

ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DU PETIT LAC

PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHANGES IN THE WATERS OF THE PETIT LAC

CAMPAGNE 2011 à 2015

PAR

Sophie LAVIGNE et Pascale NIREL

SERVICE DE L'ÉCOLOGIE DE L'EAU – DÉP. DE L'ENVIRONNEMENT, DES TRANSPORTS ET DE L'AGRICULTURE
DU CANTON DE GENÈVE, Av. de Sainte-Clotilde 25, Case postale 206, 1211 Genève 8

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de l'étude de la physico-chimie, de la bactériologie, du phytoplancton et de la chlorophylle a du Petit Lac (station GE 3) pour les années 2011 à 2015.

De 2011 à 2015, les objectifs fixés par la CIPEL pour le phosphore total et l'oxygène dissous sont largement atteints dans le Petit Lac. L'augmentation des concentrations en chlorure ainsi que l'augmentation des températures se poursuivent.

Les mesures de transparence de l'eau montrent que, dans le Petit Lac, la zone euphotique dépasse régulièrement la profondeur limite d'échantillonnage (0-20m). A partir de 2016, les prélèvements seront effectués à l'aide d'une nouvelle bouteille intégratrice qui permettra d'échantillonner au-delà de 20 mètres.

L'état sanitaire pour les eaux de baignade est très satisfaisant.

De 2011 à 2015, les biomasses annuelles moyennes du phytoplancton ne répondent aux objectifs CIPEL que deux années sur cinq et la tendance globale est à la hausse. Sauf en 2013 l'Indice Brettum reste en dessous de l'objectif CIPEL

L'algue filamenteuse Mougeotia gracillima, continue à se manifester de manière occasionnelle et donne encore lieu à de très fortes biomasses. En dehors des années à forte production de Mougeotia gracillima, la diversité phytoplanctonique progresse.

La diatomée Achnanthydium catenatum, non observée habituellement dans le Petit Lac, est présente tout au long de la période quinquennale. Les cyanobactéries n'ont entraîné aucun problème de toxicité pour la période 2011-2015.

ABSTRACT

Here are presented the results of the Petit Lac survey from 2011 to 2015 relying on physic-chemical, bacteriological phytoplanktonic and chlorophyll a measurements.

From 2011 to 2015, goals for phosphorus and dissolved oxygen as determined by the CIPEL are achieved in the Petit Lac. Increase of chlorides concentrations and temperature continues.

Transparency measures show that the euphotic zone regularly reaches depth deeper than the sampling zone (0 to 20m). From 2016, sampling will be performed using an integrating bottle allowing sampling bellow 20m.

Sanitary quality for bathing is very satisfying.

From 2011 to 2015, phytoplankton mean annual biomasses are regularly exceeding the objectives as defined by the CIPEL (three years above five). The increasing trend is confirmed. With the exception of 2013, Brettum's index remains inferior to objective.

Blooms of filamentous algae Mougeotia gracillima occasionally occur generating very high biomasses. Excepted during this blooms, phytoplanktonic diversity increases.

Diatom Achnanthydium catenatum is visible during the five years period though it was not commonly observed in the past. We did not observe any toxicity induced by cyanobacteria during the period.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de son programme de surveillance de la qualité des eaux superficielles du canton de Genève, le Service de l'écologie de l'eau (SECOE) effectue un suivi régulier du Petit Lac en procédant à des analyses physico-chimiques et biologiques de ses eaux.

Pour obtenir de plus amples informations, on pourra se référer au document "*Etat écologique du Petit Lac en 2014*" publié par l'Etat de Genève (SECOE, 2016).

http://ge.ch/eau/media/eau/files/fichiers/documents/etat_ecologique_du_petit_lac_en_2014.pdf

Plusieurs résultats et analyses qui ne paraissent pas dans ce bilan quinquennal, y sont présentés.

2. LE PETIT LAC

Dans le cadre de ce chapitre qui porte sur le Petit Lac, nous présentons principalement des résultats provenant de la station GE3, qui se situe au large d'Hermance, au-dessus d'une fosse lacustre de 76 mètres de profondeur (coordonnées X 506050 et Y 128000). Elle est illustrée sur la carte présentée ci-dessous.

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENTS

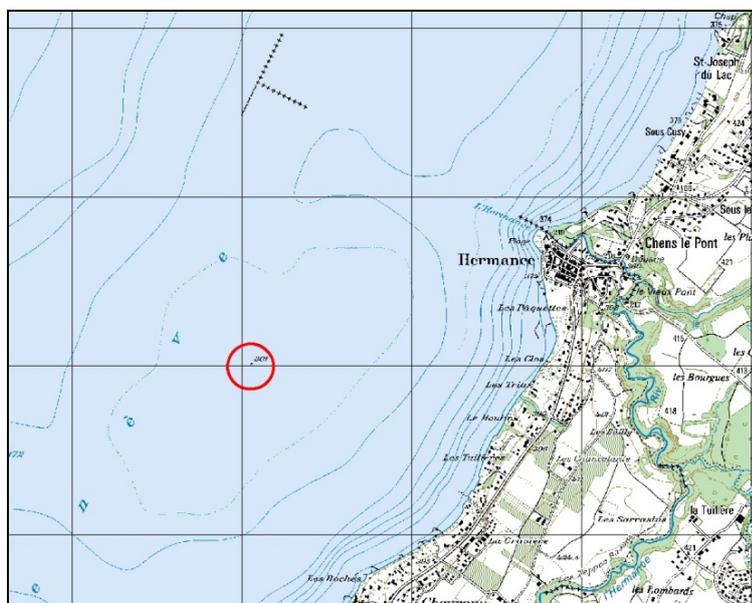


Figure 1 : La station de prélèvement GE3

Figure 1 : The collection station GE3

Les autres points d'échantillonnage effectués au niveau du Petit Lac correspondent aux sites de baignade du canton de Genève (figure 11).

3. MÉTHODES

Dans le Petit Lac, les prélèvements ont lieu à la station GE3 une fois par mois, de janvier à décembre. Sur l'ensemble de la période quinquennale, trois campagnes ont dû être annulées en raison de panne de bateau et d'une météo défavorable; celle de juillet 2011 ainsi que celles de janvier et septembre 2015.

Les échantillons d'eau servant aux **analyses physico-chimiques** sont prélevés à 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50 et 70 mètres de profondeur.

Les **analyses bactériologiques** sont effectuées sur des échantillons d'eau prélevés à 0, 2.5 et 5 mètres. L'état sanitaire de l'eau est déterminé par le dénombrement d'*Escherichia coli* et est basé sur la méthode habituellement appliquée pour la surveillance de la qualité hygiénique des eaux de baignade (OFEFP, 1991).

Les échantillons d'eau brute requis pour l'analyse du **phytoplancton** et de la **chlorophylle α** sont collectés à l'aide d'une cloche intégratrice (Pelletier and Orand (1978 a et b)) couvrant la couche 0-20 mètres.

Le **phytoplancton** est traité au réactif iodo-ioduré et les organismes sont identifiés et comptés au microscope inversé suivant le procédé d'UTERMOHL (1958).

La méthode d'estimation de la biomasse est celle de LOHMANN (1908). Les biovolumes utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour l'étude du Grand Lac.

Les classes de tailles du phytoplancton sont basées sur la description de WETZEL et LICKENS(2000).

La concentration en **chlorophylle α** est mesurée au spectrophotomètre selon la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968).

En plus des dosages en laboratoire, le SECOE effectue un profil de la chlorophylle α , de la surface jusqu'au fond, à l'aide d'une sonde multiparamétrique FLNTUB (Firme WetLabs).

La **transparence** de l'eau est mesurée avec un disque de Secchi blanc de 30 cm de diamètre. Dès 2016, le SECOE emploiera un disque normalisé, noir et blanc de 20 cm. (Norme EN ISO 7027)

4. RÉSULTATS

4.1. PHYSICO-CHIMIE

Les concentrations moyennes pondérées et les stocks sont calculés suivant la même méthode que pour le Grand Lac. Les résultats sont présentés Annexe A.1.

4.1.1 Température

La figure 2 montre que, contrairement au Grand Lac, l'homogénéisation thermique des eaux s'effectue chaque année.

En surface, la température la plus élevée a été mesurée en juillet 2006 (26.6°C), il s'agit du maximum enregistré en 24 ans. La tendance à la croissance des températures est significative. Sur la période considérée (2011 à 2015) le maximum de température a été atteint en août 2013 avec 25.4°C. Au fond, les températures restent néanmoins inférieures à 8°C (la température doit, en effet être inférieure à 8°C pour permettre une reproduction optimale des ombles).

La température moyenne annuelle pondérée est plus élevée que dans le Grand Lac, elle varie entre 8.2°C en 2012 et 11.0°C en 2015 année où 2 campagnes n'ont pas eu lieu (janvier et septembre). Cette différence s'explique par le contraste considérable entre les volumes du Petit et du Grand Lac.

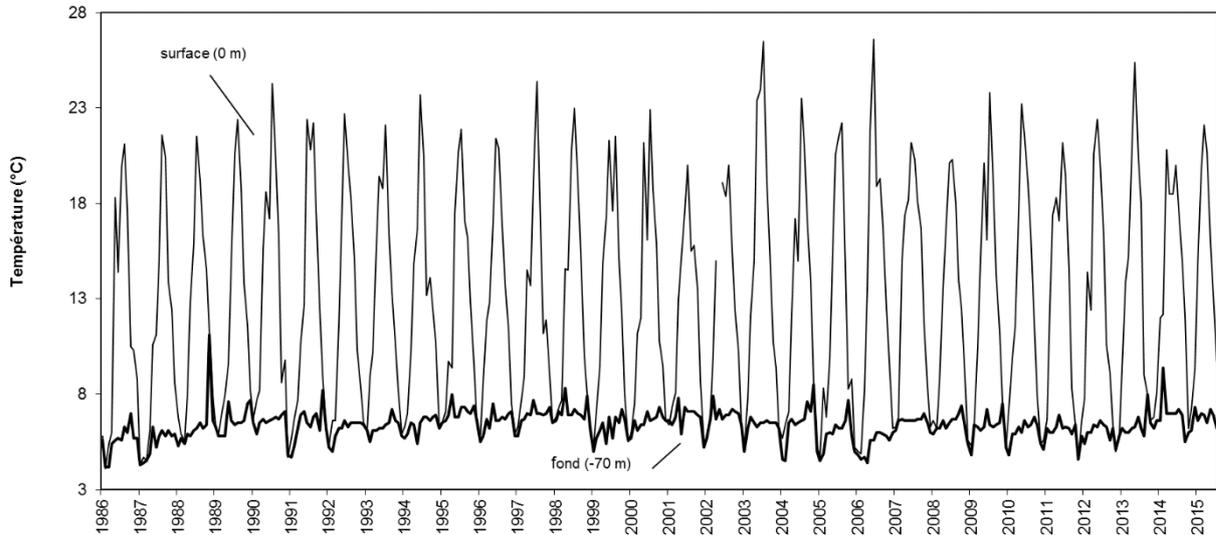


Figure 2 : Évolution de la température des eaux de surface (0 m) et au fond (-70 m). Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 2: Change in the water temperature in the surface layer (0 m) and at the bottom (-70 m), Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

4.1.2 Oxygène dissous

Contrairement à celles du Grand Lac, les eaux du Petit Lac s'homogénéisent chaque année (Fig. 3) et présentent toujours des teneurs en oxygène dissous très supérieures à l'exigence suisse pour les eaux des lacs (au fond, minimum de 6.9 mg O₂/L par rapport aux 4 mg O₂/L exigés dans l'Ordonnance suisse du 28 octobre 1998, OEaux).

