



HAL
open science

Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain – physico-chimie du lac de Parentis-Biscarrosse

Aurélien Jamoneau, Sébastien Boutry, Jacky Vedrenne, Nicolas Mazzella,
David Funosas-Planas, Guillaume Bourguetou

► **To cite this version:**

Aurélien Jamoneau, Sébastien Boutry, Jacky Vedrenne, Nicolas Mazzella, David Funosas-Planas, et al..
Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain – physico-chimie du lac de Parentis-Biscarrosse.
Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement, 2019,
43-44, pp.225-243. 10.4000/dynenviron.5234 . hal-04406201

HAL Id: hal-04406201

<https://hal.inrae.fr/hal-04406201v1>

Submitted on 19 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

43-44 | 2019

Un patrimoine unique à partager et à protéger

Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain – physico-chimie du lac de Parentis-Biscarrosse

Ecological dynamics of coastal Aquitaine lakes - physico-chemical trajectories of the Parentis-Biscarrosse lake

Aurélien Jamoneau, Sébastien Boutry, Jacky Vedrenne, Nicolas Mazzella, David Funosas-Planas et Guillaume Bourguetou



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/5234>

DOI : 10.4000/dynenviron.5234

ISSN : 2534-4358

Éditeur

Université d'Orléans

Édition imprimée

Date de publication : 6 octobre 2019

Pagination : 225-243

ISSN : 1968-469X

Ce document vous est offert par INRAE Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement



Référence électronique

Aurélien Jamoneau, Sébastien Boutry, Jacky Vedrenne, Nicolas Mazzella, David Funosas-Planas et Guillaume Bourguetou, « Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain – physico-chimie du lac de Parentis-Biscarrosse », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 43-44 | 2019, mis en ligne le 05 décembre 2022, consulté le 19 janvier 2024. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/5234> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.5234>

Ce document a été généré automatiquement le 7 avril 2023.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain – physico-chimie du lac de Parentis-Biscarrosse

Ecological dynamics of coastal Aquitaine lakes - physico-chemical trajectories of the Parentis-Biscarrosse lake

Aurélien Jamoneau, Sébastien Boutry, Jacky Vedrenne, Nicolas Mazzella, David Funosas-Planas et Guillaume Bourguetou

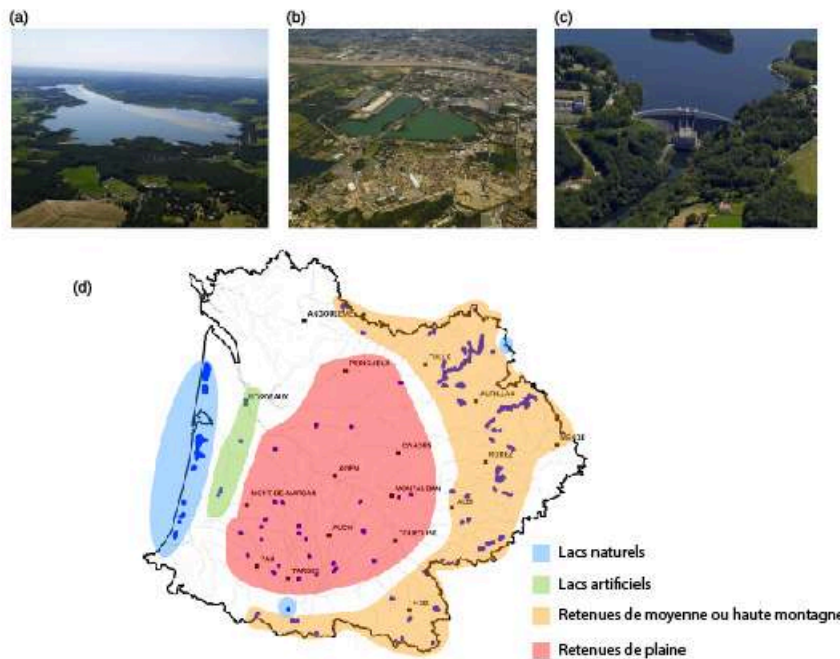
Nous souhaitons vivement remercier Christophe Laplace-Treytore pour ses remarques pertinentes sur l'analyse des données et Vincent Bertrin pour sa contribution photographique. Nos sincères remerciements vont également à Pierre-Alain Danis pour nous avoir fourni les données de température. Ce travail a été possible grâce au soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et celui de l'Agence nationale de la recherche (ANR), dans le cadre du programme investissements d'avenir, au sein du LabEx COTE (ANR-10-LABX-45).

Contexte général des lacs sur le territoire hydrographique Adour Garonne

- 1 Le territoire hydrographique de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne compte plus de 9000 surfaces d'eaux douces¹ dont la superficie est supérieure à 1 ha, couvrant une surface totale de 650 km² (BD TOPO® V.3.0). En dépit de cette multitude d'écosystèmes aquatiques, seule une infime partie d'entre eux font l'objet d'un suivi réglementaire de leur qualité écologique (Bartout, 2015), répondant à une volonté politique et financière (Bouleau & Pont, 2014). Ainsi, seuls ceux avec une superficie supérieure à 50 ha (soit une centaine sur le territoire Adour-Garonne) font l'objet d'un suivi écologique dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau. Qu'ils soient naturels (formation glaciaire ou volcanique) ou artificiels car résultant de l'activité humaine (retenues de barrage ou gravières), les lacs² du territoire hydrographique de l'Agence de l'Eau s'étagent du

niveau de l'Océan (façade Atlantique) jusqu'au au cœur des montagnes (Pyrénées, Massif Central) (Fig. 1).

Figure 1 : Illustration des différents types de lacs retrouvés sur le territoire hydrographique de l'Agence de l'Eau Adour Garonne : (a) lac naturel (lac de Soustons, Landes, crédit Airview), (b) lac artificiel (Bordeaux lac, Gironde, crédit Airview) et (c) retenue de barrage hydroélectrique (barrage de St Etienne de Cantalès, Cantal, crédit Airview). La carte (d) indique la localisation des différents types de lacs sur ce territoire.



