



Station d'hydrobiologie lacustre  
B.P. 511, F-74203 Thonon-les-Bains Cedex

# LE PHYTOPLANCTON DU LAC D'AIGUEBELETTE (SAVOIE) ANNEE 2009



Par

**Frédéric RIMET**

**Ingénieur d'Etude**

Etude réalisée pour la Communauté de Communes du Lac d'Aiguebelette  
Route du Lac  
73470 NOVALAISE

Thonon, le 15 mars 2010

F. RIMET. 2010 - Le phytoplancton du lac d'Aiguebelette (Savoie), année 2009. INRA-Thonon, Rapport SHL 1 - 2010, 10 p + annexes.

## 1 Résumé

Pour résumer l'évolution saisonnière du lac pour l'année 2009, on peut retenir la présence de 4 phases bien marquées. Une phase hivernale avec de faibles biomasses, suivie d'une phase printanière avec une forte augmentation de la biomasse essentiellement due à *Cyclotella costei*, une diatomée indicatrice de réoligotrophisation. Une phase estivale suit, les Chrysophycées vont remplacer les diatomées ; le taxon dominant (*Dinobryon divergens*) est caractéristique des eaux pauvres en nutriments. Une Chlorophycée filamenteuse va ensuite succéder à *Dinobryon divergens* de début août à fin septembre. Enfin à partir de septembre, on observe une baisse progressive de la biomasse algale, caractéristique d'une phase automnale puis hivernale.

Pour ce qui est de la dynamique interannuelle du lac, on observe une diminution progressive de la biomasse en Cryptophycées. Depuis 2005, les biomasses annuelles sont globalement plus faibles qu'avant 2005. Le dernier élément à souligner est la hausse progressive des indices de Brettum, c'est-à-dire la diminution du niveau trophique du lac.

## 2 Introduction

Le compartiment phytoplanctonique du lac d'Aiguebelette a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2009 à la station « Point A ». Cette étude comporte l'analyse de l'évolution qualitative et quantitative des populations phytoplanctoniques.

Différentes métriques, telles que la diversité (indice de Shannon), ainsi que l'indice de trophie de Brettum (1989), modifié par Wolfram *et al.* (2007); Wolfram and Dokulil (2007) sont présentés.

## 2 Matériel et méthodes d'étude du phytoplancton

En 2009, 21 campagnes de prélèvement ont été effectuées dans le Lac d'Aiguebelette. Le phytoplancton étudié a été récolté de janvier à décembre 2009 dans la couche 0-20 m à l'aide d'une cloche intégratrice d'eau brute développée par Pelletier et Orand (Brevet INRA, 1978).



Photo 1 : Appareil intégrateur (« cloche Pelletier »), préleveur de plancton

Après récolte, les échantillons d'eau ont été fixés avec du lugol, réactif iodo-ioduré qui assure la conservation du phytoplancton et alourdit les cellules, rendant ainsi leur sédimentation plus facile. Il colore également l'amidon des cellules ce qui rend leur identification plus aisée.

Les échantillons d'eau brute fixés ont été préparés selon la technique d'Utermöhl, méthode normalisée au niveau français et européen (Norme NF EN 15204, Afnor (2006)). Un sous-échantillon de 25 ml ou 50 ml suivant l'abondance du phytoplancton est versé dans un cylindre surmontant une chambre de sédimentation et laissé à sédimenter pendant 12 à 24 heures à l'abri de la lumière (le lugol se dégrade à la lumière et perd son effet conservateur) et de la chaleur. Ce laps de temps permet aux algues, même les plus légères, de sédimenter au fond de la cuvette. Puis on glisse la partie cylindrique sur le coté de la chambre pour la remplacer par une lamelle de couverture en verre. Enfin, la lame est déposée sur un microscope inversé afin de procéder à l'examen qualitatif et quantitatif du phytoplancton.

Les protocoles d'analyses sont décrits avec plus de précision dans le document rassemblant les modes opératoires d'analyse du phytoplancton de l'INRA par Druart and Rimet (2008).



Photo 2 : Chambre de sédimentation

L'identification microscopique des organismes phytoplanctoniques se fait sur plusieurs critères morphologiques dont la taille, la présence ou l'absence de flagelles et leur nombre, l'organisation cellulaire (filaments, colonies, individus) et le type de membrane externe (cellulosique, siliceuse, peptidoglycanique...).

