont à la fois physiques (brassage, stratification des eaux), chimiques (présence des nutriments phosphore, azote et silice) et biologiques (compétition, broutage, parasitage) (Amblard, 1987). Au printemps, quand la stratification thermique du lac

n'est pas encore établie, on observe une poussée d'algues de petite taille, mobiles et adaptées à des températures relativement basses et des intensités lumineuses peu élevées. Elles appartiennent surtout au groupe des Cryptophycées (*Rhodomonas* sp.) et aux Diatomées (*Stephanodiscus* sp.). La présence des concentrations en nutriments élevées et l'augmentation de la durée des jours permettent un développement massif de ces algues, malgré les températures encore basses. Avec l'établissement de la stratification dans le lac en juin, ces espèces disparaissent et sont alors successivement remplacées par des algues vertes et des algues bleues. Ces algues, grâce à diverses adaptations, comme la présence de vacuoles gazeuses, sont capables de rester dans la zone euphotique, zone où elles reçoivent assez de lumière pour réaliser la photosynthèse. La forte poussée des algues fixatrices d'azote du genre *Anabena*, ainsi que de l'algue bleue unicellulaire *Gomphosphaeria* sp. indique aussi une eutrophisation des eaux du barrage (Reynolds, 1980).

Les facteurs chimiques (nutriments, pH) peuvent aussi provoquer le changement des populations phytoplanctoniques. On a observé qu'en période estivale (fin juillet-août) l'hypolimnion est nettement désoxygéné. Cette diminution en oxygène dissous peut entraîner le relargage de phosphore à partir des sediments. On remarque en outre que les valeurs de pH épilimnique sont parfois supérieures à 9, condition qui favorise la croissance d'algues de milieux eutrophes (Amblard, 1987).

Des facteurs biologiques pourraient déterminer le rythme de croissance des populations phytoplanctoniques. Les faibles densités observées au printemps et en été peuvent en effet être dues à un broutage important du zooplancton, ce qui reste à vérifier.

Le phosphore total, avec une moyenne annuelle de 24,5 µg P/l place ce plan d'eau dans la catégorie mésotrophe, tandis que la concentration moyenne annuelle de l'azote avec 3,1 mg N/l le situe dans la catégorie eutrophe (classification OECD, Scharf & al., 1985). Le caractère eutrophe du plan d'eau est également illustré par la valeur maximale annuelle de chlorophylle-a (jusqu'à 29 µg/l à la station 4 le 19/9).

Les eaux du barrage manifestent sans aucun doute une tendance à l'eutrophisation; des investigations plus approfondies seront encore nécessaires pour pouvoir expliquer en détail le fonctionnement de cet écosystème. Il serait notamment intéressant d'avoir des idées plus précises de l'influence du zooplancton sur la dynamique du phytoplancton.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au Ministre de l'Education Nationale et de la Jeunesse du Luxembourg et à l'Administration de l'Environnement pour le financement de cette étude.

Je remercie également M. Marc Stemper, chef d'exploitation du S.E.B.E.S. (Syndicat des Eaux du Barrage d'Esch-sur-Sûre) pour la bonne coordination et la mise à disposition des résultats des analyses physico-chimiques.

Je suis également trés reconnaissante à M. Pierre Seck, Président du Centre Universitaire de Luxembourg, qui m'a proposé cette étude et qui m'a mise en contact avec le S.E.B.E.S.

A ces remerciements j'associe le Dr Lucien Hoffmann (Université de Liège) pour ses conseils et suggestions lors de la rédaction du manuscrit.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce travail.

Travaux cités

Amblard, C., 1987. - Les successions phytoplanctoniques en milieu lacustre. - *Ann. Biol.* 26: 1-27.

Braconnier, G., 1981. - Die Bestimmung der Phosphor- und Stickstoffrachten der Zuflüsse des Stausees von Esch-Sauer. - *Mémoire de stage pédagogique, Luxembourg*, 326 p.

Bourrelly, P., 1968. - Les algues d'eau douce. Les algues jaunes et brunes, Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. - Boubée & Cie, Paris, 438 p.

Bourrelly, P., 1970a. - Les algues d'eau douce. Les algues bleues et rouges. Les Euglèniens, Péridiniens et Cryptomonadiens. - Boubée & Cie, Paris, 512 p.

Bourrelly, P., 1970b. - Les algues d'eau douce. Les algues vertes. - Boubée & Cie, Paris, 569 p.

Germain, H., 1981. - Flore des Diatomées. Diatomophycées: Eaux douces et saumâtres du massif Armoricain et des contrées voisines d'Europe occidentale. - Boubée & Cie, Paris, 444 p.

Huber-Pestalozzi, G., 1968-1983. - Das Phytoplancton des Süsswassers. Systematik und Biologie. - *Die Binnengewässer* 16, Schweitzerbart E., Stuttgart, Band 1-8.

Hustedt, F., 1976. - Bacillariophyta. In: Die Süßwasserflora Mitteleuropas (Ed. A. Pascher). - Heft 10, 466 p., Koenigstein, 466 p.

Utermöhl, H., 1958. - Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9: 1-38.

Reynolds, C. S.,1980. - Phytoplancton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. - *Holarctic Ecology* 3: 141-159.

Scharf, B., A. Hamm & C. Steinberg, 1984. - Seenrestaurierung. In: Besch & al. (Ed.). - Limnologie für die Praxis. Grundlagen des Gewässerschutzes. - *Ecomed*, Landsberg München, 3-71.

Sommer, U., Z. M. Gliwicz, W. Lampert & A. Duncan, 1986. - The PEG-Model of seasonal succession of planctonic events in fresh waters. - *Arch. Hydrobiol.* 106: 433-471.

Welter, A., 1980. - La pollution en éléments nutritifs du lac de la Haute Sûre, facteurs en jeu et moyens de réduire cette pollution. - *Rapport de Maîtrise, Univ. d'Etat Liège*, 112 p.