- 2 Tous font l'objet d'enjeux multiples liés aux usages humains : hydroélectricité, production d'eau potable, irrigation, pêche et pisciculture, baignade, activités récréatives, loisirs... mais ils sont également des milieux de vie et de biodiversité abritant des communautés végétales et animales très diversifiées, qu'elles soient ordinaires ou remarquables (Agence de l'Eau Adour-Garonne, 2019). Pour les gestionnaires des lacs et les acteurs économiques impliqués, la conciliation des usages avec la préservation des fonctionnements écologiques nécessite des compromis parfois complexes, qui doivent s'appuyer sur la connaissance de ces milieux, dont le champ reste encore immense.
- 3 De par la formation géomorphologique du littoral aquitain, liée à une accumulation d'eau douce sur substrat sableux en zone littorale (Tastet et *al.*, 2008), les lacs aquitains forment un ensemble d'écosystèmes aquatiques très particuliers. Ces milieux abritent de nombreuses espèces ubiquistes, susceptibles de s'adapter à des habitats très variés, mais aussi des espèces patrimoniales de faune et de flore inféodées à des eaux d'excellente qualité et aux biotopes très particuliers que sont les eaux oligotrophes sur substrat sableux. Certaines de ces espèces sont d'ailleurs protégées au niveau national ou européen (Fig. 2).
- 4 Parallèlement, l'évolution très rapide du climat induisant des changements de fonctionnement des milieux est une réalité déjà perceptible dans le Sud-Ouest de la

France (Arevalo et al., 2020 ; Caballero et al., 2007 ; Giuntoli et al., 2013 ; Tisseuil et al., 2012). Il a de fortes répercussions sur la ressource en eau. Si l'on se concentre sur la frange atlantique, le diagnostic est sévère : l'élévation de la température de l'air et de l'évapotranspiration va accentuer le risque de sécheresse, la baisse des débits des cours d'eau et celle de la recharge des nappes. Ces incidences pour la ressource, aggravée par une augmentation généralisée de la température des eaux auront, si rien n'est fait, des conséquences sur la qualité des eaux et sur la biodiversité. Les modifications fortes des conditions physico-chimiques des lacs et des zones humides associées rendent ces écosystèmes particulièrement vulnérables.

Figure 2 : Illustrations de plantes aquatiques d'intérêt patrimonial présentes dans les lacs du littoral aquitain. De gauche à droite, *Isoetes boryana* (crédit : Vincent Bertrin), *Lobelia dortmanna* (crédit : Aurélien Jamoneau) et *Littorella uniflora* (crédit : Aurélien Jamoneau).



- 5 Dans ce contexte, les sujets d'étude sont nombreux, complexes, et pouvoir concilier la préservation d'une forte biodiversité, un fonctionnement écologique efficient et le maintien des différents usages devient difficile et subtil. Pour autant, les scientifiques étudient les lacs du littoral aquitain depuis plusieurs décennies (Bertrin, 2018 ; Beuffe, 2002 ; Capdevielle, 1979 ; CTGREF, 1975 ; Dutartre et al., 1986). S'ils ont compilé bon nombre de données au fil du temps, aussi bien sur la flore, la faune que sur les caractéristiques physico-chimiques des plans d'eau, ces données sont peu exploitables par les gestionnaires car trop hétérogènes. Il fallait donc proposer une méthode permettant de collecter les données dans un outil sécurisé, les rendre accessibles mais aussi les exploiter pour interpréter la dynamique écologique de ces plans d'eau. Le projet DYLAQ (Dynamiques écologiques des lacs du littoral aquitain), mené par INRAE (ex IRSTEA/Cemagref) a ainsi été lancé en 2016 en collaboration avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. *In fine*, il doit permettre une meilleure compréhension des diverses dynamiques à l'œuvre dans les écosystèmes lacustres et aider à l'amélioration de leur gestion.

Le projet DYLAQ

- 6 Depuis de nombreuses années, les équipes d'INRAE travaillent à la compréhension des processus écologiques agissant dans les lacs Aquitains. Des suivis de la qualité chimique et biologique des lacs du littoral aquitain ont été initiés depuis les années 1970. Une quantité relativement importante de données a été acquise sur ces milieux, par INRAE ou d'autres institutions, à la suite de divers programmes d'études. Ces travaux ont été principalement initiés dans le cadre d'opérations de gestion et ont également servi de base au développement d'indicateurs d'état écologique et d'outils de suivi, en particulier, pour les maillons végétaux.

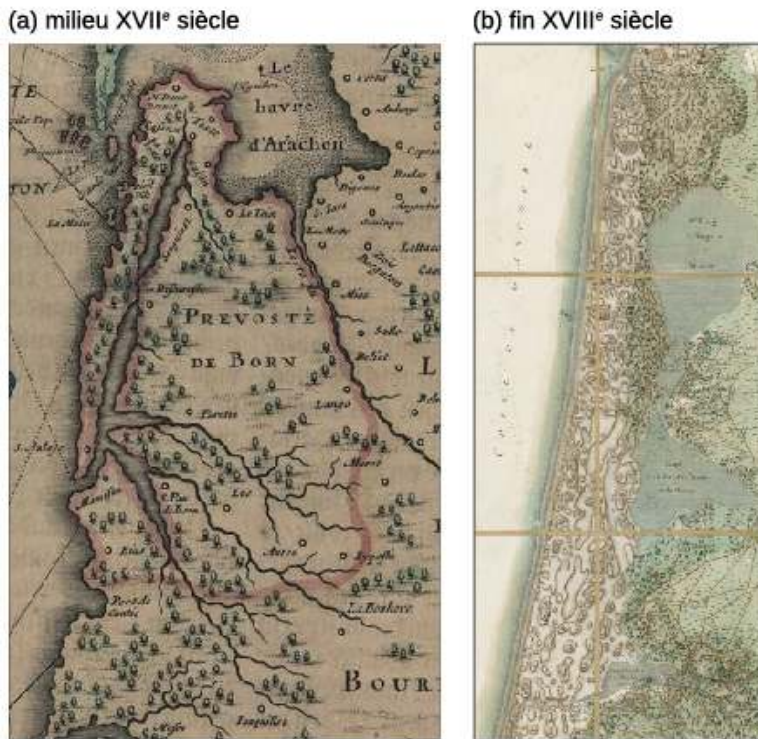
- 7 Cependant, ces données sont hétérogènes, acquises selon des protocoles différents, sur des périodes d'études discontinues et dans le cadre de suivis souvent dédiés à un seul maillon biologique sur un seul lac ou sur un groupe restreint de lacs. La dynamique trophique de ces lacs ainsi que la dynamique temporelle des communautés de macrophytes ont déjà fait l'objet de travaux (Bertrin, 2018 ; Beuffe, 2002 ; Dutartre, 2002 ; Dutartre et al., 2014), mais une analyse de la dynamique de l'ensemble des données chimiques et biologiques disponibles sur tous les lacs aquitains n'a encore jamais été réalisée. Cette étude qui intègre tous les éléments et descripteurs disponibles doit permettre d'interpréter la dynamique écologique de ces plans d'eau, regroupés dans une même unité fonctionnelle qu'est la chaîne des lacs aquitains.
- 8 Le projet concerne les 16 lacs et plans d'eau suivants : Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet, petit étang de Biscarrosse, Parentis-Biscarrosse, Aureilhan, Léon, Moliets, Laprade, Moisan, Soustons, Hardy, étang Blanc, étang Noir, Garros et Turc. L'analyse de l'ensemble des données écologiques recueillies sur ces 16 plans d'eau aquitains pour définir leur trajectoire soumise à différentes pressions et ayant fait l'objet de diverses mesures de gestion constitue l'objectif principal de la présente étude. Dans le cadre de cet article, nous illustrerons quelques résultats de cette étude (Voir aussi l'article de Jamoneau et al. dans cet ouvrage) en se concentrant sur la dynamique physico-chimique d'un lac particulièrement impacté par les activités humaines : le lac de Parentis-Biscarrosse.

