

Centre
Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

INRAE

Dynamiques écologiques temporelles des lacs du littoral aquitain – DYLAQ

Livret de synthèse

Remerciements

Dans le cadre de ce travail nous tenons particulièrement à remercier le CRESS (Centre de Recherches et d'Etudes Scientifiques de Sanguinet) association créée en 1976 et qui participe activement à l'amélioration des connaissances sur les lacs, principalement de Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse. Les archives de cette association ont été d'une grande aide pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier sincèrement tous les gestionnaires de ces milieux qui nous ont fournies des données importantes pour l'élaboration de cette base de donnée. Ainsi, nous remercions chaleureusement le Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant et Etangs du Littoral Girondin (SIAEBVELG), la communauté de commune des grands lacs (CCGL) et le syndicat mixte Géolandes. Un grand merci aussi aux gestionnaires de la réserve naturelle de l'étang Noir et du courant d'Huchet.

De sincères remerciements sont également adressés à toutes les associations de pêche du territoire : la Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de Gironde (FDAAPPMA33), la Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques des Landes (FDAAPPMA40), l'Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) de Carcans, l'AAPPMA « Le Sandre Hourtinais », l'APPMA de Sanguinet, des lacs de Biscarrosse et la gaule Cazauline, l'AAPPMA de Mimizan et l'AAPPMA « Lous Pescadous » de Tarnos.

Nous souhaitons également remercier la Direction Départementale du territoire et de la mer de Gironde (DDTM 33) et l'Office Français de la Biodiversité (OFB) qui ont également contribuer à ce travail. Merci également à Météo-France pour les données météorologiques fournies dans le cadre de cette base de données.

Enfin, un grand merci à l'Agence de l'Eau Adour Garonne pour son soutien financier, sans lequel l'ensemble de ce travail n'aurait pas été possible.

INRAE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

eau GRAND SUD-OUEST

Citation recommandée :
Jamoneau, A., Archambaud, G., Argillier, C., Bertrin, V., Boutry, S., Dublon, J., Laplace-Treyture, C., Mazzella, N., Vedrenne, J. (2022) Dynamique écologiques temporelles des lacs du littoral aquitain - Livret de synthèse.



Table des matières

1 DYLAQ, le projet 7

2 Une pression anthropique toujours plus forte 7

3 Des changements paysagers prononcés 8

4 Un réseau d'assainissement plus efficace 10

5 Une qualité physico-chimique des eaux en amélioration 12

6 Un réchauffement climatique présent 12

7 Des communautés phytoplanctonique adaptées aux changements de température 13

8 La disparition des communautés à isoétides 15

1 DYLAQ, le projet

La chaine des lacs du littoral aquitain représente un système naturel unique en France et en Europe. Constitués d'une succession de lacs et étangs peu profonds, formés naturellement suite à l'édification du cordon dunaire, ces écosystèmes abritent une biodiversité exceptionnelle et sont le support de nombreuses activités de loisirs et économiques. Par conséquent, ces systèmes sont régulièrement suivis (qualité de l'eau, développement des espèces exotiques envahissantes, niveau d'eau...) par les gestionnaires et les différents usagers de ces milieux. Ils représentent également un terrain d'étude remarquable pour les scientifiques s'intéressant au fonctionnement des écosystèmes lacustres et à leur diversité.

Ainsi, depuis plusieurs décennies, une énorme quantité de données a été accumulée sur ces systèmes par les usagers, les gestionnaires et les différents programmes d'études scientifiques. Les données récoltées sont cependant généralement utilisées pour répondre à une question spécifique sur un pas de temps relativement court. Mais les processus qui gouvernent les écosystèmes, et notamment les écosystèmes lacustres, s'étendent sur de longues périodes temporelles, qui ne peuvent être prise en compte dans les études ponctuelles cherchant à répondre rapidement à une question de gestion ou une question scientifique. Cependant, une analyse globale de ces différents suivis et projets peut permettre d'avoir une vision sur le long terme de ces écosystèmes remarquables, et d'appréhender leurs dynamiques, leurs tendances et leurs évolutions. Plus précisément, le regroupement et la bancarisation de l'ensemble des données enregistrées depuis les années 70 représente l'opportunité unique d'avoir une vision temporelle sur la dynamique de ces systèmes, et c'est l'un des objectifs principal de ce projet DYLAQ (DYnamique des écosystèmes Lacustres du littoral Aquitain) co-construit entre l'INRAE et l'Agence de l'Eau Adour Garonne.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à 18 lacs et étangs du littoral aquitain, regroupées dans un ensemble de six grands bassins versants (Fig. 1). Au nord, dans le médoc le grand bassin versant de Lacanau regroupe les bassins versants des lacs de Carcans-Hourtin, de Cousseau et de Lacanau. Entre les départements des Landes et de la Gironde, le grand bassin versant d'Aureilhan regroupe les bassins versants des lacs de Cazaux-Sanguinet, Petit-Biscarrosse, Ychoux, Parentis-Biscarrosse et Aureilhan. Plus au sud, le lac de Léon est le seul qui ne présente aucune connexion avec d'autres lacs et qui possède par conséquent un bassin versant non emboité. Au sud-ouest de ce dernier se situe le grand bassin versant de Moïsan, regroupant les bassins versants des lacs de Moliets, la Prade et Moïsan. A proximité immédiate se trouve le grand bassin versant de Soustons qui intègre les bassins versants de l'étang Noir, Blanc, de Hardy et Soustons. Enfin, à l'extrémité sud se situe le bassin versant de l'étang du Turc qui intègre celui de Garros.

