



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

Un indicateur de l'état physique des lacs

Nathalie REYNAUD^{1,3}, Héctor RODRIGUEZ-PEREZ^{2,3}, Hadrien FANTON^{1,3}, Christine ARGILLIER^{1,3}

1 INRAE, Aix Marseille Université, RECOVER, 13182, Aix-en-Provence, France.

2 OFB, DRAS, Service EcoAqua, Aix-en-Provence, France.

3 Pôle R&D ECLA, France

Correspondance : Nathalie REYNAUD, nathalie.reynaud@inrae.fr

Développé sous l'impulsion de la directive cadre sur l'eau, l'indice LHYMO s'appuie sur des données de suivis in situ protocolés, enrichies d'informations à différentes échelles spatiales, pour quantifier le degré d'altération des caractéristiques hydromorphologiques des lacs. Grâce à cette méthode, la France dispose aujourd'hui d'une cartographie nationale harmonisée de l'état hydromorphologique de ses lacs, définie au travers de quinze métriques d'évaluation. Si l'influence des métriques sélectionnées sur les communautés est par ailleurs confirmée, celle-ci devra encore être précisée en vue d'affiner la sensibilité biologique de l'indice LHYMO.

Introduction

Si la santé d'un écosystème se mesure fréquemment au travers de la diversité biologique qu'il abrite, il est néanmoins essentiel de s'intéresser également aux facteurs de forçage, naturels mais aussi d'origine humaine, qui conditionnent cette biodiversité. Ainsi, l'évaluation de l'état écologique des lacs au sens de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) dépend non seulement des communautés biologiques et des conditions physico-chimiques, mais également des paramètres et processus physiques qui le structurent et sont désignés sous le terme « d'hydromorphologie ». À ce titre, le contexte réglementaire impose que des opérations de surveillance et d'évaluation de la qualité hydromorphologique des lacs soient mises en œuvre, *a minima* sur les plans d'eau de plus de cinquante hectares.

Il est par ailleurs communément admis que les altérations hydromorphologiques, fortement influencées par les activités humaines, représentent l'une des catégories de pression qui touchent le plus les milieux aquatiques en Europe (European Environment Agency, 2024), avec des impacts majeurs sur leur fonctionnement écologique. Complémentairement aux obligations réglementaires, il apparaît donc indispensable de recenser ces altérations et de les quantifier, afin d'en mesurer l'ampleur et de pouvoir prendre des mesures adaptées de préservation et/ou de restauration des milieux et de leur biodiversité. Dès sa création en 2010, le Pôle R&D ECLA (Pôle Recherche & Développement Écosystèmes Lacustres)¹

s'est emparé de ces questions en vue de répondre aux attentes de l'Europe. Ce contexte et les opportunités offertes en termes de recherche, ont par ailleurs largement contribué à améliorer les connaissances globales sur l'hydromorphologie lacustre en France, qui continuent aujourd'hui d'alimenter des projets visant à mieux comprendre son rôle sur le fonctionnement des lacs et les communautés biologiques qu'ils hébergent.

De la description physique des lacs...

À la suite des premiers travaux de recherche bibliographique, visant à faire le point sur les méthodes de caractérisation de l'hydromorphologie des lacs et à identifier les principales relations connues entre hydromorphologie et bioindicateurs lacustres (de Bortoli et Argillier, 2006), le Pôle R&D ECLA était mis en relation par l'intermédiaire des Agences de l'eau avec un groupe de travail européen promouvant l'application de la méthode dite du « *Lake Habitat Survey* » (LHS; Rowan *et al.*, 2006) en vue de sa normalisation. Cette méthode, dédiée à la caractérisation de la morphologie des zones littorales lacustres, a été appliquée assez largement en Europe y compris en France, ce qui a permis d'en identifier les forces et les faiblesses. Bien qu'intéressante de par certains critères utilisés pour décrire les habitats littoraux et leur altération, ainsi que par les indices proposés, elle s'est avérée plutôt lourde à mettre en œuvre et susceptible de produire des résultats très variables selon les opérateurs. De plus, la méthode repose sur une description

