

## Vers une évaluation physico-chimique en cohérence avec la biologie des milieux aquatiques continentaux

La directive cadre européenne sur l'eau exige des États membres la production d'indicateurs physico-chimiques devant traduire le fonctionnement des écosystèmes et la production de valeurs seuils correspondant à différents niveaux de leur dégradation. Or, en France, ces données manquent en raison notamment de la diversité des écosystèmes et de la faible connaissance des conditions physico-chimiques réelles et de leurs interactions avec les multiples pressions anthropiques. C'est dans ce contexte que trois équipes de recherche de INRAE et de l'OFB ont mis au point des méthodes statistiques innovantes pour déterminer des valeurs seuils physico-chimiques calées sur les indicateurs biologiques, plus réalistes et plus protectrices des milieux aquatiques.

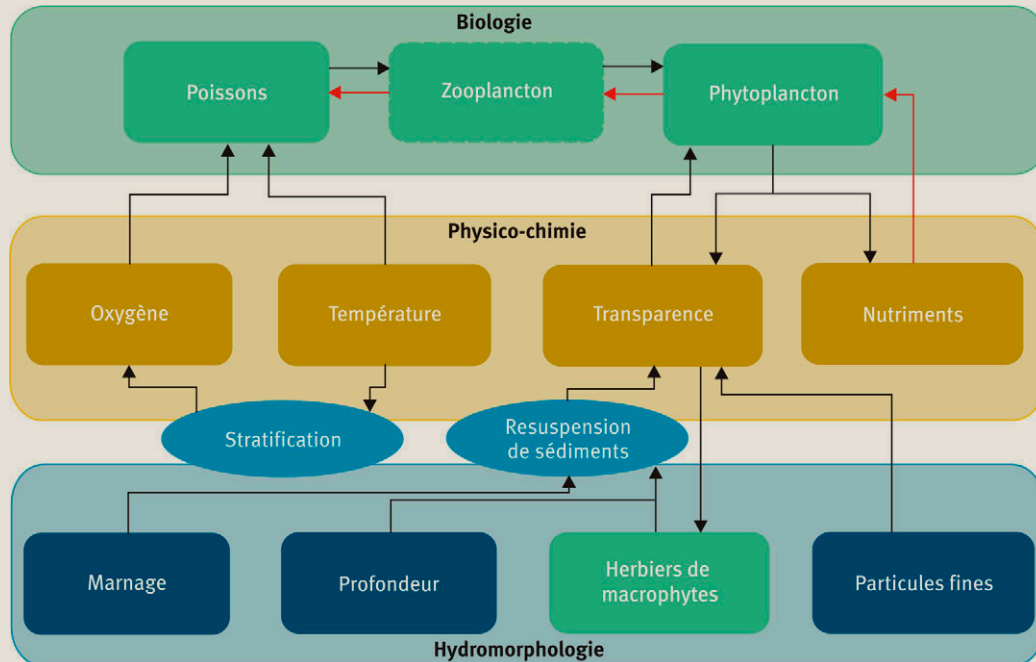


La qualité physico-chimique d'une eau naturelle résulte d'un ensemble de processus dépendant des contextes géologiques, hydro-climatiques et biologiques et conditionne la vie des organismes inféodés. Les pressions physiques et chimiques liées aux activités anthropiques viennent modifier la qualité des milieux aquatiques. L'évaluation de cette qualité passe par la comparaison des mesures de certains paramètres à des valeurs de « référence » correspondant à un état naturel quasi-indemne d'effet anthropique. Elle permet de rendre compte du degré de modification des milieux aquatiques, et guide la recherche des causes de l'altération.