2 Une pression anthropique toujours plus forte

A l'échelle de l'ensemble des lacs et étangs du littoral aquitain, une augmentation forte de la population a été observée au cours des trente dernières années (Fig. 2). C'est le bassin versant d'Aureilhan, qui est aussi le plus grand, qui héberge la population la plus importante. Le bassin versant de Moïsan est quant à lui le moins peuplé, mais c'est sur ce dernier que le taux d'accroissement de la population est le plus important. La densité d'habitants est relativement faible

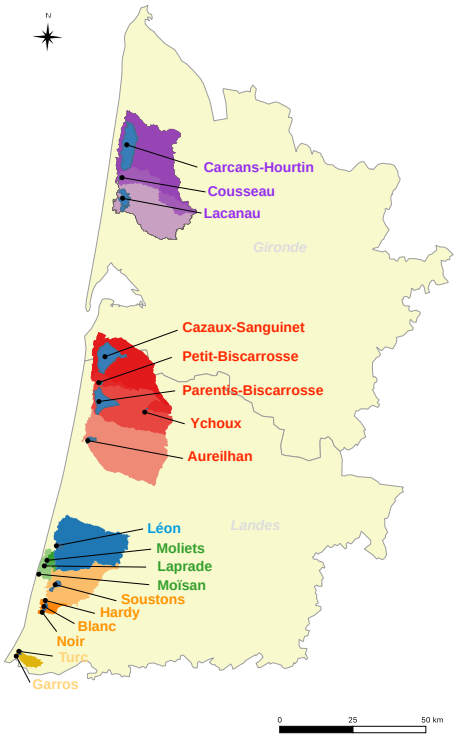

FIGURE 1 – Localisation des 18 lacs et étangs étudiés et des bassins versants correspondants dans les départements de la Gironde et des Landes. Les 18 bassins versants sont intégrés dans un ensemble de 6 grands bassins versants : 1/ Carcans-Hourtin, Cousseau et Lacanau ; 2/ Cazaux-Sanguinet, Petit-Biscarrosse, Ychoux, Parentis-Biscarrosse, et Aureilhan ; 3/ Léon ; 4/ Moliets, la Prade et Moïsan ; 5/ Noir, Blanc, Hardy et Soustons et 6/ Turc et Garros.

sur l'ensemble des bassins versants (moins de 100 hab/km^2 en 2017), à l'exception de celui de l'étang du Turc qui affiche une densité extrêmement forte dépassant les 880 hab/km^2 en 2017. Le petite taille de ce bassin versant qui intègre les villes de Seignosse et de Tosse et situé à proximité immédiate de la ville de Bayonne, permet d'expliquer la forte densité observée sur ce territoire.

L'ensemble de la cote atlantique est un territoire extrêmement touristique, et les lacs du littoral contribuent grandement à l'attractivité de ce territoire, qui est l'un des plus attractif de France (Aquitain, 2015). Le nombre de résidences secondaires témoignent de cette attractivité, et depuis 40 ans, les communes du littoral ont multiplié par 5 ces logements (Aquitain, 2015). Par exemple, dans la commune de Moliets-et-Maa, les résidences secondaires représentent 86% du parc de logement (Marensin-Nature, 2010). Ainsi, certaines communes voient leur population être multipliée par plus de 10 pendant la saison estivale. Cette pression touristique a un potentiellement un impact fort sur le milieu naturel, que ce soit de manière direct via les nombreuses activités récréatives exercées sur les lacs, mais aussi de manière indirecte, par la pollution induite par cette surfréquentation estivale (e.g. rejets domestiques).

3 Des changements paysagers prononcés

Les bassins versants des lacs et étangs étudiés sont essentiellement occupés par la forêt et notamment les plantations de pins maritimes qui représentent plus de 75 % du paysage actuel.

