

Les macrophytes peuvent améliorer l'évaluation écologique des cours d'eau dans un contexte de pressions multiples : un nouvel outil diagnostique.

Macrophytes can improve the ecological assessment of rivers in a multi-pressure context: a new diagnostic tool.

Thibault Leboucher ^{*a}, Jérémy Bacon ^{ab}, Christian Chauvin ^c, Elise Billoir ^a, Maud Pierre ^c, Augustine Fulcrand ^a, Bastien Bourillon ^d & Philippe Usseglio-Polatera ^a

* Corresponding author: thibault.leboucher@univ-lorraine.fr

^a Université de Lorraine, CNRS, LIEC, 57000 Metz, France

^b Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR 5023 LEHNA, F-69622, Villeurbanne, France

^c INRAE, UR EABX, 33612 Cestas, France

^d INRAE, UR RIVERLY, 69100 Villeurbanne, France

RÉSUMÉ

Malgré les objectifs initiaux de bon état écologique fixés par la DCE à l'horizon 2015, 60% des masses d'eau européennes ne parviennent toujours pas à atteindre cet état écologique. Cela s'explique notamment par des difficultés à identifier précisément les causes effectives de dégradation des masses d'eau, en particulier dans un contexte de pressions multiples. Des outils diagnostiques récemment développés ont justement pour objectif de démêler l'effet de ces pressions anthropiques co-occurentes en cours d'eau. Ils reposent sur l'observation des combinaisons de taxons et d'adaptations sélectionnés au sein des communautés sous la contrainte de différentes catégories de pression impactant la qualité de l'eau et/ou l'intégrité de l'habitat. Les macrophytes, considérés comme de bons indicateurs de l'état écologique des cours d'eau, peuvent servir de support au développement de ce type d'outil. Sur la base de 518 métriques explorant les traits biologiques, les préférences écologiques et la structure taxonomique et fonctionnelle des assemblages de macrophytes, 20 modèles performants ont été développés pour évaluer les risques spécifiques de dégradation significative des cours d'eau. Les résultats des modèles ont été explorés à diverses échelles spatiales et temporelles pour mieux identifier les causes de la dégradation de tronçons de cours d'eau. Une grille originale d'interprétation des résultats, basée sur plusieurs métriques de performance devrait permettre aux gestionnaires de déterminer plus facilement les actions de restauration à mener pour assurer l'amélioration de l'état écologique des cours d'eau.

ABSTRACT

Despite the initial objectives of good ecological status set by the WFD for 2015, 60% of water bodies still fail to achieve this status. One of the main reasons for this is the difficulty of accurately identifying the actual causes of degradation of water bodies, especially in a context of multi-pressures. Recently developed diagnostic tools aim at disentangling the effects of these co-occurring anthropogenic pressures on rivers. They are based on the analysis of combinations of taxa and adaptations selected within communities, under the constraint of different categories of pressure impacting water quality and/or habitat integrity. Macrophytes, considered to be good indicators of the ecological status of rivers, can be used to develop this type of tool. On the basis of 518 metrics exploring biological traits, ecological preferences and the taxonomic and functional structure of macrophyte assemblages, 20 high-performance models were developed to assess the specific risks of significant degradation of rivers. The results of the models were explored at various spatial and temporal scales to better identify the causes of the degradation of river reaches. An original grid for interpreting the results, based on several performance metrics, should enable managers to better determine the restoration actions to be undertaken to improve the ecological status of rivers.

MOTS CLÉS

Dégradation de l'habitat, évaluation de l'état écologique, méthodes d'apprentissage automatique, qualité de l'eau, traits fonctionnels.

Ecological status assessment, functional traits, habitat degradation, machine learning, water quality.

RÉSUMÉ LONG - LES APPROCHES LARGES ECHELLES DES SOCIO-HYDROSYSTEMES

Des méthodes de bioévaluation sont aujourd'hui largement mise en œuvre par les agences nationales ou régionales, notamment en Europe, dans le but de vérifier que l'objectif principal de la politique de l'eau européenne, à savoir le « bon » état écologique pour toutes les masses d'eau, sera atteint dans les délais fixés par la DCE (European Council, 2000). Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire non seulement d'évaluer efficacement l'état écologique des masses d'eau à l'aide d'indices biotiques standardisés, mais également d'identifier aussi précisément que possible les principales causes de leur dégradation, afin de pouvoir mettre en œuvre, le cas échéant, des programmes appropriés de gestion conservatoire ou de restauration. Malgré l'objectif affiché, et les moyens alloués aux politiques de l'eau en Europe, 60% des masses d'eau ne parviennent toujours pas à atteindre ce bon état écologique (European Environment Agency, 2018).

