



HAL
open science

Suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2020

Stéphan Jacquet, S Cachera, L Crépin, C Goulon, Jean Guillard, V Hamelet, J C
Hustache, L Laine, Pascal Perney, Philippe Quétin, et al.

► **To cite this version:**

Stéphan Jacquet, S Cachera, L Crépin, C Goulon, Jean Guillard, et al.. Suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2020. Inrae. 2021. <hal-04682492>

HAL Id: hal-04682492

<https://hal.science/hal-04682492v1>

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.



HAL Authorization

Synthèse du

SUIVI SCIENTIFIQUE DU LAC DU BOURGET

pour l'année 2020



Document validé par le comité scientifique (juillet 2021)



Citation de ce document

Jacquet, S., S. Cachera, L. Crépin, C. Goulon, J. Guillard, V. Hamelet, J.C. Hustache, L. Laine, P. Perney, P. Quéting, J. Raphy, S. Rasconi, C. Rautureau, F. Rimet, V. Tran-Khac. 2021. Suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2020. *Rapport INRAE-CISALB*, 23 pages.

RÉSUMÉ

2020 a encore été une année remarquable sur de nombreux aspects.

En raison de la **crise sanitaire liée à la pandémie de covid-19**, les 20 campagnes initialement prévues n'ont pas pu être réalisées, limitées au final au nombre de 17, la période manquante s'étalant de mi mars à fin avril.

L'année 2020 a enregistré, avec une **température de l'air moyenne annuelle de 12,9°C**, un écart de **+1,39°C** (+12,1%) par rapport à la moyenne 1974-2020. Après 2018, qui détient le record de la chronique (avec une température moyenne annuelle de 13,30°C), **2020 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 juin et octobre ont présenté des températures légèrement inférieures à la moyenne (respectivement de -1 et -5%). Le reste de l'année, les températures mensuelles ont toujours été supérieures à la moyenne avec un pic de +85% en février (vs +162% en janvier 2018, +80% en décembre 2019 à titre comparatif).

Logiquement, la température moyenne de l'eau du lac du Bourget a été impactée. L'année **2020 est ainsi enregistrée comme l'année la plus chaude** mesurée depuis 1981, derrière 2019 et 2018, en ce qui concerne la température de l'eau mesurée en surface. Avec une température moyenne annuelle de 16,56°C à 2 m de profondeur (une valeur 1,32°C supérieure à celle de 2019 et de +0,32°C par rapport à 2018), 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**. Toutefois, en 2020, les conditions météorologiques n'ont pas permis de refroidissement et d'homogénéisation totale de la colonne d'eau, et une **augmentation significative de la température des couches profondes** a été enregistrée, comparativement aux deux années précédentes.

Comme les années précédentes, **2020 a été caractérisée par des périodes contrastées en termes de précipitations**. La répartition de ces précipitations a été très variable avec, d'une part, des mois excédentaires : février, mars, mai, juin et août (+27% par rapport à la moyenne mensuelle sur la période 1974-2020, avec un maximum pour le mois de juin de +54%), et d'autre part, des mois déficitaires : janvier, avril, juillet, septembre à décembre (-48% par rapport à la moyenne mensuelle avec des pics de -89% en juillet et -72% en septembre et novembre). Avec une hauteur cumulée de **1 031 mm** de pluie à Voglans, l'année **2020 se situe au dessous de la moyenne** calculée sur la période 1974-2020 (i.e. 1 239 mm).

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 5,86 m³ s⁻¹, a été **légèrement inférieur au module interannuel** (-6% ; 6,2 m³ s⁻¹). Le débit moyen annuel du Sierroz, avec 1,79 m³ s⁻¹, a également été

inférieur (mais de manière beaucoup plus significative que la Leysse) **au module interannuel** (-35% ; $2,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Pour l'ensemble des paramètres analysés en 2020, tout comme en 2019, le **Sierroz a présenté des concentrations en nutriments plus élevées que la Leysse**. Ainsi la concentration moyenne en Ptot a été de $70 \mu\text{g L}^{-1}$ (vs $60 \mu\text{g L}^{-1}$ en 2019) pour la Leysse et de $154 \mu\text{g L}^{-1}$ (vs $234 \mu\text{g L}^{-1}$ en 2019) pour le Sierroz. A noter, une concentration moyenne annuelle de $43 \mu\text{g L}^{-1}$ de PO_4 , soit **la plus haute concentration en orthophosphates enregistrée dans le Sierroz au cours des 13 dernières années** (la seconde plus haute valeur étant celle de 2019 avec $35 \mu\text{g L}^{-1}$).

L'hiver 2020 n'a probablement pas permis une homogénéisation complète de la température de l'eau du lac et de la concentration en oxygène dissous (pour rappel aucun prélèvement n'a eu lieu du 3 mars au 5 mai). A la date du 3 mars (dernier prélèvement réalisé avant l'arrêt temporaire du suivi), la différence de température entre la surface (**$7,30^\circ\text{C}$**) et le fond (**$6,26^\circ\text{C}$**) était déjà très marquée, et la concentration maximale en oxygène n'était que de **$6,34 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$** .

Les concentrations hivernales moyennes (sur la période incluant janvier, février et mars) en **orthophosphates (P- PO_4) et phosphore total (Ptot)**, avec respectivement des valeurs de **$4,9$ et $9,3 \mu\text{gP L}^{-1}$** ont été **légèrement supérieures en 2020** comparativement à 2019 (~ 3 et $\sim 7 \mu\text{gP L}^{-1}$, respectivement) mais inférieures à 2018 (~ 6 et $\sim 10 \mu\text{gP L}^{-1}$, respectivement). **Ces concentrations restent parmi les plus basses de la chronique** et confirment que le seuil des $10 \mu\text{gP L}^{-1}$ est 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 **$31,2 \text{ T}$ en 2019 et $25,8 \text{ T}$ en 2020**.

Avec une **concentration moyenne annuelle en chlorophylle *a* de $2,85 \mu\text{g L}^{-1}$** , cet indicateur révèle donc une valeur très proche de celle de 2018 et 2019 ($2,9$ et $3 \mu\text{g L}^{-1}$) et la confirmation d'une **baisse significative** par rapport aux années précédentes, avec des valeurs depuis 2009 oscillant entre $2,85$ et $4 \mu\text{g L}^{-1}$ (moyenne de $3,3 \mu\text{g L}^{-1}$). C'est la troisième année consécutive que la concentration moyenne annuelle est **sous la barre des $3 \mu\text{g L}^{-1}$** . Cette valeur de concentration de la chlorophylle *a*, considérée uniquement pour la **période estivale**, a aussi été relativement **faible en 2020 (avec $3,18 \mu\text{g L}^{-1}$)** mais supérieure aux années précédentes ($2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ en 2019 et $2,2 \mu\text{g L}^{-1}$ en 2018).

La **biomasse phytoplanctonique annuelle (avec $1\,323 \mu\text{g L}^{-1}$) a diminué légèrement ou significativement en 2020** comparativement à 2019 ($1\,510 \mu\text{g L}^{-1}$), 2017 ($1\,643 \mu\text{g L}^{-1}$) et 2016 ($2\,785 \mu\text{g L}^{-1}$). Les **indices fonctionnels de Brettum ($4,11$) et IPLAC ($0,641$)**, ont aussi diminué de manière significative par rapport aux trois années précédentes (soit $4,25$ - $4,42$ et $0,735$ - $0,74$, respectivement), mais restent parmi les plus hauts mesurés depuis le début de la chronique, signant toujours 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**. En

2020, cette **contribution a été la plus élevée** depuis le début de la chronique (commencée en 2004) atteignant la valeur de 17%.