Dès les années 1960, les législateurs prescrivent l'utilisation des paramètres physico-chimiques (via la « grille 71 ») pour évaluer l'état des cours d'eau et leurs usages (loi 64-1245 du 16 décembre 1964 sur la lutte contre la détérioration de la qualité des eaux en France). La loi du 3 janvier 1992, dite « loi sur l'eau », vient apporter les modifications à ce cadre législatif pour

appliquer les directives européennes définissant des normes de qualité auxquelles doivent satisfaire les eaux pour certains usages (eau potable, eaux de baignade, eaux piscicoles, eaux conchylicoles). Elle contribue au développement du nouveau système d'évaluation dont la composante « Eau » est appréhendée via sa qualité physico-chimique et son aptitude aux fonctions naturelles des milieux aquatiques et aux usages. En 2000, la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) apporte une approche nouvelle. En définissant l'objectif de « bon état des eaux », elle s'intéresse à l'état du milieu en tant que tel et non uniquement pour les usages que l'homme en fait. Elle place les indicateurs biologiques au cœur de l'évaluation de l'état écologique des eaux de surface. Les paramètres physico-chimiques interviennent en soutien à la biologie, comme un élément complémentaire de l'évaluation et en tant que « proxies » des pressions anthropiques. Ils évitent de passer à côté de certaines dégradations de l'écosystème dont les indices biologiques ne pourraient rendre compte, notamment dans le contexte multi-pressions (figure 1). Ils sont aussi mobi-

❶ Schéma relationnel montrant certaines interactions entre éléments de qualité dans un plan d'eau, impliquant notamment le paramètre transparence. Il illustre les relations et la complémentarité entre les différents types d'indicateurs. Les flèches en rouge indiquent la voie trophique.



lisables lorsque les indices biologiques sont difficiles à mesurer ou en limite de leur domaine d'application. Pour la physico-chimie, la DCE exige des États membres :

- la production d'indicateurs (jeu de paramètres) traduisant « le fonctionnement de l'écosystème caractéristique »;
- la production de valeurs seuils correspondant à différents niveaux de dégradation de ces écosystèmes par type de masses d'eau (les plans d'eau, les cours d'eau et les eaux côtières et de transition).

Chaque type de masses d'eau ou d'écosystèmes, caractérisé par des habitats spécifiques pour la faune et la flore aquatiques, dispose ainsi de ses propres valeurs seuils et indicateurs mobilisés. Les rapports de la Commission européenne (EEA/ETC-ICM, 2019 ; Teixeira *et al.* 2021) montrent d'ailleurs une grande variabilité de paramètres et valeurs seuils adoptées par les États membres, qui ne sont pas toujours calibrées en complète cohérence avec les éléments biologiques de chaque type de masses d'eau. Pour le compte du ministère français chargé de l'environnement et des gestionnaires des bassins hydrographiques, trois équipes de recherche INRAE/OFB<sup>1</sup> ont proposé des méthodes innovantes pour les trois types de masses d'eau (i.e. Danis et Roubeix, 2014a ; Ferréol et Bougon, 2017 ; Lepage *et al.*, 2014). Ces méthodes ont un double objectif :

- s'assurer que les seuils de qualité physico-chimique en cours sont en accord avec les exigences de la DCE ;
- établir des seuils lorsque ceux-ci sont manquants ou doivent être revus.

Ces travaux ont été réalisés à partir des données acquises dans les réseaux de suivi mis en place depuis 2007 pour évaluer l'état des masses d'eau. Or, les données mobilisées sont parfois lacunaires : la majorité des suivis sont pauvres et assez peu représentatifs des caractéristiques physico-chimiques des masses d'eau à forte hétérogénéité spatiale et variabilité temporelle (notamment pour les plans d'eau et les estuaires). Par ailleurs, pour l'ensemble des masses d'eau (les cours d'eau y compris), le gradient de pressions n'est pas toujours très marqué et/ou incomplet pour établir les relations statistiques robustes. Des difficultés pour établir les relations biologie-physico-chimie (paramètre par paramètre) sont mises en évidence, notamment pour les masses d'eau de types cours d'eau, eaux côtières et de transition. En effet, les organismes aquatiques étant soumis à de multiples pressions (physiques et chimiques) (figure ❷), il est parfois difficile d'attribuer la cause de déclassement des indices biologiques à la dégradation physico-chimique et encore plus à un paramètre en particulier. Nous proposons par cet article des pistes d'améliorations pour pallier les difficultés rencontrées, mais également pour aller vers des seuils physico-chimiques qui soient plus réalistes et protecteurs de l'ensemble des milieux aquatiques.

1. INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement ; OFB : Office français de la biodiversité.

## Vers des seuils plus réalistes et protecteurs des milieux aquatiques

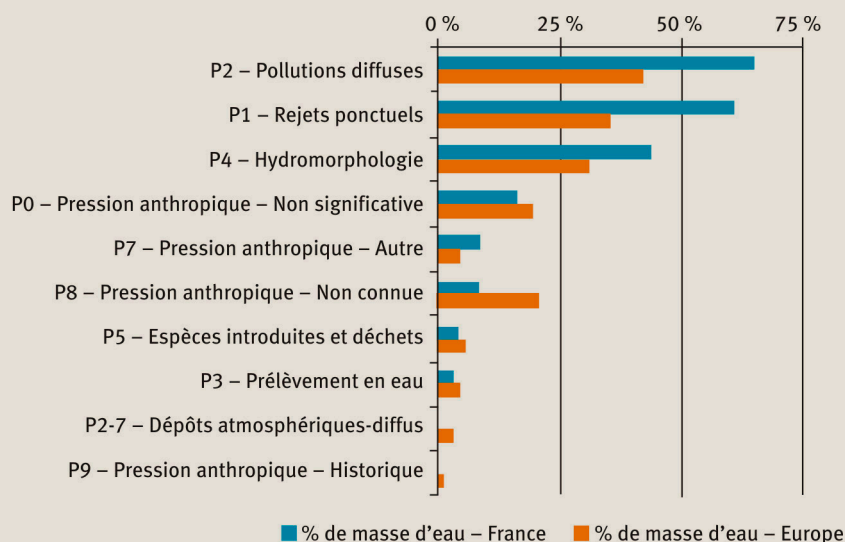
Le concept de « seuil écologique » est défini comme le point à partir duquel un changement « abrupt » se produit dans un écosystème ; c'est-à-dire un point critique où un petit changement dans un gradient environnemental entraîne une réponse importante de certaines variables écologiques (Groffman *et al.*, 2006) (figures 3a et 3b). La détection de ces points critiques pour les paramètres physico-chimiques est réalisée par rapport à des variables biologiques de l'écosystème (notion de soutien à la biologie, ex. : Roubeix *et al.*, 2016). En 2019, un groupe de travail de la Commission européenne sur l'évaluation de l'état écologique (Ecostat) a proposé des méthodes statistiques pour définir des seuils, basées sur la mise en relation d'indicateurs biologiques et de concentrations en nutriments. Les États membres ont été invités à tester ces méthodes sur les paramètres constitutifs de l'élément de qualité « Nutriments ». Les tests réalisés par la France se sont avérés non satisfaisants pour les masses d'eau cours d'eau et littorales (estuaires, lagunes, zone côtière). Outre le contexte multi-pression, ces résultats s'expliquent pour les estuaires à marée, milieux particulièrement dynamiques et fluctuants à forts gradients environnementaux (liée essentiellement à la salinité et à la turbidité), par la « sélection » d'espèces et de communautés biologiques très tolérantes et peu diversifiées. Ce fait contraint la recherche des relations entre les organismes et les pressions anthropiques, entraînant l'enrichissement en nutriments, la désoxygénation de l'eau ou autres perturbations. Par ailleurs, il a été souligné l'existence de nombreux facteurs confondants plus ou moins

