



HAL
open science

Résumé du suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2019 et sur le long terme

Stéphan Jacquet, Sébastien Cachera, Laura Crepin, Cyrille Girel, Chloé Goulon, Jean Guillard, Valérie Hamelet, Jean-Christophe Hustache, Leslie Lainé, Pascal Perney, et al.

► **To cite this version:**

Stéphan Jacquet, Sébastien Cachera, Laura Crepin, Cyrille Girel, Chloé Goulon, et al.. Résumé du suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2019 et sur le long terme. Inrae. 2020. hal-04682620

HAL Id: hal-04682620

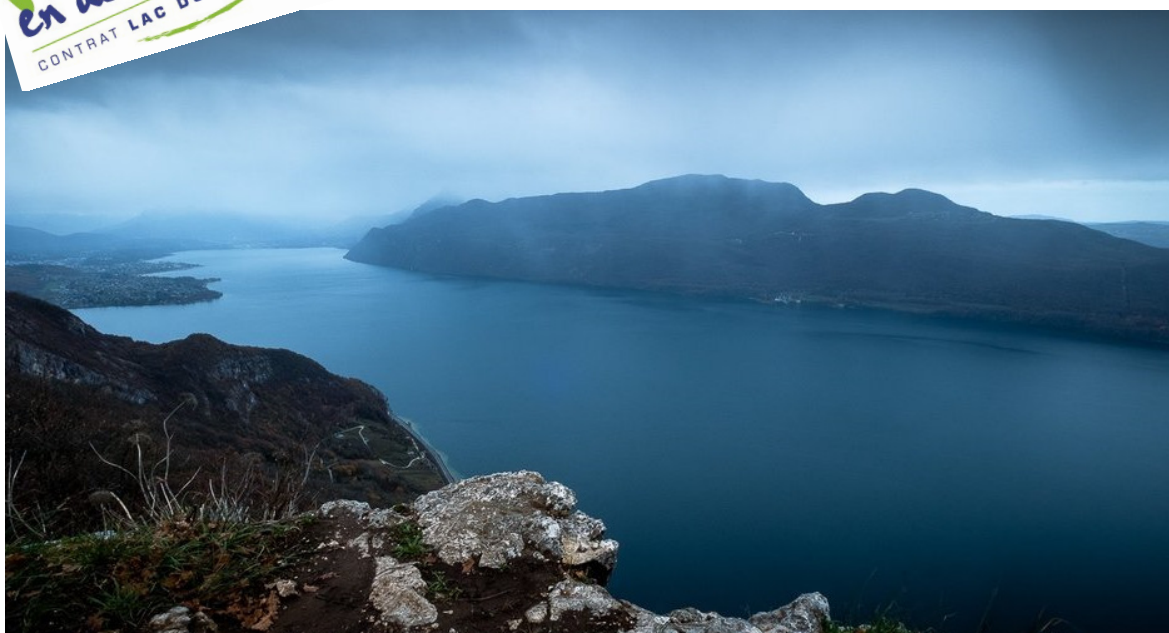
<https://hal.science/hal-04682620v1>

Submitted on 30 Aug 2024

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

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

Synthèse du SUIVI SCIENTIFIQUE DU LAC DU BOURGET ANNÉE 2019



Document validé par le comité scientifique (juin 2020)



Citation de ce document

Jacquet, S., S. Cachera, L. Crépin, C. Girel, C. Goulon, J. Guillard, V. Hamelet, J.C. Hustache, L. Lainé, P. Perney, P. Quéting, S. Rasconi, F. Rimet, V. Tran-Khac. 2020. Résumé du suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2019 et sur le long terme. *Synthèse INRAE-CISALB*, 21 pages.

RÉSUMÉ

2019 a été une nouvelle année remarquable sur de nombreux aspects.

L'année 2019 a enregistré, avec une **température de l'air moyenne annuelle de 12,65°C**, un écart de **+1,09°C (+12,2%)** par rapport à la moyenne 1974-2019. Après 2018, qui détient le record de la chronique (avec une température moyenne annuelle de 13,30°C), **2019 a été la seconde année la plus chaude enregistrée depuis 1974**, confirmant la tendance au réchauffement global (la température moyenne fluctuant entre 10 et 11°C dans les années 1970). Seuls les mois de janvier et mai ont présenté des températures légèrement inférieures à la moyenne (respectivement -5 et -10%). Le reste de l'année, les températures mensuelles ont toujours été supérieures à la moyenne avec un pic de +80% en décembre (le record étant de +162% en janvier en 2018).

Logiquement, la température moyenne de l'eau du lac du Bourget a aussi été relativement chaude. L'année **2019 est ainsi enregistrée comme la troisième année la plus chaude** mesurée depuis 1981, derrière 2018 et 1994 et au même rang que 2011. Avec une température moyenne annuelle de 15,25°C en surface à 2 m de profondeur (une valeur de 1°C inférieure à 2018 qui détient le record de la chronique), l'évolution interannuelle des températures moyennes montre toujours une **tendance nette au réchauffement depuis 1984**. Comparativement, **la tendance à l'augmentation de la température des eaux profondes est moins nette**. Si, entre 2013 et 2016, les conditions météorologiques n'avaient pas permis de refroidissement total de la couche profonde, entraînant une augmentation marquée de la température, depuis 2017, la température de la couche profonde est restée stable fluctuant aux alentours de 6,0°C (soit au final 0,5°C de plus que pour les années 1990-91).

Comme 2018, l'année **2019 a été caractérisée par deux périodes contrastées en termes de précipitations** : une fin d'année avec **un hiver très pluvieux et un printemps, été et automne plutôt sec (-31%)**. La répartition de ces précipitations a été très variable avec, d'une part, des précipitations excédentaires pendant les mois de février, octobre, novembre et décembre (respectivement +3, +26, +92 et +80% par rapport à la moyenne mensuelle sur la période 1974-2019), et d'autre part, les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août et septembre déficitaires (respectivement -22, -27, -27, -16, -9, -58, -33 et -56% par rapport à la moyenne mensuelle). Avec **1 234 mm** de pluie à Voglans, l'année **2019 se situe toutefois très légèrement au dessus de la moyenne** calculée sur la période 1974-2019.

En dépit des variations de précipitations et de la morphologie du bassin versant du lac du Bourget, le **débit moyen annuel de la Leysse**, avec $6,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a été globalement **égal au module interannuel** (-0,3% ; $6,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ; le débit moyen annuel du Sierroz, avec $2,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, étant quant à lui **égal à 2018 et donc toujours légèrement inférieur au module** (-7% ; $2,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Pour l'ensemble des paramètres analysés en 2019, le **Sierroz a encore présenté des concentrations en nutriments plus élevées que la Leysse**. Ainsi la concentration moyenne en Ptot a été de $60 \mu\text{g L}^{-1}$ pour la Leysse et de $234 \mu\text{g L}^{-1}$ pour le Sierroz (des valeurs dans la moyenne de celles observées depuis 10 ans). A noter, une concentration

moyenne annuelle de 35 $\mu\text{g L}^{-1}$ de PO_4 , soit **la plus haute concentration en orthophosphates enregistrée dans le Sierroz au cours des 12 dernières années.**

L'hiver 2019 a été **suffisamment froid** pour permettre une **homogénéisation complète de la température de l'eau du lac et de la concentration en oxygène dissous**. A la période du maximum d'homogénéisation des eaux (à la fin du mois de mars), seule une faible différence de température de 0,71°C entre la surface (**6,04°C**) et le fond (**6,75°C**) a été mesurée (un écart similaire à 2018), et un maximum de **9,1 $\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$** a été enregistré (comme en 2017 mais contre 10,14 $\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$ en 2018). Cette réoxygénation à 140 m a donc été moins efficace que certaines années récentes comme 2012, 2013 et 2018.

Les concentrations hivernales moyennes (sur la période incluant janvier, février et mars) en **orthophosphates (PO_4) et phosphore total (Ptot)**, avec respectivement des valeurs de **3 et 7 $\mu\text{gP L}^{-1}$** ont été **significativement inférieures en 2019** comparativement à 2018 (~ 6 et $\sim 10 \mu\text{gP L}^{-1}$, respectivement). **Ces concentrations sont aussi les plus basses de la chronique** et confirment que le seuil des 10 $\mu\text{gP L}^{-1}$ semble avoir été franchi depuis longtemps. L'augmentation modeste observée entre 2017 et 2018 avait été mise en parallèle avec des apports conséquents des principaux tributaires (**Leysse et Sierroz**) soit 56 T de phosphore total contre environ **30 T en 2019**, une valeur de nouveau comparable à 2017.

Avec une **concentration moyenne annuelle en chlorophylle *a* de 3 $\mu\text{g L}^{-1}$** , cet indicateur révèle donc une valeur très proche de celle de 2018 (2,9 $\mu\text{g L}^{-1}$) et la confirmation d'une **baisse significative** par rapport aux années précédentes, avec des valeurs depuis 2009 oscillant entre 3 et 4 $\mu\text{g L}^{-1}$ (moyenne de 3,5 $\mu\text{g L}^{-1}$). Cette valeur de concentration de la chlorophylle *a*, considérée uniquement pour la **période estivale**, a aussi été **faible en 2019** (2,6 $\mu\text{g L}^{-1}$), un peu supérieure à 2018 (2,2 $\mu\text{g L}^{-1}$) mais restant donc inférieure aux années précédentes ($>3 \mu\text{g L}^{-1}$). C'est la seconde année consécutive où ces deux valeurs sont donc égales ou **sous la barre des 3 $\mu\text{g L}^{-1}$** .