1. <https://poleecla.fr/>

parcellaire avec une caractérisation fine de seulement quelques zones autour du lac et ne donne donc qu'une vision partielle, parfois même erronée (notamment sur les grands lacs) de la qualité et de la diversité des habitats. Par ailleurs, il s'est avéré que le lien entre les indices proposés par le LHS et les communautés de poissons était difficile à établir (Rebière *et al.*, 2013). Ainsi, afin de collecter les données les plus fiables possible sur tout le pourtour des lacs sans trop accroître le temps d'échantillonnage *in situ*, une suite de nouvelles méthodes, combinant observations de terrain et procédures de traitements géomatiques, a été développée pour déterminer les caractéristiques hydromorphologiques à différentes échelles spatiales. Les protocoles dénommés Charli et Alber, normalisés AFNOR en 2017, visent respectivement à décrire les habitats des rives et du littoral et l'altération des berges, alors que les protocoles Corila et Bavela s'intéressent aux caractéristiques des corridors rivulaires et du bassin versant susceptibles d'induire des altérations du fonctionnement hydromorphologique (Argillier *et al.*, 2021). Ces méthodes ont commencé à être introduites dans les procédures de suivi en routine en 2012, préalablement à leur intégration à l'arrêt de surveillance en application de la DCE l'année suivante. Les données de qualité collectées au travers de ces différents protocoles constituent les données d'entrées majoritaires pour le calcul de l'indice de caractérisation de l'hydromorphologie lacustre qui fut développé par la suite.

... à l'évaluation de l'état hydromorphologique...

Une démarche heuristique pragmatique

Jusqu'au milieu des années 2010, aucune méthode publiée n'avait encore pu démontrer son aptitude à répondre entièrement aux exigences de la DCE. L'urgence réglementaire et les attentes opérationnelles ont donc précipité les premiers pas en vue du développement d'un outil d'évaluation national de l'hydromorphologie des lacs. Ceux-ci se sont néanmoins déroulés dans un contexte délicat, dû notamment : (1) au peu de données nationales fines et fiables de caractérisation de l'hydromorphologie lacustre encore disponibles, en raison du développement récent des protocoles de description

in situ et de l'absence de suivi de routine historique hors LHS, et (2) à l'arrêt des échantillonnages macro-invertébrés, compartiment biologique le plus prompt à répondre rapidement aux altérations d'ordre hydromorphologique, du fait de résultats jugés peu pertinents pour la DCE et dans l'attente du déploiement d'un protocole de suivi mieux adapté. Par ailleurs, les premiers travaux d'analyse ont soulevé la difficulté d'établir des conditions de référence globales ou par catégories de lacs pour quantifier les altérations, en raison de l'hétérogénéité hydromorphologique naturelle des lacs français et d'une forte anthropisation pouvant constituer des facteurs confondants (encadré 1). De façon générale, cette étape s'avère particulièrement délicate dans les processus d'évaluation et avait déjà nécessité des adaptations pour le développement d'autres indicateurs comme pour les poissons (Logez et Argillier, 2026).

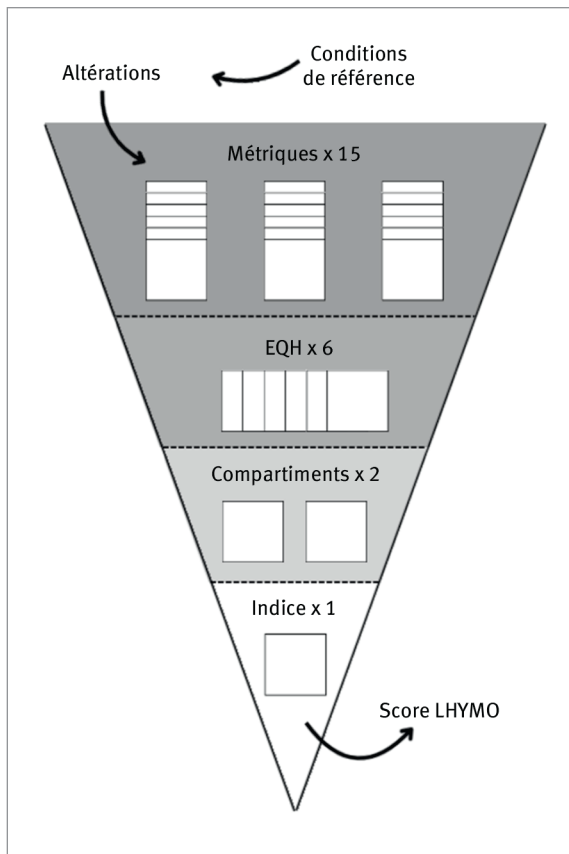
L'annexe V de la DCE (directive 2000/60/EC) recense six critères, dits « éléments de qualité relatifs à l'hydromorphologie » (EQH), à prendre en compte pour l'évaluation de l'état écologique des lacs (tableau 1). En nous concentrant sur ces EQH, nous nous sommes attachés à identifier les altérations de l'hydromorphologie lacustre dont les répercussions physiques sur l'habitat sont connues pour impacter les communautés d'organismes aquatiques. Nous nous sommes inspirés initialement des rares travaux déjà menés en Europe sur le sujet (Rowan *et al.*, 2006; McParland et Barret, 2009) et avons bénéficié graduellement des avancées du contexte normatif européen (Boon *et al.*, 2019), ainsi que des échanges et partages d'expérience au sein du groupe de travail ECOSTAT dédié à l'hydromorphologie lacustre.