faciles à identifier (Phillips *et al.*, 2019). Un exemple est fourni par l'étude de Hickey *et al.* (2013) qui a mis en évidence l'influence de la composition ionique des eaux sur la toxicité du nitrate, cette dernière s'aggravant avec l'augmentation de la dureté de l'eau. Il apparaît ainsi essentiel de tenir compte des caractéristiques abiotiques naturelles des masses d'eau et des interactions avec d'autres facteurs de contrôle pour définir des valeurs seuils permettant une interprétation écologique, comme cela existe pour les plans d'eau et les estuaires (ex. : Teichert *et al.*, 2016 pour les communautés des poissons en estuaires). L'approche actuelle visant à utiliser un seul et unique seuil au niveau national, comme c'est le cas pour les cours d'eau, peut être considérée comme trop simplificatrice vu la diversité des écosystèmes aquatiques et mériterait d'être revue.

Par ailleurs, les seuils actuels sont définis pour évaluer l'état à la masse d'eau et peuvent ne pas être assez protecteurs pour préserver l'ensemble du continuum aquatique. Les masses d'eau aval « récepteurs » des flux (ex. : plans d'eau alimentés par les tributaires ou les eaux littorales affectées par les apports des fleuves) en sont un exemple typique. La qualité des eaux de ces masses d'eau peut être altérée, certes, par les pressions résultantes des activités humaines locales, mais également par des pressions originaires du bassin versant amont. Des modèles, capables de simuler les processus biogéochimiques à l'échelle de l'ensemble du bassin hydrographique incluant la zone côtière et tenant compte des caractéristiques hydrologiques du bassin ainsi que de l'utilisation des terres et des activités humaines, sont désormais nécessaires pour une gestion intégrée

### 2 Pressions impactant l'état écologique des eaux de transition (estuaires, lagunes, deltas) rapportées par la France et autres États membres au dernier rapportage au titre de la directive cadre sur l'eau. Les pollutions diffuses d'origine agricole (« diffuse sources ») et rejets ponctuels (« point sources ») concernent les nutriments.

Source : European waters — Assessment of status and pressures 2018,  
<https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-quality-and-water-assessment/water-assessments/pressures-and-impacts-of-water-bodies>



de l'eau. Le projet nuts-STeauRY<sup>2</sup> porté par Sorbonne Université et lauréat d'un appel à manifestation d'intérêt de l'OFB vise à proposer un outil opérationnel sur le continuum terre-mer permettant d'intégrer les objectifs environnementaux fixés en mer, au travers d'une gestion des territoires fluviaux contributifs.