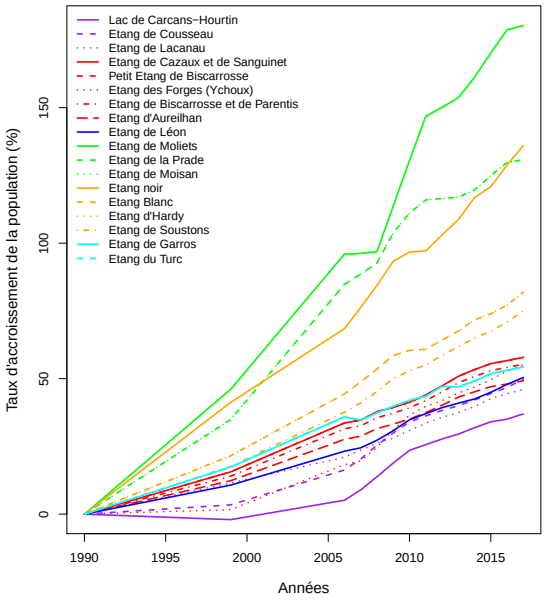

FIGURE 2 – Evolution de la population (a), du taux d'accroissement de la population (b) et de la densité de population (c) recensée dans les grands bassins versants des lacs et étangs du littoral aquitain entre 1990 et 2017.

L'agriculture intensive occupe environ 8 % du territoire et les surfaces en eau libre environ 7 %. Les autres typologies d'occupation du sol représentent moins de 5 % du territoire.

Même si la surface dédiée à la sylviculture reste relativement stable au fil du temps (3), les zones de culture, les espaces urbains et semi-urbains ont fortement augmenté depuis 1945 (Fig. 3), en s'étendant essentiellement sur les espaces initialement occupés par la forêt et les plantations de pins. Les centres urbains déjà existants se sont agrandis, les hameaux ou les habitations dispersées au sein des milieux forestiers ont grossi et sont devenus des villages.

A l'inverse, les espaces semi-naturels ont fortement régressé depuis 1945 (3) et en particulier pour les bassins versants de Carcans-Hourtin et Lacanau (Jamoneau et al., 2021). Dans la région d'étude, cette dynamique est beaucoup plus ancienne que celle observée après la seconde guerre mondiale puisque depuis le XVIIe siècle, la végétation de landes associée aux pratiques agro-pastorales est progressivement remplacée par la culture de pins (Jolivet et al., 2007; Sargos, 1997). Cette conversion s'est fortement accentuée au XIXe siècle suite aux plans de Brémontier et Chambrelent qui ont continué l'assèchement de la lande marécageuse par l'aménagement de canaux de jonction entre les plans d'eau associé à la création d'un réseau dense de crastes, de berles et de fossés connectés aux cours d'eau naturels et reliés, directement ou non, aux plans d'eau (Sargos, 1997). Plus récemment et depuis 1945, l'abandon des pratiques agricoles traditionnelles, en particulier le long des rives est des lacs, a participé à la fermeture naturelle de ces milieux et à sa conversion en végétation forestière (Tourneur, 2012). Les résultats de notre étude confirment cette tendance puisque l'on observe que la majorité des espaces semi-naturels de notre zone d'étude a disparu au profit des plantations de pins et de forêt.

La disparition des milieux semi-naturels s'inscrit complètement dans un contexte plus global, à l'échelle nationale, où les milieux ouverts, et notamment les zones humides, disparaissent progressivement suite aux changements d'usage des sols (Bernard, 1994). Outre le fait que ces espaces semi-naturels abritent une diversité biologique importante, ils occupent également un rôle fonctionnel considérable pour les écosystèmes. Ils participent, par exemple, à la régulation

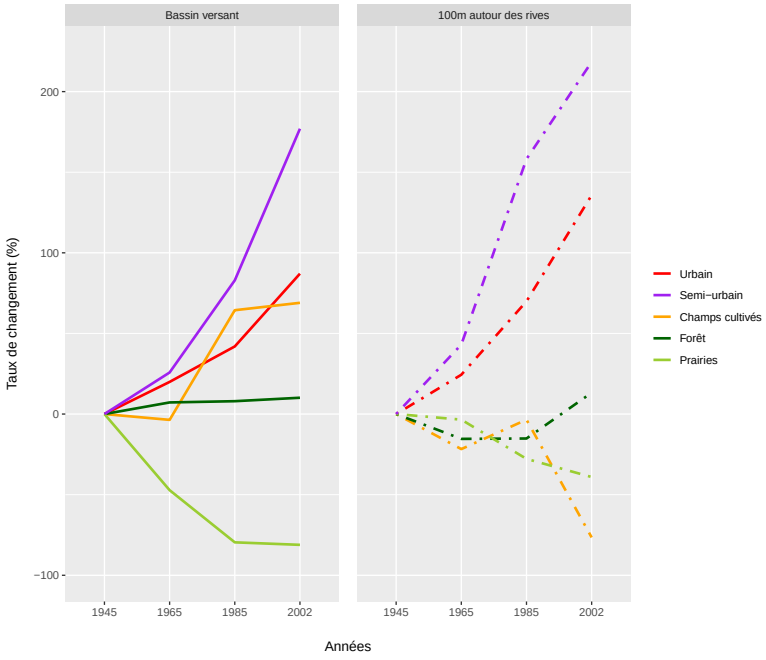

FIGURE 3 – Taux de changement (en %) des différentes classes d'occupation du sol par rapport à 1945 en fonction des années sur l'ensemble du bassin versant (gauche) et dans une zone de 100 m autour des rives des lacs (droite).

des crues en limitant le ruissellement, à la filtration des intrants en provenance du bassin versant, ils forment des habitats temporaires pour certaines espèces (zones de frayères pour les poissons) ou des zones de refuge pour certaines espèces végétales aquatiques. La disparition de ces espaces, observée sur les rives des lacs et étangs aquitains, ne se traduit donc pas seulement par une perte de biodiversité locale, mais influence plus largement le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème aquatique.