L'indice LHYMO (acronyme anglophone pour *Lake HYdroMORphology*), développé par le Pôle R&D ECLA, propose une évaluation quantitative des conditions hydromorphologiques des lacs et de leur altération. La méthode à l'origine de cet indice a été conçue selon une approche privilégiant la quantification locale et directe des altérations, tout en intégrant une prise en compte des pressions s'exerçant à plus large échelle. Elle est basée sur un système d'évaluation hiérarchique (figure 1) intégrant des conditions de référence propres à chaque altération afin d'en quantifier l'ampleur. Chaque couple

Tableau 1 – Métriques incluses dans l'indice LHYMO.

| Catégorie | EQH | Altérations |
|-------------|--|---|
| Hydrologie | Quantité et dynamique du débit d'eau | <ul style="list-style-type: none"> • Fluctuations saisonnières du niveau d'eau • Obstacles à l'écoulement sur le bassin versant • Tributaires modifiés |
| | Temp de résidence | <ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements d'eau • Volumes d'eau retenus en amont |
| | Connexion à la masse d'eau souterraine | <ul style="list-style-type: none"> • Bétonnage des berges |
| Morphologie | Variation de la profondeur du lac | X |
| | Quantité, structure et substrat du lit | <ul style="list-style-type: none"> • Apport de graviers • Apport de sable • Envasement du littoral • Extraction de matériaux |
| | Structure de la rive | <ul style="list-style-type: none"> • Absence de ripisylve • Artificialisation des berges • Compactage des berges • Érosion des berges • Gestion de la végétation aquatique |

Figure 1 – Système hiérarchique d'évaluation de l'indicateur LHYMO. Métriques et EQH sont détaillés dans le tableau 1.



altération/condition de référence est traduit au travers d'équations mathématiques en grandeurs numériques (métriques) représentant un degré de déviation par rapport à la référence, dont la valeur est normalisée sur une échelle allant de 0 à 1 (déviation la plus forte à la plus faible).

Le jeu de métriques final utilisé pour le calcul de l'indicateur (tableau 1) a été déterminé de façon à représenter les différents EQH et cibler des pressions de différentes natures (marnage, perméabilité, continuité, végétation, etc.), tout en limitant les effets de redondance entre métriques (Carrière *et al.*, 2023). La sélection et l'intégration des métriques a également été fortement conditionnée par la disponibilité des données nécessaires à leur calcul. Les données mobilisées sont ainsi majoritairement issues de jeux de données nationaux, librement accessibles et régulièrement mis à jour, afin de couvrir l'ensemble du territoire français et de pouvoir suivre l'évolution des conditions hydromorphologiques des lacs dans le temps. Dans sa version actuelle, l'indicateur LHYMO est constitué de quinze métriques dont le nombre varie de 1 à 5 par EQH. Aucune métrique n'a pu être incluse pour représenter les altérations relatives à l'EQH «Variation de la profondeur du lac».

