

BILAN DE SANTÉ

Bilan de santé des lacs vaudois

La qualité physico-chimique et biologique des eaux des principaux lacs du canton de Vaud est suivie depuis les années 1980.

Les lacs de Joux, Lioson et Bret font l'objet d'une surveillance annuelle régulière. Pour d'autres lacs tels que le lac Brenet, Bretaye, Chavonnes et Retaud, la fréquence de surveillance varie en fonction de chaque lac.

Les grands lacs qui traversent les frontières cantonales ou nationales sont également surveillés différemment: la surveillance du Léman est assurée par la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL), tandis que les lacs de Morat et de Neuchâtel font l'objet d'une surveillance en collaboration avec les cantons de Berne, Neuchâtel, Fribourg et Vaud (BENEFRIVD).

Un bilan de santé générale des lacs est présenté ci-après, incluant leur état trophique ainsi que les niveaux de phosphore, azote, oxygène, chlorophylle, chlorures, et autres paramètres pertinents.



Prélèvement sur le lac de Joux

Paramètres	Unités	Joux ¹ – 2022			Bret ¹ – 2022			Lioson ² – 2022		
		Moy.	Min.	Max	Moy.	Min.	Max	Moy.	Min.	Max
pH		8.4	8.1	8.5	8.2	8.0	8.3	8.4	-	-
Conductivité	µS/cm à 25°	277	261	294	363	269	423	171	-	-
Carbone organique total	mg C/L	3.24	3.11	3.40	4.26	3.46	4.78	0.76	-	-
Ammonium	mg N/L	0.021	0.006	0.055	0.107	0.021	0.250	0.018	-	-
Nitrite	mg N/L	0.003	0.001	0.010	0.012	0.001	0.026	0.001	-	-
Nitrate	mg N/L	0.083³	0.060	0.100	0.829	0.050	1.440	0.050	-	-
Azote total	mg N/L	0.35	0.25	0.54	1.40	0.67	2.01	0.25	-	-
Orthophosphate	µg P/L	3	3	4	6	3	9	3	-	-
Phosphore total	µg P/L	14	9	24	30	22	43	3	-	-
Chlorure	mg/L	9.56	9.15	9.83	16.9	15.6	18.2	0.5	-	-
Fer fond	mg/L	0.11	0.01	0.42	0.50	0.05	2.00	0.16	-	-
Manganèse fond	mg/L	0.04	0.01	0.20	0.10	0.01	0.33	0.05	-	-

Paramètres	Unités	Brenet ¹ – 2019			Bretaye ⁴ – 2018			Chavonnes ¹ – 2018		
		Moy.	Min.	Max	Moy.	Min.	Max	Moy.	Min.	Max
pH		8.2	8.2	8.2	7.8	7.1	8.7	8.0	7.5	8.5
Conductivité	µS/cm à 25°	253	235	282	218	142	268	173	146	190
Carbone organique total	mg C/L	3.99	3.30	4.37	2.71	1.94	2.91	1.45	1.34	1.55
Ammonium	mg N/L	0.018	0.013	0.023	0.201	0.037	0.939	0.062	0.020	0.103
Nitrite	mg N/L	nd	nd	nd	0.001	nd	0.002	0.002	0.001	0.002
Nitrate	mg N/L	0.123¹	0.050	0.240	nd	nd	nd	0.165	0.100	0.230
Azote total	mg N/L	0.49	0.40	0.61	0.60	0.37	1.49	0.415	0.380	0.450
Orthophosphate	µg P/L	nd	nd	nd	2	nd	8	< 5	< 5	< 5
Phosphore total	µg P/L	18	10	26	111	22	503	9	6	12
Chlorure	mg/L	10.27	10.03	10.43	1.11	0.50	1.89	nd	nd	nd
Fer fond	mg/L	0.23	0.02	0.35	1.5	0.2	4.0	1.2	0.3	2.0
Manganèse fond	mg/L	0.02	nd	0.02	0.18	0.10	0.30	0.9	0.4	1.4

1 Moyenne annuelle pondérée par le volume des couches d'eau.

2 Moyenne pondérée par le volume des couches d'eau sur le prélèvement de 2022.

3 Les valeurs individuelles mesurées oscillent entre non décelée (limite de détection de 0.1 mgN/L) et <LOQ (limite de quantification de 0.2 mgN/L). Le calcul utilise la moitié de la valeur de la limite de détection ou de la limite de quantification pour le calcul sur couche.