On notera les concentrations maximales d'oxygène en début d'année. Ce phénomène est lié, dans un premier temps, au refroidissement des eaux de surface puis à l'activité photosynthétique des organismes. Il est visible jusqu'au fond. Durant la seconde partie de l'année, une stratification thermique s'installe, on observe alors une diminution nette de l'oxygène dans les couches de surface probablement associée à l'augmentation de la température de l'eau et à la minéralisation de la matière organique.

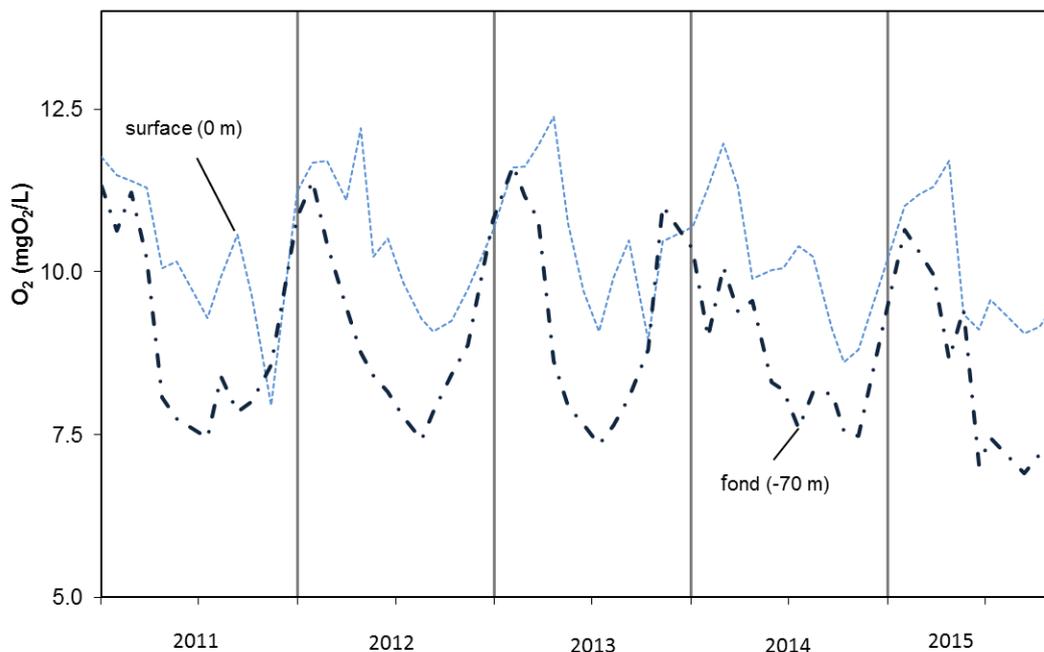


Figure 3 : Évolution des teneurs en oxygène dissous des eaux de surface (0 m) et au fond (-70 m). Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 3: Change in dissolved oxygen in the surface layer (0 m) and at the bottom (-70 m), Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

4.1.3 Phosphore total et phosphore réactif soluble

La figure 4 montre clairement que la baisse régulière des teneurs en phosphore total ralentit depuis les années 95. Les concentrations en phosphore total oscillent entre 10.3 et 15.7 µg/L entre 2011 et 2015. (Objectif CIPEL: entre 10 et 15µgP/L).

Globalement, la baisse des concentrations moyennes pondérées de phosphore dans le Petit Lac tend à s'équilibrer après une diminution de 77% depuis 1986 pour le phosphore total et de 84% pour les orthophosphates (Annexe A.1 et figures 4, 5).

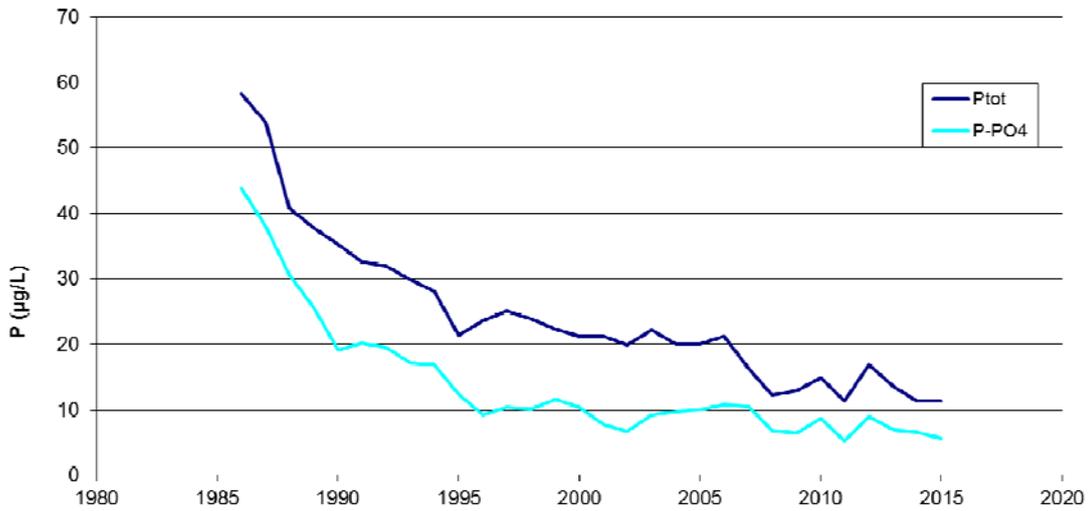


Figure 4 : Evolution des concentrations moyennes pondérées des formes du phosphore depuis 1986 Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 4: Change in weighted mean annual phosphorus concentration of the Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

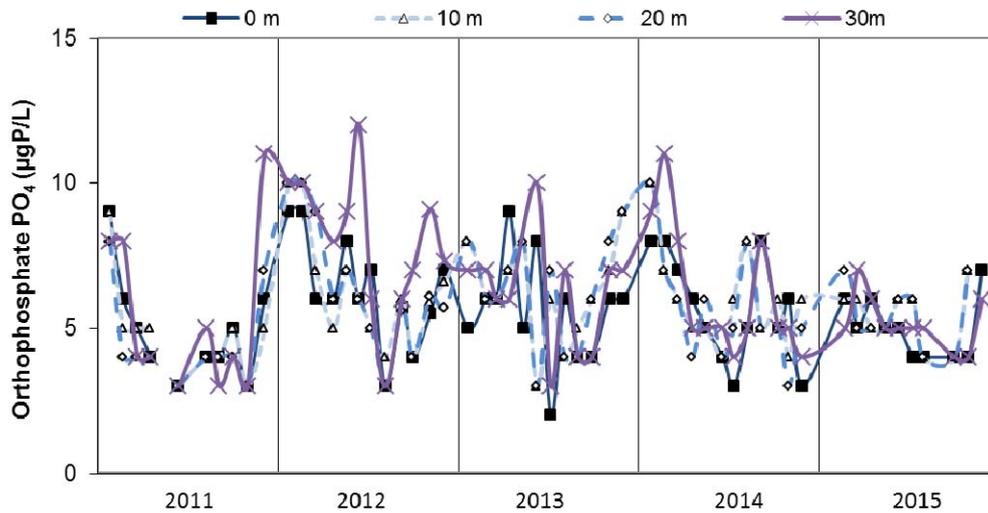


Figure 5 : Concentration en orthophosphates (P-PO4) des eaux des couches superficielles (0, 10, 20 et 30 m). Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 5 : Concentration of soluble reactive phosphorus (P-PO4³⁻) in the water in the surface layers (0, 10, 20 and 30 m), Lake Geneva – Petit Lac (GE3).

L'influence du phytoplancton se fait sentir jusqu'à 30 m (figure 5). Ce phénomène d'enfoncement de l'influence de l'activité biologique est observé depuis 2008 (Lazzarotto et al., 2011).

Dans le tableau 1 sont présentés les concentrations et rapports des différentes formes du phosphore dans les couches de surface (0 à 20 m) et au fond (-70 m). En surface, la tendance observée depuis 2007 avec une augmentation de la part des orthophosphates par rapport au phosphore total se maintient. C'est la brutale diminution des concentrations en phosphore total qui explique la variation du rapport. De même, au fond, les concentrations continuent de décroître avec un rapport phosphore soluble/phosphore total relativement constant avec peut-être une tendance à la baisse qui reste à confirmer dans le futur.

Tableau 1 : Concentrations et rapports des différentes formes du phosphore dans les couches de surface (moyenne de 0 à 20 m) et du fond (-70 m) du Petit Lac (GE 3). * 11 campagnes, ** 10 campagnes

Table 1: Concentration of forms phosphorus and the relationship between P-PO4 and Ptot in the water of Lake Geneva (Petit Lac - GE3). * 11 samplings, ** 10 samplings

Année	P-PO4 0-20m	Ptot 0-20m	P-PO4/Ptot %	P-PO4 fond	Ptot fond	P-PO4/Ptot %
2001	3.2	16.9	19	25.8	37.6	38.5
2002	3.7	15.9	23.2	18.5	32.3	57.3
2003	4.9	18.9	25.9	22.9	33.3	68.9
2004	6.9	18	38.6	23.6	30	78.7
2005	6.3	16	39.6	25.3	32.4	78.1
2006	4.2	16	26.3	28.3	35.7	79.2
2007	7.6	14.5	52.6	23	27.8	82.6
2008	4.8	10.9	44.1	15.4	18.9	81.5
2009	5.2	12.3	42.5	15	20.8	72
2010	5.1	11.9	42.7	15.8	21.5	73.5
2011*	3.6	9.2	39.1	10.7	17.6	60.8
2012	4.7	12	39.2	17.5	24.0	72.9
2013	4.4	10.1	43.6	12.7	21.2	59.9
2014	4.4	8.7	50.6	9.8	14.9	65.8
2015**	3.9	8.5	45.9	8.4	13.9	60.4

4.1.4 Azote nitrique, total et ammoniacal

Le stock d'azote nitrique a peu évolué au cours des 5 dernières années (Annexe A.1): il est compris entre 1513 tonnes en 2011 et 1838 tonnes en 2015. Le stock d'azote total semble stable. L'évolution du stock d'azote ammoniacal reste très difficile à interpréter car, de par sa nature instable, il présente des variations très rapides par rapport au pas de temps de nos mesures. Sauf en 2011, la diminution des concentrations en azote nitrique n'atteint pas les 30 m comme dans le cas du phosphore (figure 6). Le phosphore est donc bien le nutriment limitant.

Dans l'optique d'une limitation de la croissance planctonique le rapport N/P est particulièrement intéressant à considérer (Tabl.2). Selon Redfield (1934) la stœchiométrie attendue est de C:N:P = 106:16:1. Dans le Petit Lac, ce rapport varie fortement en fonction de l'activité biologique au cours de l'année, en particulier en été et automne (données non présentées). On notera qu'il a diminué fortement en 2006 puis est remonté depuis 2007 en raison de la forte diminution du P.

Ces variations du rapport N/P pourraient s'expliquer par les grands écarts des valeurs de biomasses algales observés entre 2006, 2007 et 2008. On observe également d'importantes variations du rapport N/P entre 2008, 2009 et 2010, années où il y a aussi de grandes différences entre les valeurs de biomasse phytoplanctonique.

Tableau 2 : Rapport des concentrations annuelle moyennes pondérées de l'azote total et du phosphore total en surface (0-20m) et au fond (70m).

Table 2 : Ratio of the mean annual weighted concentrations of total nitrogen and total phosphorus at the surface (0-20 m) and at the bottom (70m).