Une approche originale des conditions de référence

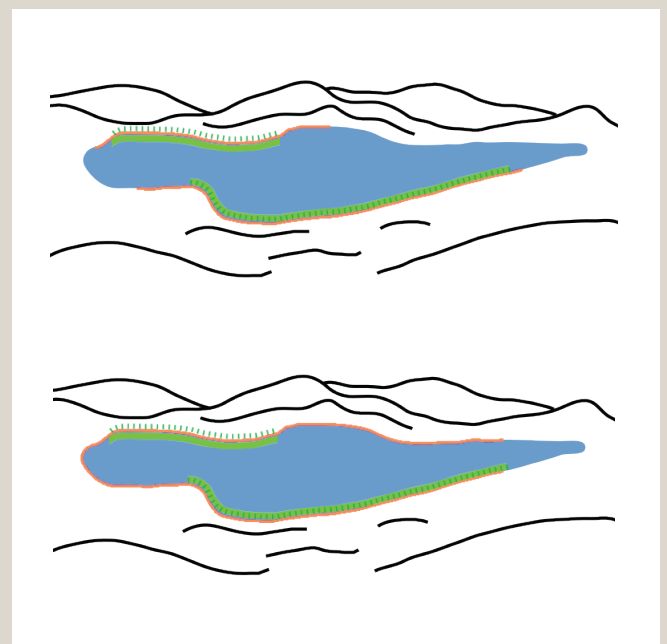
L'une des principales originalités de la méthode réside dans la définition de conditions de référence (encadré 1), calculées indépendamment pour chaque métrique et chaque lac en tenant compte de certaines de leurs caractéristiques naturelles, et sans recours à la modéli-

Encadré 1 – Définir les conditions de référence : explication par l'exemple.

La question de la référence est une notion centrale en bioindication car c'est à partir de cette référence que va être déterminé l'état d'un écosystème. Dans les cas où la comparaison avec des systèmes dits «de référence» considérés comme exempts de toute altération humaine ne serait pas adaptée, les documents de guidage pour l'application de la DCE ouvrent la possibilité d'utiliser d'autres méthodes. En raison du nombre conséquent d'altérations prises en compte dans l'indice LHYMO (quinze altérations) et de l'hétérogénéité naturelle des caractéristiques hydromorphologiques des lacs français, l'utilisation d'une approche alternative s'est avérée indispensable. Selon l'approche choisie, les conditions de référence sont définies pour chaque métrique d'altération en fonction des caractéristiques propres à chaque lac. Cette méthodologie permet de prendre en compte la variabilité intrinsèque et l'hétérogénéité des lacs français, sans toutefois nécessiter le recours à l'expertise *a posteriori* ou à la modélisation. Elle permet par ailleurs d'intégrer facilement dans le calcul des conditions de référence les contraintes techniques obligatoires pour les masses d'eau artificielles (MEA) et les masses d'eau fortement modifiées (MEFM). Cette approche permet également de disposer d'une vision plus fine des conditions de référence qu'au travers de systèmes de classement ou de comparaison par catégories ou typologies de lac.

À titre d'exemple (figure 2), l'absence de végétation aquatique sur la zone littorale est considérée exclusivement au regard des zones favorables à sa présence (dites «zones colonisables»), qui dépendent des caractéristiques physiques intrinsèques du lac : pente littorale plutôt faible et substrat peu grossier. À surface et diversité de végétation aquatique équivalente, un lac disposant d'une zone colonisable plus restreinte sera donc considéré moins altéré qu'un lac avec une zone colonisable plus importante. Par ailleurs, l'absence de végétation sur une zone de barrage ne sera pas non plus considérée comme une altération en soit, la présence du barrage constituant une condition inhérente à l'existence même des lacs de retenue.

Figure 2 – Exemple sur deux systèmes-lac théoriques présentant la même proportion de zone littorale végétalisée (en vert) pour différentes proportions de zones colonisables (en orange) : en haut, un lac peu altéré ; en bas, un lac partiellement altéré.



sation à partir de l'ensemble des lacs. Ce choix méthodologique a notamment permis de pallier les contraintes liées à l'importante hétérogénéité hydromorphologique des plans d'eau français, rendant les approches typologiques standards inadaptées, en intégrant directement cette variabilité naturelle dans la définition des conditions de référence et donc dans le calcul des métriques d'altération. Cette démarche a également rendu possible le développement d'un indicateur unique pour les lacs naturels et ceux d'origine anthropique (plans d'eau naturels, artificiels et fortement modifiés dans le jargon de la DCE), malgré une différence de philosophie dans les objectifs à atteindre (bon état ou bon potentiel), en prenant en compte les contraintes d'usage des lacs d'origine anthropique dans la définition de leur état de référence.