4 Moyenne annuelle sur toutes les profondeurs.

Tableau Bilan de santé 1 : Caractéristiques physico-chimiques des lacs entièrement sur territoire vaudois sur la dernière campagne de surveillance.

Une baisse significative du phosphore dans les lacs, bilan plus contrasté pour l'azote

En Suisse, comme dans de nombreux pays, des efforts considérables ont été déployés pour réduire les niveaux de phosphore dans les lacs afin de lutter contre l'eutrophisation, à partir des années 80, grâce à la construction de stations d'épuration, l'interdiction des phosphates dans les lessives (décrétée en 1986 par le Conseil Fédéral) et l'introduction, en 1997, des prestations écologiques requises (PER) pour l'agriculture.

Le saviez-vous ?



Les apports de phosphore dans les lacs proviennent de différentes sources :

- Des eaux usées traitées (STEP) ou déversées (réseaux) en milieu urbain
- Du ruissellement urbain lessivant les surfaces imperméables (déchets organiques et inorganiques)
- Des excédents d'engrais de ferme (lisier et fumier) et engrais chimiques, transférés par lessivage, et de l'érosion des sols agricoles
- De la décomposition de matière organique naturelle (débris végétaux)
- De dépôts atmosphériques

La concentration moyenne annuelle en phosphore total observée dans les grands lacs du canton (Figure 1) a généralement diminué au cours des dernières décennies. Lors de la dernière campagne de 2022, elle se situait à 14 µg/L pour le **lac de Joux**, 8 µg/L dans le **lac de Neuchâtel**, et 17 µg/L pour le Léman. Cependant, dans d'autres lacs, les concentrations restent plus élevées ou très variables. Par exemple, la concentration dans le **lac de Bret** varie entre 20 et 32 µg/L selon les années, et entre 10 et 33 µg/L dans le **lac de Morat**.

Ces grands lacs peuvent être classés selon des états trophiques allant de l'oligotrophe (lac de Neuchâtel) au méso-eutrophe (lacs de Bret et de Morat). Dans la plupart des cas, les concentrations de phosphore respectent les exigences de l'ordonnance de la protection des eaux (OEaux ; RS 814.201). Pour le Léman, les concentrations sont également proches des recommandations de la CIPEL.

Dans les lacs de plus petit volume mais possédant encore une profondeur importante (moyenne de 28 mètres sur les

lacs **Lioson** et **Chavonnes**), les concentrations de phosphore indiquent une eau faiblement contaminée par des apports anthropiques (entre 3 et 9 µg/L sur une moyenne estivale).

Le **lac de Bretaye**, dont la profondeur n'excède pas 10 m, accumule beaucoup de phosphore en raison de son faible volume d'eau et de sa situation dans une cuvette sans exutoire (valeur moyenne en phosphore de 111 µg/L lors de la dernière campagne réalisée en 2018).

Pendant les années d'eutrophisation (années 1960 – 1980), une partie du phosphore introduit dans les lacs s'est accumulée dans les sédiments du fond. Dans les lacs où l'oxygène est rare, ce phosphore est régulièrement libéré des sédiments chaque année, principalement du printemps à l'automne. Ce processus peut conduire à des concentrations élevées de phosphore total près du fond pendant certaines saisons, créant ainsi des écarts importants entre la surface et le fond. Par exemple, selon les dernières études, le lac de Bretaye présente la concentration la plus élevée en phosphore au fond (740 µgP/L). Pour certains autres lacs comme ceux de Joux, Brenet, Lioson et Chavonnes, on observe une réduction de cette différence, probablement due à la diminution des apports externes de phosphore et à une réduction progressive de la quantité de phosphore dans les sédiments.