La **biomasse phytoplanctonique annuelle (soit 1 510 $\mu\text{g L}^{-1}$) a légèrement augmenté en 2019** comparativement à 2018 (1 251 $\mu\text{g L}^{-1}$) mais reste plus basse qu'en 2016 (2 785 $\mu\text{g L}^{-1}$) et 2017 (1 643 $\mu\text{g L}^{-1}$). Les **indices fonctionnels de Brettum (4,416) et IPLAC (0,735)**, supérieurs à ceux de 2018 et très comparables à 2017 (respectivement 4,25 et 0,74), sont donc parmi les plus hauts mesurés depuis le début de la chronique, signant une nouvelle fois un **bon état global de l'écosystème pélagique**. Depuis le début de la chronique, avec la baisse des concentrations en P en lien avec la réoligotrophisation du lac, on observe également un **enfouissement de la communauté des picocyanobactéries dans la colonne d'eau et une augmentation faible mais significative de leur biomasse et de leur contribution à l'ensemble de la biomasse phytoplanctonique totale**.

La **transparence moyenne annuelle a été de 7,2 m**, revenant à une valeur plus proche de celle de 2017 (6,8 m) que de 2018 qui avait été relativement faible (5,5 m). Elle a donc **augmenté**

significativement. Comme pour les années précédentes, le lac a été caractérisé par **l'absence d'une phase marquée des eaux claires** (la transparence fluctuant d'avril à juin dans une gamme étroite, entre 6 et 7 m), alors que le maximum de transparence a été enregistré en mars aux alentours de 10 m, comme en 2018.

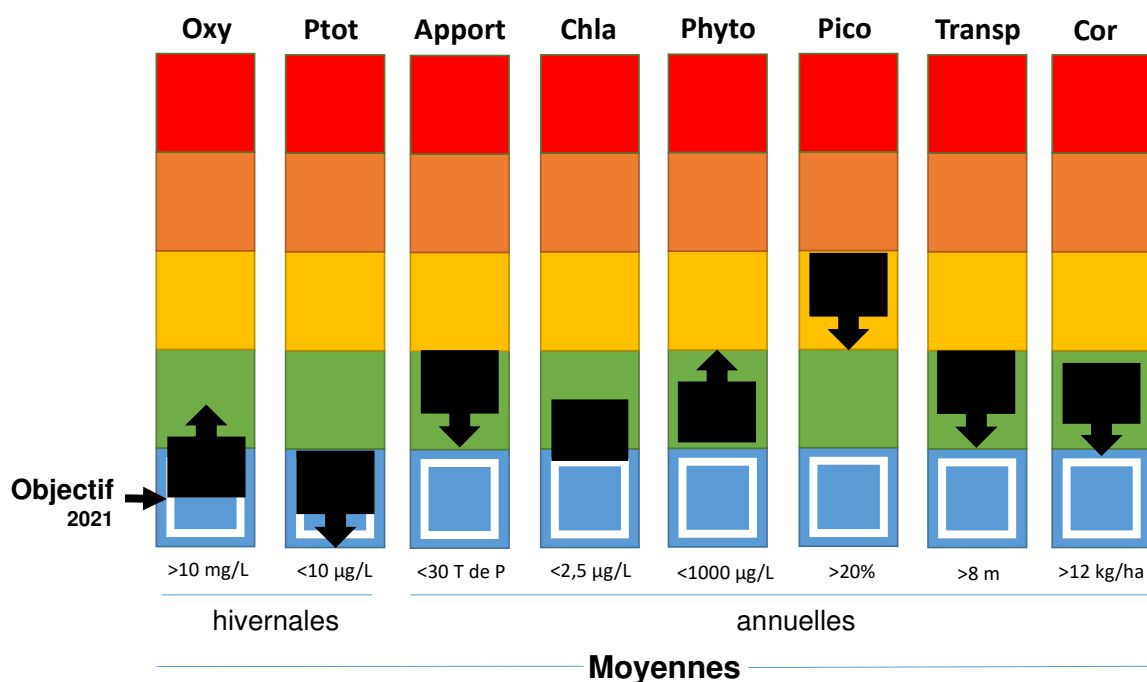
Si **la dynamique du zooplancton a reproduit globalement celle des années précédentes**, elle a été **remarquable en 2019** par les **abondances exceptionnelles observées en hiver**. Les groupes les plus abondants ont été les calanoïdes et les copépodes. L'analyse d'indices fonctionnels sur la période 2004-2019 a confirmé l'importance de la disponibilité des ressources nutritionnelles de bonne qualité (Diatomées et Chrysophycées) pour le maintien de l'efficacité trophique au sein du réseau pélagique. Toutefois, une compréhension plus approfondie des évolutions des dynamiques zooplanctoniques nécessiterait une intégration plus explicite de la prédation par les poissons, à des échelles de temps et d'espace pertinentes, sûrement aussi via de l'expérimentation ciblée.

La diversité piscicole du lac apparaît comme globalement stable, même si les espèces difficilement capturables par les filets comme la blennie fluviatile ou peu abondantes comme la vandoise, l'ablette et la bouvière n'ont pas été capturées en 2019. **Le fait majeur de 2019 est la hausse des rendements qui se poursuit pour les corégones** tandis qu'une hausse est également observée pour la perche, les indicateurs hydroacoustique et par pêche allant dans le même sens. Capturé pour la troisième année consécutive dans les pêches scientifiques, **le silure est maintenant considéré comme bien installé dans le lac du Bourget**. L'image du peuplement de poissons du lac du Bourget permet donc de **confirmer les tendances d'amélioration de la qualité des eaux** observées aux travers des autres indicateurs.

Au **niveau sanitaire**, concernant l'usage relatif à **l'alimentation en eau potable** issue du lac, **aucun dépassement de norme** n'a été constaté en 2019. Pour autant, des traces de pesticides ont encore été détectées à Mémard et à Tresserve, mais avec des concentrations cumulées ne dépassant toutefois pas la limite autorisée de 50 ng L⁻¹. Concernant les zones de baignade, 10 sites ont été suivis révélant *in fine* le classement de **8 plages en qualité excellente et 2 en qualité bonne** (i.e. Les Mottets au sud du lac et la plage municipale d'Aix-les-Bains) soit une légère dégradation par rapport à 2018. Comme à chaque fois, le déclassement a été lié à la détection de la bactérie *E. coli*, un déclassement *a priori* indépendant de la pluviométrie (1 seule date sur les 3 correspondant à un épisode pluvieux). La source des bactéries coliformes qui semblent récurrentes à la plage des Mottets reste à déterminer.

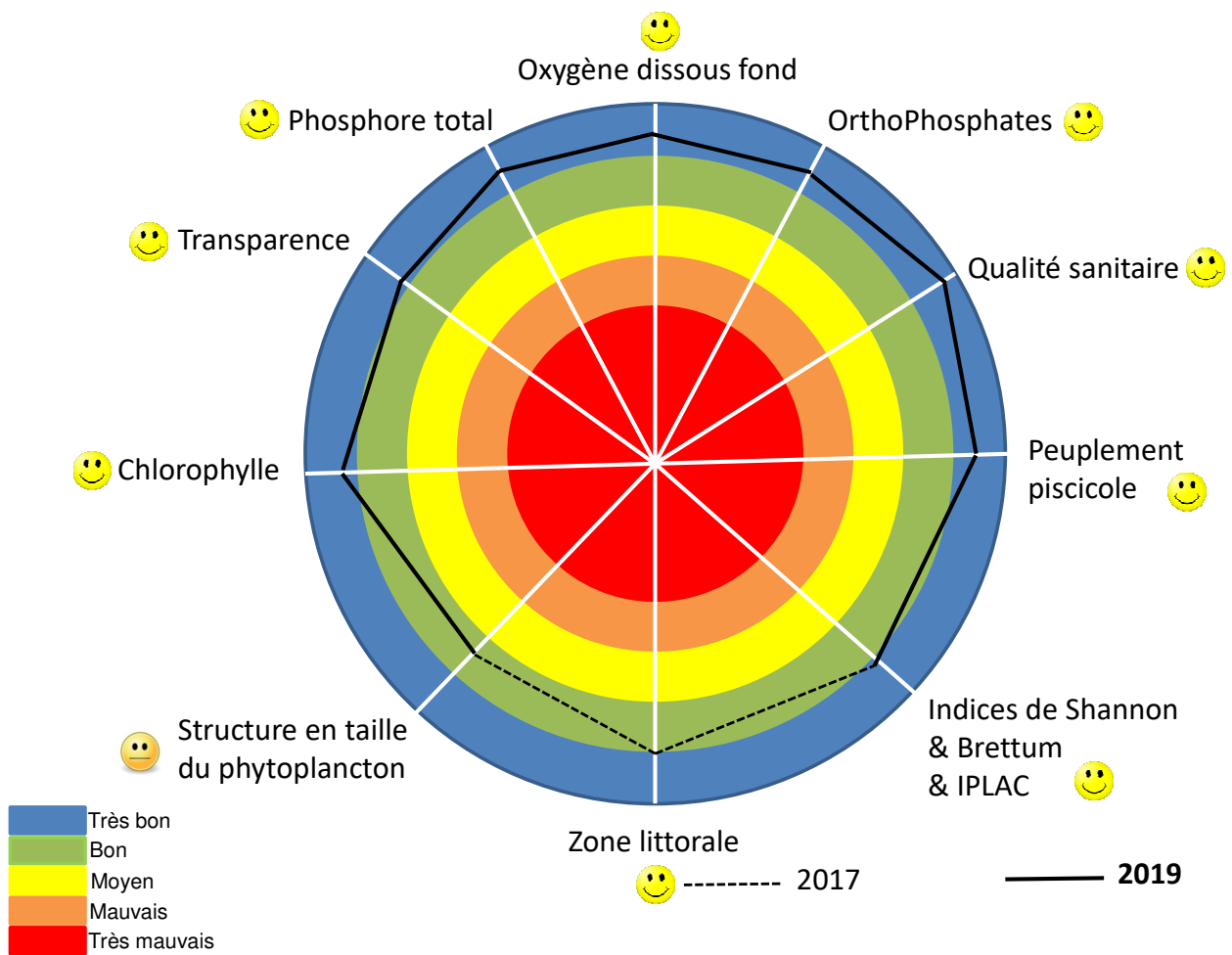
Le schéma ci-dessous tente de résumer **l'état et l'évolution du lac entre 2018 et 2019**. Le code couleur se lit du bleu (excellent) vers rouge (mauvais). Les chiffres proposés comme objectifs à atteindre pour 2020-2021 ont été validés par le conseil scientifique.