Les abondances sont exprimées en nombre de cellules algales ou de colonies par millilitre d'eau brute puis transformées en biomasse ( $\mu\text{g/L}$ ).

21 campagnes ont été réalisées en 2009 dans le lac d'Aiguebelette aux dates suivantes : 14/1, 9/2, 3/3, 16/3, 30/3, 7/4, 14/4, 4/5, 13/5, 2/6, 10/6, 15/6, 21/7, 28/7, 11/8, 31/8, 28/9, 20/10, 5/11, 17/11 et 9/12.

### 3 Résultats

#### a. Evolution saisonnière de l'année 2009

##### i. Evolution des classes d'algues

La figure 1 présente la dynamique saisonnière des principales classes d'algues (sensu Bourrelly (1972);Bourrelly (1981);Bourrelly (1985)) pour l'année 2009.

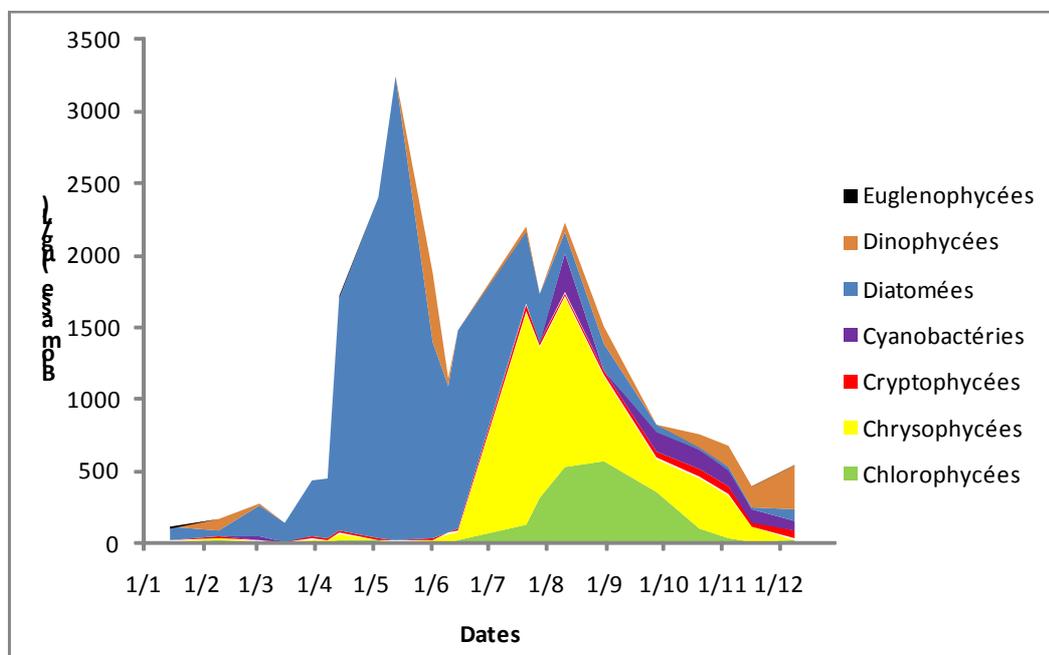


Figure 1 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton par classes algales en 2009.

Plusieurs phases peuvent-êtré décrites pour l'année 2009 :

- Une phase hivernale avec de très faibles biomasses (du 14/1 au 7/4),
- Un pic printanier largement dominé par des diatomées centrique (du 14/4 au 13/5) ; la biomasse augmente très fortement pendant cette période. On observe ensuite une baisse de la biomasse qui correspond probablement à la phase des eaux claires. Il s'agit d'un évènement qui fait la transition avec la phase estivale.
- Une phase estivale (2/6 au 31/8), pendant laquelle les diatomées sont remplacées par les Chrysophycées puis par les Chlorophycées. La biomasse reste semblable à celle de la phase printanière.
- Une phase automnale et hivernale ; cette phase présente une baisse progressive de la biomasse algale (du 28/9 au 9/12). Les Dinophycées vont présenter des biomasses significativement importantes en fin d'année.

## ii. Evolution des espèces dominantes

La figure 2 présente la dynamique des taxons dominant la biomasse du phytoplancton pour l'année 2009 (les 4 taxons présentant la biomasse annuelle la plus élevée ont été sélectionnés).