En ce qui concerne **l'azote total**, les concentrations dans les lacs n'ont pas diminué autant que celles du phosphore au cours des dernières décennies. Le lac de Bret contient la concentration la plus élevée en azote total parmi les autres lacs (1.4 mg/L en 2022). Les sources principales d'apports d'azote dans les eaux sont les eaux usées et l'agriculture, responsables à plus de 80% des apports selon l'Office fédéral de l'environnement. Bien que l'azote ne soit pas généralement considéré comme une cause principale d'eutrophisation des lacs de plaine, un rapport élevé et non naturel entre les concentrations d'azote et de phosphore pourrait favoriser la prolifération de certaines cyanobactéries et avoir des répercussions sur toute la chaîne alimentaire (Knapp & Posch 2022).

Il existe également une légère différence entre les valeurs mesurées au fond des lacs par rapport à celles en surface, ce qui indique des processus de stockage et de relargage par les sédiments. Cependant, les charges d'azote sont significativement moindres que celles de phosphore en raison de la dénitrification, un processus naturel par lequel les bactéries transforment les nitrates en azote gazeux.

L'eutrophisation, c'est quoi ?

Les végétaux aquatiques se développent grâce à la lumière et aux éléments minéraux nutritifs (phosphore, azote) naturellement présents dans l'eau. Lorsque les nutriments se retrouvent en grande quantité, cela conduit à un enrichissement des lacs, ce qui amène à des proliférations d'algues et de cyanobactéries. On parle alors d'eutrophisation du milieu.

Lorsque ces grandes quantités d'algues et de cyanobactéries meurent, elles se déposent au fond du lac et sont décomposées par des microorganismes (bactéries, champignons). Ce processus consomme rapidement l'oxygène disponible, ce qui peut entraîner la mort des poissons et de la macrofaune benthique, tels que les vers et les larves d'insectes.

La trophie représente le degré de production algale du lac et peut être mesuré par différents paramètres, notamment la concentration en phosphore. Le lac est ainsi classé en : oligotrophe, mésotrophe, eutrophe et hypertrophe selon sa concentration croissante en nutriments.

Objectifs de qualité des lacs

4 mg/L = teneur minimale critique en oxygène dissous exigée par l'Annexe 2 de l'OEaux pour que les animaux sensibles tels que les vers puissent peupler le fond des lacs durant toute l'année.

De plus, l'OEaux exige qu'un lac possède au maximum un niveau moyen d'eutrophisation (état mésotrophe). Selon le système de classification trophique de l'OCDE¹, cela requiert, entre autres, une concentration de phosphore inférieure ou égale à **35 µg/L** (moyenne annuelle pondérée entre la surface et la couche profonde, Vollenweider & Kerekes 1982).

Pour le Léman, la CIPEL² recommande un objectif proche de **15 µg/L** de phosphore total pour permettre la production d'eau potable et un peuplement piscicole de qualité.

1 OCDE: Organisation pour la Coopération et le Développement Economique¹²
2 CIPEL: Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman¹²