État (■) en 2019 et tendance (▸) depuis 2018 de l'état écologique du lac du Bourget



2019 ressemble fortement à 2018 et continue de s'inscrire dans la dynamique de réoligotrophisation générale du lac eu regard notamment de certains descripteurs comme les teneurs en Phosphore et chlorophylle *a*, la transparence des eaux et l'absence de phase d'eaux claires marquée, la biomasse et la structure phytoplanctonique, la biomasse relativement élevée du corégone et l'augmentation des rendements de pêche de cette espèce. L'examen 2019 du lac du Bourget confirme donc un (très) bon état écologique global de l'écosystème pélagique. Le lac est en passe de re-devenir oligotrophe sans toutefois y avoir encore basculé pleinement.

Schéma synoptique de l'état du lac proposé pour 2019 et critères OCDE



Trophic status	TP (median) (µg/l)	Chlorophyll a (median) (µg/l)	Chlorophyll a maxima (µg/l)	Secchi (median) (m)	Secchi minima (m)
Ultra-oligotrophe	<=4	<1	<2.5	>12	>6
Oligotrophe	<=10 7	<2.5	2.5-8 8,0	>6 6,7	>3 3,4
Mesotrophe	10-35	2.5-8 3,0	8-25	6-3	3-1.5
Eutrophe	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Hyper-eutrophe	>=100	>25	>75	<1.5	<0.7

CE QU'IL FAUT RETENIR POUR L'ANNÉE 2019

Avec une moyenne annuelle de 12,6°C, **l'année 2019 a encore été une année chaude** avec un écart de +1,1°C (+12,2%) par rapport à la normale (moyenne calculée sur la période 1974-2019). Seuls les mois de **janvier et mai ont présenté des températures légèrement inférieures à la moyenne** (-5 et -10%). **Le reste de l'année, les températures mensuelles ont toujours été supérieures à la moyenne** avec +80% en décembre (rappelant le record hivernal de janvier 2018 avec +162%).

		Moyenne 1974 - 2019	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Moyenne annuelle	°C	11,51	12,3	12	11,7	12,4	9,65	12,4	12,1	11,3	12,7	12,4	12,2	12,2	13,3	12,6
Ecart / moyenne interannuelle calculée depuis 1974	%		9,3	6,5	3,4	9,4	-1,4	9,9	4,8	0	11,4	8,7	7	6,6	15,9	9,9

A 2 m de profondeur, les températures pour les périodes de janvier à mi-mars et d'octobre à décembre ont été comparables à celles de 2018. Les températures pour les mois d'avril à juin et d'août à septembre ont, par contre, été plus faibles qu'en 2018. Le mois de juillet a été plus chaud que celui de l'année 2018. Le maximum a été mesuré le 8 août 2019 avec 25,1°C, soit toutefois 2,2°C de moins que le maximum enregistré en 2018 à la même période. *In fine*, **la moyenne annuelle de la température de l'année 2019 à 2 m de profondeur a été de 15,25°C, soit 1°C de moins qu'en 2018, mais ne remettant pas en cause l'évolution interannuelle des températures moyennes à la hausse et donc la tendance au réchauffement des eaux de surface observée depuis 1984** (~13°C en 1984 vs >15°C en 2019). Comparativement, les **températures de la couche profonde n'ont pas (encore) révélé de réchauffement significatif**. En effet, les conditions météorologiques n'ont pas permis de refroidissement important depuis 2013 et une augmentation plus ou moins régulière de la température à 140 m a même été enregistrée de 2013 à 2016. Depuis 2017, la température de la couche profonde fluctue aux alentours de 6°C et semble donc, certes, légèrement supérieure à celle des années 1990, plus proche de 5°C.

Avec 1 234 mm de pluie à Voglans, l'année **2019** a été **légèrement au dessus de la moyenne** sur la période 1974-2018. Toutefois, la répartition de ces précipitations dans l'année a été très variable avec des mois de février, octobre, novembre et décembre excédentaires (respectivement +3, +26, +92 et +80% par rapport à la moyenne mensuelle) et des mois de janvier, mars, avril, mai, juin, juillet, août et septembre déficitaires (respectivement -22, -27, -27, -16, -9, -58, -33 et -56% par rapport à la moyenne mensuelle). L'année **2019** a donc été caractérisée par **deux périodes contrastées** (exactement comme 2018) : une fin d'année avec un **hiver pluvieux** (+92% en novembre et +80% en décembre) et un **printemps, été et automne plutôt secs** (-31%) avec des déficits de -58, -33 et -56% pour les mois de juillet, août et septembre par rapport à la moyenne mensuelle interannuelle 1974-2019.

		Moyenne 1974 - 2019	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Cumul annuel	mm	1 242	1004	1238	1214	929	1031	1079	1385	1467	1231	1332	1181	1094	1150	1234
Ecart / moyenne interannuelle calculée depuis 1974	%		-23	-5	-7	-29	-21	-17	7	13	-5	2	-9	-12	-7,5	-0,7

L'hydrologie de la **Leysse** en **2019** a été marquée par un **débit moyen** globalement équivalent au **module interannuel** (-0,3%). Les débits instantanés ont été **inférieurs au module durant 240 jours**. De plus, les débits instantanés ont été inférieurs au Q_{mna5} durant 38 jours et au débit minimum biologique pendant 28 jours dont 5 jours consécutifs mi-août et 11 jours consécutifs en septembre.

		Source DREAL sur 52 ans		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
		Q_{MNA5}	Module											
Moyenne annuelle	m ³ /s	0,69	6,24	3,5	5,25	3,78	6,55	9,17	6,32	6,30	6,77	4,29	7,25	6,22
Q < module inter annuel	jours			307	287	311	277	177	243	223	223	304	233	240
Q < Q_{MNA5} inter annuel	jours			51	15	0	0	0	0	0	9	48	70	38

Le **débit moyen annuel en 2019 du Sierroz a été** significativement inférieur au module (-7%). Les débits instantanés ont été **inférieurs au module durant 272 jours** (74% du temps) et inférieurs au Q_{MNA5} durant 28 jours (7,6% du temps). Enfin, le débit minimum biologique a été dépassé pendant 49 jours (plus de 26 jours consécutifs de fin août à fin septembre).

		Source DREAL sur 52 ans		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
		Q_{mna5}	Module										
Moyenne annuelle	m ³ /s	0,22	2,42	1,9	1,3	2,6	3,3	2,8	1,89	2,69	1,34	2,25	2,25
Q < module inter annuel	jours			275	319	256	135	232	183	227	308	192	272
Q < Q_{MNA5} inter annuel	jours			15	1,5	25	0	26	20	13	16	73	28

Le Phosphore présent dans le lac a 3 origines potentielles : les apports des rivières du bassin versant (ruissellement urbain, érosion des sols, stock sédimentaire), les rejets directs (réseaux d'eaux pluviales, déversoirs d'orage d'Aix-les-Bains) et les apports internes (processus complexe de relargage par les sédiments du fond du lac). Avant 2004 et la mise en place de deux stations de prélèvement en continu, l'une sur la Leysse et l'autre sur le Sierroz (les principaux tributaires du lac), les apports en nutriments au lac faisaient l'objet d'une estimation. Depuis cette date, ces apports sont donc quantifiés par des analyses par temps sec et de temps de pluie avec une fréquence qui a été recentrée lors des épisodes de pluie ces dernières années. Les sources de nutriments en provenance des déversoirs d'orage (DO) des systèmes

d'assainissement de Grand Chambéry et Grand Lac font également l'objet de suivis réglementaires. **Depuis 2004, les apports en Ptot au lac (mesurés sur eau brute) ont varié entre 13 et 57 tonnes/an** contre ~100 T/an dans les années 1990 et ~300 T/an dans les années 1970. Le fait que les apports en MES présentent des variations similaires depuis 2004, abonde dans le sens d'une prédominance du P particulière dans les apports. **Le bilan des principaux apports au lac en nutriments (en tonnes de P et N)** est résumé dans le tableau ci-dessous.

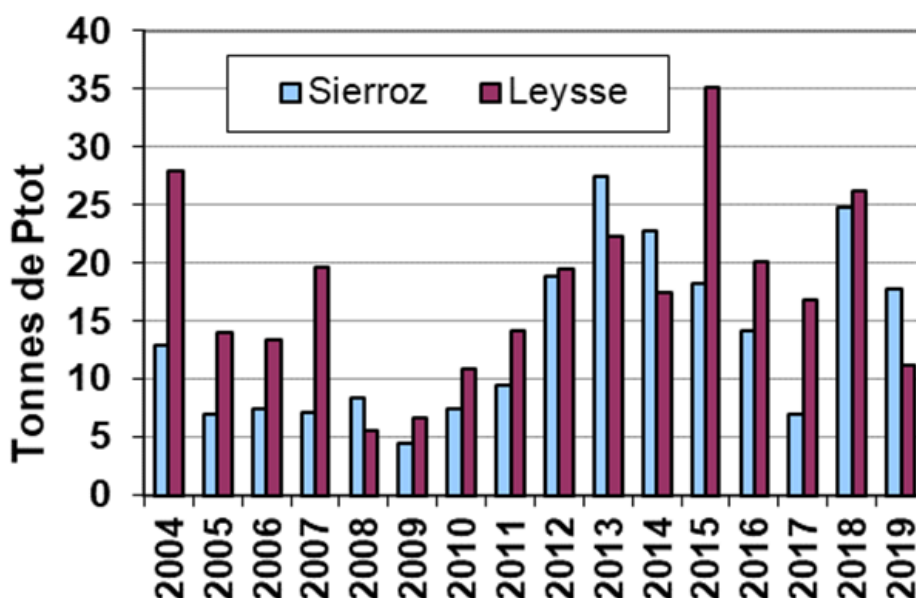
Apports en Tonnes	1974	1995-96	2008	2009	2011	2013	2015	2017	2018	2019
Pt Rivière +DO Aix	300	94	14 +4,2	11 +2,7	24 +2,8	50 +2,8	53,4 +3,7	26,3 +2,4	51 +5,1	28,8 +2,4
PO ₄	140	18	3	1,82	1,5	4	2,5	2,3	3,7	3,4
NO ₃	1 500	450	290	214	181	409	275	202	302	324
Nt (NO ₃ +NKT)			516	334	360	704	510	378	544	538
MES			122 938	37 468	44 842	175 250	134 873	84 951	131 457	85 356