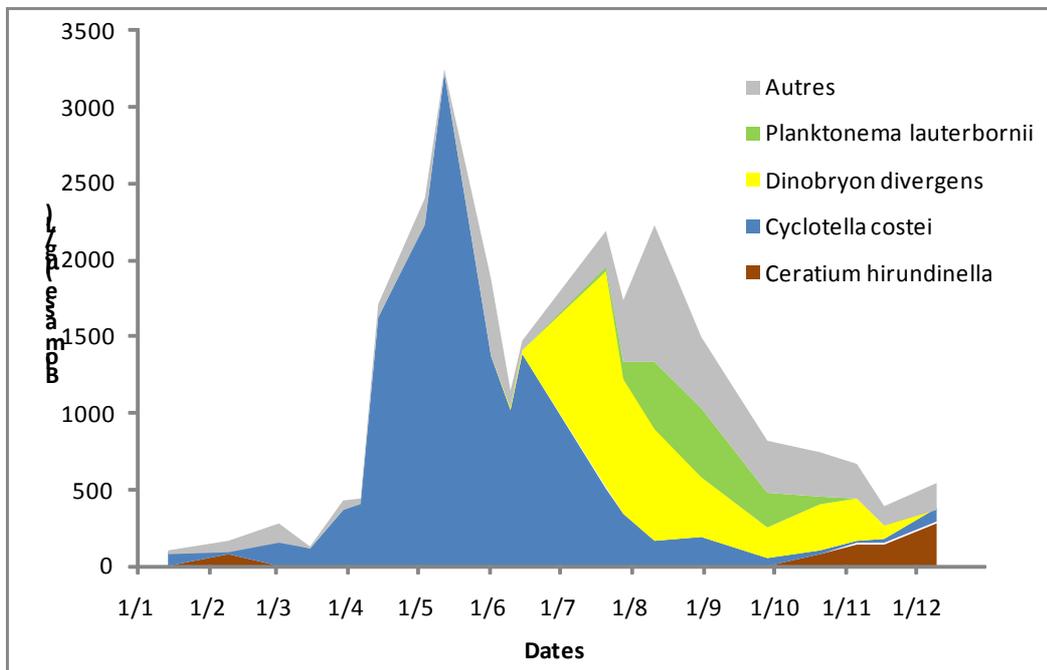


Figure 2 : Variations saisonnières de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton en 2009.

Les 4 taxons présentés sur la figure 2 constituent plus de 80% de la biomasse annuelle totale à eux seuls. Cette figure illustre bien le phénomène de successions algales en lac. En effet, le phytoplancton du lac d'Aiguebelette est largement dominé jusqu'en juillet par une petite diatomée centrique, *Cyclotella costei* (synonyme de *Cyclotella cyclopuncta*). Il a été montré que *Cyclotella costei* est considéré comme indicateur de la phase de ré-oligotrophisation pour le Léman (Rimet *et al.* (2009)). A partir du mois de juillet, ce taxon est progressivement remplacé par *Dinobryon divergens*, Chrysophycée coloniale. Selon Reynolds *et al.* (2002) ce taxon est adapté aux eaux oligotrophes, présentant un déficit en nutriments. Enfin la Chlorophycée filamenteuse *Planktonema lauterbornii* va remplacer *Dinobryon divergens* en milieu et fin d'été. Selon Padisak *et al.* (2009), ce taxon est caractéristique de couches relativement « profondes », où la lumière peut-être un facteur limitant pour d'autres taxons.

On note la présence de *Ceratium hirundinella*, Dinophycée de grande taille en fin d'année (novembre/décembre).

## iii. Evolution du micro et du nanophytoplancton

Les taxons nanophytoplanctoniques ont une longueur inférieure à 20  $\mu\text{m}$  et un biovolume inférieur à 10 000  $\mu\text{m}^3$ . Ceux du microphytoplancton une longueur supérieure à 20  $\mu\text{m}$  et/ou un biovolume supérieur à 10 000  $\mu\text{m}^3$ . La figure 3 présente la dynamique de ces deux catégories pour l'année 2009.