À l'échelle du plan d'eau, l'artificialisation des berges et les nombreux aménagements créés pour les activités récréatives (zones de baignade, haltes nautiques, etc.) sont aussi une source importante de modification de l'occupation du sol et d'altération des écosystèmes. Alors que les habitats littoraux des lacs sont reconnus comme étant des « hotspots » de biodiversité (Vadeboncoeur et al., 2011), ces altérations anthropiques modifient l'hydromorphologie et contribuent fortement aux pertes de diversité floristique et faunistique. C'est le cas notamment sur les rives et les zones littorales des lacs aquitains (Fig. 3) où les taux de changement d'occupation du sol vers des surfaces urbaines et semi-urbaines à proximité des berges (rayon de 100 m) sont beaucoup plus importants que les taux de changement à l'échelle du bassin versant. Ces altérations peuvent notamment être à l'origine d'une absence totale de végétation aquatique (e.g. plages), ou de la création de zones profondes, protégées des vents et des vagues qui favorisent l'installation et le développement des plantes exotiques à caractère envahissant (Bertrin et al., 2018).

4 Un réseau d'assainissement plus efficace

L'attraction territoriale du littoral aquitain et le fort accroissement de la population génère des rejets domestiques plus importants. Ainsi, le volume des rejets domestiques traité augmente au cours du temps (Fig. 4). Cependant, cette augmentation des volumes ne s'accompagnent pas nécessairement d'une augmentation de la charge polluante journalière : les flux de phosphore