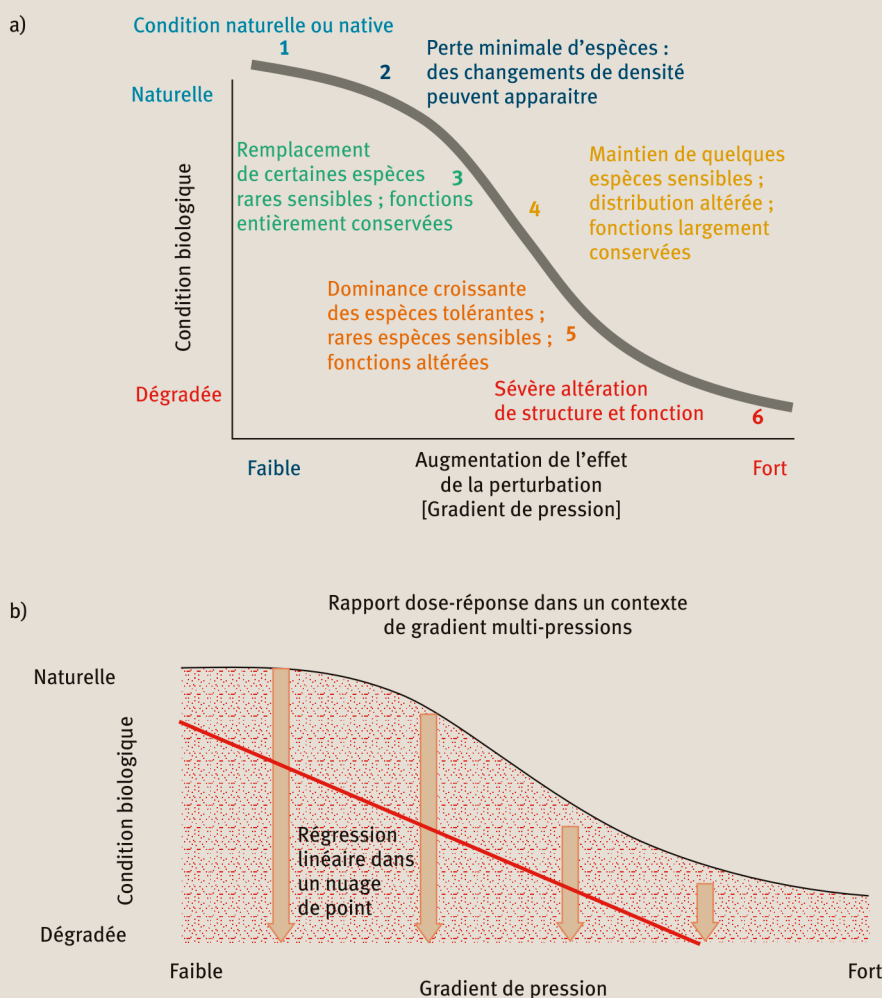
La définition de seuils plus réalistes et protecteurs exige de disposer de données représentatives des caractéristiques physico-chimiques des différentes masses d'eau. Des suivis physico-chimiques doivent être ainsi adaptés pour tenir compte de la saisonnalité des processus biogéochimiques. Outre les données haute fréquence, il faudrait mobiliser des outils de modélisation déterministe permettant d'intégrer les forçages météorologiques et hydrologiques pour « isoler » la part du naturel, de la part liée aux pressions anthropiques. Les données satellitaires ou aéroportées (mesures de température et de turbidité de surface, de chlorophylle a et certains autres pigments) peuvent également être utilisées pour compléter les mesures *in situ*. Les travaux sont lancés sur ces axes spécifiques pour les plans d'eau (pôle étude et recherche

OFB-INRAE-USMB Écla) et pour les eaux littorales en métropole et dans les départements d'outremer.

Les seuils physico-chimiques actuels ne considèrent pas les variations de l'état des milieux dans le contexte des changements globaux. Le changement climatique, les besoins croissants en ressources en eau, les évolutions d'utilisation des terres, les pertes de la continuité écologique, la rupture des barrières biogéographiques et les échanges biotiques entraînent un stress important affectant la biodiversité des écosystèmes d'eau douce, estuariens et marins à l'échelle mondiale, soulignant la nécessité des efforts politiques visant à les minimiser. Ces changements sont susceptibles d'impacter le maintien d'un bon état écologique au sens de la DCE (Hering *et al.*, 2010). Des changements sont déjà visibles comme

2. Apports d'une modélisation intégrée terre-mer dans la co-construction de scénarii territorialisés pour limiter l'eutrophisation sur le littoral français (2021-2024): <https://www.metis.upmc.fr/fr/node/698>

5 a) Schéma conceptuel décrivant les différents stades de changement des conditions biologiques face à l'augmentation du gradient d'un stress environnemental (d'après Davies et Jackson, 2006) ; b) déclinaison du même modèle théorique en contexte multi-stress (en supposant des effets additifs forcément plus ou moins néfastes) ; la droite en rouge représentant une régression linéaire simple.