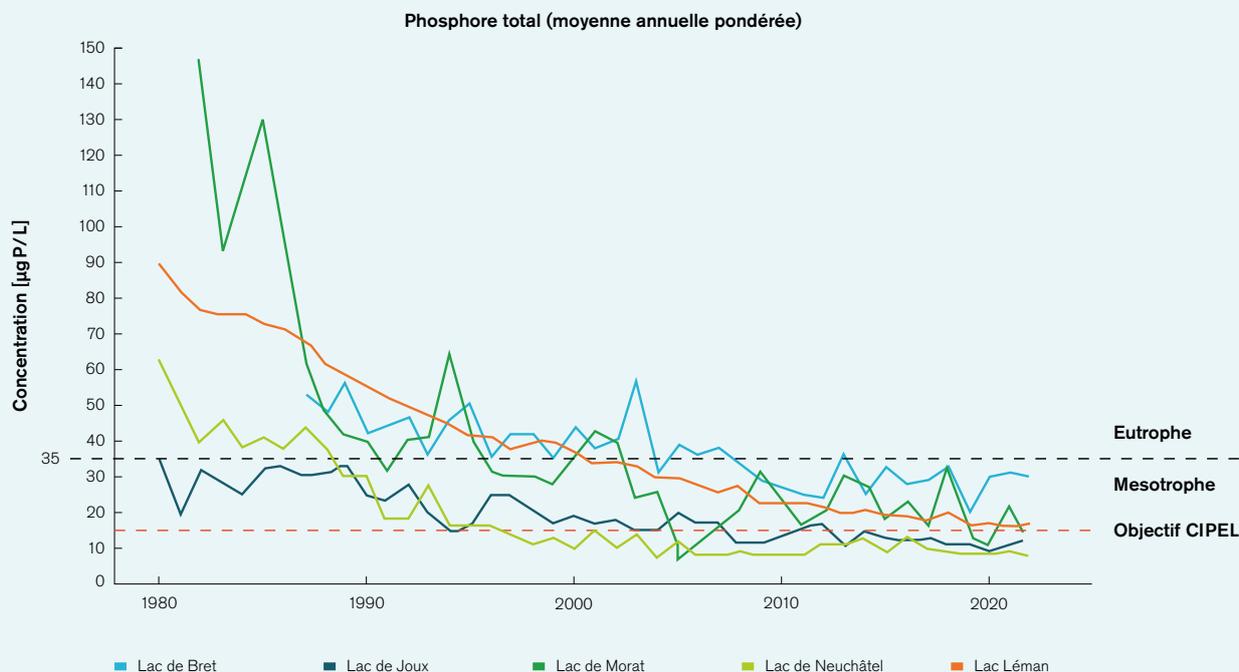


Figure Bilan de santé 1 : Evolution annuelle des concentrations en phosphore total dans les grands lacs du canton de Vaud et limitrophes, entre 1980 et 2022. La ligne en trait interrompu noire indique la limite entre eutrophie et mésotrophie (degré maximum d'eutrophisation acceptable selon l'OEaux). La ligne en trait interrompu rouge indique l'objectif de la CIPEL pour le Léman.

La chlorophylle : concentration stable à variable suivant les lacs

Les variations de chlorophylle-a (chl_a) dans les lacs sont intimement liées à leur état trophique, c'est-à-dire à leur niveau de production algale. La chlorophylle est un pigment vert essentiel à la photosynthèse des plantes aquatiques, y compris les algues. Ainsi, la concentration de chl_a dans un lac sert d'indicateur de mesure de la biomasse de phytoplancton et d'algues présentes, souvent influencée par la disponibilité des nutriments, notamment le phosphore.

Surveiller les concentrations de chl_a dans les lacs est crucial car cela offre des informations précieuses sur l'état écologique général et sur le degré d'eutrophisation. Des concentrations élevées de chl_a sont souvent associées à un état eutrophe ou hypertrophe, non conforme aux dispositions légales en matière de qualité des eaux.

En 2022, dans le Léman, le lac de Neuchâtel et le lac de Morat, les concentrations en chl_a mesurées entre 0 et 20 mètres de profondeur indiquent un état mésotrophe, conforme aux dispositions de l'OEaux (Figure 2). La relative stabilité de ces valeurs au cours des 20 dernières années peut sembler surprenante, surtout si l'on considère la diminution significative du

phosphore observée pendant la même période. Cette réduction du phosphore est parfois contrebalancée par une amélioration de la transparence de l'eau, permettant ainsi au phytoplancton de proliférer à des profondeurs accrues, passant par exemple de moins de 10 mètres à plus de 20 mètres. Il est également possible que la diminution du phosphore ait été partiellement compensée par les changements climatiques, notamment par une augmentation de l'ensoleillement et une prolongation de la période de stratification du lac.

Au cours des dix dernières années, les concentrations de chlorophylle mesurées entre 0 et 10 mètres de profondeur sur les lacs de Bret et Joux indiquent un état oscillant entre le stade mésotrophe et eutrophe. Dans le cas du lac de Joux, la biomasse du phytoplancton reste relativement élevée principalement en raison de la présence abondante de la cyanobactérie *Planktothrix spp.* Bien que moins abondante qu'auparavant, cette cyanobactérie persiste dans le lac car elle possède la capacité de se développer même avec une faible concentration en phosphore. Quant au lac de Bret, les concentrations de chl_a relativement élevées s'expliquent par le maintien de concentrations encore significatives de phosphore.