Année	N/P 0-20m	N/P fond
2001	35	18
2002	36	22
2003	31	21
2004	35	24
2005	39	23
2006	12	20
2007	41	23
2008	47	31
2009	24	30
2010	47	30
2011*	48	41
2012	41	30
2013	56	37
2014	58	47
2015**	52	54

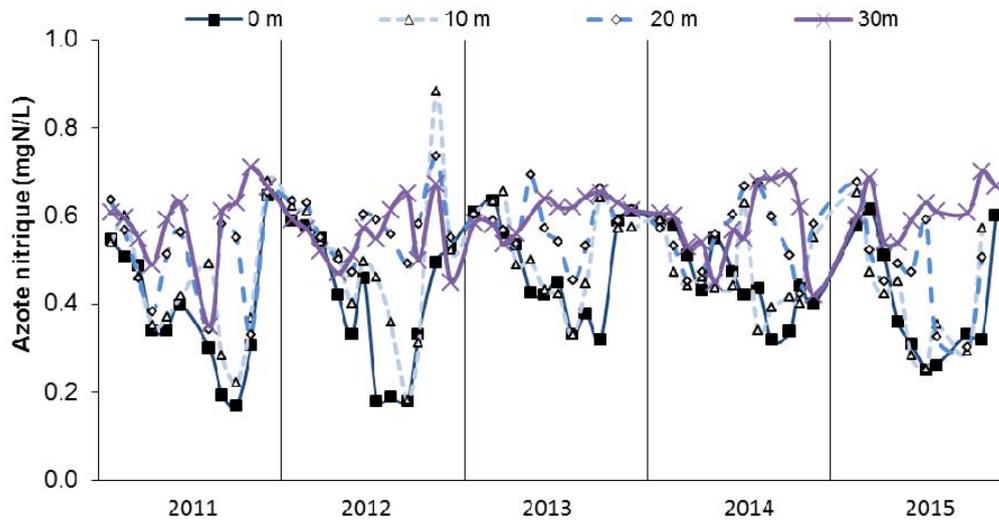


Figure 6 : Concentration en azote nitrique (N-NO₃⁻) des eaux des couches superficielles (0, 10, 20 et 30 m). Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 6 : Concentration of nitrate (N-NO₃⁻) in the water in the surface layers (0, 10, 20 and 30 m), Lake Geneva – Petit Lac (GE3).

4.1.5 Chlorure et autres paramètres

L'augmentation des concentrations moyennes pondérées en chlorure du Petit Lac (Annexe A1) suit celle du Grand Lac.

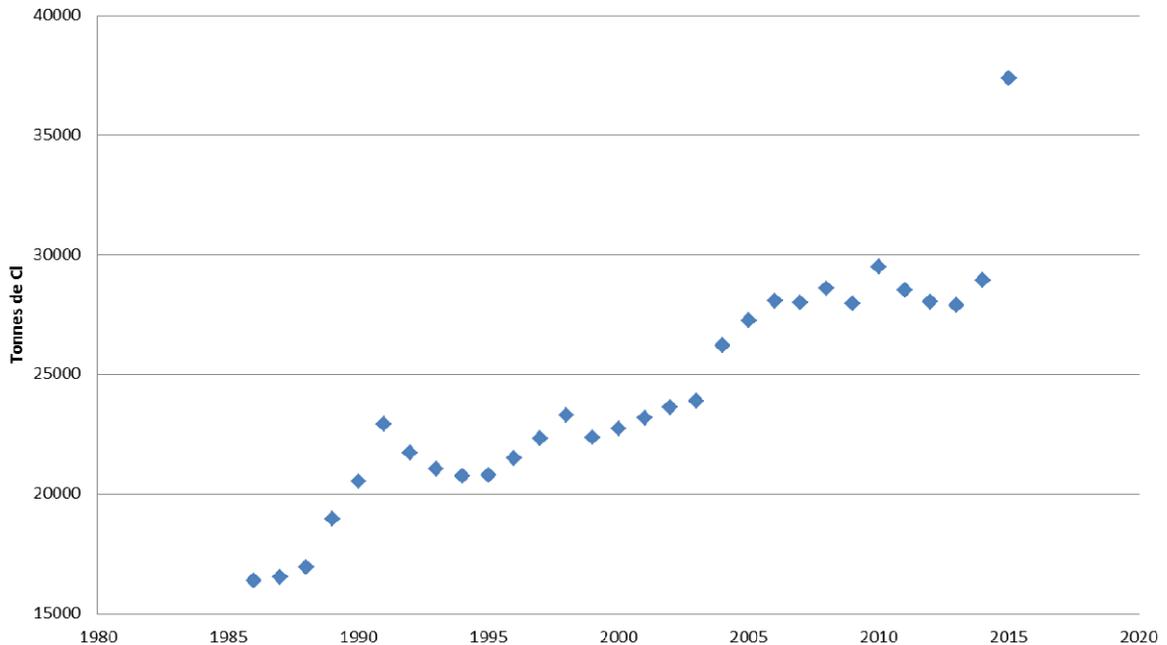


Figure 7 : Evolution des stocks de chlorure depuis 1986. Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 7 : Evolution of chloride stocks since 1986 in, Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

Autres paramètres (figures 8,9 et 10).

L'évolution des concentrations en surface et fond de la silice dissoute et du carbone organique dissous (COD) sont présentées figures 8, 9 et 10. Entre 0 et 20 m la silice est régulièrement limitante par rapport au phosphore: (Si:P <17, Teubner et Dokulil, 2002) au printemps (2011, 2012, 2013, 2014 et 2015) mais aussi en été (2011, 2012, et 2014) voire en début d'automne (2011 et 2014).

On observe la diminution des concentrations en silice en surface comme au fond. En surface, les chutes de concentrations se situent généralement en première partie d'année (figure 9). Ceci est lié à la dynamique des populations d'organismes planctoniques utilisant la silice, les diatomées en particulier. La dynamique de la silice au fond a changé par rapport aux années précédentes. En effet, on observe une reminéralisation moindre en seconde partie d'année depuis 2012 ce qui tend à globalement diminuer la quantité de silice disponible. Ceci s'accompagne d'une diminution des stocks depuis l'année 2007 pour rejoindre des valeurs inférieures à celles précédentes le pic des années 2000 (Annexe A.1). Le lien avec la dynamique des populations de diatomées reste à étudier.

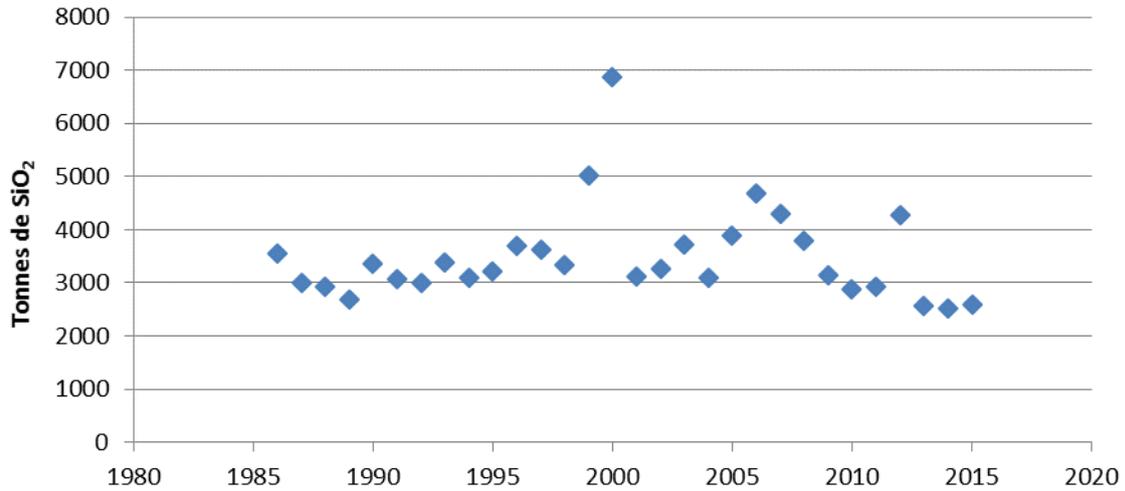


Figure 8 : Evolution des stocks de silice depuis 1986. Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 8 : Evolution of silica (SiO₂) stocks in, Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

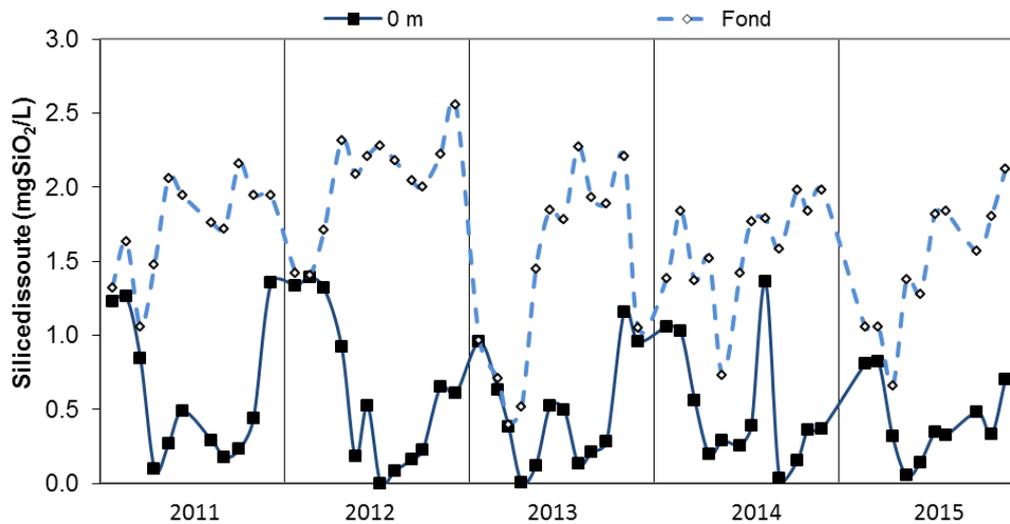


Figure 9 : Concentration en silice dissoute (SiO₂) des eaux de surface (0 m) et au fond (-70 m). Léman - Petit Lac (GE3).

Figure 9 : Concentration of dissolved silica (SiO₂) in the water in the surface layers (0 m) and at the bottom (-70 m), Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

Le carbone organique dissous est stable au fond. En surface, on note l'apparition d'un pic de concentration en fin d'année. Pour ce paramètre, les moyennes annuelles pondérées tendent à augmenter ces trois dernières années (Annexe A.1). La réalité de cette tendance est à surveiller dans l'avenir.



Figure 11 : Sites de baignade du canton de Genève de 2011 à 2015.

Figure 11 : Bathing sites township Geneva from 2011 to 2015.

L'état sanitaire de l'eau de baignade est contrôlé par le SECOE d'avril à octobre de manière bimensuelle. La figure 12 illustre l'évolution de l'état sanitaire de l'ensemble des plages genevoises, de 2011 à 2015. Le détail est présenté à l'annexe A.2.1.

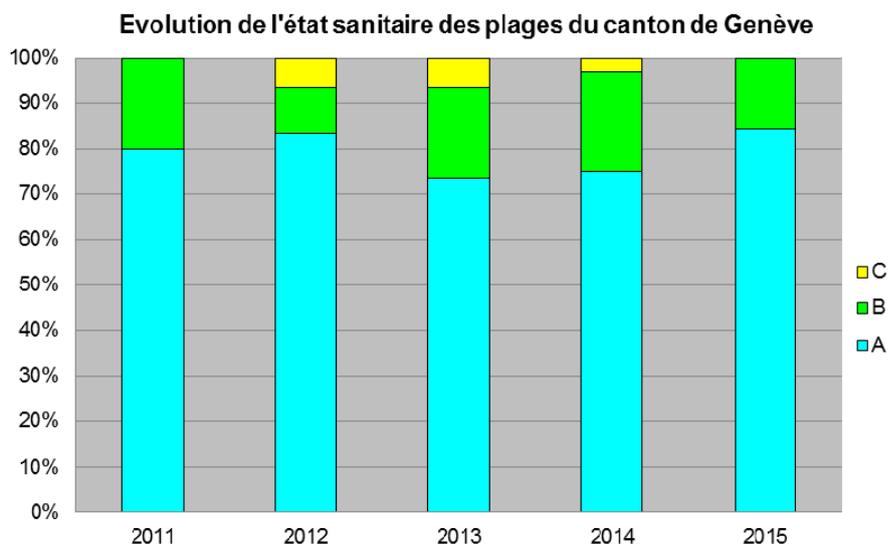


Figure 12 : Evolution de l'état sanitaire des plages du canton de Genève de 2011 à 2015.