Après des années de faibles apports en nutriments entre 2007 et 2011, les années 2012 à 2015 ont été marquées par une hausse. La baisse amorcée à nouveau en 2017 a été confirmée en 2019 malgré une forte hausse en 2018. **Avec un apport global estimé à 31,2 T de Phosphore total, l'année 2019 présente une valeur proche de la barre des 30 T**, limite théorique édictée par le comité scientifique pour permettre une réologotrophisation durable. Les apports étant principalement constitués de P particulière peu ou pas biodisponible, cette référence reste symbolique et peut encore faire l'objet d'une réflexion. Le canal de Savières en apportant ~1 T de Ptot au lac a été responsable de +3% des apports totaux. Il a, néanmoins, exporté un peu plus de 3 T de Ptot, en 2019, soit ~10% des apports totaux. Etant donné la dynamique des échanges entre le lac et le canal de Savières, il est probable que le P exporté soit majoritairement sous forme dissoute potentiellement plus biodisponible. Cette différence majeure n'a pas fait l'objet à ce jour d'une évaluation quant aux conséquences sur l'eutrophisation.

Le volume total transité en 2019 par la Leysse et le Sierroz a été de 266,5 Mm³. Le temps de pluie et plus particulièrement les crues ont encore joué un rôle déterminant sur les apports. En effet, le temps de pluie, qui ne représente que 18% de l'année, a été, à l'origine de 49% des apports de Ntot et 80% du Ptot - les 10 principales crues représentant à elles seules 88% des apports de Ptot. Pour la **Leysse**, les **apports en Ptot de temps de pluie** ont été de 9,76 T, soit, du fait de crues moins intenses, une **baisse significative** par rapport aux 26,2 T de 2018. Les 10 principales crues, principalement en période hivernale et automnale, ont représenté 55,7% des apports liés aux épisodes de pluie. Les apports de temps de pluie du **Sierroz** se sont élevés à 13,6 T de Ptot en 2019 (contre 21,5 T en 2018.) et ont été plus étalés tout au long de l'année. Comme pour la Leysse, les flux de Ptot générés par les 10 principales crues ont baissé passant de 18,9 T en 2018 à 12,5 T en 2019, sans doute du fait de crues moins intenses et plus réparties sur l'ensemble de l'année (la période de mai à juillet étant moins favorable aux phénomènes d'érosion des sols). Pour l'année 2019, les rejets par le déversoir des Biatres ont été évalués à 2,42 T (contre 5,13 T en 2018) soit 7,5% des apports totaux en Ptot au lac. **En résumé, le temps de pluie a**

représenté respectivement 71% et 51% des apports annuels de Ptot et PO₄ pour seulement 18% du temps.

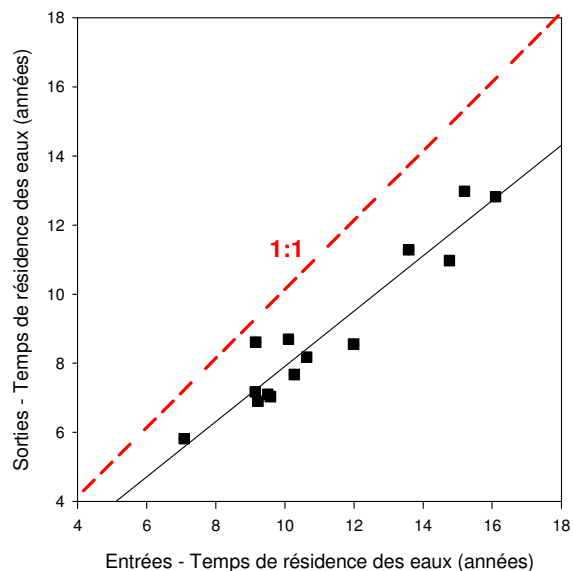
Pour l'ensemble des paramètres analysés et toutes périodes confondues, **le Sierroz a présenté des concentrations moyennes pondérées plus élevées que la Leysse**. Si les concentrations en PO₄ et NO₃ sont restées, pour la Leysse, dans les valeurs basses du suivi, la valeur de 35 µg L⁻¹ de PO₄, mesurée dans le Sierroz, représente la plus forte concentration de ces 12 dernières années, les concentrations en NO₃ restant dans la moyenne haute (1,78 mg L⁻¹). Avec 24 µg L⁻¹, les concentrations en NH₄, dans la Leysse, ont renoué avec les niveaux bas de 2014, alors que les 124 µg L⁻¹ mesurés dans le Sierroz constituent un maximum interannuel. Enfin, la concentration moyenne pondérée par le volume en MES mesurée dans la Leysse en 2019 a été dans la moyenne des valeurs observées depuis 12 ans. Elle est, en revanche, parmi les valeurs élevées dans le Sierroz, en raison peut être du chantier d'installation de palplanches en amont de la station de prélèvement.



Depuis 2006, l'estimation du **temps de résidence des eaux du lac du Bourget** peut être donnée de manière assez précise. Le tableau ci-dessous résume les valeurs données en années de ce temps de résidence suivant que le calcul est fait en tenant compte des entrées (tributaires, précipitations) ou des sorties (exutoire, évaporation, pompages) du lac (sources CISALB, CNR). On constate que ce temps de résidence peut fluctuer de manière très importante d'une année sur l'autre, notamment avec la quantité des apports dont l'importance varie fortement d'une année à l'autre. La relation entre « entrées » et « sorties » est une relation linéaire hautement significative ($r=0,96$, $n=14$) mais l'estimation effectuée à partir des « entrées » est toujours supérieure à celle des « sorties », de 0,5 an (minimum observé en 2007) à 3,8 ans (maximum observé en 2017) avec une moyenne de 2,3 ans, ce qui suggère une sur-estimation des entrées et/ou une sous-estimation des sorties. **En 2019, la différence entre « entrée » et « sortie » est inférieure à la moyenne de la chronique (soit 1,4 an, différence entre 10,1 ans et 8,7 ans)**. Dans le calcul du temps de résidence, les valeurs les plus incertaines sont celles de l'évapo-transpiration (qui intervient dans le calcul des sorties) mais aussi des précipitations (qui intervient dans le calcul des entrées) sur le lac qui peuvent être hétérogènes d'un endroit à un autre. L'évapo-transpiration est en effet un chiffre

global à l'échelle de la Savoie alors que les précipitations correspondent au cumul annuel mesuré à la Station météo France de Voglans, située au sud du lac. Les volumes entrant et sortant sont comparativement relativement bien connus. Au final, et en dépit d'incertitudes sur certains paramètres, il est possible d'estimer que **le temps moyen de résidence des eaux dans le lac du Bourget varie entre 9 et 11 ans**, l'année 2019 se situant dans la moyenne basse.

Année	Entrée	Sortie	Différence
2006	13,6	11,3	2,3
2007	9,1	8,6	0,5
2008	10,3	7,7	2,6
2009	16,1	12,8	3,3
2010	12,0	8,6	3,4
2011	15,2	13,0	2,2
2012	9,2	6,9	2,3
2013	7,1	5,8	1,3
2014	9,6	7,0	2,5
2015	10,6	8,2	2,4
2016	9,1	7,2	2,0
2017	14,8	11,0	3,7
2018	9,5	7,1	2,4
2019	10,1	8,7	1,4
<i>minimum</i>	7,1	5,8	0,5
moyenne	11,2	8,9	2,3
<i>maximum</i>	16,1	13,0	3,7



Depuis 1981, les valeurs de transparence indiquent une **augmentation de la transparence annuelle moyenne** (qui est passée de 3,6 m en 1982 à plus de 8 m en 2015) et estivale (qui est passée de 2,9 m en 1981 à 7,5 m en 2010) indiquant sur le long terme une nette amélioration de la qualité des eaux. En 2019, les valeurs de **transparences moyennes annuelle et estivale ont été respectivement de 6,7 m et 5,1 m**. La valeur moyenne annuelle rappelait donc la valeur de 2017 (6,8 m), l'année 2018 ayant été caractérisée par une valeur notablement faible (5,5 m). Comme pour les dernières années, **il n'y a pas eu de phase marquée des eaux claires** (un signe de retour à l'oligotrophie ?).

L'objectif de la DCE à l'horizon 2021 est que la concentration en P-PO₄ soit inférieure ou égale à 10 µg L⁻¹. Cette valeur a été atteinte pour la première fois en 2011 (avec 8 µg L⁻¹) et les années 2012 (avec 10 µg L⁻¹), 2013-2014 (avec 8 µg L⁻¹) et 2015 (6 µg L⁻¹) l'ont confirmé. Bien que plus élevé en 2016 avec 7-8 µg L⁻¹ le caractère oligo-mésotrophe voir même oligotrophe du lac du Bourget a été confirmé en 2017 avec une concentration moyenne hivernale de PO₄ record <5 µg L⁻¹. Pour le phosphore total, la concentration moyenne hivernale avait été de 9 µg L⁻¹ (vs 12 µg L⁻¹ en 2016), soit la valeur la plus basse enregistrée sur la chronique. En 2018, ces valeurs étaient un peu reparties à la hausse avec 6 et 10 µgP L⁻¹ pour le PO₄ et le Ptot, respectivement, sûrement à mettre en lien avec les forts apports enregistrés cette année là. **2019 marque un nouveau record avec les concentrations les plus basses jamais enregistrées au point B, soit 3 et 7 µg L⁻¹ pour le PO₄ et le Ptot**, respectivement. La barre symbolique des 10 µgP L⁻¹ semble être désormais totalement franchie.

