

Suivi de la qualité de l'eau des lacs de montagne du canton de Vaud

Guide méthodologique



Photo de couverture: Lac Lioson (DGE PRE)

Fabio Lepori, Nathalie Menétrey, Cécile Plagellat & Claude-Alain Jaquerod
Département de la jeunesse, de l'environnement et de la sécurité (DJES)
Direction Générale de l'Environnement (DGE)
Division Protection des eaux (PRE)
Ch. des Boveresses 155
1066 Epalinges

Citation :

Lepori, F., Menétrey, N., Plagellat, C., Jaquerod C-A (2025) Suivi de la qualité de l'eau des lacs de montagne du canton de Vaud. Direction générale de l'environnement, Division protection des eaux. Epalinges, 15 pp.

DOI : 10.5281/zenodo.17853813

Résumé – Suivi de la qualité de l'eau des lacs de montagnes du canton de Vaud

Ce rapport présente une méthode simplifiée pour le suivi de la qualité de l'eau des lacs de montagne du canton de Vaud. Inspirée des exigences légales suisses et du programme français 'Lacs Sentinelles', cette approche tient compte des contraintes logistiques propres aux milieux isolés, où un suivi régulier est difficile à mettre en œuvre.

Stratégie d'échantillonnage :

Le suivi est réalisé une fois par an, en septembre, à la fin de la stratification estivale, période durant laquelle la production biologique est souvent maximale et où les concentrations d'oxygène dans les eaux profondes sont généralement les plus faibles. Un unique point d'échantillonnage est sélectionné, à proximité du point le plus profond du lac, et, si possible, balisé par une bouée permanente.

Les mesures in situ comprennent :

- La transparence de l'eau (disque de Secchi), qui renseigne sur la clarté de l'eau,
- Un profil de sonde CTD : conductivité, température, profondeur, oxygène dissous,
- L'oxygène dissous près du fond, indicateur de conditions hypoxiques ou anoxiques.

L'enregistrement continu de la température à plusieurs profondeurs au moyen d'une chaîne de capteurs est recommandé lorsque cela est réalisable.

Les prélèvements d'eau comprennent :

- Un échantillon composite, prélevé à six profondeurs dans la zone euphotique,
- Un échantillon supplémentaire prélevé près du fond.

Les paramètres essentiels suivis en laboratoire :

- Le phosphore total (P_{tot}) et l'azote total (N_{tot}), nutriments clés de la productivité,
- La chlorophylle *a*, qui renseigne sur la biomasse phytoplanctonique,
- La conductivité et le pH, qui permettent de caractériser le type de lac.

Selon les activités et problématiques spécifiques du bassin versant, des analyses supplémentaires de composés azotés, de micropolluants organiques et inorganiques peuvent être effectuées. Des indicateurs biologiques complémentaires (composition du phytoplancton et du zooplancton, phycocyanine) peuvent également enrichir l'évaluation si nécessaire.

Classification de la qualité de l'eau :

La qualité de l'eau est évaluée à l'aide des seuils proposés par Nürnberg (1996), définissant les états trophiques (oligotrophe à hypertrophe) sur la base de la transparence et des concentrations de P_{tot}, N_{tot} et chlorophylle dans la zone euphotique. Les concentrations en phosphore et en oxygène près du fond sont également utilisées pour évaluer le risque de charge interne et l'oxygénation des couches profondes.

Il est proposé que les lacs de montagne conservent un état oligotrophe afin de respecter les exigences de l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux (communautés biologiques d'aspect naturel, production algale au maximum moyenne, bonne oxygénation des eaux). L'exigence selon laquelle l'oxygène dissous doit rester supérieur à 4 mg/L à toutes les profondeurs doit être interprétée en fonction des dynamiques naturelles d'oxygène dans l'hypolimnion, de la morphologie du lac et de son historique de pollution.

Recommandations et conclusion :

Jusqu'à présent, la plupart des suivis des lacs de montagne dans le canton de Vaud reposaient sur une approche intermédiaire, avec deux campagnes annuelles, plusieurs profondeurs d'échantillonnage et un grand nombre de paramètres analysés. À l'avenir, il est proposé d'adopter la méthode simplifiée décrite ici. Celle-ci permet de réduire significativement le nombre d'échantillons et d'analyses, tout en conservant une capacité suffisante pour évaluer la conformité des lacs aux normes de qualité de l'eau. Ce protocole permet un suivi environnemental à long terme, adapté aux capacités opérationnelles des services cantonaux, et assure une évaluation fiable de la conformité aux normes suisses de qualité des eaux.