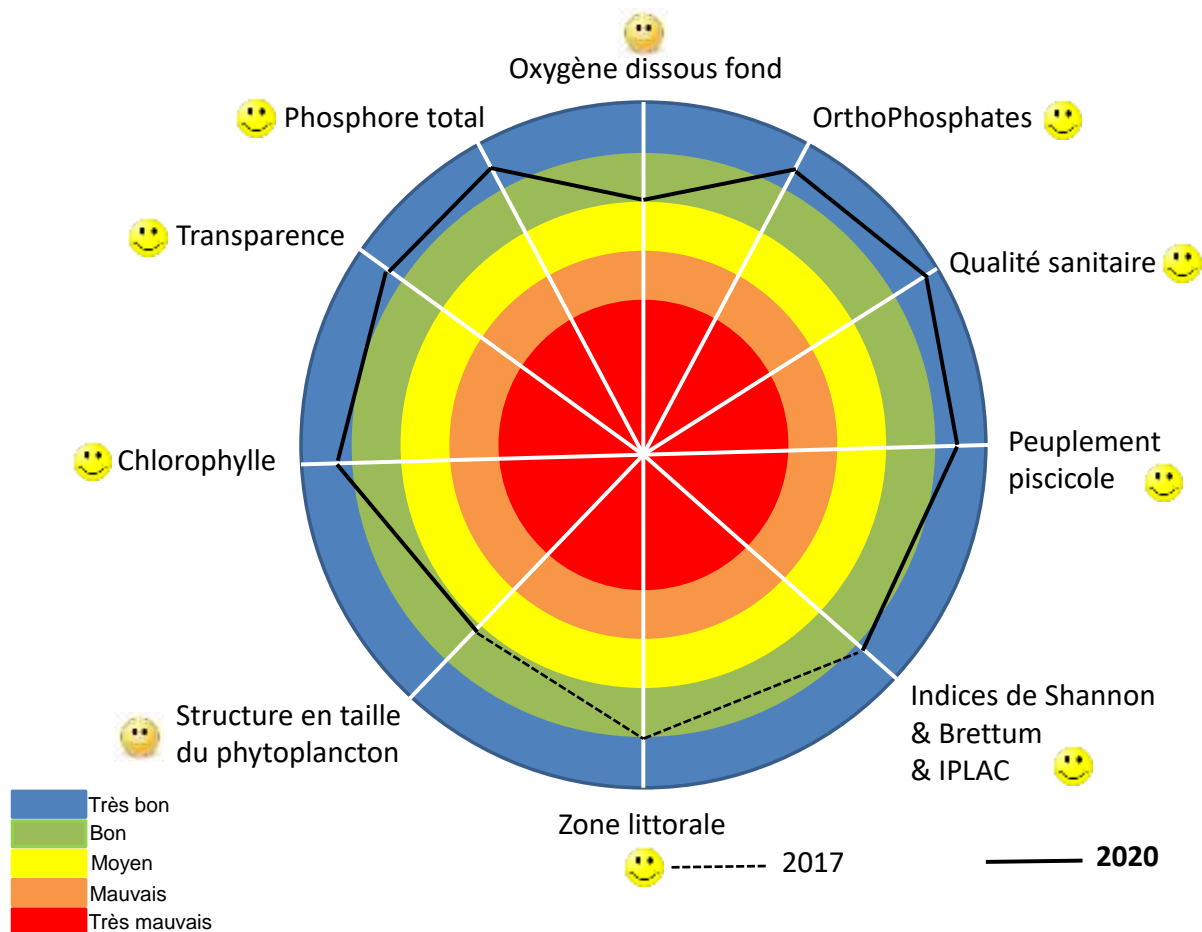
La **transparence moyenne annuelle** de la colonne d'eau observée depuis la surface a été de **7,3 m**, soit une valeur assez proche de celles de 2019 (7,2 m) et 2017 (6,8 m) comparativement à 2018 qui avait été seulement de 5,5 m. Elle a donc été relativement stable sur ces deux dernières années. Contrairement aux années précédentes, le lac semble avoir été caractérisé en 2020 par **une phase d'eaux claires** au mois de mai avec des valeurs de transparence fluctuant entre 9,7 et 13,1 m. L'été a été une nouvelle fois marquée par des eaux laiteuses et turquoises, un phénomène qui semble être désormais assez bien installé.

Si la **dynamique du zooplancton** a reproduit globalement celle des années précédentes, elle a été une nouvelle fois **remarquable en 2020 avec des abondances exceptionnelles observées en fin d'automne** (novembre et décembre). Les groupes les plus abondants ont été les calanoïdes et les copépodes. L'analyse des indices fonctionnels a confirmé l'importance de la disponibilité des ressources nutritionnelles de bonne qualité (Diatomées et Chrysophycées) pour le **maintien de l'efficience trophique au sein du réseau pélagique**. La disponibilité de ressources adéquates a permis aux consommateurs d'effectuer **un lien trophique efficace** vers les niveaux supérieurs et conduit vers une amélioration des caractéristiques fonctionnelles de la communauté zooplanctonique.

La diversité piscicole du lac apparaît globalement stable, même si les espèces difficilement capturables par les filets comme la blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*) ou peu abondantes comme la vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et la lotte (*Lota lota*) n'ont pas été capturées en 2020. Les principaux résultats pour l'année 2020 sont i) des **niveaux historiques d'abondance de jeunes corégones** estimés par hydroacoustique, et des niveaux élevés par les pêches aux filets ; ii) des **perches et des gardons** de l'année **de grandes tailles** détectés par hydroacoustique et par pêche aux filets, à mettre possiblement en lien avec un printemps très doux, mais dont les fluctuations interannuelles sont très marquées ; iii) une **absence de détection des écrevisses** pour la première année et la confirmation de **l'absence du sandre** depuis 2019 ; iv) enfin, il ne fait plus de doute que **le silure est désormais bien installé** dans le lac. 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 2020. 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 **6 plages en qualité excellente et 4 en qualité bonne** (i.e. Les Mottets au sud du lac, la plage du camping l'île aux cygnes, la plage du Lido et la plage municipale d'Aix-les-Bains) soit une légère dégradation par rapport à 2018 et 2019. Comme à chaque fois, le déclassement est généralement associé à une seule date (sur les 6 campagnes de mesure faites tout au long de l'été) et

Schéma synoptique de l'état du lac proposé pour 2020 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 9,3	<2.5 2,8	2.5-8 5,4	>6 7,3	>3 3,4
Mesotrophe	10-35	2.5-8	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 2020

Seulement **17 campagnes** de terrain sur les 20 prévues initialement ont pu être réalisées en 2020 en raison de la crise sanitaire liée à la pandémie de covid-19. La **période manquante** s'est étalée du 3 mars au 5 mai 2020.

Avec une moyenne annuelle de 12,93°C, **l'année 2020 a encore été une année chaude** avec un écart de +1,39°C (+11%) par rapport à la normale (moyenne calculée sur la période 1974-2020). Seuls les mois de **juin et octobre ont présenté des températures légèrement inférieures à la moyenne** (respectivement de -1 et -5%). **Le reste de l'année, les températures mensuelles ont toujours été supérieures à la moyenne** avec +9% pour les mois d'août et septembre, +43% pour janvier et +85% pour février (rappelant les +80% en décembre 2019 et +162% en janvier 2018).

		Moyenne 1974 - 2020	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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	12,9
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	12,1

A 2 m de profondeur, les **températures** pour les périodes de janvier à début mars et d'août à d'octobre 2020 ont été **plus élevées** qu'en 2019. Les températures pour les mois d'avril à juillet ont par contre été plus faibles qu'en 2019. Le maximum est mesuré le 18 août 2020 avec 24,79 °C, soit du même ordre de grandeur que l'année 2019 à la même période (25,1°C enregistré le 8 août 2019). *In fine*, **la moyenne annuelle de la température à 2 m a été de 16,56 °C en 2020, soit 1,32 °C de plus qu'en 2019 et 0,32 °C de plus qu'en 2018**. L'évolution interannuelle des températures moyennes continue de corroborer une **tendance nette du réchauffement des eaux de surface depuis 1984** (~13°C en 1984 vs >16°C en 2020). Comparativement, les **températures de la couche profonde n'ont pas (encore) révélé de réchauffement significatif**, bien que 2020 ait été significativement plus chaude que 2018 et 2019. 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. Il est à noter, toutefois, qu'en 2020, la température à 140 m a été de 6,33 °C, dépassant la valeur de 6,22 °C de 2016 et devenant ainsi la valeur la plus élevée de la chronique temporelle depuis 1991.

Avec une hauteur cumulée de **1 031 mm** de pluie à Voglans, l'année **2020 a été en dessous de la moyenne** sur la période 1974-2020. Toutefois, la répartition de ces précipitations dans l'année a été très variable avec des mois de février, mai, juin, août et octobre excédentaires (respectivement +8, +1, +52, +37 et +33% par rapport à la moyenne mensuelle) et des mois de janvier, mars, avril, mai, juillet, septembre, novembre et décembre déficitaires (respectivement -58, -6, -39, -89, -72, -72 et -1% par

rapport à la moyenne mensuelle). L'année **2020** a donc été caractérisée par **des périodes contrastées** (comme les années précédentes), caractérisée par des mois très pluvieux (+52% en juin et +37% en août) entrecoupés d'un mois très sec (-89% en juillet).

		Moyenne 1974 - 2020	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cumul annuel	mm	1 243	1004	1238	1214	929	1031	1079	1385	1467	1231	1332	1181	1094	1150	1234	1031
Ecart / moyenne interannuelle calculée depuis 1974	%		-23	-5	-7	-29	-21	-17	7	13	-5	2	-9	-12	-7,5	-0,7	-0,1

L'hydrologie de la **Leysse** en **2020** a été marquée par un **débit moyen légèrement inférieur** au module interannuel (-6%). Les débits instantanés ont été inférieurs au module durant 240 jours. De plus, les débits instantanés ont été inférieurs au Q_{MNA5} durant 58 jours et au débit minimum biologique pendant 48 jours dont 3 périodes de 7 jours consécutifs de fin juillet à fin août ainsi que 18 jours consécutifs en septembre.

		Source DREAL sur 53 ans		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
		Q_{MNA5}	Module													
Moyenne annuelle	m ³ /s	0,68	6,2	6	3,5	5,25	3,78	6,55	9,17	6,32	6,3	6,77	4,29	7,31	6,22	5,86
Q < module inter annuel	jours			244	307	287	311	277	177	243	223	223	304	233	240	240
Q < Q_{MNA5} inter annuel	jours			0	51	15	0	0	0	0	0	9	48	70	38	58

Le **débit moyen annuel** en **2020** du **Sierroz** a été **significativement inférieur** au module (-35%). Les débits instantanés ont été inférieurs au module durant 290 jours (79% du temps) et inférieurs au Q_{MNA5} durant 8,4 jours (2% du temps). Enfin, le débit minimum biologique a été dépassé pendant 8,3 jours (4 jours consécutifs fin septembre).