2019 est la seconde année (après 2018) où la **concentration moyenne annuelle en chlorophylle *a*** sur la couche d'eau supérieure 0-18 m a été **inférieure ou égale à 3 µg L⁻¹**, soit en l'occurrence 2,95 et 2,9 µg L⁻¹; les années précédentes étant généralement aux alentours de 3,3 µg L⁻¹. La distribution interannuelle des concentrations moyennes de chlorophylle *a* est assez hétérogène, mais la tendance à la baisse depuis le démarrage de la chronique à la fin des années 1980, reste hautement significative, étant passée de ~8 µg L⁻¹ en 1984 à ~3-4 µg L⁻¹ depuis 2010 (année qui a vu « disparaître » la cyanobactérie filamenteuse toxique *P. rubescens*). **La valeur estivale a aussi été parmi les plus basses enregistrées** depuis le début de la chronique, avec 2,7 µg L⁻¹ (le record étant 2018 avec 2,2 µg L⁻¹).

Entre 2016 et 2017, la **biomasse phytoplanctonique** avait été réduite de presque moitié, passant de 2 785 à 1 643 µg L⁻¹. Cette valeur qui avait encore baissé en 2018 avec 1 251 µg L⁻¹ est remontée un petit peu en **2019 avec 1 510 µg L⁻¹**. En 2019, la structure en taille du phytoplancton a révélé des proportions très comparables à 2018 (~34% pour le microphytoplancton, contre ~58% pour le nanophytoplancton et un peu plus de 8% pour le picophytoplancton [e.g. les picocyanobactéries seulement]). L'évolution observée des différentes espèces dominantes rend l'interprétation difficile car celles-ci sont typiques de milieux de qualité différente, allant de l'oligotrophie (avec des espèces comme *Dinobryon divergens*, *D. sp*) à méso-eutrophe (comme la diatomée *Fragilaria crotonensis*). Toutefois, la confirmation de la forte baisse de la part du groupe microphytoplanctonique en 2019, après 2018, est peut-être le signe d'une modification importante en cours dans la structure du phytoplancton qui répond à la réoligotrophisation du lac du Bourget. L'analyse de la dynamique des groupes fonctionnels confirme **l'amélioration générale du niveau trophique du lac sur le long terme**, avec une proportion des taxons appartenant aux groupes fonctionnels indicateurs de milieux oligotrophes depuis 2009 qui reste relativement élevée. D'ailleurs, les **indices de Brettum (4,4) et l'IPLac (0,735) confirment cette évolution positive** en étant parmi les plus élevés de la chronique.

Les **picocyanobactéries** constituent un compartiment biologique fortement dynamique pouvant atteindre de fortes concentrations. Depuis le début de la chronique, on observe une **augmentation faible mais significative de la biomasse de ce compartiment et de sa contribution à l'ensemble de la biomasse phytoplanctonique**. Ceci continue de suggérer le caractère bio-indicateur de ce compartiment en lien avec la réoligotrophisation du lac du Bourget et la relation négative avec la ressource phosphorée mais aussi une réponse à l'augmentation des températures des eaux de surface au cours de la dernière décennie.

Si **la dynamique du zooplancton** a reproduit globalement celle des années précédentes, elle **a été remarquable en 2019** par les **abondances exceptionnelles observées en hiver** (janvier et décembre). Les groupes les plus abondants ont été les calanoïdes et les copépodes. Les calanoïdes ont montré une abondance très élevée en janvier et en décembre, alors que les copépodes ont été caractérisés en décembre par une abondance plus faible, notamment dûe au manque de développement des nauplii. Bien que l'abondance phytoplanctonique ait été encore faible en hiver, la communauté algale a été principalement composée de *Cyclotella costei*, une petite diatomée très riche en nutriments essentiels pour la croissance des organismes zooplanctoniques. L'analyse des **indices fonctionnels** sur la période 2004-2019

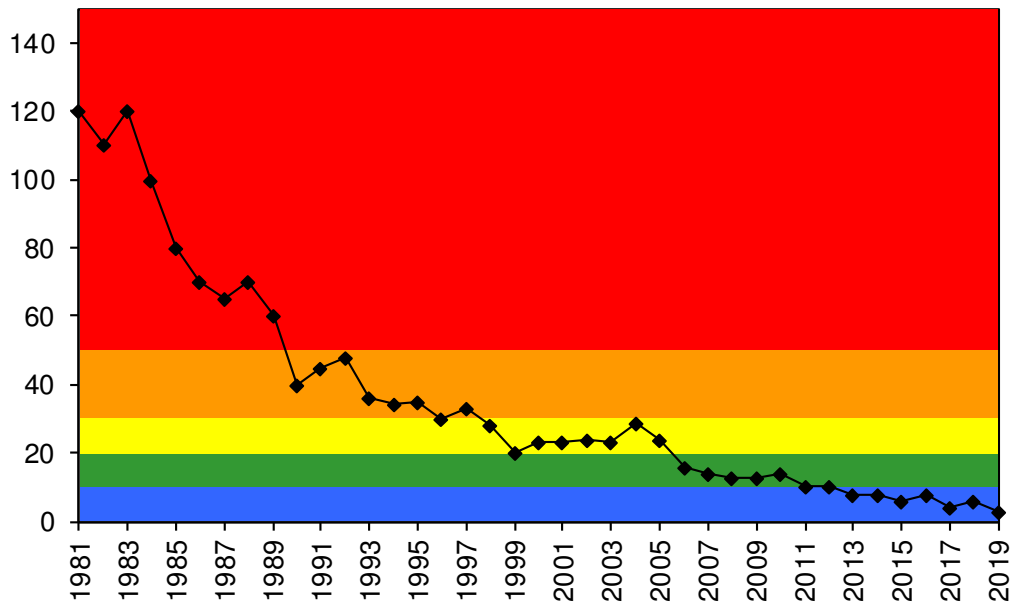
a **confirmé l'importance de la disponibilité des ressources nutritionnelles de bonne qualité (Diatomées et Chrysophycées)** pour le maintien de l'efficiencia trophique au sein du réseau pélagique. Une compréhension plus approfondie des évolutions des dynamiques zooplanctoniques nécessitera une intégration plus explicite de la prédation par les poissons, en mettant en place une approche dédiée, surement expérimentale.

La diversité piscicole du lac apparaît comme globalement stable, même si les espèces difficilement capturables par les filets comme la blennie fluviatile ou peu abondante comme la vandoise, l'ablette et la bouvière n'ont pas été capturées en 2019. **Le rendement de pêche numérique globale est en hausse** par rapport à 2017 et 2018 (revenant à un niveau proche de celui de 2016), bien que la tendance reste à la baisse depuis le début du suivi. **Le fait majeur de 2019 est la poursuite de la hausse de la population de corégones (lavarets)**, espèce indicatrice des milieux oligotrophes. L'augmentation déjà constatée en 2018 s'est donc poursuivie, avec, en 2019, des niveaux de densités proches de ceux de 2014. Les cibles détectées ont été de petites tailles et les pêches scientifiques ont attesté d'une forte présence de juvéniles avec les rendements numériques les plus importants depuis le début du suivi. **La population de perche a été à un niveau moyennement élevé**, en raison d'un bon succès de la reproduction et du recrutement larvaire. Capturé pour la troisième année consécutive dans les pêches scientifiques, **le silure peut maintenant être considéré comme bien installé dans le lac du Bourget**. Une population de **gardons** a été détectée à un **niveau très élevé** en 2019 avec la présence de gros spécimens, alors que **le sandre n'a pas été pêché**, comme en 2013, la réoligotrophisation du lac ne favorisant pas le développement de cette espèce sélective de plans d'eau plus chauds, à forte charge trophique et à la transparence faible. L'année 2019 a aussi révélé que **le nombre de brochets capturés est relativement stable** sur la série. Enfin, **l'omble chevalier**, seulement autorisé à la pêche amateur, semble se maintenir à un **niveau satisfaisant**.

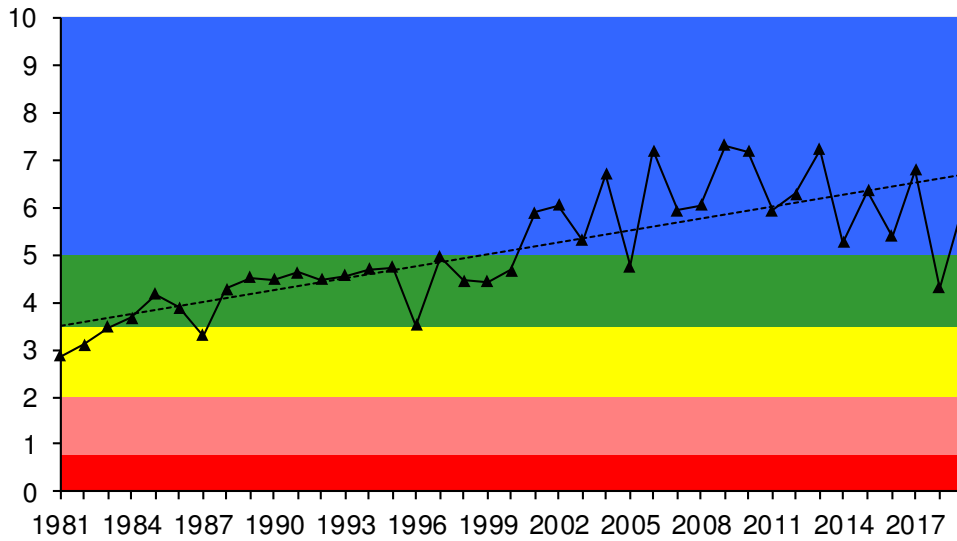
Enfin, au niveau sanitaire, concernant l'usage relatif à **l'alimentation en eau potable** issue du lac, **aucun dépassement de norme n'a été constaté en 2019**. Pour autant, des traces de pesticides ont encore été détectées à Mémard et à Tresserve, leurs concentrations cumulées ne dépassant toutefois pas la limite autorisée de 50 ng.L⁻¹. Concernant les zones de baignade, 10 sites ont été suivis révélant *in fine* le classement de **8 plages en qualité excellente et 2 en qualité bonne** (i.e. Les Mottets au sud du lac et la plage municipale d'Aix-les-Bains) soit une légère dégradation par rapport à 2018. A chaque fois le déclassement a été lié à la détection de la bactérie *E. coli*, et ce, de manière indépendante de la pluviométrie, suggérant une « pollution » locale dont la source reste à déterminer.