Un processus participatif

Agents de terrain de l'Office français de la biodiversité et des Agences de l'eau ont été partie prenante du processus de construction et de validation de l'indicateur. Les

nombreuses années de recul concernant la surveillance des masses d'eau, nous ont permis de bénéficier de leur expertise pour affiner la méthode tout au long de son développement, garantissant la pertinence des éléments mis en évidence par l'indicateur et ainsi la robustesse des résultats de l'évaluation. Une ultime phase de consultation a notamment permis de fixer le choix de la méthode d'agrégation des métriques pour l'attribution du score final de l'indicateur. Parmi les différentes options (mathématiques, statistiques et/ou combinatoires) envisagées, la méthode plébiscitée pour la cohérence de ses résultats s'appuie sur le principe du *One-Out, All-Out* (OOAO), qui consiste à retenir comme score final la valeur la plus basse parmi l'ensemble des métriques. S'il peut paraître sévère, ce principe, par ailleurs préconisé dans le cadre réglementaire de la DCE, constitue en réalité un principe de précaution : en effet, l'attribution d'un score faible, signe de dysfonctionnements majeurs, impose la mise en place de mesures de protection, voire de restauration.

État actuel des lacs en France hexagonale

Les résultats actuels de l'évaluation hydromorphologique des lacs français au travers de l'indicateur LHYMO (n = 169) montrent une distribution équilibrée des valeurs sur l'ensemble de la plage des valeurs possibles, aussi bien pour les lacs naturels que pour les lacs d'origine anthropiques, avec une valeur médiane comparable de 0,48 ($\pm 0,28$) (figure 3). Ces résultats tendent à confirmer que les contraintes liées aux usages sur les lacs d'origine anthropique sont bien considérées par les conditions de référence et ne conduisent donc pas à une pénalité systématique de l'état hydromorphologique pour ce type de milieux, conformément aux exigences de la DCE.

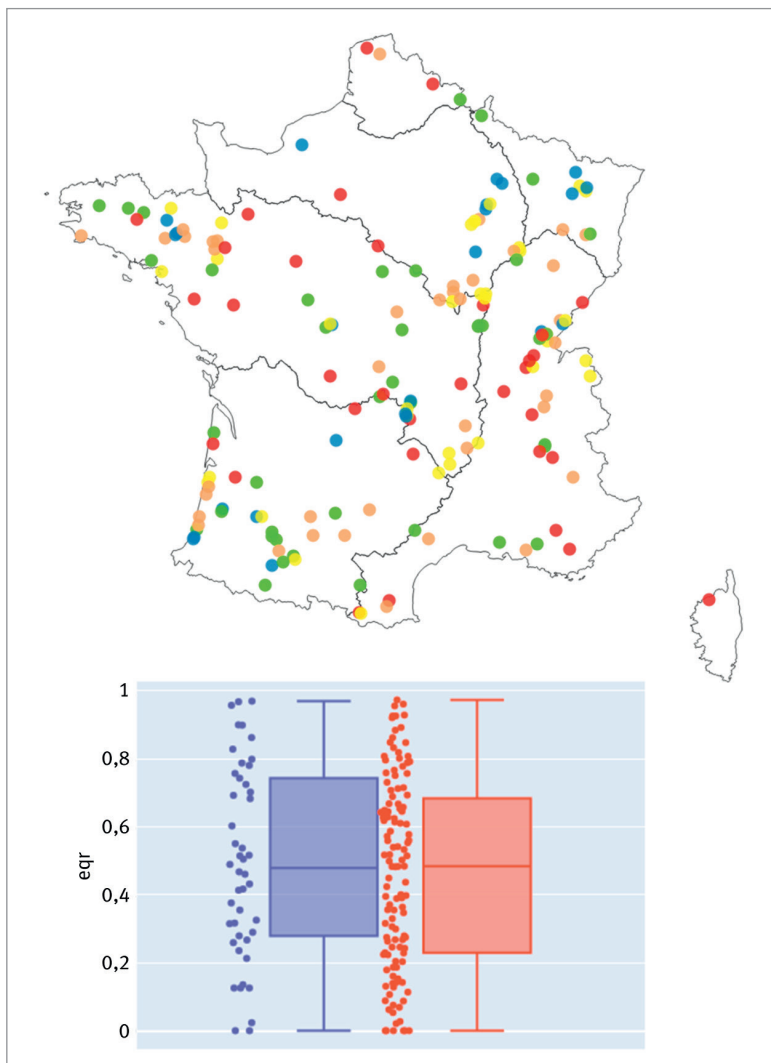
La totalité des lacs ciblés en application de la DCE (superficie < 50 ha) ne sont cependant pas encore en mesure d'être évalués. Par comparaison avec le nombre de lacs disposant de données de caractérisation *in situ* (protocoles Alber et Charli) pleinement exploitables (soit sans erreur) (n = 373), on constate que la très grande majorité des évaluations manquantes sont dues au moins en partie (> 95%) voire exclusivement (> 89%) à l'absence de données hydrologiques concernant les variations de niveau d'eau (marnage), le reste pouvant être quasi-intégralement attribué aux méconnaissances sur les volumes des lacs (> 10%). Une importante marge de progression dans l'évaluation est donc possible en améliorant la collecte et/ou l'accès à ces informations.