Un exemple de dynamique écologique : le lac de Parentis Biscarrosse

Caractéristiques générales et historique du lac

- 9 Le lac de Parentis-Biscarrosse est situé sur les communes de Biscarrosse, Parentis, Gastes et Saint-Eulalie. Localisé en aval du lac de Cazaux-Sanguinet, il reçoit ses eaux via le petit étang de Biscarrosse et le canal de Navarrosse, mais est aussi directement alimenté par le Nassey qui représente son principal tributaire. Le lac de Parentis-Biscarrosse a une superficie de 31,93 km², une profondeur moyenne de 7,4 m et maximale de 20,7 m. Son volume a longtemps été estimé à 250 millions de m³ (Cellamare, 2009 ; Dutartre et al., 1986), mais de récents calculs mentionnent un volume beaucoup plus important, de l'ordre de 386 millions de m³ (Agence de l'Eau Adour-Garonne). Le temps de séjour de ses eaux est estimé à 468 jours et ce lac présente une stratification estivale de type monomictique (Beuffe & Meny, 1998) mais cette dernière reste relativement instable et facilement détruite par le vent (Bertrin, 2018 ; Capdevielle, 1979).
- 10 A l'image des autres grands lacs aquitains, ce lac naturel s'est formé suite à l'édification du cordon dunaire et au barrage des fleuves côtiers qui se jetaient dans la mer. Au XVIIe siècle, il ne formait avec le lac de Cazaux-Sanguinet, de Petit-Biscarrosse et d'Aureilhan qu'un ensemble unique qui semble s'être différencié à partir du XVIIIe siècle (Fig. 3). En conséquence il est marqué par une asymétrie bathymétrique forte et caractéristique de cette formation (pentes fortes à l'ouest et faibles à l'est).

Figure 3 : Illustration de la formation des lacs de Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarrosse et Aureilhan entre le XVII^e et le XVIII^e siècle. Extrait de la 'carte du Bourdellois, du pais de Medoc, et de la prevosté de Born' réalisée en 1635 par Willem Jansz Blaeu (a) et de la carte générale de la France, planche n° 137, dressé par César-François Cassini de Thury entre 1780 et 1790 (b) (source : Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France).



- 11 Le lac de Parentis-Biscarrosse et son bassin versant sont soumis à une forte pression anthropique (Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux 3, 1987). A l'image des autres lacs du littoral aquitain, il subit depuis les dernières décennies les conséquences de l'attractivité touristique du territoire et a ainsi vu émerger bon nombre d'aménagements associés à ce développement (campings, bases de loisirs, plages). Mais contrairement aux autres lacs du littoral, il est également soumis à une forte activité industrielle. Il a constitué depuis les années 30 jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale le lieu d'assemblage et d'essais des plus grands hydravions Français. Depuis les années 50, le sous-sol du lac de Parentis-Biscarrosse est aussi exploité par une industrie pétrolière et la surface du lac est, depuis, parsemée de nombreuses plateformes d'exploitation (Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux 3, 1987). Plusieurs sites industriels sont présents le long du principal tributaire du lac (le Nassey), et notamment une industrie chimique fabriquant des charbons actifs qui a fortement contribué à la détérioration de sa qualité à partir des années 1976-1978 (Dutartre et al., 1987).

Données recueillies dans le cadre du projet

- 12 Dans le cadre du projet DYLAQ, de nombreuses données ont été rassemblées sur le lac de Parentis-Biscarrosse depuis les années 70, en particulier concernant la composition physico-chimique de l'eau. Ainsi, uniquement sur le lac de Parentis-Biscarrosse, pas moins de 14785 lignes de données ont pu être rassemblées sur plus de 300 dates de prélèvement à partir de 62 documents de référence.

- 13 Les données physico-chimiques les plus anciennes datent du début des années 70 et s'inscrivent dans une étude qui visait à établir un constat sanitaire des 4 grands lacs du littoral aquitain (CTGREF, 1975). Beaucoup de données ont également été recueillies dans le cadre de la mise en place et du suivi d'un 'contrat lac' (document de gestion) entre la fin des années 80 et les années 2000. Depuis, la principale source de donnée repose sur les prélèvements effectués dans le cadre la Directive Cadre sur l'Eau et du suivi annuel réalisée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (4 prélèvements par an selon l'Arrêté du 17 Octobre 2018). A l'ensemble de ces principales sources de données se rajoutent des données ponctuelles, correspondant à différentes études spécifiques réalisées principalement par l'ex Cemagref et IRSTEA (actuellement INRAE).
- 14 L'ensemble de ces données sont très hétérogènes et reflètent l'évolution des techniques de prélèvement et d'analyses de laboratoire. Elles sont généralement exprimées avec des unités différentes, nécessitant une homogénéisation pour une analyse commune (par exemple les concentrations en phosphore total peuvent être exprimées en mg.L^{-1} de P ou de PO_4). Une attention particulière doit donc être portée aux méthodes d'analyses et à l'expression de leurs unités lors du travail de concaténation.
- 15 Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à la dynamique temporelle des paramètres physico-chimiques et biologiques liés à l'eutrophisation des écosystèmes lacustres : concentrations de phosphore (phosphore total TP en mgP.L^{-1} et orthophosphates PO_4 en mgP.L^{-1}) et d'azote (azote minéral total Nmin en mgN.L^{-1} et nitrates NO_3 en mgN.L^{-1}), transparence de l'eau mesurée avec le disque de Secchi (en m) et concentration en chlorophylle-a (Chl-a en $\mu\text{g.L}^{-1}$). Les valeurs utilisées correspondent uniquement aux données prélevées pendant la période estivale (de mai à septembre), *i.e.* la période de végétation pour laquelle le nombre de données était le plus important. La variation spatiale des paramètres étant considérée comme négligeable par rapport à la variation saisonnière (Gebrehiwot *et al.*, 2017 ; Jamoneau *et al.*, 2019), toutes les données, *i.e.* quelle que soit la localisation du lieu de prélèvement sur le lac, ont été utilisées. Le lac ayant une stratification thermique estivale située aux alentours des 10 m de profondeur (Dutartre *et al.*, 1987 ; Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux 3, 1987), nous avons sélectionné pour les analyses, uniquement les prélèvements ponctuels effectués entre 0 et 10 m de profondeur ainsi que les prélèvements intégrés effectués dans l'ensemble de la zone euphotique (cette dernière étant dans la plupart des cas inférieure à 10 m). Dans le cadre de cette analyse, nous avons utilisé la moitié de la valeur du seuil de quantification pour les valeurs inférieures à ce seuil, et une valeur proche de 0 pour les valeurs inférieures au seuil de détection. Pour chaque paramètre physico-chimique (TP, PO_4 , Nmin, NO_3 , transparence) et biologique (Chl-a), les valeurs médianes par année ont ensuite été calculées pour évaluer la dynamique temporelle, et un ajustement des données effectuée avec une régression non-paramétrique (modèle 'lowess').
- 16 Nous avons ensuite calculé la classe d'état chimique selon les critères de la DCE (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019). Afin d'avoir des données comparables au protocole DCE, les données utilisées pour la définition de ces classes concernent uniquement celles prélevées sur le point du lac de plus grande profondeur et présentant au moins 3 campagnes de prélèvements dans l'année. Les classes d'états chimiques ont été définies pour la transparence de l'eau (en m), le phosphore total (en mgP.L^{-1}), les nitrates (en $\text{mgNO}_3.\text{L}^{-1}$) et l'ammonium (en $\text{mgNH}_4.\text{L}^{-1}$).