oo

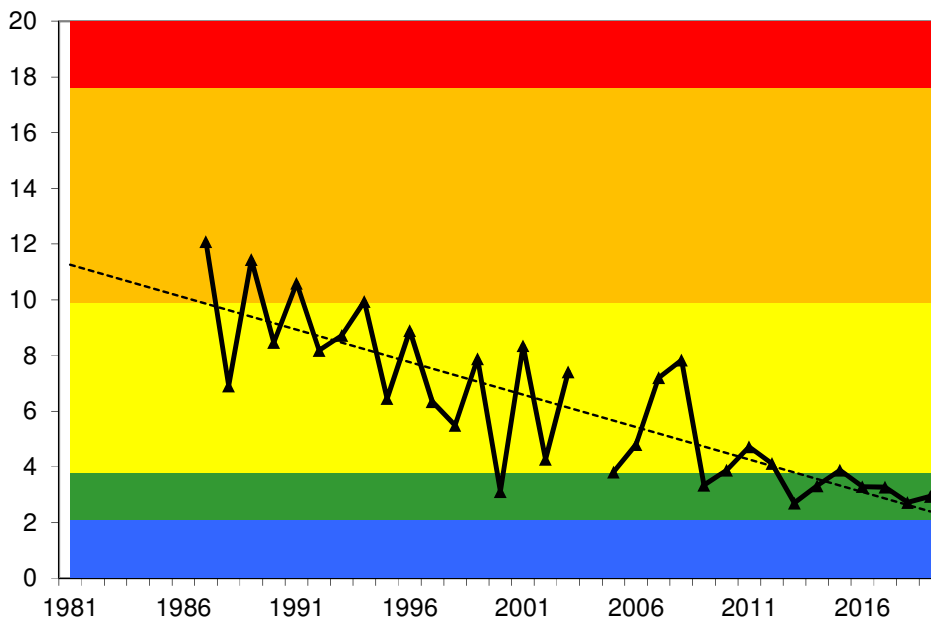
Concentration hivernale moyenne du PO₄ en µgP L⁻¹



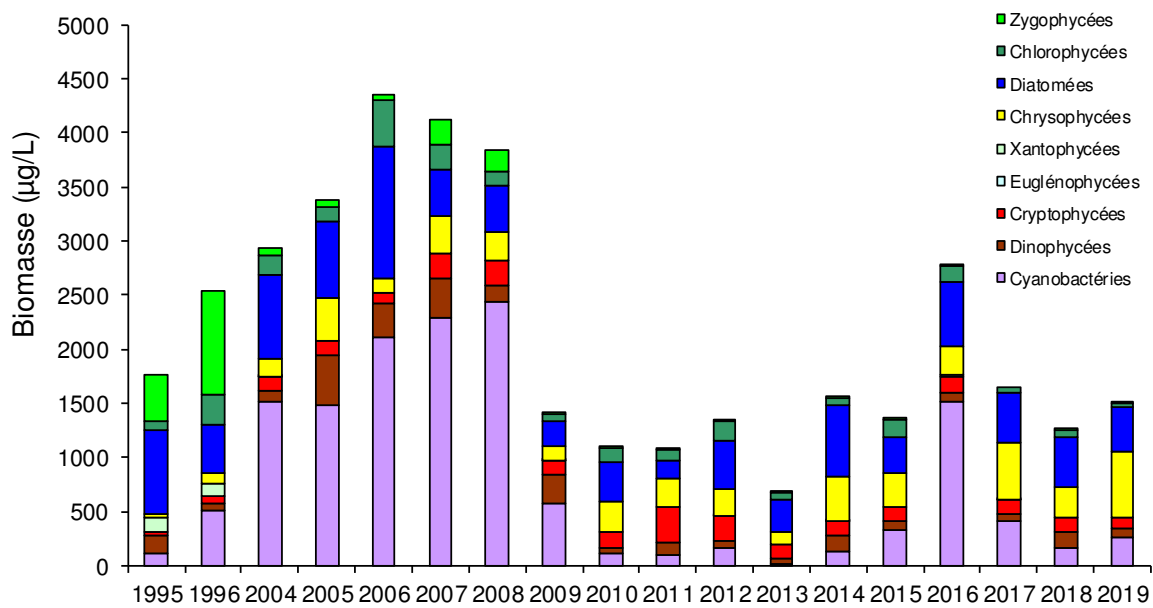
Transparence estivale moyenne en mètres



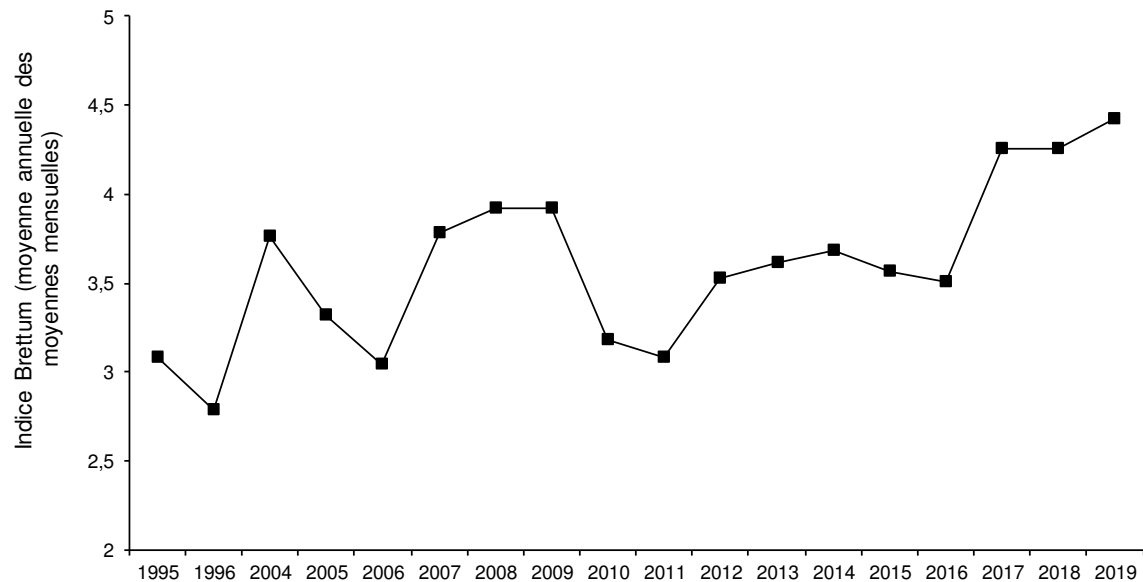
Concentration estivale moyenne de la chlorophylle *a* en $\mu\text{g L}^{-1}$



Biomasse annuelle moyenne du phytoplancton en $\mu\text{g L}^{-1}$



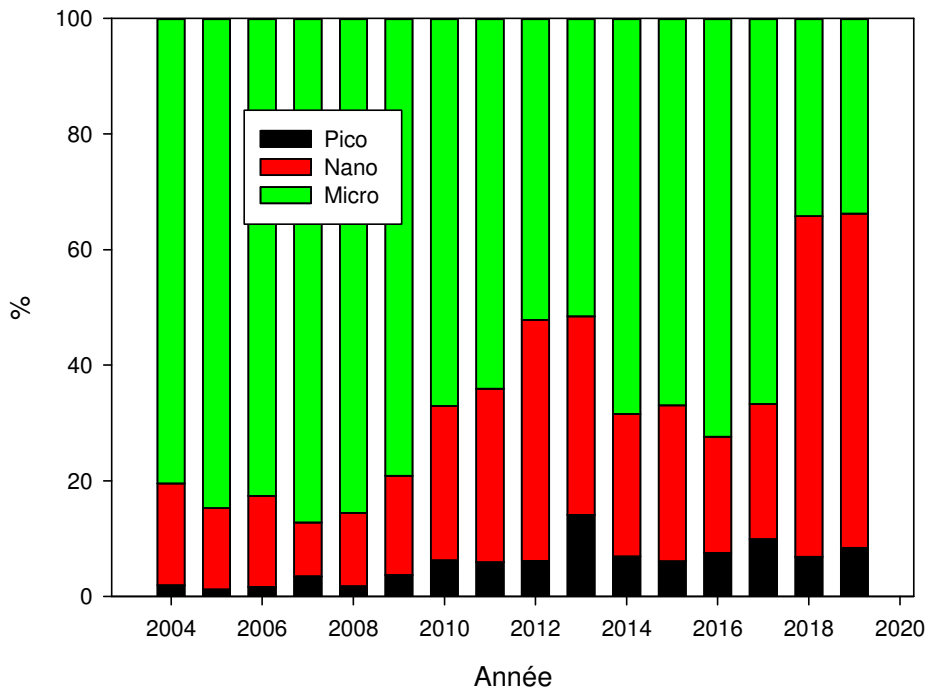
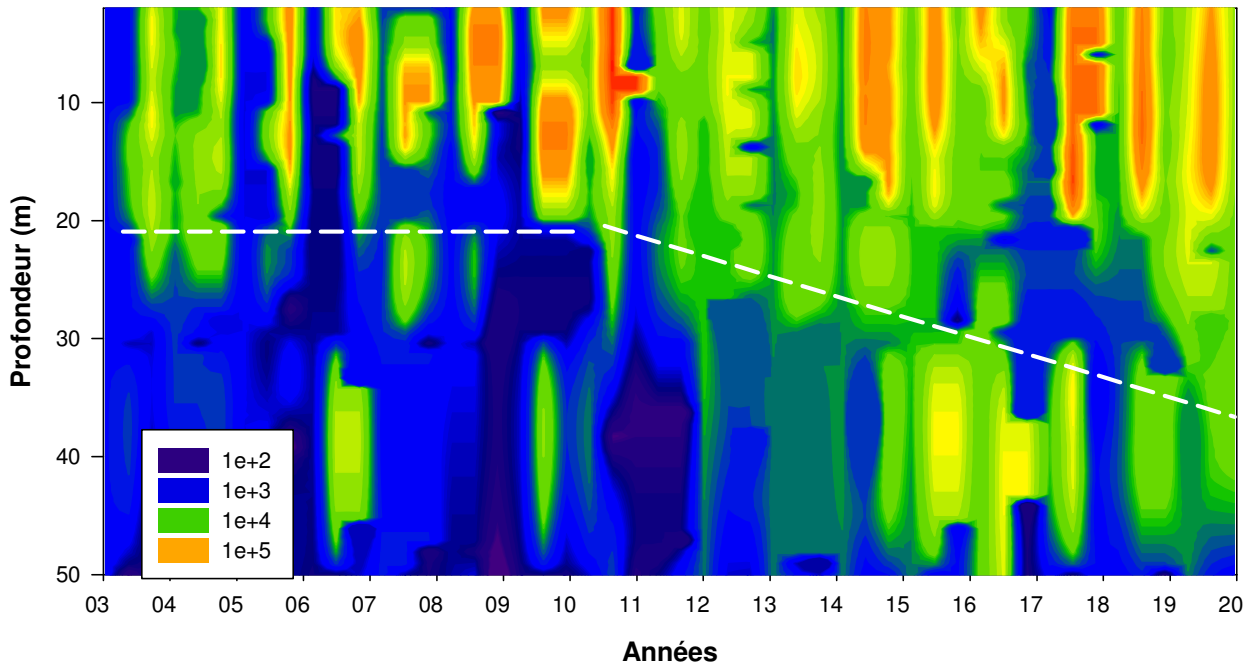
Evolution de l'inde de Brettum