► la modification des débits des cours d'eau et de la distribution de la salinité sur le littoral. Un effet de l'augmentation de la température et modification des flux a également été démontré sur l'eutrophisation et la production primaire des milieux aquatiques (e.g. le projet REFRESH de l'Union européenne qui apporte de nouvelles preuves sur les lacs ou le projet TELECHLOR porté par Argans, Ifremer et soutenu par l'OFB qui reconstitue les longues chroniques des données satellitaires en zone côtière)... Tenant compte de cela, des limites de charge en nutriments plus strictes sont probablement nécessaires dans un futur climat plus chaud pour atteindre un bon état écologique des lacs, des cours d'eau et du littoral.

## Conclusion

Les différents travaux menés ces dernières années par INRAE, l'OFB et leurs partenaires montrent les difficultés méthodologiques à établir des valeurs seuils physico-chimiques qui soient calées sur les indicateurs biologiques en s'appuyant sur des données issues de réseaux de surveillance des masses d'eau. Néanmoins, les pistes pour perfectionner les outils d'évaluation de la qualité des écosystèmes existent et ouvrent des nouvelles perspectives pour une expertise plus réaliste. Cependant, tout changement des réseaux de surveillance ou d'outils de mesure et d'évaluation de l'état des milieux peut entraîner potentiellement des ruptures dans les chroniques de données et des investissements complémentaires pour les gestionnaires des milieux. En vue de garantir un fonctionnement écologique cohérent de l'ensemble du bassin versant (son littoral inclus) et ainsi d'atteindre les objectifs visés par le plan de la Commission européenne « zéro pollution pour l'air, l'eau et le sol » annoncé par le *Green Deal* et la Stratégie Biodiversité, nous recommandons d'orienter les futurs travaux vers la définition de nouveaux seuils. Ceux-ci auraient pour objectif d'aider

à décider des mesures de gestion, mieux sélectionner et prioriser les actions de réduction des pressions dans le temps. Cela nécessitera de revoir et moderniser les méthodes de surveillance pour disposer de données plus régulières et représentatives à l'échelle nationale. Il sera nécessaire de s'appuyer sur des alternatives comme les indicateurs de fonctionnement (ex. : production primaire) pour compenser certaines limites identifiées avec les indicateurs biotiques basés sur la structure des communautés. Enfin, il faudra prendre en compte la connectivité entre les différentes masses d'eau pour définir des seuils protégeant l'ensemble du continuum aquatique et de tenir compte des effets du changement climatique. ■

## Les auteurs

### Nolwenn BOUGON et Maia AKOPIAN

Office français de la biodiversité,  
Direction de la recherche et de l'appui scientifique,  
12 cours Lumière, F-94300 Vincennes, France.

✉ [nolwenn.bougon@ofb.gouv.fr](mailto:nolwenn.bougon@ofb.gouv.fr)

✉ [maia.akopian@ofb.gouv.fr](mailto:maia.akopian@ofb.gouv.fr)

### Vincent ROUBEIX

Ifremer, BE, F-44000 Nantes, France.

✉ [vincent.roubeix@ifremer.fr](mailto:vincent.roubeix@ifremer.fr)

### Mario LEPAGE

INRAE, UR EABX, 50 avenue de Verdun,  
F-33612 Cestas Cedex, France.

✉ [mario.lepage@inrae.fr](mailto:mario.lepage@inrae.fr)

### Martial FERRÉOL

INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua, CS 20244,  
F-69625 Villeurbanne, France.

✉ [martial.ferreol@inrae.fr](mailto:martial.ferreol@inrae.fr)

### Pierre-Alain DANIS

Pôle R&D OFB-INRAE-USMB « ECLA »,  
F-13182 Aix-en-Provence, France.