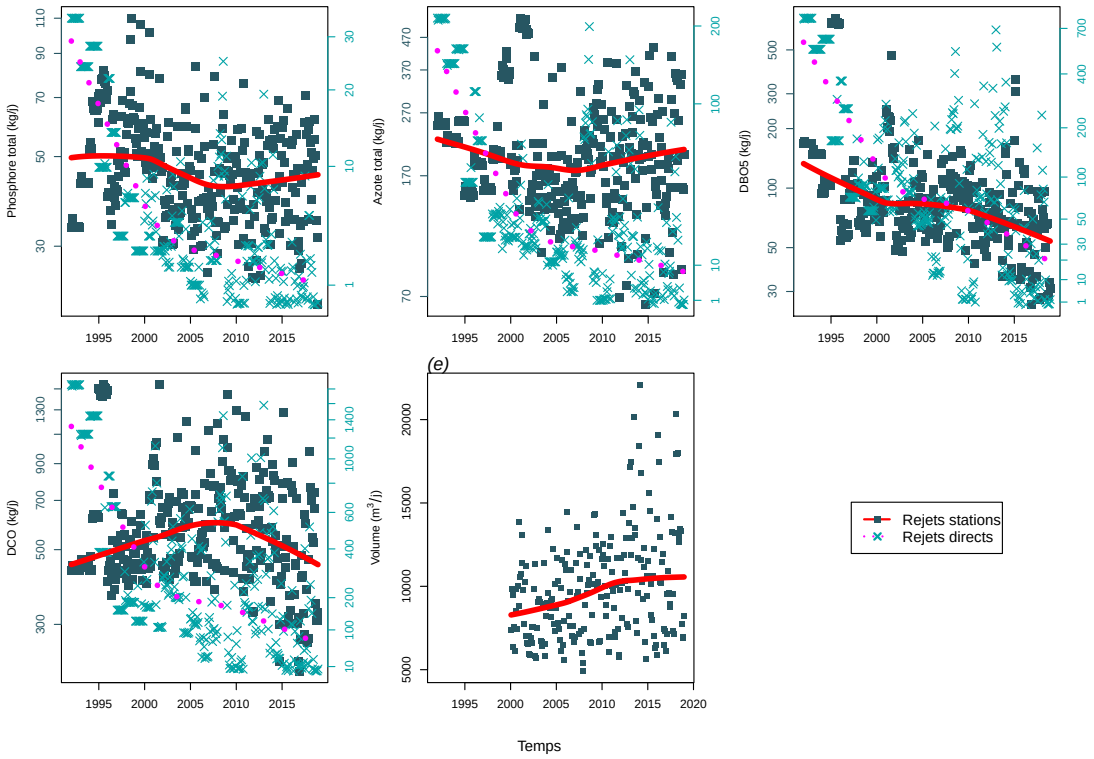

FIGURE 4 – Variation temporelle mensuelle de la somme de la charge polluante (kg/jour) rejetée par l'ensemble des stations d'épurations sur les bassins versants des lacs et étangs du littoral aquitain pour les rejets mesurées en sortie de stations (carrés bleus foncés) et les rejets directs estimés ou mesurés (croix bleus clairs) pour (a) le phosphore total, (b) l'azote total, (c) la demande biologique en oxygène (DBO5), (d) la demande chimique en oxygène (DCO) et (e) le volume d'effluents. Les lignes représentent les courbes de régression polynomiale avec pondération locale (*lowess*) pour les valeurs mesurées en sortie de station d'épuration (trait plein) et les rejets directs estimés et mesurés en cas de dysfonctionnement de la station (traits pointillés).

semblent ainsi avoir diminué, surtout entre les années 2000 et 2005, même si une légère augmentation semble s'observer ces dernières années ; les flux d'azote tendent à diminuer jusqu'aux alentours de 2005 mais apparaissent eux aussi repartir en légère hausse depuis cette date ; la demande biologique en oxygène diminue progressivement depuis les années 90 alors que la demande chimique en oxygène semble augmenter jusqu'en 2005-2010 mais apparait depuis être en diminution notable (Fig. 4). Cependant, les rejets directs liés au dysfonctionnement des stations ou à une surcharge du système apparaissent être en forte diminution depuis les années 90, quelque soit le paramètre physico-chimique d'intérêt.

Bien que les volumes et les flux d'azote et de phosphore semblent à nouveau augmenter au cours des dix dernières années, il semble important de souligner que la majorité des stations actuellement en fonctionnement évacue leurs effluents directement par infiltration dans le sol. Il est donc difficile de connaître la part que reçoit réellement l'hydrosystème et l'impact que cela peut avoir sur le milieu naturel.

5 Une qualité physico-chimique des eaux en amélioration

L'amélioration du traitement des effluents au cours du temps, les actions menées à l'échelle locale ou celle du bassin versant et les réglementations mises en place au cours de ces dernières décennies sont probablement responsable de l'amélioration de la qualité de l'eau que l'on peut observer sur la grande majorité des plans d'eau du littoral aquitain. En effet, sur la quasi-totalité d'entre eux, la concentration en orthophosphates et en phosphore total a fortement diminuée au cours de ces dernières décennies. C'est notamment le cas du lac de Parentis-Biscarrosse (Fig. 5) qui reste représentatif de la tendance observée sur la majorité des plans d'eau du littoral. Les seuls exceptions sont probablement les étangs de Moïsan, Soustons et Turc pour lesquels aucune réelle tendance de changement n'a pu être mise en évidence. Sur l'ensemble des plans d'eau les nitrates sont d'une préoccupation moindre, avec des concentrations relativement faible relativement faibles.