1. Introduction

Dans un rapport précédent (Lepori et al. 2025), nous avons présenté une méthode d'évaluation de la qualité des eaux lacustres et de vérification de leur conformité aux exigences légales suisses, notamment l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201^a). Cette méthode est conçue pour des lacs bénéficiant de programmes de suivi limnologique bien établis, là où de tels programmes peuvent être mis en œuvre. Par exemple, elle prévoit un échantillonnage mensuel du lac et de ses affluents, au moins entre avril et octobre. Cette fréquence de suivi est réalisable pour les lacs de plaine facilement accessibles en voiture. À l'inverse, les lacs de montagne reculés, souvent accessibles uniquement par des routes étroites ou à pied, posent des défis logistiques importants. Même s'il est difficile d'y assurer un suivi intensif, leur qualité doit néanmoins être évaluée pour garantir le respect des normes environnementales.

Jusqu'à présent, le canton de Vaud a adopté une approche de suivi de moyenne intensité pour les lacs de montagne, ce qui implique des efforts (travail de terrain, analyse au laboratoire) et des coûts non négligeables, comprenant :

- Deux campagnes de prélèvements par an, généralement en juin et septembre/octobre tous les 1 à 10 ans suivant les lacs ;
- Des échantillonnages à intervalles fixes, par exemple tous les 2.5 mètres de la surface au fond ;
- Un large éventail de paramètres chimiques, souvent autour de 20, selon les années.

Ce rapport propose un cadre simplifié et optimisé en termes de ressources investies pour le suivi de ces lacs moins accessibles. Le cadre inclut des recommandations sur les protocoles d'échantillonnage, le choix des paramètres et les seuils d'évaluation, en cohérence avec les objectifs suisses de protection des eaux.

2. Stratégie et méthodes d'échantillonnage

Les lacs sont généralement classés en deux catégories : peu profonds et profonds (Scheffer 1998). Les lacs peu profonds ne présentent pas de stratification thermique stable et peuvent abriter des macrophytes sur une grande partie de leur surface. En revanche, les lacs profonds sont caractérisés par une période de stratification stable, généralement du printemps à l'automne, et possèdent une zone centrale dépourvue de macrophytes. Bien que les lacs profonds aient souvent une profondeur moyenne

^aConseil fédéral suisse (2011). Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), RS 814.201. Disponible sur : https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/fr

supérieure à 3 mètres, la présence d'une stratification stable constitue un critère de distinction plus important que la profondeur. La stratégie d'échantillonnage dépendra du type de lac, qu'il soit profond ou peu profond.

Lacs profonds

Ils représentent la catégorie de lacs la plus commune suivis par les administrations cantonales. Nous recommandons pour ce type de lacs d'adopter la stratégie d'échantillonnage et les protocoles développés par le réseau français « Lacs Sentinelles ». Cette stratégie repose sur un seul prélèvement réalisé en septembre, vers la fin de la période de stratification, au moment où la production primaire atteint souvent son maximum annuel et où les teneurs en oxygène dans les eaux profondes sont proches de leur minimum.

L'échantillonnage est effectué depuis une petite embarcation, à un point unique situé près du point le plus profond du lac. Dans la mesure du possible, cette station devrait être balisée par une bouée permanente. L'échantillonnage comprend les opérations suivantes :

- Mesure de la transparence de l'eau à l'aide d'un disque de Secchi ;
- Enregistrement d'un profil de sonde CTD *in situ*. Les paramètres à mesurer avec la sonde comprennent au minimum la conductivité, la température, la profondeur et l'oxygène dissous (voir Paragraphe 3) ;
- Prélèvement d'échantillons d'eau en vue d'analyses chimiques en laboratoire. Les paramètres à mesurer au laboratoire comprennent au minimum le phosphore total, l'azote total, la chlorophylle *a*, la conductivité et le pH (voir Paragraphe 3).