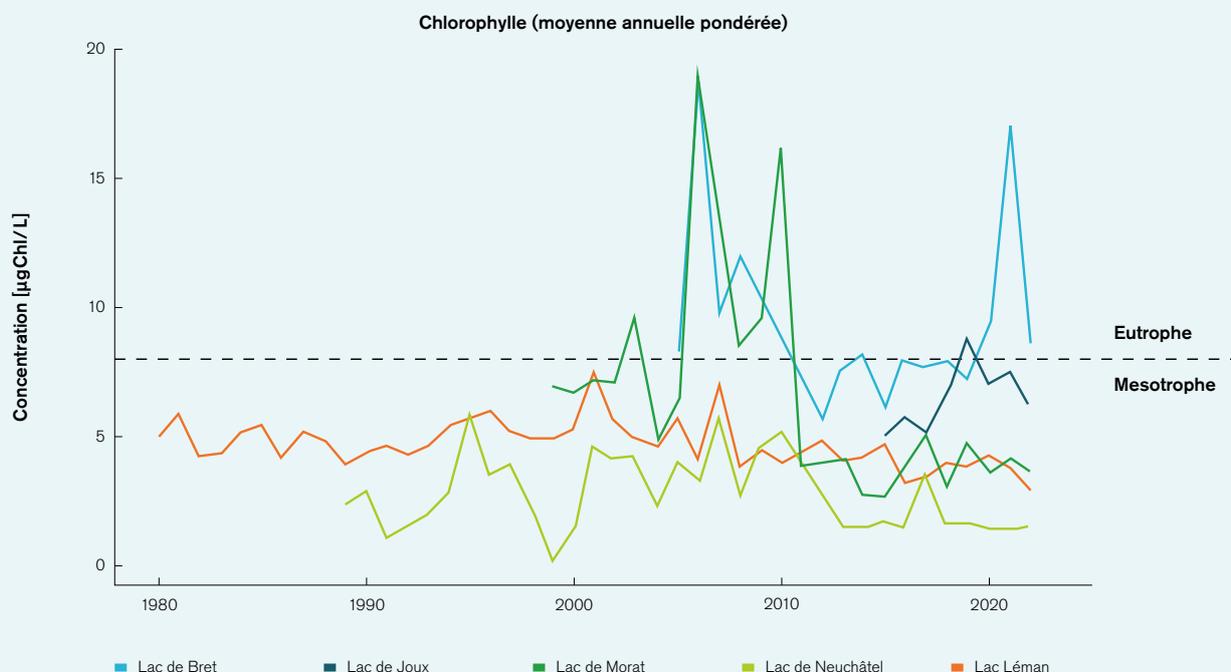


Figure Bilan de santé 2 : Evolution annuelle des concentrations en chlorophylle (indicateur de la biomasse du phytoplancton) dans les grands lacs du canton entre 1980 et 2022. La ligne en trait interrompu indique la limite entre eutrophie et mésotrophie (degré maximum d'eutrophisation acceptable selon l'OEaux).

Les chlorures : augmentation régulière des concentrations

Les chlorures sont naturellement présents dans les eaux à de faibles concentrations (2 à 4 mg/L). Les excès proviennent principalement d'activités humaines telles que le salage des routes, l'utilisation d'engrais agricoles, les précipitants provenant des stations d'épuration, ainsi que les rejets industriels. Depuis les années 1980, ces concentrations ont tendance à augmenter au fil du temps (Figure 3).

Dans le lac de Joux, par exemple, la concentration en chlorure a augmenté jusqu'en 2011 avant de diminuer et de se stabiliser autour de 10 mg/L. Depuis le début des relevés en 1980, cette concentration a doublé. Cette tendance est également observée dans d'autres lacs suisses où les concentrations en chlorures continuent d'augmenter.

Le lac de Morat présente la concentration la plus élevée en chlorure, approchant les 25 mg/L. Cette valeur dépasse la valeur seuil recommandée de 20 mg/L par l'EAWAG, principalement en raison de son volume d'eau plus restreint par rapport au Léman ou au lac de Neuchâtel.

Concernant le lac de Bret, des variations ont été observées au fil des années, mais la concentration moyenne observée en 2022 reste proche de celle enregistrée en 1987.

Les valeurs seuils pour les chlorures

En Suisse, il n'existe pas de limite légale spécifique pour les chlorures dans les eaux de surface. Les valeurs seuils varient considérablement à l'échelle internationale, allant de 50 à 230 mg/L selon les pays.