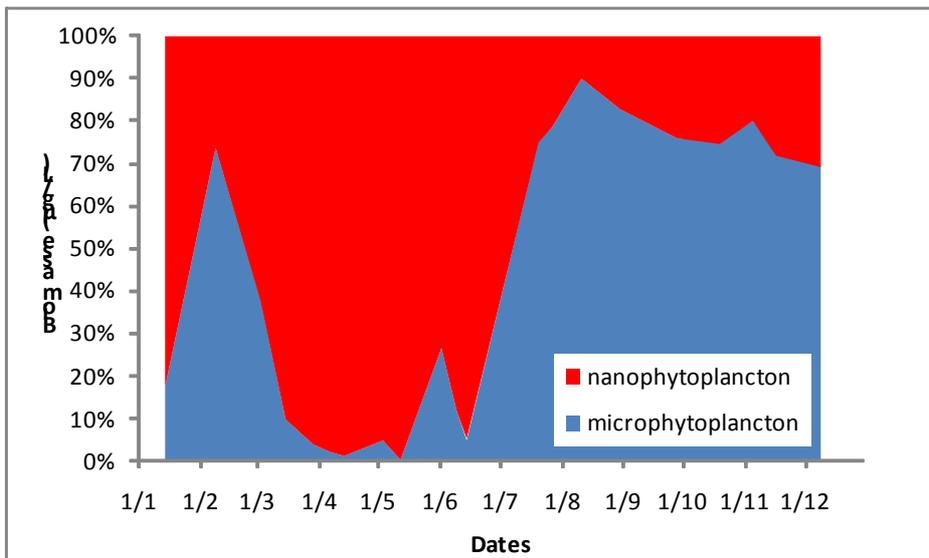


Figure 3 : Variations saisonnières de la biomasse par classes de taille en 2009.

Deux phases sont bien marquées lorsque ces deux catégories sont considérées. Tout d'abord une phase où le phytoplancton est dominé par des taxons nanophytoplanktoniques (essentiellement *Cyclotella costei*) ceci jusqu'au début de la phase estivale (2/6). Le restant de l'année est largement dominé par des taxons microphytoplanktoniques. Ce type de dynamique serait intéressant à corrélérer à des données de zooplancton.

## b. Evolution interannuelle

### i. Evolution des classes d'algues

La figure 4 présente l'évolution interannuelle des principales classes d'algues (sensu Bourrelly (1972); Bourrelly (1981); Bourrelly (1985)). Pour chaque mois, une moyenne est calculée par classe algale, puis pour chaque année, une moyenne est calculée à partir de ces moyennes mensuelles. Ce calcul est légèrement différent de ce qui était présenté dans les rapports précédents (les moyennes étaient calculées globalement sur toute l'année), mais permet de pondérer par le nombre d'échantillons par mois.

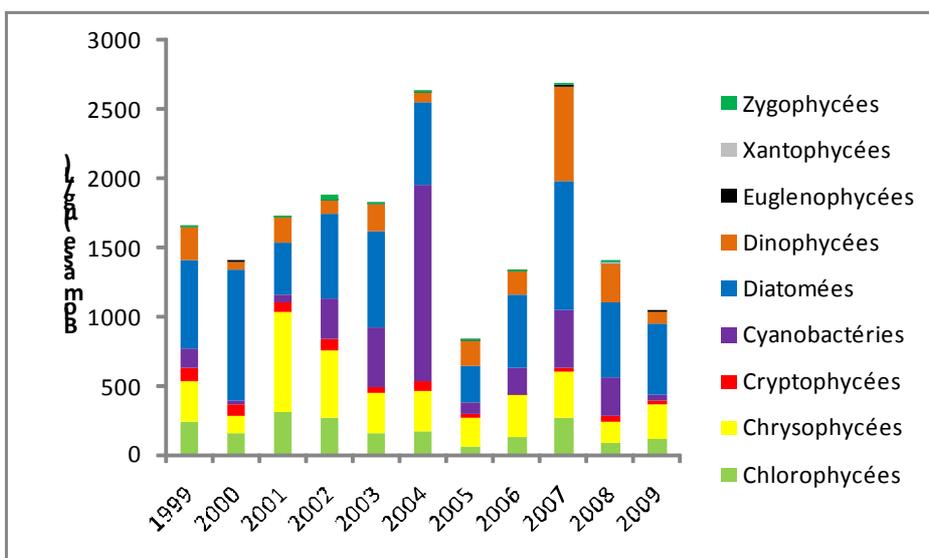


Figure 4 : Evolution interannuelle des principales classes algales (moyenne annuelle des moyennes mensuelles des biomasses).