A : très bon, B : bon, C : moyen. (Interprétation des classes : annexe 2.1).

Figure 12 : Evolution of the state of health of the beaches of the township Geneva from 2011 to 2015.

A : very good, B : good, C : medium. (Interpretation class : appendix 2.1).

Sur la période quinquennale, on observe que la majorité des plages affiche un très bon état sanitaire. Le détail des résultats est décrit dans le rapport "Etat écologique du Petit Lac en 2014" (SECOE, 2016). Des informations concernant la qualité des plages et la description des sites de baignade dans le canton de Genève, sont également disponibles sur internet: <http://ge.ch/eau/baignades-et-plages/la-carte-de-qualite>

Depuis 2013, le SECOE communique les résultats de la qualité des eaux de baignade du canton de Genève à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) qui les transmet à l'Agence européenne pour l'environnement (AEE). Ces données seront intégrées à la carte de qualité des eaux de baignade européennes.

4.3. TRANSPARENCE

La transparence de l'eau est influencée par la densité et la qualité des matières en suspension, qu'elles soient minérales, animales ou végétales.

Les données de transparence reflètent les variations saisonnières lacustres ; elles sont également utilisées par le SECOE pour l'évaluation de l'état écologique du Petit Lac. Cet indicateur peut être consulté dans le rapport "Etat écologique du Petit Lac en 2014" (SECOE, 2016).

4.3.1 Eaux claires (EC)

On observe que les valeurs de transparence sont généralement plus élevées en période hivernale et en période des eaux claires (EC), la lumière pénétrant davantage dans la colonne d'eau lorsqu'il y a une moins grande concentration algale (faible biomasse)(Fig. 13).

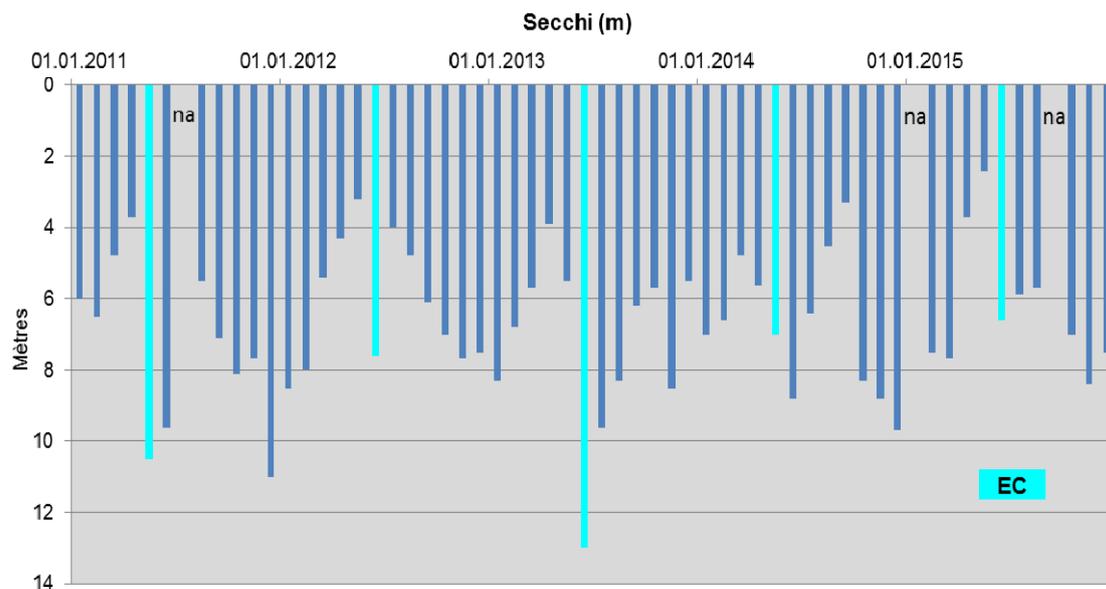


Figure 13 : Transparences (secchi) mensuelles dans le petit lac, de 2011 à 2015 (ec : eaux claires).

Figure 13 : Transparency (secchi) monthly in Petit-Lac, from 2011 to 2015 (ec: clear water).

De 2011 à 2015, la période des EC dans le Petit Lac s'observe entre mai et juin. En 2015, cette période n'est pas observée au niveau du Grand-Lac (Perga & Laine 2016).

La transparence de l'eau varie également en fonction des espèces phytoplanctoniques qui, selon leur morphologie, la présence ou l'absence de mucilage et leur organisation cellulaire (solitaire ou coloniale), laissent plus ou moins passer la lumière (cf. § 4.4.5).

4.3.2 Zone euphotique (Zeu)

La transparence de l'eau mesurée à l'aide du disque de Secchi, rend compte de la turbidité visible à l'œil nu, mais ne renseigne pas sur la quantité réelle de lumière reçue par les algues à une profondeur donnée. Cette couche où a lieu la photosynthèse dans la colonne d'eau est appelée zone euphotique (Zeu).

En l'absence de sonde lumineuse, on peut se rapprocher de la réalité en utilisant l'estimation de Pourriot et Meybeck (1995), qui multiplie par 2.7 les valeurs de transparence mesurées au moyen du disque de Secchi.

La figure ci-dessous présente ces valeurs calculées de 2011 à 2015.

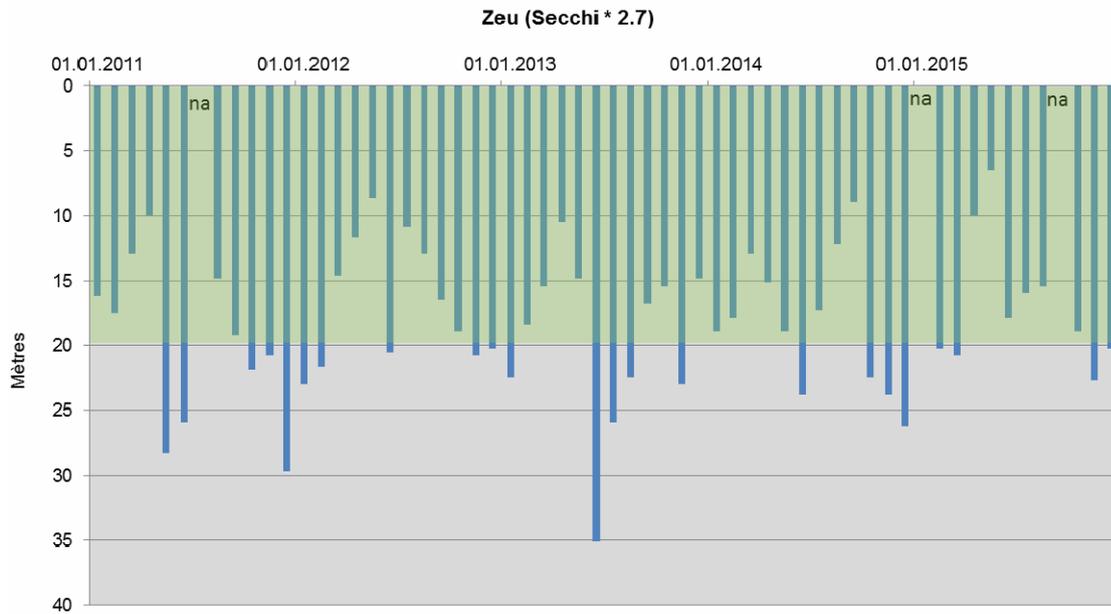


Figure 14 : Zone de prélèvement 0-20 mètres (ombrée) et zone euphotique calculée, de 2011 à 2015 à la station GE3.

Figure 14 : Area levy 0-20 meters (shaded) and calculated euphotic zone, from 2011 to 2015 at the station GE3.

On observe que la zone euphotique dépasse régulièrement 20 mètres, profondeur limite où ont lieu les prélèvements du phytoplancton.

A partir de 2016, des prélèvements pour la Directive cadre de l'eau seront ajoutés aux prélèvements CIPEL. Ces prélèvements seront réalisés sur la profondeur de la zone euphotique à l'aide d'une nouvelle bouteille intégratrice (IWS), non limitée à 20m comme la cloche Pelletier. Le SECOE effectuera également ces prélèvements dans le Petit Lac.

4.4. PHYTOPLANCTON

4.4.1 Biomasse algale

Les valeurs de biomasses annuelles moyennes de phytoplancton, calculées dans le Petit Lac de 1977 à 2015, sont présentées à la figure suivante.

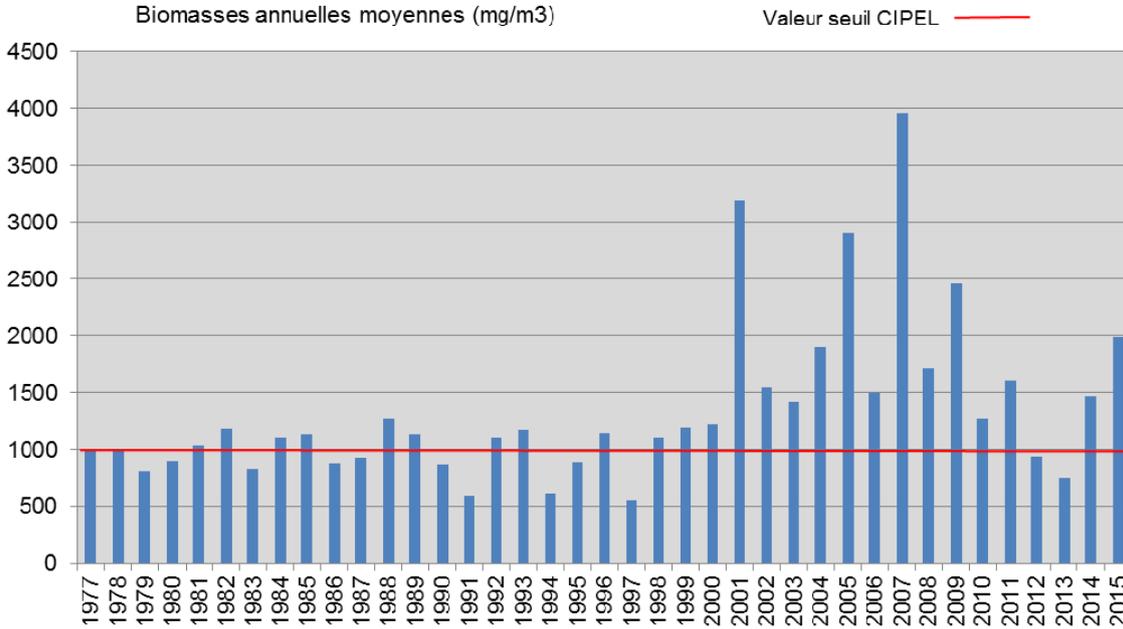


Figure 15 : Evolution des biomasses annuelles moyennes de phytoplancton entre 0 et 20 m, à la station GE3 de 1977 à 2015.

Figure 15 : Change in biomass annual average between phytoplankton from 0 and 20 m, at the GE3 station from 1977 to 2015.

De 1977 à 2000 les valeurs de biomasses annuelles moyennes se maintiennent autour des 1000 mg/m³ (objectif CIPEL) et augmentent par la suite. Durant la période quinquennale, les valeurs calculées en 2012 et 2013 répondent à l'objectif, mais sont largement dépassées en 2011, 2014 et 2015.

Cette tendance à la hausse est, entre autres, attribuable à *Mougeotia gracillima* qui se développe très fortement de manière épisodique (cf. Annexe 3).