		Source DREAL sur 53 ans		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
		Q_{MNA5}	Module													
Moyenne annuelle	m ³ /s	0,22	2,42	2,4	1,5	1,9	1,3	2,6	3,3	2,8	1,89	2,69	1,34	2,57	2,25	1,79
Q < module inter annuel	jours			241	301	275	319	256	135	232	183	227	308	192	272	290
Q < Q_{MNA5} inter annuel	jours			0	82	15	1,5	25	0	26	20	13	16	73	28	8

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 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.

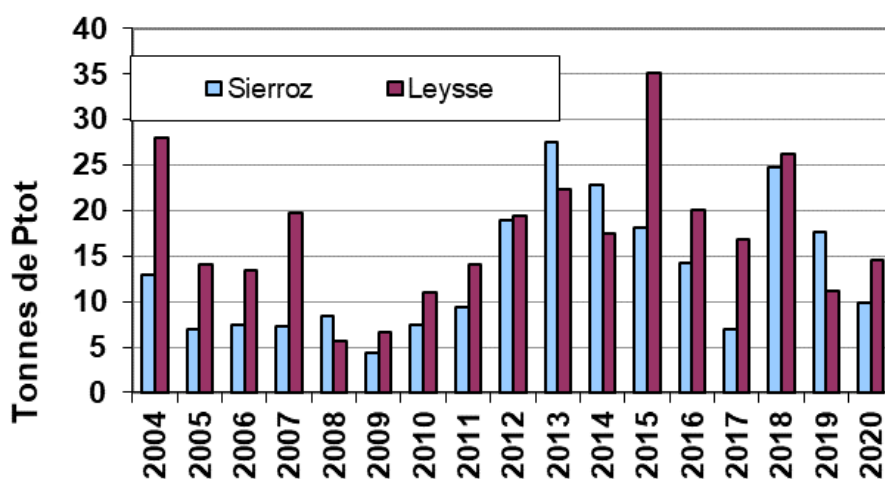
	1974	1983	1995-1996	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ptot (Leysse et Sierroz + DO)	300	150	94	27 5,8	14 4,2	11 2,7	18 2,4	24 2,8	38 2,3	50 2,8	40 2,1	53,4 3,7	31,9 2,5	26,3 2,4	51 5,1	28,8 2,4	24,4 1,4
PO ₄	140		18	4,6	3	1,82	1,89	1,5	3,1	4	4,1	2,53	2,9	2,29	3,7	3,4	3,20
NO ₃	1,5	580	450	367	290	214	309	181	347	409	275	275	264	202	302	324	259
NO ₃ + NKT				617	516	334	454	360	654	704	503	510	462	378	544	538	396

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 (avec 28,7 T) a été confirmée en 2019 (avec 31,2 T) malgré une forte hausse en 2018 (56,1 T). **Avec un apport global des deux principaux tributaires (Leysse et Sierroz) estimé à 25,8 T de Phosphore total, l'année 2020 présente la valeur la plus basse de la dernière décennie et passe significativement sous le seuil critique des 30 T**, limite théorique édictée par le comité scientifique pour permettre une réoligotrophisation 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 et le déversoir des Biâtres en apportant ~1,5 T de Ptot au lac ont été responsables de <6% des apports totaux en 2020.** 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 2020 par la Leysse et le Sierroz a été d'~242 Mm³. Le temps de pluie et plus particulièrement les crues ont encore joué un rôle déterminant sur les apports au lac. En effet, le temps de pluie a été à l'origine de 82,5% des apports au lac. Pour la Leysse, les apports en temps de pluie de Ptot ont été de 12,42 T, soit une valeur plus élevée qu'en 2019 (9,76 T) mais restant bien plus basse que les 26,2 T enregistrés en 2018. Les 10 principales crues, principalement en période hivernale (les 3 principales ont eu lieu en février et mars), ont représenté 69,3% des apports liés aux épisodes de pluie. Les apports de Ptot en temps de pluie du Sierroz se sont élevés à 8,3 T (vs 13,6 T en 2019 et 21,5 T en 2018). Les rejets liés au déversoir des Biâtres ont été évalués à 1,41 T (vs 5,13 T en 2018

et 2,42 T en 2019) pour 189 800 m³ répartis sur 179 jours soit 5,3% des apports totaux en Ptot au lac. Au mois de septembre, un bassin de stockage-restitution de 10 000 m³ a été mise en service, captant les eaux unitaires rejetées vers le lac lors des épisodes pluvieux importants. En résumé, **le temps de pluie a apporté au lac 22,1 T de Ptot sur les 25,9 T, soit 85,4 % de la quantité totale.**

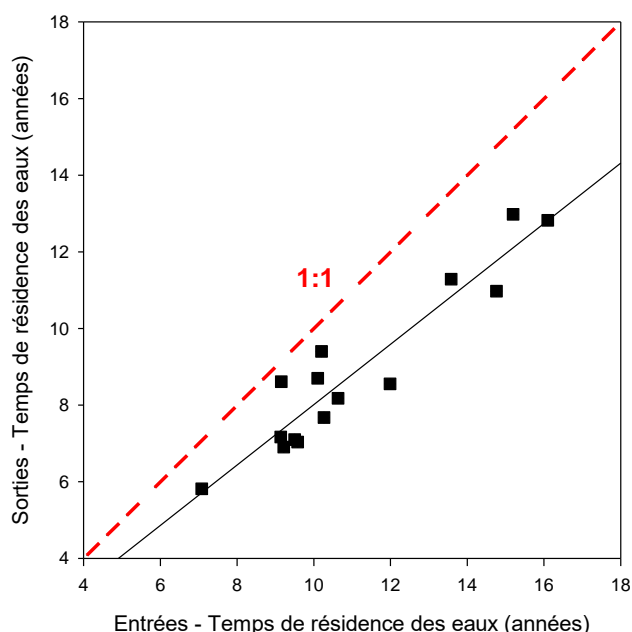
Pour l'ensemble des paramètres analysés et toutes périodes confondues, **le Sierroz a présenté des concentrations moyennes pondérées plus élevées que la Leysse.** Avec une concentration moyenne en Ptot de 0,07 mg L⁻¹ sur la Leysse et de 0,154 mg L⁻¹ sur le Sierroz, **l'année 2020 a été une année dans la moyenne des valeurs observées depuis 11 ans.** Pour la Leysse, les concentrations en PO₄ et en nitrates restent dans les valeurs basses du suivi. Dans le cas du Sierroz, la valeur de 0,043 mg L⁻¹ de PO₄ représente la plus haute concentration des 13 dernières années. Le nitrate est dans les moyennes avec 1,47 mg L⁻¹. Sur la Leysse, avec 0,028 mg L⁻¹, les concentrations en NH₄ retrouvent des niveaux équivalents à 2014 et 2019 (0,026 et 0,024 mg L⁻¹). Pour le Sierroz, la moyenne des concentrations en NH₄ est la plus haute depuis les 3 dernières années avec 0,144 mg L⁻¹ (0,100 et 0,124 mg L⁻¹ en 2018 et 2019). Les concentrations en MES de la Leysse et du Sierroz en 2020 sont dans les moyennes des valeurs observées depuis 13 ans.



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 ($r=0,92$, $n=15$) 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 ans, ce qui suggère une sur-estimation des entrées et/ou une sous-estimation des sorties. **En 2020, la différence entre « entrée » et « sortie » est**

inférieure à la moyenne de la chronique (soit 0,8 an, différence entre 10,2 ans et 9,4 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.**

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	2,5
2016	9,1	7,2	2,0
2017	14,8	11,0	3,8
2018	6,3	7,1	-0,8
2019	10,1	8,7	1,4
2020	10,2	9,4	0,8
minimum	6,3	5,8	-0,8
moyenne	10,9	8,9	2,0
maximum	16,1	13,0	3,8



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 **2020,** les valeurs de **transparences moyennes annuelle et estivale ont été respectivement de 7,3 et 3,8 m** (vs respectivement 6,7 m et 5,1 m en 2019, 5,5 m et 4,25 m en 2018, et 6,8 m et 6,6 m en 2017). Les dernières années avaient été marquées par l'absence d'une phase des eaux claires, ce que 2020 ne semble pas corroborer avec de fortes valeurs de transparence (~10 m au mois de mai).

Un des objectifs de la DCE était qu'en 2021 la concentration en P-PO₄ du lac du Bourget 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 (à la limite de l'oligotrophie) du lac 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

$\mu\text{gP L}^{-1}$ pour le PO_4 et le P_{tot} , respectivement, sûrement à mettre en lien avec les forts apports enregistrés cette année là. **Les valeurs de P_{tot} et PO_4 en 2020 ont été de 9,3 et 4,9 $\mu\text{g L}^{-1}$** , 2019 conservant donc le record avec les concentrations les plus basses jamais enregistrées au point B, soit 3 et 7 $\mu\text{g L}^{-1}$ pour le PO_4 et le P_{tot} , respectivement.