Pour les eaux souterraines utilisées à des fins de production d'eau potable, la Suisse impose un seuil maximal de 40 mg/L (OEaux, Annexe 2.2.22). L'EAWAG (Boller M. & Bryner A. 2016) recommande plutôt une valeur seuil de 20 mg/L pour l'eau potable en Suisse.

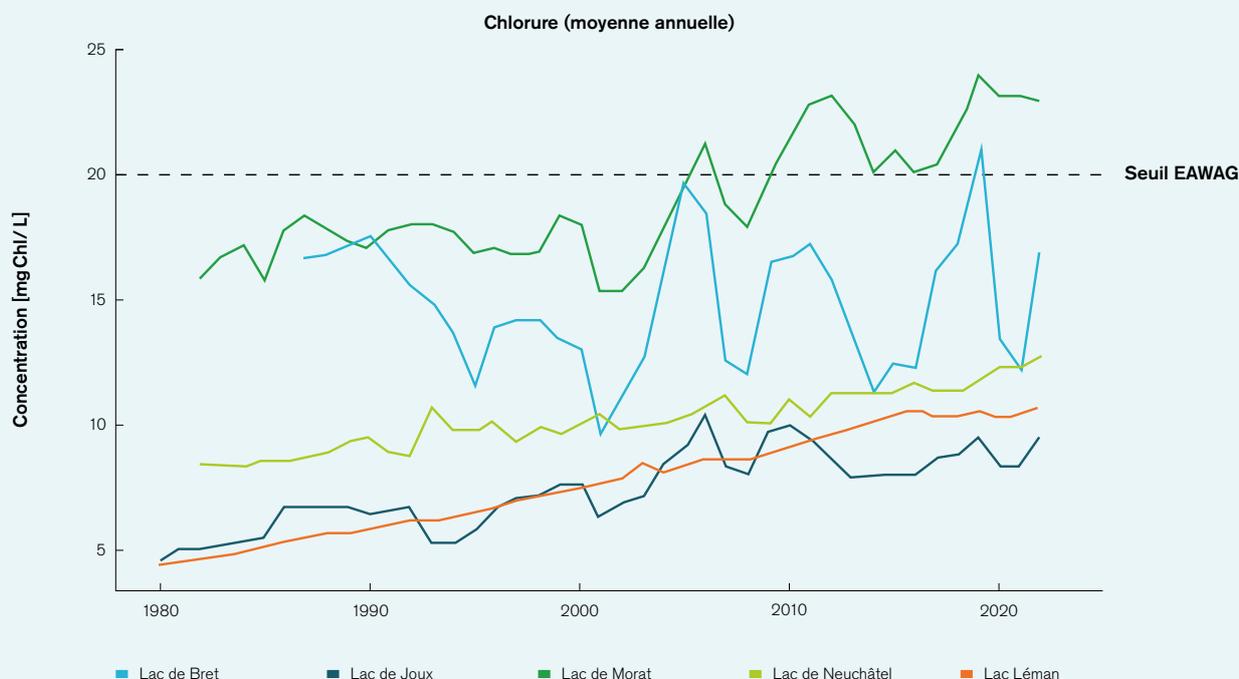


Figure Bilan de santé 3 : Evolution annuelle des concentrations en chlorures dans les grands lacs du canton de Vaud entre 1980 et 2022. La ligne en trait interrompu indique la concentration maximale pour l'eau potable recommandée par l'EAWAG.

Oxygénation des lacs : des déficits marqués dans les couches profondes des lacs

La qualité de l'oxygénation des couches profondes varie de bonne à insatisfaisante selon l'état trophique des lacs et leur profondeur. Dans le lac de Neuchâtel, classé comme oligotrophe, et dans le lac de Bretaye, dont la faible profondeur favorise l'oxygénation, l'oxygène est maintenu à un niveau considéré comme bon tout au long de l'année, respectant ainsi le seuil de 4 mg/L établi par l'OEaux.

En été, les mesures d'oxygène dans les couches profondes des lacs de Joux, Brenet et Bret montrent par contre souvent des valeurs inférieures au seuil de 4 mg/L (Figure 4). Cette situation reflète une production de biomasse algale encore trop importante qui s'explique probablement par une charge de phosphore excédentaire liée à des apports externes au lac (eaux usées, agriculture) et/ou à un relargage interne depuis les sédiments du lac.