Cependant, lorsque l'on enlève la part de *Mougeotia*, la tendance à la hausse de la biomasse algale demeure évidente (Fig. 16). A partir des années 2000, on observe un phénomène d'inversion (baisse du Ptot versus augmentation de la biomasse) qui demanderait à être investigué plus en détails.

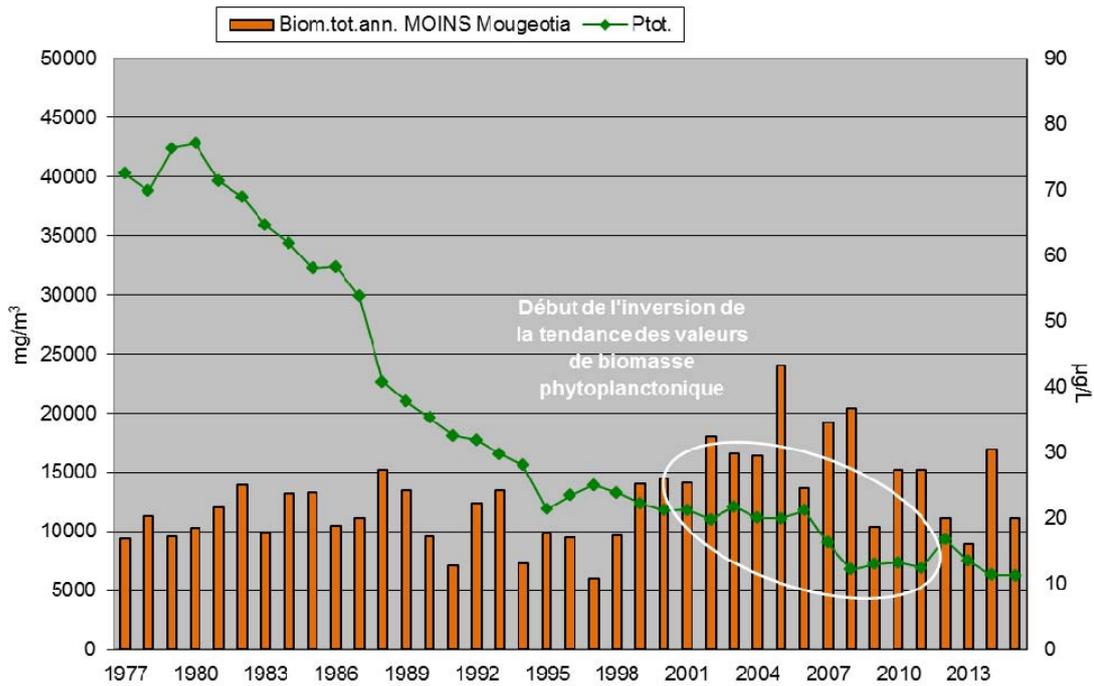


Figure 16 : Evolution des biomasses phytoplanktoniques (moins les valeurs de mougeotia) et des concentrations en phosphore total (moyennes annuelles pondérées), de 1977 à 2015, à la station GE3.

Figure 16 : Change in phytoplanktonic biomass (less values mougeotia) and merger phosphorus total (weighted average annual) of 1977 to 2015, the station GE3.

4.4.2 Évolution des classes d'algues

Les Diatomées dominant le peuplement algal de 2011 à 2014 avec des valeurs se situant entre 31 à 54 %.

Les Conjuguées représentent 45% de la biomasse totale en 2015 et 21% en 2011 ; elles restent discrètes durant les autres années de la période.

Les Dinophycées et Cryptophycées sont bien représentées avec des biomasses se situant respectivement entre 7 et 20% et 11 et 17%.

Les Chlorophycées sont plus représentées en 2014 avec 22% de la biomasse totale annuelle.

Les Cyanophycées, avec 6 à 9% ont des biomasses relativement basses de 2011 à 2015.

Enfin, le groupe des Xanthophycées se démarque par son absence.

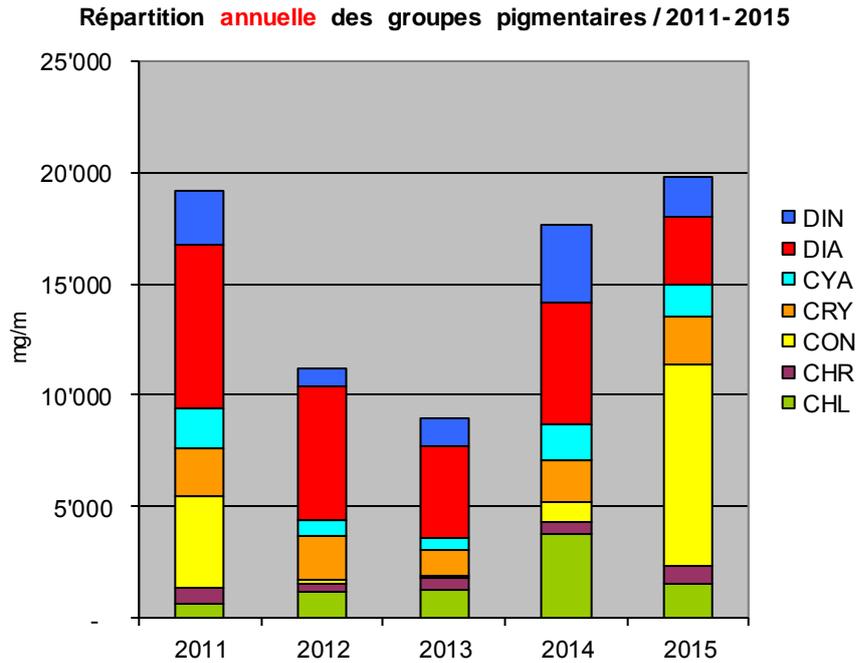


Figure 17 : Variations interannuelles des groupes pigmentaires de 2011 à 2015, à la station GE3.

Figure 17 : Interannual variations in pigmentary groups from 2011 to 2015 at the station GE3.

4.4.3 Taxons dominants

Le pourcentage des biomasses annuelles a été calculé pour chacune des espèces observées. La liste des espèces dominantes a été établie avec les taxons dont la biomasse annuelle atteint au moins 10 % (Tableau 3).

Tableau 3 : Liste des espèces annuellement dominantes (=ou>10%) dans le petit lac, de 2011 à 2015.

Table 3 : List of species dominant annually (or = > 10%) in small lake from 2011 to 2015.

Classe	Espèces dominantes	% annuels (à partir de 10 %)				
		2011	2012	2013	2014	2015
CON	<i>Mougeotia gracillima</i>	20.8				43.8
DIA	<i>Cyclotella bodanica</i> var. <i>lemanensis</i>			18.9		
DIA	<i>Aulacoseira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i>				10.2	
DIA	<i>Fragilaria crotonensis</i>				10.2	
DIA	<i>Cyclotella</i> spp / <i>Stephanodiscus</i> spp <9µm	18.9				
DIA	<i>Tabellaria flocculosa</i>			12.4		
CHL	<i>Chlamydomonas</i> spp.				11.9	
DIN	<i>Ceratium hirundinella</i>				16.0	
CRY	<i>Plagioselmis lacustris</i> (<i>Rhodomonas minuta</i>)		9.5			

Les variations du développement de *Mougeotia gracillima* sont encore évidentes sur la période étudiée: cette algue filamenteuse a dominé en 2011 et 2015, a eu un faible développement en 2014 et s'est à peine manifestée en 2012 et 2013 (cf. tableau 3 et Annexe A.3).

Chez les Diatomées, la centrique *Cyclotella bodanica* var. *lemanensis* domine le peuplement phytoplanctonique en 2013 avec des valeurs avoisinant 20 %. L'intérêt de cette algue réside dans le fait qu'elle signe une eau de bonne qualité. En effet, elle est inféodée aux milieux oligotrophes. On retrouve également la présence de petites *Cyclotella* sp. en 2011. Les trois autres taxons appartenant au groupe des Diatomées sont associés aux milieux mésotrophes. (Wolfram et al. 2007).

Ceratium hirundinella est une espèce de Dinophycée qui apprécie des eaux généralement plus chaudes. D'où les fortes abondances observées en septembre 2014, mois où la température de l'eau du Petit Lac se situait autour de 20°C jusqu'à près de 10 m de profondeur. Enfin, *Plagioselmis lacustris* et *Chlamydomonas* spp. qui sont ubiquistes, ont dominé avec une biomasse avoisinant les 10% respectivement en 2012 et 2014.

4.4.4 Micro et nanoplancton

Les espèces appartenant au nanoplancton ont une longueur inférieure à 20 µm et un biovolume inférieur à 10'000 µm³. Celles du microplancton ont une longueur supérieure à 20 µm et un biovolume supérieur 10'000 µm³.

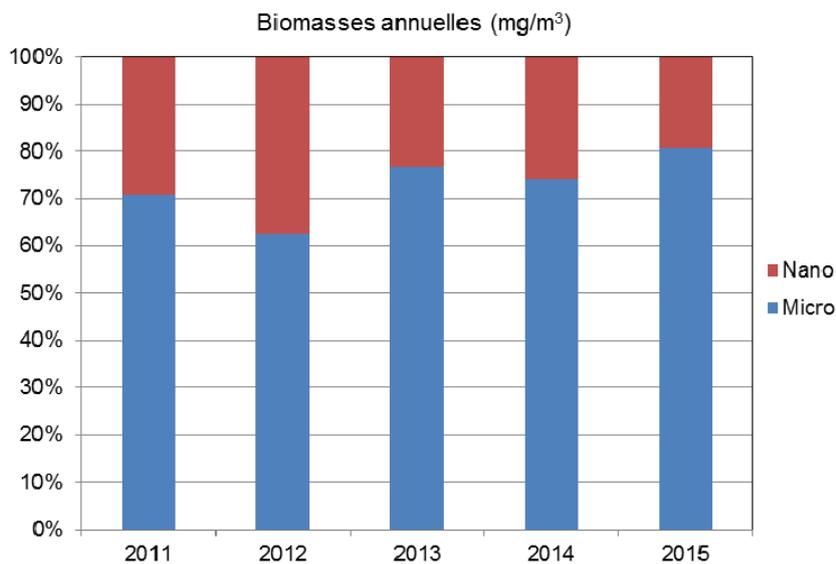


Figure 18 : Pourcentages relatifs de la biomasse annuelle du micro et nanoplancton à la station GE3 de 2011 à 2015.

Figure 18 : Percentage on annual biomass of micro and nanoplankton at the station GE3 from 2011 to 2015.

Durant la période considérée, les espèces microplanctoniques dominent avec 62 à 81% de l'ensemble de la biomasse estimée (Fig. 18).

La prochaine figure représente les moyennes mensuelles des classes de taille de 2011 à 2015.

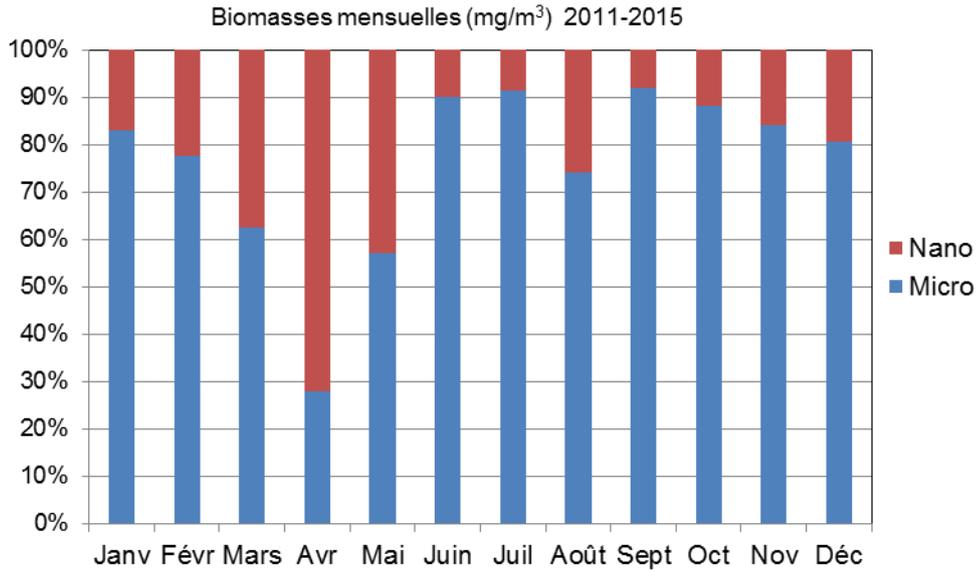


Figure 19 : Biomasses mensuelles moyennes du micro et nanoplancton pour la période 2011 à 2015 à la station GE3.
Figure 19 : Biomasses average monthly of micro and nanoplankton for the period 2011 to 2015 at the station GE3.