2020 est la **troisième année consécutive** où la **concentration moyenne annuelle en chlorophylle *a*** sur la couche d'eau supérieure 0-18 m a été **inférieure ou égale à 3 $\mu\text{g L}^{-1}$** , soit en l'occurrence 2,85 (2020), 2,95 (2019) et 2,9 (2018) $\mu\text{g L}^{-1}$; les années précédentes étant généralement aux alentours de 3,3 $\mu\text{g L}^{-1}$. 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 $\sim 8 \mu\text{g L}^{-1}$ en 1984 à $\sim 3\text{-}4 \mu\text{g L}^{-1}$ depuis 2010 (année qui avait vu « disparaître » la cyanobactérie filamenteuse toxique *P. rubescens*). **La valeur maximale de la concentration en chlorophylle *a* a aussi été parmi les plus basses enregistrées** depuis le début de la chronique, avec 5,4 $\mu\text{g L}^{-1}$ (ex aequo avec l'année 2015).

Entre 2016 et 2017, la **biomasse phytoplanctonique** avait été réduite de presque moitié, passant de 2 785 à 1 643 $\mu\text{g L}^{-1}$. Cette valeur qui avait encore baissé en 2018 avec 1 251 $\mu\text{g L}^{-1}$ était remontée un petit peu en 2019 avec 1 510 $\mu\text{g L}^{-1}$. **En 2020, la biomasse du phytoplancton a de nouveau réduit avec 1 323 $\mu\text{g L}^{-1}$** . En 2020, la structure en taille du phytoplancton a révélé une augmentation significative de la proportion du picophytoplancton [e.g. les picocyanobactéries seulement]) avec 17,3% contre 30% pour le nano- et 52,7% pour le microphytoplancton. 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*). L'analyse de la dynamique des groupes fonctionnels confirme toutefois **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 (4,11) et l'IPLac (0,641) bien que plus faible en 2020 qu'en 2019 (4,4 et 0,735) confirment cette évolution positive** en restant parmi les plus élevés de la chronique.

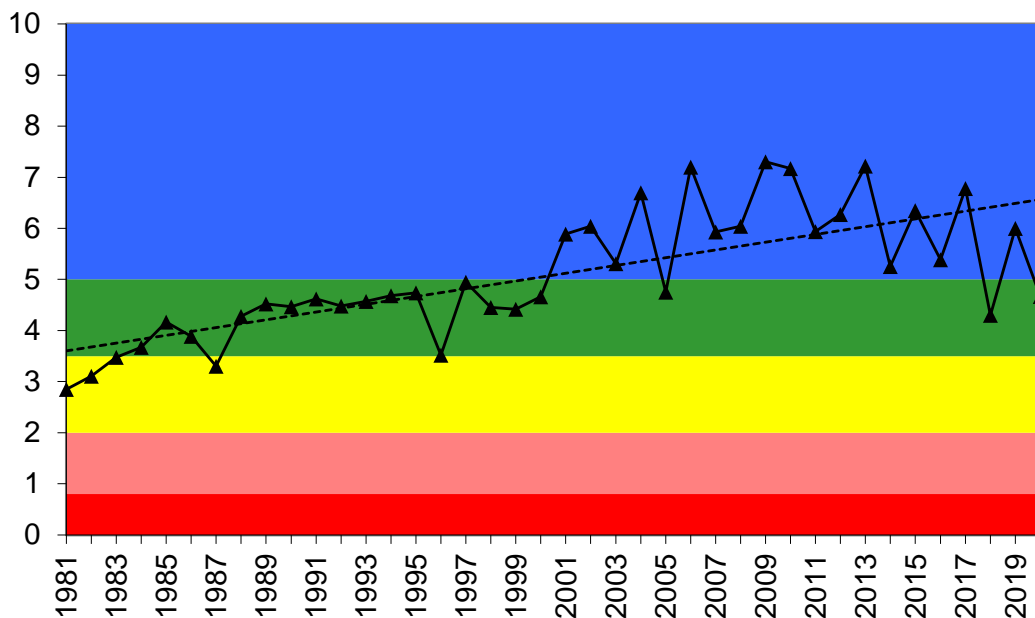
Les **picocyanobactéries** constituent un compartiment biologique fortement dynamique pouvant atteindre de fortes concentrations. Depuis le début de la chronique, on observe une **augmentation faible mais significative de la biomasse de ce compartiment et de sa contribution à l'ensemble de la biomasse phytoplanctonique**. En 2020, on enregistre la plus haute proportion moyenne annuelle relative de ce groupe à l'ensemble en terme de biomasse (avec 17,3%). 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 peut être 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 une nouvelle fois **remarquable en 2020 pour les abondances exceptionnelles observées en fin d'automne** (novembre et décembre). Les groupes les plus abondants ont été les calanoïdes et les copépodes. L'analyse des indices fonctionnels sur la période 2004-2020 a confirmé l'importance de la disponibilité des ressources nutritionnelles de bonne qualité (Diatomées et Chrysophycées) pour le **maintien de l'efficience trophique au sein du réseau pélagique**. La disponibilité de ressources adéquates a permis aux consommateurs d'effectuer **un lien trophique efficace** vers les niveaux supérieurs et conduit vers une amélioration des caractéristiques fonctionnelles de la communauté zooplanctonique. Une compréhension plus approfondie des évolutions des dynamiques zooplanctoniques nécessiterait une intégration plus explicite de la prédation par les poissons, en mettant en place des approches dédiées, notamment expérimentales.

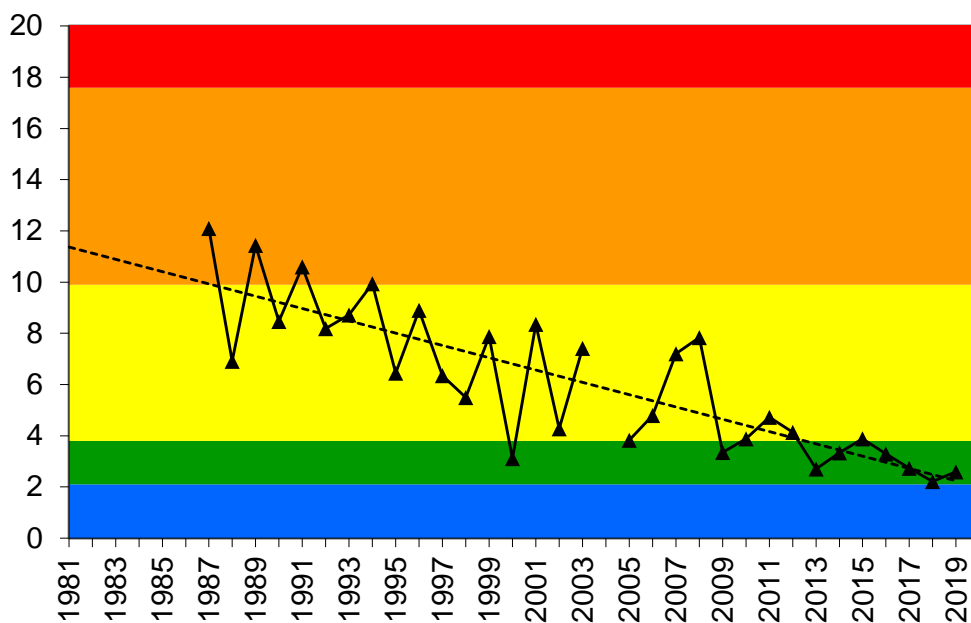
La diversité piscicole du lac apparaît comme globalement stable, même si certaines espèces difficilement capturables comme la **blennie fluviatile** ou peu abondantes comme la **vandoise** et la **lotte** n'ont pas été capturées en 2020. Un fait majeur de 2020 est la poursuite de la hausse des densités acoustiques pour le **corégone (lavaret)**, confirmé par des rendements numériques hauts des captures notamment par les filets pélagiques. D'après les campagnes scientifiques, la diminution de la population de lavaret observée jusqu'en 2017 n'est plus avérée et pourrait indiquer une nouvelle hausse possible du stock en 2021. Toutefois, une diminution de la croissance individuelle des lavarets a été mise en évidence ces 10 dernières années. La **perche** est à des niveaux moyens, autant vu par l'acoustique que par les pêches aux filets, mais dont les fluctuations interannuelles sont très marquées. La population de **gardon** est détectée à un niveau moyennement élevé dans les pêches scientifiques avec une bimodalité observée, possiblement pour les mêmes raisons que la perche. La population de **sandre** semble stagner ou est en légère régression. Le nombre de **brochets** capturés reste stable. La population de **grémille** a fortement augmenté par rapport à 2019. L'**omble chevalier** semble se maintenir à un niveau satisfaisant qui reste dépendant des quantités d'alevins déversées 3 ans auparavant. Capturé pour la cinquième année consécutive dans les pêches scientifiques, le **silure** est désormais bien installé dans le lac. Le rendement de pêche numérique global observé en 2020 est à un niveau moyennement haut. Le rendement pondéral se situe dans des valeurs hautes, influencé par des captures de silures et de gros rotengles. Cependant, la structure de la communauté a montré des évolutions, avec des changements d'abondances des populations face aux changements de l'état de l'écosystème. **Les principaux résultats pour l'année 2020** sont donc i) des niveaux historiques d'abondance de jeunes corégones estimés par hydroacoustique, et des niveaux élevés par les pêches aux filets, poisson emblématique du lac et indicateur d'une bonne qualité de ses eaux ; ii) des perches et des gardons de l'année de grandes taille détectés par hydroacoustique et par pêche aux filets, à mettre possiblement en lien avec un printemps très doux ; iii) une absence de détection des écrevisses pour la première année et la confirmation de l'absence de sandre depuis 2019 iv) un silure bien implanté.