La biomasse moyenne annuelle de l'année 2009 est plus faible que les deux années précédentes (2007 et 2008), mais elle ne fait pas figure d'exception par rapport à la chronique 2005-2009. Il est intéressant d'observer la forte proportion de diatomées pour cette année 2009 par rapport à toute la chronique (seule l'année 2000 présente une proportion équivalente). On peut également remarquer qu'après 2005, les biomasses sont globalement plus faibles qu'avant 2005 sauf pour 2007.

## ii. Evolution de la diversité

Un indice de diversité annuelle a été calculé sur la chronique 1999-2009. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon (Weaver and Shannon (1949)) est calculé, puis une moyenne mensuelle est calculée, enfin la moyenne annuelle de ces moyennes mensuelles est calculée pour les années 1999 à 2009. Cet indice moyen est reporté à la figure 5 pour chaque année.

Détail du calcul de l'indice de diversité de Shannon :

$$H = - \sum \frac{n_i}{n} \ln \left( \frac{n_i}{n} \right)$$

H : indice de Shannon

N<sub>i</sub> : biomasse de l'espèce algale i

N : somme de la biomasse des espèces algales

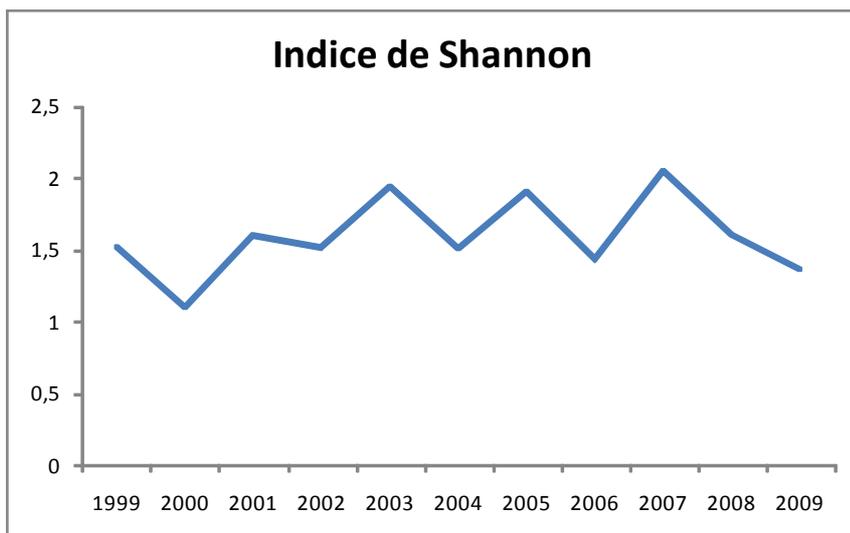


Figure 5 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon.

L'indice de diversité d'Aiguebelette est relativement stable, oscillant autour de 1.5.

La diversité du Lac d'Aiguebelette est plus faible que celles du Léman mais comparables à celles d'Annecy et du Bourget.

## iii. Evolution de l'indice de Brettum

Le niveau trophique des lacs peut-être évalué à partir d'indices basés sur la composition taxonomique et la biomasse phytoplanctonique. Une étude (Kaiblinger (2008); Anneville and Kaiblinger (2009); Kaiblinger *et al.* (2009)) a montré que c'est l'indice de Brettum (modifié par Kaiblinger *et al.* (2009)) qui était le plus adapté à évaluer le niveau trophique des grands lacs alpins. Cet indice donne pour 133 taxons leur préférence par rapport à une concentration en phosphore. Plus cet indice est élevé plus le niveau trophique sera faible. Les valeurs suivantes sont données par les auteurs :

Classe	Concentrations en TP	Niveau trophique
6	$\leq 5 \mu\text{g.L}^{-1}$	ultra-oligotrophe
5	5–8 $\mu\text{g.L}^{-1}$	oligotrophe
4	8–15 $\mu\text{g.L}^{-1}$	oligo-mesotrophe
3	15–30 $\mu\text{g.L}^{-1}$	méso/faiblement eutrophe
2	30–60 $\mu\text{g.L}^{-1}$	eutrophe
1	$>60 \mu\text{g.L}^{-1}$	hypertrophe

Pour chaque prélèvement, un indice est calculé, puis une moyenne mensuelle est calculée. Enfin un indice annuel est calculé sur les moyennes mensuelles. La figure 6 présente l'évolution de ces indices annuels de Brettum.