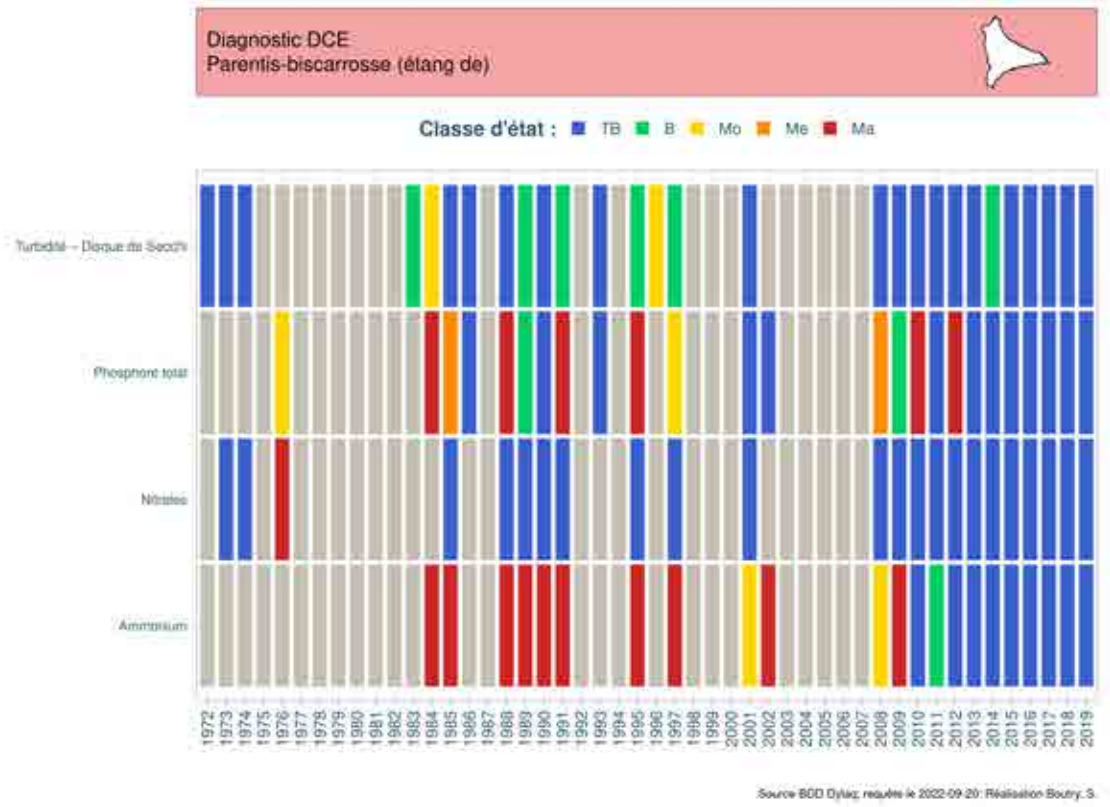

FIGURE 5 – Variation des classes d'état par date pour les paramètres turbidité, phosphore total, nitrates et ammonium sur le lac de Parentis-Biscarrosse entre 1972 et 2019. TB : très bon état, B : bon état ; Mo : état moyen ; Me : état médiocre et Ma : mauvais état selon le Guide REEE-ESC (2019).

6 Un réchauffement climatique présent

Sur tous les lacs et étangs du littoral aquitains nous avons observé une augmentation de la température de surface de l'eau au cours du temps. Cette augmentation, illustrée ici par celle du

lac de Cazaux-Sanguinet (Fig. 6a), correspond à une une augmentation d'environ 0.2℃ tous les 10 ans. Cette augmentation est presque deux fois plus forte sur le lac de Cazaux-Sanguinet que sur les lacs médocains mais similaire à celle observée sur les autres plans d'eau étudiés.

Mais ce réchauffement de la température de l'eau affecte différemment les plans d'eau en fonction de leur taille. Globalement sur l'ensemble des plans d'eau la moyenne des températures annuelles moyennes et maximales sont les plus fortes sur les petits plans d'eau alors que la moyenne des températures annuelles minimales y est la plus faible. Ainsi, sur les petits étangs la température moyenne de l'eau de surface se situe autour des 15.5℃ et est inférieure à 15℃ pour les lacs les plus grands, et la moyenne des températures maximales atteint presque les 27℃ pour les plus petits plans d'eau alors qu'elle est de 3℃ moindre pour les plus grands. De manière indirecte, les écarts de températures observés entre les minimales et maximales sont bien plus importantes sur les petits plans d'eau que sur les grands.

De même, sur l'ensemble des plans d'eau on observe une tendance significative à l'augmentation de la durée des vagues de chaleurs, qui correspondent à la période (nombre de jours) au cours de laquelle les températures de surface du lac dépassent un seuil local par rapport à une moyenne climatologique de référence pendant au moins cinq jours (Fig. 6b). A l'image de la température, l'intensité des vagues de chaleur affecte différemment les plans d'eau en fonction de leur taille. En effet, l'intensité de ces vagues de chaleurs est liée à la surface et au volume du plan d'eau, et est beaucoup plus intense les pour grands plans d'eau plus profonds Woolway et al. (2021). Ainsi, sur les plans d'eau Aquitain, les grands lacs profonds de Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse sont susceptibles d'être beaucoup plus impactés par les vagues de chaleurs que les petits plans d'eau.

Ce changement climatique observé sur les plans d'eau du littoral aquitain 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). Nos résultats semblent ainsi montrer que tous les plans d'eau ne seront pas nécessairement atteint de manière identique en fonction de la surface, du volume et de la profondeur des plans d'eau, les grands lacs subissant des vagues de chaleur beaucoup plus longues, et les petits étangs atteignant des températures maximales extrêmement importantes.

7 Des communautés phytoplanctonique adaptées aux changements de température

A l'échelle régionale la concentration en chlorophylle-a a tendance à diminuer depuis la fin des années 70, pouvant traduire une diminution de l'eutrophisation au cours du temps. Cette diminution reste cependant fortement dépendant du plan d'eau, la biomasse des plus grands lacs (lacs type DCE) ayant tendance a diminuer (à l'exception de Cazaux-Sanguinet et de l'étang Blanc) alors que celle des petits étangs tend davantage à augmenter. Cette diminution de la biomasse tend à s'accompagner d'une diminution de la richesse taxonomique, qui semble être en partie