Au niveau du lac Lioson, un déficit d'oxygénation est observé dès 20 m de profondeur de juin à novembre lors des périodes hors gel du fait de la limitation naturelle du mélange des eaux.

L'oxygénation en bref



L'apport d'oxygène depuis les eaux de surface riches en oxygène vers les couches d'eau profondes est crucial pour les organismes aquatiques.

Du printemps à l'automne, les lacs connaissent une stratification estivale où l'eau de la couche supérieure, chauffée par le soleil, reste largement séparée des couches inférieures plus fraîches, ce qui limite leur oxygénation. Ce n'est qu'à la fin de l'automne, lorsque l'air se refroidit et que la couche supérieure devient plus dense, qu'elle commence à descendre.

Cette circulation saisonnière parvient souvent à mélanger complètement les eaux des lacs. Ainsi, après plusieurs mois de séparation, de l'oxygène frais parvient dans les eaux profondes, permettant aux lacs de « respirer » à nouveau. Ce processus favorise également la remontée des nutriments vers la surface.

Le changement climatique menace les succès de la protection des eaux

Le réchauffement climatique prolonge les périodes de stratification estivale et diminue la profondeur du brassage des eaux, ce qui limite et retarde l'apport d'oxygène au fond des lacs.

En outre, l'augmentation des températures de l'eau pendant l'été a un impact sur les organismes aquatiques qui dépendent majoritairement d'une température fraîche pour leur survie.