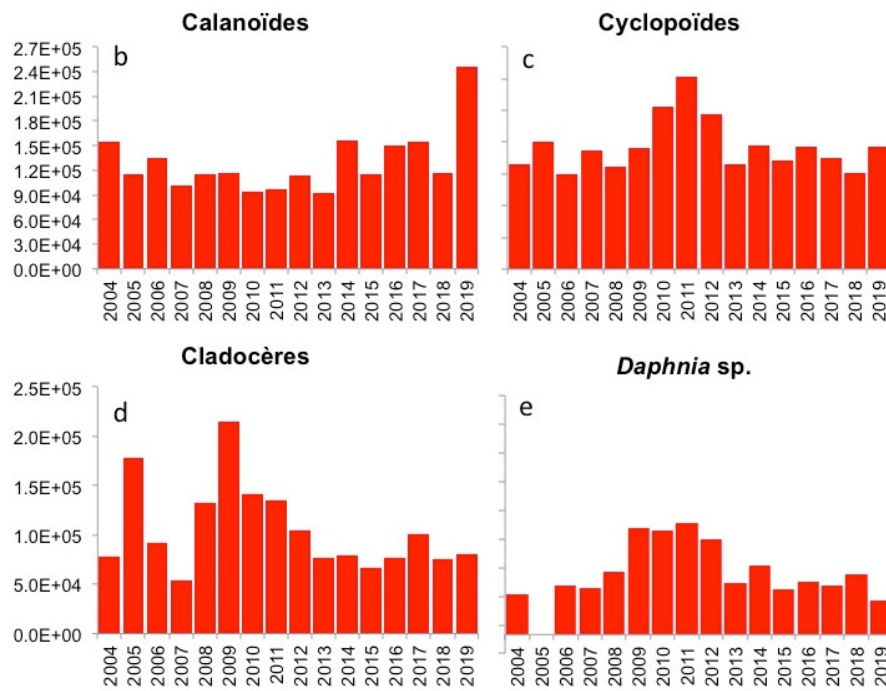
Evolution de l'IPLAC

Année	IPLAC	Classe d'état IPLAC
2004	0,672	Bon
2005	0,624	Bon
2006	0,553	Moyen
2007	0,633	Bon
2008	0,537	Moyen
2009	0,637	Bon
2010	0,629	Bon
2011	0,633	Bon
2012	0,617	Bon
2013	0,654	Bon
2014	0,623	Bon
2015	0,570	Moyen
2016	0,627	Bon
2017	0,740	Bon
2018	0,717	Bon
2019	0,735	Bon

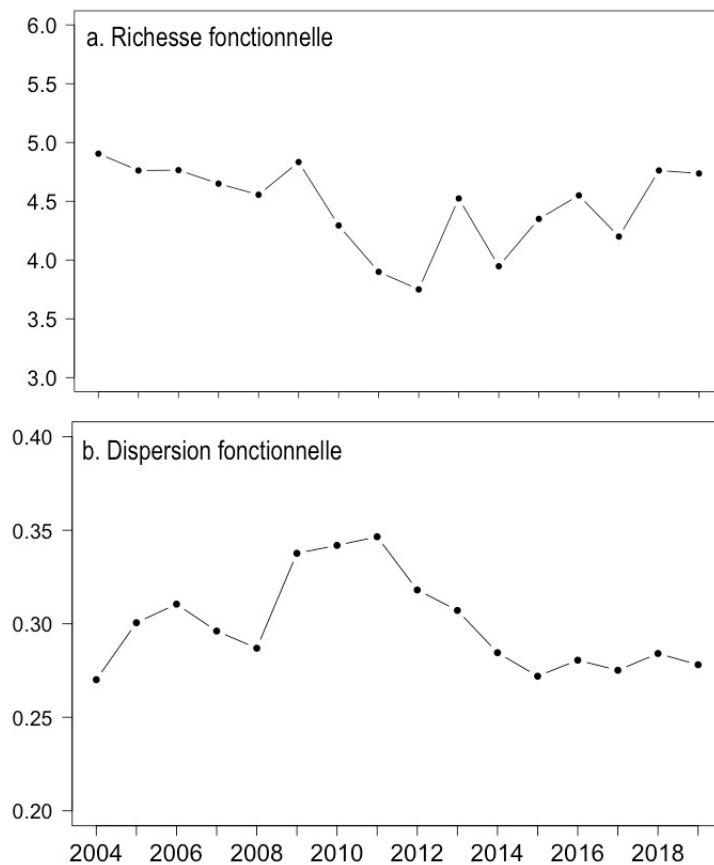
Abondances cellulaires des picocyanobactéries en nombre de cellules mL⁻¹ et biomasse relative du pico-, nano- et microphytoplancton en %



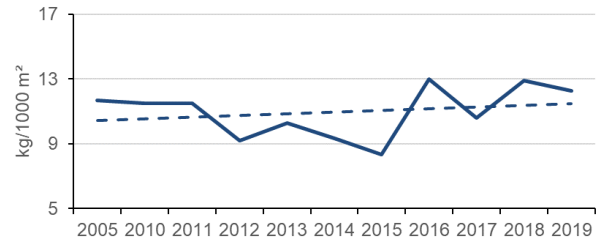
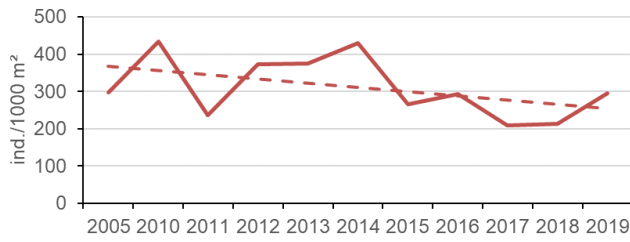
Abondances moyennes annuelles des calanoïdes, des cyclopoïdes, des cladocères et daphnies



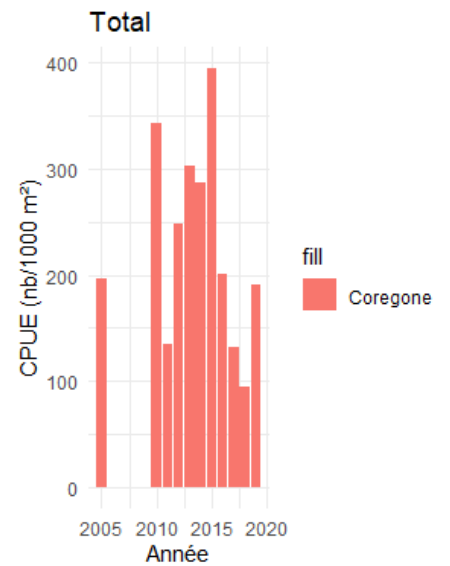
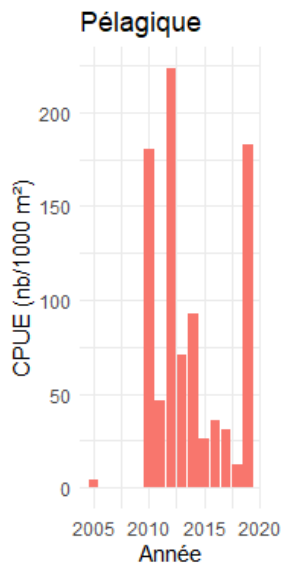
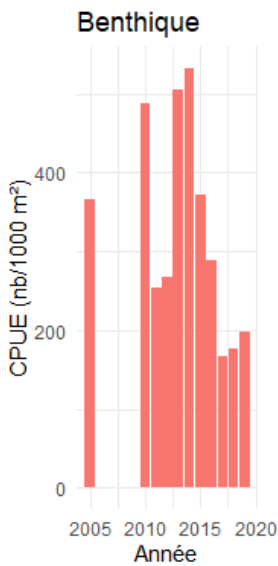
Indices fonctionnels appliqués au compartiment zooplanctonique