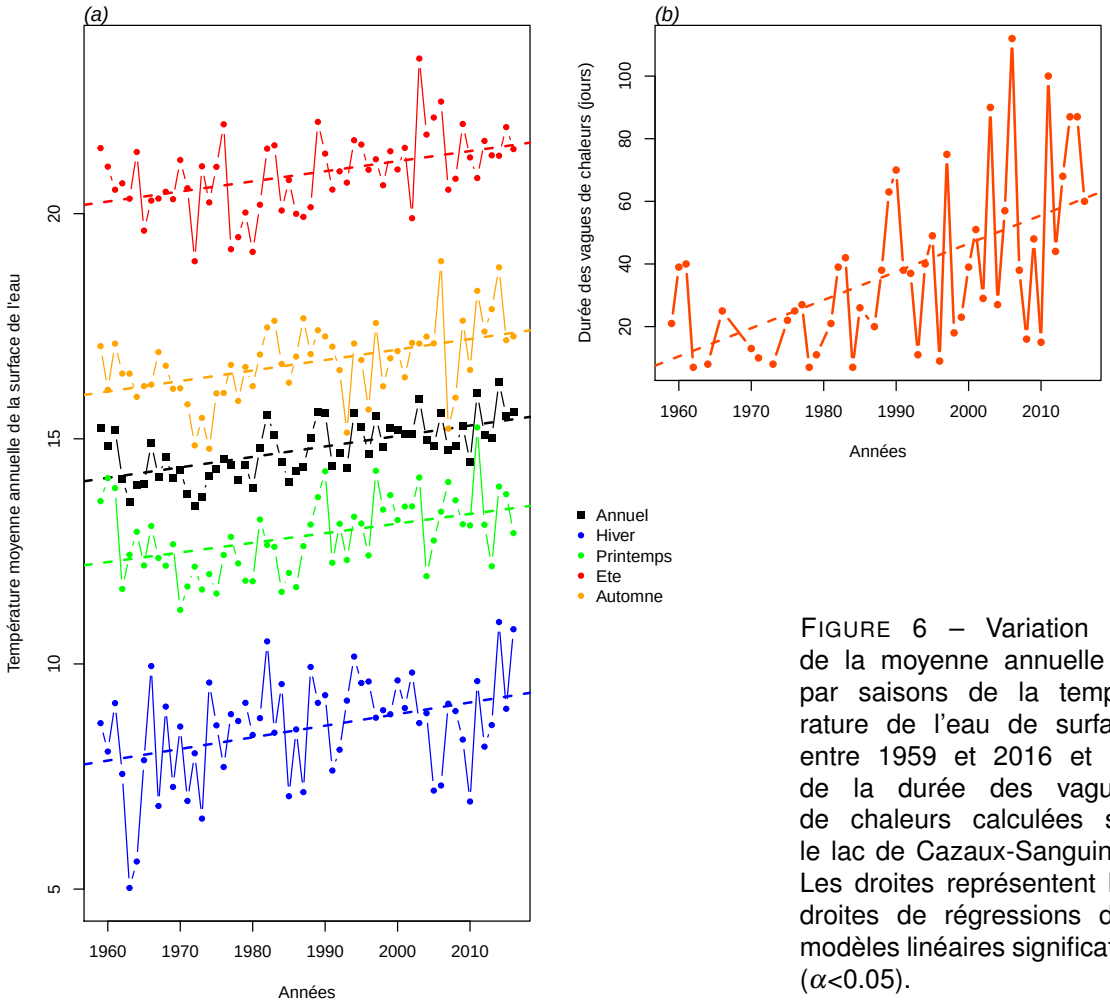

FIGURE 6 – Variation (a) de la moyenne annuelle et par saisons de la température de l'eau de surface entre 1959 et 2016 et (b) de la durée des vagues de chaleurs calculées sur le lac de Cazaux-Sanguinet. Les droites représentent les droites de régressions des modèles linéaires significatifs (α<0.05).

influencée par les processus de dispersion, les plans d'eau situé en amont contribuant à l'apport des espèces des plans d'eau en aval.

Cette baisse de la diversité est associée à une homogénéisation des communautés à l'échelle régionale. Les communautés des plans d'eau, bien différenciées auparavant et supportant des espèces plutôt spécialisées des eaux acides, sont aujourd'hui davantage représentées par des espèces cosmopolites et généralistes. Le climat joue un rôle particulièrement important sur ces changements favorisant le développement de communautés plutôt caractéristiques des saisons estivales. Ainsi, des communautés dans lesquelles les Dinoflagellés et les Cyanobactéries sont aujourd'hui bien représentées et tendent à remplacer les communautés de Desmidiées.

8 La disparition des communautés à isoétides

Les communautés de macrophytes des plans d'eau du littoral aquitain ont fortement évolué au cours des dernières décennies. C'est le cas des communautés à isoétides, caractérisées par des espèces emblématiques protégées à l'échelle nationale et régionale (*Isoetes boryana, Lobelia dortmanna* et *Littorella uniflora*). Ainsi, alors que ces espèces étaient par le passé largement répandues sur l'ensemble des lacs et étangs du littoral, elles sont aujourd'hui devenues rares et représentées uniquement sur quelques plans d'eau : *I. boryana* présent uniquement sur le lac de Cazaux-Sanguinet, *L. dortmanna* présente uniquement sur 4 plans d'eau et *L. uniflora* sur 5 d'entre eux (Fig. 7). D'autres espèces, comme *Aldrovanda vesiculosa,* présente historiquement sur plusieurs lacs du littoral est aujourd'hui considérée comme disparue de la région et de la France.