Si les indices biotiques sont des outils essentiels pour évaluer l'état écologique global des masses d'eau, bien plus intégrateurs que la physico-chimie seule (Hering et al., 2010), ceux-ci n'ont pas toujours été développés pour permettre de démêler et d'identifier les risques spécifiques de dégradation d'une masse d'eau dans un contexte de pressions multiples. Ceci complique grandement le choix des mesures de restauration les plus appropriées pour une masse d'eau donnée. Pour dépasser cette limite, des approches de diagnostic robustes ont récemment été développées pour les cours d'eau et testées à grande échelle spatiale (Dézerald et al., 2020; Larras et al., 2017; Mondy and Usseglio-Polatera, 2013). Ces outils reposent sur la notion fondamentale que les pressions anthropiques sélectionnent, dans un écosystème donné, les espèces qui présentent les combinaisons de caractéristiques biologiques et de préférences écologiques les plus aptes à leur permettre de survivre dans cet écosystème. L'objectif des approches diagnostiques est alors, à l'échelle des communautés, de faire le lien entre des variations originales dans les structures taxonomiques ou dans le niveau de sélection de certaines caractéristiques bio/écologiques et la nature et l'intensité des pressions anthropiques auxquelles ces communautés sont soumises (Desrosiers et al., 2019).

Cette approche a été récemment appliquée aux communautés de macro-invertébrés, de diatomées et de poissons. Des différences de sensibilité aux différentes catégories de pressions ont été identifiées entre ces éléments de qualité biologique (EQB), chaque EQB fournissant des informations écologiques originales et complémentaires aux informations fournies par les autres EQBs (Alric et al., 2021; Meyer et al., 2022). Compte tenu de leur sensibilité aux altérations de l'habitat ou encore aux variations de la qualité physico-chimique de l'eau, les communautés de macrophytes aquatiques paraissent être un bon support pour développer ce type d'outil, qui devrait apporter une information originale par rapport aux outils développés sur les autres EQBs (Hering et al., 2006).

Le développement de ce nouvel outil de diagnostic basé sur les communautés de macrophytes a pu s'appuyer sur un jeu de données de plus de 15 000 relevés floristiques standardisés, répartis sur environ 3 000 sites couvrant quasiment tous les types de rivières de France métropolitaine, des têtes de bassins versants aux grandes rivières et fleuves de plaine. Plus de 400 espèces de macrophytes aquatiques ont été répertoriées, pour lesquelles nous avons pu rassembler des informations sur 32 traits décrivant leur morphologie, leur physiologie, leur phénologie, leur histoire de vie et leurs préférences écologiques. Ce jeu de données constitue en lui-même une des originalités de ce travail puisque les études s'intéressant à l'assemblage des communautés de macrophytes aquatiques basées sur les traits restent relativement rares - par rapport aux études équivalentes réalisées sur les communautés de macro-invertébrés ou de poissons par exemple - et se concentrent soit sur un nombre limité de traits, soit sur un nombre limité d'espèces.

Grâce à ce jeu de données, nous avons pu construire des modèles de type « random forest », un type particulier de méthode d'apprentissage automatique capable d'étudier des relations complexes et potentiellement non linéaires (Breiman, 2001), qui a été appliqué avec succès à de nombreux domaines de recherche différents tels que la modélisation de la qualité de l'air (Choubin et al., 2020), l'évaluation du risque d'inondation (Hosseini et al., 2020) ou encore la modélisation des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines (Rahmati et al., 2019). Les modèles développés ici se sont révélés performants pour identifier les dégradations spécifiquement liées à 20 catégories de pression anthropique, dont 13 décrivant des altérations de la qualité de l'eau (désignées sous le terme « WQ » par la suite) et 7 catégories décrivant des dégradations de l'habitat (désignées sous le terme « HD »). Ces modèles fournissent une « probabilité d'impact significatif » pour chacune des catégories de pressions considérées. Ces probabilités d'impact significatif, dont nous allons illustrer l'utilisation à diverses échelles spatiales et temporelles, devraient faciliter l'identification des causes majeures de dégradation des tronçons de cours d'eau. Un exemple de représentation graphique à l'échelle d'un site d'observation est présenté dans la figure 1. Un effort particulier a porté sur la création d'une grille d'interprétation des résultats