- 17 Afin de compléter cette dynamique de l'état trophique du milieu, nous nous sommes aussi intéressés à l'impact du réchauffement climatique sur le lac de Parentis-Biscarrosse. Pour ceci, nous avons utilisé les données de température de l'eau superficielle estimée entre 1959 et 2016 d'après les travaux de Prats & Danis (2019). L'estimation de la température de l'eau est réalisée à partir des données météorologiques intégrées dans le modèle adapté de Ottosson-Kettle pour la France métropolitaine. A partir de ces données, nous avons également calculé les vagues de chaleurs, définies d'après Hobday et al. (2016), et qui correspondent à la période (nombre de jours) au cours de laquelle les températures de surface du lac dépassent un seuil local du 90e centile par rapport à une moyenne climatologique de référence pendant au moins cinq jours.

Eutrophisation du lac

- 18 Les résultats rassemblés dans le cadre du projet DYLAQ montrent globalement la détérioration de la qualité de l'eau jusqu'au milieu des années 80, en particulier pour le phosphore total qui atteint à cette date une concentration maximale (médiane annuelle sur la période d'étude de 0.37 mgP.L^{-1} , Fig. 4). Au début des années 90, cette concentration commence à diminuer jusqu'à aujourd'hui. Les autres paramètres étudiés (orthophosphates, azote minérale, nitrates et chlorophylle-a, transparence) montrent une tendance similaire et confirment une amélioration de l'état chimique du lac depuis les années 90. Cette amélioration de l'état est confirmée par la trajectoire des classes d'états chimiques depuis 2006 définies dans le cadre de la DCE (Fig. 5), en particulier pour le paramètre phosphore total et l'ammonium. On peut cependant noter la présence de fortes concentrations en phosphore total dans les années 2010-2015 (Fig. 4a), suggérant qu'une attention particulière doit être portée à ce paramètre dans les prochaines années.

Figure 4 : Variation temporelle (a) des concentrations en phosphore total (triangles bleus) et orthophosphates (rond verts), (b) des concentrations en azote minéral total (triangles bleus) et en nitrates (ronds verts), (c) de la concentration en chlorophylle-a et (d) de la profondeur de transparence mesurée au disque de Secchi. Les valeurs affichées correspondent aux valeurs médianes annuelles mesurées entre mai et septembre. Les ajustements linéaires affichées correspondent au lissage des données par une régression polynomiale avec pondération locale (traits pleins pour phosphore total, azote minéral total, chlorophylle-a et transparence, et traits pointillés pour les orthophosphates et les nitrates).

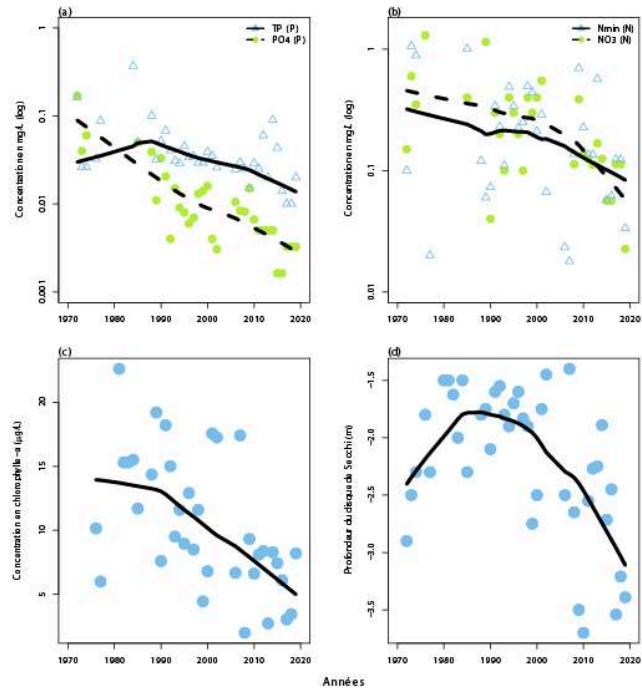
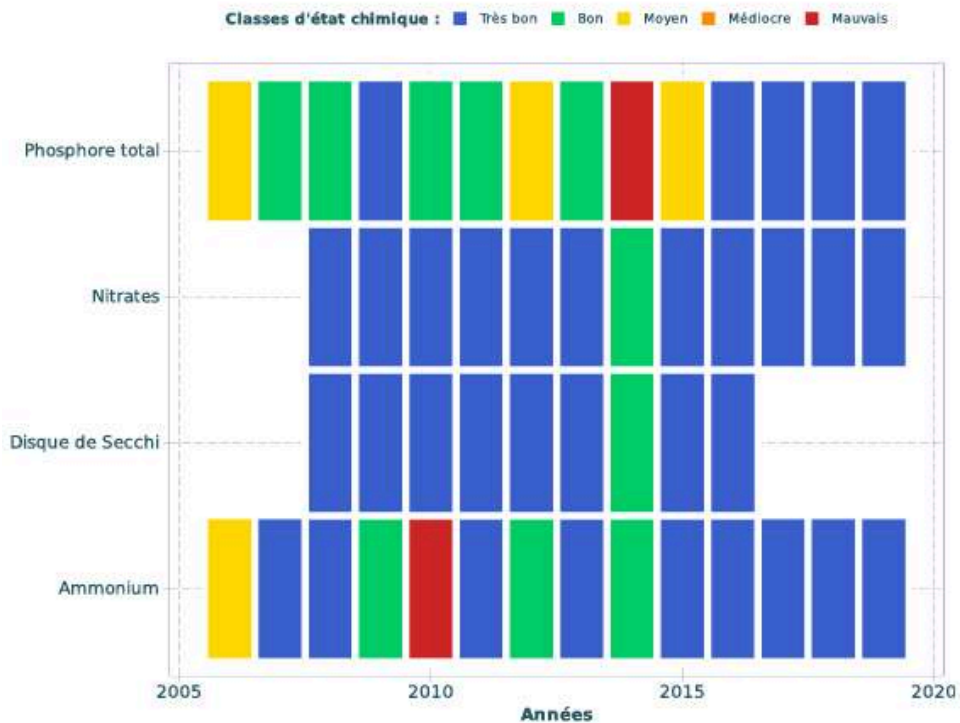