La disparition de ces espèces s'accompagne de l'installation des espèces exotiques envahissantes sur les lacs et en particulier le *Lagarosiphon major* et *Egeria densa* qui continuent à étendre leur distribution. Bien que la richesse taxonomique et la diversité change relativement peu au cours du temps ce n'est pas le cas de la composition des communautés. Dans l'ensemble, les plans d'eau tendent à perdre leur spécificité et les communautés de macrophytes s'orientent vers des compositions plus homogènes entre les différents lacs et étangs, caractérisées par des espèces plus généralistes et cosmopolites. Les pressions anthropiques qui s'accroissent de façon exponentielle ces dernières décennies sur les plans d'eau aquitains ont des conséquences fortes sur les communautés de macrophytes et il apparait urgent d'agir rapidement pour limiter ces effets et préserver les populations restantes d'une disparition annoncée.

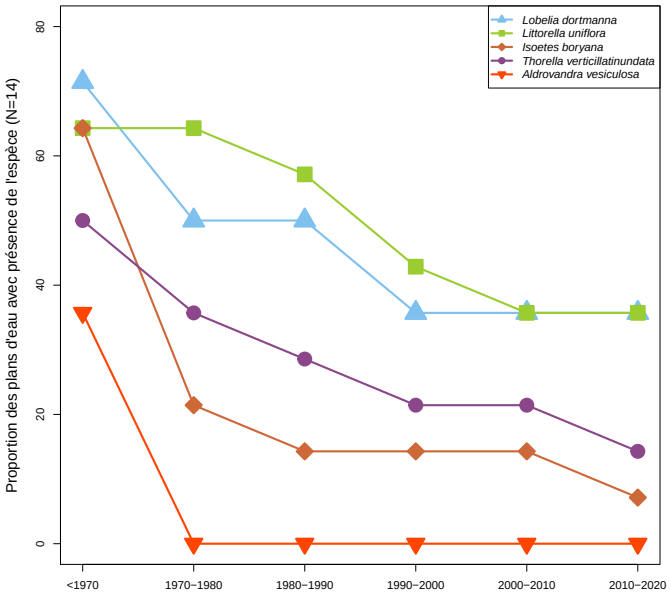

FIGURE 7 – Proportion des plans d'eau (sur 14 plans d'eau étudiés) avec présence des espèces patrimoniales par décennie.

Références

Aquitain, G. L. (2015). Littoral aquitain - Synthèse des enjeux organisation de l'espace. Rapport d'étude, Mérignac, France.

Bernard, P. (1994). Les zones humides. Rapport d'évaluation, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques - Premier ministre - Commissariat général du plan, Paris.

Bertrin, V., Boutry, S., Alard, D., Haury, J., Jan, G., Moreira, S., and Ribaudo, C. (2018). Prediction of macrophyte distribution : The role of natural versus anthropogenic physical disturbances. *Applied Vegetation Science*, 21(3) :395–410.

Jamoneau, A., Bouraï, L., Devreux, L., Percaille, L., Queau, A., and Bertrin, V. (2021). Influence of historical landscape on aquatic plant diversity. *Journal of Vegetation Science*, 32(1) :e12839.

Jolivet, C., Augusto, L., Trichet, P., and Arrouays, D. (2007). Forest soils in the Gascony Landes Region : formation, history, properties and spatial variability. *Revue Forestière Française*, LIX(1) :7–30.

Marensin-Nature (2010). Documents d'objectifs des zones humides du Marensin - Tome 1. Technical report, Préfecture des Landes, Mont-de-Marsan.

REEE-ESC", G. (2019). Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). Technical report, Ministère de la Transition écologique et solidaire, Paris.

Sargos, J. (1997). *Histoire de la Forêt Landaise - Du désert à l'âge d'or*. Toulouse, France, l'horizon chimérique edition.

Tourneur, P. (2012). Document d'objectifs du site Natura 2000 FR200681 "Zones humides de l'arrière dune du littoral girondin". Technical report, Office National de Forêts, Bordeaux, France.

Vadeboncoeur, Y., McIntyre, P. B., and Vander Zanden, M. J. (2011). Borders of Biodiversity : Life at the Edge of the World's Large Lakes. *BioScience*, 61(7) :526–537.

Woolway, R. I., Jennings, E., Shatwell, T., Golub, M., Pierson, D. C., and Maberly, S. C. (2021). Lake heatwaves under climate change. *Nature*, 589(7842) :402–407. Number : 7842 Publisher : Nature Publishing Group.

Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., and Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8) :388–403. Number : 8 Publisher : Nature Publishing Group.



Agence de l'eau Adour-Garonne
90 rue du Férétra
CS 87801 31078
Toulouse Cedex 4

INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux
UR 1454 EABX (Ecosystèmes Aquatiques et Changements Globaux)
50, avenue de Verdun
33612 Cestas, France