Ces résultats partiels permettent néanmoins d'ores et déjà d'identifier les sources majoritaires de dégradation de l'hydromorphologie et de prioriser les mesures d'actions à l'échelle des territoires. Les informations renvoyées par l'indicateur peuvent par ailleurs également être mobilisées hors cadre réglementaire, par exemple pour établir des diagnostics écologiques avec une portée plus spécifique.

... et son impact sur les organismes aquatiques

Dans l'optique d'aboutir rapidement à un outil opérationnel, la méthode développée pour l'indicateur LHYMO s'affranchit initialement de la quantification du degré d'impact des altérations sur les communautés biologiques. Les résultats de l'indicateur n'offrent donc une

Figure 3 – Résultats de l'application de l'indice LHYMO à l'échelle de la France hexagonale. La carte montre les classes d'état des lacs évalués selon les seuils de classes standards à intervalles équivalents de 0,2 points (rouge : mauvais ; orange : médiocre ; jaune : moyen ; vert : bon ; bleu : très bon). Les boîtes à moustaches (boxplots) montrent la répartition des valeurs de l'indice pour les lacs naturels (bleu) et non naturels (rouge).



évaluation de l'état des lacs qu'au travers d'un prisme strictement physique. Sur le plan réglementaire (DCE), les EQH sont néanmoins attendus soutenir l'état des communautés biologiques, ce qui suppose une relation entre le degré d'altération hydromorphologique évalué et les caractéristiques de ces communautés. Une meilleure prise en compte des réponses biologiques face aux dégradations de l'hydromorphologie représente par ailleurs une opportunité intéressante pour affiner la sensibilité de l'indicateur LHYMO, afin de proposer des scores permettant de mieux rendre compte des enjeux de biodiversité sur les lacs. Pour combler cette lacune, nous avons exploré avec plusieurs approches la réponse de quatre compartiments biologiques (microalgues – phytoplancton, plantes aquatiques – macrophytes, macroinvertébrés et poissons) aux altérations de l'hydromorphologie considérées dans l'indice LHYMO.

Relation avec les indices biologiques

Dans une première approche, visant en particulier à répondre à une demande émanant de la Commission européenne, nous avons comparé les scores obtenus pour l'indice LHYMO à ceux des indices biologiques relatifs aux différents compartiments considérés : l'indice phytoplancton lacustre (IPLAC), l'indice biologique macrophytique en lac (IBML), l'indice macro-invertébrés lacustres (IML), l'indice ichtyofaune lacustre (IIL) et l'indice ichtyofaune pour les retenues (IIR) (ces deux derniers ayant été combinés comme s'il s'agissait d'un seul indice). Les relations statistiques entre les indices ont été établies en calculant leur taux de corrélation, le résultat attendu étant dans tous les cas une corrélation positive entre les indices (ie une meilleure qualité hydromorphologique correspond à un meilleur état des communautés biologiques).

À partir de l'analyse de ces données, seul l'IML s'est avéré significativement corrélé à l'indice LHYMO ($p = 0,009$). L'existence d'une corrélation positive ($\rho = 0,34$) tend à valider la pertinence de l'indice LHYMO dans sa capacité à évaluer les conditions hydromorphologiques des lacs en tant qu'élément de soutien pour les communautés aquatiques. Néanmoins, le faible taux de corrélation indique que les évaluations résultant du calcul des deux indices ne sont pas toujours congruentes.