Les échantillons d'eau sont prélevés à six profondeurs réparties dans la zone euphotique, puis combinés sur le terrain pour former un échantillon composite unique.

Ces profondeurs correspondent normalement à celles de la surface, puis à 0.25, 0.5, 1, 2 et 2.5 fois la profondeur de Secchi. Exception : si la valeur obtenue en multipliant la profondeur de Secchi par 2.5 est supérieure ou égale à la profondeur maximale du lac (P_{\max}) réduite de 2m, les six profondeurs utilisées sont alors : surface, $0.25 \times (P_{\max}/2)$, $0.5 \times (P_{\max}/2)$, $P_{\max}/2$, $1.5 \times (P_{\max}/2)$ et $P_{\max} - 2$ m, afin de rester au-dessus du fond^b.

^b Par exemple, si la profondeur de Secchi est de 5 m et la profondeur maximale du lac est de 30 m, les six profondeurs seront : surface, 1.25 m, 2.5 m, 5 m, 10 m et 12.5 m. En revanche, si la profondeur de Secchi est de 5 m, mais la profondeur maximale du lac n'est que de 9 m, les six profondeurs deviennent : surface, 1.1 m, 2.3 m, 4.5 m, 6.8 m et 7 m.



**Direction générale
de l'environnement (DGE)**

Protection des eaux

Ch. des Boveresses 155
Case postale 33
1066 Epalinges

Un échantillon supplémentaire, distinct, est prélevé à proximité du fond (un mètre au-dessus du fond, pour rester cohérent avec les campagnes précédentes menées dans le canton de Vaud).

Le conditionnement des prélèvements sur le terrain (choix des flacons de stockage, filtration éventuelle, étiquetage, etc.) doit respecter la procédure standard du laboratoire et n'est pas détaillé dans ce document. Les échantillons doivent être conservés au frais et protégés de la lumière, en les plaçant immédiatement après leur prélèvement dans une glacière contenant des pains de glace.

La mesure de la conductivité en laboratoire est facultative si elle a déjà été réalisée in situ, mais elle est généralement effectuée de routine en même temps que le pH.

Lorsque cela est possible, un suivi thermique continu est également assuré à l'aide d'une chaîne de capteurs de température. Il convient d'installer au minimum deux capteurs : l'un positionné à 2 m de profondeur, l'autre à 2 m au-dessus du fond du lac. Toutefois, l'installation d'une chaîne de plusieurs capteurs, accompagnée d'un capteur de pression, est recommandée. Dans ce cas, la distance entre les enregistreurs devrait être inférieure à 5 m (par exemple 2–3 m dans les lacs jusqu'à environ 30 m de profondeur), en particulier dans les couches superficielles (épilimnion et métalimnion).

Dans les lacs profonds, un nombre réduit de capteurs peut être déployé dans les eaux profondes (hypolimnion).

Les protocoles détaillés sont disponibles sur le site du programme Lacs Sentinelles (<https://www.lacs-sentinelles.org>).

Lacs peu profonds

Ils sont définis comme des étangs dont la profondeur est généralement inférieure à 1–2 m et dont la surface est inférieure à 1–2 hectares. Pour ce type de lacs, il est recommandé de prélever un échantillon à 0.3 m de profondeur depuis la rive. Il est toutefois préférable de réaliser ce prélèvement en au moins trois points différents autour de la rive et de combiner ces échantillons pour obtenir un échantillon composite représentatif. Les lacs de 2 à 8 m de profondeur nécessitent une stratégie adaptée au cas par cas. Dans ces situations, seules les analyses chimiques sont possibles, les profils CTD et la profondeur Secchi ne pouvant être réalisés. Des méthodes alternatives pour mesurer la transparence et l'oxygène devront être envisagées si ces lacs peu profonds sont intégrés au suivi.

Tableau 1. Paramètres physiques, chimiques et biologiques essentiels pour le suivi des lacs de montagne.