Figure 5 : Variation des classes d'état chimique définies selon la directive cadre sur l'eau (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019) au cours du temps pour la transparence de l'eau (disque de Secchi), le phosphore total, les nitrates et l'ammonium.



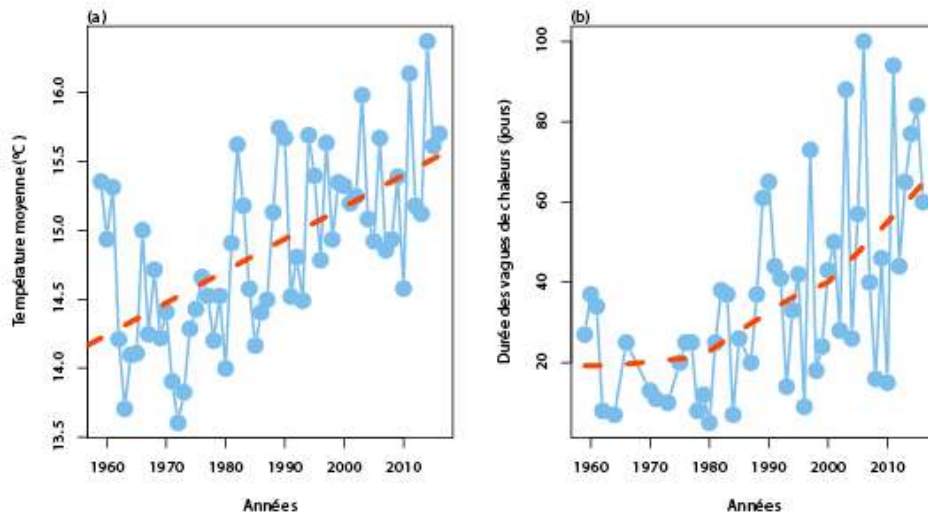
- 19 L'amélioration de l'état chimique du lac s'explique vraisemblablement par la mise en place du 'contrat lac' en 1987 et de l'ensemble des mesures prises depuis par les gestionnaires pour améliorer son état écologique. Le 'contrat lac' avait pour objectif de lutter contre l'eutrophisation de ce plan d'eau (Beuffe & Dutartre, 1995). Calqué sur les contrats de rivières, ce 'contrat lac' représentait à l'époque une véritable avancée pour la gestion des milieux lacustres car c'était un modèle unique en France (Beuffe & Dutartre, 1995). Ce contrat a permis la mise en œuvre de nombreux aménagements afin de limiter les apports trophiques dans le lac, mais, quelques années après sa mise en œuvre, ses effets restaient assez peu visibles à l'échelle du lac (Beuffe & Dutartre, 1995). Bien que nous pouvons observer une inflexion des valeurs des différents paramètres dès le début des années 90 et la mise en place des mesures de gestion, la décroissance semble longue et n'apparaît réellement visible qu'après plus d'une décennie. Ce délai est encore plus marqué concernant la concentration en azote minéral et en nitrates, pour lesquelles les courbes ne commencent à s'infléchir qu'à partir des années 2000. En accord avec la littérature ces résultats suggèrent un long délai (environ 20 ans) de réponse des écosystèmes aquatiques suite aux actions menées (Bennett et al. 1999 ; Erostate et al., 2018 ; Jeppesen et al. 1991 ; Jeppesen et al. 2005 ; Sand-Jensen, Bruun & Bastrup-Spohr, 2017), cette hystérésis étant encore plus marqué pour le compartiment azoté (Martin et al., 2011, mais voir aussi Jamoneau et al. dans cet ouvrage). Ce délai de réponse sur l'écosystème est aussi nettement apparent sur la transparence de l'eau. Cette dernière semble diminuer jusque dans les années 1990 (Fig. 4d) mais n'apparaît augmenter réellement que depuis les années 2000, soit plus d'une dizaine d'années après la mise en place des mesures de gestion du 'contrat lac'. Ce délai est similaire à

celui observé suite à la restauration d'écosystèmes lacustres au Pays-Bas (Van den Berg et al., 1999) et en Angleterre (Philipps et al. 2005).