Ces résultats sont cohérents si on considère le contexte de développement des bioindicateurs considérés. À l'exception de l'IML, ceux-ci ont en effet été construits majoritairement avant le déploiement des protocoles de suivi de l'hydromorphologie lacustre et sont conçus pour répondre essentiellement aux pressions liées au niveau trophique des lacs (eutrophisation). L'IML *a contrario* s'appuie à la fois sur des critères physico-chimiques et hydromorphologiques pour son évaluation, ce qui explique l'existence d'une corrélation avec l'indice LHYMO mais également les différences d'évaluation parfois observées entre les deux indices.

Influence sur les communautés

Dans une seconde approche plus exploratoire, nous avons cherché à mettre en évidence les relations entre la composition des différentes communautés biologiques et les altérations hydromorphologiques. Pour ce faire, nous avons mobilisé les données d'abondances taxonomiques utilisées pour le calcul des bioindicateurs cités précé-

demment et les avons confrontées, pour chaque lac, aux valeurs normalisées des métriques composant l'indice LHYMO dans des analyses statistiques multi-variées.

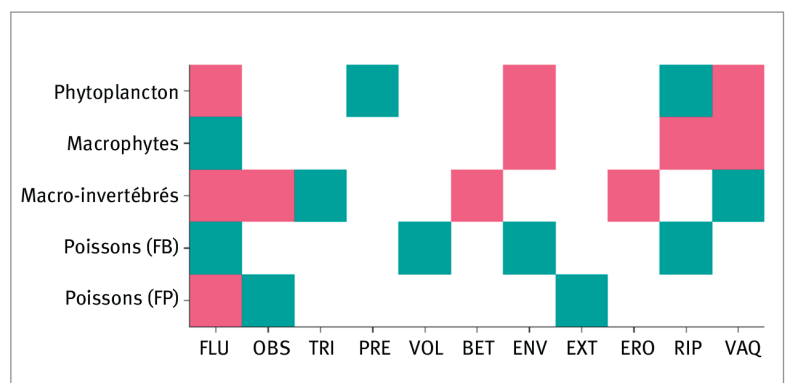
Cette série d'analyses préliminaires montre que des corrélations significatives existent pour les quatre compartiments biologiques étudiés (figure 4). Selon les premiers résultats, les métriques hydromorphologiques dans leur ensemble permettent ainsi d'expliquer environ 15 % de la variabilité des communautés végétales (macrophytes et phytoplancton), 10 à 20 % de celles des poissons et plus de 30 % de celles des macroinvertébrés. Il ressort par ailleurs que l'influence des différents types d'altérations hydromorphologiques sur les abondances taxonomiques est très variable selon les compartiments : alors que les métriques liées à la morphologie des habitats littoraux (envasement, gestion de la végétation et fragmentation de la ripisylve) contribuent majoritairement pour les communautés végétales, les métriques hydrologiques (fluctuations saisonnières des niveaux d'eau et obstacles à l'écoulement notamment) semblent davantage influencer les communautés de poissons et de macroinvertébrés. Ces corrélations pourraient donc refléter des sensibilités propres à chacun des compartiments.

Toutefois, ces résultats, bien qu'encourageants, nécessitent encore d'être affinés. Les analyses se poursuivent afin de préciser la réponse des communautés aux altérations hydromorphologiques, avec l'objectif d'intégrer ces informations dans une future version améliorée de l'indicateur LHYMO.

Conclusion

Les nombreux travaux menés depuis la création du Pôle R&D ECLA sous l'impulsion de la DCE ont conduit à des avancées significatives dans l'appréhension des questions liées à l'hydromorphologie lacustre. Ils permettent aujourd'hui aux scientifiques et gestionnaires de disposer d'outils opérationnels et de données homogènes pour le

Figure 4 – Contribution des métriques de l'indice LHYMO vis-à-vis de l'abondance taxonomique des communautés biologiques. Les corrélations les plus significatives ($p < 0,01$) sont indiquées en rose, les moins significatives ($p < 0,05$) sont indiquées en vert. Les cases blanches correspondent à une absence de corrélation. Les métriques n'étant significatives pour aucun des compartiments sont volontairement exclues de la figure. FB : filets benthiques ; FP : filets pélagiques. FLU : fluctuations saisonnières des niveaux d'eau ; OBS : obstacles à l'écoulement ; TRI : tributaires modifiés ; PRE : prélèvements d'eau ; VOL : volumes retenus à l'amont ; BET : bétonnage des berges ; ENV : envasement ; EXT : extraction de matériaux ; ERO : érosion des berges ; RIP : absence de ripisylve ; VAQ : gestion de la végétation aquatique.