Paramètre	Justification
Phosphore total (P _{tot})	Le phosphore est généralement le nutriment limitant dans les lacs et conditionne la productivité et l'état trophique (l'azote pouvant aussi être limitant ou co-limitant). Le phosphore total est préféré à l'orthophosphate (PO ₄ -P), trop variable à court terme et souvent inférieur aux limites de quantification dans les lacs oligotrophes. La disponibilité en phosphore dans la zone euphotique influence probablement la production, tandis que des concentrations élevées près du fond peuvent révéler une charge interne importante, utile pour guider les stratégies de restauration.
Azote total (N _{tot})	Représente le pool total d'azote ; l'azote peut limiter ou co-limiter la production primaire dans les lacs de montagne.
Chlorophylle a (CHL)	Indicateur de la biomasse phytoplanctonique, non affecté par la turbidité non-algale. C'est un indicateur clé du statut trophique et de l'eutrophisation.
Profondeur de Secchi (SECCHI)	Indicateur indirect de la biomasse phytoplanctonique, largement utilisé dans les schémas de classification trophique. Son interprétation nécessite de la prudence dans les lacs humiques ou influencés par les glaciers, où la turbidité non-algale est élevée.
Oxygène dissous (O ₂)	Indicateur du statut en oxygène du lac, essentiel pour la vie aquatique. Les concentrations près du fond sont critiques pour détecter l'hypoxie (mesure près du fond < 4 mg/L) ou l'anoxie (< 1 mg/L).
Conductivité, pH, Température	Utilisés pour caractériser le type de lac (alcalin ou acide, eaux froides ou chaudes) et pour évaluer les changements environnementaux (par exemple, les effets du climat). Ces paramètres ne sont pas directement utilisés pour la classification trophique.

3. Paramètres de surveillance

La sélection des paramètres de surveillance proposée tient compte des contraintes pratiques liées aux méthodes d'échantillonnage (Paragraphe 2) ainsi que de la disponibilité de seuils appropriés pour la classification de la qualité de l'eau (Paragraphe 4). Les paramètres sont répartis entre ceux considérés comme essentiels et ceux qui peuvent être ajoutés en fonction des objectifs de suivi et des ressources disponibles. Les paramètres et leurs justifications sont résumés dans les Tableaux 1/2.

Tableau 2. Paramètres biologiques complémentaires utiles pour le suivi des lacs de montagne.

Paramètre	Justification
Micropolluants	Les micropolluants peuvent atteindre des lacs reculés par déposition atmosphérique (ex. pesticides, produits chimiques industriels), activités touristiques et récréatives (ex. crème solaires, médicaments), ainsi que par transport à longue distance. Leur surveillance permet d'évaluer la conformité aux normes réglementaires et d'anticiper des effets potentiels sur la vie aquatique (ex. perturbations endocriniennes chez les poissons, modifications des communautés microbiennes).
Composées azotés	Certaines formes d'azote (par exemple, le nitrite et l'ammonium) sont plus toxiques pour la vie aquatique à faibles concentrations, tandis que d'autres (comme le nitrate) sont moins directement nocives mais contribuent à l'eutrophisation. Connaître les concentrations des différentes espèces permet d'effectuer une évaluation ciblée des risques.
Composition du phytoplancton	Bien que la composition en espèces soit très variable dans l'espace et dans le temps, certains composants tels que la proportion de cyanobactéries et d'algues vertes sont relativement prévisibles et peuvent servir d'indicateurs d'état trophique.
Phycocyanine	Indicateur de la biomasse des cyanobactéries, renseigne sur le statut trophique et permet d'anticiper d'éventuels problèmes de toxicité.
Composition et biomasse du zooplancton	La biomasse du zooplancton permet de calculer un ratio zooplancton/chlorophylle (ZOO:CHL), qui renseigne sur la structure trophique corrélée à la qualité (un ratio élevé indique souvent un bon état). Parmi le zooplancton, une forte proportion de cladocères de grande taille fournit une indication similaire.

Les paramètres chimiques essentiels sont les concentrations de phosphore total (P_{tot}), d'azote total (N_{tot}) et de chlorophylle a (Chl a) dans la couche euphotique, ainsi que les concentrations en oxygène dissous (O₂) et phosphore total près du fond (Tableau 1 ; Moss et al. 2003 ; Nürnberg 1996). Pour simplifier les références dans ce document, ces paramètres sont abrégés utilisant des acronymes qui combinent le nom du paramètre, la couche d'échantillonnage (ZE : zone euphotique ; Fond : fond), et le timing du prélèvement (STRAT pour indiquer le prélèvement durant la stratification). Ces abréviations sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Abréviations utilisées pour indiquer les paramètres de qualité de l'eau dans ce document.