Impact du réchauffement climatique

- 20 Mais, en plus du rôle important des activités anthropiques directs sur ce lac, s'ajoutent également les effets du réchauffement climatique observé à l'échelle de la planète. Ce réchauffement n'épargne pas le lac de Parentis-Biscarrosse qui voit sa température annuelle de l'eau de surface augmenter de plus de 1°C en 5 décennies, soit 0,2°C par décennie (Fig. 6a). Cette augmentation est légèrement moins forte que celle observée sur les lacs à l'échelle mondiale (0,34°C par décennie d'après O'Reilly et al., 2015), vraisemblablement parce que les lacs situés dans les régions avec un hiver chaud (comme celui de Parentis-Biscarrosse) se réchauffent moins vite que ceux subissant des hivers froids (Woolway et al., 2020). En accord avec la littérature (Austin & Colman, 2007 ; O'Reilly et al., 2015), cette augmentation semble sensiblement plus importante que l'augmentation de la température de l'air, estimée pour Bordeaux à 0,12 °C par décennie depuis le début du siècle (Le Treut, 2013) mais dont l'augmentation est plus marquée depuis les années 70 (0,17 °C par décennie selon MétéoFrance). Cette augmentation de la température s'accompagne également de vagues de chaleurs (Hobday et al., 2016) de plus en plus longues (Fig. 6b), en accord avec les récents travaux de Woolway et al. (2021) à l'échelle mondiale. Ce réchauffement climatique observé sur le lac de Parentis-Biscarrosse n'est pas sans conséquence sur l'ensemble de l'écosystème lacustre, puisque l'élévation de la température de l'eau modifie l'ensemble du fonctionnement du limnosystème, tel que la stratification thermique (augmentation de la durée de stratification), la concentration en oxygène de l'eau, le marnage ou encore l'évapotranspiration (Woolway et al., 2020). Les organismes doivent donc s'adapter en changeant leur comportement (e.g. les poissons peuvent migrer vers les zones plus profondes) mais certaines espèces, dont l'optimum de température se situe dans des valeurs moins élevées, risquent de disparaître. Dans le lac de Parentis-Biscarrosse, c'est notamment le cas des plantes aquatiques de type isoétides, situées en limite méridionale de distribution, et dont les populations sont en très forte régression (Bertrin, 2018). L'impact du réchauffement climatique est aussi reconnu comme amplifiant les impacts de l'eutrophisation (Moss et al., 2011) et notamment la dominance des cyanobactéries dans la communauté phytoplanctonique qui sont favorisées par l'élévation de la température (Monchamp et al., 2018). La prolifération de plus en plus fréquente des cyanobactéries dans ce lac (voir Moreira et al. dans cet ouvrage) et l'apparition de nouveaux taxons d'origine tropicale dans d'autres lacs de la région (Cellamare et al., 2009) semble confirmer l'importance jointe du réchauffement climatique et de l'eutrophisation sur les écosystèmes lacustres du littoral aquitain.

Figure 6 : Représentation des températures annuelles moyennes (a) et de la durée des vagues de chaleurs (b) de l'eau de surface du lac de Parentis-Biscarrosse entre 1959 et 2016. Les courbes en rouge représentent (a) la droite de régression du modèle linéaire de la température moyenne en fonction du temps ($y = 0.02x - 31.2$, $R^2_{aj}=0.37$, $p\text{-value} < 0.001$) et (b) le lissage des données par une régression polynomiale avec pondération locale. Données issues de l'estimation de la température de surface de l'eau (Prats et al. 2018).



Conclusions

- 21 Globalement, les résultats issus de cette étude suggèrent une amélioration de l'état chimique et biologique du lac de Parentis-Biscarrosse depuis les années 70. Ces résultats tendent à conclure sur l'efficacité des mesures de gestion déployées à la fin des années 80 mais soulignent aussi le long délai de réponse de l'écosystème face aux mesures mises en œuvre. Il faut cependant rester extrêmement prudent sur l'efficacité des mesures de gestion, le lien de causalité direct étant difficile à affirmer avec certitude sur de telles séries de données.
- 22 Même si les indicateurs semblent être plutôt positifs quant à la trajectoire écologique du lac, son état actuel garde encore des séquelles de sa dégradation écologique passée. Certaines espèces pérennes patrimoniales semblent aujourd'hui avoir disparues de ce lac (Bertrin, 2018) et les fortes concentrations en phosphore observées ces dernières décennies ont vraisemblablement contribué à leur forte accumulation dans les sédiments. Ce phosphore peut être à nouveau libéré lors de périodes anoxiques, à proximité du fond, en particulier pendant les périodes de stratification estivale. De fortes concentrations ont d'ailleurs été observées en 2012, 2014 et 2015 (Fig. 4a) soulignant l'extrême fragilité de ce système.
- 23 Ces périodes anoxiques risquent, en plus, de devenir de plus en plus fréquentes en raison du réchauffement des eaux avéré sur le lac, et des vagues de chaleurs de plus en plus nombreuses. De surcroît, le lac de Parentis-Biscarrosse est colonisé par deux plantes exotiques envahissantes (*Egeria densa* et *Lagarosiphon major*) qui occupent une grande partie du lac et représentent une biomasse considérable (Bertrin, 2018). La dégradation de la matière organique de ces plantes accumulée dans le fond par la communauté hétérotrophe devrait aussi augmenter les périodes d'anoxie (Ribaud et al., 2014) ainsi que le relargage du phosphore stocké dans les sédiments. Donc, bien que

la trajectoire physico-chimique du lac semble globalement dans une dynamique plutôt favorable, l'histoire écologique de ce lac a toujours une empreinte forte sur son écosystème et ses effets seront probablement encore réels sur le long terme.

BIBLIOGRAPHIE

Agence de l'Eau Adour Garonne. (2019). Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Adour-Garonne 2022-2027 : Etat des lieux (p. 153). Agence de l'Eau Adour Garonne.

Arevalo, E., Lassalle, G., Tétard, S., Maire, A., Sauquet, E., Lambert, P., Paumier, A., Villeneuve, B. & Drouineau, H. (2020). An innovative bivariate approach to detect joint temporal trends in environmental conditions : Application to large French rivers and diadromous fish. *Science of The Total Environment*, 748, 141260. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141260>

Arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

Austin, J.-A. & Colman, S.-M. (2007). Lake Superior summer water temperatures are increasing more rapidly than regional air temperatures : A positive ice-albedo feedback. *Geophysical Research Letters*, 34(6). <https://doi.org/10.1029/2006GL029021>

Bartout, P. (2015). L'incompréhension de la place prise par les plans d'eau dans l'Union européenne et ses conséquences réglementaires. *Norois. Environnement, aménagement, société*, 235, 17-36. <https://doi.org/10.4000/noroi.5608>

Bennett, E. M., Reed-Andersen, T., Houser, J. N., Gabriel, J. R., & Carpenter, S. R. (1999). A phosphorus budget for the Lake Mendota watershed. *Ecosystems*, 2(1), 69-75. <https://doi.org/10.1007/s100219900059>

Bertrin, V. (2018). Écologie et déterminisme physique des peuplements de macrophytes dans les lacs naturels peu profonds—Application aux grands lacs du littoral aquitain de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse (Gironde, Landes). Université de Bordeaux.

Beuffe, H. (2002). Bilan trophique des lacs et étangs landais. Campagne 2001 (N° 133; p. 44). CEMAGREF Bordeaux, Division Qualité des Eaux.

Beuffe, H. & Dutartre, A. (1995). Restauration du lac de Parentis-Biscarrosse - Analyse des possibilités de traitements curatifs (N° 1; p. 27). CEMAGREF Bordeaux, Division Qualité des Eaux.