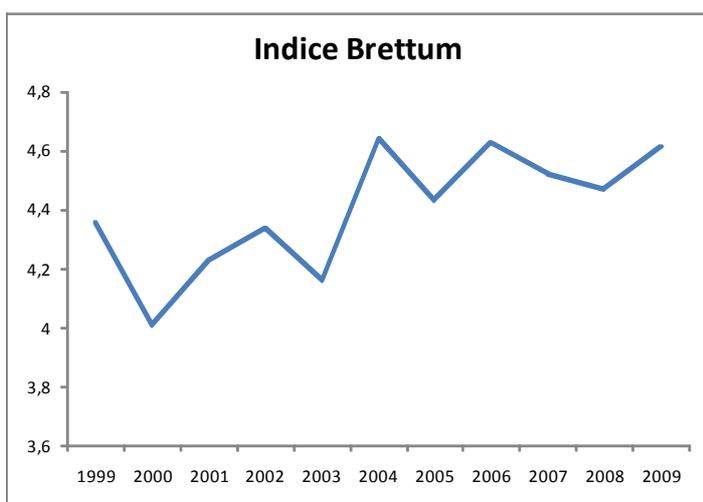


Figure 6 : Evolution de l'indice de Brettum

On observe une amélioration de la qualité du lac sur la chronique 1999-2009, même s'il faut souligner que l'évolution de l'indice reste modeste (environ 0.5 point d'écart en 10 années). Le lac est classé en oligo-mésotrophe.

#### 4 Conclusions

Pour résumer l'évolution saisonnière du lac pour l'année 2009, on peut retenir la présence de 4 espèces qui présentent une saisonnalité bien marquée. On observe également la présence d'une phase des eaux claires en juin qui fait la transition entre une communauté printanière dominée par une Diatomée et la communauté estivale dominée par des Chrysophycées.

Pour ce qui est de la dynamique interannuelle du lac, on observe une diminution progressive de la biomasse en Cryptophycées. Depuis 2005, les biomasses annuelles sont globalement plus faibles qu'avant 2005 (sauf pour 2007). Le dernier élément à souligner est la hausse progressive mais continue des indices de Brettum, représentative de l'amélioration de la qualité des eaux du lac.

## 5 Références

### Reference List

Afnor 2006 NF EN 15204. Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). *Afnor* 1-41.

Anneville, O. and Kaiblinger, K. Proposal for a phytoplankton lake index applicable to lakes of the Rhône-Alpes basin for the implementation of the European Water Framework Directive. Final report. Agence de l'Eau Rhone Méditerranée et Corse, 1-54. 2009. INRA Thonon, France.  
Ref Type: Report

Bourrelly, P. 1972. *Les Algues d'eau douce, Tome I: Les Algues vertes*. 1-572pp.

Bourrelly, P. 1981. *Les Algues d'eau douce, Tome II: Les Algues jaunes et brunes*. 1-517pp.

Bourrelly, P. 1985. *Les Algues d'eau douce, Tome III: Les Algues bleues et rouges*. 1-606pp.

Brettum, P. Algen als Indikatoren für die Gewässerqualität in norwegischen Binnenseen. 1-102. 1989. Norsk Institutt for vannforskning NIVA.  
Ref Type: Report

Druart, J. C. and Rimet, F. Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA. 1-200. 2008. Thonon les Bains.  
Ref Type: Report

Kaiblinger, C., Anneville, O., Tadonleke, R., Rimet, F., Druart, J. C., Guillard, J., and Dokulil, M. T. 2009 Central European water quality indices applied to long-term data from peri-alpine lakes: test and possible improvements. *Hydrobiologia* **633**: 67-74.

Kaiblinger, K. Water quality assessment in lakes with special focus on Phytoplankton indices used within the EU Water Framework Directive (WFD). Rapport I.L. 277/08;DEC0470, 1-45. 2008. INRA Thonon.  
Ref Type: Report

Padisak, J., Crossetti, L. O., and Naselli-Flores, L. 2009 Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* **621**: 1-19.

Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., and Melo, S. 2002 Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* **24**: 417-428.

Rimet, F., Druart, J. C., and Anneville, O. 2009 Exploring the dynamics of plankton diatom communities in Lake Geneva using emergent self-organizing maps (1974-2007). *Ecological Informatics* **4**: 99-110.

Weaver, W. and Shannon, C. E. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, Illinois University of Illinois Press. 1949.  
Ref Type: Report

Wolfram, G. and Dokulil, M. Leitfaden zur erhebung der biologischen qualitatselemente. Teil B2 - Phytoplankton. 1-50. 2007. Lebensministerium, Austria.  
Ref Type: Report

Wolfram, G., Dokulil, M., Pall, K. *et al.* Intercalibration Exercise, Technical Report + Annexes, Alpine GIG (Lakes). 2007. Vienna - Ispra.  
Ref Type: Report

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Biovolume (µm³/ml)	14/01/2009	09/02/2009	03/03/2009	16/03/2009	30/03/2009	07/04/2009	14/04/2009	04/05/2009	13/05/2009	02/06/2009	10/06/2009	15/06/2009	21/07/2009	28/07/2009	11/08/2009	31/08/2009	28/09/2009	20/10/2009	05/11/2009	17/11/2009	09/12/2009
2	Achnanthydium minutissimum						4434.144															
3	Anabaena flos aquae			22911.6888										11455.8444								
4	Ankyra judayi													859.1154	429.5577			429.5577				214.77885
5	Ankyra lanceolata	189.98265																				379.9653
6	Aphanizomenon flos aquae															14316.159						
7	Aphanocapsa delicatissima															261192.9606						
8	Aphanocapsa delicatissima colonie 10 µm																	34350.03	101332.5885	66982.5585	53242.5465	20610.018
9	Aphanocapsa holsatica																		2386.63425			
10	Aphanocapsa holsatica colonie 10 µm																1145.001	687.0006	38.1667	381.667		114.5001
11	Asterionella formosa	12799.215	18013.71	8532.81	3792.36	1896.18		1896.18	3792.36													
12	Aulacoseira islandica ssp. helvetica			37116.62955																		
13	Bitrichia chodatii									4295.577		6443.3655		4295.577	2147.7885	6443.3655	6443.3655					
14	Ceratium hirundinella		71598.84518																	1073.89425	1073.89425	
15	Chlamydomonas sp.																			71598.84518	143197.6904	286395.3807
16	Chlorella vulgaris		22.97295	260.3601	229.7295	612.612	1500.8994	612.612	428.8284	306.306	306.306	275.6754	459.459	336.9366	888.2874	1317.1158	1102.7016	581.9814	888.2874	536.0355	214.4142	11134.9524
17	Chlorophycées indéterminées petits		5732.298																			199.0989
18	Chlorophycées sp.																1616.1288					3232.2576
19	Choricystis minor											68.5542									171.3855	
20	Chroococcus minutus																	61097.8368	30548.9184	45823.3776	30548.9184	45823.3776
21	Chrysolokos planctonicus																					
22	Cryptomonas marsonii													8660.4375	2862.5025	5725.005						
23	Cryptomonas sp.	2495.117625	2495.117625										9980.4705	19960.941	9980.4705		19960.941	9980.4705	19960.941	29941.4115	4990.23525	14970.70575
24	Cyclostephanos dubius																					
25	Cyclotella comensis									46965.4614												
26	Cyclotella costei	80738.97975	19024.70213	155909.754	111364.11	363789.426	404622.933	1620347.801	2227282.2	3214710.642	1366066.416	1005989.127	1373490.69	502994.5635	339660.5355	154053.6855	185606.85	50113.8495	20416.7535	20416.7535	21344.78775	83523.0825
27	Cyclotella radiosa			5727.9222		11455.8444			91646.7552													
28	Cymbella excisa											4410.8064										
29	Desmarella brachycalyx																	463.8348		463.8348		231.9174
30	Dinobryon bavaricum					1099.7844		2199.5688														
31	Dinobryon cylindricum																					
32	Dinobryon divergens												11753.3988		5876.6994	11753.3988					2938.3497	
33	Dinobryon elegantissimum											29383.497	29383.497	1416284.555	881504.91	740464.1244	387862.1604	199807.7796	305588.3688	270328.1724	94027.1904	