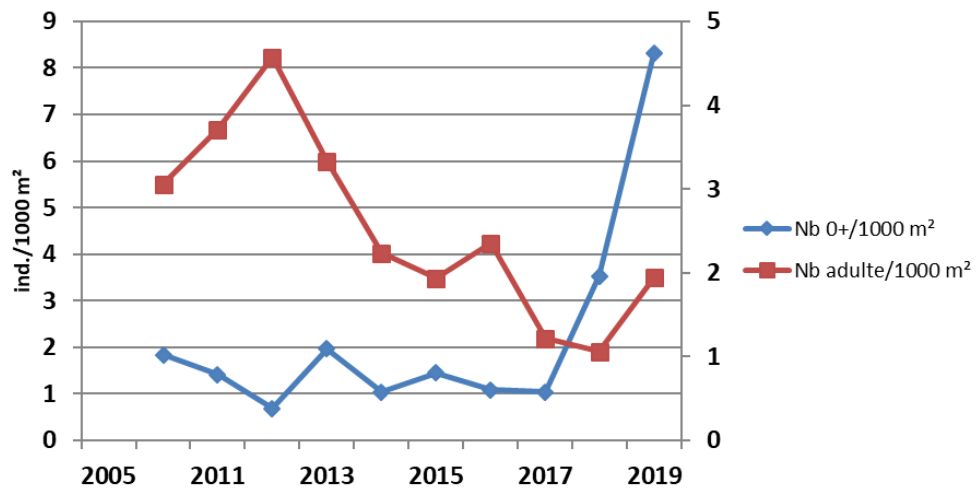
Rendement de pêche numérique et pondéral pour 1000 m² de filet



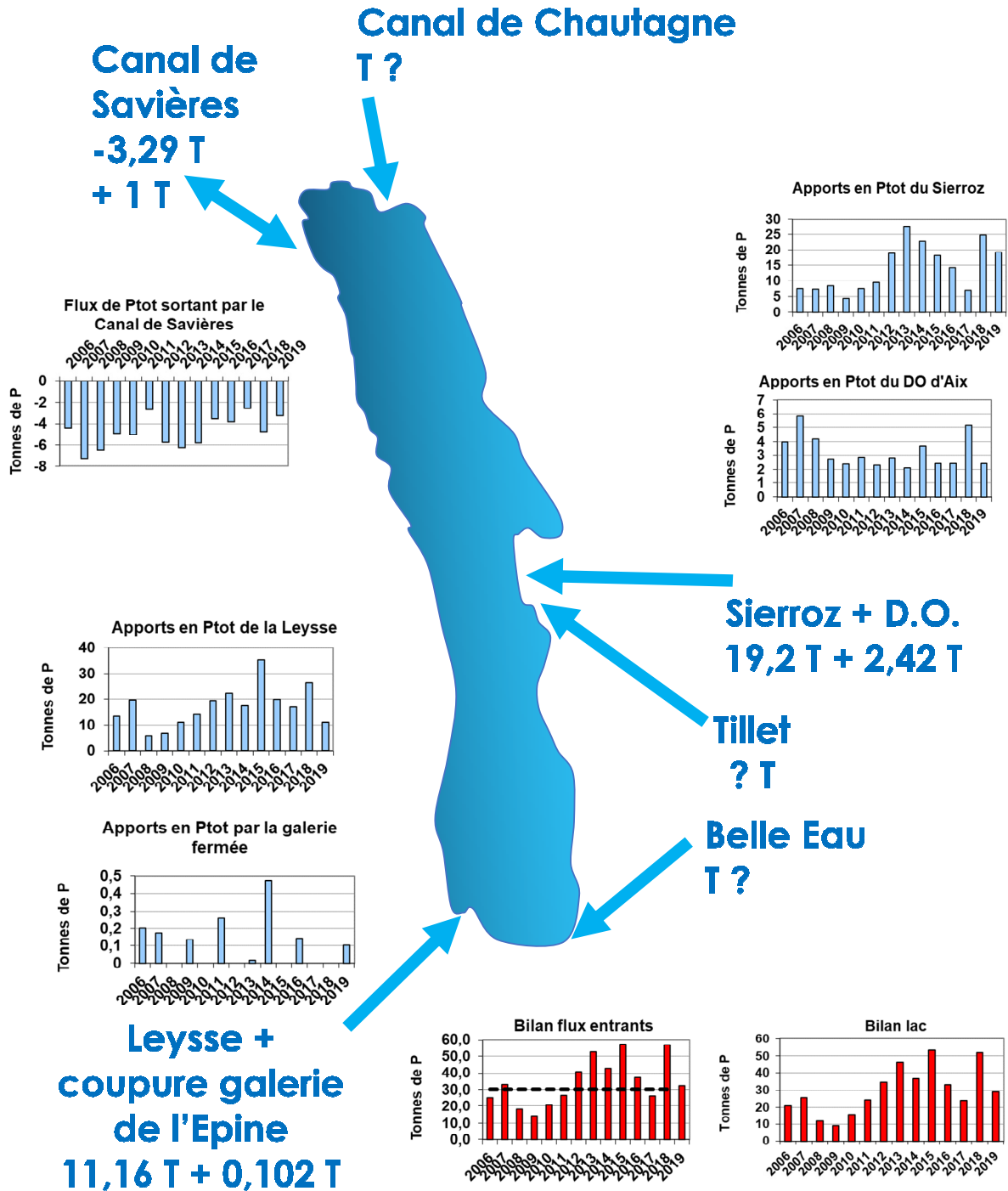
Rendements numériques pour le corégone dans les filets benthiques, pélagiques et dans l'ensemble des filets



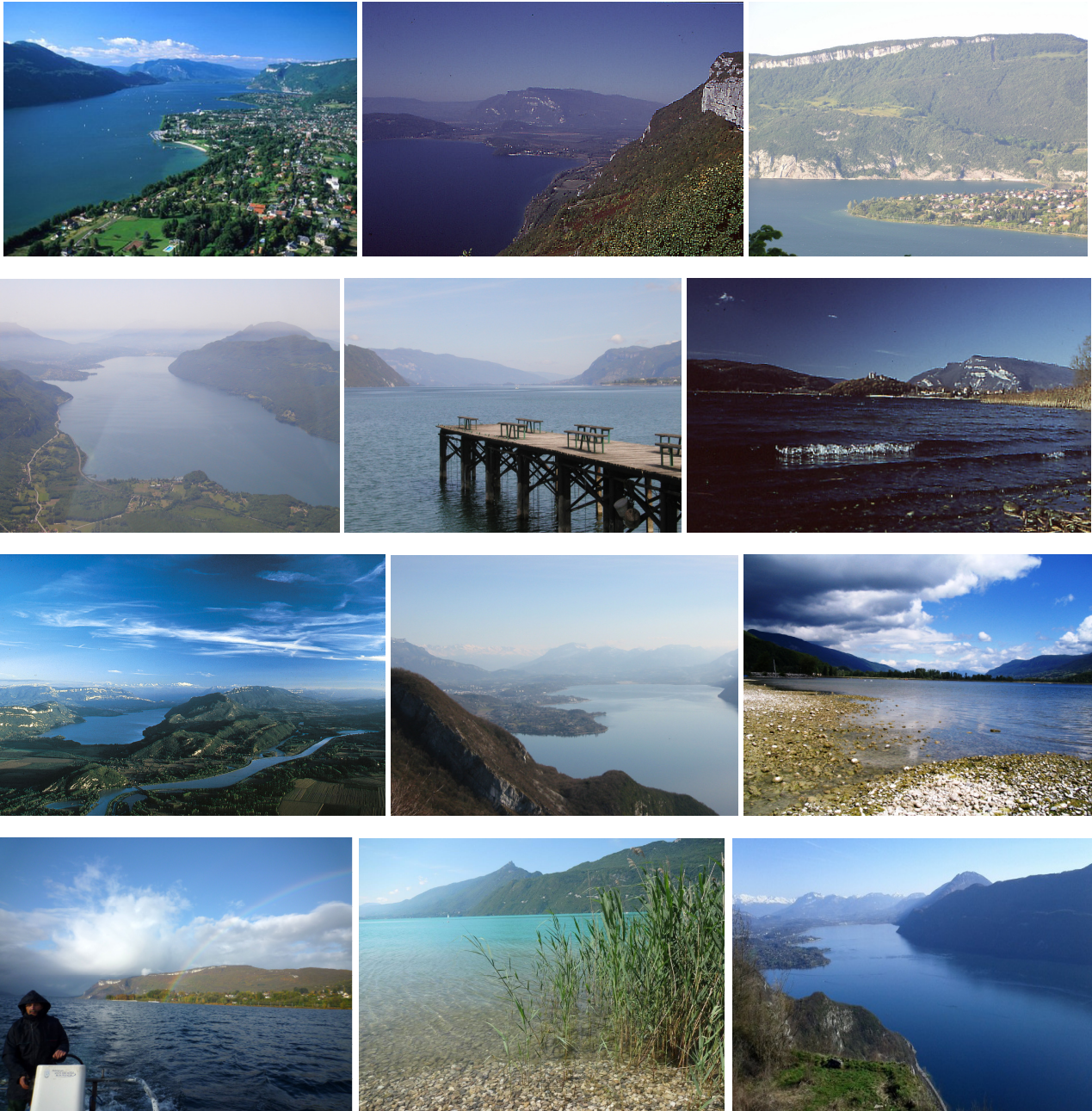
Rendements numériques des alevins de corégones et des corégones adultes



Bilan des apports en Ptot au lac



Un lac presque oligotrophe



L'image offerte en 2019 par le lac du Bourget, pour sa partie pélagique, est très similaire à celle de 2018 et peut être résumée comme suit. Le lac, avec des concentrations en P_{tot} , PO_4 et chlorophylle a très basses, peut être désormais caractérisé comme un écosystème presque oligotrophe. Presque car ce statut global (ce retour complet à un état oligotrophe) reste à être complètement et définitivement confirmé par la transparence, la composition phytoplantonique ou la proportion des petites formes, notamment, sans oublier l'ensemble des descripteurs de la zone littorale. La structure globale et les effectifs des communautés zooplanctoniques et piscicoles et la biomasse/rendement de pêche du corégone (lavaret) de nouveau en hausse confirment la réoligotrophisation et le (très) bon état global de l'écosystème.