Beuffe, H. & Meny, J. (1998). Bilan trophique des plans d'eau landais et suivi des effets des aménagements sur le bassin versant du lac de Parentis-Biscarrosse - Campagne 97-98 (N° 32; p. 17). CEMAGREF Bordeaux, Division Qualité des Eaux.

Bouleau, G. & Pont, D. (2014). Les conditions de référence de la directive cadre européenne sur l'eau face à la dynamique des hydrosystèmes et des usages. *Natures Sciences Sociétés*, 22(1), 3-14. <https://doi.org/10.1051/nss/2014016>

Caballero, Y., Voirin-Morel, S., Habets, F., Noilhan, J., LeMoigne, P., Lehenaff, A. & Boone, A. (2007). Hydrological sensitivity of the Adour-Garonne river basin to climate change. *Water Resources Research*, 43(7). <https://doi.org/10.1029/2005WR004192>

- Capdevielle, P. (1979). Recherches écologiques et systématiques sur le phytoplancton du lac de Cazaux—Sanguinet—Biscarrosse. Université de Bordeaux I.
- Cellamare, M. (2009). Evaluation de l'état écologique des plans d'eau Aquitain à partir des communautés de producteurs primaires. Université de Bordeaux.
- Cellamare, M., Leitão, M., Coste, M., Dutartre, A. & Haury, J. (2009). Tropical phytoplankton taxa in Aquitaine lakes (France). *Hydrobiologia*, 639(1), 129-145. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0029-x>
- CTGREF. (1975). Rapport d'étude des grands étangs aquitains -1972-1974 (Rapport d'étude N° 4; p. 76). CTGREF.
- Dutartre, A. (2002). Evolutions récentes des communautés végétales riveraines des lacs et étangs landais. 59-79.
- Dutartre, A., Bertrin, V., Jan, G., Labrousse, B., Lagrola, M., Laplace-Treyture, C., Mazzella, N. & Moreira, S. (2014). Système d'évaluation de la qualité (SEQ) Plans d'eau littoraux landais (2009-2010) (p. 98). Irstea, Unité de Recherche Ecosystèmes Aquatiques et Changements Globaux.
- Dutartre, A., Beuffe, H., Delarche, A., Gardes, C., Roqueplo, C. & Torre, M. (1986). Qualité des plans d'eau du littoral landais (Synthèse réalisée dans le cadre d'une évaluation de l'impact des projets de développement touristique sur les lacs et étangs landais Etude n°28; p. 72). CEMAGREF.
- Dutartre, A., Beuffe, H., Carbone, R., Coste, M., Laffont, A. I., Roqueplo, C., Torre, M., Gross, F., Rofes, G. & Jeoffre, E. (1987). Le Lac de Parentis-Biscarrosse et son environnement en 1984-1985—Tome 3—Qualité des eaux du système lacustre—Bilan de matières—Hydrobiologie et évolution de l'état du lac—1987. Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux III; Cemagref Bordeaux; Agence de l'eau Adour-Garonne.
- Erostate, M., Huneau, F., Garel, E., Lehmann, M. F., Kuhn, T., Aquilina, L., Vergnaud-Ayraud, V., Labasque, T., Santoni, S., Robert, S., Provitolo, D., & Pasqualini, V. (2018). Delayed nitrate dispersion within a coastal aquifer provides constraints on land-use evolution and nitrate contamination in the past. *Science of The Total Environment*, 644, 928-940. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.375>
- Gebrehiwot, M., Kifle, D., Stiers, I. & Triest, L. (2017). Phytoplankton functional dynamics in a shallow polymictic tropical lake : The influence of emergent macrophytes. *Hydrobiologia*, 797(1), 69-86. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3161-z>
- Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, J.-P. & Bard, A. (2013). Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 482, 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.038>
- Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., Benthuisen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., Sen Gupta, A. & Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227-238. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>
- Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux 3. (1987). Le Lac de Parentis-Biscarrosse et son environnement en 1984-1985—Tome 1—Synthèse des résultats—1987. Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux III; Agence de l'eau Adour-Garonne.
- Jamoneau, A., Bertrin, V., Delest, B., Eon, M., Gery, K., Jan, G., Laplace-Treyture, C., Mazzella, N., Moreira, A., Moreira, S., Morin, S., Neury-Ormanni, J., Ribaudou, C., Vedrenne, J. & Rosebery, J. (2019). Approche multi-taxonomique des communautés aquatiques dans le lac de Lacanau (p. 142)

[Rapport d'étude]. Irstea, Groupement de Bordeaux, Unité de recherche Ecosystèmes Aquatiques et Changements Globaux (EABX).

Jeppesen, E., Kristensen, P., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Mortensen, E., & Lauridsen, T. (1991). Recovery resilience following a reduction in external phosphorus loading of shallow, eutrophic Danish lakes : Duration, regulating factors and methods for overcoming resilience. *Mem Ist Ital Idrobiol*, 48, 127-148.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Havens, K. E., Anneville, O., Carvalho, L., Coveney, M. F., Deneke, R., Dokulil, M. T., Foy, B., Gerdeaux, D., Hampton, S. E., Hilt, S., Kangur, K., Köhler, J., Lammens, E. H. h. r., Lauridsen, T. L., Manca, M., Miracle, M. R., ... Winder, M. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50(10), 1747-1771. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01415.x>

Le Treut, H. (2013). Les impacts du changement climatique en Aquitaine : Un état des lieux scientifique. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux : LGPA-Editions, 365.

Martin, S. L., Hayes, D. B., Rutledge, D. T. & Hyndman, D. W. (2011). The land-use legacy effect : Adding temporal context to lake chemistry. *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2362-2370. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2362>

Ministère de la transition écologique et solidaire. (2019). Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) (p. 121).