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 2020**. Pour autant, des traces de pesticides ont encore été détectées à Mémard et à Tresserve, leurs concentrations cumulées ne dépassant toutefois

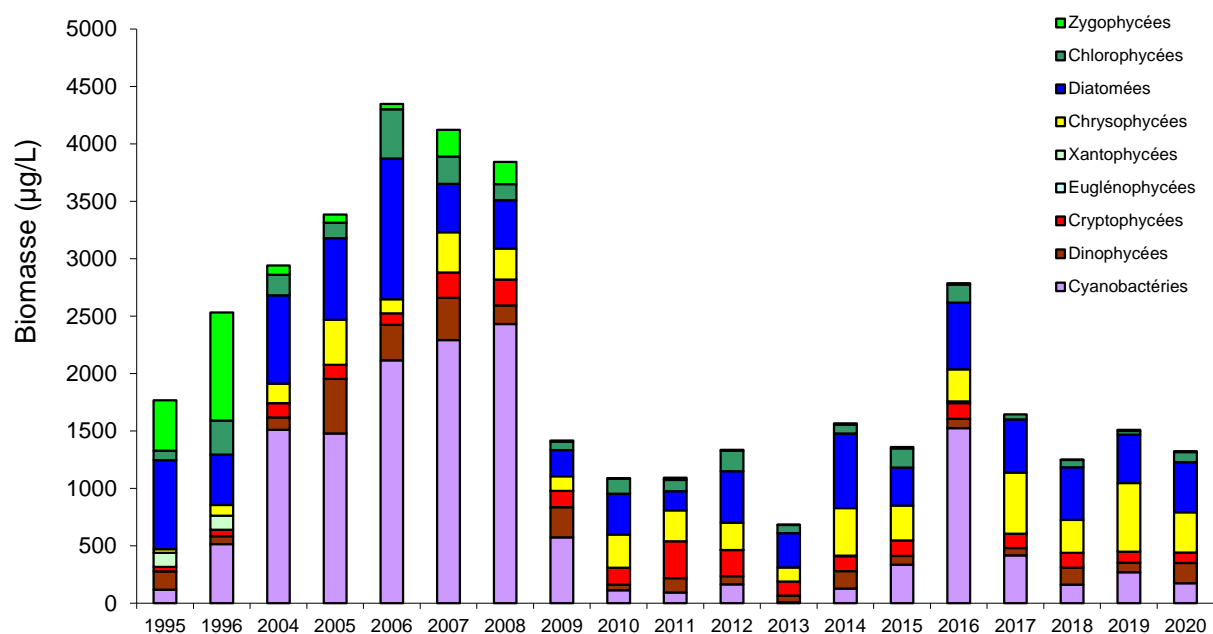
Transparence moyenne estivale exprimée en m



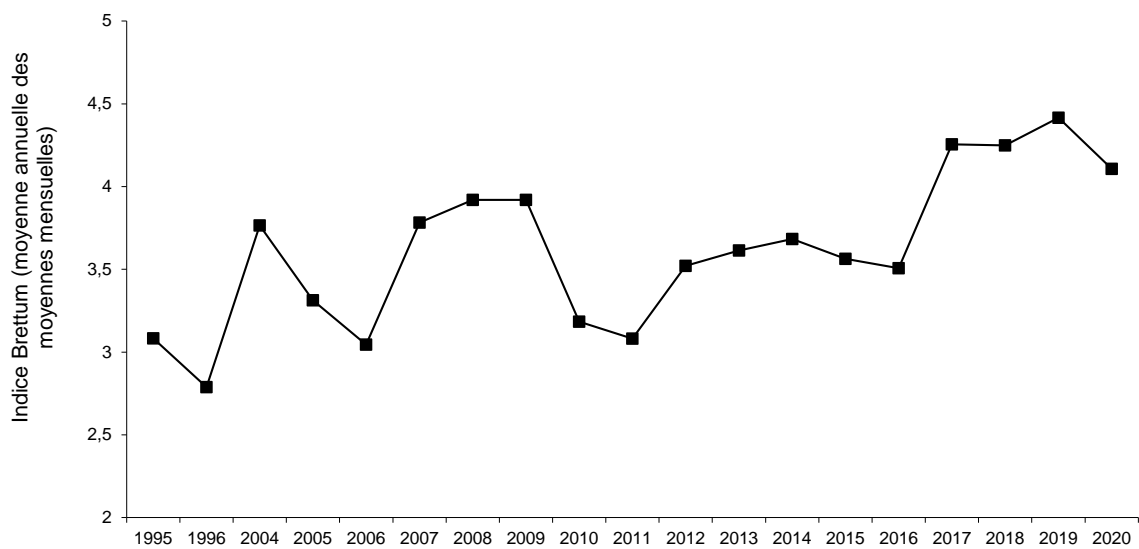
Concentration moyenne estivale exprimée en $\mu\text{g L}^{-1}$