Le nanoplancton est nettement mieux représenté en période printanière.

Dans le Petit Lac, les espèces qui influencent habituellement cette répartition appartiennent principalement au genre *Plagioselmis* (anciennement *Rhodomonas*) (SECOE, 2005).

De 2011 à 2015, la distribution est aussi fortement influencée par de petites diatomées centriques du genre *Cyclotella* et *Stephanodiscus* dont l'abondance est très marquée de mars à mai (2755 mg/m³ en avril 2011), ainsi que par de petites *Chlamydomonas*, très abondantes en août 2013 et 2014 et en avril 2014 (1274 mg/m³).

4.4.5 Cycles saisonniers

L'évolution saisonnière des biomasses algales pour les années 2011 à 2015 est illustrée à la figure 20.

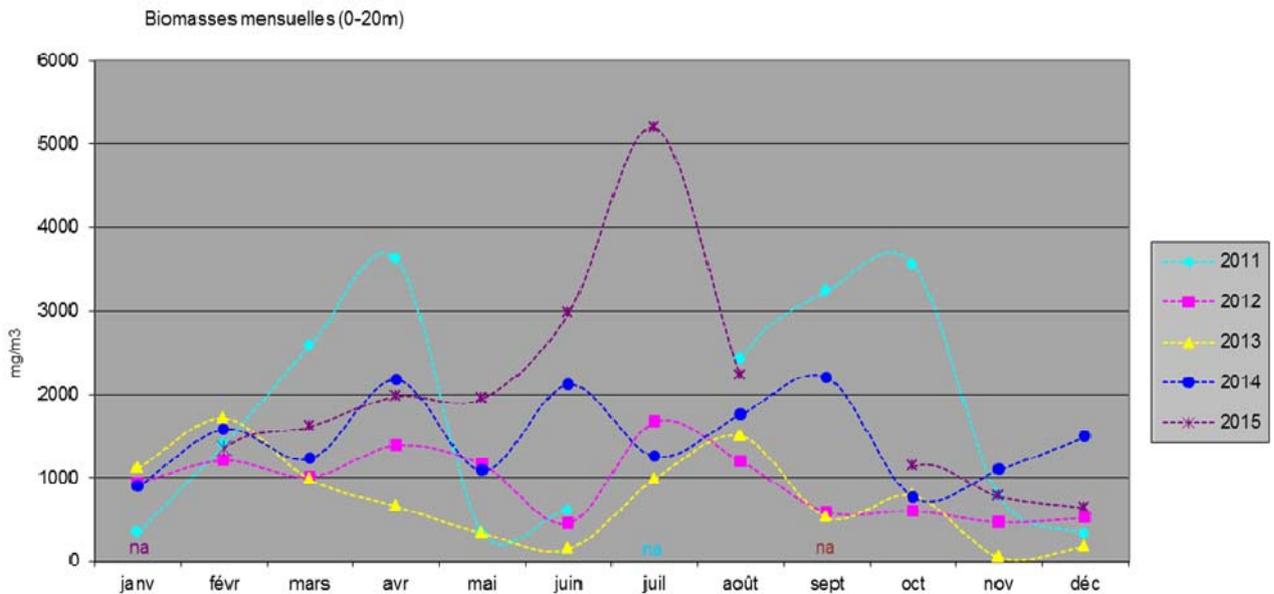


Figure 20 : Évolution saisonnière des biomasses algales de 2011 à 2015, à la station GE3.
Figure 20 : Seasonal changes of algal biomass from 2011 to 2015 at the GE3 station.

Pour l'ensemble de la période quinquennale, la **phase hivernale** est caractérisée par des biomasses relativement basses, sauf en janvier 2013 et décembre 2014 où l'on observe de fortes valeurs, respectivement chez les diatomées *Cyclotella bodanica* var. *lemanensis* et *Fragilaria crotonensis*.

La **période printanière** s'amorce en février où l'on observe en 2011 et 2014, un fort développement de la diatomée *Aulacoseira islandica* subsp. *helvetica*.

Cette période présente d'assez grandes variations interannuelles. Par exemple, les biomasses atteignent 2581 et 3614 mg/m³ en mars et avril 2011 (dominées par de petites diatomées centriques), tandis qu'elles sont nettement plus faibles en mars et avril 2013 avec respectivement, 976 et 659 mg/m³.

De 2011 à 2015 la **période des eaux claires (EC)** est constatée entre mai et juin.

Bien que cette période soit généralement associée à une grande transparence couplée à une faible biomasse, en 2014 on observe une transparence plus importante en juin que lors de la période des eaux claires en mai, ceci malgré une biomasse plus importante (tableau 4).

Cela s'explique par la dominance de *Ceratium hirundinella* en juin, une dinophycée de gros biovolume, solitaire et sans mucilage, laissant passer davantage la lumière que des espèces coloniales avec mucilage telles qu'*Aphanocapsa delicatissima*, *Aphanothece clathrata* et *Pseudosphaerocystis lacustris*, dont la présence a été plus marquée en mai.

Tableau 4 : Transparences de l'eau et biomasses algales en mai et juin 2014, à la station GE3.

Table 4 : Transparency of water and algal biomass in may and june 2014 at the station GE3.

Date	Secchi (m)	Mg/m ³
01.04.2014	5.6	2174
20.05.2014	7	1088
23.06.2014	8.8	2119

La **période estivale** présente aussi d'assez grandes variations interannuelles.

En 2011, la phase estivale est principalement marquée par *Aphanocapsa delicatissima* (740 mg/m³ en août) et *Mougeotia gracillima* (1600 mg/m³ en septembre).

En 2012, *Fragilaria crotonensis* affiche une biomasse de 760 mg/m³ en juillet et on observe en juillet et août, la présence de *Navicula* sp., (entre 370 et 430 mg/m³) un genre de diatomée que l'on rencontre peu fréquemment dans le Petit Lac.

En 2013, *Ceratium hirundinella* et *Dinobryon divergens* sont les plus abondantes, mais les valeurs restent relativement peu élevées.

En 2014, *Ceratium hirundinella* (1300 mg/m³ en septembre) et *Chlamydomonas* spp. (600 mg/m³ en août) dominent le peuplement.

Enfin, en 2015, *Mougeotia gracillima* est revenue en force avec une biomasse de 2400 mg/m³ en juin, atteignant 3940 mg/m³ en juillet puis redescendant à 920 mg/m³ en août (figure 21).

Au cours de la période estivale de 2011 à 2015, la diatomée *Achnanthydium catenatum*, une algue que l'on rencontre peu fréquemment dans le Petit Lac, a été observée en faible abondance, mais de manière régulière.

Mise à part en 2011 où les biomasses automnales sont très élevées (*Mougeotia gracillima* et *Ceratium hirundinella*), la **période automnale** des autres années considérées est marquée par une baisse générale des biomasses.

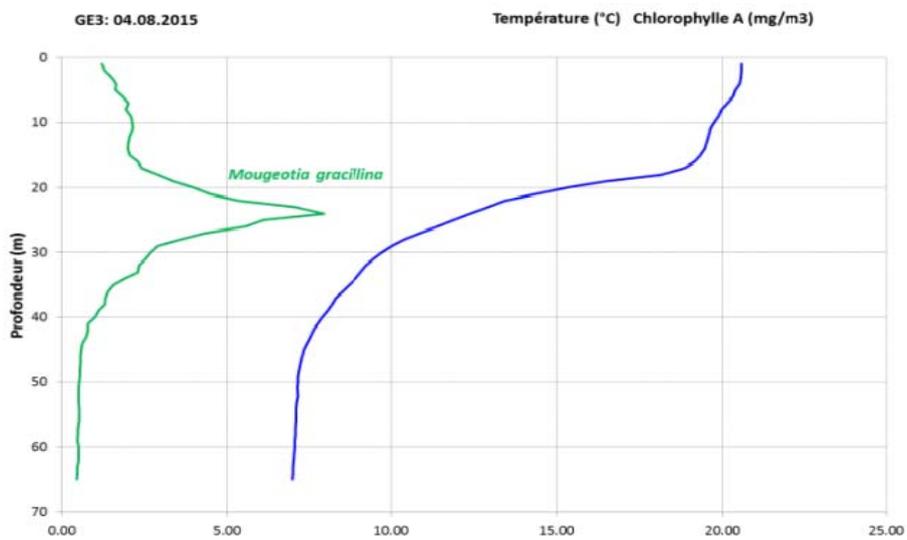
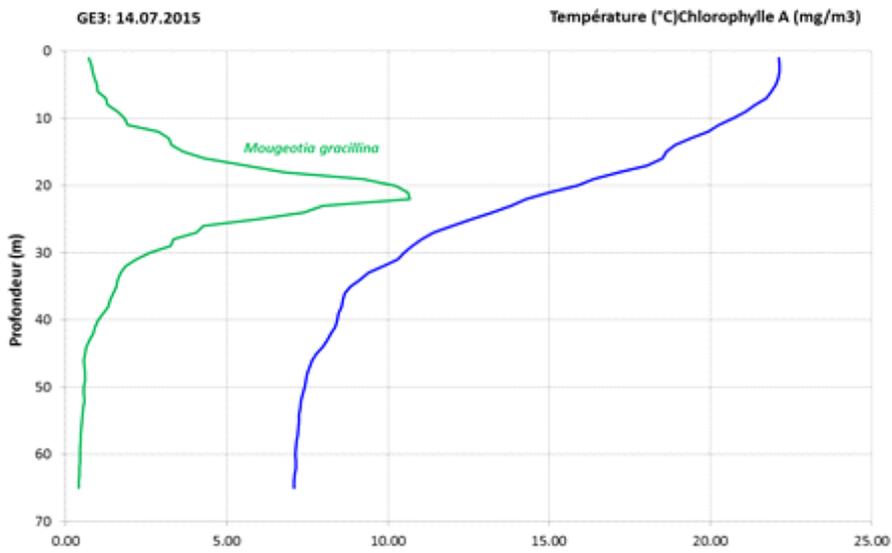
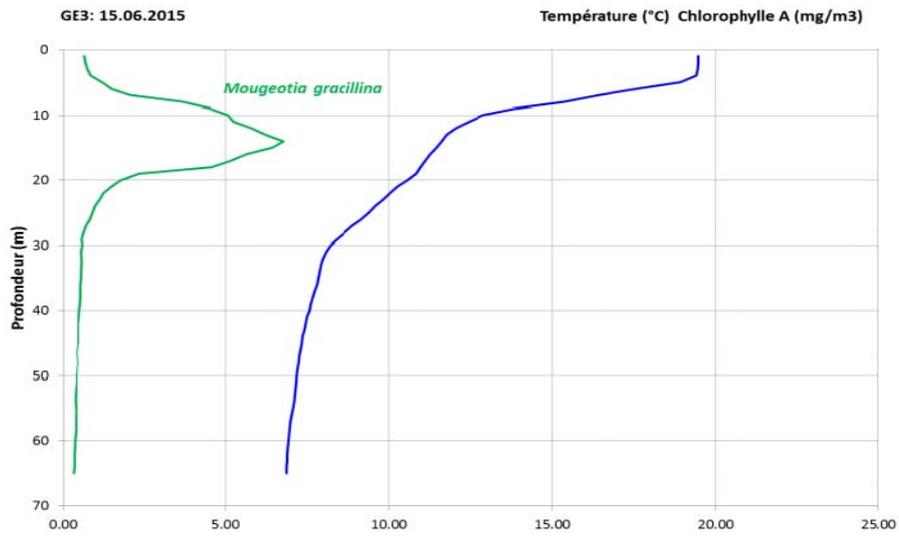


Figure 21 : Profils de température et de chlorophylle a et de température de juin à août 2015, à la station GE3.