de chaque modèle, afin de faciliter l'interprétation des résultats des modèles par les gestionnaires et les décideurs, pour leur permettre de proposer et de mettre en œuvre les mesures de conservation et de restauration les plus adaptées au maintien ou à l'amélioration de l'état écologique des cours d'eau.

“La Rivière du Commerce” à Lillebonne (76), le 28/08/2008

A – Altération de la qualité de l'eau

B – Dégradation de l'habitat

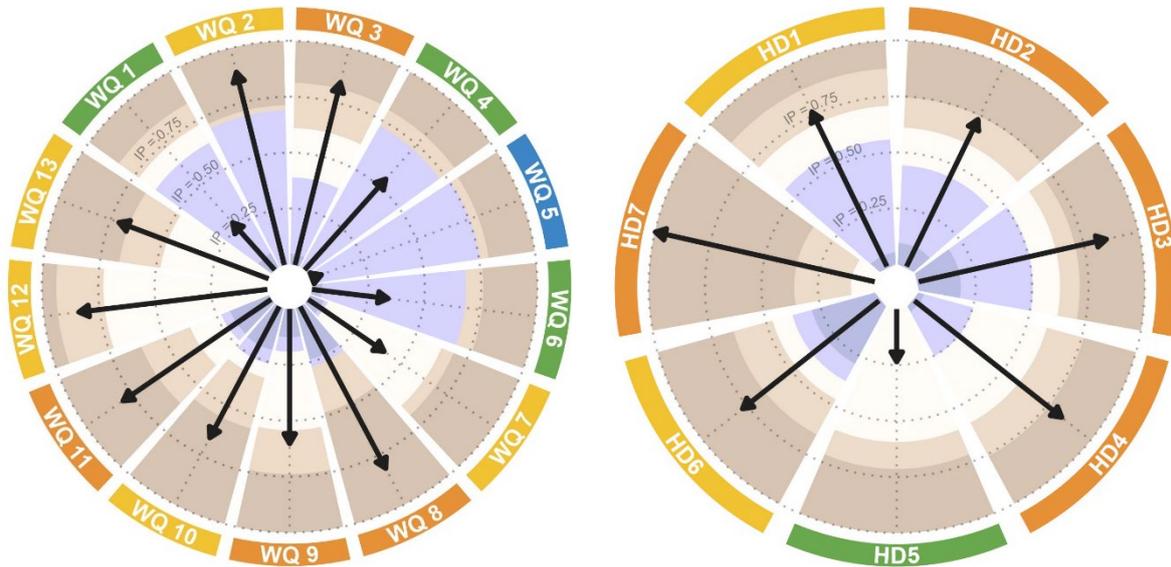


Figure 1. Exemple de diagramme radar illustrant les probabilités d'impact (croissantes du centre vers l'extérieur de la figure) des (A) 13 catégories d'altération de la qualité de l'eau (WQ1 = matière organique ; WQ2 = matières azotées (hors nitrates) ; WQ3 = nitrates ; WQ4 = matières phosphorées ; WQ5 = matières en suspension ; WQ6 = acidification ; WQ7 = micropolluants minéraux ; WQ8 = pesticides ; WQ9 = herbicides ; WQ10 = fongicides ; WQ11 = insecticides ; WQ12 = HAP & WQ13 = autres micropolluants organiques) et des (B) 7 catégories de dégradation de l'habitat (HD1 = voies de communication à l'échelle du tronçon ; HD2 = dégradation de la ripisylve ; HD3 = urbanisation à l'échelle du tronçon ; HD4 = risque de colmatage ; HD5 = instabilité hydrologique ; HD6 = rectification du tronçon ; HD7 = anthropisation du bassin versant). Les cercles pointillés concentriques correspondent aux valeurs 25%, 50%, 75% et 100% de probabilité d'impact significatif (i.e., au mieux atteinte de l'état « moyen »). La grille d'interprétation est apportée par les couleurs en arrière-plan : pour chaque catégorie, la zone violette correspond aux probabilités d'impact considérées comme non-significatives (avec un risque d'erreur très faible pour la zone la plus foncée et un risque faible pour la zone la plus claire) et la zone marron correspond aux probabilités d'impact considérées comme significatives (avec un risque d'erreur très faible pour la zone la plus foncée et un risque faible pour la zone la plus claire). La couleur des étiquettes correspond à la caractérisation environnementale de ce relevé, le bleu représentant le « très bon » état pour la catégorie de pression considérée, le vert correspondant au « bon état », le jaune à l'« état moyen », l'orange à l'« état médiocre » et le rouge au « mauvais état ».