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



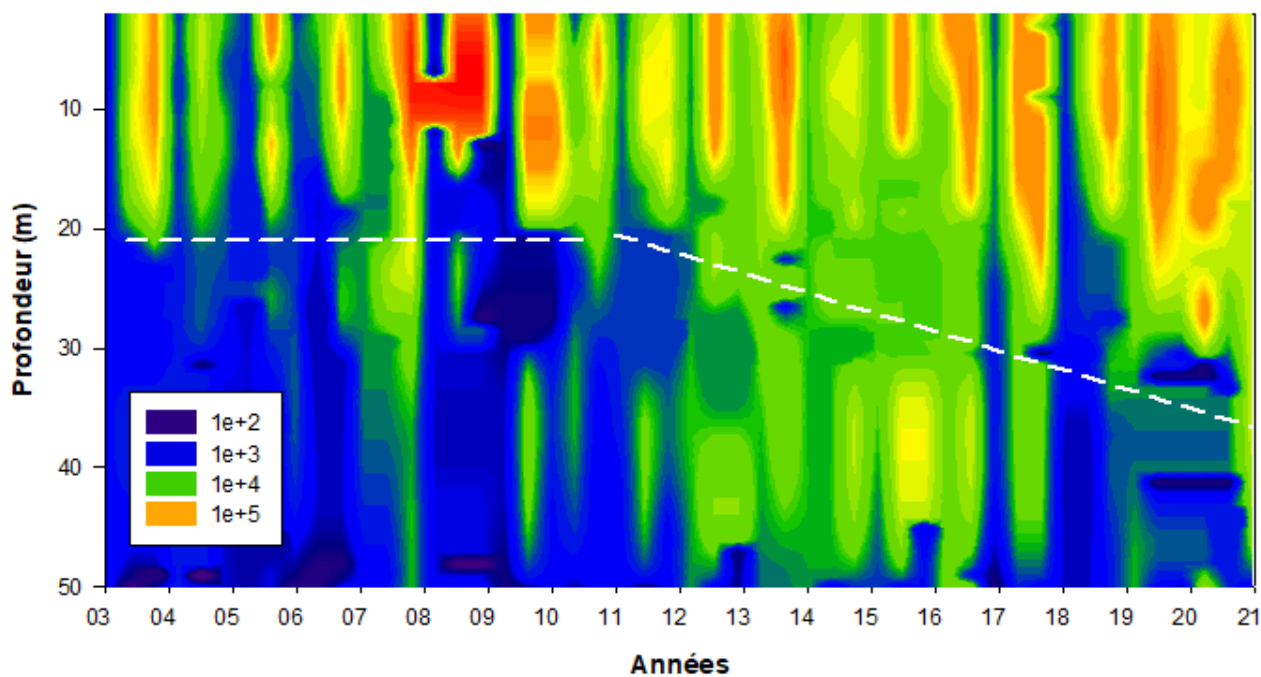
Evolution de l'inde de Brettum

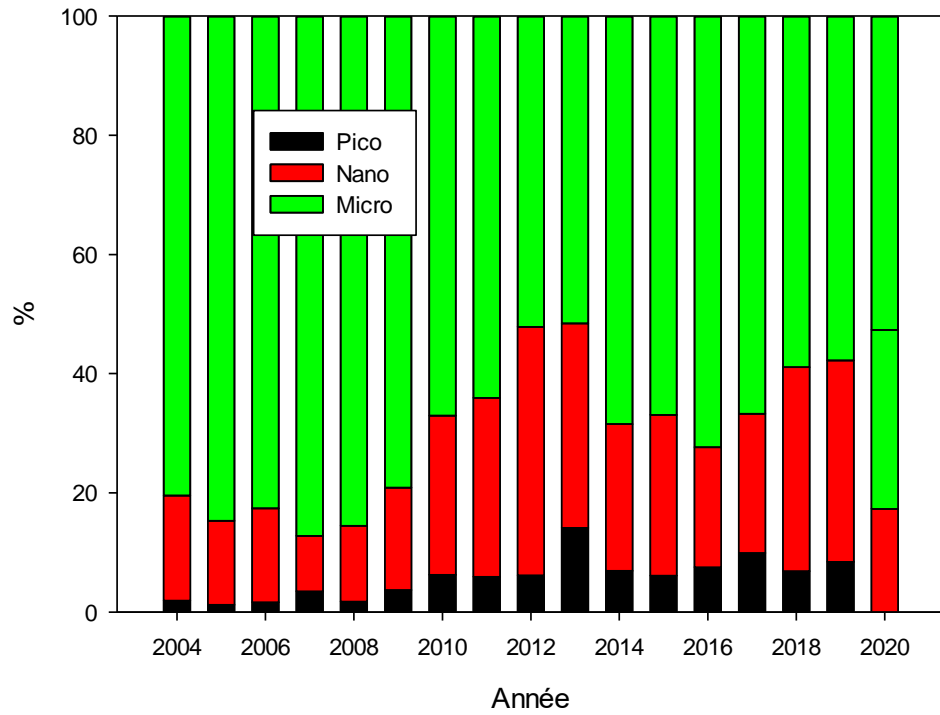


Evolution de l'IPLAC

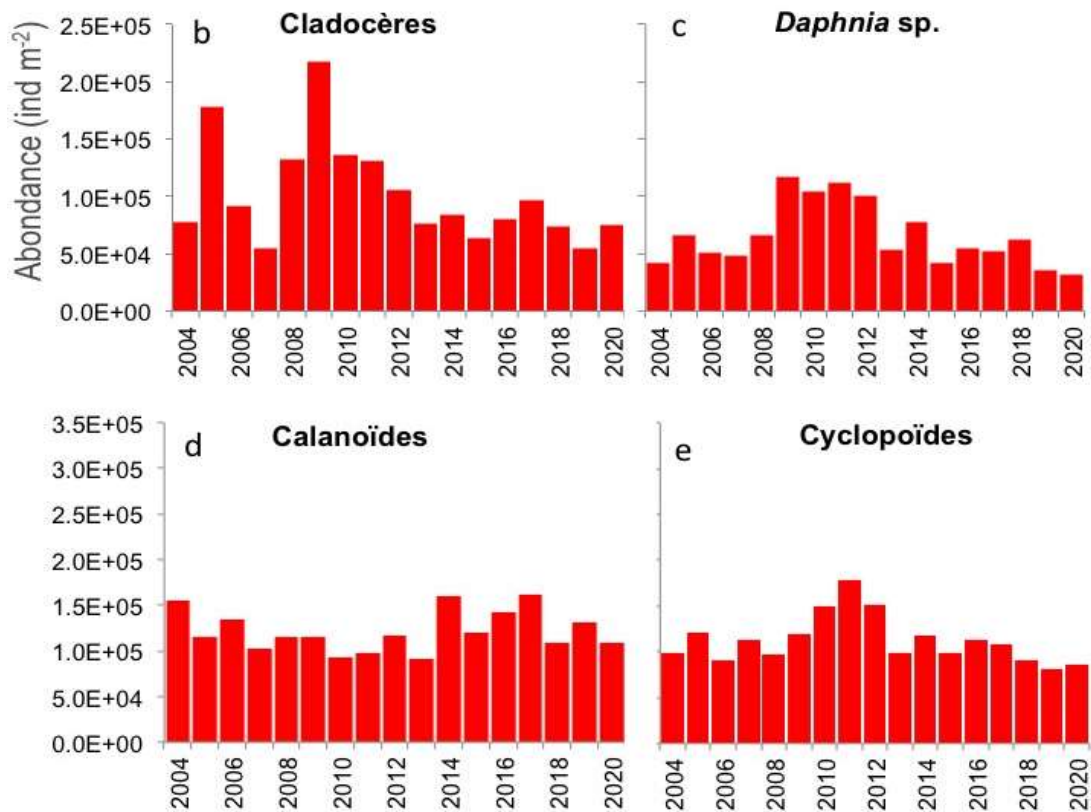
Année	IPLAC	Classe d'état IPLAC
2004	0,672	Bon
2005	0,624	Bon
2006	0,553	Moyen
2007	0,633	Bon
2008	0,537	Moyen
2009	0,637	Bon
2010	0,629	Bon
2011	0,633	Bon
2012	0,617	Bon
2013	0,654	Bon
2014	0,623	Bon
2015	0,570	Moyen
2016	0,627	Bon
2017	0,740	Bon
2018	0,717	Bon
2019	0,735	Bon
2020	0,698	Bon

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

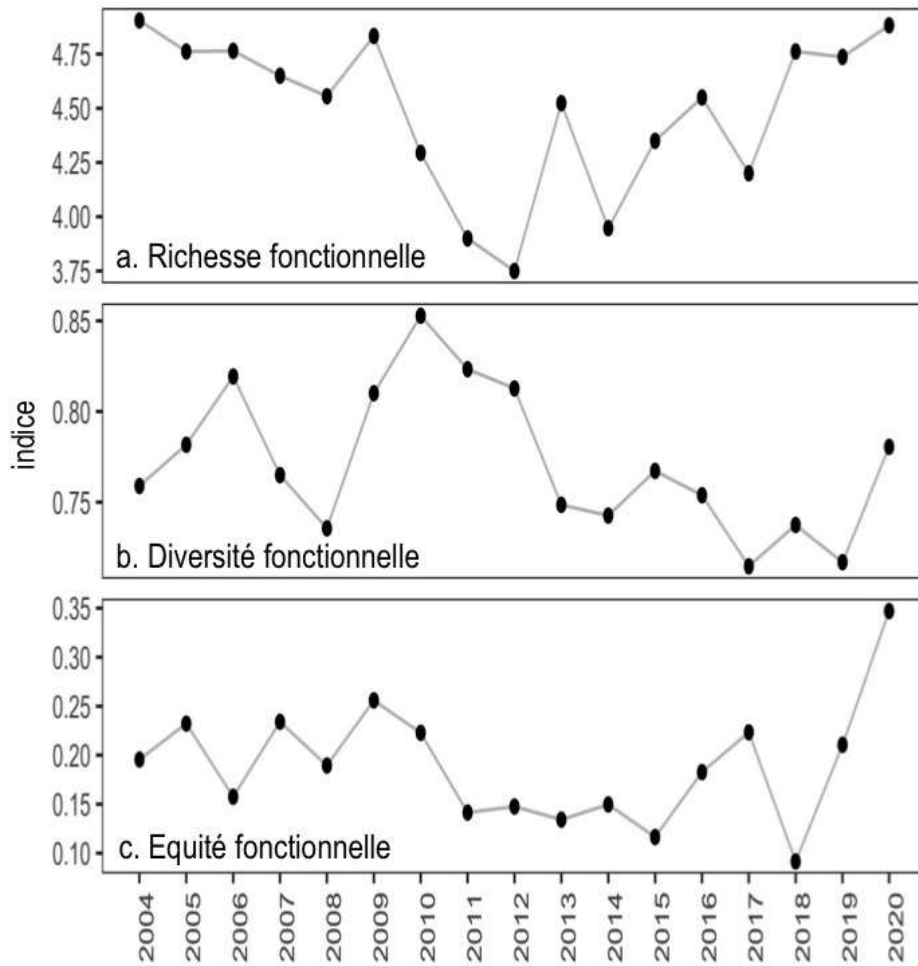




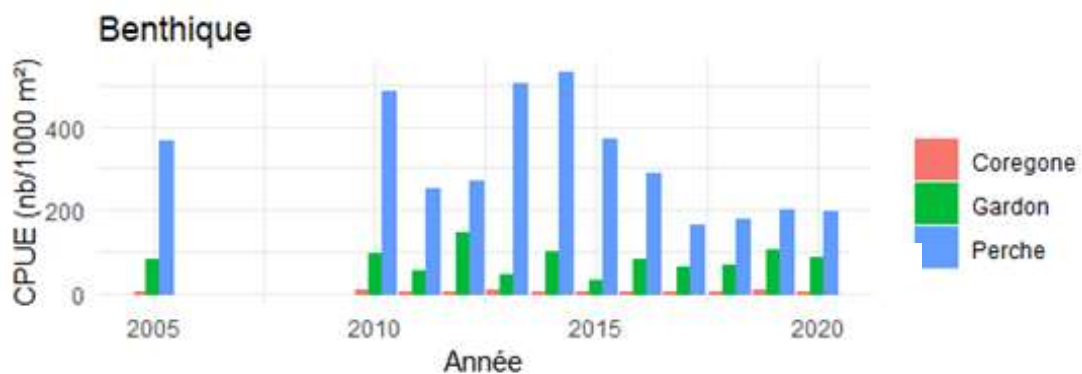
Abondances moyennes annuelles des calanoïdes, des cyclopoïdes, des cladocères et daphnies