Figure 21 : Profiles of chlorophyll a and temperature from June to August 2015 at the station GE3.

4.4.6 Indice Brettum

L'Indice Brettum (IB) est présenté à la figure suivante.

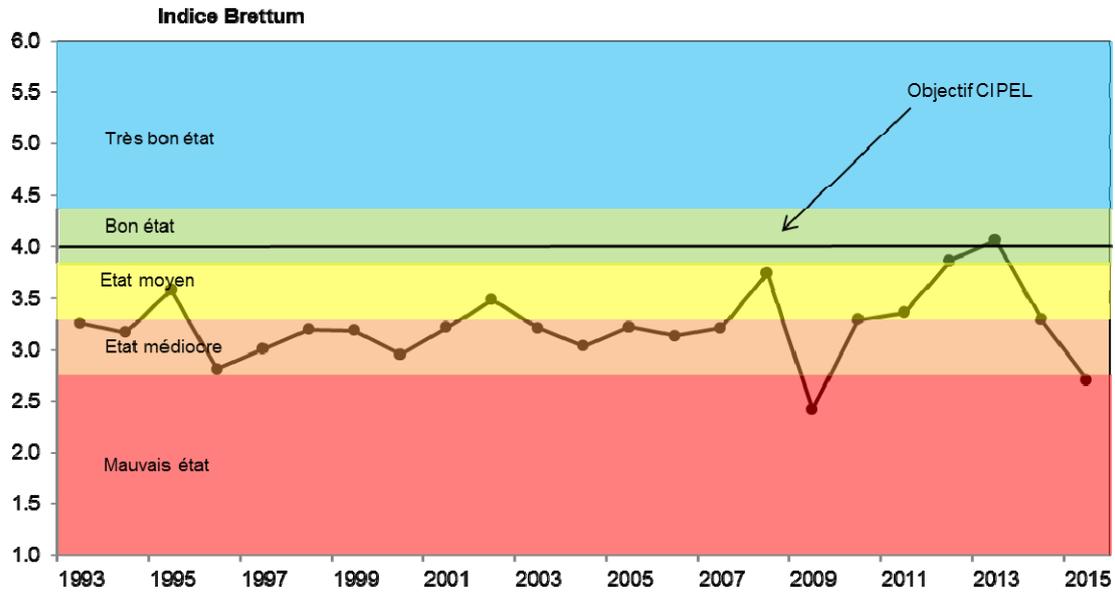


Figure 22 : Evolution de l'Indice Brettum, de 1993 à 2015, à la station GE3.

Figure 22 : Change of Index Brettum from 1993 to 2015 at the station GE3 .

L'Indice Brettum a été développé pour évaluer l'état trophique des lacs. Il est donc basé sur l'occurrence des espèces en fonction des concentrations en nutriments dans l'eau.

De 1993 à 2015, dans le Petit Lac, il se situe globalement entre 3 et 3.5. Les chutes de l'indice en 2009 et 2015 correspondent à des années de forte production de *Mougeotia gracillima*, dont le genre est classé dans la catégorie 2 (30-60 µg/L de Ptot). Il apparaît donc que la classe attribuée à *Mougeotia* est très pénalisante si l'on se réfère à la stabilité des concentrations en nutriments mesurés.

En 2008 et 2013 la remontée de l'IB est associée à une forte biomasse de *Cyclotella bodanica*, dont le genre est inféodé à des conditions oligotrophes et classé dans la catégorie 6 (<=5 µg/L de Ptot).

4.4.7 Diversité

Les variations de l'indice de diversité de Shannon sont présentées ci-dessous.

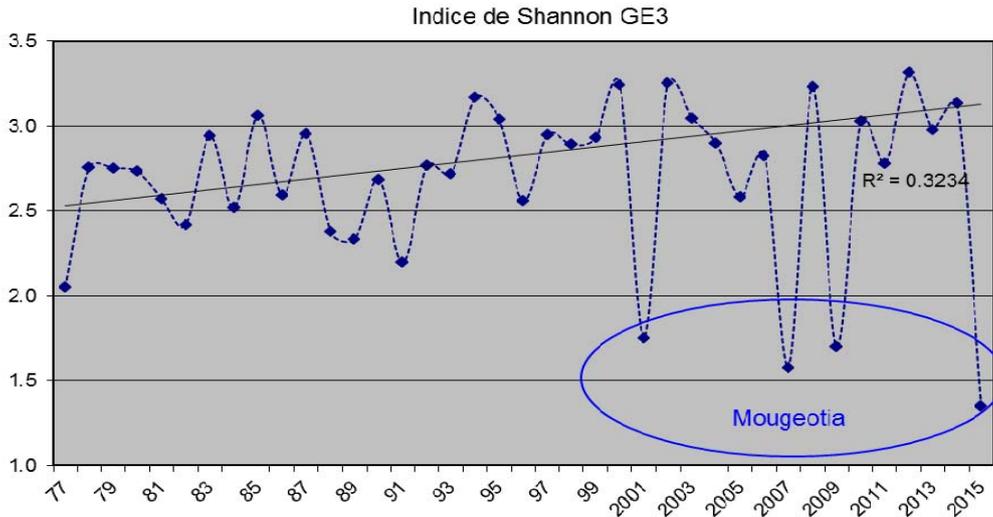


Figure 23 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon, calculé à partir des valeurs de biomasses, de 1977 à 2015 à la station GE3. Courbe de tendance hors efflorescence de mougeotia.

Figure 23 : Interannual changes in diversity index shannon, calculated from biomass values, the 1977 to 2015, the station GE3. Curve trend out of efflorescence mougeotia.

On constate que la diversité diminue nettement lors des années à très fort développement de *Mougeotia gracillima* (2001, 2007, 2009 et 2015), mais lorsque l'on exclut ces années exceptionnelles, la tendance de la diversité est positive.

4.5. CHLOROPHYLLE

Le dosage de la chlorophylle *a* du Petit Lac se fait à partir d'un échantillon d'eau brute intégré entre 0 et 20m selon la méthode décrite à l'annexe A.1.4.

Les concentrations de chlorophylle *a* mesurées entre 2011 et 2015 fluctuent de manière semblable à celles de la biomasse algale (figure 24).

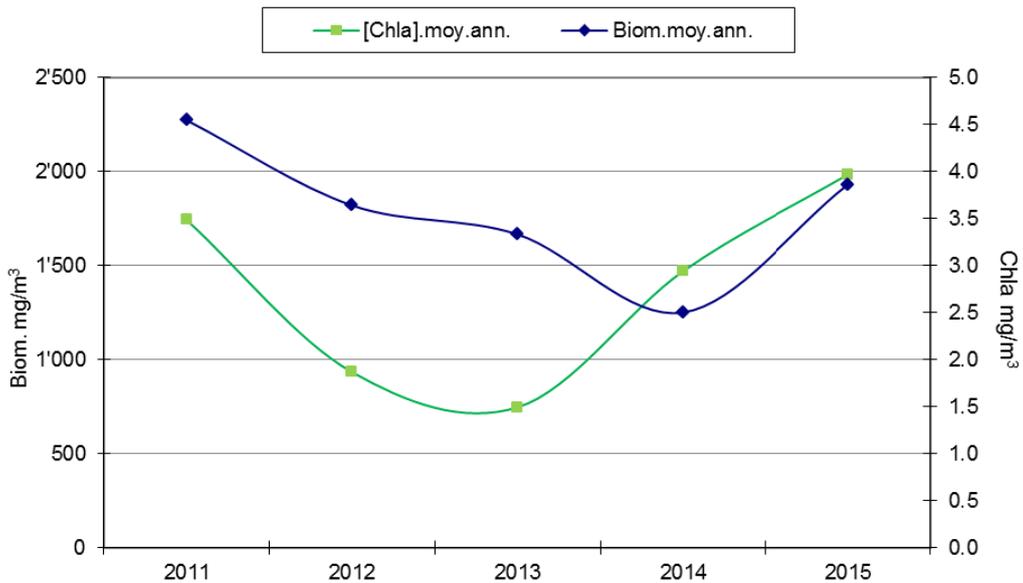


Figure 24 : Variations interannuelles des Concentration moyennes en chlorophylle a et biomasse phytoplanktonique entre 0 et 20m, de 2011 à 2015, à la station GE3.

Figure 24 : Interannual variations concentration average in chlorophyll a and biomass phytoplankton between 0 and 20m from 2011 to 2015 at the station GE3.

5. CONCLUSIONS

Les résultats des analyses physico-chimiques et biologiques effectuées entre 2011 à 2015 dans le Petit Lac indiquent un état globalement satisfaisant.

La diminution des concentrations en phosphore total tend à se stabiliser autour des 12µg/L (6 pour le phosphore réactif soluble). Il en va de même pour les stocks de cet élément. Les stocks de nitrates restent stables, ceux de chlorures continuent de croître, tout comme dans le Grand Lac.

Toutefois, la stabilité n'est pas encore "installée" en ce qui concerne les populations algales. En effet, on observe d'importantes variations interannuelles en termes de biomasses avec de très fortes concentrations certaines années.

6. BIBLIOGRAPHIE

- BRETTUM, P., 1989. Algen als Indikatoren für die Gewässerqualität in norwegischen Binnenseen. Norsk Institutt for vannforskning NIVA, Norway : 102 pp.
- CIPEL, 2010 : LAVIGNE, S., CORDONIER A., JAQUET, J.-M, Evolution du phytoplancton du Petit Lac, Campagnes 2006 à 2010. p109-124.
- CIPEL, 2014 : Tableau de bord technique 2014 (Plan d'Action 2011-2020).
- DCE Circulaire 2006/16, Ministère de l'Économie et du Développement Durable. Paris 2006
- JAQUET, J.-M., NIREL-CORNAZ, P., LAVIGNE, S. and MARTIGNIER, A. 2013. Preliminary investigations on phytoplankton-related precipitation of alkaline-earth metal carbonates in meso-oligotrophic Lake Geneva (Switzerland). *Journal of Limnology*, 72(3): 592-605.
- Lazzarotto J., Nirel P., Rapin F., 2011: Évolution physico-chimique des eaux du Léman (éléments majeurs) Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2010, 31-63.
- LOHMANN, H., 1908: In PAVONI, M., 1969 : Beziehung zwischen Biomasse und Stickstoff-concentration. *Deep-sea Res.* 13,p. 223-227.
- Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux), 1991 RS 814.20 Assemblée fédérale de la Confédération suisse, Berne.
- OCDE, 1982 : Eutrophisation des eaux : méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. 165 pp.
- OFEFP, 1991 : Recommandations pour l'évaluation de la qualité hygiénique des eaux de baignade de lacs et de rivières. L'environnement pratique - Information concernant la protection des eaux n° 7, Berne, 33 p.
- Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) 1998, RS 814.201 Conseil fédéral suisse, Berne.
- Perga & Laine 2016
- POURRIOT, R et MEYBECK, M ,1995 : Limnologie générale. Collection d'écologie 25 Edition Masson
- REDFIELD A.C., 1934 On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In *James Johnstone Memorial Volume*. (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool, pp. 176–192,
- SECOE, 2005. Le phytoplancton du Petit Lac, Evolution de 1993 à 2003. Canton de Genève.
- SECOE, 2010. Etat écologique du Petit Lac en 2008. DGEau - Canton de Genève.
- SECOE, 2016. Etat écologique du Petit Lac en 2014. DGEau - Canton de Genève.
- STRICKLAND J.D.H. and PARSONS T.R. (1968): A practical handbook of sea water analysis. *Bull.Fish.Res.Bd Canada*, 167, 311p.
- Teubner K., Dokulil M., 2002: Ecological stoichiometry of TN:TP:SRSi in freshwaters: nutrient ratios and seasonal shifts in phytoplankton assemblages, *Arch Hydrobiol.*, 625-646
- UTERMOHL, H., 1958 : Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9, 38 p.
- WETZEL, R.G. et LICKENS, G.L. (2000): *Limnological Analyses*, Third edition. Springer-Verlag New York.
- WOLFRAM, G. et DOKULIL, M. (2007) : Leitfaden zur erhebung der biologischen qualitatselemente. Teil B2 -Phytoplankton. Lebensministerium, Austria, 50 p.