Acronyme	Définition
Ptot_ZE_STRAT	Phosphore total dans la couche photique durant la stratification
Ptot_Fond_STRAT	Phosphore total près du fond durant la stratification
Ntot_ZE_STRAT	Azote total dans la couche photique durant la stratification
CHL_ZE_STRAT	Chlorophylle a dans la couche photique durant la stratification
SECCHI_STRAT	Profondeur de Secchi durant la stratification
O2_Fond_STRAT	Oxygène dissous près du fond

4. Seuils pour la classification de la qualité de l'eau

Les critères de qualité de l'eau proposés pour les nutriments, la chlorophylle et la transparence (Tableau 4) reposent principalement sur la classification trophique de Nürnberg (1996), préférée à celle de l'OCDE (1982) car elle se réfère aux concentrations dans l'épilimnion en été. Nos analyses montrent que ces concentrations sont comparables à celles de la couche euphotique dans les lacs de montagne suivis par le canton de Vaud (données non présentées).

Les seuils du Tableau 4 permettent de classer l'état trophique d'un lac. Dans le Tableau 5, nous suggérons des équivalences entre états trophiques et des catégories de qualité de l'eau alignées avec les exigences suisses (OEaux) et européennes (DCE : Directive 2000/60/CE¹).

Si la transparence (SECCHI) indique un état plus dégradé que la chlorophylle a (CHL), nous suggérons de privilégier l'utilisation de la CHL, car la mesure du SECCHI est également influencée par d'autres facteurs que la pollution (Tableau 1). En cas de résultats non concordants entre la CHL, le phosphore total (Ptot) et l'azote total (Ntot), nous recommandons de baser l'évaluation sur les paramètres les plus défavorables, conformément à l'approche utilisée pour l'évaluation de la qualité chimique des cours d'eau suisses (Liechti 2010).

¹Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Disponible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060>

Tableau 4. Limites proposées pour classer l'état trophique des lacs (d'après Nürnberg 1996). Les valeurs en gras indiquent les seuils entre les conditions oligotrophes et mésotrophes et peuvent servir d'objectifs (valeurs à ne pas dépasser) pour que la qualité de l'eau soit conforme à l'OEaux.

Paramètres		Oligotrophe- Mésotrophe (o-m)	Mésotrophe- Eutrophe (m-e)	Eutrophe- Hypertrophe (e-h)
Ptot_ZE_STRAT	µg/L	10	30	100
Ntot_ZE_STRAT	mg/L	0.39	0.67	1.21
CHL_ZE_STRAT	µg/L	3.5	9	25
SECCHI_STRAT	m	3.3	1.8	0.9

Tableau 5. Équivalences suggérées entre états trophiques et catégories de qualité de l'eau.

État trophique	Qualité de l'eau
Oligotrophe	Bon
Mésotrophe	Moyen
Eutrophe	Mauvais
Hypertrophe	Très mauvais

Tableau 6. Relation suggérée entre la concentration en phosphore près du fond (période de stratification) et le risque de charge interne en phosphore. Source : Huser et al. (2023).

Risque de charge interne en P	Concentration totale en phosphore (µg/L) en fin d'été près du fond au point le plus profond
Très faible	< 25
Faible	25–50
Modéré	51–100
Important	101–200
Très important	> 200

Enfin, les concentrations en phosphore dans les eaux profondes vers la fin de la période de stratification, indiquées par le paramètre $P_{tot_Fond_STRAT}$, reflètent le risque de charge interne en phosphore. Nous suggérons que ce risque soit également intégré dans l'évaluation de la qualité de l'eau. $P_{tot_Fond_STRAT}$ peut être traduit en risque de charge interne et en classe de qualité selon le Tableau 6, extrait de Huser et al. (2023).

5. Seuils pour évaluer la conformité aux exigences légales

Selon l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), les écosystèmes aquatiques doivent héberger des communautés biologiques caractéristiques de milieux peu ou pas pollués. La production primaire ne doit pas dépasser un niveau moyen (mésotrophe) et la concentration en oxygène dissous ne doit jamais descendre en dessous de 4 mg/L, y compris dans les couches profondes, sauf en présence de conditions naturelles particulières.