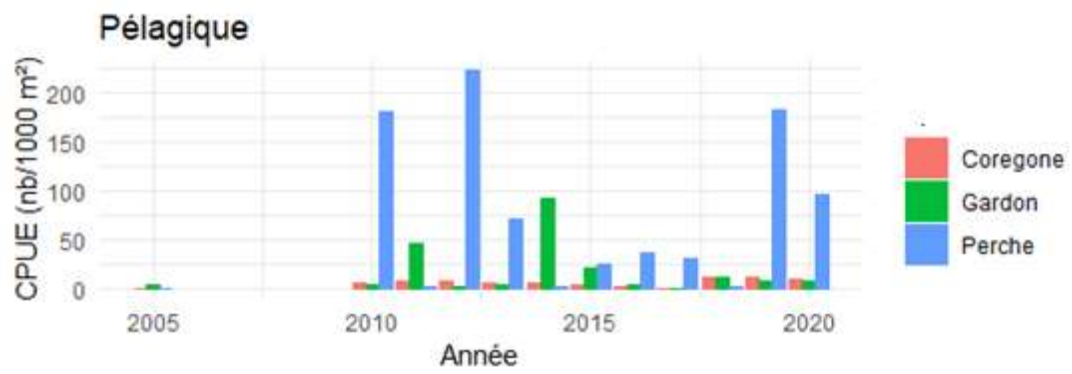


Indices fonctionnels appliqués au compartiment zooplanctonique

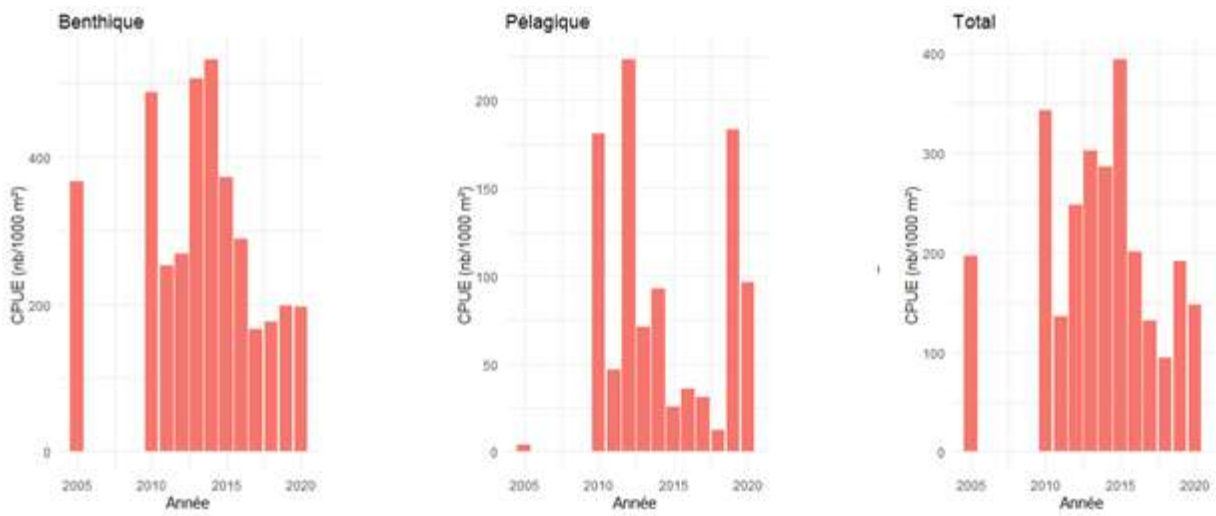


Rendements numériques (ind./1000 m²) des filets benthiques et pélagiques pour la perche et le gardon et le corégone

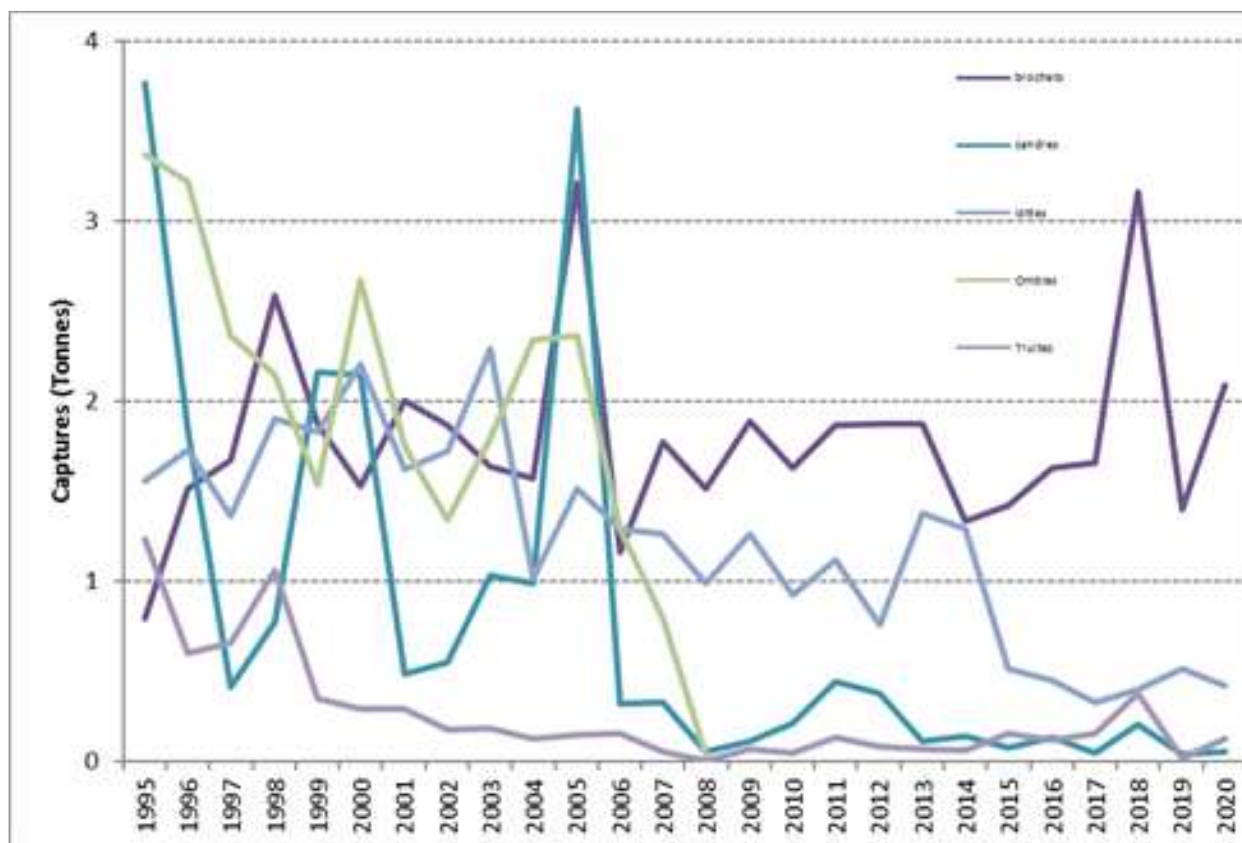
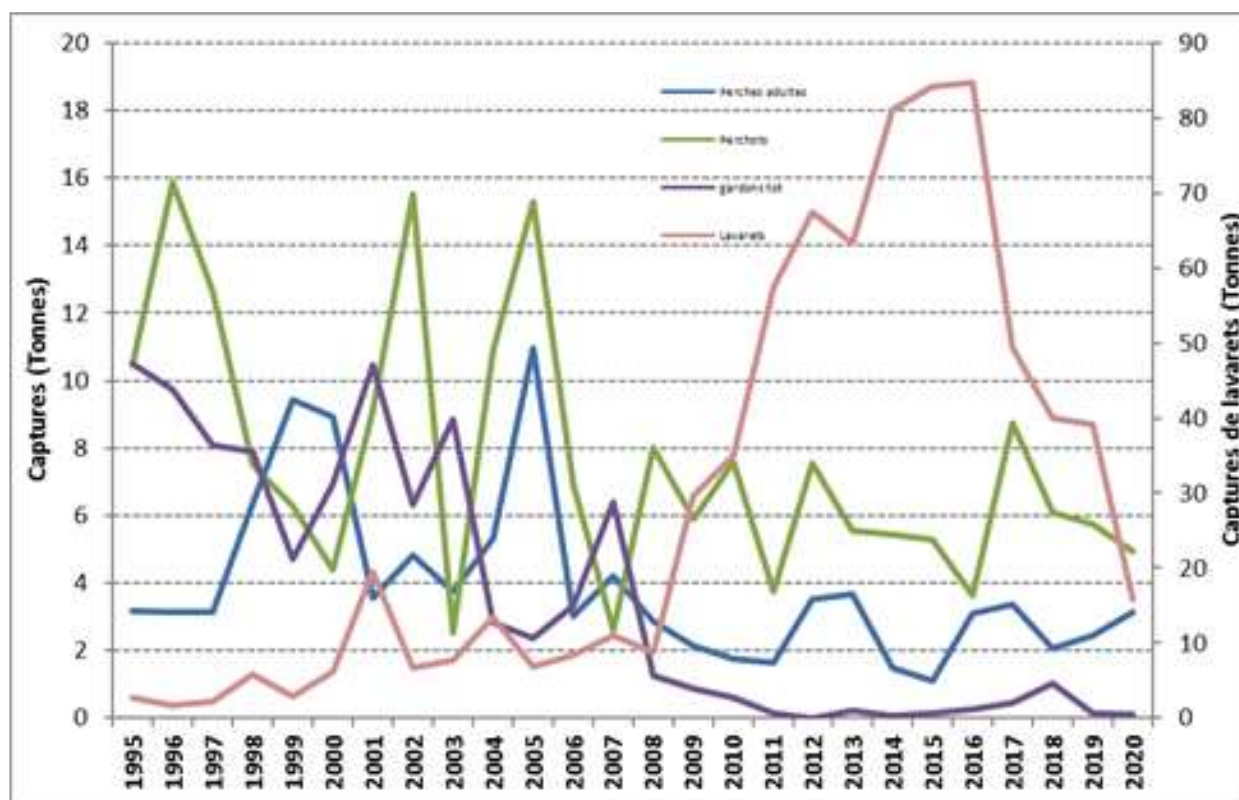