34	Dinobryon sertularia var. protuberans											27064.323	5412.8646	21651.4584	37890.0522	32477.1876	5412.8646	5412.8646				
35	Dinobryon sociale var. americanum																					
36	Dinobryon sociale var. stipitatum													11753.3988	17630.0982	64643.6934	146917.485	135164.0862	17630.0982	5876.6994	2938.3497	
37	Diploneis sp.		7876.44																			
38	Elakatothrix gelatinosa		1832.7309	3665.4618				14661.8472	14661.8472													
39	Erkenia subaequicillata	2233.48125	3445.9425	3828.825	1403.9025	5615.61	2552.55	2552.55	1021.02	2042.04	2552.55		255.255	255.255	765.765	2807.805	4594.59	2552.55	4339.335	7019.5125	2042.04	4977.4725
40	Fragilaria capucina			3150.576																		
41	Fragilaria ulna var. angustissima				8751.6																	
42	Gymnodinium helveticum			22720.6122																		22720.6122
43	Gymnodinium lantzschii																90882.4488			11360.3061		
44	Kephyrion littorale						3126.616064	781.654016	4689.924096								3093.6906			773.42265		773.42265
45	Kephyrion rubri-claustri				2290.002																	
46	Kephyrion sp.		190.894275	763.5771		3054.3084	2290.7313	5345.0397		1527.1542		763.5771						763.5771	763.5771			763.5771
47	Kephyrion spirale					2137.3352		1282.40112														
48	Komvophoron sp.																					
49	Kystes Chrysophycées N°1						572.5005															
50	Kystes de chrysophycées (14µ)																					
51	Lagerheimia balatonica							31418.82744														
52	Lagerheimia genevensis																					
53	Mallomonas sp.						5727.9222						5727.9222	5727.9222			954.6537			5727.9222		
54	Microcystis aeruginosa (cellules isolées)																	2863.9611	954.6537			
55	Monoraphidium circinale																					
56	Navicula sp.																					
57	Nephrochlamys subsolitaria										4900.896											
58	Nitzschia acicularis																					
59	Nitzschia sp.																					
60	Ochromonas sp.	119.24055	476.9622	953.9244		3815.6976		476.9622	953.9244													
61	Oocystis lacustris	1037.7939				2075.5878	2075.5878	2075.5878	2075.5878													
62	Oocystis naegelii		15442.24682																			
63	Oocystis rhomboidea																					
64	Pediastrum tetras																					
65	Peridiniopsis cunningtonii																					
66	Peridinium inconspicuum																					
67	Peridinium sp.																					
68	Peridinium williei																					
69	Phacotus lendneri					3006.9039																
70	Planktonema lauterbornii																					
71	Pseudopedinella sp.																					
72	Rhodomonas minuta		962.31135			3849.2454																
73	Rhodomonas minuta var. nannoplantica	2585.3685	10729.27928	7239.0318	2585.3685	12409.7688	6204.8844	8790.2529														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Biovolume ( $\mu\text{m}^3/\text{ml}$ )	14/01/2009	09/02/2009	03/03/2009	16/03/2009	30/03/2009	07/04/2009	14/04/2009	04/05/2009	13/05/2009	02/06/2009	10/06/2009	15/06/2009	21/07/2009	28/07/2009	11/08/2009	31/08/2009	28/09/2009	20/10/2009	05/11/2009	17/11/2009	09/12/2009
82	Synechococcus sp.			15.26668																		
83	Synechocystis aquatilis																	47397.207	707.421			1414.842
84	Synechocystis parvula		0.97706752	109.4315622	104.5462246	48.853376	189.5510989	183.6886938	39.0827008	7.81654016	23.44962048			7.81654016	3.90827008	31.26616064	23.44962048	39.0827008	47.87630848	31.26616064	14.6560128	17.58721536
85	Tetrachlorella alternans													46190.9448	191362.4856	32993.532	52789.6512	85783.1832	29694.1788	9898.0596	9898.0596	
86	Tetraselmis cordiformis																		4124.1915			
87	Trachelomonas volvocina	2097.284475	2097.284475					8389.1379													4194.56895	4194.56895