1. STOCKS ET CONCENTRATIONS MOYENNES DEPUIS 1986

Tableau 5 : Stocks en tonnes, Léman - Petit Lac (GE3).

Table 5 : Total content in metric tons, Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

Année	O2	Ptot	P-PO4	Ntot	N-NH4	N-NO3	Cl	SiO2	COD
1986	35735	188	142	-	23	1512	16379	3561	3077
1987	35874	174	123	-	31	1607	16532	3004	3098
1988	35121	132	99	-	11	1526	16937	2925	3017
1989	35874	122	83	-	18	1624	18938	2694	2958
1990	34120	114	62	-	68	1571	20518	3363	2331
1991	34819	105	65	2007	19	1682	22896	3076	3335
1992	34857	103	63	1803	22	1748	21703	3000	3073
1993	34652	96	55	2225	41	1777	21047	3393	3074
1994	34228	91	55	2217	25	1604	20765	3092	3098
1995	34569	69	40	2200	28	1558	20771	3225	3350
1996	34605	76	29	2051	17	1445	21484	3701	3052
1997	33994	81	33	2125	35	1554	22311	3632	3038
1998	34668	77	33	1864	16	1313	23302	3340	3126
1999	34224	72	38	-	33	1266	22362	5020	2401
2000	37031	68	34	2022	13	1494	22734	6879	2879
2001	37217	69	25	2057	13	1403	23165	3111	2902
2002	33879	64	22	2036	30	1180	23638	3271	3064
2003	33319	72	30	2053	47	1378	23893	3718	2948
2004	34308	65	31	2242	35	1623	26198	3097	3064
2005	34060	65	32	2136	12	1506	27235	3899	3745
2006	35248	69	35	2068	25	1618	28064	4684	3874
2007	36111	53	34	1733	42	1574	27983	4301	3730
2008	32999	39	22	1754	14	1720	28589	3796	3832
2009	32572	41	21	1888	23	1569	27967	3142	3747
2010	31424	43	23	1929	36	1659	29507	2890	3552
2011	28716	37	17	1751	29	1513	28530	2922	3543
2012	30538	54	30	2076	32	1711	30575	4263	3512
2013	32399	44	22	2193	29	1828	30693	2558	3543
2014	30004	37	21	1919	29	11742	31485	2509	3990

Tableau 6 : Concentrations moyennes pondérées, Léman - Petit Lac (GE3).

Table 6 : Mean weighted concentrations, Lake Geneva - Petit Lac (GE3).

Année	O2 mg/l	Ptot µgP/L	P-PO4 µgP/L	Ntot µgN/L	N-NH4 µgN/L	N-NO3 µgN/L	Cl mg/L	SiO2 mg/L	COD mg/L
1986	11.07	58.3	43.9		7.2	469	5.08	1.10	1.0
1987	11.12	53.9	38.1		9.6	498	5.12	0.99	1.0
1988	10.88	40.8	30.6		3.3	473	5.25	0.91	0.9
1989	10.50	37.8	25.6		5.6	503	5.87	0.83	0.9
1990	10.57	35.3	19.2		21.0	487	6.36	1.04	0.7
1991	10.79	32.6	20.2	622	5.9	521	7.10	0.95	1.0
1992	10.80	32	19.5	559	6.9	542	6.73	0.93	1.0
1993	10.74	29.9	17.1	689	12.6	551	6.52	1.05	1.0
1994	10.61	28.1	16.9	687	7.9	497	6.43	0.96	1.0
1995	10.71	21.4	12.4	682	8.8	483	6.44	1.00	1.0
1996	10.72	23.6	9.2	636	5.4	448	6.66	1.15	1.0
1997	10.53	25.1	10.4	659	11.0	481	6.91	1.13	0.9
1998	10.74	23.9	10.1	578	5.0	407	7.22	1.03	1.0
1999	10.61	22.3	11.6		10.4	392	6.93	1.56	0.7
2000	11.48	21.2	10.4	627	4.0	463	7.04	2.13	0.9
2001	11.53	21.3	7.7	637	3.9	435	7.18	0.96	0.9
2002	10.50	19.9	6.7	631	9.4	366	7.33	1.01	1.0
2003	10.33	22.2	9.2	636	14.7	427	7.40	1.15	0.9
2004	10.63	20.1	9.7	695	10.9	503	8.12	0.96	1.0
2005	10.55	20	10.0	662	3.7	467	8.44	1.21	1.2
2006	10.92	21.3	10.8	641	7.6	501	8.70	1.45	1.2
2007	11.19	16.3	10.6	537	13.2	488	8.67	1.33	1.2
2008	10.23	12.2	6.9	543	4.4	533	8.86	1.18	1.2
2009	10.09	12.9	6.5	585	7.2	486	8.67	0.97	1.2
2010	9.74	14.9	8.7	598	11.2	514	9.14	0.90	1.1
2011	8.90	11.4	5.2	543	9.0	459	8.84	0.91	1.1
2012	9.46	16.9	9.0	643	9.8	530	9.47	1.32	1.1
2013	10.10	13.6	7.0	683	8.9	569	9.55	0.80	1.1
2014	9.30	11.4	6.6	595	9.0	540	9.76	0.78	1.2

2. MÉTHODES D'ANALYSES

2.1 ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d'eau prélevés mensuellement lors des campagnes d'analyses physico-chimiques portent sur la recherche de la bactérie *Escherichia coli*, indicatrice de pollution fécale.

La méthode utilisée est celle habituellement appliquée pour la surveillance de la qualité hygiénique des eaux de baignade (OFEFP, 1991).

APPRECIATION DE LA QUALITE DES EAUX DE BAINNADE

CEE: directive 76/160 modifiée en 1995 :

E.coli /100mL, nombre Guide : 100

Nombre Impératif : 2000 (ATTENTION GENEVE RESTE à 1000 !)

Suisse (Recommandations de l'OFEFP, 1991)

Classe de qualité	<i>E.coli</i> /100 mL	<i>Salmonella</i> spp. /1000 mL
A	<100	non décelées
B	100-1000	non décelées
C	100-1000 >1000	décelées non décelées
D	>1000	décelées

Genève : grille d'interprétation des résultats basée sur la grille française :

Escherichia coli	8/10 prélèv.<G et au moins 9/10 prélèv.<I	au moins 9/10 prélèv.<I	plus de 1/10 prélèv.>I	au moins 1/3 prélèv. >I
Qualité (au moins 10 prélèvements)	A Bonne	B Moyenne	C Peut être momentanément pollué	D Mauvaise

Signification de **G** et de **I** :

pour 100mL	Escherichia coli	Salmonella spp.
G	<100	
I	<1000	aucune dans 1 L

Les normes "impératives" (I) ne doivent pas être dépassées

Les nombres "guides" (G) sont à respecter si possible

Remarque: dans la grille française actuelle la valeur de (I) est passée à 2000

ATTENTION GENEVE RESTE à 1000 !

2.2 ANALYSES DU PHYTOPLANCTON

Les échantillons d'eau brute sont collectés à l'aide d'une cloche intégratrice (Pelletier and Orand (1978a) ; Pelletier and Orand (1978b) couvrant la couche 0-20 m. Traités au réactif iodo-ioduré, les organismes sont identifiés et comptés au microscope inversé suivant le procédé d'UTERMOHL (1958)

La méthode d'estimation de la biomasse est celle de LOHMANN (1908)

Ce calcul est effectué à partir des comptages au microscope inversé et nécessite la détermination du volume cellulaire brut moyen de chaque espèce transformé en poids en considérant la densité globale des organismes comme égale à 1. De ce fait les biomasses sont exprimées en poids par unité de volume ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.3 MESURE DE LA TRANSPARENCE

La transparence est mesurée avec un disque de Secchi adapté par la CIPEL (entièrement blanc et d'un diamètre de 30 cm).

Moyen simple pour mesurer la transparence de l'eau, le disque est descendu dans l'eau jusqu'à ce qu'il disparaisse ; on note la profondeur de disparition. Cette technique a été développée par A. Secchi en 1866.

2.4 DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE

La concentration en **chlorophylle a** est mesurée au spectrophotomètre après filtration des échantillons d'eau brute (sur filtre en nitrate de cellulose, 0.6 μm de porosité) et extraction des pigments cellulaires dans un mélange hydro-acétone (10 / 90) selon la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968).

3. MOUGEOTIA GRACILLIMA DANS LE PETIT LAC / 1977- 2015

Evolution des biomasses (mg/m ³) de <i>Mougeotia gracillima</i> dans le Petit Lac (GE3) de 1977 à 2015													
	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Tot. Ann.
1977	44	21	0	4	0		149	325	284	686	2		1'515
1978	0							211	222	264	31	22	750
1979	1								0	49	23	63	136
1980									171	141	27	82	420
1981	29							2	80	148	19		279
1982								22	48	10	36	0	116
1983	1								21	42			64
1984													-
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	85	15	101	24	226
1986	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
1987													-
1988									46	2	15		64
1989		3		2									6
1990													-
1991													-
1992									714	24	14	6	758
1993	0	0	0	0	0	0	0	558	2	31	5	0	596
1994								12					12
1995	0	4		0		10	5	25	753	47	1		845
1996	3	12	0	0	0	0	2	738	3'161	192	66	8	4'182
1997								5	480	48		8	540
1998	8	0	0	0	0	0	168	1'920	1416	93	1	0	3'607
1999	0	0	0	0	0	0	0	24	174	14	0	0	213
2000	0	0	0	2	0	0	0	6	0	84	0	11	103
2001	0	0	0	0	0	47	312	20'452*	2'785	366	120	0	24'081
2002	0	0	0	0	0	3	0	74	28	352	51	1	510
2003	1	0	1	1	0	1	114	170	142	40	1	1	469
2004	0	0	0	0	0	30	368	2'034	410	930	537	2'010	6'320
2005	2'632	1437	1	30	12	1	241	18	145	78	1'932	4'244	10'770
2006	1'829	767	12	0	0	0	0	6	97	187	634	724	4'256
2007	72	42	6	0	0	682	11'590*	1'606	5'149	9'055*	4'147	97	32'445
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	24	48	32	0	104
2009	1	1	0	1	0	0	48	1195	10'183*	6'972*	573	30	19'005
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	495	1'600	1'569	332	0	3'996
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	6	18	6	1	31
2013	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12	0	14
2014	0	0	0	0	0	24	386	121	12	12	78	18	652
2015		187	308	392	495	2'402	3'942	924		12	1	24	8'687
	< 1000												
	1000 à 3000												
	> 3000												
	Biomasse exceptionnelle *												