suivi et l'évaluation de l'altération des conditions hydromorphologiques des lacs au niveau national. La vision actuelle de l'état hydromorphologique rendue au travers de l'indice multimétriques LHYMO repose sur une considération exclusivement physique, mais des travaux d'analyse se poursuivent en vue de quantifier et d'intégrer les réponses des communautés biologiques, avec des premiers résultats prometteurs. Des efforts restent également à poursuivre quant à la collecte d'information vis-à-vis de certains types d'altérations (fluctuations de niveau d'eau et modification de la profondeur) afin d'améliorer encore la représentativité de l'indice.

Grâce à ces travaux, la France est aujourd'hui reconnue comme l'un des états membres européens leaders sur la question de l'hydromorphologie lacustre. À ce titre, le Pôle R&D ECLA a été impliqué dans l'élaboration et l'évolution des normes européennes, et contribue encore activement à de nombreux groupes de travail et publications au niveau européen visant à organiser la recherche et faire avancer les connaissances sur ce sujet d'intérêt majeur. ■

Encadré – En savoir plus

Accès aux données : <http://dataecla.fr/>

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tout particulièrement les directions régionales de l'Office français de la biodiversité et les responsables « plans d'eau » des Agences de l'eau pour la programmation et/ou la réalisation des campagnes de description des caractéristiques hydromorphologiques, ainsi que leur contribution au développement de l'indice LHYMO. Nous remercions aussi chaleureusement toutes les personnes ayant contribué aux travaux sur l'hydromorphologie lacustre au sein du Pôle R&D ECLA : Jean-Marc BAUDOIN, Samuel ALLEAUME, Carole HEYD, Delphine REBIERE, Delphine NICOLAS, Aurore GAY, Alexandra CARRIERE et les nombreux stagiaires.

RÉFÉRENCES

- Argillier, C., Reynaud, N., & Baudoin, J. M. (2021). De nouveaux protocoles pour caractériser l'hydromorphologie lacustre. *Sciences Eaux & Territoires*, (37), 54-55. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2021.4.10>
- Boon, P., Argillier, C., Boggero, A., Ciampittello, M., England, J., Peterlin, M., Radulović, S., Rowan, J., Soszka, H., & Urbanič, G. (2019). Developing a standard approach for assessing the hydromorphology of lakes in Europe. *Aquatic Conservation Marine And Freshwater Ecosystems*, 29(4), 655-669. <https://doi.org/10.1002/aqc.3015>
- de Bortoli, J., & Argillier, C. (2006). *Hydromorphologie lacustre, mesure de son altération et réponses biologiques - Étude bibliographique. Rapport d'étude Cemagref, Montpellier*. <https://hal.inrae.fr/hal-02588514>
- Carriere, A., Reynaud, N., Gay, A., Baudoin, J. M., & Argillier, C. (2023). LHYMO : A new Water Framework Directive compliant multimetric index to assess lake hydromorphology and its application to French lakes. *Aquatic Conservation Marine And Freshwater Ecosystems*, 34(1). <https://doi.org/10.1002/aqc.4029>
- European Environment Agency. (2024). *Europe's state of water 2024 : The need for improved water resilience (EEA Report No. 07/2024)*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-state-of-water-2024>
- Logez, M., & Argillier, C. (2026). Les indicateurs biologiques de l'ichtyofaune. *Sciences Eaux & Territoires*, (51), article 9923. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2026.51.9923>
- McParland, C., & Barrett, O. (2009). *Hydromorphological Literature Reviews for Lakes (Science Report No. SCo60043/SR1)*. Environment Agency. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c3a44ed915d7d70d1d70f/schoo309bprb-e-e.pdf>
- Rebière, D., Argillier, C., Raymond, J. C., Foissy, J. M. & Richard, S. (2013). *Impacts des pressions anthropiques locales sur les peuplements piscicoles en zone littorale des lacs français (Rapport final)*. Onema/Irstea. <https://hal.inrae.fr/hal-02599805>
- Rowan, J. S., Carwardine, J., Duck, R. W., Bragg, O. M., Black, A. R., Cutler, M. E. J., Soutar, I., & Boon, P. J. (2006). Development of a technique for Lake Habitat Survey (LHS) with applications for the European Union Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(6), 637-657. <https://doi.org/10.1002/aqc.786>