Dans ce contexte, il est proposé que l'état oligotrophe constitue la seule condition garantissant le respect de l'ensemble de ces exigences pour les lacs de montagne. En effet, dans les lacs naturellement pauvres en nutriments, des conditions mésotrophes entraînent déjà des perturbations au sein des communautés biologiques (phytoplancton : Baron et al., 2011 ; phytobenthos : Lepori & Tolotti, 2023). De plus, dans les petits lacs peu profonds, caractérisés par un hypolimnion peu épais (par exemple < 5 m), seule une production primaire faible permet d'éviter l'hypoxie en fin de période de stratification (Müller et al., 2019). L'état oligotrophe joue en quelque sorte un rôle de condition-cadre : lorsqu'il est présent, il assure de facto le respect des critères de qualité biologiques, physiques et chimiques. La limite entre les états oligotrophe et mésotrophe, telle que définie par Nürnberg (1996), est donc proposée comme seuil de conformité.

La conformité au critère de l'OEaux concernant l'oxygène dissous (minimum 4 mg/L) peut être évaluée à l'aide du paramètre O_2_Fond (conformité : $O_2_Fond > 4$ mg/L). Toutefois, une diminution naturelle de l'oxygène dans l'hypolimnion peut survenir dans certains types de lacs, notamment :

- Les lacs méromictiques ou oligomictiques, en raison d'un brassage limité ;
- Les petits lacs dystrophiques ou entourés de forêts feuillues, en raison d'un apport important en matière organique ;
- Les lacs de haute montagne, souvent gelés une grande partie de l'année (par exemple de novembre à juin), en raison de la stratification hivernale.

Par ailleurs, une forte consommation d'oxygène par les sédiments peut résulter d'un héritage de pollution ancienne (par exemple, des charges historiques en nutriments) et ne reflète pas nécessairement la qualité actuelle de l'eau.

Ainsi, l'application du critère d'oxygène doit être contextualisée, en tenant compte :

- Du type de lac ;
- De son régime de brassage ;
- Et de son historique de pollution.

En résumé, le critère de 4 mg/L d'oxygène dissous doit être interprété avec prudence, car des conditions hypoxiques peuvent être d'origine naturelle.

6. Contraintes et priorisations

Deux contraintes actuellement sont limitantes pour permettre une intensification des suivis des lacs de montagnes : terrain et laboratoire.

Au niveau du terrain, il est nécessaire de planifier des lacs de montagnes proches pour les effectuer le même jour et ainsi éviter des déplacements énergivores. Une priorisation pour rajouter éventuellement d'autres lacs dans le suivi sera effectué en collaboration avec l'OFCO¹ et la DIRNA², par exemple pour favoriser des lacs connectés à des réservoirs d'eau potable.

Concernant le laboratoire, la contrainte actuelle est l'heure et le jour de la dépose des échantillons. Les échantillons doivent arriver en début d'après-midi et le vendredi pas d'échantillon l'après-midi. Ces contraintes sont liées aux durées de conservation des échantillons limitées pour certains paramètres comme l'ammonium, le nitrite et la chlorophylle qui ne sont pas stables. Ces contraintes pourraient être levées totalement si les mesures de chlorophylle étaient à l'avenir effectuées uniquement par sonde in-situ. Il est possible d'amener des échantillons le vendredi avant 14h00 s'il y a juste la filtration pour la chlorophylle qui doit être effectuée le jour même.

7. Conclusion

Afin d'améliorer l'efficacité du suivi de la qualité de l'eau des lacs, nous proposons d'adopter une méthode simplifiée, telle que décrite dans cette note. Cette approche permet de réduire significativement le nombre d'échantillons et de paramètres à analyser, tout en conservant la capacité d'évaluer la conformité des lacs aux normes légales en vigueur, objectif principal des suivis cantonaux.

Ce cadre est principalement destiné aux campagnes de suivi de routine. Pour les lacs présentant des problématiques spécifiques (par exemple, des efflorescences

¹Office de la consommation (OFCO) de l'Etat de Vaud

²Direction des ressources et du patrimoine naturels (DGE-DIRNA)

d'algues ou de cyanobactéries), des stratégies de suivi ciblées et adaptées devront être mises en œuvre.