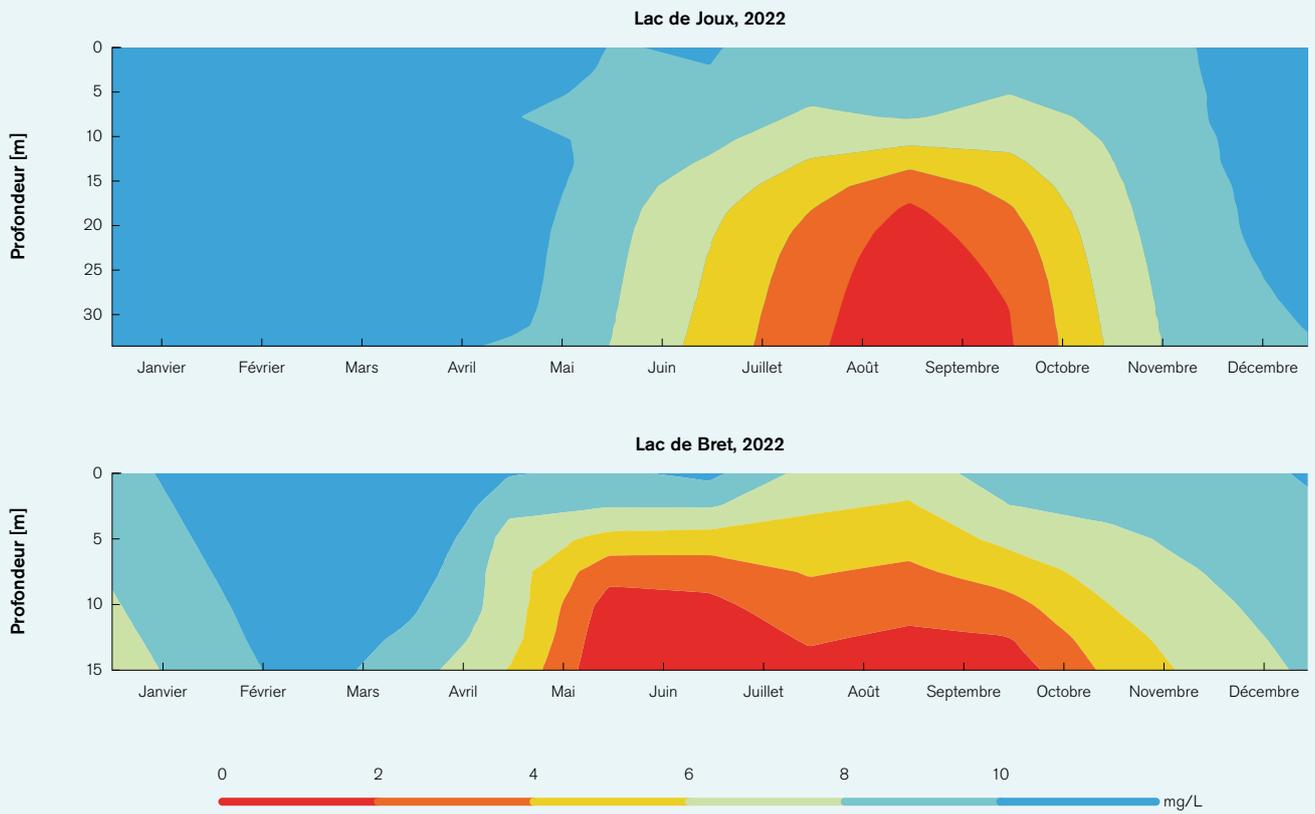


Figure Bilan de santé 4 : Evolution mensuelle des concentrations en oxygène dissous dans les lacs de Joux et de Bret en 2022. Les zones en rouge et orange, avec une oxygénation en dessous de 4 mg/L, montrent un déficit d'oxygénation par rapport à l'OEaux.



Le lac des Chavonnes, un fonctionnement très particulier !

Situé dans une cuvette fermée au sud par une falaise rocheuse, ce lac, dont la profondeur atteint 28 mètres, voit ses eaux s'infiltrer dans le milieu souterrain pour ressortir ensuite dans le ruisseau de la Forclaz.

Ce lac fonctionne naturellement comme un piège à sels minéraux et présente les caractéristiques d'un lac « méromictique », c'est à dire qu'il se comporte comme deux lacs distincts. Les eaux sont oxygénées et se mélangent saisonnièrement uniquement jusqu'à une profondeur d'environ 10 mètres.

En dessous, les concentrations élevées en sels forment une barrière chimique qui empêche tout mélange supplémentaire. Ces eaux sont pratiquement dépourvues d'oxygène dissous, ne permettant la vie qu'à des microorganismes comme les bactéries du soufre.

Ce lac subit des variations naturelles importantes de son niveau d'eau, avec des périodes de hautes eaux au début de l'été, consécutives à la fonte des neiges, et des périodes de basses eaux en automne. Ces fluctuations peuvent atteindre une amplitude de 8 à 9 mètres.





Lac Lioson

Conclusion

En résumé, depuis les années 1980, la qualité des lacs a montré une évolution contrastée selon les différents paramètres étudiés. Bien que les concentrations en phosphore aient généralement diminué, l'oxygénation des couches profondes de certains lacs demeure critique.

Cela peut être attribué à des concentrations encore élevées en nutriments dans les lacs méso-eutrophes, à un processus de rétablissement en cours pour ceux en convalescence, ainsi qu'à d'autres facteurs tels que le changement climatique.

En parallèle, d'autres problèmes hérités du passé comme la pollution par les chlorures sont en augmentation.

Pour restaurer pleinement la santé des lacs, des efforts continus seront nécessaires pour résoudre les problèmes existants et prévenir l'émergence de nouvelles formes de pollution.

Pour en savoir plus

Boller M. & Bryner A. 2016. *Questions fréquentes sur le salage des routes*. EAWAG.

Knapp, D. & Posch, T. 2022. *Modification des rapports entre l'azote et le phosphore dans les lacs – Conséquences possibles pour la structure des réseaux trophiques dans les lacs suisses*. Projet mandaté par l'Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. 65 pp.

OFEV. 2021. *Rapport de concentration entre l'azote (N) et le phosphore (P) dans les lacs suisses dans le contexte du postulat n° 15.3795 de la CEATE-N « État des lieux de la situation des lacs et cours d'eau de Suisse en matière de pêche »*. Élaboré à l'intention de la CEATE-N. Référence BAFU-447.42-2747. 6 pp.

OFEV. 2022. *Eaux suisses. État et mesures*. Office fédéral de l'environnement, Berne. *État de l'environnement n° 2207*: 93 pp.

Vollenweider, R.A. & Kerekes, J. 1982. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control. Report of the Cooperative Program on Eutrophication*. Organization for the Economic Development and Cooperation, Paris.