BIBLIOGRAPHIE

- Alric, B., Dézerald, O., Meyer, A., Billoir, E., Coulaud, R., Larras, F., Mondy, C.P., Usseglio-Polatera, P., 2021. How diatom-, invertebrate- and fish-based diagnostic tools can support the ecological assessment of rivers in a multi-pressure context: Temporal trends over the past two decades in France. *Sci. Total Environ.* 762, 143915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143915>
- Breiman, L., 2001. Random Forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

-
- Choubin, B., Abdolshahnejad, M., Moradi, E., Querol, X., Mosavi, A., Shamshirband, S., Ghamisi, P., 2020. Spatial hazard assessment of the PM10 using machine learning models in Barcelona, Spain. *Sci. Total Environ.* 701, 134474. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134474>
- Desrosiers, M., Usseglio-Polatera, P., Archambault, V., Larras, F., Méthot, G., Pinel-Alloul, B., 2019. Assessing anthropogenic pressure in the St. Lawrence River using traits of benthic macroinvertebrates. *Sci. Total Environ.* 649, 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.267>
- Dézerald, O., Mondy, C.P., Dembski, S., Kreutzenberger, K., Reyjol, Y., Chandesris, A., Valette, L., Brosse, S., Toussaint, A., Belliard, J., Merg, M.-L., Usseglio-Polatera, P., 2020. A diagnosis-based approach to assess specific risks of river degradation in a multiple pressure context: Insights from fish communities. *Sci. Total Environ.* 734, 139467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139467>
- European Council, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, Office for official publications of the European Communities. ed. Brussels.
- European Environment Agency, 2018. Assessment of status and pressures 2018. EEA Report No 7/2018.
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C.K., Heiskanen, A.-S., Johnson, R.K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A.L., de Bund, W. van, 2010. The European Water Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future. *Sci. Total Environ.* 408, 4007–4019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.031>
- Hering, D., Johnson, R.K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K., Verdonschot, P.F.M., 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshw. Biol.* 51, 1757–1785. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01610.x>
- Hosseini, F.S., Choubin, B., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Darabi, H., Haghighi, A.T., 2020. Flash-flood hazard assessment using ensembles and Bayesian-based machine learning models: Application of the simulated annealing feature selection method. *Sci. Total Environ.* 711, 135161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135161>
- Larras, F., Coulaud, R., Gautreau, E., Billoir, E., Rosebery, J., Usseglio-Polatera, P., 2017. Assessing anthropogenic pressures on streams: A random forest approach based on benthic diatom communities. *Sci. Total Environ.* 586, 1101–1112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.096>
- Meyer, A., Alric, B., Dézerald, O., Billoir, E., Coulaud, R., Larras, F., Mondy, C.P., Usseglio-Polatera, P., 2022. Linking Micropollutants to Trait Syndromes across Freshwater Diatom, Macroinvertebrate, and Fish Assemblages. *Water* 14, 1184. <https://doi.org/10.3390/w14081184>
- Mondy, C.P., Usseglio-Polatera, P., 2013. Using conditional tree forests and life history traits to assess specific risks of stream degradation under multiple pressure scenario. *Sci. Total Environ.* 461–462, 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.072>
- Rahmati, O., Choubin, B., Fathabadi, A., Coulon, F., Soltani, E., Shahabi, H., Mollaefar, E., Tiefenbacher, J., Cipullo, S., Ahmad, B.B., Tien Bui, D., 2019. Predicting uncertainty of machine learning models for modelling nitrate pollution of groundwater using quantile regression and UNEEC methods. *Sci. Total Environ.* 688, 855–866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.320>