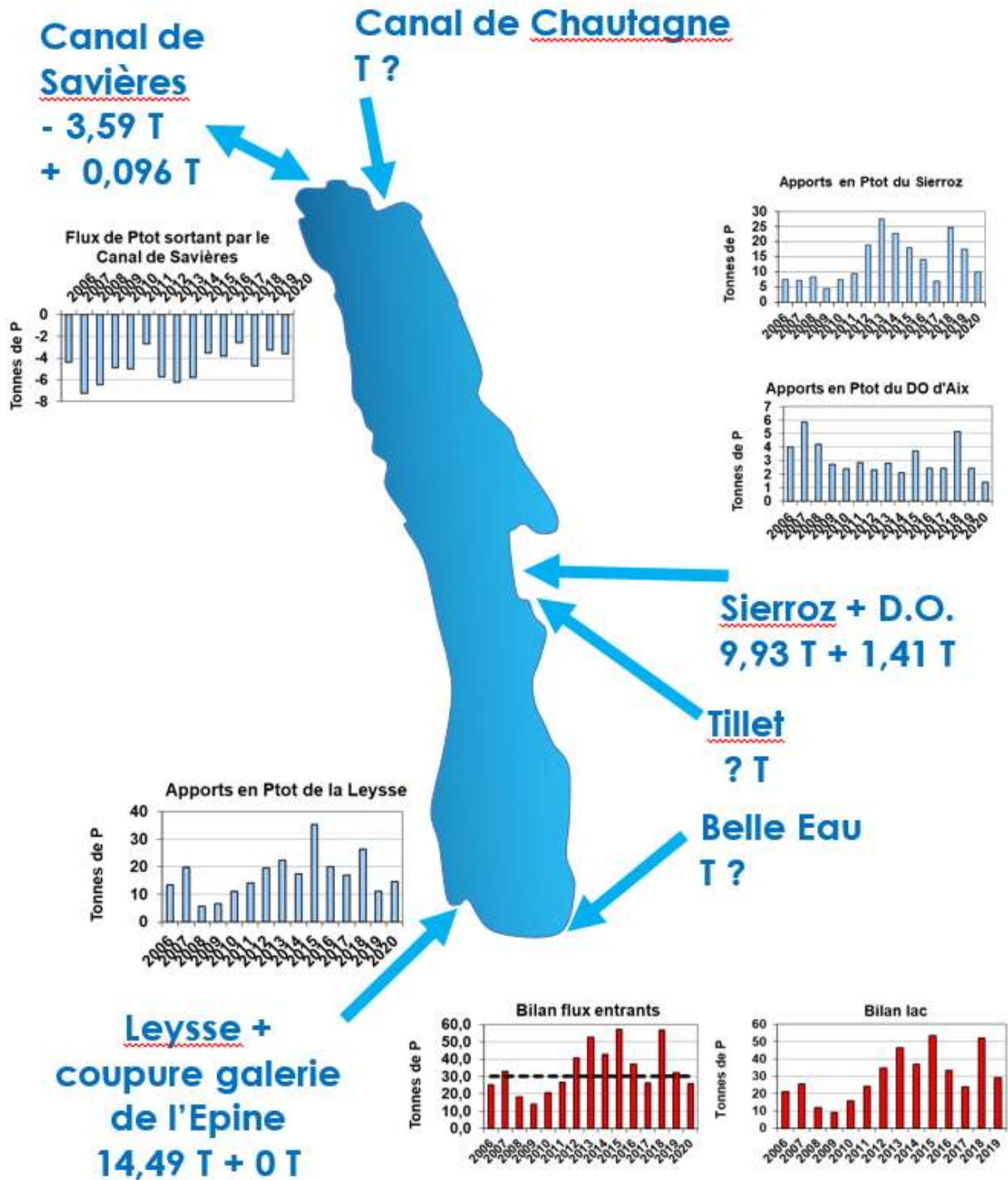
Rendements numériques dans les filets benthiques, pélagiques et dans l'ensemble des filets pour le corégone



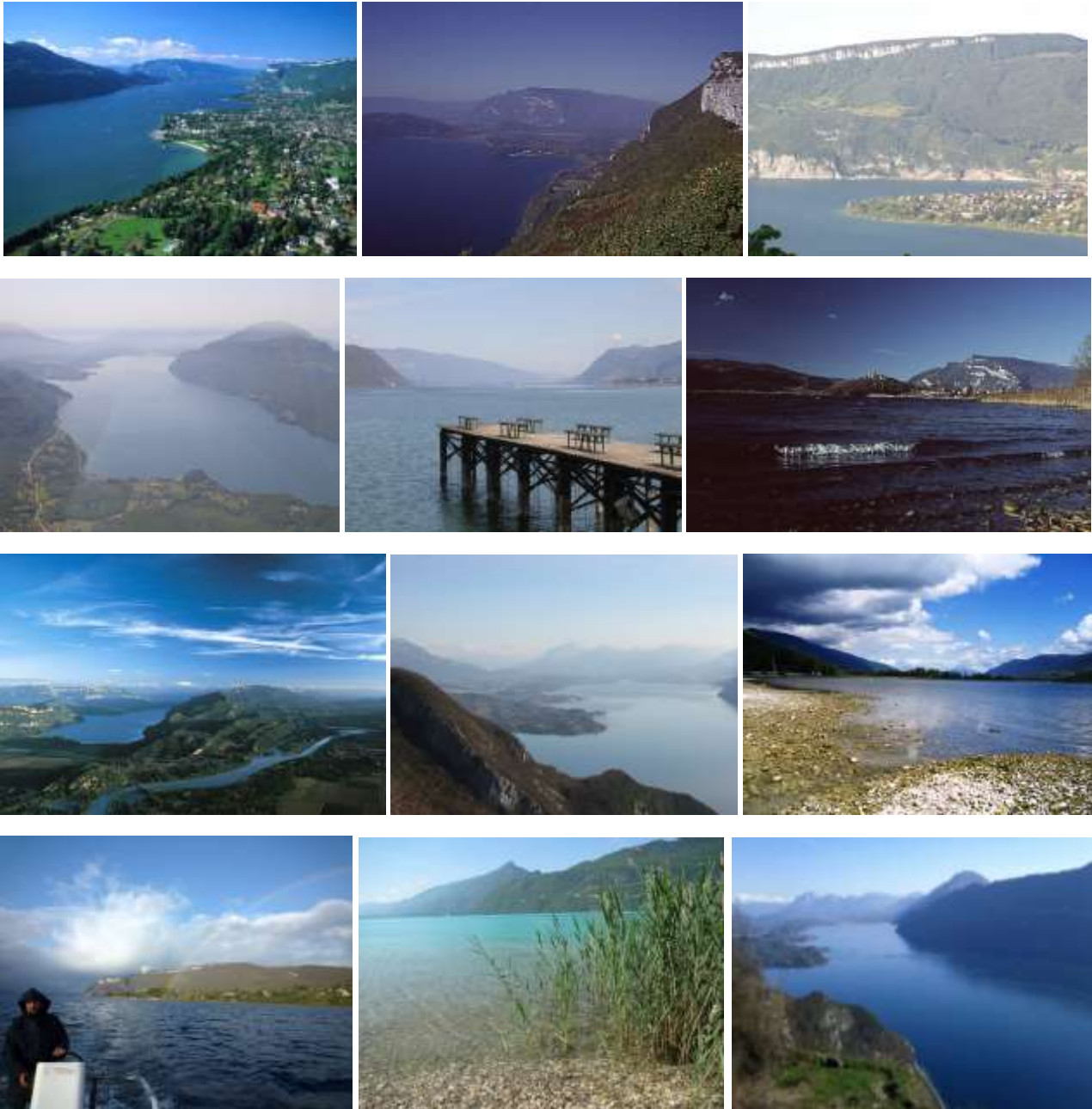
Statistiques de pêche professionnelle 1995-2020



Bilan des entrées/sorties en Ptot au lac



Un lac presque oligotrophe



L'image offerte en 2020 par le lac du Bourget, pour sa partie pélagique, est restée assez similaire à celles de 2018 et 2019 et peut être résumée comme suit. Le lac, avec des concentrations en P_{tot} , PO_4 et chlorophylle a très basses, et une transparence relativement élevée, peut être qualifié de presque oligotrophe. Presque car ce statut global (ce retour complet à un état oligotrophe) reste à être complètement et définitivement confirmé par la biomasse et composition phytoplanctonique 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, la bonne efficacité trophique 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.