Par ailleurs, ce cadre pourrait être complété par des analyses d'autres composantes de la qualité du milieu, telles que des indices de biodiversité et des éléments relatifs à la qualité morphologique des rives. Cela permettrait d'élargir l'évaluation vers une approche plus intégrée de la qualité écologique globale du lac.

8. Remerciements

Nous remercions la Prof. Marie-Elodie Perga (Université de Lausanne) pour ses commentaires sur une version précédente de ce rapport.

9. Références

- Baron, J.S., C.T. Driscoll, J.L. Stoddard, and E.E. Richer. 2011. Empirical critical loads of atmospheric nitrogen deposition for nutrient enrichment and acidification of sensitive US lakes. *BioScience* 61: 602–13. doi:10.1525/bio.2011.61.8.6.
- Huser B., Malmaeus M., Karlsson M., Almstrand R. and Ernst Witter E. 2023. Handbook – a decision support tool for measures against internal phosphorus loading in lakes. Published: March 2023, version 1.0 Developed within LIFE IP Rich Waters with the support of the European Union. <https://www.richwaters.se/wp-content/uploads/Handbook-for-measures-against-internal-loading-2.pdf>
- Lepori, F., & Tolotti, M. (2023). Effects of nitrogen on benthic diatom assemblages in high-elevation central and eastern alpine lakes. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 55(1). <https://doi.org/10.1080/15230430.2023.2270821>
- Lepori, F., Bridel, D., Marle, P., Plagellat, C., & Menétrey, N. (2025). Evaluation de la qualité de l'eau des lacs : Proposition d'une méthode appliquée au lac de Joux (Canton de Vaud). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15303985>
- Liechti, P. 2010 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. L'environnement pratique n°1005. Office fédéral de l'environnement, Berne. 44 p.
- Moss B, Stephen D, Alvarez C, Becares E, Bund WV, Collings SE, Donk EV, Eyto ED, Feldmann T, Fernández-Aláez C, Fernández-Aláez M. The determination of ecological status in shallow lakes—a tested system (ECOFAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2003 Nov;13(6): 507-49.
- Müller, B., Steinsberger, T., Schwefel, R. et al. Oxygen consumption in seasonally stratified lakes decreases only below a marginal phosphorus threshold. *Sci Rep* 9, 18054 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54486-3>.
- Nürnberg, G. K. (1996). Trophic state of clear and colored, soft-and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12(4), 432-447.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) 1982. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment, and Control*. OECD, Paris. 154 pp.
- Scheffer, M. (1998). *Ecology of shallow lakes* (Vol. 1). Chapman & Hall.

Annexe 1. Harmonisation des séries historiques avec les nouveaux protocoles

Afin de garantir l'homogénéité temporelle entre les résultats issus du nouveau cadre simplifié et les données historiques, nous proposons de recalculer, pour chaque lac de montagne suivi par le canton de Vaud, les paramètres suivants :

- Ptot_ZE_STRAT
- Ntot_ZE_STRAT
- O2_Fond_STRAT

Ces paramètres seront dérivés à partir des données historiques existantes (les valeurs de SECCHI_STRAT et O2_Fond_STRAT demeurent inchangées). Seules les campagnes estivales et automnales (juillet à octobre) seront prises en compte.

Les concentrations Ptot_ZE_STRAT et Ntot_ZE_STRAT seront estimées à partir :

- De la profondeur de la couche euphotique, définie comme : $ZE = 2.5 \times$ profondeur Secchi, nœuds comprises dans cette couche.

Une interpolation linéaire des concentrations entre les points mesurés dans la ZE pourra être appliquée pour améliorer la précision des estimations.

- Pour assurer la comparabilité des données, il est indispensable que le lac soit stratifié au moment de l'échantillonnage. Cette condition se

Des concentrations de Ptot et Ntot mesurées aux différentes profondeurs sera vérifiée à partir de l'analyse des profils de température. Un lac sera considéré comme destratifié si la différence de température entre la surface et le fond est inférieure à 1 °C. Les mesures réalisées dans ces conditions de destratification ne seront pas utilisées pour les comparaisons temporelles.