✉ [pierre-alain.danis@ofb.gouv.fr](mailto:pierre-alain.danis@ofb.gouv.fr)

## EN SAVOIR PLUS...

- ✉ **DANIS, P.-A., ROUBEIX, V.**, 2014a, *Physico-chimie soutenant la biologie des plans d'eau nationaux : Principes et méthodes de définition des valeurs-seuils & Amélioration des connaissances par la télédétection*, Pôle Onema-Irstea « Hydroécologie des Plans d'eau », Aix-en-Provence, 81 p.
- ✉ **DAVIES, S.P., JACKSON, S.K.**, 2006, The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems, *Ecological Applications*, n° 16, p.1251-1266, ✉ [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1251:TBCGAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1251:TBCGAD]2.0.CO;2)
- ✉ **FERRÉOL, M., BOUGON, N.**, 2017, *Physico-chimie soutenant la biologie – Identification des seuils physico-chimiques en soutien au bon état écologique des cours d'eau*, AFB-IRTSEA Lyon MAEP-LHQ, 100 p.
- ✉ **GROFFMAN, P., BARON, J., BLETT, T., GOLD, A., GOODMAN, I., GUNDERSON, L., LEVINSON, B., PALMER, M., PAERL, H., PETERSON, G., POFF, N., REJESKI, D., REYNOLDS, J., TURNER, M., WEATHERS, K., WIENS, J.**, 2006, Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management or an Important Concept with No Practical Application?, *Ecosystems*, n° 9, p. 1-13, ✉ <http://www.jstor.org/stable/25470313>
- ✉ **HERING, D., HAIDEKKER, A., SCHMIDT-KLOIBER, A., BARKER, T., BUISSON, L., GRAF, W., GRENOUILLET, G., LORENZ, A., SANDIN, L., STENDERA, S.**, 2010, « Monitoring the Responses of Freshwater Ecosystems to Climate Change », in: KERNAN, M., BATTARBEE, R., MOSS, B. (eds), *Climate change impacts on freshwater ecosystems*, Wiley-Blackwell, Chichester.
- ✉ **HICKEY, C.W.**, 2013, *Updating nitrate toxicity effects on freshwater aquatic species*, n° ELF13207, HAM2013-009, NIWA report prepared for the Ministry of Building, Innovation and Employment, Funded by Envirolink, Wellington, 39 p., ✉ <https://envirolink.govt.nz/assets/Envirolink/1207-ESRC255-Updating-nitrate-toxicity-effects-on-freshwater-aquatic-species-pdf>
- ✉ **LEPAGE, M., LANOUX, A., FOUSSARD, V.**, 2014, *Expérimentations sur la tolérance des organismes aux hypoxies*, Inrae/ mission inter-estuariers, Rapport Irstea-Onema.
- ✉ **MINIER, C.**, 2019, *Seuil de tolérance de la faune estuarienne à la concentration en oxygène dissous : apport à la définition des valeurs-seuils*, Université du Havre, Rapport, 23 p.
- ✉ **PHILLIPS, G., TEIXEIRA, H., POIKANE, S., SALAS HERRERO, F., KELLY, M.G.**, 2019, Establishing nutrient thresholds in the face of uncertainty and multiple stressors: A comparison of approaches using simulated datasets, *Science of the Total Environment*, n° 684, p. 425-433, ✉ <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.343>
- ✉ **ROUBEIX, V., DANIS, P.-A., FERET, T., BAUDOIN, J.-M.**, 2016, Identification of ecological thresholds from variations in phytoplankton communities among lakes: contribution to the definition of environmental standards, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 188, art. 246, ✉ <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5238-y>
- ✉ **TEICHERT, N., BORJA, A., CHUST, G., URIARTE, A., LEPAGE, M.**, 2016, Restoring fish ecological quality in estuaries: Implication of interactive and cumulative effects among anthropogenic stressors, *Science of the Total Environment*, n° 542, p. 383-393, ✉ <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.068>
- ✉ **TEIXEIRA, H., SALAS-HERRERO, F., KELLY, M., PHILLIPS, G., LYCHE SOLHEIM, A., POIKANE, S.**, 2021, *Physico-chemical supporting elements: transitional and coastal waters: A review of national standards to support good ecological status*, EU report.





*Les paramètres physico-chimiques interviennent en soutien à la biologie, comme un élément complémentaire de l'évaluation des masses d'eau.*