Monchamp, M.-E., Spaak, P. & Pomati, F. (2018). High dispersal levels and lake warming are emergent drivers of cyanobacterial community assembly over the Anthropocene. *BioRxiv*, 419762. <https://doi.org/10.1101/419762>

Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R. W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., Meester, L. D., Paerl, H. & Scheffer, M. (2011). Allied attack : Climate change and eutrophication. *Inland Waters*, 1(2), 101-105. <https://doi.org/10.5268/IW-1.2.359>

O'Reilly, C. M., Sharma, S., Gray, D. K., Hampton, S. E., Read, J. S., Rowley, R. J., Schneider, P., Lenters, J. D., McIntyre, P. B., Kraemer, B. M., Weyhenmeyer, G. A., Straile, D., Dong, B., Adrian, R., Allan, M. G., Anneville, O., Arvola, L., Austin, J., Bailey, J. L. ... Zhang, G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters*, 2015GL066235. <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>

Phillips, G., Kelly, A., Pitt, J.-A., Sanderson, R., & Taylor, E. (2005). The recovery of a very shallow eutrophic lake, 20 years after the control of effluent derived phosphorus. *Freshwater Biology*, 50(10), 1628-1638. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01434.x>

Prats, J. & Danis, P.-A. (2019). An epilimnion and hypolimnion temperature model based on air temperature and lake characteristics. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 420, 8. <https://doi.org/10.1051/kmae/2019001>

Ribaudo, C., Bertrin, V. & Dutartre, A. (2014). Dissolved gas and nutrient dynamics within an *Egeria densa* Planch. Bed. *Acta Botanica Gallica*, 161(3), 233-241. <https://doi.org/10.1080/12538078.2014.932703>

Sand-Jensen, K., Bruun, H. H., & Baastrup-Spohr, L. (2017). Decade-long time delays in nutrient and plant species dynamics during eutrophication and re-oligotrophication of Lake Fure 1900–2015. *Journal of Ecology*, 105(3), 690-700. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12715>

Tastet, J.-P., Lalanne, R., Maurin, B. & Dubos, B. (2008). Geological and archaeological chronology of a late Holocene coastal enclosure : The Sanguinet lake (SW France). *Geoarchaeology*, 23(1), 131-149. <https://doi.org/10.1002/gea.20207>

Tisseuil, C., Vrac, M., Grenouillet, G., Wade, A. J., Gevrey, M., Oberdorff, T., Grodwohl, J.-B. & Lek, S. (2012). Strengthening the link between climate, hydrological and species distribution modeling to assess the impacts of climate change on freshwater biodiversity. *Science of The Total Environment*, 424, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.035>

Van den Berg, M. S., Scheffer, M., Van Nes, E., & Coops, H. (1999). Dynamics and stability of *Chara* sp. and *Potamogeton pectinatus* in a shallow lake changing in eutrophication level. *Hydrobiologia*, 408(0), 335-342. <https://doi.org/10.1023/A:1017074211970>

Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M. & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8), 388-403. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5>

Woolway, R. I., Jennings, E., Shatwell, T., Golub, M., Pierson, D. C. & Maberly, S. C. (2021). Lake heatwaves under climate change. *Nature*, 589(7842), 402-407. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03119-1>.

NOTES

1. Le vocable « surface d'eau douce » regroupe les natures suivantes : Lac, Mare, Plan d'eau de gravière, Plan d'eau de mine, Réservoir-bassin, Réservoir-bassin piscicole, Retenue, Retenue-barrage, Retenue-digue, Marais et excluant les zones portuaires.
2. Le vocable « lacs » regroupe pour des questions de facilité de lecture les termes : gravières, retenues, étangs, lacs, plans d'eau

RÉSUMÉS

Les lacs du littoral Aquitain représentent les plus grands écosystèmes lacustres de plaine en France. Ces écosystèmes sont soumis à une très forte pression anthropique et ont, en conséquence, fait l'objet de nombreuses études scientifiques permettant d'évaluer leur qualité écologique au cours des dernières décennies. Pour autant, une étude de la dynamique écologique de ces lacs sur le temps long n'a jamais été entreprise. Afin de pouvoir quantifier la dynamique écologique des lacs du littoral aquitain et d'évaluer les opérations de gestion actuellement mises en œuvre sur ces milieux, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et le centre INRAE de Cestas-Gazinet ont récemment lancé un programme de recherche (DYLAQ) visant à rassembler ces diverses données et identifier les trajectoires écologiques des lacs. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à un lac modèle : le lac de Parentis-Biscarrosse. Nous avons étudié la variation des paramètres physico-chimiques liés à l'eutrophisation depuis les années 70 et quantifié l'impact du réchauffement climatique sur la température de l'eau de surface depuis la fin des années 50. Les résultats montrent qu'après une dégradation forte de la qualité de l'eau jusqu'aux années 90, l'état physico-chimique du lac semble s'améliorer. La gestion à l'échelle du bassin versant, menée entre les années 1990 et 2000, apparaît donc avoir porté ses fruits sur le long terme, témoignant d'un long délai de réponse de l'écosystème. L'augmentation de la température de l'eau de surface de 0,2°C par décennie et la forte augmentation de la durée des vagues de chaleurs sur la température de l'eau confirment l'importance du réchauffement climatique sur le

lac de Parentis-Biscarrosse. Bien que globalement la trajectoire physico-chimique du lac soit dans une dynamique plutôt favorable, les effets joints de son histoire récente et du réchauffement des températures constitue encore une menace importante pour l'ensemble de l'écosystème, et nécessite un suivi et une gestion soutenue sur l'ensemble de son bassin versant.

Lakes located along the western atlantic coast represent the largest lake ecosystems in France. These ecosystems are highly impacted by anthropogenic activities and have consequently be the target of numerous scientific studies aiming to evaluate their ecological quality during the last decades. Nevertheless, the long-term ecological dynamic of these lakes has never been investigated. In order to quantify the ecological dynamics of Aquitaines' lakes and to evaluate the efficiency of managing actions, the Adour-Garonne water Agency and the INRAE centre of Cestas-Gazinet recently initiate a research program (DYLAQ) aiming to gather all historical scientific data and identify lakes ecological trajectories. For the present study, we focused on the Parentis-Biscarrosse lake and we investigated the temporal variation of physico-chemical parameters related to eutrophication since the 70s and quantified the impact of climate warming on surface water temperature since the end of the 50s. Results evidenced a low water quality in the 70-80s, but an improvement of water quality since the 90s. Watershed management operating since the 90s seems to have a significant effect on the long term, confirming a time-delay of ecosystem responses. The increase of water surface temperature (0.2°C per decade) and the increase of the number and length of heatwaves confirm the importance of climate warming on the Parentis-Biscarrosse lake. Although lake water quality is globally in a positive trajectory, the joint effect of recent history and climate warming are still an important threat for this lake ecosystem, that constantly need a sustained management on its whole watershed.

INDEX

Keywords : lake , physico-chemical , climate warming , eutrophication , management

Mots-clés : lac , physico-chimie , réchauffement climatique , eutrophisation , gestion

AUTEURS

AURÉLIEN JAMONEAU

INRAE – UR EABX – 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

SÉBASTIEN BOUTRY

INRAE – UR EABX – 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

JACKY VEDRENNE

INRAE – UR EABX – 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

NICOLAS MAZZELLA

INRAE – UR EABX – 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

DAVID FUNOSAS-PLANAS

INRAE – UR EABX – 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

GUILLAUME BOURGUETOU

Agence de l'Eau Adour-Garonne, 90 rue du Férétra, 31078 Toulouse Cedex 4